

## معرفی مهم‌ترین صفات ریشه‌ای، فنولوژیک، مورفوفیزیولوژیک و زراعی موثر بر عملکرد دانه در گندم وحشی (*Aegilops tauschii* L.)

سید سعید موسوی<sup>۱\*</sup>، فاطمه حسینی<sup>۲</sup>، محمد رضا عبداللهی<sup>۱</sup> و علی سپهری<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۳)

### چکیده

گندم، به‌عنوان یک محصول راهبردی، به‌دلیل گستردگی سطح زیر کشت و تعادل بین پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌های آن، دارای اهمیت ویژه‌ای در تغذیه انسان است. گونه آجیلوپس تائوشی، به‌عنوان یکی از اجداد و دهنده ژنوم D، نقش به‌سزایی در تکامل گندم نان دارد. این تحقیق به‌منظور شناسایی مهم‌ترین صفات ریشه‌ای، فنولوژیک، مورفوفیزیولوژیک و زراعی موثر بر عملکرد دانه در ده اکوتیپ مختلف از گونه آجیلوپس تائوشی انجام شد. جهت رسیدن به هدف فوق، اکوتیپ‌های مذکور در طی دو سال متوالی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶، تحت شرایط نرمال رطوبتی (۹۵ درصد ظرفیت گلدانی) در گلخانه ارزیابی شدند. تنوع ژنتیکی بالایی در بین اکوتیپ‌ها برای اغلب صفات مهم و مرتبط با عملکرد دانه مشاهده شد. اکوتیپ مطلوب A19 دارای بیشترین و اکوتیپ‌های A16 و A17 دارای کمترین مقدار عملکرد و اجزای عملکرد دانه بودند. نتایج تجزیه همبستگی نشان داد که طیف مختلفی از صفات به‌ترتیب شامل کارایی مصرف آب دانه، ارتفاع بوته، شاخص برداشت، وزن دانه در سنبله‌ی اصلی، وزن سنبله‌ی اصلی، وزن پدانکل، تعداد سنبله‌چه در سنبله، طول پدانکل، وزن هزار دانه، طول دوره پرشدن دانه و وزن ساقه اصلی، بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار ( $p \leq 0.01$ ) را با عملکرد دانه نشان دادند. این درحالی بود که، به‌ترتیب صفات روز تا سنبله‌دهی، میزان مصرف آب، روز تا گرده‌افشانی، وزن خشک ریشه و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، بیشترین همبستگی منفی و معنی‌دار ( $p \leq 0.01$ ) را با عملکرد دانه نشان دادند. طبق نتایج رگرسیون گام به گام، صفات کارایی مصرف آب دانه و وزن دانه در سنبله اصلی (هر دو با ضرایب رگرسیونی مثبت) و وزن خشک ریشه (با ضریب رگرسیونی منفی)، به‌عنوان مهم‌ترین صفات موثر بر تغییرات عملکرد دانه، به‌ترتیب وارد مدل رگرسیونی شدند. صفت کارایی مصرف آب دانه، بیشترین اثر مستقیم مثبت را بر عملکرد دانه نشان داد. همچنین صفت وزن دانه در سنبله اصلی و وزن خشک ریشه نیز به‌ترتیب از طریق افزایش و کاهش کارایی مصرف آب دانه، بیشترین اثر غیرمستقیم مثبت و منفی را بر عملکرد دانه نشان دادند. بنابراین ممکن است بتوان اظهار داشت که با توجه به شباهت نسبی زمینه ژنتیکی گندم زراعی با گندم گونه آجیلوپس تائوشی، به‌عنوان یکی از اجداد وحشی گندم زراعی، انتخاب برای مقادیر بیشتر دو صفت کارایی مصرف آب دانه و وزن دانه در سنبله اصلی و مقادیر بینابین صفات ریشه‌ای و فنولوژیک (بجز صفت فنولوژیک طول دوره پر شدن دانه) منجر به بهبود عملکرد گندم نان در شرایط نرمال رطوبتی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اجداد وحشی گندم، ژنوم D، تجزیه همبستگی، تجزیه رگرسیون، تجزیه علیت

۱ و ۲. به‌ترتیب دانشیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: s.moosavi@basu.ac.ir

## مقدمه

پیش بینی افزایش جمعیت در جهان به مرز ۹ میلیارد نفر تا سال ۲۰۵۰ و لزوم تامین غذا برای این جمعیت، ظرفیت‌های جهانی تامین آب و غذای کافی را برای این جمعیت تحت فشار قرار خواهد داد (۳۹). رشد سریعتر جمعیت در مقایسه با رشد کندتر تولید محصولات غذایی منجر به ایجاد فاصله‌ای در بین رشد جمعیت و افزایش تولید محصولات غذایی و در نتیجه پررنگ شدن مسئله امنیت غذایی شده است. از بین محصولات مختلف زراعی، گندم به عنوان یک گیاه راهبردی، نقشی بسیار مهمی در مسئله امنیت غذایی در جهان دارد. یکی از روش‌های اقتصادی و پایدار جهت افزایش عملکرد دانه در گندم، انتخاب ژنوتیپ‌های برتر بر اساس صفات مطلوب مرتبط با عملکرد دانه است. خویشاوندان وحشی گندم دارای تنوع ژنتیکی بالا برای صفات مختلف از جمله عملکرد و اجزای عملکرد دانه هستند که می‌توان از این تنوع، در راستای بهبود عملکرد گندم نان بهره برداری کرد و در نتیجه شاید بتوان امنیت غذایی را برای جمعیت در حال رشد فراهم کرد (۳۹). از بین خویشاوندان وحشی گندم، گونه آجیلوپس تائوشی یا آجیلوپس اسکوارازا، گونه‌ای دیپلوئید و خود گرده‌افشان است که به عنوان والد بخشنده، ژنوم D را به گندم نان داده است (۲۱). ژنوم D یک مخزن ژنی برای تنوع ژنتیکی بهره‌برداری نشده است که می‌تواند برای افزایش کمیت و کیفیت عملکرد دانه در گندم‌های زراعی استفاده شود (۱۸، ۱۹ و ۳۹). در این راستا، گونه وحشی آجیلوپس تائوشی یکی از ارزشمندترین منابع ژنی برای بهبود صفات مختلف در گندم نان است (۱۵، ۳۱ و ۳۳). این گونه مهم وحشی، به عنوان یک مخزن ژنی با ارزش، برای بهبود عملکرد و صفات مرتبط با آن در گندم همواره مورد توجه محققین بوده است، دارای تنوع قابل توجهی از نظر صفات ریشه‌ای، فنولوژیکی و مورفوفیزیولوژیکی می‌باشد و با دامنه وسیعی از شرایط اکولوژیکی سازگار است (۱۱ و ۱۸). بر این اساس،

شناسایی و استفاده از تنوع آلی برای صفات مختلف ریشه‌ای، فنولوژیکی و مورفوفیزیولوژیکی در این گونه، به منظور گسترش پایه ژنتیکی گندم جهت بهبود عملکرد گندم از اهمیت به‌سزایی برخوردار است (۹، ۲۱ و ۴۰). امروزه با توجه به تغییرات نامطلوب شرایط آب و هوایی و محدودیت دسترسی به نیازهای رشدی گیاهان، به‌نژادگران گیاهی به دنبال تولید ارقام مصنوعی ساختگی یا Synthetic سازگار با شرایط نامطلوب محیطی، از جمله ایجاد ارقام گندم مصنوعی، به عنوان گام جدیدی در بهبود ارقام جدید گندم می‌باشند (۴۴). از بین بیش از ۳۰۰ گونه وحشی از قبیله تری تیسه‌آ (Triticeae) گونه آجیلوپس تائوشی، به عنوان یکی از اجداد مستقیم گندم نان سازگار با شرایط محیطی، یکی از مطلوب ترین گونه‌های مورد توجه به‌نژادی جهت تولید ارقام مصنوعی گندم در طی سال‌های اخیر بوده است (۲ و ۱۱). منابع ژنی زیادی برای مقاومت به آفات و بیماری در این گونه موجود است و تنوع ژنتیکی در ژنوم DD آن، بسیار بالاتر از گندم نان است (۲۱). ژنوم DD همچنین منبع غنی مقاومت در برابر تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی است و بنابراین می‌تواند منجر به بهبود ارقام جدید گندم شود (۲). خوشبختانه در طی سال‌های اخیر، بسیاری از لاین‌های گندم آلوهگزاپلوئید از طریق دورگ‌گیری مصنوعی بین گندم تتراپلوئید و گونه آجیلوپس تائوشی تولید شده است که این موضوع، نوید بخش تولید ارقام کم انتظار متحمل به شرایط نامطلوب محیطی است و بیانگر نقش قابل توجه این گونه وحشی با ارزش در تولید ارقام جدید گندم است (۲).

عملکرد دانه صفتی کمی است که توسط تعداد زیادی ژن کوچک اثر کنترل می‌شود. بر این اساس، توارث پذیری این صفت به دلیل وجود اثر متقابل بین ژنوتیپ و محیط پایین است و لذا انتخاب مستقیم برای عملکرد، جهت بهبود آن ممکن است که چندان مؤثر نباشد و پاسخ به گزینش مطلوبی نداشته باشد (۱۴). در واقع با توجه به کنترل ژنتیکی پیچیده عملکرد دانه، لازمه

مستقیم و غیر مستقیم تفکیک کند. شناسایی روابط بین صفات کمی و قابل توارث، اثر مستقیم و غیرمستقیم آن‌ها بر روی عملکرد دانه از مهم‌ترین عوامل موفقیت برای گزینش صفات در یک برنامه به نژادی هستند (۱۶). در این مطالعه به برخی از ویژگی‌های به نژادی خویشاوند وحشی گندم، آزیلوپس تائوچی جهت استفاده در برنامه‌های به نژادی با هدف بهبود عملکرد دانه گندم در شرایط نرمال رطوبتی اشاره می‌شود. بنابراین هدف این تحقیق ارزیابی وجود یا عدم وجود رابطه بین صفات مختلف ریشه‌ای، فنولوژیک، مورفوفیزیولوژیک و زراعی با صفت عملکرد دانه بود تا مهم‌ترین صفات مؤثر بر تغییرات عملکرد دانه در ده اکوتیپ مختلف آجیلوپس تائوچی شناسایی شود. در واقع با شناسایی این صفات، به دلیل شباهت نسبی زمینه ژنتیکی گندم زراعی با گونه آجیلوپس تائوچی، به عنوان یکی از اجداد وحشی گندم زراعی، می‌توان در آینده، از اطلاعات به دست آمده از این تحقیق، جهت بهبود عملکرد گندم زراعی تحت شرایط نرمال رطوبتی استفاده کرد.

## مواد و روش‌ها

### نوع طرح آزمایشی و نحوه اجرای آزمایش

این تحقیق به صورت تکرار دار و در طی دو دوره کاشت متوالی در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ با هدف ارزیابی رابطه بین عملکرد دانه با صفات مختلف ریشه‌ای، فنولوژیک، مورفوفیزیولوژیک و زراعی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینا به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط نرمال رطوبتی به صورت ۹۵ درصد ظرفیت زراعی خاک انجام شد. با توجه به عدم وجود شرایط کاملاً یکسان در گلخانه و وجود تغییرات یک جهته نوری و گرمایی از حاشیه به سمت قسمت مرکزی گلخانه، عمل بلوک بندی بر خلاف جهت تغییر ماده آزمایشی انجام شد و از لذا از طرح بلوک‌های کامل تصادفی، به عنوان طرح مناسب این

موفقیت در مسیر به نژادی برای بهبود آن، وجود تنوع ژنتیکی بالا در بین ژنوتیپ‌های زراعی و وحشی گندم و انتخاب بر اساس صفات با توارث پذیری بیشتر و مرتبط با عملکرد دانه است (۷). از طرفی دیگر، با توجه به این که تنوع ژنتیکی محدودی در ژنوتیپ‌های مختلف گندم نان در به نژادی برای بهبود ویژگی‌های مختلف، از جمله عملکرد دانه، وجود دارد (۲۸)، لذا استفاده از خویشاوندان وحشی گندم، یکی از راه کارهای مهم جهت بهبود عملکرد دانه در این گیاه مهم زراعی است (۳۰).

با شناسایی و انتخاب برای صفات مرتبط با عملکرد دانه، می‌توان عملکرد را به طور غیر مستقیم افزایش داد (۸). جهت نیل به این هدف، روش‌های مختلف آماری وجود دارد که با استفاده از این روش‌ها می‌توان روابط بین صفات و عملکرد دانه را ارزیابی کرد و صفات مؤثر بر تغییرات عملکرد دانه را شناسایی کرد. یکی از این روش‌ها ضریب همبستگی است که روابط خطی بین صفات را نشان می‌دهد. علیرغم اهمیت این تجزیه، اما برآورد ضریب همبستگی بین عملکرد و اجزای آن برای دستیابی به تأثیر و اهمیت این اجزا بر عملکرد دانه کافی نیست (۳). به منظور تعیین نقش اجزای عملکرد در بالا بردن عملکرد و افزایش کارایی انتخاب توسط تعداد کمی از خصوصیات به عنوان شاخص‌های مؤثر در دستیابی به اهداف به نژادی، از رگرسیون گام به گام استفاده می‌شود. همچنین به منظور مطالعه اثرات مستقیم و غیر مستقیم متغیرهای علت بر روی متغیرهای معلول از روش تجزیه علیت استفاده می‌شود (۱۴). با استفاده از تجزیه رگرسیون گام به گام می‌توان اثر صفات کم تأثیر بر عملکرد را در مدل رگرسیونی حذف کرد و صفاتی را که میزان قابل توجهی از تغییرات عملکرد را توجیه می‌کنند را انتخاب کرد (۱۷). روش آماری تجزیه علیت، همان رگرسیون جزئی استاندارد شده‌ای است که اثر مستقیم و غیر مستقیم یک متغیر را بر روی متغیرهای دیگر نشان داده شده است. این روش آماری می‌تواند ضریب همبستگی ساده را به اثرات

جدول ۱. اطلاعات ده اکوتیپ گندم وحشی گونه آجیلوپس تائوشی مطالعه شده

کد اکوتیپ	محل جمع آوری اولیه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
A11	آمل، مازندران، ایران	۷۶۱	۵۲ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی	۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی
A12	آهار، آذربایجان شرقی، ایران	۱۳۶۰	۴۷ درجه و ۴ دقیقه طول شرقی	۳۸ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی
A13	کرج، البرز، ایران.	۱۲۹۷	۵۱ درجه و ۰ دقیقه طول شرقی	۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی
A14	آستارا، گیلان، ایران	۲۰	۵۳ درجه و ۴۸ دقیقه طول شرقی	۲۵ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی
A15	مغان، اردبیل، ایران	۴۵	۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی	۳۹ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی
A16	چالوس، مازندران، ایران	۱۹	۵۰ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی	۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه عرض شمالی
A17	حیران، اردبیل، ایران	۱۵۰۰	۵۲ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی	۳۰ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی
A18	کوچصفهان، گیلان، ایران	۱۰	۵۱ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی	۴۹ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی
A19	گیلان، گیلان، ایران	۲۰	۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی	۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه عرض شمالی
A20	درود، لرستان، ایران	۱۴۶۰	۴۹ درجه و ۴ دقیقه طول شرقی	۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی

پژوهش استفاده شد.

مساوی از خاک زراعی، ماسه بادی و کود دامی پوسیده بودند، نشاء شدند. جهت ممانعت از خفگی گیاهچه‌ها و رشد بهتر آن‌ها، طبق پیشنهاد نظری و همکاران (۳۰)، رطوبت گلدان‌ها در حد ۹۵ درصد ظرفیت گلدانی خاک و به روش وزنی نگهداری شدند (۳۰ و ۳۲).

#### مواد گیاهی و شرایط گلخانه

مواد گیاهی استفاده شده در این تحقیق شامل ده اکوتیپ مختلف گندم وحشی دیپلوئید از گونه شناخته شده آجیلوپس تائوشی، (*Aegilops tauschii* L.;  $2n=2x=14$ , DD) بود که از نقاط مختلف ایران با طول و عرض متفاوت جغرافیایی جمع‌آوری شده بودند و در طی چند سال انتخاب برای تک بوته، اکوتیپ‌ها از نظر ژنتیکی خالص شده بودند (جدول ۱). در این تحقیق به منظور مطالعه وجود یا عدم وجود رابطه معنی‌دار بین عملکرد دانه با صفات مختلف ریشه‌ای، فنولوژیک، مورفوفیزیولوژیک و زراعی، تعداد ۳۴ صفت (جدول ۲) اندازه‌گیری و ارزیابی شدند. در ابتدا بذور ژنوتیپ‌های مورد نظر در سینی‌های نشاء، که حاوی نسبت مساوی از پرلیت و کوکوپیت بودند، کشت شدند. پس از جوانه زنی بذور، کلیه گیاهچه‌های سینی‌های کشت، در مرحله‌ی دو برگ‌گی به مدت پنج هفته به اتاق سرد با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، به منظور بهاره‌سازی، منتقل شدند. سپس نشاءها به گلدان‌های پلاستیکی ۱۰ کیلویی با قطر ۴۰ سانتی‌متر و عمق ۵۰ سانتی‌متر، که حاوی نسبت

#### صفات اندازه‌گیری شده

در این پژوهش تعداد ۳۴ صفت جهت شناسایی و معرفی موثرترین صفات مؤثر بر عملکرد دانه مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۲). صفت طول دوره پر شدن دانه از طریق تفاضل بین صفت روز تا گرده‌افشانی و صفت روز تا رسیدگی فیزیولوژیک محاسبه شد. کارایی مصرف آب دانه با محاسبه نسبت عملکرد دانه در گلدان به مقدار آب خالص مصرفی برای بوته در هر گلدان تعیین شد (۴۱). برای محاسبه میزان آب مصرفی، قبل از هر آبیاری، گلدان‌ها وزن شدند و از طریق تفاضل با وزن اولیه میزان آب مصرفی در هر گلدان اندازه‌گیری شد. در نهایت کل مقدار آب مصرفی، به عنوان مجموع مصرف آب در طول رشد گیاه، محاسبه شد. صفات اندازه‌گیری شده حاصل میانگین‌گیری داده‌های

جدول ۲. صفات ارزیابی شده در ده اکوتیپ آجیلوپس تائوشی

اختصار صفت	صفت (واحد)	اختصار صفت	صفت (واحد)
NFS	تعداد سنبله بارور در بوته	-----	الف- صفات فنولوژیک
TKW	وزن هزار دانه (گرم)	DTH	روز تا سنبله‌دهی (روز)
EYPP	عملکرد دانه (اقتصادی) در بوته (گرم)	DTA	روز تا گرده افشانی (روز)
BYPP	عملکرد بیولوژیک در بوته (گرم)	DTM	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (روز)
PHI	شاخص برداشت بوته (درصد)	GFP	طول دوره پر شدن دانه (روز)
SNPS	تعداد سنبله‌چه در سنبله	-----	ب- صفات مورفوفیزیولوژیک
SNPMS	تعداد دانه در سنبله اصلی	PH	ارتفاع بوته (سانتی متر)
SNPP	تعداد دانه در بوته	PEL	طول پدانکل (سانتی متر)
MSPW	وزن سنبله اصلی (گرم)	LN	تعداد برگ
SWPMS	وزن دانه در سنبله اصلی (گرم)	PEW	وزن پدانکل (گرم)
TN	تعداد پنجه در بوته	MSTW	وزن ساقه اصلی (گرم)
-----	ج- صفات ریشه‌ای	LA	سطح برگ (سانتی متر مربع)
MRL	طول ریشه اصلی (سانتی متر)	RWC	محتوای آب نسبی (درصد)
RV	حجم ریشه (سانتی متر مکعب)	ELWR	توانایی حفظ آب در برگ قطع شده
RDW	وزن خشک ریشه (گرم)	WU	میزان مصرف آب (لیتر)
RA	سطح ریشه (سانتی متر مربع)	GWUE	کارایی مصرف آب دانه (گرم در لیتر)
RDWSDW	نسبت وزن خشک ریشه به ساقه	BWUE	کارایی مصرف آب زیست توده (گرم)
RD	قطر ریشه (سانتی متر)	-----	ج- صفات زراعی (عملکرد دانه و

سانتی متر و عمق ۵۰ سانتی متر، خارج شدند، پس از شستشوی ریشه، صفات مربوط به ریشه اندازه‌گیری شدند. به طوری که صفت حجم ریشه با استفاده از تفاوت حجم آب استوانه مدرج قبل و بعد از غوطه‌ور کردن ریشه اندازه‌گیری شدند. صفت سطح ریشه و قطر ریشه با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شد (۴).

$$RD = \text{Root diameter} = ((4 \times FRW) / (\pi \times MRL))^{0.5}$$

$$RA = \text{Root area} = 2(MRL \times RV \times \pi)^{0.5}$$

که در آن RD = قطر ریشه، RA = سطح ریشه، MRL = طول ریشه اصلی، RV = حجم ریشه، FRW = وزن تر ریشه و  $\pi$  = ۳/۱۴ است. دو صفت محتوای آب نسبی برگ (Relative water content or RWC) و قدرت حفظ آب در برگ قطع شده (Excited leaf water retention) به ترتیب طبق فرمول‌های زیر و

پنج بوته در هر گلدان بودند. صفات عملکرد دانه و اجزای عملکرد در هنگام برداشت اندازه‌گیری شدند و برای اندازه‌گیری طول و وزن صفات مورد مطالعه به ترتیب از خط کش و از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد. سپس سطح تقریبی برگ (A) با استفاده از رابطه زیر و به طور تقریب برآورد شد که در آن L و W به ترتیب بیانگر طول و عرض هر برگ می‌باشد (۲۴).

$$A = L \times W \times 0.75$$

صفت محتوای کلروفیل، با استفاده از میانگین ۱۰ عدد قرائت شده متوالی در پهنک برگ دوم هر بوته در اوایل مرحله سنبله‌دهی توسط دستگاه قرائت سبزینه‌گی به دست آمد. برای اندازه‌گیری صفات ریشه‌ای، با شروع سنبله‌دهی، در ابتدا گیاهان از سطح خاک گلدان‌های پلاستیکی ۱۰ کیلویی با قطر ۴۰

قبله، تنوع ژنتیکی بالا و معنی‌داری در بین اکوتیپ‌های گندم وحشی در گونه آزیلوپس (۲۸ و ۳۰) و بوئوتیکوم (۱) گزارش شد. این محققین استفاده از زمینه ژنتیکی مطالعه شده در تحقیقات آتی را پیشنهاد دادند. زو و همکاران (۴۴)، تنوع مورفولوژیکی سه گونه‌ی آزیلوپس سیلیندریکا، آزیلوپس نگکتا و آزیلوپس جنیکولاتا را با استفاده از ۱۳ صفت کمی ارزیابی کردند. آن‌ها بیش‌ترین تنوع ژنتیکی را در بین این سه گونه برای صفات عملکرد دانه در بوته، وزن هزار دانه، وزن دانه در سنبله اصلی، ارتفاع بوته و برخی از صفات فنولوژیک گزارش کردند.

#### نتایج مقایسه میانگین اکوتیپ‌ها برای عملکرد دانه و برخی از صفات مرتبط با آن

نتایج نشان داد که از میان ده اکوتیپ وحشی مطالعه شده، اکوتیپ مطلوب A19 دارای بیشترین و اکوتیپ‌های نامطلوب A16 و A17 دارای کمترین مقدار عملکرد دانه و صفات مرتبط با عملکرد دانه بودند (جدول ۴). در واقع، بر خلاف دو اکوتیپ نامطلوب A16 و A17، اکوتیپ مطلوب A19 از نظر صفات مطلوب عملکرد دانه، کارایی مصرف آب دانه، ارتفاع بوته، شاخص برداشت بوته، وزن دانه در سنبله اصلی، وزن سنبله اصلی، وزن پدانکل، طول پدانکل، وزن هزار دانه، طول دوره پرشدن دانه و وزن ساقه اصلی، بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد درحالی‌که این اکوتیپ از نظر صفات نامطلوب میزان مصرف آب، روز تا گرده‌افشانی، وزن خشک ریشه و روز تا رسیدگی، دارای کمترین مقدار بودند (جدول ۴). این درحالی بود که دو اکوتیپ نامطلوب A16 و A17 از نظر اغلب صفات ریشه‌ای و صفات فنولوژیک، به‌جز صفت طول دوره پر شدن دانه، دارای بیشترین مقدار در مقایسه با سایر اکوتیپ‌ها بودند. در تحقیقی بر روی گندم وحشی گونه بوئوتیکوم، عبدی و همکاران (۱) اظهار داشتند که صفات کارایی مصرف آب و وزن

با شروع سنبله‌دهی محاسبه شدند (۲۲).

$$RWC = (FW - DW) / (TW - FW)$$

$$ELWR = (1 - (FW - ADM)) / (FW) \times 100$$

که در آن  $FW$  = وزن تر برگ،  $DW$  = وزن خشک برگ،  $TW$  = وزن تورژسانس برگ و  $ADM$  = وزن پژمردگی برگ می‌باشد.

مقایسه میانگین‌ها به روش حداقل تفاوت معنی‌دار (Least Significant Difference) توسط نرم افزار SAS Ver. 9.2 انجام شد. پس از انجام آزمون یکنواختی واریانس داده‌های دوساله از طریق آزمون بارتلت، از میانگین داده‌های دو سال کاشت متوالی برای ارزیابی روابط بین صفات از طریق روش‌های آماری تجزیه همبستگی پیرسون، تجزیه رگرسیون گام به گام به روش پیش رونده (Forward method) و تجزیه مسیر با استفاده از نرم افزار Minitab Ver. 16 استفاده شد.

#### نتایج و بحث

##### نتایج تجزیه واریانس برای عملکرد دانه و برخی از صفات مرتبط با آن

نتایج تجزیه واریانس برای صفات مرتبط با عملکرد دانه نشان داد که اثر اکوتیپ برای کلیه صفات مورد نظر معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) بود و تنوع ژنتیکی قابل‌توجهی در بین اکوتیپ‌ها برای این صفات مشاهده شد (جدول ۳). وجود اختلاف‌های معنی‌دار آماری در بین اکوتیپ‌ها بیانگر پتانسیل ژنتیکی متفاوت آنها و در نتیجه پاسخ متفاوت آنها تحت شرایط آزمایشی این پژوهش بود. از آنجایی که وجود تنوع ژنتیکی بالا پایه و اساس انتخاب ژنوتیپ‌های برتر و مطلوب است، بر این اساس، ژرم پلاسما مورد مطالعه دارای تنوع کافی برای انتخاب صفات مختلف، به‌ویژه عملکرد دانه و اجزای عملکرد، می‌باشد که گزینش در این ژرم پلاسما منتج به پاسخ به گزینش مطلوب خواهد شد که از ژنوتیپ‌های مطلوب در برنامه‌های آمیزشی، جهت ایجاد زمینه ژنتیکی جدید و متنوع، می‌توان استفاده کرد. در پژوهش‌های



جدول ۴: نتایج مقایسه میانگین برخی از صفات مرتبط با عملکرد دانه در ده اکتیب اکتوبیس تانوس در طی دو سال کاشت بنوالی تحت شرایط رطوبتی ۹۵ درصد ظرفیت گلدانی

اکتیب	عملکرد دانه در بوته (گرم)	کارایی مصرف آب دانه (کیلوگرم بر متر مکعب)	ارتفاع بوته (سانتی متر)	شاخص برداشت بوته (درصد)	وزن دانه در سنبله اصلی (گرم)	وزن سنبله اصلی (گرم)	وزن پداتکل (گرم)	طول پداتکل (گرم)
A11	۱/۸۰ a	۰/۰۳ b	۳۸/۵ c	۱۷/۹ c	۰/۳۳ de	۰/۱۳ d	۰/۲۸ de	۸/۱۵۰ d
A12	۱/۴۳ bc	۰/۰۳ a	۴۶/۳ a	۲۲/۶ b	۰/۲۴ b	۰/۲۴ bc	۰/۷۰ ab	۱۱/۹۸۰ b
A13	۱/۲۴ cd	۰/۰۳ bc	۴۹/۷ a	۲۱/۳ bc	۰/۱۹ cd	۰/۱۹ bc	۰/۵۸ bc	۱۱/۸۹۰ b
A14	۰/۹۱ de	۰/۰۲ c	۳۸/۳ c	۱۵/۸ c	۰/۱۷ de	۰/۱۴ cd	۰/۳۸ de	۸/۷۸/۱ d
A15	۱/۰۹ cd	۰/۰۲ bc	۳۴/۶ cd	۶/۳۷ d	۰/۱۴۱ de	۰/۱۳ d	۰/۲۵ e	۹/۱۳۳ d
A16	۰/۱۶ f	۰/۰۰۲ d	۲۷/۸ d	۲/۷۱ e	۰/۱۱ e	۰/۱۱ e	۰/۳۱ de	۸/۳۰۵ d
A17	۰/۵۱ ef	۰/۰۰۸ d	۳۳/۳ d	۷/۷۷ d	۰/۱۱ e	۰/۱۱ e	۰/۳۳ de	۶/۷۷۷ de
A18	۰/۹۳ de	۰/۰۲ bc	۳۷/۵ c	۱۹/۳ bc	۰/۱۷ de	۰/۱۷ cd	۰/۴۶ de	۸/۰۲۷ d
A19	۱/۵۷ a	۰/۰۴ a	۴۲/۷ b	۳۱/۹ a	۰/۳۵ a	۰/۳۵ a	۰/۸۰ a	۱۶/۸۵۷ a
A20	۱/۴۳ bc	۰/۰۳ bc	۴۷/۵ a	۱۷/۴ c	۰/۲۷ b	۰/۲۵ b	۰/۵۵ c	۱۱/۴۷۴ b

  

اکتیب	وزن هزار دانه (گرم)	طول دوره پریشیدن دانه (روز)	وزن ساقه اصلی (گرم)	وزن سنبله دهی (روز)	مقدار مصرف آب (میلی لیتر)	روز تا تکیده انسانی (روز)	وزن خشک ریشه (گرم)	روز تا رسیدگی فینورتیک (روز)
A11	۳۲/۰	۳۵/۸	de/۱۷۳	d/۵۷	b/۱۴۴۸۳	۳/۱۶	۳/۵۶	d/۳۳۱
A12	۳۳/۴	۳۴/۸	b/۲۶۶	۳/۴۳	cd/۱۶۶۸۳	۴/۱۵۲	۳/۶۱	f/۲۰۰
A13	۳۳/۴	۳۴/۴	c/۳۳۱	۳/۴۵	cd/۱۶۸۳	۳/۵۵	۳/۴۰	e/۲۰۳
A14	۳۲/۴	۳۳/۸	de/۱۸۲	۳/۷۰	bc/۸۰۸۳	d/۱۷۸	۳/۳۱	d/۲۲۸
A15	۳۱/۹	۳۴/۵	f/۱۳۸	۳/۷۱	b/۱۴۴۸۳	d/۸۳	۳/۵۰	c/۴۰
A16	۳۱/۵	۳۳/۲	ef/۱۶۱	۳/۰۸	۳۲۴۴۸۳	b/۱۹	۳/۳۵	a/۲۵۸
A17	۳۱/۵	۳۴/۵	d/۲۰۸	۳/۰۰	۳۲۴۴۸۳	c/۰۳	۳/۷۱	b/۴۳
A18	۳۲/۸	۳۱/۵	c/۲۴	۳/۳۹	bc/۱۷۸۱۰	a/۲۵۷	۳/۴۴	a/۳۱۲
A19	۳۵/۷	۳۵/۸	a/۳۱۸	۳/۳۴	d/۵۷۸۳	۳/۴۲	d/۱۰	f/۱۹۵
A20	۳۴/۸	۳۰/۲	a/۳۴۰	d/۵۷	b/۱۴۴۸۳	۳/۶۷	۳/۴۷	b/۴۸

حجرت مشابه در هر ستون بینگرم عدم تفاوت معنی دار آماری با سطح اطمینان ۵ درصد می باشد.

گزارش شد که دو صفت وزن دانه در سنبله اصلی و وزن هزار دانه ارتباط قوی و مثبتی با افزایش عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های مطلوب نشان دادند. در تحقیقی دیگر در گندم (۳۵) اظهار شد که ژنوتیپ‌های مطلوب دارای بیشترین مقدار وزن هزار دانه بودند و گزارش شد که این صفت ارتباط مثبت و معنی‌دار را با عملکرد دانه داشت و لذا تاکید شد که این صفت اغلب در انتخاب ارقام گندم پرمحصول استفاده می‌شود.

### تجزیه همبستگی

طبق نتایج تجزیه همبستگی (جدول ۵)، عملکرد دانه بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار ( $p \leq 0.01$ ) را به ترتیب با صفات کارایی مصرف آب دانه ( $r=0.98^{**}$ )، ارتفاع بوته ( $r=0.80^{**}$ )، شاخص برداشت بوته ( $r=0.77^{**}$ )، وزن دانه در سنبله‌ی اصلی ( $r=0.66^{**}$ )، وزن سنبله‌ی اصلی ( $r=0.65^{**}$ )، وزن پدانکل ( $r=0.60^{**}$ )، تعداد سنبله‌چه در سنبله ( $r=0.59^{**}$ )، طول پدانکل ( $r=0.59^{**}$ )، وزن هزار دانه ( $r=0.58^{**}$ )، طول دوره پرشدن دانه ( $r=0.56^{**}$ ) و وزن ساقه اصلی ( $r=0.51^{**}$ ) نشان داد. همچنین عملکرد دانه بیش‌ترین همبستگی منفی و معنی‌داری ( $p \leq 0.01$ ) را با صفات روز تا سنبله دهی ( $r=-0.76^{**}$ )، میزان مصرف آب ( $r=-0.72^{**}$ ) روز تا گرده‌افشانی ( $r=-0.72^{**}$ )، وزن خشک ریشه ( $r=-0.63^{**}$ ) و روز تا رسیدگی ( $r=-0.60^{**}$ ) نشان داد. نتایج تجزیه همبستگی (جدول ۵) نشان داد که اغلب صفات ریشه‌ای و صفات فنولوژیک، به‌جز صفت طول دوره پر شدن دانه، دارای همبستگی منفی با عملکرد دانه بودند. این نتیجه بیانگر این بود که ژنوتیپ‌هایی که در دوره محدودی از فصل رشد، بخش عمده‌ای از مواد فتوسنتزی تولیدی خود را به بخش‌های زایشی، از جمله اجزاء عملکرد، اختصاص داده‌اند دارای عملکرد دانه بیشتری خواهند بود. به‌طور کلی بررسی و شناسایی صفات مرتبط با عملکرد دانه کمک قابل توجهی به اجرای برنامه‌های گزینشی در به‌نژادی گیاه خواهد کرد. در واقع

ساقه اصلی بیشترین هم‌راستایی و صفات قابلیت نگهداری آب در برگ قطع شده، عمق ریشه اصلی و میزان مصرف آب، به‌ترتیب کمترین همسویی را با عملکرد دانه در بوته نشان دادند. افزایش همزمان عوامل ۱- توانایی تولید و ذخیره سازی مواد جذب شده، به‌عنوان مثال، با مقدار بالای وزن سنبله اصلی و زیست توده بالا و ۲- توانایی جذب سریعتر و انتقال مجدد مواد پرورده به دانه‌ها (با مقدار زیاد کارایی مصرف آب و شاخص برداشت بالا، یک جنبه نادیده گرفته شده برای اصلاح عملکرد دانه بوده است. به عبارت دیگر، توانایی ژنوتیپ در تولید و تخصیص مواد جذب شده بیشتر به بخش‌های زایشی گیاه یعنی دانه، به‌ترتیب با افزایش زیست توده و با افزایش کارایی مصرف آب به جای صفات زیرزمینی، باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود. به‌عنوان مثال در تحقیق فوق نیز، اکوتیپ‌های نامطلوب Tb3 و Tb5، به‌دلیل تخصیص بیش‌تر مواد فتوسنتزی به بخش‌های زیرزمینی در این اکوتیپ‌ها، عملکرد دانه در بوته آن‌ها کاهش یافت.

همچنین اکوتیپ مطلوب A19، از نظر صفات نامطلوب میزان مصرف آب، روز تا گرده‌افشانی، وزن خشک ریشه و روز تا رسیدگی، که همبستگی منفی و معنی‌داری با عملکرد دانه داشتند (جدول ۵)، کم‌ترین مقادیر را به خود اختصاص داد. عملکرد دانه مهم‌ترین صفت از دیدگاه اقتصادی برای محققین و کشاورزان است که همواره تاکید بر روی افزایش آن مورد نظر و توافق بوده است. نتایج حاصل از این تحقیق نیز بیانگر این بود که اکوتیپ‌های مطلوب از طریق داشتن مقادیر بالایی از صفات مهم مرتبط با عملکرد دانه، قابلیت رقابت بیشتری با سایر اکوتیپ‌ها از نظر عملکرد داشته‌اند و عملکرد دانه خود را بهبود داده‌اند. در تحقیقی (۶) مشخص شد که ژنوتیپ‌های مطلوب گندم با عملکرد بالا، دارای مقادیر زیادی از صفات وزن دانه در سنبله اصلی، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و تعداد پنجه بارور بودند. همچنین در تحقیق فوق









به‌عنوان مخزن یا محل ذخیره مواد پرورده، است. نتایج این پژوهش (جدول ۵) نشان داد که عملکرد دانه دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با صفات تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه است. مفهوم نتیجه به‌دست آمده این است که عملکرد دانه در اکوتیپ‌های مطلوب این پژوهش هم از طریق تعداد دانه و هم از طریق وزن هزار دانه افزایش یافته است. در واقع شاید بتوان این طور بیان کرد که با افزایش تعداد دانه و وزن هزار دانه، صفاتی چون وزن دانه در سنبله اصلی، وزن سنبله اصلی و وزن ساقه اصلی افزایش می‌یابند و لذا به دلیل همبستگی مثبت و معنی‌دار سه صفت وزن دانه در سنبله اصلی، وزن سنبله اصلی و وزن ساقه اصلی با عملکرد دانه، در نهایت عملکرد دانه افزایش خواهد یافت. دیگر نتیجه قابل توجه این پژوهش (جدول ۵)، ارتباط مثبت و معنی‌دار بین صفت طول دوره پر شدن دانه با عملکرد دانه بود که در برخی از تحقیقات قبلی هم تایید شده است. در واقع با افزایش طول دوره پر شدن دانه، دانه‌هایی با وزن هزار دانه بیشتری به‌دست آمده است که این مساله موجب افزایش عملکرد دانه از طریق وزن هزار دانه شده است. به‌طوری‌که نتایج به‌دست آمده هم نشان داد که بین عملکرد دانه و وزن هزار دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. طبق نتایج (جدول ۵) صفت کارایی مصرف آب، دارای بیشترین ارتباط مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه بود. در تحقیقی (۱۴) اظهار شد که صفت کارایی مصرف آب با داشتن همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار با عملکرد دانه، شاخصی مناسبی جهت گزینش غیرمستقیم در به‌نژادی برای افزایش عملکرد دانه است. در تحقیق عبدی و همکاران در گندم وحشی (۱)، اظهار شد که صفات کارایی مصرف آب، زیست توده در بوته، تعداد دانه در سنبله اصلی، وزن دانه در سنبله اصلی و وزن سنبله اصلی با عملکرد دانه در بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان دادند. در تحقیق فوق، صفات طول ریشه اصلی، روز تا سنبله‌دهی و روز تا گلدهی همبستگی منفی و معنی‌داری با

گزینش برای مقادیر بالاتری از صفات کارایی مصرف آب دانه، ارتفاع بوته، شاخص برداشت بوته، وزن دانه در سنبله اصلی، وزن سنبله اصلی، وزن پدانکل، تعداد سنبلچه در سنبله، طول پدانکل، وزن هزار دانه، طول دوره پرشدن دانه، وزن ساقه اصلی و تعداد دانه در بوته و گزینش برای مقادیر کمتری از صفات فنولوژیک و صفات ریشه‌ای در این اکوتیپ‌ها منجر به بهبود عملکرد دانه خواهد شد.

در تحقیقی دیگر بر روی ۹۴ لاین گندم دابل هابلوئید، والدین آن‌ها و ۵ رقم بومی ایرانی، توسط آرمینیان و هوشمند (۶)، مشخص شد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با صفات تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، شاخص برداشت، تعداد پنجه بارور و عرض برگ پرچم وجود داشت. همچنین آن‌ها گزارش کردند که بین عملکرد دانه و تعداد پنجه‌ی کل، ارتفاع بوته و تعداد گره همبستگی منفی و معنی‌داری وجود دارد. در تحقیق فوق صفات تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه، به‌عنوان موثرترین صفات برای بهبود عملکرد دانه، شناسایی شدند. به‌طوری‌که صفت وزن هزار دانه، به‌عنوان شاخصی مطلوب جهت گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا تحت شرایط نرمال رطوبتی، توسط بسیاری از محققین تاکید و پیشنهاد شده است (۱۰). این در حالی است که رنجبر و همکاران (۳۴)، برخلاف نتایج تحقیقات قبلی، همبستگی منفی و معنی‌داری را بین وزن هزار دانه و عملکرد دانه گزارش کردند. در مطالعه‌ای بر روی گونه‌های وحشی گندم، مرادی و آقایی (۲۹)، همبستگی‌های مثبت و منفی معنی‌داری بین برخی از صفات مورد ارزیابی و عملکرد دانه نشان دادند. در تحقیق بر روی گندم، محمدی و همکاران (۲۳)، اظهار شد که بین عملکرد دانه و صفات ارتفاع بوته و طول پدانکل همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. شاید یکی از دلایل این همبستگی مثبت و معنی‌دار بین این دو صفت با عملکرد دانه به‌واسطه ذخیره مواد فتوسنتزی در این اندام‌ها و انتقال مجدد آن‌ها به بخش‌های زایشی از جمله دانه‌ها،

ارقام گندم (۱۳) گزارش شد که عملکرد دانه با صفات تعداد دانه در سنبله، تراکم سنبله، تعداد پنجه بارور، وزن هزاردانه، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک همبستگی مثبت و معنی داری نشان دادند. در واقع نتایج تحقیقات قبلی، که به طور عمده بر روی ژنوتیپ‌های زراعی انجام شده بود، در بیشتر موارد با نتایج به دست آمده در این تحقیق، که بر در ژنوتیپ‌های وحشی انجام شد، مطابقت خوبی نشان داد. به طوری که در تحقیق حاضر هم صفاتی چون طول پدانکل، وزن پدانکل، وزن سنبله اصلی، وزن دانه در سنبله اصلی، وزن ساقه اصلی، تعداد سنبله بارور در بوته، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته و طول دوره پر شدن دانه باعث بهبود راندمان مصرف آب و افزایش شاخص برداشت و در پایان منجر به افزایش عملکرد دانه شده‌اند. از طرفی دیگر، افزایش سطح برگ نیز منجر به فتوسنتز بیشتر و افزایش اجزاء مهم عملکرد گردیده است. این در حالی بود که اغلب صفات فنولوژیک و صفات ریشه‌ای، نیز مطابق نتایج تحقیقات قبلی، همبستگی منفی و معنی داری را با عملکرد دانه نشان دادند (جدول ۴).

### تجزیه رگرسیون گام به گام

این تجزیه با هدف پیش‌بینی و شناسایی مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد دانه اکوتیپ‌های گندم آجیلوپس تائوچی و همچنین جهت تعیین سهم هریک از این صفات در واریانس عملکرد دانه تحت شرایط مطلوب رطوبتی، انجام شد. نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام برای اکوتیپ‌های آزیلوپس تائوچی (جدول ۶) نشان داد که مهم‌ترین صفات مؤثر بر تغییرات عملکرد دانه تحت شرایط نرمال رطوبتی به ترتیب کارایی مصرف آب، وزن دانه در سنبله اصلی و وزن خشک ریشه (با ضریب منفی) بودند که در مجموع ۹۸/۹ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند (جدول ۶). براساس نتایج جدول همبستگی صفت کارایی مصرف آب دارای بالاترین همبستگی مثبت با عملکرد دانه

عملکرد نشان دادند. یکی از دلایل همبستگی بین دو صفت می‌تواند به علت قرارگرفتن ژن‌های کنترل کننده آن دو صفت بر روی یک کروموزوم، به عنوان یک گروه لینکاژی، باشد. درخصوص صفات کیفی، همبستگی بین صفات به طور منحصر، به مکان ژنی کنترل کننده آن صفات و ارتباط آن‌ها روی کروموزوم بستگی دارد که این ارتباط می‌تواند به صورت پیوستگی ژن‌ها یا اثر متقابل غیر آلی و یا ترکیبی از این حالات جلوه کند، ولی در مورد صفات کمی علاوه بر ژن‌های کنترل کننده صفت، پارامترهای مختلف از جمله عوامل محیطی هم می‌تواند موجب همبستگی بین صفات شود. همبستگی‌های بالای صفات در شرایط رطوبتی مختلف نشان می‌دهد که هرگونه تلاش در راستای به‌نژادی آن‌ها منجر به افزایش عملکرد دانه خواهد شد. برخی از صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی به میزان زیادی به عملکرد دانه کمک می‌کنند. صفات مورفولوژیکی مانند تعداد پنجه، تعداد دانه در سنبله، تعداد پنجه بارور در بوته، وزن هزار دانه، طول دم‌گل، ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله و غیره بر عملکرد گندم تأثیر می‌گذارند (۵ و ۳۸). به طوری که در تحقیقی (۱۳) که به منظور شناسایی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مؤثر بر عملکرد گندم انجام شد، گزارش شد که صفات تعداد دانه در سنبله، تراکم سنبله، تعداد پنجه بارور، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک دارای همبستگی مثبت و معنی داری با عملکرد دانه بودند (۱۳). همچنین در پژوهش صبا و همکاران (۳۶) در ژنوتیپ‌های مختلف گندم تحت تنش رطوبتی، اظهار شد که عملکرد دانه در بوته با صفات عملکرد بیولوژیکی در بوته، تعداد سنبله بارور در بوته، وزن هزار دانه و طول دوره پر شدن دانه، همبستگی مثبت و معنی داری داشت. همچنین در همین تحقیق (۳۶)، اظهار شد که صفات ارتفاع بوته، روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی، طول ریشه و وزن خشک ریشه با عملکرد دانه همبستگی منفی و معنی دار نشان دادند. در تحقیقی دیگر در

جدول ۶. نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام برای ده اکوتیپ آجیلوپس تائوشی در طی دو سال کاشت متوالی تحت شرایط رطوبتی ۹۵ درصد ظرفیت گلدانی

مراحل رگرسیون	صفات وارد شده به مدل	عرض از مبدأ	ضرایب رگرسیونی			ضریب تبیین تجمعی
			X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	
۱	کارایی مصرف آب دانه (X <sub>1</sub> )	۰/۱۲	---	---	۹۳/۴**	
۲	وزن دانه در سنبله اصلی (X <sub>2</sub> )	-۰/۰۷	۰/۳۴	۳۵/۱	۹۸/۱**	
۳	وزن خشک ریشه (X <sub>3</sub> )	۰/۱۴	۰/۵۱	۲۹/۶	۹۸/۹**	

پیشنهاد کرد.

آقایی سربرزه و امینی (۲) با انجام تجزیه رگرسیون درگندم‌های مصنوعی نشان دادند که صفاتی مانند تعداد روز از ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع بوته و تعداد دانه در سنبله، رابطه مثبت و معنی داری با عملکرد دانه داشتند. بر اساس رگرسیون مرحله‌ای، عملکرد بیولوژیک، وزن دانه در سنبله و تعداد سنبله، از مهم‌ترین اجزای عملکرد بوده و سهم موثرتری در توجیه عملکرد دانه داشتند (۴۲). در مطالعه ای (۳۷)، صفات شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تراکم سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، طول سنبله، طول ریشک و دوره پر شدن دانه به‌عنوان مهم‌ترین صفات موثر بر عملکرد دانه گندم نان شناسایی شدند. در مطالعه‌ای دیگر (۲۵)، شاخص برداشت دانه، زیست توده و محتوای نسبی آب برگ، به‌عنوان مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد دانه، پیشنهاد شدند که در مجموع ۹۴ درصد تغییرات عملکرد را تبیین کردند. هارب و همکاران (۱۲) بیان کردند که زیست توده گیاهی، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله و وزن دانه در سنبله بیش‌ترین تأثیر مثبت را بر عملکرد دانه توده‌های بومی گندم داشتند. در مطالعه ای کارایی مصرف آب و وزن دانه در سنبله اصلی موثرترین صفات برای بهبود عملکرد دانه بودند. مقدار بالای کارایی مصرف آب، شاخص برداشت گیاه، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله اصلی، تعداد دانه در بوته، عملکرد بیولوژیک در بوته و محتوای نسبی

$(r=0/98^{**})$  بود. در تجزیه رگرسیون مرحله‌ای نیز، این صفت اولین صفتی بود که وارد مدل رگرسیونی شد و به‌تنهایی ۹۳/۴ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کرد. این نتیجه نشان‌دهنده نقش مؤثر این صفت در گزینش اکوتیپ‌های مطلوب با عملکرد دانه بالا بود (۴۳). بنابراین طبق نتایج حاصله شاید بتوان اظهار داشت که هرگونه تلاش برای افزایش کارایی مصرف آب دانه، ارتفاع بوته، شاخص برداشت بوته، وزن دانه در سنبله‌ی اصلی، وزن سنبله‌ی اصلی، وزن پدانکل، تعداد سنبلچه در سنبله، وزن هزار دانه، طول دوره پرشدن دانه، وزن ساقه اصلی و تعداد دانه در بوته منجر به بهبود عملکرد دانه خواهد شد. در تأیید این نتایج، رگرسیون گام به گام نیز نشان داد که صفت وزن دانه در سنبله اصلی می‌تواند یک ویژگی مهم برای بهبود غیرمستقیم عملکرد دانه باشد. به‌طور کلی، کارایی مصرف آب دانه و وزن دانه در سنبله اصلی به‌عنوان دو جزء اصلی عملکرد دانه پیشنهاد می‌شوند (۲۸). از طرفی دیگر، اکوتیپ‌های مطلوب، از جمله اکوتیپ A19، که بخش کم‌تری از مواد پرورده خود را به بخش‌های زیرزمینی اختصاص داده‌اند و بیشتر مواد فتوسنتزی خود را به مخازن (دانه‌ها) اختصاص می‌دهند دارای کارایی مصرف آب بیشتر و درنهایت عملکرد بهتری هستند (جدول ۵). بنابراین، با توجه به مطالعات قبلی (۲۱ و ۳۰)، راندمان مصرف آب را می‌توان به‌عنوان یک شاخص ارزشمند برای انتخاب غیرمستقیم برای بهبود عملکرد دانه در شرایط مختلف رطوبتی

جدول ۷. نتایج تجزیه علیت برای ده اکوتیپ آجیلوپس تائوشی در طی دو سال کاشت متوالی تحت شرایط رطوبتی ۹۵ درصد ظرفیت گلدانی

شماره صفت	نام صفت	اثر مستقیم	اثر غیر مستقیم بر عملکرد دانه از طریق		
			صفت.....	صفت با عملکرد دانه	ضریب همبستگی
			X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
۱	کارایی مصرف آب دانه (X <sub>1</sub> )	۱/۰۴	---	۰/۴۳	-۰/۶۰
۲	وزن دانه در سنبله اصلی (X <sub>2</sub> )	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	---	۰/۰۰۱
۳	وزن خشک ریشه (X <sub>3</sub> )	۰/۱۲	-۰/۰۷	۰/۰۳	---

اثر باقیمانده = ۰/۲۲

زیست توده در بوته بیشترین تأثیر مستقیم را بر عملکرد دانه نشان دادند. همچنین صفت زیست توده بیشترین اثر منفی غیرمستقیم را بر کاهش عملکرد دانه نشان داد. این نتیجه نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌هایی که بخش زیادی از قسمت هوایی خود را به تشکیل دانه و پر شدن دانه اختصاص می‌دهند، عملکرد دانه بالایی خواهند داشت. نظری و همکاران (۳۰) گزارش کردند که صفات مهمی مانند کارایی مصرف آب، وزن دانه در سنبله اصلی و شاخص برداشت گیاه، بیشترین تأثیر مستقیم را بر افزایش میانگین عملکرد دانه داشتند. در واقع، این صفات کاندیدهای مناسبی برای انتخاب غیرمستقیم جهت بهبود عملکرد دانه در گندم هستند و می‌توانند شاخص‌های مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب باشند. به‌طور کلی گزارش‌های متعددی در مورد ارتباط مثبت عملکرد و کارایی مصرف آب در شرایط مختلف رطوبتی وجود دارد (۱۳ و ۱۶). بنابراین شاید بتوان اظهار کرد که شناسایی صفات مهم و مؤثر بر عملکرد خویشاوندان گندم وحشی، معیار مطلوبی برای انتخاب در ارقام گندم زراعی است، اگرچه این نتیجه‌گیری نیاز به تکرار پژوهش و تحقیقات بیشتر دارد. بنابراین شاید بتوان اظهار کرد که شناسایی صفات مهم و مؤثر بر عملکرد در گندم وحشی، معیار مطلوبی برای انتخاب در گندم زراعی است، همچنین، افزایش کارایی مصرف آب در شرایط مختلف رطوبتی باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود (۲۰). به‌طور کلی اظهار می‌شود که تلاش گیاه برای افزایش شاخص برداشت، از طریق افزایش اجزاء عملکرد، و افزایش کارایی مصرف آب دو

آب و مقدار کم صفات فنولوژیک، به جز دوره پر شدن دانه، توانایی حفظ آب در برگ قطع شده و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی برای بهبود عملکرد دانه پیشنهاد شد (۲۶).

### تجزیه علیت

تجزیه علیت (مسیر) با هدف تفسیر بهتر نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام و تفکیک ضرایب همبستگی به اثرات مستقیم و غیر مستقیم صفات و جهت اطلاع از روابط بین این صفات، انجام شد. در واقع بررسی روابط بین صفات کمی و قابل توارث، اثر مستقیم و غیر مستقیم آنها بر روی عملکرد دانه از مهم‌ترین عوامل موفقیت برای گزینش صفات در یک برنامه به‌نژادی هستند (۱۶).

نتایج تجزیه علیت برای اکوتیپ‌های آجیلوپس تائوشی نشان داد که صفت کارایی مصرف آب دارای بیشترین اثر مستقیم و مثبت بر عملکرد دانه بود (جدول ۷). در این صفت اثرات مستقیم صفات با اثر همبستگی کل مطابقت داشت و تأثیر آن‌ها در یک جهت بود، بنابراین هرگونه تلاش در جهت افزایش این صفت، منجر به افزایش عملکرد دانه خواهد شد. همچنین صفت وزن خشک ریشه (با ضریب منفی) و وزن دانه در سنبله اصلی به ترتیب از طریق کاهش و افزایش میزان صفت کارایی مصرف آب دانه، دارای بیشترین اثر غیر مستقیم منفی و مثبت بر عملکرد دانه بودند. در مطالعه‌ای بر روی لاین‌های امیدبخش گندم (۲۷)، صفت شاخص برداشت و

بیشترین اثر مستقیم بر عملکرد دانه و به ترتیب صفات وزن دانه در سنبله اصلی و وزن خشک ریشه (با ضریب منفی)، با بیشترین اثر غیرمستقیم مثبت و منفی بر عملکرد، به عنوان مهم ترین صفات تاثیرگذار بر عملکرد دانه در اکوتیپ های حاضر شناسایی شدند. بنابراین، شاید بتوان گزینش برای مقادیر بالاتری از دو صفت کارایی مصرف آب دانه و وزن دانه در سنبله اصلی و مقادیر کمتری از صفات فنولوژیک و صفات ریشه ای را، به عنوان صفاتی با توارث پذیری ساده و پاسخ به گزینش بالا، جهت شناسایی اکوتیپ های شاخص با عملکرد مطلوب در شرایط نرمال رطوبتی را در برنامه های آتی به نژادی گندم پیشنهاد داد.

### تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان، از کلیه کسانی که در انجام این پژوهش ها رایاری رسانیده اند، کمال تشکر و قدردانی را دارند. همچنین از دانشگاه بوعلی سینا که از طریق تامین گرنت با شماره ۴۸۹۵، بخشی از هزینه های این پژوهش را فراهم کرده است سپاسگزاری می شود.

شاخص مهم برای موفقیت یک ژنوتیپ در شرایط نرمال رطوبتی است که می تواند به عنوان یک استراتژی به نژادی در این شرایط استفاده شود.

### نتیجه گیری کلی

طبق نتایج این تحقیق و تحقیقات قبلی، گندم وحشی گونه آجیلوپس تائوشی، به عنوان یکی از خویشاوندان وحشی گندم، مخزن ژنی مهمی برای بهبود عملکرد گندم در شرایط مختلف رطوبتی است. در این تحقیق، اکوتیپ A19، با داشتن مقادیر بیشتری از عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن، از جمله کارایی مصرف آب، وزن دانه در سنبله اصلی و با داشتن مقادیر کمتری از صفات فنولوژیک و همچنین مقدار کمتری از وزن خشک ریشه، به عنوان مطلوب ترین ژنوتیپ معرفی شد. این در حالی است که اکوتیپ های A16 و A17 با داشتن مقادیر بیشتری از صفات فنولوژیک، از جمله صفات روز تا سنبله دهی، روز تا گرده افشانی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک با داشتن مقدار بیشتری از صفات ریشه ای، از جمله وزن خشک، به عنوان نامطلوب ترین اکوتیپ، تحت شرایط این پژوهش شناسایی شد. صفت کارایی مصرف آب دانه با

### منابع

- Abdi, F., S. S. Moosavi, M. R. Abdollahi, S. Tahmasebi-Enferadi and M. Maleki. 2019. Responses of above and below ground traits of 10 accessions of *Triticum boeoticum* to non-stress and imposed moisture stress conditions. *Desert* 24(1): 87-97.
- Aghaee Sarbarze, M. and A. Amini. 2013. Evaluation of agronomic characteristics of synthetic wheat genotypes. *Seed and Plant Journal* 1(29): 25-44. (In Farsi).
- Ali, I. and E. Shakor. 2012. Heritability, variability, genetic correlation, and path analysis for quantitative traits in durum and bread wheat under dry farming conditions. *Mesopotamia Journal of Agriculture* 40: 27-39.
- Alizadeh, A. 2006. Soil, Water-Plant Relationship. Astane of Ghodse of Razavi Publication, Mashhad. (In Farsi).
- Aminzadeh, G. 2010. Evaluation of seed yield stability of wheat advanced genotypes in Ardabil, Iran. *Research Journal of Environmental Sciences* 4: 478-482.
- Arminian, A. and S. Houshamnd. 2017. Investigation and importance of relationships of grain yield and yield components in wheat (*Triticum Aestivum* L.) breeding. *Journal of Crop Breeding* 9(23): 1-8.
- Ashraf, M. 2010. Inducing drought tolerance in plants: Recent advances. *Biotechnology Advances* 28: 169-183.
- Blum, A. 2011. Plant Breeding for Water-Limited Environments. Vol. XIV. Springer, New York.
- Comas, L., S. Becker, V. M. V. Cruz, P. F. Byrne and D. A. Dierig. 2013. Root traits contribute to plant productivity under drought. *Front Plant Science* 4: 1-16.
- Deyong, Z. 2011. Analysis among main agronomic traits of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) in Qinghai Tibet Plateau. *Bulgarian Journal of Agricultural Sciences* 17: 615-622.
- Elhadi, G. M. I., N. M. Kamal, Y. S. A. Gorafi, Y. Yamasaki, K. Takata, I. S. A. Tahir, M. O. Itam, H. Tanaka and H. Tsujimoto. 2021. Exploitation of tolerance of wheat kernel weight and shape-related traits from *Aegilops tauschii* under heat and combined heat-drought stresses. *International Journal of Molecular Sciences* 22:1830-1838.

12. Harb, S., M. Khodarahmiand and B. Sorkhi. 2012. Evaluation of genetic diversity for morphological and phenological traits in Iranian landrace wheat. In: Proceeding of 12<sup>th</sup> Iranian Genetics Congress. Tehran, Iran. pp. 1121-1122
13. Hooshmandi, B. and V. Rashidi. 2016. Evaluation of the effects of some morphophysiological traits on seed yield of winter wheat genotypes. *Journal of Crop Ecophysiology* 10(2): 447-460. (In Farsi).
14. Janmohammadi, M., Z. Movahedi and N. Sabaghnia. 2014. Multivariate statistical analysis of some trait of bread wheat for breeding under rainfed conditions. *Journal of Agricultural Sciences* 59: 1-14.
15. Jones, H., N. Gosman, R. Horsnell, G. A. Rose, L. A. Everst, A. R. Bentley, S. Tha, C. Uauy, A. Kowalski, D. Novoselovic, R. Simek, B. Kobiljski, A. Kondic-Spika, L. Brbaklic, O. Mitrofanova, Y. Chesnokov, D. Bonnett and A. Greenland. 2013. Strategy for exploiting exotic germplasm using genetic, morphological, and environmental diversity: the *Aegilops tauschii* Coss. Example. *Theoretical and Applied Genetics* 126: 1793-1808.
16. Khan, A. J., F. Azam and A. Ali. 2010. Relationship of morphological traits and grain yield in recombinant inbred wheat lines grown under drought conditions. *Pakistan Journal of Botany* 42(1): 259 - 267.
17. Khodadadi, M., H. Dehghani and M. H. Fotokian. 2012. Study of heritability, path and factor analysis in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Jouran of Agronomy Sciences* 4(4): 67-74. (In Farsi).
18. Khodadadi, Z., M. Omid, A. Etminan, A. Ebrahimi and A. Pour-Aboughadareh. 2023. Molecular and physiological variability in bread wheat and its wild relative (*Aegilops tauschii* Coss.) species under water-deficit stress conditions. *Biotechnology* 12(3): 28-39.
19. Ki Hyun, K., M. K. Abuhena, S. Kwang Hyun, C. Jong Soon, H. Hwa Young and W. Sun-Hee. 2010. Large-scale proteome investigation in wild relatives (A, B and genomes) of wheat. *Acta Biochim Biophys sin* 10(1093): 1-8.
20. Lopez, G., B. Pallas, S. Martinez, P. E. Lauri, J. L. Regnard, C. E. Durel and E. Costes. 2017. Heritability and genetic variation of plant biomass, transpiration, and water use efficiency for an apple core collection. *Acta Horticulture* 1172: 317-322.
21. Mahjoob, M. M. M., Y. S. A. Gorafi, N. M. Kamal, Y. Yamasaki, I. S. A. Tahir, Y. Matsuoka and H. Tsujimoto. 2021. Genome-wide association study of morpho-physiological traits in *Aegilops tauschii* to broaden wheat genetic diversity. *Plants* 10: 211-218.
22. Mguis, Kh., A. Albouchi, M. Abassi, A. Khadhri, M. Ykoubi-Tej, A. mahjoub, N. Ben Brahim and Z. Ouerghi. 2013. Responss of leaf growth and gas exchanges to salt stress during reproductive stage in wild whrat relative *Aegilops geniculata* Roth. and wheat (*Triticum durum*). *Acta Physiologica Platarum* 35: 1453-1461.
23. Mohammadi, A., A. Majidi, M. R. Bihamta and Sh. Heydari. 2007. Evaluation of drought stress on agronomic-morphologic trials in some wheat varieties. *Journal of Agriculture and Horticulture Research (Pajouhesh and Sazandegi)* 73: 184-192. (In Farsi).
24. Moll, R. H. and E. J. Kamparth. 1977. Effect of population density up on agronomic traits associated with genetic increases in yield of *Zea mays* L. *Agronomy Journal* 69: 81-84.
25. Moosavi, S. S., F. Abdi, M. R. Abdollahi, S. Thmasebi Enferadi and M. Maleki. 2020. Phenological, morpho-physiological, and proteomic responses of *Triticum boeoticum* to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry* 156: 95-104.
26. Moosavi, S. S., F. Kianersi and M. R. Abdollahi. 2013. Application of multivariate statistical methods in the detection of effective traits on bread wheat (*Triticum aestivum* L.) yield under moisture stress conditions. *Cereal Researches* 3(2): 119-130. (In Farsi).
27. Moosavi, S. S., F. Kianersi and M. R. Abdollahi and D. Afioni. 2016. Evaluation of grain yield of bread wheat promising lines and identification of agro-morphological traits associated with yield under terminal moisture stress conditions. *Journal of Crop Production and Processing* 18: 91-103. (In Farsi).
28. Moosavi, S. S., M. Nazari and M. Maleki. 2017. Responses of above and below-ground traits of wheat wild relative (*Aegilops tauschii*) and bread wheat (*Triticum aestivum* L.) to imposed moisture stress. *Desert* 22(2): 209-220.
29. Moradi, A. and M. G. Aghai. 2012. The study of genetic diversity in wild wheat species by morphological traits. *Plant Prouductions* 34(2): 41-55. (In Farsi).
30. Nazari, M., S. S. Moosavi and M. Maleki. 2018. Morpho-physiological and proteomic responses of *Aegilops tauschii* to imposed moisture stress. *Plant Physiology and Biochemistry* 132: 445-452.
31. Nguyen, A. T., R. Nishijima, T. Kajimura, K. Murai and S. Takumi. 2015. Quantitative trait locus analysis for flowering-related traits using two F2 populations derived from crosses between Japanese common wheat cultivars and synthetic hexaploids. *Genes and Genetic Systems* 90: 89-98.
32. Paok, K., A. Das, B. Mittra and P. Mohanty. 2011. Salt-stress induced alterations in protein profile and protease activity in the mangrove (*Bruguiera parviflora* L.). *Naturforschung A Journal of Chemical Science* 59: 408-414.
33. Pour-Aboughadareh, A., F. Kianersi, P. Poczai and H. Moradkhani. 2021. The potential of wild relatives of wheat: Ideal genetic resources for future breeding programs. *Agronomy* 11: 1656.
34. Ranjbar, A., A. R. Sepaskhah and S. Emadi. 2015. Relationships between wheat yield, yield components and physico-chemical properties of soil under rainfed conditions. *International Journal of Plant Production* 9: 433-465.
35. Rymuza, K., E. Turska, G. Wielogórska and A. Bombik. 2012. Use of principal component analysis for the assessment

- of spring wheat characteristics. *Acta Scientiarum Polonorum Agricultura* 11: 79-90.
36. Saba, J., Sh. Tavana, Z. Qorbanian, E. Shadan, F. Shekari and F. Jabbari. 2018. Canonical correlation analysis to determine the best traits for indirect improvement of wheat grain yields under terminal drought stress. *Journal of Agricultural Science and Technology* 20: 1037-1048.
37. Sayyah, S. S. 2010. Studying terminal drought stress effect on grains yield, yield components, and some morphophysiological traits in irrigated wheat genotypes. MSc Thesis. Razi University. Kermanshah, Iran.
38. Sharma, K. D. and A. Kumar. 2013. Identification of physiological and yield related traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under varying soil moisture stress. *Journal of Agrometeorology* 16(1): 78-84.
39. Sing, N. 2017. Genetic Diversity of Wheat Wild Relative, *Aegilops Tauschii*, for Wheat Improvement. Interdepartmental Genetics College of Agriculture, Poland.
40. Sohail, Q., T. Inoue, H. Tanaka, A. E. Eltayeb, Y. Matsuoka and H. Tsujimouka. 2011. Applicability of *Aegilops tauschii* drought tolerance traits to breeding of hexaploid wheat. *Breeding Science* 61: 347-357.
41. Vafabakhsh, J., M. Nassiri Mahallati, A. Koocheki and M. Azizi, 2009. Effects of water deficit on water use efficiency and yield of Canola cultivars (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 7(1): 280- 292.
42. Zakizadeh. M., M. Esmailzadeh and D. Kahrizi. 2010. Study on genetic variation and relationship between plant characteristics and grain yield in long spike bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes-using multivariate analysis. *Iranian Journal of Crop Sciences* 12(2): 18-30. (In Farsi).
43. Zhu, J., P. Hoa, G. Chen, C. Han, X. Li and F. J. Zeller. 2014. Molecular cloning, phylogenetic analysis, and expression profiling of endoplasmic reticulum molecular chaperone BiP genes from bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *BMC Plant Biology* 14: 260-271.
44. Zhu, L. C., C. M. Smith, A. Fritz, E. Boyko, P. Voothuluru and B. S. Gill. 2005. Inheritance and molecular mapping of new green bug resistance genes in wheat germ plasms derived from *Aegilops tauschii*. *Theoery and Appied. Genetics*. 111:831-837.

## Identification of the Most Important Root, Phenological, Morpho-Physiological, and Agronomic Traits Affecting Grain Yield of Wild Wheat (*Aegilops tauschii* L.)

S. S. Moosavi<sup>1\*</sup>, F. Hosseini<sup>2</sup>, M. R. Abdollahi<sup>1</sup> and A. Sepehri<sup>1</sup>

1 and 2. Associate Professors and Graduated M.Sc. Student, Respeccively, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

\*Corresponding author's e-mail address: [s.moosavi@basu.ac.ir](mailto:s.moosavi@basu.ac.ir)

(Received: April 14-2024; Accepted: August 24-2024)

### Extended Abstract

#### Introduction

Wheat plays a very important role in meeting the food security in the world. The wild relatives of wheat have high genetic diversity for various traits. These traits can be exploited in order to improve the yield of bread wheat, and as a result, answer the question of food security for the growing population. *Aegilops tauschii* or *Aegilops squarrosa* L. is a diploid and self-pollinating species that has given the D genome to bread wheat as a donor parent. Genome D is an unexploited gene reservoir for genetic diversity that can be used to increase the quantity and quality of grain yield in common bread wheat. *Aegilops tauschii* as a valuable gene pool, has always been of interest to researchers to improve yield and related traits in wheat. Based on this, identifying and using allelic diversity for various root, phenological and morpho-physiological traits in this species is very important in order to expand the genetic base of wheat to improve wheat yield. Therefore, the aim of this research was to study the relationships between different traits and grain yield in order to identify the most important traits affecting the changes of grain yield in ten different ecotypes of *Aegilops tauschii*.

#### Materials and Methods

This research was conducted in a repeated manner during the years 2016 and 2017 in the Research Greenhouse of Bu-Ali Sina University, Hamedan, west of Iran, in the form of a randomized complete block design with three replications under normal moisture conditions (supplying 95% of field capacity). The plant materials of this research included 10 ecotypes of *Aegilops tauschii*. The seeds were germinated and grown in germination trays containing equal proportions of perlite and cocopeat. After the seeds germinated, all the seedlings in the trays were transferred to the cold room at the temperature of 4 degrees Celsius for five weeks in the two-leaf stage for vernalization. Then, the seedlings were transplanted into 10 kg plastic pots (pots had a diameter of 40 cm and a depth of 50 cm), which contained an equal ratio of agricultural soil, sand, and rotted animal manure. In this research, 34 attributes were measured and evaluated.

#### Results and Discussion

High genetic diversity among ecotypes was observed for most of the important traits related to grain yield. The desired ecotype A19 had the highest, and ecotypes A16 and A17 had the lowest yield and grain yield components. The results of correlation analysis revealed that an array of traits including grain water use efficiency, plant height, harvest index, grain weight per main spike, main spike weight, peduncle weight, spikelets/spike, peduncle length, thousand grain weight, grain filling period length, and main stem weight

showed the highest positive and significant correlation ( $p \leq 0.01$ ) with grain yield. Additionally, grain yield had the most significant ( $p \leq 0.01$ ) and negative correlation with days to heading, water consumption, days to anthesis, root dry weight, and days to maturity. According to the stepwise regression results, water use efficiency, grain weight per main spike (both with a positive regression coefficient), and root dry weight (with a negative regression coefficient) were identified as the most important traits influencing grain yield variations. Water use efficiency had the highest direct positive effects on grain yield, while grain weight per main spike and root dry weight had the highest indirect positive and negative effects on grain yield, respectively, through increasing and decreasing water use efficiency. Therefore, it may be inferred that due to the relative similarity of the genetic background of common bread wheat with *Aegilops tauschii* species, as one of its wild ancestors, the selection for higher grain water use efficiency and grain weight in the main spike, as well as root and phenological traits (except grain filling period) leads to the improvement of common wheat yield in normal moisture conditions. Ecotypes A16 and A17 were identified as the most unfavorable ecotypes, mainly because they needed greater number of days to heading, days to pollination, and days to physiological maturity, and invested more photosynthetic products to rooting attributes, including root dry weight. According to the results of this research, *Aegilops tauschii*, is an important gene reservoir for improving wheat yield. In this research, ecotype A19, where its higher amounts of grain yield and related traits, including water use efficiency and grain weight in the main spike are accompanied by lower amounts of phenological traits as well as lower dry weight of roots, was the most desirable ecotype.

## Conclusion

Water use efficiency, grain weight per main spike and root dry weight were identified as the most important traits affecting grain yield. Therefore, it may be possible to select for higher values of water use efficiency and grain weight per main spike and lower values of phenological traits and root traits. These traits, which have high heritability and respond well to selection, can be used to identify ecotypes of this wild wheat. Ultimately, they can be used in future wheat breeding programs.

**Keywords:** *Wild wheat ancestors, Genome D, Correlation analysis, Regression analysis, Causal analysis.*