



ارزیابی خصوصیات مرفو-فیزیولوژیکی و مرتبط با ریشه برخی ژنوتیپ‌های گندم نان و دوروم تحت تاثیر تنش رطوبتی در مرحله پر شدن دانه در شرایط گلخانه

Evaluation of Morpho-physiological and Root-Related Traits of Some Bread and Durum Wheat Genotypes as Affected by Moisture Stress in Grain Filling Stage in Glasshouse Conditions

سارا سنجانی^{۱*}، محسن اسماعیل زاده مقدم^۲، توحید نجفی میرک^۲،
علیرضا پورابوقداره^۱ و شکوفه دانیالی تختگاهی^۳

- ۱- استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
- ۲- استاد، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
- ۳- کارشناس، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۰

چکیده

سنجانی، س.، اسماعیل زاده مقدم، م.، نجفی میرک، ت.، پورابوقداره، ع. و دانیالی تختگاهی، ش. ۱۴۰۴. ارزیابی خصوصیات مرفو-فیزیولوژیکی و مرتبط با ریشه برخی ژنوتیپ‌های گندم نان و دوروم تحت تاثیر شرایط تنش رطوبتی در مرحله پر شدن دانه در شرایط گلخانه. نهال و بذر ۴۱: ۱۴۱-۱۱۵

این پژوهش به منظور بررسی خصوصیات مرفو-فیزیولوژیکی و مرتبط با ریشه ۲۰ ژنوتیپ گندم نان و دوروم از اقلیم‌های گرم و خشک جنوب، گرم و مرطوب شمال، معتدل و سرد و در دو شرایط بدون تنش و تنش رطوبتی در مرحله پر شدن دانه به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۲-۰۳ در گلخانه تحقیقاتی بخش تحقیقات غلات، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال بذر در کرج اجرا شد. در شرایط بدون تنش، آبیاری براساس ظرفیت مزرعه خاک تا انتهای فصل رشد براساس نیاز گیاه انجام شد. در تیمار تنش رطوبتی در مرحله پر شدن دانه، آبیاری از مرحله شروع گرده‌افشانی (زادوکس ۶۱) قطع شد. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد ژنوتیپ‌های گندم ارزیابی شده از نظر کلیه صفات اندازه‌گیری شده تفاوت‌های معنی‌داری داشتند. همچنین بین شرایط عدم تنش و تنش رطوبتی نیز از نظر کلیه صفات، بجز ارتفاع گیاه، روز تا ظهور سنبله و تعداد دانه در سنبله، تفاوت معنی‌داری وجود داشت. بیشترین میزان کاهش صفات تحت تاثیر تنش رطوبتی در مرحله پر شدن دانه در مقایسه با شرایط عدم تنش مربوط به طول ویژه ریشه (SRL)، عملکرد دانه در گیاه، وزن خشک اندام هوایی (SDW) و ظرفیت فتوسنتزی (Fv/Fo) بود. تنش رطوبتی موجب افزایش میانگین برخی از صفات شد و بیشترین مقدار آن مربوط به صفات تراکم بافت ریشه (RTD)، نسبت ریشه به اندام هوایی (RTS)، وزن خشک ریشه (RDW) و حجم ریشه (RV) بود. بر اساس نتایج بای پلات مبتنی بر تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) ژنوتیپ‌های G9 (رقم برات)، G17 (D-400-18)، G12 (رقم آراز)، G14 (رقم تکتاز) و G7 (D-400-18) به ترتیب به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش رطوبتی در مرحله پر شدن دانه و دارای صفات مرفو-فیزیولوژیکی و مرتبط با ریشه مطلوب شناسایی شدند. این ژنوتیپ‌ها می‌توانند به عنوان والدین در برنامه‌های بهترآدی ملی گندم نان و دوروم برای بهبود تحمل به تنش رطوبتی در مرحله پر شدن دانه در ارقام جدید مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: گندم، طول ویژه، وزن خشک ریشه، حجم ریشه، عملکرد دانه در گیاه.



مقدمه

گندم یکی از مهمترین محصولات غلات در دنیاست که ضمن دارا بودن بیشترین سطح زیر کشت، نقش بسیار مهمی در تأمین غذا در جهان دارد و از نظر سیاسی و اقتصادی در بسیاری از کشورهای دنیا، از جمله ایران، به عنوان یک محصول راهبردی محسوب می‌شود (OECD/FAO, 2020). طبق آخرین آمار سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد، در سال ۲۰۲۳ سطح زیر کشت گندم در جهان ۲۲۰ میلیون هکتار و تولید حدود ۸۰۵ میلیون تن بود. ایران با دارا بودن سطح زیر کشت ۶/۲ میلیون هکتار و تولید ۱۳/۵ میلیون تن از نظر تولید در جایگاه سیزدهم قرار داشت (FAO, 2023).

تولید گندم در نقاط مختلف دنیا همواره با محدودیت‌های زیادی همراه است. تنش خشکی یکی از مهمترین و متداول‌ترین تنش‌های محیطی است که تولیدات کشاورزی از جمله گندم را با محدودیت روبرو ساخته و بازده تولید را بخصوص در مناطق نیمه خشک و خشک را کاهش می‌دهد. حدود یک سوم از اراضی زیر کشت دنیا و از جمله ایران در مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارند (Blum, 2011). پیش‌بینی شده است که تغییرات اقلیمی باعث افزایش وقوع دوره‌های خشکی و خشکسالی در بسیاری از مناطق جهان خواهد شد (Hail et al., 2020).

در ایران پایین بودن میزان نزولات جوی در

مقایسه با میانگین بارندگی جهان (حدود یک سوم میانگین بارندگی جهان) و پراکنش نامناسب آن در مناطق و فصول مختلف سال محدودیت‌های زیادی را در استفاده از آب باران برای تولید محصولات کشاورزی بوجود آورده است (Amiri et al., 2013). در الگوی فصلی بارندگی‌های مدیترانه‌ای قسمت اعظم بارندگی در فصل زمستان اتفاق می‌افتد. در این مناطق زمانی که گندم وارد دوره پرشدن دانه‌ها می‌شود بارندگی کاهش یافته و تبخیر از سطح خاک افزایش می‌یابد، در نتیجه گندم در این مرحله اغلب با کمبود رطوبت و تنش گرما مواجه می‌شود (Shukla et al., 2015).

در گذشته محور اصلی تحقیقات به‌نژادی گندم در ایران بر تولید ژرم پلاسما و معرفی ارقام با عملکرد دانه بالا و پایدار و کیفیت دانه مناسب برای شرایط بهینه متمرکز بوده است. لیکن با توجه به محدودیت آب آبیاری و با توجه به این امر که میانگین ریزش‌های جوی ایران کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر در سال می‌باشد، بسیاری از گندمکاران، به علت محدودیت آب، آبیاری‌های مزارع گندم آبی را بخصوص در آخر فصل (که دلیل اصلی آن رقابت زراعت‌های بهاره با آخرین آبیاری گندم در مرحله دانه‌بندی است) حذف می‌کنند. این قطع آبیاری بسته به مرحله رشد و نمو گیاه می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی عملکرد دانه ارقام گندم داشته باشد

(Jafarnezhad *et al.*, 2012).

ریشه اندامی از گیاه است که نقش مهمی در استقرار، جذب آب و مواد غذایی، رشد و بقای گیاه در شرایط سخت دارد. با توجه به مسئله بحران خشکی و کم آبی در حال حاضر و آینده استفاده از ارقامی که دارای ریشه‌هایی قوی هستند می‌تواند در برنامه‌های به نژادی گندم و مدیریت منابع آبی نقش بسزایی داشته باشد (Pirnajmedin *et al.*, 2015; Bonos *et al.*, 2004). بنابراین مطالعه سامانه ریشه و صفات مرتبط با آن از اهمیت قابل توجهی در برنامه‌های به نژادی و مدیریت منابع آبی تحت شرایط مزرعه‌ای دارد. از اینرو درک عمیق از رشد و توسعه سامانه ریشه و به موازات آن ارزیابی صفات مرتبط با ریشه در ژنوتیپ‌های مختلف گندم از نظر خصوصیات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی ریشه می‌تواند در گزینش ارقام برتر از نظر تحمل به تنش خشکی سودمند باشد.

پاسیورا (Passioura, 2006) گزارش کرد که حتی در شرایط تنش خشکی شدید، مقدار قابل توجهی رطوبت در اعماق خاک وجود دارد که با بهبود صفاتی مانند افزایش عمق نفوذ و گسترش ریشه می‌توان از آن بهره گرفت. از این رو گیاهانی که بواسطه افزایش طول ریشه خود از این رطوبت بهره‌مند شوند می‌توانند در شرایط تنش خشکی عملکرد خود را حفظ کنند (Kulkarni and Phalke, 2009; Lopes and Reynolds, 2010). طول ریشه به عنوان

شاخصی برای توانایی گیاهان جهت جذب آب از لایه‌های عمیق‌تر خاک و نفوذپذیری بهتر ریشه‌ها در خاک محسوب می‌شود. بنابراین، آگاهی از وضعیت طول ریشه و توزیع آن در لایه‌های خاک و همچنین آگاهی از اندازه و شکل سامانه ریشه، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Wasson *et al.*, 2012).

تحقیقات زیادی در مورد مطالعه سامانه ریشه گندم و تأثیر آن بر عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی انجام شده است. در پژوهشی تنوع ژنتیکی سامانه ریشه ۳۰ ژنوتیپ گندم نان جمع آوری شده از اقلیم‌های مختلف در مرحله گیاهچه‌ای مورد بررسی قرار گرفتند (Pais *et al.*, 2022). نتایج نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها تفاوت زیادی از نظر زاویه ریشه (۶۳ تا ۱۲۲ درجه) وجود دارد. کمترین زاویه در توده‌های بومی و بیشترین آن در لاین‌های پیشرفته مشاهده شد، همچنین تفاوت قابل توجهی بین ژنوتیپ‌ها از نظر تعداد ریشه‌های فرعی مشاهده شد (Pais *et al.*, 2022). البته قابل ذکر است این تحقیقات در ایران بسیار پراکنده و محدود می‌باشد.

چن و همکاران (Chen *et al.*, 2021) در بررسی رابطه بین خصوصیات مورفولوژیکی سامانه ریشه و عملکرد دانه دو ژنوتیپ گندم در شرایط خشکی انتهایی فصل نشان دادند که تنش خشکی به طور معنی داری منجر به کاهش طول ریشه، ارتفاع گیاه، وزن خشک ریشه و وزن

گندم نان و دوروم گزارش کردند که تفاوت معنی داری بین ارقام از نظر ساختار ریشه وجود دارد و ارقام پیشتاز و بهار دارای سامانه ریشه قوی تری نسبت به ارقام سرداری و کراس سیلان بودند و همچنین ارقام گندم نان و دوروم تفاوت های معنی داری از نظر سامانه ریشه داشتند. کشاورزها و همکاران (Keshavarznia *et al.*, 2015) با بررسی نقش ساختار ریشه و صفات فیزیولوژیک جو در پاسخ به تنش خشکی نشان دادند که با افزایش شدت تنش خشکی عمق ریشه در ارقام متحمل و نیمه متحمل افزایش یافت. علاوه بر این، نتایج این پژوهشگران نشان داد که ارقام متحمل به خشکی با افزایش عمق ریشه آب بیشتری جذب می کنند و در نتیجه دارای تنظیم اسمزی و محتوای نسبی آب برگ بیشتری بودند.

موسوی و همکاران (Moosavi *et al.*, 2022) در بررسی تأثیر رژیم های مختلف رطوبتی بر عادت رشدی گندم گزارش کردند که تنش خشکی موجب کاهش رشد اندام هوایی و افزایش نسبت ریشه به ساقه شد. آن ها بیان کردند که افزایش رشد نسبی ریشه در شرایط کم آبی، سازگاری برای افزایش جذب آب از خاک و حفظ رشد گیاه محسوب می شود.

علی رغم اینکه خصوصیات سامانه ریشه نقش مهمی را در تحمل گیاه به شرایط محیطی نامناسب از جمله تنش خشکی ایفا می کنند، در

خشک قسمت هوایی شد، در حالیکه نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی هر دو ژنوتیپ افزایش یافت. نتایج همبستگی بین صفات در این پژوهش نشان داد که وزن خشک ریشه همبستگی مثبتی با ارتفاع گیاه و وزن خشک اندام های هوایی داشت. در پژوهشی دیگر بر روی ۸۳۸ ژنوتیپ گندم نان و دوروم از نظر صفات مرتبط با ریشه گزارش شد که اگرچه گزینش برای خصوصیات ریشه یکی از مشکل ترین روش های ارزیابی مجموعه های بزرگی از ژنوتیپ ها و ارقام گیاهان مختلف زراعی می باشد، با این وجود، با استفاده از نتایج حاصل از این ارزیابی ها می توان از پتانسیل ژرم پلاسما در برنامه های به نژادی برای ایجاد ارقام پر بازده و متحمل به خشکی بهره مند شد (Ayalew *et al.*, 2015).

لی و همکاران (Li *et al.*, 2019) به بررسی ارتباط عمق ریشه و صفات فیزیولوژیکی در سه توده گندم پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که ژنوتیپ هایی که دارای ریشه عمیق تر هستند، معمولاً دمای کانوپی پایین تر، شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (Normalized difference vegetative index (NDVI) = بالاتر و ظرفیت فتوسنتزی بیشتری دارند. این ویژگی ها به حفظ رشد گیاه و افزایش عملکرد در شرایط تنش کمک می کنند.

ناصری و همکاران (Naseri *et al.*, 2016) با بررسی سامانه ریشه های بذری و نابجا در ارقام

این رابطه اطلاعات مختصری وجود دارد و در بیشتر برنامه‌های به‌نژادی به دلیل مشکل بودن ارزیابی‌های مزرعه‌ای ریشه از بررسی چنین خصوصیتی صرف نظر شده و تنها بر روی عملکرد دانه تمرکز شده است. با توجه به بحران کم آبی و خشکسالی‌های مکرر و همچنین محدودیت منابع آبی کشور بررسی سامانه ریشه ژنوتیپ‌های گندم در شرایط رطوبت محدود ضروری است و می‌تواند راهکار مؤثری برای توسعه ارقام متحمل به خشکی و سازگار با شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک کشور باشد.

این پژوهش با هدف ارزیابی خصوصیات مرفوفیز یولوژیکی و مرتبط با ریشه ۲۰ ژنوتیپ گندم نان و دوروم در شرایط تنش رطوبتی در مرحله پرشدن دانه در شرایط گلخانه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در گلخانه تحقیقاتی بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در کرج اجرا شد. آزمایش بصورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اول در دو سطح

بدون تنش (آبیاری بهینه بر اساس ظرفیت زراعی خاک) و تنش رطوبتی در دوره پر شدن دانه (قطع آبیاری از مرحله آغاز گرده افشانی (زادوکس ۶۱)) و عامل دوم شامل ۲۰ رقم و لاین گندم نان و دوروم بودند. ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی در این پژوهش شامل ارقام و لاین‌های منتخب از برنامه‌های به‌نژادی گندم نان و دوروم آبی در چهار اقلیم معتدل، گرم و خشک جنوب، گرم و مرطوب شمال و سرد بودند. لیست ارقام و لاین‌های ارزیابی شده در جدول ۱ ارائه شده است.

به منظور شکستن خواب بذر، بذور همه لاین‌ها و ارقام گندم نان و دوروم آبی مورد ارزیابی تحت تیمار سرمایی (۴ درجه سانتی‌گراد) به مدت هفت روز قرار گرفتند. پس از آن، پنج بذر از هر ژنوتیپ انتخاب و در یک پتری‌دیش جداگانه کشت شدند. پس از جوانه‌زنی بذور، جوانه‌های حاصل در گلدان‌های پلاستیکی کوچک حاوی مخلوطی از خاک و ماسه (با نسبت ۳ به ۱) کشت شدند. تمامی گلدان‌های آزمایشی به یک فریزر قابل برنامه‌ریزی منتقل و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت دو هفته نگهداری شدند (شکل ۱).

جدول ۱- خلاصه‌ای از اطلاعات ژنوتیپ‌های گندم نان و دوروم مورد مطالعه

Table 1. A summary of information of studied bread and durum wheat genotypes

کد ژنوتیپ Genotype code	Genotype Name	نام ژنوتیپ	Wheat type	نوع گندم	Agro-climatic zone	اقلیم
G1	Mahlouji	محلوجی	Bread Wheat	گندم نان	Temperate	معتدل
G2	Afrouz	افروز	Bread Wheat	گندم نان	Temperate	معتدل
G3	M-99-15	M-99-15	Bread Wheat	گندم نان	Temperate	معتدل
G4	Amin	امین	Bread Wheat	گندم نان	Temperate	معتدل
G5	Mahan	ماهان	Durum wheat	گندم دوروم	Temperate	معتدل
G6	D-400-14	D-400-14	Durum whea	گندم دوروم	Temperate	معتدل
G7	D-400-18	D-400-18	Durum whea	گندم دوروم	Temperate	معتدل
G8	Weebil#1	ویبیل #۱	Bread Wheat	گندم نان	S. Warm and Dry	گرم و خشک جنوب
G9	Barat	برات	Bread Wheat	گندم نان	S. Warm and Dry	گرم و خشک جنوب
G10	Raj	راج	Bread Wheat	گندم نان	S. Warm and Dry	گرم و خشک جنوب
G11	Khalil	خلیل	Bread Wheat	گندم نان	S. Warm and Dry	گرم و خشک جنوب
G12	Araz	آراز	Bread Wheat	گندم نان	N. Warm and Humid	گرم و مرطوب شمال
G13	Tirgan	تیرگان	Bread Wheat	گندم نان	N. Warm and Humid	گرم و مرطوب شمال
G14	Taktaz	تکتاز	Bread Wheat	گندم نان	N. Warm and Humid	گرم و مرطوب شمال
G15	N-94-8	N-94-8	Bread Wheat	گندم نان	N. Warm and Humid	گرم و مرطوب شمال
G16	Mihan	میهن	Bread Wheat	گندم نان	Cold	سرد
G17	C-96-10	C-96-10	Bread Wheat	گندم نان	Cold	سرد
G18	C-96-8	C-96-8	Bread Wheat	گندم نان	Cold	سرد
G19	C-97-4	C-97-4	Bread Wheat	گندم نان	Cold	سرد
G20	C-98-7	C-98-7	Bread Wheat	گندم نان	Cold	سرد

S. Southern, N. Northern

- اطلاعات مربوط به اقلیم بندی بر اساس روش پیشنهادی جلال کامالی و همکاران (Jalal Kamali *et al.*, 2012) است.

- Agro-climatic zoning information is based on Jalal Kamali *et al.*, 2012.



شکل ۱- مرحله سبز شدن و سامانه تامین نیاز سرمایی ژنوتیپ‌های گندم نان و دوروم مورد مطالعه
Fig. 1. Emergence stage and chilling system for satisfying cold requirements of the studied bread and durum wheat genotypes

نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و دمای بهینه ۲۰/۲۵ (روز/شب) قرار گرفتند (شکل ۲). گیاهان در شرایط بدون تنش تا پایان فصل رشد آبیاری شدند (تا رسیدن به ظرفیت زراعی) اما در شرایط تنش، آبیاری لوله‌های تحت تیمار تنش از آغاز مرحله گرده افشانی (زادوکس ۶۱) تا رسیدن به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، در شرایط ۴۰ درصد ظرفیت زراعی (FC) نگه داشته شدند. به این منظور، قبل از هر نوبت آبیاری میزان رطوبت خاک در هر واحد آزمایشی با استفاده از دستگاه رطوبت سنج لوترون مدل (PMS-714) اندازه‌گیری شد و میزان آبیاری بر اساس آن تعیین شد.

در مرحله بعد، گیاهچه‌ها به مدت دو هفته در فضای بیرون گلخانه به منظور تحریک پنجه زنی نگهداری شدند. سپس گیاهچه‌ها به گلخانه منتقل و در لوله‌های پلاستیکی (ارتفاع ۱۳۰ و قطر ۱۲ سانتی‌متر) حاوی خاک و ماسه (با نسبت ۳ به ۱) کشت شدند (خصوصیات فیزیوشیمیایی خاک آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است). در مرحله ابتدای ساقه‌دهی و آبدستی کود NPK به میزان دو گرم در لیتر در هر واحد آزمایشی استفاده شد.

کلیه واحدهای آزمایشی (۱۲۰ واحد آزمایشی شامل ترکیب ۲۰ ژنوتیپ و دو سطح آبیاری در سه تکرار) به صورت تصادفی با شرایط

جدول ۲- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان های آزمایشی

Table 2. Physico-chemical properties of the soil used in the experimental pots

Soil texture	بافت خاک	ظرفیت زراعی (%) Field capacity (%)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	اسیدیته گل اشباع pH of saturated paste	درصد	درصد نیتروژن کل Total Nitrogen (%)	پتاسیم قابل جذب (میلی گرم در کیلوگرم)	فسفر قابل جذب (میلی گرم در کیلوگرم)
			Electrical conductivity (dS m ⁻¹)		مواد آلی O.C. (%)		Avaiable potassium (mg kg ⁻¹)	Availabl phosphorous (mg kg ⁻¹)
Silty-loam	سیلانی-لوم	11.71	2.47	7.66	0.23	0.02	107	3.4



شکل ۲- مراحل رشد و نمو ژنوتیپ‌های گندم نان و دوروم مورد مطالعه در شرایط عدم تنش و تنش رطوبتی در مرحله پرشدن دانه در گلخانه

Fig. 2. Growth and development stages of the studied bread and durum wheat genotypes under non-stress and moisture stress in glasshouse

در طول فصل رشد صفات فنولوژیکی و فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شد. این خصوصیات عبارت بودند از: تعداد روز تا ظهور سنبله (DH: Day to heading)، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی (DPM: Day to physiological maturity)، ارتفاع گیاه (PH: Plant height)، تعداد سنبله (NS: Number of spike)، تعداد دانه در سنبله (NG: Number of grain spike⁻¹)، عملکرد دانه در گیاه (Y: Yield plant⁻¹)، و وزن خشک اندام‌های هوایی (SDW: Shoot dry weight) بودند. مقدار نسبی کلروفیل (به‌عنوان شاخص

SPAD) با استفاده از دستگاه کلروفیل متر (Minolta SPAD-502) و پارامترهای کلروفیل فلورسانس از جمله فلورسانس اولیه (Fo)، عملکرد کوانتوم (Fv/Fm) و ظرفیت فتوسنتزی PSII (Fv/Fo) با استفاده از دستگاه فلوروسنس متر (Opti Science: OS-30) اندازه‌گیری شدند. صفات فیزیولوژیکی مذکور در مرحله پرشدن دانه (زادوکس ۷۵) اندازه‌گیری شدند.

در مرحله رسیدگی کامل و پس از برداشت اندام هوایی، هر لوله از بخش طولی برش داده شده و محتویات ریشه همراه با خاک چسبیده به

آن بر روی یک تور سیمی (برای به حداقل رساندن تلفات ریشه) قرار گرفت و با مقدار زیادی آب به آرامی شسته شدند تا خاک به طور کامل از ریشه‌ها جدا شود (شکل ۳).



شکل ۳- تصویری از فرایند شستشوی ریشه برای ژنوتیپ‌های گندم نان و دوروم مورد مطالعه

Fig. 3. A photo of root washing process for studied bread and durum wheat genotypes

ریشه: زیست توده ریشه)، تراکم بافت ریشه (RTD: Root tissue density) (حجم ریشه × زیست توده ریشه)، نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی (RTS: Root-top ratio) مورد ارزیابی قرار گرفتند. طول ریشه توسط خط کش و از طریق اندازه‌گیری طول بلندترین ریشه گزارش شد.

پس از شستشوی ریشه‌ها، صفات مرتبط با سامانه ریشه (RSA: Root system architecture) از جمله طول ریشه (RL: Root length)، حجم ریشه (RV: Root volume)، وزن خشک ریشه (RDW: Root dry weight)، طول ویژه ریشه (SRL: Specific root length) (نسبت طول بلندترین

شده در صفات تعداد روز تا ظهور سنبله (DH)، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژی (DPM)، وزن خشک اندام هوایی (SDW)، تعداد سنبله در بوته (NS)، تعداد دانه در سنبله (NG) و عملکرد دانه در گیاه و ارتفاع گیاه (PH) تفاوت‌های معنی داری وجود داشت (جدول ۳). بررسی درصد تغییرات هر یک از صفات نشان داد که تنش رطوبتی موجب کاهش روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (DPM) و تمامی صفات مرتبط با اندام‌های هوایی شد (جدول ۳). از آنجاییکه تنش خشکی از مرحله گرده افشانی اعمال شده بود، تفاوت معنی داری از نظر تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد دانه در سنبله و ارتفاع گیاه بین شرایط عدم تنش و تنش رطوبتی مشاهده نشد، در صورتیکه تفاوت معنی داری بین ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی مشاهده شد، که این نتیجه می‌تواند بیانگر تنوع ژنتیکی و تفاوت در خصوصیات رشدی و فنولوژیکی موجود بین آنها باشد.

میانگین تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی در شرایط عدم تنش برابر با ۱۱۶/۶ روز و در شرایط تنش رطوبتی در مرحله پرشدن دانه ۱۱۰/۵ روز بود (جدول ۳). تنش رطوبتی در مرحله پرشدن دانه موجب کاهش ۵/۵۴ درصدی تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی در مقایسه با شرایط عدم تنش شد. میانگین وزن خشک اندام هوایی (SDW) از ۱۲/۵ گرم در شرایط عدم تنش به ۹/۳۶ گرم در شرایط تنش رطوبتی کاهش یافت که این کاهش معادل

حجم ریشه از طریق اندازه‌گیری حجم اضافه شده توسط ریشه‌ها در استوانه مدرج حاوی آب انجام شد و افزایش حجم بر حسب سانتی‌متر مکعب بیان شد. بافت‌های ریشه و اندام هوایی در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت درون آون خشک شدند و به‌عنوان وزن خشک ریشه (RDW) و وزن خشک اندام هوایی (SDW) در نظر گرفته شدند.

پس از جمع‌آوری داده‌های آزمایشی، ابتدا مفروضات تجزیه واریانس (ANOVA) مانند نرمال بودن داده‌ها و همگنی واریانس‌ها بررسی شد. تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SPSS و با هدف بررسی اثر تیمارهای تنش خشکی، ژنوتیپ‌ها و برهمکنش آن‌ها بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای بررسی تأثیر تنش رطوبتی بر صفات مختلف اندازه‌گیری شده، درصد تغییرات نسبی (Relative changes = RC) برای هر صفت نیز محاسبه شد. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) با هدف تفسیر روابط بین صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار XLSTAT انجام شد.

نتایج و بحث

اثر تنش رطوبتی در مرحله پرشدن دانه بر صفات فنولوژیکی و اندام‌های هوایی

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد بین شرایط عدم تنش و تنش رطوبتی و ژنوتیپ‌های ارزیابی

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس برای خصوصیات مرفو-فیزیولوژیکی و مرتبط با ریشه، میانگین و درصد تغییرات ایجاد شده تحت تاثیر تنش رطوبتی در مرحله رشد دانه ژنوتیپ های گندم نان و دو روم

Table 3. Analysis of variance for morpho-physiological and roots related traits of bread and durum wheat genotypes, means and changes (%) as affected by moisture stress in grain filling satge

S.O.V.	منبع تغییر	درجه آزادی df	Mean squares								
			DH	DPM	SDW	NS	NG	Yield	PH	RL	RV
Replication	تکرار	2	12.31	0.66	29.67	4.93	5.06	5.99	120.10	1575.33	7.94
Moisture conditions (MC)	شرایط رطوبتی	1	0.83	1122.4**	296.42**	11.41°	52.01	55.84**	18.41	29109.67**	33.29**
Genotype (G)	ژنوتیپ	19	83.47**	40.3**	20.31**	0.85	155.61**	3.53*	143.83**	2632.20**	2.45**
G × MC	ژنوتیپ × رطوبتی	19	10.90**	10.5**	10.63°	1.58	64.99	2.13	19.86	749.99**	3.03**
Error	خطا	78	2.86	2.7	5.73	2.04	42.83	1.91	29.94	279.46	0.60
Non Stress	عدم تنش		85.38	116.62	12.50	4.32	33.15	4.69	69.08	73.95	1.45
Moisture Stress	تنش رطوبتی		85.55	110.50	9.36	3.70	31.83	3.33	69.86	105.10	2.50
Percentage change	درصد تغییرات		0.2	-5.54	-33.55	-16.76	-4.15	-40.84	-1.12	29.64	42.00

Table 3. Continued.

ادامه جدول ۳-

S.O.V.	منبع تغییر	درجه آزادی df	Mean squares							
			RDW	SRL	RTD	RTS	SPAD	Fo	Fv/Fm	Fv/Fo
Replication	تکرار	2	0.05	14301.7	3.34	0.001	38.21	334471	0.16	11.27
Moisture conditions (MC)	شرایط رطوبتی	1	2.34**	1525733.0**	31.45**	0.036**	2421.91**	1032679**	0.71**	121.61**
Genotype (G)	ژنوتیپ	19	0.10**	50860.1*	2.20**	0.0005**	32.81**	5769	0.012	2.96
G × MC	ژنوتیپ × شرایط رطوبتی	19	0.05°	42494.1	1.53**	0.0004°	13.79*	10206	0.009	3.34
Error	خطا	78	0.03	25094.06	0.70	0.0002	6.76	15758	0.012	3.47
Non Stress	عدم تنش		0.19	489.60	0.37	0.02	50.11	371.20	0.82	4.97
Moisture Stress	تنش رطوبتی		0.47	264.08	1.39	0.05	41.12	556.70	0.66	2.96
Percentage change	درصد تغییرات		59.57	-85.40	73.38	60.00	-21.86	33.32	-24.24	-68.13

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

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

DH: تعداد روز تا ظهور سنبله، DPM: تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی، SDW: وزن خشک اندام های هوایی، NS: تعداد سنبله در گیاه، NG: تعداد دانه در سنبله، Yield: عملکرد دانه در گیاه، PH: ارتفاع گیاه، RL: طول ریشه، RV: حجم ریشه، RDW: وزن خشک ریشه، SRL: طول ویژه ریشه، RTD: تراکم بافت ریشه، RTS: نسبت ریشه به اندام هوایی، SPAD: شاخص کلروفیل، Fo: حداقل فلورسانس کلروفیل، Fv/Fm: عملکرد کوانتوم، Fv/Fo: ظرفیت فتوسنتزی.

DH: Day to heading, DPM: Day to physiological maturity, SDW: Shoot dry weight, NS: Spike no. plant⁻¹, NG: Grain no. spike⁻¹, Yield: Grain yield plant⁻¹, PH: Plant height, RL: Root length, RV: Root volume, RDW: Root dry weight, SRL: Specific root length, RTD: Root tissue density, RTS: Root: shoot ratio, SPAD: Chlorophyll index, Fo: Initial fluorescence, Fv/Fm: Quantum yield, Fv/Fo: Photosynthesis capacity.

۳۳/۵۵ درصد بود. همچنین عملکرد دانه در گیاه در شرایط عدم تنش ۴/۶۹ گرم و در شرایط تنش رطوبتی تا ۳/۳۳ گرم متغیر بود که این کاهش معادل ۴۰/۸۴ درصد برآورد شد (جدول ۳). تعداد سنبله در گیاه نیز در شرایط تنش رطوبتی نسبت به شرایط عدم تنش به میزان ۱۶/۷۶ درصد کاهش یافت.

اثر تنش رطوبتی در مرحله پرشدن دانه بر شاخص کلروفیل و پارامترهای کلروفیل فلورسانس

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که از نظر صفات F_o ، F_v/F_m و F_v/F_o و SPAD بین شرایط عدم تنش و تنش رطوبتی در مرحله پرشدن دانه تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. در صورتیکه در بین ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی فقط شاخص SPAD تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۳). برهمکنش ژنوتیپ × شرایط رطوبتی نیز تنها بر شاخص SPAD معنی‌دار بود. مقدار شاخص SPAD نیز در شرایط تنش کاهش یافت، به طوری که با ۲۱/۸۶ درصد کاهش میانگین این شاخص از ۵۰/۱۱ در شرایط عدم تنش به ۴۱/۱۲ در شرایط تنش خشکی رسید (جدول ۳).

میانگین مقدار F_o بین ۳۷۱/۲ و ۵۵۶/۷ به ترتیب در شرایط عدم تنش و تنش خشکی متغیر بود که بیانگر تأثیر تنش خشکی به میزان ۳۳/۳۲ درصد بر آن می‌باشد (جدول ۳). این نتیجه بیانگر آن است که با افزایش کمبود آب در گیاه، مقدار F_o نیز افزایش می‌یابد و در

نتیجه میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد. در میان پارامترهای کلروفیل فلورسانس، F_o پارامتر مهمی در ارزیابی تأثیرات تنش رطوبتی بر سلامت گیاه است. افزایش مقدار F_o نشان‌دهنده میزان تأثیر شرایط تنش بر غشای تیلاکوئیدی و در نتیجه سلامت سامانه فتوسنتزی است. مقادیر میانگین صفت F_v/F_m در ژنوتیپ‌های مورد بررسی تحت شرایط عدم تنش و تنش رطوبتی به ترتیب برابر با ۰/۸۲ و ۰/۶۶ بود. در شرایط تنش میانگین F_v/F_m نسبت به شرایط عدم تنش به میزان ۲۳/۱۵ درصد کاهش یافت (جدول ۳). علاوه بر این، میانگین F_v/F_o نیز به میزان ۶۸/۱۳ درصد بواسطه تنش رطوبتی در مقایسه با شرایط عدم تنش کاهش یافت و دامنه آن از ۴/۹۷ در شرایط عدم تنش تا ۲/۹۶ در شرایط تنش رطوبتی متغیر بود (جدول ۳).

رانگ هو و همکاران (Roung Hua et al., 2006) بیان کردند که میزان کلروفیل و پارامترهای کلروفیل فلورسانس می‌توانند به عنوان شاخص‌های قابل اعتماد در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی جو در نظر گرفته شوند. همچنین نتایج مطالعه ایشان نشان داد که میزان کلروفیل و F_o ، F_v/F_o و F_v/F_m در ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی جو بطور معنی‌داری بالاتر از ژنوتیپ‌های حساس در شرایط تنش رطوبتی در مرحله پرشدن دانه بود.

اثر تنش رطوبتی در مرحله پرشدن دانه بر ساختار ریشه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش

طول ویژه ریشه (SRL) در بین ژنوتیپ‌های گندم نان و دوروم و سطوح شرایط رطوبتی متفاوت بود. به طوری که میانگین آن از ۴۸۹/۶ در شرایط عدم تنش به ۲۶۴/۱ در شرایط تنش رطوبتی کاهش یافت که نشان‌دهنده ۸۵/۴ درصد کاهش بواسطه تنش رطوبتی بود (جدول ۳). این نتایج با نتایج مطالعات سایر پژوهشگران (Li et al., 2019; Chen et al., 2021) موافقت داشت.

تراکم بافت ریشه (RTD) از ۰/۳۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب در شرایط عدم تنش به ۱/۳۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب در شرایط تنش رطوبتی افزایش یافت که این افزایش ۷۳/۴ درصد برآورد شد (جدول ۳). تراکم بافت ریشه یک ویژگی مهم است که ارتباط نزدیکی با عوامل اساسی تأثیرگذار بر رشد و بقای گیاه دارد (Birouste et al., 2013). ژنوتیپ‌هایی که دارای تراکم بافت ریشه پایین هستند، منابع کمتری را برای توسعه و ساخت هر واحد از حجم ریشه تخصیص می‌دهند. این بدان معناست که این ژنوتیپ‌ها جنبه‌های دیگری از رشد را در اولویت قرار داده و سرمایه‌گذاری کمتری روی اجزای ساختاری سامانه ریشه‌ای خود دارند. این ویژگی به گیاهان اجازه می‌دهد تا سامانه ریشه‌ای گسترده‌تری را توسعه داده و در نتیجه توانایی آن‌ها را در جذب منابع از زیر زمین افزایش دهد (Wahl and Ryser, 2000). نسبت ریشه به ساقه (RTS) نیز متأثر از شرایط رطوبتی در مرحله پرشدن دانه بود و به

رطوبتی در مرحله پرشدن دانه بر کلیه صفات مربوط به سامانه ریشه معنی‌دار بود. بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی نیز تفاوت معنی‌دار از نظر کلیه صفات مشاهده شد. همچنین برهمکنش ژنوتیپ × شرایط رطوبتی نیز بر کلیه صفات به جز SRL معنی‌دار بود (جدول ۳).

تنش رطوبتی میانگین طول ریشه (RL) را در مقایسه با شرایط عدم تنش به میزان ۲۹/۶۴ درصد کاهش داد و دامنه تغییرات آن بین ۷۳/۹ تا ۱۰۵/۱ سانتی‌متر به ترتیب در شرایط عدم تنش و تنش رطوبتی بود (جدول ۳). در شرایطی که تنش رطوبتی اغلب با مراحل حساس فنولوژیک گیاه (مانند مرحله پرشدن دانه) هم‌زمان می‌شود، رشد عمیق‌تر ریشه‌ها اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند، زیرا این ویژگی به گیاه امکان می‌دهد به آب موجود در لایه‌های عمیق‌تر خاک دسترسی پیدا کند و با وجود کمبود آب در سطح خاک، به رشد خود ادامه دهد (Ober et al., Alahmad et al., 2019, 2021).

میانگین حجم ریشه (RV) در شرایط عدم تنش برابر با ۱/۴۵ سانتی‌متر مکعب و در شرایط تنش رطوبتی برابر با ۲/۵۰ سانتی‌متر مکعب بود که در حدود ۴۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). میانگین وزن خشک ریشه (RDW) از ۰/۱۹ گرم در شرایط عدم تنش به ۰/۴۷ گرم در شرایط تنش رطوبتی به میزان ۵۹/۵ درصد افزایش داشت (جدول ۳).

میزان ۶۰ درصد افزایش یافت. در شرایط عدم تنش و تنش رطوبتی در مرحله پرشدن دانه، میانگین نسبت ریشه به ساقه به ترتیب برابر با ۰/۰۲ و ۰/۰۵ بود (جدول ۳). با توجه به نتایج بدست آمده نسبت ریشه به ساقه در ژنوتیپ‌های گندم نان و دوروم مورد بررسی تحت تنش رطوبتی در مرحله پرشدن دانه افزایش یافت. این نسبت معمولاً تحت شرایط نامساعد مانند کمبود آب افزایش می‌یابد (Xu et al., 2015). تغییر در نسبت ریشه به ساقه اغلب با نحوه توزیع کربوهیدرات‌ها بین اندام‌های هوایی و زیرزمینی مرتبط است. پیش از این نیز سایر پژوهشگران یک روند افزایشی برای نسبت ریشه به ساقه در تنش خشکی در برخی از لاین‌های گندم نان و دوروم گزارش کردند (Ahmadi et al., 2018).

مقایسه ژنوتیپ‌های گندم نان و دوروم در دو شرایط رطوبتی

مقایسه میانگین‌های صفات اندازه‌گیری شده در هر گروه از ژنوتیپ‌ها گندم نان و دوروم در چهار اقلیم مختلف: معتدل، گرم و خشک جنوب، گرم و مرطوب شمال و سرد در شرایط بدون تنش و تنش رطوبتی در مرحله پرشدن دانه در جدول ۴ ارائه شده است. ژنوتیپ‌های گندم نان اقلیم سرد به طور معنی‌داری تعداد روز تا ظهور سنبله (DH) و تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیکی (DPM) طولانی‌تری در هر دو شرایط رطوبتی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند.

همچنین وزن خشک اندام هوایی، تعداد دانه و عملکرد دانه در گیاه در این گروه بالاتر بود که تفاوت معنی‌داری با سایر ژنوتیپ‌ها نشان ندادند (جدول ۴). در حالیکه طول ویژه ریشه (SRL) و ارتفاع گیاه (PH) در این ژنوتیپ‌ها کمتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود، و در شرایط بدون تنش رطوبتی از این نظر تفاوت معنی‌دار داشتند (جدول ۴).

ژنوتیپ‌های گندم دوروم اقلیم معتدل در شرایط بدون تنش رطوبتی بالاترین مقدار طول ویژه ریشه (SRL) و ژنوتیپ‌های گندم نان اقلیم گرم و مرطوب شمال بلندترین ارتفاع گیاه (PH) را داشتند (جدول ۴). پس از ژنوتیپ‌های گندم نان اقلیم سرد، ژنوتیپ‌های گندم نان اقلیم معتدل و گرم و مرطوب شمال بیشترین حجم ریشه (RV)، تراکم بافت ریشه (RTD) و نسبت ریشه به اندام هوایی (RTS) را داشتند. نتایج این پژوهش نشان داد که تغییرات قابل توجهی در سامانه ریشه‌ای و وزن خشک مشاهده شد که می‌توان این تفاوت‌ها را به تفاوت‌های موجود در زمینه‌های ژنتیکی بویژه عادت رشدی ژنوتیپ‌های گندم نان و دوروم مورد ارزیابی نسبت داد. این نتیجه با مقایسه بین گروه‌های تأیید شد، به طوری که که ژنوتیپ‌های گندم سازگار به اقلیم‌های مختلف، تغییرات قابل توجهی را در ساختار سامانه ریشه (RSA) و سایر صفات در پاسخ به شرایط تنش رطوبتی در مرحله پرشدن دانه نشان دادند (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین برای صفات مرفو-فیزیولوژیکی و مرتبط با ریشه ژنوتیپ‌های گندم نان و دوروم در شرایط بدون تنش و تنش رطوبتی در مرحله پرشدن دانه
Table 3. Mean comparison for morpho-physiological and root related traits of bread and durum wheat genotypes in non-stress and moisture stress condions in grain filling stage

اقلیم Agro-climatic zone	ژنوتیپ Genotype	DH (day)		DPM (day)		SDW (mg)		NG		Yield (g plant ⁻¹)		PH (cm)	
		بدون تنش Non stress	تنش Stress	بدون تنش Non stress	تنش Stress	بدون تنش Non stress	تنش Stress	بدون تنش Non stress	تنش Stress	بدون تنش Non stress	تنش Stress	بدون تنش Non stress	تنش Stress
گندم نان Bread wheat													
Temperate	G1	85.3	83.0	114.3	109.0	10.2	9.9	33.7	26.7	4.6	3.41	69.0	68.3
	G2	84.3	85.3	117.7	108.0	11.9	7.2	29.0	26.0	3.6	2.08	66.7	65.7
	G3	84.0	84.3	117.7	109.7	15.5	9.1	45.7	31.7	5.8	2.93	68.3	70.0
	G4	83.0	85.3	115.0	113.7	11.9	7.1	28.3	29.0	3.8	3.11	68.3	70.0
S. warm and dry گرم و خشک جنوب	G8	83.0	86.7	116.7	107.0	10.4	10.3	36.7	37.3	3.4	3.43	71.7	80.0
	G9	84.0	84.3	116.3	108.3	12.0	10.0	33.3	31.7	4.6	3.63	71.7	74.3
	G10	82.7	83.3	115.0	113.3	8.1	8.5	29.7	24.6	3.3	2.70	66.7	61.7
	G11	85.7	85.3	116.3	112.7	14.5	7.2	29.3	38.0	4.6	2.57	66.7	68.3
N. warm and humid گرم و مرطوب شمال	G12	82.0	82.3	113.7	108.0	14.8	11.2	33.3	28.7	4.6	4.18	78.3	80.0
	G13	81.7	85.0	113.7	109.0	14.3	10.9	32.0	34.0	6.6	4.36	76.7	78.3
	G14	82.7	84.3	113.0	109.1	14.7	10.3	42.0	39.0	6.8	3.97	73.3	73.3
	G15	83.6	81.3	114.7	109.3	10.2	11.2	34.7	37.7	3.0	3.95	65.0	70.0
Cold	G16	86.3	88.7	115.3	113.0	11.6	11.9	34.7	31.3	4.3	4.22	62.3	60.0
	G17	93.3	89.3	121.3	113.0	16.6	9.2	32.3	36.7	6.9	2.99	70.0	65.0
	G18	94.0	94.0	122.7	116.0	16.7	11.4	32.3	32.7	6.0	3.28	72.3	71.7
	G19	87.3	88.7	118.3	111.7	10.8	9.2	43.0	36.7	4.3	2.83	70.0	66.7
	G20	94.3	94.3	123.0	116.3	15.4	9.3	31.0	26.0	5.4	3.73	61.7	58.3
گندم دوروم Durum wheat													
Temperate	G5	84.0	81.0	115.3	108.7	8.5	4.4	24.3	26.0	3.7	2.04	66.3	68.3
	G6	85.0	79.3	115.7	107.0	9.5	8.7	27.0	32.0	4.4	3.05	68.3	71.7
	G7	81.3	86.0	116.7	106.7	12.4	10.0	20.7	31.0	4.1	4.08	68.3	75.7
LSD5%		3.64		3.54		5.16		14.10		2.23		11.8	

Table 4. Continued.

ادامه جدول ۴-

Agro-climatic zone	اقليم ژنوتیپ Genotype	RL (cm)		RV (cm ³)		RDW (mg)		SRL (cm mg ⁻¹)		RTD (cm ³ mg)		RTS		
		بدون تنش Non stress	تنش Stress	بدون تنش Non stress	تنش Stress	بدون تنش Non stress	تنش Stress	بدون تنش Non stress	تنش Stress	بدون تنش Non stress	تنش Stress	بدون تنش Non stress	تنش Stress	
Bread wheat گندم نان														
Temperate	معتدل	G1	49.3	90.0	0.8	1.50	0.11	0.20	549	455	0.10	0.31	0.011	0.021
		G2	51.7	49.3	1.2	1.00	0.11	0.21	467	233	0.13	0.24	0.010	0.029
		G3	85.0	109.0	1.7	2.90	0.22	0.47	485	244	0.43	1.45	0.013	0.052
	گرم و خشک جنوب S. Warm and Dry	G4	94.3	101.3	1.7	2.67	0.23	0.41	445	252	0.41	1.17	0.021	0.057
		G8	59.3	131.0	0.8	4.16	0.13	0.76	424	174	0.11	3.10	0.012	0.070
		G9	51.7	122.0	1.3	1.50	0.21	0.45	457	276	0.28	0.72	0.019	0.046
گرم و مرطوب شمال N. Warm and Humid	G10	85.0	55.3	0.8	1.67	0.10	0.23	600	240	0.09	0.44	0.011	0.027	
	G11	94.3	99.7	0.8	2.17	0.15	0.35	578	294	0.12	0.81	0.010	0.048	
	G12	90.7	120.6	2.3	3.17	0.31	0.73	343	178	0.74	2.60	0.021	0.064	
	G13	49.3	118.3	0.8	2.17	0.08	0.38	684	312	0.06	0.81	0.006	0.035	
	G14	73.3	105.0	1.3	3.00	0.20	0.49	396	249	0.22	1.93	0.013	0.046	
Cold	سرد	G15	58.7	116.3	1.0	2.33	0.15	0.45	427	276	0.15	1.07	0.015	0.040
		G16	93.3	120.7	2.0	2.16	0.24	0.66	470	234	0.53	1.66	0.024	0.055
		G17	95.3	129.3	3.3	2.17	0.36	0.50	305	277	1.33	1.10	0.022	0.054
	معتدل	G18	109.3	128.7	3.2	3.17	0.42	0.71	284	170	1.51	2.25	0.026	0.062
		G19	72.0	97.7	1.0	2.67	0.13	0.37	574	267	0.15	0.98	0.013	0.040
		G20	92.7	102.3	1.8	3.33	0.35	0.31	290	344	0.69	1.17	0.024	0.032
Durum wheat گندم دوروم														
Temperate	معتدل	G5	49.3	51.7	1.0	1.50	0.09	0.25	462	275	0.09	0.44	0.011	0.057
		G6	56.3	112.7	0.7	2.67	0.07	0.47	803	234	0.05	1.29	0.009	0.062
		G7	82.0	125.6	1.3	3.17	0.14	0.77	619	213	0.21	2.96	0.012	0.076
LSD5%		36.0		1.67		0.37		256		1.80		0.030		

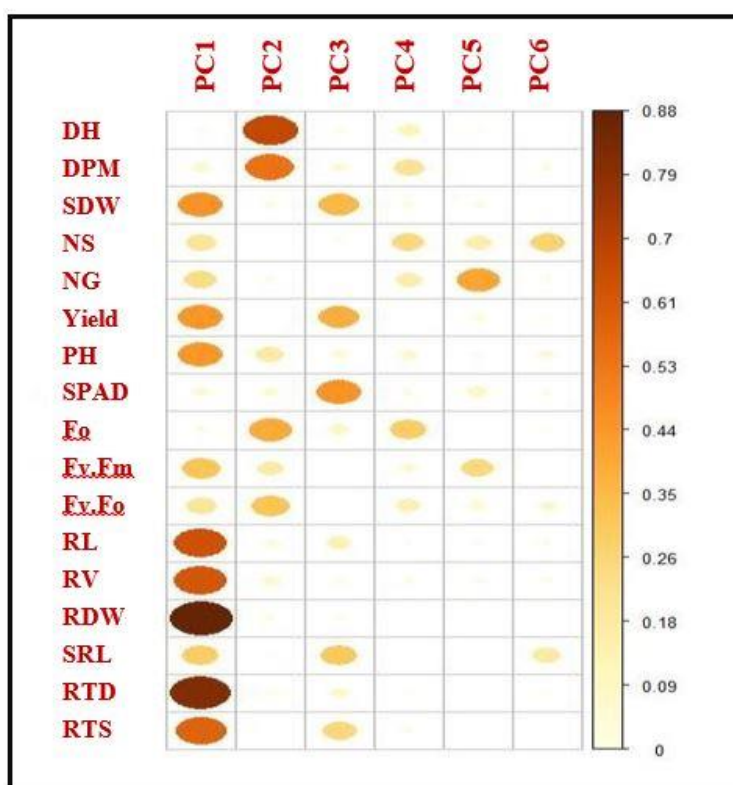
DH: تعداد روز تا ظهور سنبله، DPM: تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی، SDW: وزن خشک اندام‌های هوایی در گیاه (میلی گرم)، NS: تعداد سنبله در بوته، NG: تعداد دانه در سنبله، Yield: عملکرد دانه در گیاه (گرم)، PH: ارتفاع گیاه (سانتیمتر)، RL: طول ریشه (سانتی متر)، RV: حجم ریشه، RDW: وزن خشک ریشه (میلی گرم)، SRL: طول ویژه ریشه (سانتیمتر)، RTD: تراکم بافت ریشه (سانتی متر مکعب بر میلی گرم)، RTS: نسبت ریشه به اندام هوایی.

DH: Day to heading, DPM: Day to physiological maturity, SDW: Shoot dry weight plant⁻¹, NS: Spike no. plant⁻¹, NG: Grain no. spike⁻¹, Yield: Grain yield plant⁻¹, PH: Plant height, RL: Root length, RV: Root volume, RDW: Root dry weight, SRL: Specific root length, RTD: Root tissue density, RTS: Root: shoot ratio.

روابط بین صفات در شرایط تنش رطوبتی در مرحله پرشدن دانه

تجزیه به مؤلفه اصلی (PCA) با هدف بررسی روابط بین صفات و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی در شرایط تنش رطوبتی در مرحله پرشدن دانه انجام شد. نتایج نشان داد که شش مؤلفه اصلی (PCs) نخست

مجموعاً ۸۶/۱ درصد از کل تغییرات فنوتیپی را توجیه کردند. مؤلفه PC1 با توجیه ۳۷/۲۴ درصد از کل تغییرات، با صفات RDW، RTD، RL، RV، RTS، SDW، و عملکرد دانه در گیاه همبستگی مثبت داشت. مؤلفه PC2 با توضیح ۱۵/۳۵ درصد از تغییرات، و رابطه مثبتی با صفات DH و DPM نشان داد (شکل ۴).



شکل ۴- ضرایب استخراجی مربوط به شش مؤلفه نخست حاصل از تجزیه PCA با استفاده از صفات اندازه‌گیری شده برای ژنوتیپ‌های گندم نان و دوروم در شرایط تنش رطوبتی در مرحله پرشدن دانه

Fig. 4. Factor-loading coefficients for extracted PCs using the measured traits for bread and durum wheat genotypes under moisture stress conditions in grainfilling stage

DH: تعداد روز تا ظهور سنبله، DPM: تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، SDW: وزن خشک اندام‌های هوایی، NS: تعداد سنبله در گیاه، NG: تعداد دانه در سنبله، Yield: عملکرد دانه در گیاه، PH: ارتفاع گیاه، RL: طول ریشه، RV: حجم ریشه، RDW: وزن خشک ریشه، SRL: طول ویژه ریشه، RTD: تراکم بافت ریشه، RTS: نسبت ریشه به اندام هوایی، SPAD: شاخص کلروفیل، Fo: حداقل فلورسانس کلروفیل، F_v/F_m: عملکرد کوانتوم، F_v/F_o: ظرفیت فتوسنتزی.

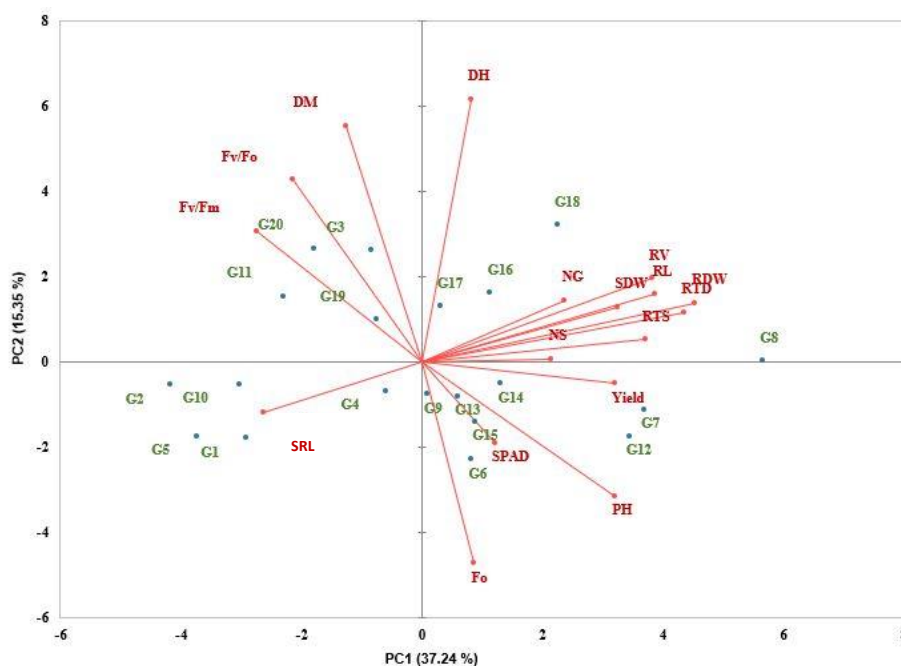
DH: Day to heading, DPM: Day to physiological maturity, SDW: Shoot dry weight, NS: Spike no. plant⁻¹, NG: Grain no. spike⁻¹, Yield: Grain yield plant⁻¹, PH: Plant height, RL: Root length, RV: Root volume, RDW: Root dry weight, SRL: Specific root length, RTD: Root tissue density, RTS: Root: shoot ratio, SPAD: Chlorophyll index, Fo: Initial fluorescence, F_v/F_m: Quantum yield, F_v/F_o: Photosynthesis capacity.

همبستگی منفی و زاویه ۹۰ درجه نشان‌دهنده عدم همبستگی است. بر این اساس، کلیه صفات مرتبط با ریشه، بجز طول ویژه ریشه (SRL) با یکدیگر ارتباط معنی‌دار و مثبتی داشتند. ارتباطات بین عملکرد دانه در گیاه، حداقل فلورسانس کلروفیل (Fo) و شاخص کلروفیل (SPAD) نیز مثبت و معنی‌دار بود. همچنین ارتباطات بین عملکرد کوانتوم (Fv/Fm)، ظرفیت فتوسنتزی (Fv/Fo) و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی (DPM) مثبت و معنی‌دار بود (شکل ۵).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های گندم نان و دوروم ارزیابی شده از نظر کلیه صفات اندازه‌گیری شده، بجز صفات فتوسنتزی، مشاهده شد. همچنین اثر تنش رطوبتی در مرحله پرشدن دانه بر کلیه صفات اندازه‌گیری شده، بجز ارتفاع گیاه، تعداد روز تا سنبله‌دهی و تعداد دانه در سنبله معنی‌دار بود. با توجه به نتایج این پژوهش، تغییرات قابل توجهی در ساختار سامانه ریشه (RSA) و بیوماس خشک مشاهده شد که این تفاوت‌ها می‌توانند ناشی از تفاوت‌های موجود در زمینه‌های ژنتیکی ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی باشند. این نتیجه با مقایسه بین گروه‌های گندم مورد ارزیابی تأیید شد، جایی که ژنوتیپ‌های متعلق به اقلیم‌های مختلف، تغییرات قابل توجهی را در ساختار سامانه ریشه (RSA) و سایر صفات در پاسخ به شرایط تنش رطوبتی در مرحله پرشدن دانه در گلخانه نشان دادند.

مؤلفه PC3 تنها متأثر از صفات SPAD، SDW و عملکرد دانه در گیاه بود و قادر به توجیه ۱۳/۰۱ درصد از تغییرات کل بود. همچنین ۸/۷۶ درصد از تغییرات کل توسط PC4 توجیه شد و این مؤلفه با صفات Fo و NS رابطه مثبتی داشت. PC5 تنها ۶/۶۹ درصد از کل تغییرات فنوتیپی را در شرایط تنش خشکی توجیه نمود و دارای رابطه مثبتی با صفت NG بود. در نهایت، PC6 مقدار ۴/۶۲ درصد از کل تغییرات ارتباط مثبت و معنی‌داری با صفات SRL و NS نشان داد. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان اظهار داشت انتخاب بر اساس بیشترین مقدار PC1 و کمترین مقدار PC2 منجر به شناسایی ژنوتیپ‌های برتر و دارای ویژگی مطلوب مرفوفیزیولوژیکی و مرتبط با ریشه می‌شود. لاین‌های G4، G7، G9، G12، G14، G17 و G18 به عنوان ژنوتیپ‌های برتر و متحمل به تنش رطوبتی در مرحله پرشدن دانه برای کلیه صفات اندازه‌گیری شده شناسایی شدند (شکل ۴).

برای بررسی دقیق‌تر روابط میان صفات اندازه‌گیری شده، یک نمودار بای‌پلات براساس دو مؤلفه اصلی اول، که مجموعاً ۵۲/۵۹ درصد از تغییرات را توضیح دادند، ترسیم شد (شکل ۵). در این نمودار، زاویه‌های حاده کوچک نشان‌دهنده همبستگی‌های قوی و معنی‌دار و زاویه‌های حاده بزرگ نشان‌دهنده همبستگی‌های ضعیف‌تر هستند. علاوه بر این، زاویه‌های باز (بین ۹۰ تا ۱۸۰ درجه) نشان‌دهنده



شکل ۵- بای پلات ترسیم شده بر اساس دو مؤلفه نخست حاصل از تجزیه PCA با استفاده از صفات اندازه گیری شده برای ژنوتیپ های گندم نان و دوروم در شرایط تنش رطوبتی در مرحله پرشدن دانه
 Fig. 5. The biplot based on PC1 and PC2 using the measured traits for bread and

durum wheat genotypes under moisture stress conditions in grainfilling stage

DH: تعداد روز تا ظهور سنبله، DPM: تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، SDW: وزن خشک اندام های هوایی، NS: تعداد سنبله در گیاه، NG: تعداد دانه در سنبله، Yield: عملکرد دانه در گیاه، PH: ارتفاع گیاه، RL: طول ریشه، RV: حجم ریشه، RDW: وزن خشک ریشه، SRL: طول ویژه ریشه، RTD: تراکم بافت ریشه، RTS: نسبت ریشه به اندام هوایی، SPAD: شاخص کلروفیل، Fo: حداقل فلورسانس کلروفیل، Fv/Fm: عملکرد کوانتوم، Fv/Fo: ظرفیت فتوسنتزی.

DH: Day to heading, DPM: Day to physiological maturity, SDW: Shoot dry weight, NS: Spike no. plant⁻¹, NG: Grain no. spike⁻¹, Yield: Grain yield plant⁻¹, PH: Plant height, RL: Root length, RV: Root volume, RDW: Root dry weight, SRL: Specific root length, RTD: Root tissue density, RTS: Root: shoot ratio, SPAD: Chlorophyll index, Fo: Initial fluorescence, Fv/Fm: Quantum yield, Fv/Fo: Photosynthesis capacity.

رقم تکتاز) و G7 (D-400-18) به ترتیب به عنوان متحمل ترین ژنوتیپ های برخوردار از صفات مرقو-فیزیولوژیک و سامانه ریشه مطلوب شناسایی شدند.

نتایج این پژوهش اهمیت صفات مرتبط با ریشه در تحمل به تنش رطوبتی در مرحله پرشدن دانه برای ژنوتیپ های گندم نان و دوروم مورد مطالعه را نشان داد. نگارندگان اذعان دارند که بررسی صفات مرتبط با ریشه در این پژوهش، با

بیشترین تأثیر تنش رطوبتی در این مرحله بر صفات طول ویژه ریشه، حجم ریشه، نسبت ریشه به اندام هوایی، وزن خشک ریشه و اندام هوایی و عملکرد دانه در گیاه بود که منجر به افزایش و یا کاهش میانگین این صفات نسبت به شرایط عدم تنش شد. به طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده از بای پلات مبتنی بر PCA ژنوتیپ های G9 (رقم برات)، G17 (CD-96-10)، G12 (رقم آراز)، G14، G18 (C-96-10)، G10

تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر برای
اجرای این پروژه پژوهشی با کد مصوب
۰۲۰۵۰۲-۰۳۳-۰۳-۰۳-۱۲ سپاسگزاری می‌کنند.

عدم تعارض منافع

نگارندگان اعلام می‌دارند که هیچگونه
تعارض منافی با هم و سایر اشخاص
حقوقی/حقیقی ندارند.

روش و امکانات تشریح شده، یک ارزیابی اولیه
بود. البته این تجربه‌ای بسیار مفید و آموزنده بود
و برای تکمیل و بهبود روش‌های مطالعه ریشه
ژنوتیپ‌های گندم در برنامه‌های پژوهشی آینده
مد نظر قرار خواهد گرفت.

سپاسگزاری

نگارندگان بدین وسیله از پشتیبانی‌های موسسه

References

- Ahmadi, J., Pour-Aboughadareh, A., Fabriki-Ourang, S., Mehrabi, A.A. and Siddique, K.H.M. 2018. Screening wheat germplasm for seedling root architectural traits under contrasting water regimes: potential sources of variability for drought adaptation. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64, pp.1351–1365. DOI: 10.1080/03650340.2018.1432855
- Alahmad, S., Hassouni, E.I., Bassi, F.M., Dinglasan, E., Youssef, C., Quarry, G., Aksoy, A., Mazzucotelli, E., Juhász, A., Able, J.A., Christopher, J., Voss-Fels, K. P. and Hickey, L. T. 2019. A Major root architecture QTL responding to water limitation in durum wheat. *Frontiers Plant Science*, 10, pp. 1–18. DOI: 10.3389/fpls.2019.00436
- Amiri, R., Bahraminejad, S. and Jalali-Honarmand, S. 2013. Effect of terminal drought stress on grain yield and some morphological traits in 80 bread wheat genotypes. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(10), pp.1145-1153.
- FAO. 2023. FAO Statistical data. Available on: www.faostat.org
- Ayalew, H., Ma, X. and Yan, G. 2015. Screening wheat (*Triticum* spp.) genotypes for root length under contrasting water regimes: potential sources of variability for drought resistance breeding. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 201(3), pp.189-194. DOI: 10.1111/jac.12116
- Birouste, M., Zamora-Ledezma, E., Bossard, C., Perez-Ramos, I.M. and Roumet, C. 2013. Measurement of fine root tissue density: a comparison of three methods reveals the potential of root dry matter content. *Plant Soil*, 374, pp.299-313. DOI: 10.1007/s11104-013-1874-y
- Blum, A. 2011. Plant breeding for water limited environments. Springer. New York, USA. 255 pp.

- Bonos, S.A., Rush, D., Hignight, K. and Meyer, W.A. 2004.** Selection for deep root production in tall fescue and perennial ryegrass. *Crop Science*, 44(5), pp.1770–1775. DOI: 10.2135/cropsci2004.1770
- Chen, X., Zhu, Y., Ding, Y., Pan, R., Shen, W., Yu, X. and Xiong, F. 2021.** The relationship between characteristics of root morphology and grain filling in wheat under drought stress. *PeerJ*, 9, e12015. DOI: 10.7717/peerj.12015
- Hail, G.G., Tang, Q., Moghari, S.M.H., Liu, X., Gebremicael, T.G., Leng, G., Kebede, A., Xu, X. and Yun, X., 2020.** Projected impacts of climate change on drought patterns over East Africa. *Earth's Future*, 8(7), pp.1-23. DOI: 10.1029/2020EF001502
- Jafarnezhad, A., Aghaie, H. and Najafian, G. 2013.** Effective traits on grain yield of wheat genotypes under optimal irrigation and drought stress during reproductive phase. *Journal of Applied Crop Breeding*, 1(1), pp.11-22 (in Persian).
- Jalal Kamali, M.R., Najafi Mirak, T. and Asadi, H. 2012.** Wheat: research and development strategies in Iran. Nashr-e-Amoozesh Keshavarzi, Iran. 227 pp.
- Keshavarznia, R., Shahbazi, M., Mohammadi, V., Hosseini Salekdeh, Gh., Ahmadi, A. and Mohseni-Fard, E. 2015.** The impact of barley root structure and physiological traits on drought response. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 45(4), pp.553-563 (in Persian). DOI: 10.22059/ijfcs.2014.53565
- Kulkarni, M. and Phalke, S. 2009.** Evaluating variability of root size system and its constitutive traits in hot pepper (*Capsicum annum* L.) under water stress. *Scientia Horticulturae*, 120(2), pp.159-166. DOI: 10.1016/j.scienta.2008.10.007
- Li L, Peng Z., Mao, X., Wang, J., Chang, X., Reynolds, M. and Jing R. 2019.** Genome-wide association study reveals genomic regions controlling root and shoot traits at late growth stages in wheat. *Annals of Botany*, 124(6), pp.993–1006. DOI: 10.1093/aob/mcz041
- Li, X., Ingvordsen, C.H., Weiss, M., Rebetzke, G.J., Condon, A.G., James, R.A., and Richards, R.A. 2019.** Deeper roots associated with cooler canopies, higher normalized difference vegetation index, and greater yield in three wheat populations grown on stored soil water. *Journal of Experimental Botany*, 70(18), pp.4963-4974. DOI: 10.1093/jxb/erz232
- Lopes, M.S. and Reynolds, M. 2010.** Partitioning of assimilates to deeper roots is associated with cooler canopies and increased yield under drought in wheat. *Functional Plant Biology*, 37(2), pp.147-156. DOI: 10.1071/FP09121
- Moosavi, M., Khorassani, R., and Tavakkol Afshari, R. 2022.** Effect of phosphorus on iron,

- zink and potassium uptake and the characteristics of root and shoot of wheat in different moisture regimes. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 12(4), pp.77-98 (in Persian).
- Naseri, R., Barati, M., Zarea, M.J., Khavazi, K. and Tahmasebi, Z. 2016.** Studying morphological characteristics of seminal and adventitious root systems of durum and bread wheat cultivars. *Journal of Crop Ecophysiology*, 38(10), pp.477-492 (in Persian). DOI: 10.22069/EJSMS.2023.20359.2066
- OECD/FAO. 2020.** OECD-FAO Agricultural outlook 2020-2029. FAO, Rome/OECD Publishing, Paris. 330 pp. DOI: 10.1787/1112c23b-en.
- Ober, E.S., Alahmad, S., Cockram, J., Forestan, C., Hickey, L. T., Kant, J., Maccaferri, M., Marr, E., Milner, M., Pinto, F., Rambla, C., Reynolds, M., Salvi, S., Sciara, G., Snowdon, R.J., Thomelin, P., Tuberosa, R., Uauy, C., Voss-Fels, K.P., Wallington, E. and Watt, M. 2021.** Wheat Root systems as a breeding target for climate resilience. *Theoretical and Applied Genetics*, 134(6), pp.1645–1662. DOI: 10.1007/s00122-021-03819-w
- Pais, I.P., Moreira, R., Semedo, J.N., Reboredo, F.H., Lidon, F.C., Coutinho, J., Maças, B. and Scotti-Campos, P. 2022.** Phenotypic Diversity of Seminal Root Traits in Bread Wheat Germplasm from Different Origins. *Plants*. 11(21), 2842. DOI: 10.3390/plants11212842
- Passioura, J. 2006.** Increasing crop productivity when water is scarce-from breeding to field management. *Agricultural Water Management*, 80(1-3), pp.176-196. DOI: 10.1016/j.agwat.2005.07.012
- Pirnajmedin, F., Majidi, M. and Gheysari, M. 2015.** Root and physiological characteristics associated with drought tolerance in Iranian tall fescue. *Euphytica*, 202(1), pp.141–155. DOI: 10.1007/s10681-014-1239-5
- Rong Hua, L.I, Pei guo, G., Baum, M., Grando, S and Ceccarelli, S. 2006.** Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameter as indicator of drought tolerance in barley. *Agricultural Sciences in China*, 5(10), pp.751–757. DOI: 10.1016/S1671-2927(06)60120-X
- Shukla, S., Singh, K., Patil, R.V., Kadam, S., Bharti, S., Prasad, P., Singh, N.K. and Khanna-Chopra, R. 2015.** Genomic regions associated with grain yield under drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L). *Euphytica*, 203, pp.449–467. DOI: 10.1007/s10681-014-1314-y
- Wahl, S. and Ryser, P. 2000.** Root tissue structure is linked to ecological strategies of grasses.

New Phytology, 148(3), pp.459–471. DOI: 10.1046/j.1469-8137.2000.00775.x

Wasson, A.P., Richards, R.A., Chatrath, R., Misra, S.C., Sai Prasad, S.V., Rebetzke, G.J., Kirkegaard, J.A., Christopher, J. and Watt, M. 2012. Traits and selection strategies to improve root systems and water uptake in water-limited wheat crops. *Journal of Experimental Botany*, 63(9), pp.3485-3498. DOI: 10.1093/jxb/ers111

Xu, W., Cui, K., Xu, A., Nie, L., Huang, J. and Peng, S. 2015. Drought stress condition increases root to shoot ratio via alteration of carbohydrate partitioning and enzymatic activity in rice seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37, 9. DOI: 10.1007/s11738-014-1760-0

RESEARCH ARTICLE

DOI: 10.22092/spj.2026.372037.1463

Evaluation of Morpho-physiological and Root-Related Traits of Some Bread and Durum Wheat Genotypes as Affected by Moisture Stress in Grain Filling Stage in Glasshouse Conditions

S. Sanjani^{1*} , **M. Esmailzadeh Moghaddam²** , **T. Najafi Mirak²** ,
A. Pour-Aboughadareh¹  and **Sh. Danyali Takhtgahi³**

1. Assistant professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization. Karaj, Iran.
2. Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization. Karaj, Iran.
3. Expert, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization. Karaj, Iran.

ABSTRACT

Sanjani, S., Esmailzadeh Moghaddam, M., Najafi Mirak, T., Pour-Aboughadareh, A. and Danyali Takhtgahi, Sh. 2025. Evaluation of morpho-physiological and root-related traits of some bread and durum wheat genotypes as affected by moisture stress in grain filling stage in glasshouse conditions. *Seed and Plant*, 41, pp.115-141 (in Persian).

This research was carried out to evaluate morpho-physiological and root-related traits of 20 bread and durum wheat genotypes of southern warm and dry, northern warm and humid, temperate, and cold agro-climatic zones in Iran, under non-stress and moisture stress conditions in grain filling stage. The experiment was conducted using factorial arrangements in randomized complete block design with three replications in glasshouses of Cereal Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran, in 2023-24. The results showed significant differences among genotypes for all measured traits. The highest reductions in traits due to moisture stress were related to specific root length (SRL), grain yield plant⁻¹, shoot dry weight plant⁻¹ (SDW), and photosynthetic capacity (Fv/Fo). The highest increases due to moisture stress were observed to root volume density (RTD), root: top ratio (RTS), root dry weight plant⁻¹ (RDW) and root volume (RV). Using PCA-based biplot, genotypes G9 (Barat), G17 (CD-96-10), G18 (C-96-10), G12 (Araz), G14 (Taktaz) and G7 (D-400-18) were identified as moisture stress tolerant with desirable morpho-physiological and root-related traits. These bread and durum wheat genotypes can be using in the national wheat breeding programs for development of moisture stress tolerance in grain filling stage of new cultivars.

Keywords: Wheat, physiological traits, specific root length, root dry weight, root volume, grain yield plant⁻¹.

Introduction

Wheat is the world's most important cereal, which has the largest cultivated area and plays a central role in global food supply and security (OECD/FAO, 2020). The world's wheat cultivated area was 220 million hectares, and the total production was about 805 million tons in 2023. Iran, with a cultivated area of 6.2 million hectares and a total production of 13.5 million tons, ranked 13th among other major wheat producer countries (FAO, 2023).

Drought is one of the limiting factors for wheat production worldwide, and is a serious threat to food security. About one-third of the world's cultivated land is in arid and semi-arid regions (Blum, 2011). It seems that in improving new wheat cultivars, it is necessary to study the characteristics of the root system because the roots play key role in water and nutrients uptakes from the soil. In fact, the root structure determines the plant's ability to absorb resources from the soil (Pirnajmedin *et al.*, 2015).

The present study, therefore, aimed to evaluate the morpho-physiological and root related traits of bread and durum wheat genotypes under non-stress and moisture stress conditions in grain filling stage.

Materials and Methods

This research was conducted in the glasshouses of the Seed and Plant Improving Institute as factorial arrangements in randomized complete block design with three replications in 2023-24. The main factor was: non- stress (optimal irrigation based on soil field capacity) and moisture stress (irrigation was ceased from the flowering stage), and the second factor included 20 bread and durum wheat genotypes developed by the national wheat breeding programs for temperate, southern warm and dry, northern warm and humid, and cold agro-climatic zones in Iran.

After seed germination, the seedlings were sown in small plastic pots and were transferred to freezer and kept at 4°C for two weeks, to satisfy their low temperature requirements. Then the seedlings were transferred to the glasshouse and grown in plastic tubes (130 cm high and 12 cm in diameter) containing soil and sand (3:1 ratio).

The traits measured in this experiment were day to heading (DH), day to physiological maturity (DM), plant height (PH), spike number plant⁻¹(NS), grain number spike⁻¹ (NG), grain yield plant⁻¹ (Yield) and shoot dry weight plant⁻¹ (SDW), chlorophyll index (SPAD), chlorophyll fluorescence parameters, root length (RL), root volume (RV), root dry weight plant⁻¹ (RDW), specific root length (SRL), root volume density (RTD: root volume multiply by root dry biomass), and root: top ratio (RTS).

Analysis of variance was performed using SPSS software. Principal component analysis (PCA) was performed using XLSTAT software to interpret the relationships between measured traits.

Results and Discussion

The results revealed significant differences among genotypes for all measured traits. Also, the effect of moisture stress on all measured traits, except plant height, was significant. The results showed significant changes in the morpho-physiological and root related traits, which can be attributed to the differences in the genetic backgrounds of the studied bread and durum wheat genotypes. This result was confirmed by comparing responses of wheat genotypes of different agro-climatic zones to moisture stress in grain filling stage.

The greatest effect of moisture stress in grain filling stage was on specific root length, root volume density, root: top ratio, root and shoot dry weight plant⁻¹ as well as grain yield plant⁻¹, which led to increases or decreases in these traits compared to non-stress conditions. This finding is in accordance with the results reported by other researchers (Pirnajmedin *et al.*, 2015)

In general, the results of PCA-based biplot showed that wheat genotypes; G9 (cv. Barat), G17 (CD-96-10), G18 (C-96-10), G12 (cv. Araz), G14 (cv. Taktaz) and G7 (D-400-18) were tolerant genotypes to moisture stress in grain filling stage with a more desirable morpho-physiological and root-related traits. These genotypes can be used as parental genotypes in the national wheat breeding programs to develop and improve moisture stress tolerance in grain filling stage in new cultivars.

References

- Anonymous. 2023.** FAO statistical data. Available on: www.faostat.org
- Blum, A. 2011.** Plant breeding for water limited environments. Springer. New York, USA. 255 pp.
- OECD/FAO. 2020.** OECD-FAO Agricultural Outlook 2020-2029. FAO, Rome/OECD Publishing, Paris. 330 pp. DOI: 10.1787/1112c23b-en.
- Pirnajmedin, F., Majidi, M. and Gheysari, M. 2015.** Root and physiological characteristics associated with drought tolerance in Iranian tall fescue. *Euphytica*, 202(1), pp.141–155. DOI: 10.1007/s10681-014-1239-5

*Corresponding author: sanjani20_s@yahoo.com

Tel.: +98263671106

Received: 15 March 2025

Accepted: 31 May 2025



2025© Seed and Plant. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.