دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

"مقاله پژوهشی"

بررسی روابط بین صفات ریشه‌ای با عملکرد و اجزای عملکرد گندم نان تحت شرایط دیم

رامین صادق‌قول‌مقدم[۱]، جلال صبا[۲]، فرید شکاری[۳] و مظفر روستایی[۴]

۱- دانشجوی دکتری، زنجان، دانشگاه زنجان، دانشکده کشاورزی، گروه ژنتیک و تولید گیاهی (نویسنده مسوول: s.moghadam@znu.ac.ir)
۲- استاد، زنجان، دانشگاه زنجان، دانشکده کشاورزی، گروه ژنتیک و تولید گیاهی
۳- دانشیار، زنجان، دانشگاه زنجان، دانشکده کشاورزی، گروه ژنتیک و تولید گیاهی
۴- دانشیار، مراغه، مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، بخش تحقیقات غلات

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۳۰
صفحه: ۱۳۶ تا ۱۵۰

چکیده

اصلاح ارقام زراعی جدید با سیستم‌های ریشه‌ای کارآمد پتانسیل بسیار خوبی برای افزایش بهره‌وری در استفاده از منابع و سازگاری گیاهان با آب و هوای ناپایدار و بهبود عملکرد دارد. مطالعه حاضر به‌منظور بررسی روابط خصوصیات ریشه‌ای با عملکرد و اجزای عملکرد گیاه در ۲٤ لاین و رقم گندم نان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط دیم مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹٦ و ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان‌دهنده تفاوت بین سال‌ها و تنوع بالا میان ژنوتیپ‌ها برای اکثر صفات اندازه‌گیری شده بود. بر اساس نتایج بررسی پارامترهای ژنتیکی، بیشترین میزان وراثت پذیری مربوط به صفت تعداد دانه در سنبله (۷۰/۳۲۸ درصد) بود و وراثت‌پذیری اکثر صفات ریشه‌ای پایین بود. همبستگی بالا و معنی‌داری بین عملکرد با وزن هزاردانه وجود داشت. در حالیکه همبستگی عملکرد با اکثر صفات ریشه‌ای به غیر از قطر ریشه منفی بود. نتایج تجزیه علیت متوالی نشان داد که در مرحله اول زنجیره صفات وزن هزاردانه، تعداد سنبله در مترمربع و تعداد دانه در سنبله بر عملکرد دانه تأثیرگذار بودند و در مرحله دوم زنجیره صفات وزن خشک و قطر ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵ و حجم ریشه تا عمق ^{cm}۲۵ با تأثیر بر وزن هزاردانه، حجم ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵ و وزن خشک ریشه تا عمق ^{cm}۲۵ با تأثیر بر تعداد سنبله در مترمربع و حجم ریشه تا عمق ^{cm}۲۵ با تأثیر بر تعداد دانه در سنبله به‌طور غیر مستقیم بر عملکرد دانه تأثیر داشتند. نتایج تجزیه به عامل‌ها منجر به شناسایی چهار عامل شد که در مجموع ۸۲/٤۵ درصد از تغییرات بین داده‌ها را تبیین کردند. بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مورد بررسی در سه گروه قرار گرفتند که ارقام و لاین‌های قرار گرفته در گروه دوم با داشتن بیشترین حجم، قطر، وزن خشک، سطح و طول ریشه تا عمق ^{cm}۲۵، بیشترین مقدار عملکرد را دارا بودند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه علیت متوالی، پارامترهای ژنتیکی، عملکرد دانه، قطر ریشه، گندم

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات غذایی در سرتاسر جهان است که از لحاظ سطح زیر کشت و میزان تولید رتبه دوم را در بین گیاهان مختلف زراعی دارا می‌باشد (۱۱). بنابراین پیشرفت‌های ژنتیکی در تولید پایدار گندم می‌تواند تا حد زیادی در امنیت غذایی جهان نقش داشته باشد (۴۵). میانگین عملکرد گندم در دنیا نزدیک ۳/۴۲۵ و میانگین عملکرد گندم در ایران ۲/۱۶۴ تن در هکتار گزارش شده است (۱۱). رشد و عملکرد گیاهان زراعی در بسیاری از مناطق دنیا تحت‌تأثیر تنش‌های زیستی و غیرزیستی محدود می‌شود (۲۳). در رویکرد جدید اصلاح نباتات باید صفات گیاهی در نظر گرفته شود که باعث توسعه ارقامی می‌شود که قادر به غلبه بر شرایط چالش‌برانگیز رشد باشند (۱۹). از این نظر ریشه‌ها با داشتن طیف وسیعی از خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی نقش اساسی در جذب آب و مواد غذایی، کارایی مصرف آب و در نهایت عملکرد محصول دارند (۳۶،۲۹).

ریشه‌ها به نیمه پنهان گیاه معروف هستند که در زیر زمین در حال رشد هستند و عملکرد آن‌ها نقش مهمی در رشد و عملکرد گیاهان دارد، همچنین در بهبود بهره‌وری منابع به گیاه کمک کرده و می‌توانند تغییرات خاک مانند محتوای آب و مواد غذایی را احساس کنند (۱۵). احساس کمبود آب در ریشه‌ها با یکی از شدیدترین تنش‌هایی که در گیاهان رخ می‌دهد یعنی تنش خشکی ارتباط دارد. تغییرات ریشه در خاک به‌سرعت به اندام‌های هوایی منتقل می‌شود و اصلی‌ترین اندام‌ها برای پاسخ، درک و حفظ عملکرد در شرایط بروز خشکی هستند (۶). به‌همین دلیل بهبود صفات ریشه‌ای که منجر به افزایش کارایی گسترش بافت‌ها در جستجوی آب خاک و حفظ عملکرد تحت شرایط کمبود آب می‌شود، مورد علاقه پژوهشگران قرار گرفته است (۳۹). اصلاح ارقام زراعی جدید با سیستم‌های ریشه کارآمد پتانسیل بسیار خوبی برای بهبود بهره‌وری از منابع و سازگاری گیاهان با آب و هوای ناپایدار دارد (۱۹).

زمانی که محققان برای اولین بار (۱) به بررسی اهمیت رشد ریشه و تأثیر آن بر عملکرد گندم پرداختند، ارتباط بین صفات ریشه‌ای و پتانسیل عملکرد گندم در تحقیقات متخصصین زراعت و اکولوژیست‌ها مورد تأکید قرار گرفت (۴۲). همان‌طور که اصلاح برای خصوصیات مربوط به اندام‌های هوایی باعث افزایش عملکرد می‌شود، انجام مطالعات در مورد ریشه نیز می‌تواند سبب شناخت عوامل مؤثر بر افزایش عملکرد شده و در شرایط بحرانی تنش، موفقیت تولید را تضمین نماید (۱۷). محققین معتقدند بهبود عملکرد

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/jcb.12.36.136]

گندم از طریق اصلاح سیستم ریشه می‌تواند به انقلاب سبز دوم منجر شود به این دلیل که موجب افزایش جذب منابع و کاهش نیاز کودی می‌شود (۱۳).

در مطالعات زیادی تأثیر سیستم ریشه بر عملکرد گندم مورد بررسی قرار گرفته است (۱۴،۳۲،۲۶،۷،۳۳،۴۴). با این‌حال گزارش‌های متضادی در مورد ارزش سیستم ریشه برای تولید عملکرد تحت شرایط تنش خشکی وجود دارد. برخی دلایل حاکی از مؤثر بودن سیستم ریشه‌ای بزرگ برای جذب آب بیشتر و کاهش اثر تنش است (۴۵،۱۰،۳۱). در حالیکه در دیدگاه دیگر استدلال بر این است که از آنجا که ریشه‌ها یک مخزن اصلی برای اسیمیلات‌ها در گیاه محسوب می‌شوند، کاهش اندازه ریشه باعث افزایش دسترسی اندام‌های روی زمین از جمله دانه به این اسیمیلات‌ها می‌شود (۹،۴۰). مطالعه رابطه بین مورفولوژی ریشه و عملکرد دانه گندم در استرالیا نشان دهنده اهمیت ریشه‌های عمیق برای جذب آب در شرایط تنش و جلوگیری از بروز تنش در مراحل حساس رشد بود که منجر به افزایش شاخص برداشت شد (۵). در مطالعه‌ای دیگر نیز عنوان شد وجود آب به هنگام گلدهی با افزایش توزیع ریشه در لایه‌های عمیق خاک باعث افزایش جذب آب و افزایش کارایی مصرف آب در گندم برای تولید دانه می‌شود که منجر به تولید بیشتر گل، غلاف و در نهایت تولید عملکرد بیشتر در گیاه می‌شود (۱۶). با این حال در برخی مطالعات دیگر انعطاف‌پذیری سیستم ریشه دلیل بهبود ساختار ریشه و سازگاری آن با میزان رطوبت خاک و در نهایت بهبود عملکرد گزارش شده است (۲۲،۳۸). در مطالعه‌ای که بر روی سیستم ریشه در ۳۴ ژنوتیپ گندم انجام شد، همبستگی بین عملکرد با صفات مربوط به اندازه ریشه شامل طول ریشه، اندازه ریشه‌های اولیه و مساحت ریشه مثبت و معنی‌دار گزارش شد (۳). در مطالعه‌ای دیگر نیز همبستگی مثبت اما کم بین صفات ریشه و عملکرد گزارش شد (۱۴).

بر اساس نظر برخی محققین از جمله دلایل عقب بودن تحقیقات ریشه نسبت به اندام‌های هوایی، وراثت‌پذیری نسبتاً کم صفات ریشه‌ای و انعطاف‌پذیری آن‌ها در پاسخ به محیط و خاک می‌باشد (۸). بررسی تاریخچه توسعه صفات ریشه مرتبط با عملکرد در ۱۷ رقم گندم زمستانه طی ۶۰ سال، نشان‌دهنده افزایش بیوماس ریشه در سطح خاک و انعطاف‌پذیری بیشتر ریشه در عمق خاک در ارقام جدید برای بهبود عملکرد و سازگاری با تغییرات آب قابل دسترس خاک بود (۳۴).

به‌نژادگران گیاهی اغلب روی قسمت‌های هوایی گیاه یعنی قسمت‌هایی که به سادگی قابل بررسی و مطالعه هستند، تمرکز کرده‌اند. اما ریشه‌ها به‌دلیل سخت بودن مطالعه آن‌ها کمتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند این در حالی است که ریشه‌ها نقش بسیار مهمی در رشد و عملکرد محصولات زراعی دارند. طبق تحقیقات انجام شده تا به‌حال هیچ‌گونه مطالعه‌ای روی سیستم ریشه‌ای ارقام دیم در شرایط مزرعه‌ای انجام نشده است لذا مطالعه حاضر به‌منظور بررسی رابطه بین خصوصیات ریشه‌ای و عملکرد و اجزای عملکرد گندم در شرایط دیم انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی رابطه بین صفات ریشه‌ای با عملکرد و اجزای عملکرد دانه، ۱۱ رقم گندم دیم پاییزه به نام‌های سرداری، هما، آذر۲، تکاب، اوحدی، رصد، هشترود، باران، سائین، صدرا و کراس سبلان (ارقام دیم مقاوم به سرما) به‌همراه ۱۳ لاین پیشرفته گندم نان (لاین‌های حاصل از چندین سال گزینش در جمعیت‌های حاصل از تلاقی مابین ۱۶ لاین گندم داخلی و خارجی به دو صورت تلاقی‌های متقارب (برای تشکیل یک جمعیت منبع) و تلاقی‌های دو به دو (برای تشکیل ۸ جمعیت) به‌روش مخلوط بالک-شجره‌ای) در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط دیم مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان واقع در ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۷ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۶۲۰ متر از سطح دریا طی دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ کشت و ارزیابی شدند. میزان بارش و میانگین دمای محل آزمایش در سال‌های زراعی مزبور در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- میزان بارش (میلی‌متر) و میانگین دمای هوا (سانتی‌گراد) در دانشگاه زنجان از اول مهرماه تا آخر تیر ماه طی دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷

Table 1. Precipitation (mm) and average temperature (°C) in Zanjan University from October to July during the two cropping years 2017-18 and 2018-19

سال	۱۳۹۶							۱۳۹۷		
ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
میزان بارش (mm)	۰	۱۱/۷	۲۰	۱۷/۵	۷۰/۳	۲۶/۸	۱۴/۲	۶۲	۲۳/۲	۰
میانگین دما (°c)	۱۵/۷	۱۲/۷	۳/۸	۵/۵	۲/۳	۷/۵	۱۱/۸	۱۳/۳	۱۹/۳	۲۶/۳
سال	۱۳۹۷							۱۳۹۸		
ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
میزان بارش (mm)	۹/۸۷	۳۴/۳۱	۶۴/۹۴	۴۵/۰۸	۲۲/۵۸	۷۱/۸۰	۵۸/۵۰	۶۲/۷۱	۵/۰۲	۲/۴۰
میانگین دما (°c)	۱۲/۹۰	۵/۷۷	۳/۳۳	۰/۲۱	۱/۷۵	۳/۹۶	۸/۵۷	۱۶/۴۷	۲۳/۲۷	۲۵/۱۵

برای اجرای این آزمایش، تعدادی لوله‌های پی‌وی‌سی به قطر ۲۰ سانتی‌متر و طول ۱۲۰ سانتی‌متر در سه تکرار در داخل خاک مزرعه با بافت لومی-رسی کار گذاشته شدند. جهت تسهیل خارج نمودن لوله‌های پی‌وی‌سی در انتهای فصل از خاک، داخل آنها لوله‌هایی با قطر ۱۵ سانتی‌متر قرار گرفت و فضای بین دو لوله توسط فوم ۲ سانتی‌متری پر شد. داخل این لوله‌ها هم کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شده و داخل آنها با خاک مزرعه پر شد.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/jcb.12.36.136]

نیازهای کودی خاک با توجه به آزمون خاک و حدود بحرانی گیاه گندم محاسبه و به خاک اضافه شد (کود اوره و کود سوپر فسفات هر کدام ۵۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت). با توجه به اینکه آزمایش برای شرایط دیم طراحی شده بود، آبیاری قبل از کاشت انجام نشد. با اینحال، به‌منظور یکسان کردن رطوبت مزرعه و لوله‌ها از خاک مزرعه و لوله نمونه تهیه شد و پس از تعیین رطوبت، در صورت وجود اختلاف بین رطوبت خاک مزرعه و خاک لوله‌ها، به هر لوله به میزان لازم آب اضافه شد. این کار در طول فصل زراعی به جهت یکسان کردن رطوبت خاک لوله‌ها با زمین زراعی به‌طور مستمر و حسب نیاز انجام شد. در هر لوله نیز تعداد ۱۲ بذر در ۱۵ مهرماه کشت شد که پس از سبز شدن به ۷ عدد تنک شد. لوله‌ها در انتهای فصل رشد از زمین خارج شده و صفات ریشه‌ای در دو بخش تا عمق **۲۵cm** و بیش از آن، شامل مجموع طول ریشه، قطر ریشه، حجم ریشه، سطح ریشه و بیوماس ریشه و همچنین عملکرد دانه و اجزای عملکرد شامل تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه از پنج بوته اندازه‌گیری شدند. به‌منظور سهولت در جداسازی ریشه‌ها از خاک و جلوگیری از ایجاد خسارت به ریشه‌های اصلی و فرعی پس از خروج کیسه‌های پلاستیکی از لوله‌های پی‌وی‌سی ستون خاک به‌همراه پلاستیک اطراف آن بر روی صفحه مشبک گذاشته شده و حدود ۱۰ دقیقه در ظرف حاوی آب قرار داده شد. سپس کیسه پلاستیکی حاوی بستر کاشت و ریشه درون آن به آهستگی از آب خارج شده و ریشه‌ها با استفاده از فشار ملایم آب شسته شد و تا زمان اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر در الکل ۵۰ درصد نگهداری شد.

بعد از اندازه‌گیری صفات، تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل به‌صورت تجزیه مرکب در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. اجزای واریانس با امید ریاضی میانگین مربعات به شرح زیر محاسبه شدند (۳۷).

$\sigma^2_e = M_3$

σ^2_e واریانس محیطی و M_3 میانگین مربعات خطا می‌باشد.

$\sigma^2_g = \frac{M_1 - M_2}{ry}$

σ^2_g واریانس ژنتیکی و M_1 میانگین مربعات ژنوتیپ، M_2 میانگین مربعات اثرمتقابل ژنوتیپ×سال، r تعداد تکرار و y تعداد سال می‌باشد.

$\sigma^2_{yg} = \frac{M_1 - M_3}{r}$

σ^2_{yg} واریانس اثر متقابل ژنوتیپ×سال و M_1 میانگین مربعات ژنوتیپ، M_3 میانگین مربعات خطا و r تعداد تکرار می‌باشد.

$\sigma^2_p = \frac{\sigma^2_e}{ry} + \frac{\sigma^2_{yg}}{y} + \sigma^2_g$

σ^2_p واریانس فنوتیپی، σ^2_e واریانس محیطی، σ^2_{yg} واریانس اثر متقابل ژنوتیپ×سال، σ^2_g واریانس ژنتیکی، r تعداد تکرار و y تعداد سال می‌باشد.

وراثت‌پذیری عمومی به‌عنوان درصدی از نسبت واریانس ژنتیکی به واریانس فنوتیپی محاسبه شد. گفتنی است که واریانس‌های ژنتیکی و فنوتیپی با فرمول‌های بالا و بر مبنای میانگین ژنوتیپ‌ها بدست آمد. از آنجا که در گیاهان خودگشن با درصد بالای خودگشنی، واریانس غالبیت وجود ندارد یا بسیار کم است، می‌توان واریانس ژنتیکی را معادل واریانس افزایشی در نظر گرفت بنابراین وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی تقریباً با هم برابر هستند (۲).

پیشرفت ژنتیکی به‌صورت درصد مطلق از میانگین (GA_m) با در نظر گرفتن گزینش پنج درصد از ژنوتیپ‌های برتر برابر برآورد شد (۲۰).

$$GA_m = K\left(\frac{\sigma_g^2}{\sigma_p^2}\right) \times \frac{100}{\bar{x}}$$

GA_m درصد پیشرفت ژنتیکی، K ضریب گزینش (برای شدت گزینش پنج دردصد برتر معادل ۲/۰۶)، σ^2_g واریانس ژنتیکی، σ^2_p واریانس فنوتیپی و $\bar{x}$ میانگین جامعه می‌باشد.

به‌منظور بررسی روابط بین صفات تجزیه ضرایب همبستگی ساده پیرسون و تجزیه‌های آماری چند متغیره شامل تجزیه رگرسیون و تجزیه علیت متوالی انجام شد. از تجزیه با عامل‌ها با استفاده از روش مؤلفه‌های اصلی و چرخش عامل‌ها به‌روش وریماکس به‌منظور درک روابط داخلی صفات و تعیین گروهی متغیرهایی با بیشترین همبستگی استفاده گردید. برای تهیه ماتریس ضرایب عاملی، عامل‌هایی که ریشه مشخصه آن‌ها بزرگ‌تر از یک بود انتخاب شدند. به‌منظور گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد بررسی بر اساس صفات اندازه‌گیری شده، تجزیه خوشه‌ای با استفاده از داده‌های استاندارد شده به‌روش وارد و فاصله اقلیدسی انجام شد. جهت انتخاب بهترین گروه‌ها از تجزیه واریانس چند متغیره بر مبنای طرح کاملاً تصادفی نامتعادل استفاده گردید. در این تجزیه گروه‌ها به‌عنوان تیمار و لاین‌های داخل گروه‌ها به‌عنوان تکرار در نظر گرفته شدند. در حالت‌های مختلف برش دندروگرام گروه‌بندی انجام شد و حالتی‌که بیشترین مقدار F را داشت انتخاب شد. تجزیه‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS 9.01 و SPSS 21 انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه مرکب نشان‌داد که اثر سال برای تمام صفات اندازه‌گیری شده به غیر از قطر ریشه تا عمق **۲۵cm** معنی‌دار بود (جدول ۲). علت این امر تغییرات زیاد شرایط آب و هوایی طی دو سال اجرای آزمایش بود (جدول ۱). بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از لحاظ کلیه صفات مورد مطالعه به غیر از قطر ریشه عمق بیشتر از **۲۵cm** اختلاف معنی‌داری وجود داشت که نشان دهنده تنوع موجود بین آن‌ها از لحاظ این صفات است. معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ× سال برای کلیه صفات به غیر از قطر ریشه عمق بیشتر از **۲۵cm**، حاکی از واکنش متفاوت ژنوتیپ‌های مورد بررسی به تغییرات شرایط سال‌ها از لحاظ صفات مزبور است.

برآورد پارامترهای ژنتیکی نشان داد که (جدول ۳) صفت مجموع طول ریشه عمق بیشتر از ۲۵cm (۴۹/۳۵۷) بالاترین و صفت قطر ریشه عمق بیشتر از ۲۵cm (۷/۶۷۷) پایین‌ترین ضریب تغییرات فنوتیپی را به‌خود اختصاص دادند. بیشترین

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/jcb.12.36.136]

مقدار ضریب تغییرات ژنتیکی مربوط به صفت تعداد سنبله در متر مربع (۱۶/۶۶۲) بود و کمترین مقدار ضریب تغییرات ژنتیکی برای صفت قطر ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵ (۰) مشاهده شد. بیشترین میزان وراثت‌پذیری مربوط به صفت تعداد دانه در سنبله (۷۰/۳۲۸) بود. در بین صفات ریشه‌ای، بیشترین میزان وراثت‌پذیری مربوط به صفات قطر ریشه تا عمق ^{cm}۲۵ (۲۵) و حجم ریشه تا عمق ^{cm}۲۵ (۱۷/۶۴۷) بود. وراثت‌پذیری برای برخی از صفات مانند مجموع طول ریشه تا عمق ^{cm}۲۵، سطح ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵ و وزن خشک ریشه تا عمق ^{cm}۲۵ کم بود که دلیل آن را می‌توان به بزرگ بودن واریانس فنوتیپی آنها نسبت داد که ناشی از تأثیر محیط است.

اگر وراثت‌پذیری یک صفت خیلی بالا باشد (بیش از ۸۰ درصد) گزینش برای آن صفت به نسبت آسان خواهد بود و دلیل آن رابطه نزدیک ژنوتیپ و فنوتیپ و سهم به نسبت کوچک محیط در شکل دادن فنوتیپ است (۴۱). عملکرد دانه میزان وراثت‌پذیری پایینی داشت که درصد پیشرفت ژنتیکی برای آن ۱۰/۷۸۵ درصد برآورد شد. در بین اجزای عملکرد نیز بیشترین میزان وراثت‌پذیری به‌ترتیب مربوط به صفت تعداد دانه در سنبله (۷۰/۳۲۸) و بعد از آن صفت تعداد سنبله در مترمربع (۵۱/۵۵۵) بود. این صفات بیشترین درصد پیشرفت ژنتیکی را نیز دارا بودند که مقادیر بالای وراثت‌پذیری همراه با پیشرفت ژنتیکی احتمالاًنشان‌دهنده فعالیت افزایشی ژن‌ها در کنترل این صفات می‌باشد. با این وجود عدم اجرای طرح‌های ژنتیکی و محاسبه پارامترهای ژنتیکی و واریانس‌ها صرفاً با اتکا به طرح‌های عادی آزمایشی اطلاعات دقیق برای نتیجه گیری قطعی به‌دست نمی‌دهد. وراثت‌پذیری پایین برای عملکرد دانه و وراثت‌پذیری بالا برای صفات تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در متر مربع توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (۳۵). در مطالعه‌ای دیگر وراثت‌پذیری و درصد پیشرفت ژنتیکی متوسط و وراثت‌پذیری بالا را برای دو صفت تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه گزارش شد و عنوان شد وراثت‌پذیری و درصد پیشرفت ژنتیکی بالا برای این دو صفت نشان می‌دهد که وراثت‌پذیری این دو صفت عمدتاً ناشی از واریانس ژنتیکی می‌باشد (۴). در مجموع وراثت‌پذیری صفات ریشه‌ای کمتر از صفات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد بود که نشان دهنده تأثیر زیاد محیط بر صفات ریشه‌ای در اثر مواجهه با تنش خشکی است. وراثت‌پذیری پایین صفات ریشه‌ای توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (۳۰،۸،۷).

بررسی ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه نشان داد که عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با وزن هزاردانه (r=۰/۷۱) و قطر ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵ (r=۰/۵۷) و همبستگی منفی و معنی‌داری با وزن خشک ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵ (r=۰/۵۲) داشت. طباطبایی و همکاران (۴۳) و محمدی و همکاران (۲۷) نیز همبستگی مثبت و بالایی بین عملکرد با وزن هزاردانه در شرایط تنش خشکی در گندم گزارش کردند. وجود همبستگی بین عملکرد با وزن هزاردانه نشان می‌دهد که این صفت را می‌توان معیاری برای انتخاب در بهبود عملکرد دانه تحت شرایط دیم به‌حساب آورد. در بین اجزای عملکرد نیز همبستگی وزن هزاردانه با تمام صفات ریشه به‌غیر از قطر ریشه منفی و معنی‌دار بود اما همبستگی وزن هزاردانه با قطر ریشه در عمق بیشتر از ^{cm}۲۵ مثبت و معنی‌دار بود.

صفات ریشه‌ای نیز به‌غیر از قطر ریشه با هم همبستگی مثبت داشتند که بیشترین همبستگی مربوط به حجم ریشه با سطح ریشه عمق ^{cm}۲۵، حجم ریشه با وزن خشک ریشه و سطح ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵ و مجموع طول ریشه با سطح ریشه در هر دو عمق تا ^{cm}۲۵ و بیشتر از ^{cm}۲۵ بود (جدول ۴). بر اساس نتایج یک پژوهش دیگر نیز در بین صفات ریشه‌ای، طول ریشه همبستگی مثبتی با مجموع طول ریشه، وزن خشک ریشه، سطح ریشه، اندازه ریشه و تعداد ریشه داشت درحالیکه قطر ریشه همبستگی منفی با سایر صفات ریشه‌ای داشت (۲۵).

تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام برای عملکرد دانه نشان داد که سه متغیر وزن هزاردانه، تعداد سنبله در مترمربع و تعداد دانه در سنبله به‌ترتیب وارد مدل شدند و به‌همین دلیل اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از نظر صفت عملکرد دانه را می‌توان به تفاوت در این صفات نسبت داد. در این میان صفت وزن هزاردانه به‌تنهایی ۵۰ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کرده است که چنین رابطه قوی را می‌توان دلیل همبستگی مثبت و بالای دو صفت در شرایط دیم دانست. دومین متغیر تعداد سنبله در مترمربع بود که ضریب تبیین مدل را به ۶۲/۱ درصد رساند و تعداد دانه در سنبله سومین متغیری بود که وارد مدل شد. این صفات روی هم‌رفته ۸۸/۶ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند (جدول ۵). نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام نشان داد که ژنوتیپ‌هایی که دارای وزن هزاردانه، تعداد سنبله در مترمربع و تعداد دانه در سنبله بیشتری باشند، عملکرد دانه بیشتری دارند. این صفات می‌توانند به‌عنوان صفات اصلی تعیین کننده عملکرد دانه در نظر گرفته شوند، بنابراین گزینش این صفات در صورتی که رقم مناسب برای آنها وجود داشته باشد که پس از تلاقی در بین زاده‌های آن برای تعیین بهترین نتاج، جستجو و غربالگری کرد، می‌تواند افزایش عملکرد و تولید ارقام دارای عملکرد بالا را در پی داشته باشد. طباطبایی و همکاران (۴۳) نیز عنوان کردند در تعیین بهترین مدل رگرسیونی عملکرد دانه لاین‌های گندم در شرایط تنش خشکی، وزن هزاردانه با ضریب تبیین ۰/۴۸ به‌تنهایی بیشترین تغییرات مدل رگرسیونی را توجیه کرد و بعد از آن به‌ترتیب تعداد سنبله در مترمربع، طول سنبله، تعداد دانه در مترمربع و وزن دانه در سنبله به‌ترتیب وارد مدل شده و ضریب تبیین آن را به ۰/۸۱ رساندند.

طبق نتایج به‌دست آمده از تجزیه ضرایب علیت برای عملکرد دانه با سایر صفات (شکل ۱) در مرحله اول زنجیره، اثر مستقیم تمام صفات وارد شده به مدل که اجزای اصلی عملکرد نیز می‌باشند بر عملکرد مثبت بود که بیشترین اثر مستقیم بر عملکرد مربوط به صفت وزن هزاردانه بود. اثرات غیرمستقیم اجزای عملکرد از طریق یکدیگر بر عملکرد دانه منفی بود که این نتیجه دور از انتظار نیست، چرا که

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/jcb.12.36.136]

همبستگی این صفات با هم منفی است. مثلاً با افزایش تعداد دانه سهم هر دانه از مواد فتوسنتزی کمتر شده و دانه‌ها به‌میزان کمتری پر می‌شوند. به عبارت دیگر، وزن هزاردانه کاهش می‌یابد و از این طریق اثر غیرمستقیم منفی ایجاد می‌شود. مقدار اثر باقی‌مانده ۰/۳۳۵ شد.

در مرحله دوم زنجیره سه متغیر وزن خشک ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵، قطر ریشه در عمق بیشتر از ^{cm}۲۵ و حجم ریشه تا عمق ^{cm}۲۵به عنوان صفات مؤثر بر وزن هزاردانه تعیین شدند که در مجموع ۶۴/۵ درصد از تغییرات مربوط به این صفت را تبیین کردند. اثر مستقیم وزن خشک ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵ بیش از اثر مستقیم سایر صفات و منفی بود، بیشترین اثر غیرمستقیم در بین صفات مربوط به اثر غیرمستقیم حجم ریشه تا عمق ^{cm}۲۵ از طریق وزن خشک ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵ بر وزن هزاردانه بود. اثر مستقیم وزن خشک ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵ روی وزن هزاردانه منفی بود که نشان دهنده این است که گیاه ریشه‌های خود را گسترش داده تا از اعماق آب را جذب کند حال با توجه به اینکه با افزایش نفوذ ریشه به خاک قطر آن کم می‌شود توانایی آن در جذب آب از خاک نسبتا خشک کاهش می‌یابد به همین دلیل تأثیر منفی بر وزن هزاردانه در زمان پر شدن دانه دارد. از طرفی اثر غیرمستقیم وزن خشک ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵ از طریق حجم ریشه تا عمق ^{cm}۲۵ منفی بود زیرا بخش اصلی ریشه‌ها در اعماق قرار گرفته‌اند که سبب شد حجم ریشه تا عمق ^{cm}۲۵ کاهش یابد.

اثر مستقیم حجم تا عمق ^{cm}۲۵ روی وزن هزاردانه نیز منفی بود و این نتیجه منطقی است چراکه در زمان پر شدن دانه خاک سطحی به شدت خشک و کم رطوبت بود. اثر غیرمستقیم این صفت از طریق وزن خشک و قطر ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵ بر وزن هزاردانه نیز منفی بود که می‌تواند به این دلیل باشد که با گسترش ریشه در بخش سطحی خاک، وزن خشک و قطر ریشه در اعماق خاک کاهش می‌یابد. تنها اثرات مستقیم و غیرمستقیم قطر ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵ بر وزن هزاردانه مثبت بود که بیان کننده اهمیت قطر ریشه در جذب آب و افزایش عملکرد در شرایط تنش است.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/jcb.12.36.136]

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب عملکرد و اجزای عملکرد و صفات ریشه‌ای در ژنوتیپ‌های گندم

Table 2. Combined analysis of variance of yield and yield components and root traits in wheat genotypes

		میانگین مربعات											
منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	تعداد دانه در سنبله	وزن هزاردانه	تعداد سنبله در مترمربع	حجم ریشه تا عمق ^{25cm}	حجم ریشه عمق بیشتر از ^{25cm}	قطر ریشه تا عمق ^{25cm}	قطر ریشه عمق بیشتر از ^{25cm}	وزن خشک ریشه تا عمق ^{25cm}	وزن خشک ریشه عمق بیشتر از ^{25cm}	مجموع طول ریشه تا عمق ^{25cm}	مجموع طول ریشه عمق بیشتر از ^{25cm}	سطح ریشه تا عمق ^{25cm}	سطح ریشه عمق بیشتر از ^{25cm}
سال	۱	۱۰۱۷۴۰۸/۴**	۲۱۹ /۰**	۹۷۹۲ /۵**	۵۴۰۶۵۷ /۴*	۲۲۲ /۵**	۵۰۰ /۹**	۰ /۰۰۷^{ns}	۰ /۵۵**	۰ /۳۸*	۳۶ /۸**	۷۶۷۲۷ /۵**	۲۹۰۳۸۳۶ /۳**	۴۹۳۳۸۵۸ /۵**	۴۸۷۳۹۷۱۲ /۷**
تکرار (سال)	۴	۲۰۲۵/۹	۹/۶	۱۲	۶۲۷۶۴/۳	۰/۴	۸/۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹	۰/۰۵	۰/۲۰	۱۹۸۹/۷	۳۳۶۷۳/۱	۴۰۴۰۳/۱	۱۳۸۴۱
ژنوتیپ	۲۳	۱۶۹۷۸ /۵**	۷۰ /۱**	۴۸ /۰**	۲۴۶۹۱۱ /۷**	۱ /۷**	۴ /۲**	۰ /۰۰۴*	۰ /۰۰۲^{ns}	۰ /۱۵**	۰ /۲۱**	۱۴۸۸ /۱**	۵۳۷۶۵ /۴**	۴۹۰۸۴ /۹**	۴۷۰۹۶۸ /۸**
ژنوتیپ × سال	۲۳	۱۲۱۱۴ /۷**	۲۰ /۸**	۲۷ /۰**	۱۱۹۶۱۵ /۳**	۱ /۴*	۴ /۳**	۰ /۰۰۳*	۰ /۰۰۲^{ns}	۰ /۱۰*	۰ /۱۹**	۱۴۶۸ /۶**	۵۴۰۹۰ /۷**	۴۳۴۰۸ /۱**	۴۵۸۳۴۳ /۱**
خطای آزمایشی	۹۲	۴۴۴۹/۳	۶/۸	۱۰	۲۶۱۰۶/۱	۰/۷۹	۱/۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۵	۰/۰۵	۵۳۷/۹	۲۲۶۲۲/۵	۱۸۳۱۷	۱۳۱۳۵۳/۷
ضریب تغییرات (٪)	–	۲۲/۹	۱۴/۶	۱۵/۳	۱۸/۴	۳۱/۴	۲۷/۹	۱۶/۴	۲۱/۵	۲۷/۱	۲۳/۷	۴۸/۹	۷۸/۴	۳۳/۷	۳۶/۳

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

[DOI: 10.52547/jcb.12.36.136]
[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

جدول ۳- پارامترهای ژنتیکی صفات عملکرد و اجزای عملکرد و صفات ریشه‌ای در ژنوتیپ‌های گندم

Table 3. Genetic parameters of yield and yield components traits and root traits in wheat genotypes

صفات	σ^2_g	σ^2_{yg}	σ^2_p	h^2(%)	GA	GA_m	PCV (%)	GCV (%)
عملکرد	۸۱۰/۶۳	۲۵۵۵/۱۳۳	۲۸۲۹/۷۵	۲۸/۶۴۶	۳۱/۳۹۱	۱۰/۷۸۵	۱۸/۲۷۵	۹/۷۸۱
تعداد دانه در سنبله	۸/۲۱	۴/۶۶۶	۱۱/۶۸۳	۷۰/۳۲۸	۴/۹۵۱	۲۷/۸۳۷	۱۹/۲۱۴	۱۶/۱۱۳
وزن هزار دانه	۳/۵۰	۵/۶۶۶	۸	۴۳/۷۵۰	۲/۵۴۹	۱۲/۲۹۶	۱۳/۶۴۳	۹/۰۲۴
تعداد سنبله در متر مربع	۲۱۲۱۶/۰۷	۳۱۱۶۹/۷۳۰	۴۱۱۵۱/۹۵۰	۵۱/۵۵۵	۲۱۵/۴۴۵	۲۴/۶۴۵	۲۳/۲۰۵	۱۶/۶۶۲
حجم ریشه تا عمق ^{cm}۲۵	۰/۰۵	۰/۲۰۳	۰/۲۸۳	۱۷/۶۴۷	۰/۱۹۳	۶/۸۴۶	۱۸/۸۳۲	۷/۹۱۱
حجم ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵	۰	۰/۸۳۳	۰/۷۰۰	–	–	–	۱۷/۴۰۳	–
قطر ریشه تا عمق ^{cm}۲۵	۰	۰	۰	۲۵	۰/۰۱۳	۴/۵۴۳	۸/۸۲۱	۴/۴۱۰
قطر ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۷/۶۷۷	۰
وزن خشک ریشه تا عمق ^{cm}۲۵	۰/۰۰۸	۰/۰۱۶	۰/۰۲۵	۳/۳۳۳	۰/۱۰۸	۱۲/۵۹۵	۱۸/۳۴۳	۱۰/۵۹۰
وزن خشک ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵	۰/۰۰۳	۰/۰۴۶	۰/۰۳۵	۹/۵۲۳	۰/۰۳۶	۳/۵۸۲	۱۸/۲۵۸	۵/۶۳۴
مجموع طول ریشه تا عمق ^{cm}۲۵	۳/۲۵۰	۳۱۰/۲۳۳	۲۴۸/۰۱۶	۱/۳۱۰	۰/۴۲۵	۰/۸۹۷	۳۳/۲۳۰	۳/۸۰۴
مجموع طول ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵	−۵۴/۲۱۶	۱۰۴۸۹/۴	۸۹۶۰/۹	–	–	–	۴۹/۳۵۷	–
سطح ریشه تا عمق ^{cm}۲۵	۹۴۶/۱۳۳	۸۳۶۳/۷	۸۱۸۰/۸۱۷	۱۱/۵۶۵	۲۱/۵۴۸	۵/۳۶۶	۲۲/۵۲۶	۷/۶۶۰
سطح ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵	۲۱۰۴/۲۸۳	۱۰۸۹۹۶/۴۷	۷۸۴۹۴/۸	۲/۲۸۰	۱۵/۴۷۲	۱/۵۴۹	۲۸/۰۶۴	۴/۵۹۵

$\sigma 2g$: واریانس ژنتیکی، σ^2_{yg}: واریانس اثر متقابل ژنوتیپ در سال، σ^2_p: واریانس فنوتیپی، $h2$: وراثت‌پذیری، GA: پیشرفت ژنتیکی، GA_m: درصد پیشرفت ژنتیکی، PCV: ضریب تغییرات فنوتیپی، GCV: ضریب تغییرات ژنتیکی

با توجه به اینکه آزمایش حاضر در شرایط دیم و در مزرعه درون لوله‌های پی‌وی‌سی به طول ۱/۲۰ متر انجام شد، این نتایج دور از انتظار نیست. زیرا در ابتدای فصل رشد که مقدار و پراکنش بارندگی مناسب بود گیاه توانست مراحل فنولوژی خود را تا مرحله گرده‌افشانی بدون تنش پشت سر بگذارد، با توجه به وجود رطوبت کافی در این مراحل گیاه توانسته است پراکنش ریشه مناسبی داشته باشد. اما در مرحله پر شدن دانه به دلیل کاهش شدید بارندگی و محدودیت دسترسی گیاه به رطوبت خاک به خاطر وجود لوله‌ها، گیاه با تنش شدیدی مواجه شد که علی‌رغم وجود سیستم ریشه‌ای با پراکنش مناسب به دلیل عدم وجود رطوبت در خاک، گیاه قادر به جذب آب نبود. از طرفی در تلاش برای غلبه بر تنش، گیاه بخشی از کربوهیدرات‌های محلول خود را به سمت ریشه هدایت می‌کند که بتواند با افزایش غلظت شیره سلولی با استفاده از پدیده تنظیم اسمزی، آب را از خاک جذب کند، به این ترتیب بخشی از مواد فتوسنتزی گیاه به جای دانه به سمت ریشه منقل شده است در نتیجه افزایش وزن خشک ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵ و حجم ریشه تا عمق ^{cm}۲۵ با تأثیر منفی بر وزن هزاردانه به عنوان مؤثرترین جزء عملکرد، به طور غیر مستقیم بر عملکرد دانه نیز تأثیر گذاشته و موجب کاهش نهایی عملکرد دانه شدند. جوانمردی و همکاران (۱۸) عنوان کردند از آنجا که تأثیر اصلی فیزیولوژیکی تنظیم اسمزی از طریق حفظ تورژسانس در پانیکول است، با این حال حفظ تورژسانس در سلول‌های سایر بافت‌ها ممکن است منجر به رفتارهایی در گیاه شود که دقیقاً در تضاد با عوامل مؤثر بر عملکرد است به این ترتیب تنظیم اسمزی تحمل به خشکی شدید را بهبود بخشیده و تنها به زنده‌مانی گیاه کمک می‌کند. نتایج بررسی سیستم ریشه در گندم نشان داد که محصولاتی که به ذخیره بارندگی در خاک وابسته هستند باید میزان مصرف آب را در مرحله رویشی کاهش دهند زیرا سرعت کم رشد ریشه در مراحل اولیه برای استفاده از آب در مرحله رشد زایشی مطلوب‌تر است در مقابل سیستم‌های ریشه‌ای بزرگتر برای جذب آب و استفاده از آن در مناطقی که میزان بارش بیشتری دارند سودمندتر است (۴۳).

جذب آب و مواد مغذی در گیاه بیشتر به عملکرد فیزیولوژیک ریشه وابسته است. عملکرد سیستم هیدرولیکی در گیاه نیز به وسیله تعداد، قطر و طول آوندهای آبکش شبکه آبرسانی از ریشه تا برگ تعیین می‌شود. مطابق قانون هاگن-پوازی[1] با افزایش قطر هدایت هیدرولیکی افزایش پیدا می‌کند، به این ترتیب افزایش قطر ریشه در عمق بیشتر از ۲۵cm، سبب جذب و انتقال آب و در نهایت افزایش وزن هزاردانه می‌شود (۲۴).

1- Hagen–Poiseuille

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/jcb.12.36.136]

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد با صفات ریشه‌ای در ژنوتیپ‌های گندم

Table 4. Correlation coefficients between yield and yield components with root traits in wheat genotypes

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
عملکرد دانه	۱												
تعداد دانه در سنبله	۰/۰۸۸	۱											
وزن هزاردانه	۰/۷۱۰**	-۰/۳۲۲**	۱										
تعداد سنبله در مترمربع	۰/۱۳۳	-۰/۲۶۳**	-۰/۲۸۴**	۱									
حجم ریشه عمق ۲۵cm	-۰/۴۲۴**	۰/۲۴۸**	-۰/۶۹۷	۰/۳۴۰**	۱								
حجم ریشه عمق بیشتر از ۲۵cm	-۰/۴۴۸**	۰/۲۳۱**	-۰/۶۸۳**	۰/۳۵۹**	۰/۶۵۳**	۱							
قطر ریشه تا عمق ۲۵cm	۰/۲۶۷**	۰/۱۲۷	۰/۰۷۱	۰/۱۱۸	۰/۱۸۶*	-۰/۰۲۲	۱						
قطر ریشه عمق بیشتر از ۲۵cm	۰/۵۷۱**	-۰/۰۸۹	۰/۶۶۷**	-۰/۲۰۱*	-۰/۵۶۸**	-۰/۵۵۴**	۰/۲۳۰**	۱					
وزن خشک ریشه تا عمق ۲۵cm	۰/۱۰۱	۰/۱۷۱*	-۰/۱۷۴*	۰/۲۳۴**	۰/۵۵۶**	۰/۲۰۸*	۰/۳۳۳**	-۰/۰۱۲**	۱				
وزن خشک ریشه عمق بیشتر از ۲۵cm	-۰/۵۱۷**	۰/۲۳۰**	-۰/۷۳۵**	۰/۳۳۲**	۰/۶۹۱**	۰/۹۱۷**	-۰/۰۴۹	-۰/۶۲۳**	۰/۲۲۳**	۱			
سطح ریشه تا عمق ۲۵cm	-۰/۴۳۵**	۰/۲۲۸**	-۰/۶۷۶**	۰/۳۲۵**	۰/۹۱۴**	۰/۷۲۰**	۰/۰۳۳	-۰/۵۶۶**	۰/۵۳۰**	۰/۷۴۲**	۱		
سطح ریشه عمق بیشتر از ۲۵cm	-۰/۵۰۲**	۰/۲۰۹*	-۰/۷۰۳**	۰/۳۱۵**	۰/۶۳۳**	۰/۹۰۱**	-۰/۰۳۸	-۰/۶۴۱**	۰/۱۵۹	۰/۸۵۵**	۰/۶۷۳**	۱	
مجموع طول ریشه تا عمق ۲۵cm	-۰/۳۸۵**	۰/۱۸۹*	-۰/۵۶۷**	۰/۲۵۸**	۰/۷۲۶**	۰/۶۷۳**	-۰/۰۷۲	-۰/۴۸۸**	۰/۴۵۳**	۰/۶۸۰۰**	۰/۹۴۱**	۰/۶۰۸**	۱
مجموع طول ریشه عمق بیشتر از ۲۵cm	-۰/۴۲۱**	۰/۱۵۸	-۰/۵۶۸**	۰/۲۲۷**	۰/۴۹۵**	۰/۶۹۴**	-۰/۰۱۴	-۰/۵۳۰**	۰/۰۹۸	۰/۶۷۲**	۰/۵۱۵**	۰/۹۲۵**	۰/۴۵۵**

* و ** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/jcb.12.36.136]

جدول ۵- ضرایب رگرسیونی صفات ریشه‌ای مؤثر بر عملکرد دانه گندم بر اساس مدل رگرسیونی گام‌به‌گام

Table 5. Regression coefficients of root traits affecting wheat grain yield based on stepwise regression model

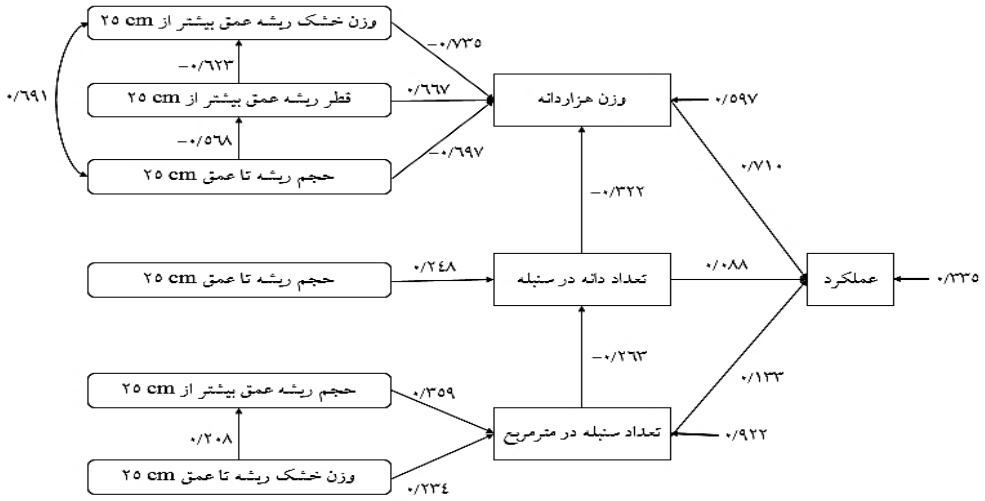
متغیر	ضریب رگرسیونی	ضریب رگرسیونی استانداردشده	ضریب تبیین مرحله‌ای	ضریب تبیین تجمعی
وزن هزاردانه	۱۳ /۸۴۹	۱ /۰۶۷**	۰ /۵۰۰	۰ /۵۰۰
تعداد سنبله در مترمربع	۰ /۲۵۲	۰ /۵۹۲**	۰ /۱۲۱	۰ /۶۲۱
تعداد دانه در سنبله	۱۵ /۶۱۶	۰ /۵۸۷**	۰ /۲۶۵	۰ /۸۸۶
عرض از مبدأ	-۴۹۳ /۸۷۰	–	–	–

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

حجم ریشه در عمق بیشتر از 25^{cm} و وزن خشک ریشه تا عمق 25^{cm} نیز به‌عنوان صفات مؤثر بر تعداد سنبله در مترمربع تعیین شدند که حجم ریشه عمق بیشتر از 25^{cm} بیشترین اثر مستقیم را بر روی این صفت داشت. در تحقیق حاضر دو صفت حجم ریشه عمق بیشتر از 25^{cm} و وزن خشک ریشه تا عمق 25^{cm} که هر دو نشان دهنده وجود سیستم ریشه‌ای قوی در عمق و سطح می‌باشد با علامت مثبت وارد مدل رگرسیونی شدند. بنابراین می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که وجود سیستم ریشه‌ای قوی فرصت بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌دهد تا بتواند با جذب آب و مواد غذایی بیشتر رشد رویشی بیشتری داشته باشد که نهایتاً منجر به تولید تعداد سنبله بیشتر در واحد سطح شود. نتایج به‌دست آمده با نتایج پژوهش دیگر مطابقت داشت (۱۲).

حجم ریشه تا عمق 25^{cm} نیز تنها صفت ریشه‌ای مؤثر بر تعداد دانه در سنبله بود. ضریب همبستگی این دو صفت مثبت و معنی‌دار اما پایین (۰ /۲۴۸**) بود. با توجه به اینکه در شرایط دیم ریشه‌های سطحی وظیفه اصلی تأمین رطوبت را بر عهده دارند (۱۵) و با در نظر گرفتن اینکه تعداد دانه در سنبله به وضعیت گرده‌افشانی بستگی دارد، در نتیجه حجم ریشه تا عمق 25^{cm} عامل مهمی در جذب آب و افزایش کارایی گرده‌افشانی محسوب می‌شود.

مقدار باقی‌مانده زمانی که وزن هزاردانه و تعداد سنبله در مترمربع به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد به‌ترتیب برابر ۰/۵۹۷ و ۰/۹۲۲ شد که بیانگر این موضوع است که عوامل دیگری به‌طور غیرواسطه روی این صفات تأثیرگذار هستند که سهم بالا و قابل توجهی دارند و باید در آزمایش‌های مختلف عوامل بیشتر و مؤثرتر را پیدا و وارد مدل کرد.



شکل ۱- دیاگرام تجزیه علیت متوالی عملکرد دانه با اجزای عملکرد و صفات ریشه‌ای در ژنوتیپ‌های گندم

Figure 1. Sequential path analysis diagram of grain yield with yield components and root traits in wheat genotypes

بر اساس نتایج به‌دست آمده از تجزیه به عامل‌ها، چهار عامل اول توانستند به‌ترتیب ۲۹/۵۳، ۲۸/۳۸، ۱۳/۴۰ و ۱۱/۱۳ و در مجموع ۸۲/۴۵ درصد از واریانس بین صفات را تبیین کنند (جدول ۶). در مؤلفه اول بالاترین سهم در توجیه واریانس متعلق به صفات عملکرد دانه، حجم، قطر، وزن خشک و سطح ریشه تا عمق 25^{cm} بود. لذا این عامل را می‌توان عامل مؤثر بر عملکرد و صفات ریشه سطحی نامگذاری کرد. عامل دوم که دارای ضرایب بزرگ و مثبت برای صفات تعداد سنبله در مترمربع، حجم، وزن خشک، سطح و طول ریشه عمق بیشتر از 25^{cm} بود، به عنوان عامل مؤثر بر تعداد سنبله در مترمربع و صفات ریشه عمقی نامگذاری شد. عامل سوم دارای ضریب بزرگ برای تعداد دانه در سنبله با علامت مثبت و وزن هزاردانه با علامت منفی بود و می‌تواند عامل مؤثر بر وزن دانه معرفی گردد. عامل چهارم نیز با داشتن ضریب بزرگ و مثبت برای قطر ریشه عمق بیشتر از 25^{cm} و ضریب بزرگ و منفی برای طول ریشه تا عمق 25^{cm}، عامل مؤثر بر قطر ریشه در عمق خاک نامگذاری شد. خلیلی و نقوی (۲۱) نیز در ارزیابی تنوع ژنتیکی در ارقام گندم بهاره با استفاده از تجزیه به عامل‌ها در شرایط تنش رطوبتی چهار عامل را شناسایی کردند که ۸۸/۰۱ درصد از واریانس بین داده‌ها به‌وسیله این عوامل توجیه می‌شد. آن‌ها عوامل استخراجی را به‌ترتیب عامل ریشه، عامل عملکرد و

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/jcb.12.36.136]

اجزای عملکرد، عامل فیزیولوژیک و عامل بیوماس نامگذاری کردند. عامل اول دارای ضرایب بزرگ برای صفات تعداد، طول، حجم، وزن خشک و قطر ریشه، عامل دوم دارای ضرایب بزرگ برای صفات طول سنبله، تعداد پنجه و تعداد پنجه بارور در گیاه، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه و عملکرد دانه، عامل سوم دارای ضرایب بزرگ برای صفات دمای برگ، کلروفیل فلوروسانس، شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ و سطح ویژه برگ، میزان پرولین، پتانسیل آب برگ و پتانسیل اسمزی، و عامل چهارم دارای ضرایب بزرگ برای صفات ارتفاع و وزن خشک بوته بود. موسوی و همکاران (۲۸) با بررسی میزان تنوع و قابلیت تنوع در ژنوتیپ‌های گندم نان عنوان کردند در شرایط تنش رطوبتی دو عامل اول بیش از ۹۲ درصد واریانس داده‌ها را توجیه کردند که عامل اول با داشتن ضرایب بزرگ و مثبت برای صفات تعداد ریشه، طول ریشه، وزن تر ریشه و وزن تر بخش هوایی، عامل گسترش ریشه و عامل دوم با داشتن ضرایب منفی برای صفات مذکور و ضریب مثبت برای تعداد پنجه عامل کاهش بخش زیرزمینی گیاه نامگذاری شد.

جدول ۶- نتایج تجزیه به عامل‌ها، مقادیر ویژه، درصد واریانس و واریانس تجمعی برای صفات اندازه‌گیری شده

Table 6. Results of Factor analysist, Eigenvalues, variance and variance cumulative percentage for measured traits

	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل چهارم
عملکرد دانه	۰/۸۳	-۰/۰۲	-۰/۰۱	۰/۱۱
تعداد دانه در سنبله	۰/۱۹	-۰/۳۴	۰/۸۵	۰/۰۹
وزن هزاردانه	۰/۰۳	-۰/۳۲	-۰/۷۹	۰/۱۲
تعداد سنبله در مترمربع	۰/۵۰	۰/۶۴	-۰/۳۲	-۰/۱۴
حجم ریشه عمق ^{cm}۲۵	۰/۹۲	۰/۰۹	-۰/۰۳	۰/۰۹
حجم ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵	۰/۰۳	۰/۹۱	-۰/۰۳	۰/۲۷
قطر ریشه تا عمق ^{cm}۲۵	۰/۷۳	۰/۳۲	۰/۲۸	۰/۰۷
قطر ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵	۰/۳۰	-۰/۴۵	۰/۴۷	-۰/۵۴
وزن خشک ریشه تا عمق ^{cm}۲۵	۰/۸۶	-۰/۰۱	۰/۱۱	-۰/۰۳
وزن خشک ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵	۰/۱۱	۰/۶۷	-۰/۲۶	۰/۴۷
سطح ریشه تا عمق ^{cm}۲۵	۰/۷۷	۰/۱۷	۰/۰۳	۰/۵۵
سطح ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵	۰/۰۹	۰/۹۵	۰/۰۵	۰/۰۹
مجموع طول ریشه تا عمق ^{cm}۲۵	۰/۵۲	۰/۱۶	۰/۰۷	۰/۷۵
مجموع طول ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵	۰/۰۸	۰/۸۶	۰/۱۱	۰/۰۱
مقدار ویژه	۴/۱۳	۳/۹۷	۱/۸۷	۱/۵۵
درصد واریانس	۲۹/۵۳	۲۸/۳۸	۱۳/۴۰	۱۱/۱۳
درصد واریانس تجمعی	۲۹/۵۳	۵۷/۹۱	۷۱/۳۲	۸۲/۴۵
آزمون KMO		۰/۵۵۷		

در محاسبه ضریب کوفنتیک که نشان دهنده همبستگی بین ماتریس و دندروگرام حاصله می‌باشدف مقدار ۰/۷۴ به‌دست آمد که بیانگر همبستگی بالا ماتریس تشابه و ماتریس حاصله از دندروگرام می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای در حالت برشی که سه گروه ایجاد شد، بیشترین مقدار F به‌دست آمد. که در این حالت اختلاف بین گروه‌ها خیلی بیشتر از اختلاف درون گروه‌ها بود و گروه‌بندی صحیح‌تری انجام شد اختلاف بین گروه‌ها از لحاظ تمام صفات مورد بررسی به جز صفات وزن هزاردانه و قطر ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵ معنی‌دار بود. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای در گروه اول و سوم هر کدام هفت ژنوتیپ و در گروه دوم ده ژنوتیپ قرار گرفتند. ده ژنوتیپی که در گروه دوم قرار گرفتند شامل لاین‌های شماره ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۸ و ۹ و ارقام تکاب، رصد و سایین دارای بیشترین مقدار میانگین برای صفات عملکرد دانه، حجم، قطر، وزن خشک، سطح و طول ریشه تا عمق ^{cm}۲۵ بودند. به‌این ترتیب می‌توان گفت در شرایط آزمایش حاضر ژنوتیپ‌هایی که دارای خصوصیات ریشه مناسب در بخش سطحی خاک هستند به‌دلیل جذب آب موجود در سطح خاک توانسته‌اند عملکرد بهتری داشته باشند. هفت ژنوتیپ موجود در گروه سوم (لاین‌های شماره ۷، ۱۰ و ۱۱ و ارقام سرداری، هما، اوحدی و هشترود) نیز با داشتن بیشترین تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در متر مربع دارای بالاترین میزان میانگین برای صفات حجم و وزن خشک ریشه عمق بیشتر از ^{cm}۲۵ بودند که نشان دهنده افزایش توانایی گیاه در تولید دانه در صورت جذب آب ذخیره شده در اعماق خاک است. هفت ژنوتیپ موجود در گروه اول شامل لاین‌های شماره ۶ و ۱۲ و لاین WAZ و ارقام آذر ۲، باران، صدرا و کراس سبلان به‌دلیل داشتن خصوصیات ریشه ضعیف دارای کمترین میزان عملکرد دانه بودند (جدول‌های ۷ و ۸ و شکل ۲).

جدول ۷- برآورد مقادیر ویلکس-لامبدا و F برای تعیین محل برش در تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های گندم

Table 7. Estimation of Wilkes-Lambda and F values to determine the cutting location in cluster analysis of wheat genotypes

تعداد گروه	ویلکس-لامبدا	F
۲	۰/۱۱۴	۴/۹۷۵
۳	۰/۰۰۱	۵/۰۵۶
۵	۰/۰۱۳	۴/۴۴۸

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

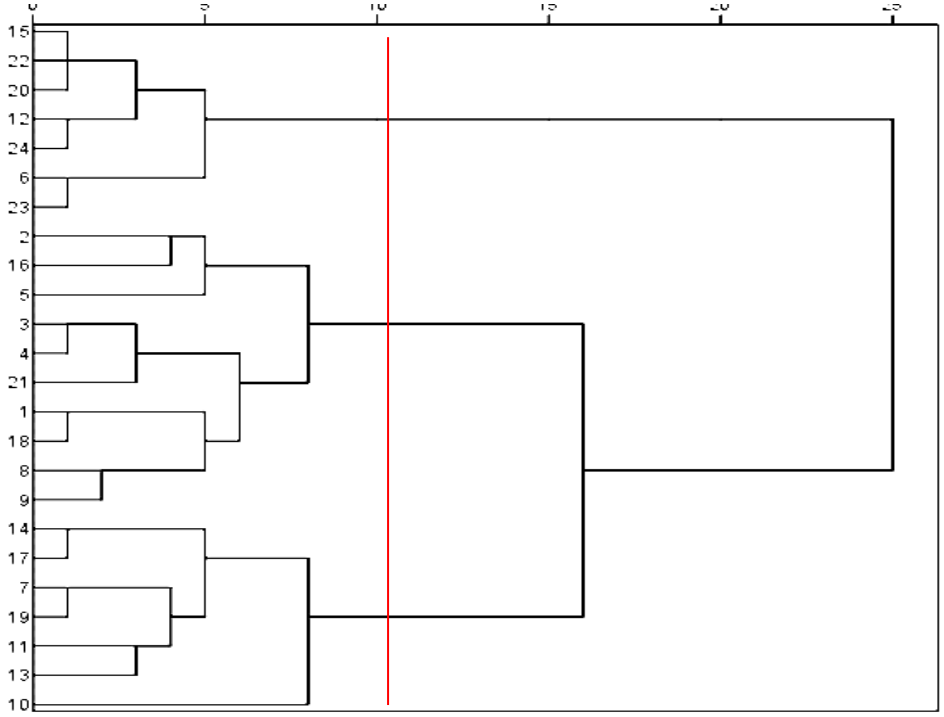
[DOI: 10.52547/jcb.12.36.136]

جدول ۸- میانگین و درصد انحراف از میانگین کل هر گروه از ژنوتیپ‌های گندم در تجریه خوشه‌ای

Table 8. Mean and percentage deviation from the mean of each group of wheat genotypes in cluster analysis

خوشه	تعداد لاین	عملکرد دانه	تعداد دانه در سنبله	وزن هزاردانه	تعداد سنبله در مترمربع	حجم ریشه تا عمق ۲۵cm	حجم ریشه عمق بیشتر از ۲۵cm	قطر ریشه تا عمق ۲۵cm	قطر ریشه عمق بیشتر از ۲۵cm	وزن خشک ریشه تا عمق ۲۵cm	وزن خشک ریشه عمق بیشتر از ۲۵cm	مجموع طول ریشه تا عمق ۲۵cm	مجموع طول ریشه عمق بیشتر از ۲۵cm	سطح ریشه تا عمق ۲۵cm	سطح ریشه عمق بیشتر از ۲۵cm
۱	۷	۲۴۸ /۹۶^{b}	۱۸ /۷۳^{a}	۲۱ /۱۰^{a}	۶۴۲ /۸۵^{c}	۲ /۱۷^{c}	۴ /۲۶^{b}	۰ /۲۶^{c}	۰ /۲۴^{a}	۰ /۷۲^{b}	۰ /۸۸^{b}	۳۳ /۰۷^{c}	۱۴۴ /۹۰^{b}	۲۹۵ /۶۹^{c}	۸۲۱ /۰۱^{b}
۲	۱۰	۳۳۰ /۶۶^{a}	۱۹ /۳۷^{a}	۲۰ /۴۴^{a}	۹۱۲ /۷۴^{b}	۳ /۲۷^{a}	۴ /۶۹^{b}	۰ /۳۱^{a}	۰ /۲۴^{a}	۰ /۹۹^{a}	۱ /۰۰^{b}	۵۹ /۲۷^{b}	۱۸۱ /۴۰^{ab}	۴۸۱ /۵۵^{a}	۹۶۷ /۵۶^{ab}
۳	۷	۲۷۶ /۶۰^{b}	۱۴ /۵۷^{b}	۲۰ /۷۷^{a}	۱۰۵۰ /۴۲^{a}	۲ /۸۳^{b}	۵ /۵۲^{a}	۰ /۲۹^{b}	۰ /۲۱^{b}	۰ /۸۰^{b}	۱ /۱۹^{a}	۴۴ /۷۲^{a}	۲۵۳ /۵۱^{a}	۳۹۲ /۹۸^{b}	۱۲۱۹ /۵۲^{a}

[DOI: 10.52547/jcb.12.36.136] [Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]



شکل ۲- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های گندم بر اساس صفات اندازه‌گیری شده
Figure 2. Dendrogram derived from cluster analysis of wheat genotypes based on measured traits

بر اساس نتایج حاصل از مطالعه حاضر، صفات ریشه به‌شدت تحت تأثیر محیط می‌باشند و در محیط‌های مختلف رفتارهای متفاوت نشان می‌دهند. بر اساس نتایج تجزیه همبستگی، تجزیه علیت متوالی و تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام سیستم ریشه کارآمد سیستمی است که با کنترل گسترش خود، این توانایی را داشته باشد که آب را جذب کرده و در اختیار گیاه قرار دهد. نتایج حاصل از تجزیه به عامل‌ها و تجزیه خوشه‌ای نیز نشان داد که لاین‌های شماره ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۸ و ۹ و ارقام تکاب، رصد و سایین به‌دلیل داشتن خصوصیات ریشه سطحی خوب قدرت جذب آب و تولید عملکرد بالا را دارا می‌باشند.

منابع

1. Aamodt, S. and W.H. Johnston. 1936. Studies on drought resistance in spring wheat. Canadian Journal of Research, 14: 122-152.
2. Acquaah, G. 2012. Principles of Plant Genetics and Breeding. 2nd Ed., Oxford, John Wiley & Sons. Hoboken, NJ, USA, 740 pp.
3. Adeleke, E., R. Millas, W. McNeal, J. Faris and A. Taheri. 2020. Variation Analysis of Root System Development in Wheat Seedlings Using Root Phenotyping System. Agronomy, 10(2): 206-224.
4. Al-Otayk, S.M. 2019. Evaluation of agronomic traits and assessment of genetic variability in some popular wheat genotypes cultivated in Saudi Arabia. Australian Journal of Crop Science, 13(06): 847-856.
5. Atta, B.M., T. Mahmood and R.M. Trethowan. 2013. Relationship between root morphology and grain yield of wheat in north-western NSW, Australia. Australian journal of crop science, 7(13): 2108-2115.
6. Ayub, M., M. Nadeem, M. Shehzad and M. Tahir. 2013. Allelopathic effect of legumes leachates on seed germination and seedling growth of maize (*Zea mays* L.). Journal of Agricultural Technology, 9(4): 863-875.
7. Chen, Y., J. Palta, J. Clements, B. Buirchell, K.H.M. Siddique and Z. Rengel. 2014. Root architecture alteration of narrow-leafed lupin and wheat in response to soil compaction. Field Crops Research, 165: 61-70.
8. Chen, Y., J. Palta, P.V.V. Prasad and K.H.M. Siddique. 2019. Crop root systems and rhizosphere interactions. Plant and Soil, 439: 1-5.
9. Daryanto, S., L. Wang and P.A. Jacinthe. 2016. Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. PLoS One, 11(5): e0156362.
10. Ehdaie B, A.P. Layne and J.G. Waines. 2012. Root system plasticity to drought influences grain yield in bread wheat. Euphytica, 186: 219-232.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/jcb.12.36.136]

11. FAOSTAT. 2018. http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E.
12. Figueroa-Bustos, V., J.A. Palta, Y. Chen and K.H.M. Siddique. 2018. Characterization of Root and Shoot Traits in Wheat Cultivars with Putative Differences in Root System Size. Agronomy, 8(109): 1-14.
13. Fradgley, N., G. Evans, J.M. Biernaskie, J. Cockram, E.C. Marr, A.G. Oliver, E. Ober and H. Jones. 2020. Effects of breeding history and crop management on the root architecture of wheat. Plant and Soil, 452: 587-600.
14. Ghimire, B., S.H. Hulbert, C.M. Steber, K. Garland-Campbell and K.A. Sanguinet. 2020. Characterization of root traits for improvement of spring wheat in the Pacific Northwest. Agronomy Journal, 112: 228-240.
15. Grzesiak, M.T., N. Hordynska, A. Maksymowicz S. Grzesiak and M. Szechyńska-Hebda. 2019. Variation Among Spring Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes in Response to the Drought Stress. II-Root System Structure. Plants (Basel), 8(12): 584.
16. He, L.X., Z.-Q. Jia, Q.X. Li, L.L. Feng and K.Y. Yang. 2019. Fine-root decomposition characteristics of four typical shrubs in sandy areas of an arid and semiarid alpine region in western China. Ecology and Evolution, 9: 5407-5419.
17. Hu, C.L., M. Ding, M. Qub, V. Sadrasd, X. Yang and S. Zhang. 2015. Yield and water use efficiency of wheat in the Loess Plateau, Responses to root pruning and defoliation. Field Crops Research, 179: 6-11.
18. Javanmardi, S.H., R. Fotovat and J. Saba. 2010. Relationship between soluble carbohydrates and proline with osmotic adjustment and the role of osmotic adjustment in wheat yield under drought stress. Water and Soil Sciences, 14(53): 65-72 (In Persian).
19. Jia, Z., Y. Liu, B.D. Gruber, K. Neumann, B. Kilian, A. Graner and N. von Wirén. 2019. Genetic Dissection of Root System Architectural Traits in Spring Barley. Frontiers in Plant Science, 10: 1-14.
20. Johnson, H.W., H.F. Robinson and R.E. Comstock. 1955. Estimates of genetic and environmental variability in soybeans. Agronomy Journal, 47: 314-318.
21. Kahlili, M. and M.R. Naghavi. 2017. Genetic diversity in spring wheat cultivars and relationships between traits under terminal drought stress. Iranian Journal of Field Crop Science, 101-117.
22. Kano-Nakata, M., T. Nakamura, S. Mitsuya and A. Yamauchi. 2019. Plasticity in root system architecture of rice genotypes exhibited under different soil water distributions in soil profile, Plant Production Science, 22(4): 501-509.
23. Kesahvarznia, R., M. Shahbazi, V. Mohammadi, Gh. Hosseini Salekdeh, A. Ahmadi and E. Mohseni-Fard. 1393. The impact of barley root structure and physiological traits on drought response. Iranian Journal of Crop Sciences, 4(45): 553-563.
24. Kirfel, K., C. Leuschner, D. Hertel and B. Schuldt. 2017. Influence of Root Diameter and Soil Depth on the Xylem Anatomy of Fine- to Medium-Sized Roots of Mature Beech Trees in the Top- and Subsoil. Frontiers in Plant Science, 8: 1194.
25. Liang, Y.S., Z.Q. Gao, X.D. Zhan, Y.L. Chen, D.B. Chen, X.H. Shen, L.Y. Cao. And S.H. Cheng. 2011. Phenotypic correlation among root and shoot traits in an elite Chinese hybrid rice combination and its three derived populations. Acta Agronomica Sinica, 37(10): 1711-1723.
26. Liu, Z., K. Gao, S. Shan, R. Gu, Z. Wang and E. J. Craft. 2017. Comparative analysis of root traits and the associated QTLs for maize seedlings grown in paper roll, hydroponics and vermiculite culture system. Frontiers in Plant Science, 8: 436.
27. Mohammadi, H., A. Ahmadi, F. Moradi, A. Abbasi, K. Poustini, KM. Joudi and F. Fatehi. 2011. Evaluation of Critical Traits for Improving Wheat Yield under Drought Stress. Iranian Journal of Field Crop Science, 42: 373-385 (In Persian).
28. Moosavi, S.S., S. Jalalifar, M.R. Abdolahi and M. Chaichi. 2013. Evaluation of diversity and heritability of some morphological traits in bread wheat under stress and normal conditions. Journals of Agronomy Sciences, 6(9): 37-54.
29. Mu, X.H., F.J. Chen, Q.P. Wu, Q.W. Chen, J.F. Wang and L.X. Yuan. 2015. Genetic improvement of root growth increases maize yield via enhanced post-silking nitrogen uptake. European Journal of Agronomy, 63: 55-61.
30. Palta, J.A. and N.C. Turner. 2019. Crop root system traits cannot be seen as a silver bullet delivering drought resistance. Plant and Soil, 439(15): 31-43.
31. Palta, J.A., X. Chen, S.P. Milroy, G.J. Rebetzke, M.F. Dreccer and M. Watt. 2011. Large root systems: are they useful in adapting wheatto dry environments? Functional Plant Biology, 38: 347-354.
32. Peng, B., X. Liu, X. Dong, Q. Xue, C.B. Neely, T. Marek, A.M.H. Ibrahim, G. Zhang, D.I. Leskovar and J. Rudd. 2019. Root morphological traits of winter wheat under contrasting environments. Journal of Agronomy and Crop Science, 205(6): 571-585.
33. Postma, J.A. and J.P. Lynch. 2011. Root cortical aerenchyma enhances the growth of maize on soils with suboptimal availability of nitrogen, phosphorus, and potassium. Plant Physiology, 156: 1190-1201.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/jcb.12.36.136]

34. Qin, X., F. Feng, X. Wen, K.H.M. Siddiqu and Y. Liao. 2019. Historical genetic responses of yield and root traits in winter wheat in the yellow-Huai-Hai River valley region of China due to modern breeding (1948−2012). Plant and Soil, 439: 7-18.
35. Rahmati, M., A. Ahmadi and T. Hosseinpour. 2018. Study of genetic variability, heritability and relationship between grain yield and yield-related traits on bread wheat genotypes under dryland conditions. Journal of Crop Breeding, 10(25): 167-175 (In Persian).
36. Robinson, H., A. Kelly, G. Fox, J. Franckowiak, A. Borrell and L. Hickey. 2018. Root architectural traits and yield: exploring the relationship in barley breeding trials. Euphytica, 214: 151.
37. Roy, D. 2000. Plant breeding, analysis and exploitation of variation. Alpha Science International, RG UK, 701 pp.
38. Ruiz, S., N. Koebernick, S. Duncan, D. McKay Fletcher, C. Scotson, A. Boghi, M. Marin, A.G. Bengough, T. S. George, L. K. Brown, P. D. Hallett and T. Roose. 2020. Significance of root hairs at the field scale – modelling root water and phosphorus uptake under different field conditions. Plant and Soil, 447: 281-304.
39. Saradadevi, R., H. Bramley, J.A. Palta and K.H.M. Siddique. 2017. Stomatal behaviour under terminal drought affects post-anthesis water use in wheat. Functional Plant Biology, 44(3): 279-289.
40. Siddique, K.H.M., R.K. Belford and D. Tennant. 1990. Root: shoot ratios of old and modern, tall and semi-dwarf wheats in a Mediterranean environment. Plant and Soil, 121: 89-98.
41. Singh, B.D. 1990. Plant breeding: Principles and methods. Kalyani publishers, New Delhi, Ludhiana, India, 458 pp.
42. Sun, Y., S. Zhang and W. Chen. 2020. Root traits of dryland winter wheat (*Triticum aestivum* L.) from the 1940s to the 2010s in Shaanxi Province, China. Scientific Reports– Nature, 10: 5328.
43. Tabatabai, S.M.T., M. Solouki, B. Fakhery, M. Esmailzadeh-Moghadam and N. Mehdinezhad. 2018. Evaluation of grain yield of recombinant inbred lines of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) derived from SeriM82/Babax cross under drought stress conditions. Iranian Journal of Crop Sciences, 19(4): 270-283 (In Persian).
44. Zhu, J., K.M. Brown and J.P. Lynch. 2010. Root cortical aerenchyma improves the drought tolerance of maize (*Zea mays* L.). Plant Cell and Environment, 33: 740-749.
45. Zhu, Y.H., J. Weiner and F.M. Li. 2019. Root proliferation in response to neighbouring roots in wheat (*Triticum aestivum*). Basic and Applied Ecology, 39: 10-14.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/jcb.12.36.136]

Study of Relationships between Root Traits and Yield and Yield Components of Bread Wheat under Rainfed Conditions

Ramin Sadegh Ghol Moghaddam[1], Jalal Saba[2], Farid Shekari[3] and Muzaffar Roustaii[4]

1- Ph.D. Student, Zanjan, Zanjan University, Faculty of Agriculture, Department of Genetics and Plant Production (Corresponding author: s.moghadam@znu.ac.ir)
2- Professor, Zanjan, Zanjan University, Faculty of Agriculture, Department of Genetics and Plant Production
3- Associate Professor, Zanjan, Zanjan University, Faculty of Agriculture, Department of Genetics and Plant Production
4- Associate Professor, Maragheh, Dryland Agricultural Research Institute, Grain Research Sector
Received: July 22, 2020 Accepted: September 20, 2020

Abstract

Breeding new crop cultivars with efficient root systems carries great potential to enhance resource use efficiency, plant adaptation to unstable climates and improve yields. Current study was conducted to investigate the relationship between root characteristics with yield and yield components in 24 lines and cultivar of bread wheat using complete randomized block design with three replications in rainfed conditions of research farm of the University of Zanjan in 2017-18 and 2018-19 growing seasons. The results of combined analysis of variance showed the difference between year and high diversity between genotypes measured for most traits. According to the results of the study of genetic parameters, the highest heritability was related to the number of grains per spike (70.328%) and the heritability of the most root traits was low. There was a negative correlation between yields with the most root traits but root diameter. The results of sequential path analysis showed that in the first stage of chain 1000-grain weight, number of spikes per square meter and number of seeds per spike affected grain yield, and in the second stage, root dry weight and diameter greater than 25^{cm} deep and root volume to a depth of 25^{cm} with effects on 1000-grain weight, root volume greater than 25^{cm} deep and root dry weight to a depth of 25^{cm} with effects on spike number per square meter and root volume to a depth of 25^{cm} with effects on seed number per spike, they Indirectly affected grain yield. The results of factor analysis led to the identification of four factors that explained 82.45% of the differences between the data. Based on the results of cluster analysis, the studied genotypes were divided into three groups. The cultivars and lines in the second group had the highest yield with the highest root volume, diameter, dry weight, surface and length to a depth of 25^{cm}.

Keywords: Genetic parameters, Grain yield, Root diameter, Sequential path analysis, Wheat

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/jcb.12.36.136]