

بررسی تنوع ژنتیکی صفات ریشه در عدس (*Lens culinaris Medik*)

مریم غلامی^۱، زهرا طهماسبی^{۱*}، رحیم ناصری^۲

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲- گروه تکنولوژی تولیدات گیاهی، آموزشکده فنی مهندس و کشاورزی دهلران، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: z.tahmasebi@ilam.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۰

چکیده

عدس یکی از مهم‌ترین گیاهان تیره بقولات است. کمبود آب از مهم‌ترین مسائل در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا است. با توجه به اهمیت ویژگی‌های ریشه در عدس و تأثیر آن‌ها بر عملکرد گیاه و اجتناب از تنش خشکی، جهت یافتن تنوع ژنتیکی بین صفات ریشه در ۲۳ ژنوتیپ عدس آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ایلام انجام شد. ۳۰ روز پس از جوانه زنی بذرها قسمت‌های هوایی توسط فیچی جدا و سپس ریشه‌ها از بستر ماسه بادی توسط آب تحت فشار جداسازی شدند. سپس به اندازه گیری ۱۶ صفت ریشه پرداخته شد، نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها در بیشتر صفات ریشه در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی و تراکم بافت ریشه به ترتیب به مقدار ۰/۰۵۶ و ۰/۱۰۸ در ژنوتیپ سپهر مشاهده شده است؛ همچنین بیشترین میزان چگالی ریشه ۰/۲۱ سانتی‌متر مکعب را ژنوتیپ FILIP2012- 2L دارا بوده است. ژنوتیپ ILL8006 نیز بیشترین مقدار چگالی سطح ریشه ۴/۶۳، قطر ریشه ۰/۳۵ و حجم مخصوص ریشه ۰/۰۰۰۲۵ و وزن تر ریشه ۱/۱۵ را دارا بوده است. بیشترین میزان شادابی ریشه ۴۵۹/۳۰ و طول ریشه ۵۵/۷۱ سانتی‌متر نیز به ژنوتیپ FILIP2014- 02IL تعلق داشت. بیشترین میزان تراکم حجم ریشه ۰/۰۰۰۲۷ در ژنوتیپ FILIP2014- 72L مشاهده شد. ژنوتیپ FILIP2014- 103L دارای بیشترین مقدار تراکم طول ریشه ۰/۰۳۲ و سطح ریشه ۳۱۳/۴۶ بود. بیشترین مقدار طول مخصوص ریشه ۱۶۴۵/۸ و حجم ریشه ۲/۴۹ سانتی‌متر مکعب به ژنوتیپ FILIP2007- 95L تعلق داشت. بیشترین میزان محتوای آب ریشه ۳۳/۷۱ در ژنوتیپ 6-316 مشاهده شد. ژنوتیپ FILIP97-10L بیشترین میزان وزن خشک ریشه ۰/۰۵۳ را داشت. با توجه به وجود تنوع ژنتیکی بین صفات ریشه در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از تنوع موجود می‌توان در جهت اصلاح ارقام مقاوم به تنش خشکی در گیاه عدس بهره برد.

واژگان کلیدی: "تجزیه واریانس"، "شادابی ریشه"، "طول ریشه"، "وزن خشک اندام هوایی".

۱- مقدمه

(Hosseinzadeh et al., 2012). توجه به اینکه بیش از ۸۰ درصد کشت عدس در کشور به‌صورت دیم می‌باشد، خشکی و کمبود آب در خاک بیشترین تأثیر را در کاهش عملکرد این گیاه در مراحل مختلف رشد و نمو گیاه دارد (پارسا و باقری، ۱۳۸۷). درباره بخش‌های هوایی گیاهان پژوهش‌های بسیاری انجام گرفته است. با این وجود، کمتر به جنبه‌های رشد ریشه که ساختار کل گیاه به آن بستگی دارد، توجه شده است. این موضوع ناشی از مشکلات مربوط به مطالعه ریشه به دلیل وضعیت زیر زمینی آن می‌باشد (Gupta et al., 1984). عدس از حبوبات سرمادوست و رشد نامحدود است. که اغلب در ایران در خاک‌های نه‌چندان حاصلخیز به صورت دیم کشت می‌شود، به دلیل کمبود بارندگی و همچنین نوسان پراکنش بارندگی، عملکرد آن، اغلب اندک و ناپایدار است، در صورت تأمین رطوبت قابل دسترس می‌تواند رشد رویشی و زایشی خود را به مدت طولانی ادامه دهد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۰). بنابراین از میان کلیه صفات مورفولوژی، بیشترین توجه معطوف به ریشه‌ها می‌باشد (پارسا و باقری، ۱۳۸۷). یک سیستم ریشه‌ای عمیق از طریق استخراج آب موجود در لایه‌های عمیق خاک به گیاه کمک می‌کند تا از شرایط تنش خشکی اجتناب کند (Ludlow and Muchow., 1990). ساختار ریشه یکی از عوامل تعیین‌کننده دسترسی به آب و عناصر غذایی خاک می‌باشد (Gruber et al., 2013). خصوصیاتمانند وزن، حجم، طول، قطر، عمق نفوذ و پراکنش ریشه در خاک، جنبه‌های مختلف ساختار ریشه هستند که از جمله

در بین حبوبات، عدس نقش بسزایی در تغذیه و سلامت انسان دارد (پارسا و باقری، ۱۳۹۰). عدس به دلیل ویژگی‌های مطلوبی که دارد دارای اهمیت ویژه‌ای است (بغدادی، ۱۳۸۴). این گیاه با نام علمی *Lens culinaris Medik*، از خانواده *McVicar et al., (2005) Fabaceae* گیاهی خودگشن و دیپلوئید ($2n=14$)، علفی و یکساله با ساقه‌ای به رنگ سبز روشن و کوتاه و منشعب است. ارتفاع گیاه از ۱۵ تا ۷۵ سانتی‌متر متغیر است. و دارای سیستم ریشه‌ای به‌صورت یک ریشه مستقیم مرکزی و چند ریشه جانبی فیبری است (کوچکی و بنایان، ۱۳۸۸). بعد از غلات حبوبات دومین منبع مهم غذایی هستند (بغدادی، ۱۳۸۴). گیاهانی کم توقع، که برای کشت در اراضی کم نهاده مطلوب هستند. از لحاظ اکولوژیکی و زیست محیطی، ارزش فراوانی در جلوگیری از افزایش آلودگی اراضی دارند (پارسا و باقری، ۱۳۸۷). از مهم‌ترین منابع پروتئینی در رژیم غذایی بشر می‌باشند (Oweis et al., 2005). استفاده منظم از حبوبات در برنامه غذایی می‌تواند در رفع سوء تغذیه و کمبود اسیدهای آمینه نقش ایفا کند (Tepe et al., 2005). تنش‌ها مهمترین علتی هستند که تولیدات کشاورزی را به شیوه‌های مختلف دچار مشکل می‌کنند و تنش خشکی یکی از این تنش‌ها است (حسینی و امید بیگی، ۱۳۸۱). عامل اصلی محدود کننده رشد گیاه آب قابل دسترس می‌باشد، زمانی بیشترین بازده از نظر رشد و تولید محصول حاصل می‌شود که از آب محدود موجود در خاک، حداکثر جذب صورت پذیرد

مکانیزم‌های مقاومت گیاه به خشکی و دستیابی به منابع ژنتیکی مورد نیاز در برنامه‌های اصلاحی، درک صفات مورفولوژیک مرتبط با مقاومت به خشکی، به‌ویژه صفات مربوط به ریشه گیاه، ضروری است. با توجه به اینکه اطلاعات محدودی درباره تنوع صفات ریشه عدس در دسترس است در مطالعه حاضر تنوع صفات مورفولوژیک ریشه در بین تعدادی از ژنوتیپ‌های عدس مطالعه می‌شود.

۲- مواد و روش

● روش کشت و نمونه‌برداری

این تحقیق در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام بر روی ۲۳ ژنوتیپ عدسکه منشاء ایکاردا داشتند و از مرکز تحقیقات کشاورزی ایلام گرفته شده بود (جدول ۱)، انجام شد. میانگین دما در ۲۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط رطوبت گلخانه در مدت آزمایش ۷۰ درصد بود. گیاهان از نور طبیعی بدون هیچ نور اضافی استفاده می‌کردند. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی و با ۴ تکرار اجرا شد. برای عملیات کشت در این آزمایش از لوله‌های PVC به قطر ۱۰ سانتیمتر و طول ۶۰ سانتیمتر که از ۷۵ درصد ماسه بادی و ۲۵ درصد خاک پر شده بودند استفاده شد. ابتدا بذور ژنوتیپ‌ها ضدعفونی شده و سپس در لوله‌های PVC تعداد ۴ عدد بذر در عمق ۵ / ۱ سانتیمتر کشت شدند. آبیاری بصورت ۲ بار در هفته صورت گرفت. پس از گذشت ۳۸ روز از جوانه‌زنی بذور، ابتدا قسمت‌های هوایی را توسط قیچی جدا، سپس جداسازی ریشه‌ها از بستر ماسه بادی توسط آب تحت فشار با دقت زیاد انجام شد. سپس ریشه‌های جدا شده را در داخل اتانول با غلظت ۹۸ درصد قرار داده و پس از انتقال به آزمایشگاه، اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه انجام شد.

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های مورد بررسی در تحقیق

نام ژنوتیپ	کد ژنوتیپ
FLIP2011-45L	۱
PRECO2- ILL4605	۲
کیما	۳
FLIP2014- 72L	۴
FLIP2007- 95L	۵
FLIP2012-240L	۶
FLIP97-10L	۷
ILL8006	۸
FLIP2014- 103L	۹
FLIP2012-77L	۱۰
6-316	۱۱
FLIP2012- 244L	۱۲
FLIP2002-12L	۱۳
FLIP2002-7L	۱۴
سپهر	۱۵
FLIP2002_032L	۱۶
FLIP2007-55L	۱۷
FLIP2010_95L	۱۸
FLIP2012_2L	۱۹
پيله سوار	۲۰
FLIP2014-0311	۲۱
FLIP2014-02IL	۲۲
FLIP2014-029L	۲۳

پارامترهای مهم در ارتباط با جذب آب و مواد غذایی و در نتیجه بهبود عملکرد محسوب می‌شوند (Gregory, 1988). علی‌رغم نقش ضروری سیستم ریشه در رشد گیاه و تنوع بالای آن، به دلیل اینکه تکنیک‌های ارزیابی ریشه زمان‌بر و مشکل است و همچنین در شرایط مزرعه همراه با خطای زیادی نسبت به اندام‌های هوایی هستند توجه کمتری به سیستم ریشه شده است (Manschadi et al., 2006). بهبود ویژگی‌های ریشه می‌تواند افزایش بیشتر عملکرد را در برداشته باشد. در ارتباط با ساختار ریشه می‌توان به خصوصیاتمانند قابلیت نفوذ ریشه به عمق‌های پایین‌تر به منظور استفاده از آب زیرزمینی و جذب مواد مغذی، به نحوه انشعاب ریشه و قطر (نسبت سطح به حجم) اشاره کرد (Gupta et al., 1984). شناسایی تنوع در صفات رشدی ریشه می‌تواند از طریق به‌نژادی گیاهی، به بهبود استقرار گیاهچه در خاک و در نتیجه بهبود عملکرد گیاهان زراعی منتهی شود (Richards, 2008). اطلاعات محدودی در زمینه‌ی تنوع ژنوتیپی از نظر ویژگی‌های رشدی ریشه موجود است (Schweiger et al., 2009) مشخص شده است که گیاهان مقاوم و سازگار با محیط‌های خشک، از نظر توسعه سیستم ریشه ای، دارای انعطاف پذیری زیاد هستند (Ehdaie et al., 2012). وقتی ریشه گیاه در معرض کمبود آب خاک قرار می‌گیرد، میزان رشد و تمایز سلول‌های ریشه تغییر می‌کند و معماری سیستم ریشه از نظر میزان انشعاب یا میزان طول شدن انشعاب ریشه تغییر می‌یابد. برنامه‌های به‌نژادی در زمینه صفات رشدی ریشه، پیچیده‌تر از صفات رشدی اندام هوایی است (Wasson et al., 2012). با شناخت معماری سیستم ریشه‌ای می‌توان فرصت مناسبی برای غلبه بر اثرات نامطلوب محیطی و تنش‌های موجود، افزایش عملکرد گیاهان زراعی را فراهم آورد (Whitmore and Whalley, 2009). معماری سیستم ریشه‌ای، در واقع ویژگی‌های آرایش فضایی یک سیستم ریشه‌ای را در محل رشد آن تعیین می‌کند و شامل ویژگی‌های هندسی مانند زاویه رشد محور ریشه و ویژگی‌های توپولوژیک آن است که بیانگر الگوی انشعاب زنی و رشد ریشه فرعی است (Manschadi et al., 2008). سیستم ریشه گیاه و صفات مرتبط با آن، در سازگاری به مناطقی که با محدودیت منابع آب و مواد غذایی روبه رو هستند، از اهمیت بالایی برخوردار است (Ceritoglu et al., 2020). عمق ریشه، صفت مهمی برای به دست آوردن آب از قسمت‌های پایین‌تر از منطقه ریشه است (Hosseini Salekdeh et al., 2009). مطالعات نشان داده‌اند که خصوصیات ریشه مانند عمق، حجم، قطر آوندهای چوبی و وزن خشک، از تنوع بالایی برخوردارند (Hoad et al., 2001; Manschadi et al., 2006). جذب آب توسط گیاه به صفات مورفولوژیک ریشه، فعالیت و توزیع آن در گیاه بستگی دارد (گنجعلی و باقری، ۱۳۸۸). ما در این پژوهش به شناسایی ژنوتیپ‌های دارای سیستم ریشه متراکم و عمیق به‌منظور بهره‌گیری از این صفت در افزایش راندمان مصرف آب آبیاری و غربالگری زود هنگام ژنوتیپ‌های عدس برای صفات ریشه می‌پردازیم. علی‌رغم نقش اساسی سیستم ریشه در رشد گیاه و تنوع بالای آن، به دلیل اینکه تکنیک‌های ارزیابی ریشه مشکل، زمان‌بر و با خطای زیادی همراه هستند نسبت به اندام‌های هوایی توجه کمتری به آن شده است. جذب کارآمد آب توسط ریشه، یک مشخصه مهم برای مقاومت به خشکی است. جذب آب توسط گیاه به اندازه‌ی ریشه (طول یا وزن)، فعالیت و توزیع آن در خاک بستگی دارد. بنابراین به نظرمی‌رسد برای فهم بیشتر

● صفات مورد مطالعه

طول ریشه: طول ریشه پس از اینکه داخل آب جهت شناور شدن آنها قرار گرفتند، با دقت بالا توسط خط کش اندازه گیری شد.

وزن تر ریشه: بعد از اینکه قسمت‌های هوایی گیاه جدا شد، اقدام به شستشوی ریشه و انتقال ریشه‌ها به داخل آزمایشگاه شد، سپس وزن تر ریشه‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم اندازه‌گیری شد (اخوان و همکاران، ۱۳۹۱).

حجم ریشه: حجم ریشه با استفاده از استوانه مدرج و با استفاده از رابطه زیر انجام گرفت (۱):

(۱)

$$A = B - C$$

A = حجم ریشه

B = حجم آب و ریشه

C = حجم آب خالی.

وزن خشک ریشه: پس از اندازه‌گیری پارامترهای مربوط به ریشه ژنوتیپ‌های مورد آزمایش، ریشه‌ها داخل دستگاه آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت گذاشته شد و بعد از گذشت زمان مورد نظر توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم وزن شدند.

وزن خشک اندام هوایی: قسمت‌های هوایی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، در داخل آون الکتریکی با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت گذاشته شدند و بعد از گذشت مدت زمان مورد نظر وزن خشک اندام‌های هوایی توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم گرم محاسبه شدند.

سطح ریشه: سطح ریشه از فرمول (۲) محاسبه گردید (شعبان و همکاران، ۱۳۹۰، اخوان و همکاران، ۱۳۹۱):

(۲)

$$RA = 2 \times SQRT \langle RV \times 3.14 \times RL \rangle$$

RA = سطح ریشه، RV = حجم ریشه، RL = طول ریشه، SQRT = ریشه دوم.

شادابی ریشه: شادابی ریشه از طریق رابطه (۳) محاسبه گردید (Hajabbasi, 2010).

(۳)

$$RF = \frac{RL}{RV}$$

RF = شادابی ریشه، RL = طول ریشه، RV = حجم ریشه.

قطر ریشه: قطر ریشه به صورت (۴) محاسبه گردید: (Hajabbasi, 2010 و Schenk and Barber, 1979).

(۴)

$$RD = SQRT \frac{\langle 4 \times FRW \rangle}{\langle RL \times 3.14 \rangle}$$

RD = قطر ریشه، RFW = وزن تر ریشه، RL = طول ریشه، SQRT = ریشه دوم.

طول مخصوص ریشه: محاسبه طول مخصوص ریشه به صورت (۵) انجام گرفت (Mahanta et al., 2014).

(۵)

$$SRL = \frac{RL}{DRW}$$

SRL = طول مخصوص ریشه، RL = طول ریشه، DRW = وزن خشک ریشه.

محتوای آب ریشه: محتوای آب ریشه به صورت (۶) محاسبه گردید (Hasanabadi et al., 2010).

(۶)

$$RWC = \frac{FRW - DRW}{DRW}$$

RWC = محتوای آب ریشه، RFW = وزن تر ریشه، DRW = وزن خشک ریشه.

تراکم طول ریشه: تراکم طول ریشه از طریق رابطه (۷) بدست آمد (Mahanta et al., 2014).

(۷)

$$RLD = \frac{RL}{SV}$$

RLD = تراکم طول ریشه، RL = طول ریشه، SV = حجم خاک. حجم مخصوص ریشه (تراکم حجم ریشه خشک): حجم مخصوص ریشه

از طریق رابطه (۸) بدست آمد (Hasanabadi et al., 2010).

(۸)

$$SRM = \frac{RDW}{SV}$$

SRM = حجم مخصوص ریشه، DRW = وزن خشک ریشه، SV = حجم خاک.

تراکم بافت ریشه: تراکم بافت ریشه به صورت (۹) انجام محاسبه گردید: (Paula and Pausas, 2011).

(۹)

$$RTD = RDW \times RV$$

RTD = تراکم بافت ریشه، DRW = وزن خشک ریشه، RV = حجم ریشه.

تراکم حجم ریشه: تراکم حجم ریشه به صورت (۱۰) محاسبه گردید (Hajabbasi, 2010).

(۱۰)

$$RMD = \frac{FRW}{SV}$$

RMD = تراکم حجم ریشه، FRW = وزن تر ریشه، SV = حجم خاک. چگالی سطح ریشه: چگالی سطح ریشه به صورت (۱۱) محاسبه گردید:

(اخوان و همکاران، ۱۳۹۱).

(۱۱)

$$RAD = RL \times RD \times 3.14$$

RAD = چگالی سطح ریشه، RL = طول ریشه، RD = قطر ریشه.

چگالی ریشه: چگالی ریشه به صورت (۱۲) محاسبه گردید: (گنجعلی و باقری، ۱۳۸۹؛ اخوان و همکاران، ۱۳۹۱).

صفات در روند رشد گیاه است. محققین براین باورند که طول ریشه در واحد حجم خاک بهترین صفت جهت ارزیابی جذب عناصر و آب خاک توسط گیاه است (Eshghizadeh et al., 2012). طول ریشه از مهمترین صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک مقاومت به خشکی هستند، معمولاً ارقامی که طول ریشه بیشتری دارند سریع تر از ارقام با طول ریشه کوتاه تر، جوانه می‌زنند و به خشکی مقاوم تر هستند (فیضی اصل و همکاران، ۱۳۹۳). نتایج این تحقیق با نتایج دیگر محققین که بر روی دیگر حبوبات مطالعه نمودند مانند گنجعلی و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای بر روی صفات ریشه ۱۰ ژنوتیپ نخود بیان نمودند که اختلاف معنی‌داری از نظر طول ریشه بین ژنوتیپ‌های نخود مشاهده شده است که بیشترین میزان طول ریشه ۸۰/۷ سانتی‌متر و کمترین طول ریشه ۲۸/۲ سانتی‌متر گزارش شده است. Seiraj و همکاران (۲۰۰۴) در بررسی صفات ریشه نخود گزارش نمودند که بین ژنوتیپ‌ها تغییرات ژنتیکی وجود دارد. گنجعلی و همکاران (۱۳۸۶) در بررسی صفات ریشه نخود بیان نمودند که تنوع ژنوتیپی قابل توجهی در بین صفات ریشه به‌ویژه طول و وزن خشک ریشه مشاهده شده است. طول ریشه در ارقام نخود بین ۶/۸ تا ۱۵/۴ متغییر بود. شعبان و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای بر ۴ ژنوتیپ نخود برخی خصوصیات ریشه و عملکرد نخود را بررسی نمودند که این خصوصیات ریشه حجم، طول، وزن خشک ریشه در بین ارقام موجود در سطح ۱٪ بایکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند.

$$RD = \frac{RDW}{RV}$$

RD = چگالی ریشه، RDW = وزن خشک ریشه، RV = حجم ریشه.

• تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این مطالعه جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا داده‌های جمع‌آوری شده در نرم افزار Excel وارد شدند. تجزیه واریانس طرح بلوک کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین به روش دانکن بین صفات در سطح آماری ۵ درصد با استفاده از نرم افزار SAS V.9.4 انجام گردید.

۳- نتایج و بحث

طول ریشه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر صفت طول ریشه، در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌داری دارند. (جدول ۲). بیشترین طول ریشه با میانگین ۵۵/۷۱ سانتی‌متر به ژنوتیپ FLIP2014-02IL و کمترین طول ریشه با میانگین ۳۴/۳۶ سانتی‌متر به ژنوتیپ FLIP2007-55L تعلق داشت (جدول ۳). حداکثر عمق و طول ریشه در عدس یک صفت ژنتیکی است که محیط می‌تواند آن را محدود سازد، در این آزمایش به‌نظ می‌رسد که ژنوتیپ FLIP2014-02IL با داشتن طول ریشه بیشتر و نفوذ در اعماق خاک، در حجم وسیع‌تری استفاده از آب موجود در لایه‌های پایینی پروفیل خاک و همچنین عناصر غذایی بیشتری در طول دوره رشد بهره‌مند گردد. طول ریشه از مهم ترین

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات ریشه عدس

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		RTD	RWC	RAD	RLD	SRM	Rd
تیمار	۲۲	۰/۰۰۲۵**	۱۲۸/۷۷*	۱/۷۵**	۰/۰۰۰۰۴**	۱/۰۷*	۰/۰۰۰۶**
خطا	۶۹	۰/۰۰۰۹	۹۱/۶۷	۰/۱۹۴	۰/۰۰۰۰۰۱	۵/۰۹	۰/۰۰۰۰۸
ضریب تغییرات		۰/۰۳۰	۹/۵۷	۰/۴۴	۰/۰۰۱۱	۷/۱۳	۲۱/۵۰

ns و ** و * به ترتیب نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار، بسیار معنی‌دار و عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد
 RTD: تراکم بافت ریشه، RWC: محتوای آب ریشه، RAD: چگالی سطح ریشه، RLD: تراکم طول ریشه، SRM: حجم مخصوص ریشه، Rd: چگالی ریشه

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس صفات ریشه عدس

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		RL	RFW	RV	RMD	RF
تیمار	۲۲	۱۷۲/۹۱**	۰/۱۰۹**	۰/۷۶**	۳/۰۸**	۲۰۷/۰۱**
خطا	۶۹	۴/۷۳	۰/۰۱۲	۰/۱۱	۳/۴۳	۴۳/۴۵
ضریب تغییرات		۲/۱۷	۰/۱۱	۰/۳۴	۰/۰۰۰۰۵	۶/۵۹

ns و ** و * به ترتیب نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار، بسیار معنی‌دار و عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد
 RL: طول ریشه، RFW: وزن تر ریشه، RV: حجم ریشه، RMD: تراکم حجم ریشه، RF: شادابی ریشه

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس صفات ریشه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		RDW	LDW	RA	RD
تیمار	۲۲	۰/۰۰۰۳*	۰/۰۰۰۲*	۲۶۵۰۷/۹۸**	۰/۰۰۰۰۹**
خطا	۶۹	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۲۹۱۸/۹۶	۰/۰۰۰۰۱
ضریب تغییرات		۰/۰۱۳	۰/۰۱۲	۵۴/۰۲	۰/۰۰۰۳

ns و ** و * به ترتیب نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار، بسیار معنی‌دار و عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد
 RDW: وزن خشک ریشه، LDW: وزن خشک اندام هوایی، RA: سطح ریشه، RD: قطر ریشه، SRL: طول مخصوص ریشه

این پژوهش دارد. سیستم ریشه‌ای به دلیل اینکه به آب نزدیک است به‌عنوان اولین حسگر نسبت به تنش خشکی محسوب می‌شود (Okcu *et al.*, 2005). با افزایش رشد ریشه در شرایط تنش خشکی در برخی ارقام مکانیسم مقاومتی در برابر تنش محسوب می‌شود (Bibi *et al.*, 2010). مقیمی مقدم و همکاران (۱۳۹۰) در بررسی اثرات توسعه ریشه در ارتباط با تحمل به خشکی در چهار رقم گندم گزارش کرد که ارقام مورد مطالعه از نظر صفات طول ریشه، وزن خشک ریشه، حجم ریشه در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌دار دارند. که نتایج بدست آمده توسط پژوهشگران ذکر شده با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

حجم ریشه: حجم ریشه از نظر جذب آب و مواد غذایی از مهم‌ترین صفات محسوب می‌شود بنابراین واحد اندازه‌گیری خوبی برای روابط بین ریشه و اندام‌های هوایی می‌باشد (گنجلی و کافی، ۱۳۸۶). براساس نتایج تجزیه واریانس صفت حجم ریشه در بین ژنوتیپ‌های عدس در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۲). بیشترین میزان حجم ریشه به میزان ۲/۴۹ سانتی‌متر مکعب به ژنوتیپ FLIP2007-95L و کمترین میزان حجم ریشه ۱/۰۶ سانتی‌متر مکعب به ژنوتیپ FLIP2002-7L تعلق داشت (جدول ۳). وجود اختلاف کم بین کمترین و بیشترین حجم ریشه نشان از نزدیکی ژنتیکی ژنوتیپ‌های عدس مورد مطالعه در این آزمایش است. براساس نظر برخی محققین توانایی یک رقم در رشد و در مراحل اولیه رشد از عوامل محیطی تأثیر گرفته است. به عبارتی گیاه برای اینکه توانایی جذب ریشه‌ها را افزایش دهد ماده خشک بیشتری را به سیستم ریشه اختصاص می‌دهد در نتیجه باعث تغییراتی در خصوصیات مورفولوژیک ریشه مانند حجم و طول ریشه می‌شود (Thorne and Frank, 2009). عبدالشاهی و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی بر روی تأثیر تنش خشکی بر ارقام گندم اظهار داشتند سیستم مطلوب ریشه، موجب جذب آب بیشتر و تولید اندام‌های هوایی بیشتر می‌شود به طوری که حجم ریشه همبستگی مثبت و معنی‌داری با وزن اندام‌های هوایی و مقدار جذب آب دارد. با مواجه شدن با تنش خشکی، ژنوتیپ‌های متحمل حجم ریشه بیشتری را نسبت به ژنوتیپ‌های حساس تولید کردند.

وزن خشک ریشه: وزن خشک ریشه از مهم‌ترین صفات جهت ارزیابی ژنوتیپ‌ها محسوب می‌شود. بر اساس نتایج تجزیه واریانس صفات ریشه، وزن خشک ریشه در بین ژنوتیپ‌های عدس در سطح ۵٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند (جدول ۲). بیشترین وزن خشک ریشه در ژنوتیپ FLIP97-10L به میزان ۰/۰۵۳ و کمترین وزن خشک ریشه در ژنوتیپ FLIP2014-72L به میزان ۰/۰۲۰ مربوط بود (جدول ۳). رشد و گسترش ریشه گیاهان در خاک از اهمیت ویژه‌ای در تولید محصول کشاورزی برخوردار است (Wu and He, 2011). به این دلیل که ارتباط گیاه با عناصر غذایی و آب و جذب آن از طریق ریشه صورت می‌گیرد (Pedersen *et al.*, 2010). گنجلی و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی صفات مربوط به ریشه بیان نمودند که تجزیه رگرسیونی صفات نشان داد که وزن خشک ریشه با صفات طول ریشه و حجم ریشه همبستگی معناداری دارد. زارع مهرجردی و همکاران (۱۳۹۰) نتایج این پژوهشگران بر روی ریشه یازده ژنوتیپ نخود مشخص کرد که این ژنوتیپ‌ها از نظر وزن خشک ریشه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند. گل‌آبادی و همکاران (۱۳۸۷) در طی انجام یک تحقیق به منظور یافتن ارقام مقاوم به خشکی در مرحله گیاهچه‌ای، مشاهده کرد که ارقام مقاوم به تنش خشکی، طول و وزن خشک ریشه بیشتری داشتند. عبدالشاهی و همکاران (۱۳۸۹) با مطالعه بر روی ویژگی‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک وابسته به تحمل خشکی در گندم نان نتیجه گرفتند که ژنوتیپ‌های متحمل در مواجهه با تنش خشکی، ریشه قطورتری را نسبت به ژنوتیپ‌های حساس ایجاد می‌کنند که نتایج بدست آمده توسط محققین ذکر شده با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

وزن تر ریشه: با توجه به نتایج صفت وزن تر ریشه در بین ژنوتیپ‌های عدس در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲). در بین ژنوتیپ‌های عدس بیشترین میزان وزن تر ریشه ۱/۱۵ در ژنوتیپ ILL8006 و کمترین میزان آن ۰/۵۲ در ژنوتیپ FLIP2014-72L مشاهده شد (جدول ۳). وجود اختلاف معنادار در بین ژنوتیپ‌ها از نظر وزن تر ریشه نشان از اختلاف ژنتیکی ژنوتیپ‌های مورد بررسی در

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات ریشه عدس به روش دانکن

تیمار	قطر ریشه	سطح ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	حجم ریشه	وزن تر ریشه	طول ریشه
FLIP2011-45L	۰/۰۲۰ cdefgh	۲۴۷/۶۳ bcdef	۰/۰۴۲ abcde	۰/۰۳۴ bcdefg	۱/۸۶ cdef	۰/۷۲ defgh	۴۴,۲۶ vefgh
PRECO2-ILL4605	۰/۰۳۰ ab	۲۳۱/۱۳ cdef	۰/۰۴۱ abcde	۰/۰۴۱۰ abcdef	۱/۹ cdef	۰/۹۲۴ bc	۴۰,۷۵۰ ghi
کیمیا	۰/۰۲۶ bc	۱۷۸/۱۴ fgh	۰/۰۳۷ bcde	۰/۰۳۶۲۵ abcde	۱/۳۶ ghi	۰/۸۵ cd	۳۸,۷۵۰ hi
FLIP2014-72L	۰/۰۲۲ cdefg	۱۲۳/۵۸ h	۰/۰۲۵ e	۰/۰۲۰ g	۱/۳۳ hi	۰/۵۲ z	۳۴,۶۶ vi
FLIP2007-95L	۰/۰۱۹ fghij	۳۹۰/۳۱ a	۰/۰۳۲ de	۰/۰۳۳ bcdefg	۲/۴۹ ab	۰/۷۶ cdef	۴۸,۱۵۰ cdef
FLIP2012-240L	۰/۰۱۷ hij	۲۱۶/۱۹ efg	۰/۰۳۷ bcde	۰/۰۳۴ bcdefg	۱/۳۳ hi	۰/۷۰ defghi	۴۹ abcdef
FLIP97-10L	۰/۰۲۵ cd	۳۰۲/۸۰ bc	۰/۰۳۹ abcde	۰/۰۵۳ a	۱/۸۲ defg	۱/۰۶ ab	۵۲/۴۰۰ abcd
ILL8006	۰/۰۲۵ a	۲۱۷/۶۹ defg	۰/۰۴۰ abcde	۰/۰۴۷ ab	۱/۶۶ efgh	۱/۱۵ a	۴۵,۳۳۲ defgh
FLIP2014-103L	۰/۰۱۵۶ z	۳۱۳/۴۶ b	۰/۰۴۶۵ abcd	۰/۰۴۲۲ abcdef	۱/۶۳ fgh	۰/۷۵۹ def	۵۵/۹۶۷ a

FLIP2012-77L	./۰۲۱۵defghi	۲۵۲/۵۴bcdef	./۰۵۴fab	./۰۳۷۲abcdefg	۱/۹cdef	۰/۷۱defgh	۳۹,۰۰۰hi
۶-۳۱۶	./۰۲۱۳defghi	۱۴۴/۴۲gh	./۰۳۳de	./۰۲۶defg	۱/۱۰i	۰/۶۹efghi	۴۵,۱۶۷defgh
FLIP2012-244L	./۰۱۵۸j	۲۴۲/۷۲bcdef	./۰۴۲۲abcde	۰,۰۲۴efg	۱/۷Efhg	۰/۵۶hij	۴۹/۱۲۹abcdef
FLIP2002-12L	./۰۱۵۸j	۲۸۶/۳۶bcde	./۰۳۷۵bcde	۰,۰۲۳fg	۱/۹cdef	۰/۵۸ghij	۴۹/۷۹۱abcde
FLIP2002-7L	./۰۱۸ghij	۱۲۵/۰۷h	./۰۵۱abc	./۰۳۷۵abcdefg	۱/۰۶i	۰/۵۳j	۳۹,۶۲۶hi
سپهر	./۰۱۶۳j	۴۴۹/۲۱a	./۰۵۶a	./۰۳۸abcdefg	۲/۸۶a	۰/۶۴fghij	۴۷,۶۳۳cdefg
FLIP2002_032L	./۰۲۰efghij	۳۰۰/۲۲bc	./۰۴۳abcd	./۰۴۰۲abcdef	۱/۹۶cdef	۰/۷۷cdef	۴۸,۵۹۲
FLIP2007-55L	./۰۱۹۰fghij	۱۴۸/۷۵gh	./۰۳۵cde	./۰۲۸cdefg	۱/۳۰hi	۰/۵۴ij	۳۴,۳۶۷i
FLIP2010_95L	./۰۲۳cdef	۲۹۰/۵۰bcde	./۰۴۴۵abcd	./۰۴۶abc	۱/۸۵cdefg	۰/۹۲۳bc	۴۸,۴۲۲cdef
FLIP2012_2L	./۰۲۲۶cdefg	۳۱۰/۷۳b	./۰۴۶۷abcd	./۰۴۴abcd	۲/۱۳bcde	۰/۸۲cde	۴۴,۴۷۳efgh
پيله سوار	./۰۲۱۷defgh	۲۵۳/۵۵bcdef	./۰۵۲abc	./۰۴۲۵abcde	۱/۸۶cdef	۰/۷۳defg	۴۲,۱۶۷fgh
FLIP2014-0311	./۰۲۴cde	۳۹۷/۷۶a	./۰۳۹abcde	./۰۴۲۲abcdef	۲/۳۳bc	۱/۰۳ab	۵۳/۹۰abc
FLIP2014-02IL	./۰۱۶۸ij	۲۰۶/۷۳fg	./۰۴۵abcd	./۰۴۴abcd	۱/۲۳hi	۰/۷۰vdefgh	۵۵/۷۱۱ab
FLIP2014-029L	./۰۲۲۸cdefg	۲۹۳/۲۵bcd	./۰۴۱abcde	./۰۳۵abcdefg	۲/۲۰bcd	۰/۷۵۵def	۴۲,۳۷۰fgh

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند

ادامه جدول ۳- مقایسه میانگین صفات ریشه عدس به روش دانکن

تیمار	تراکم طول ریشه	چگالی سطح ریشه	محتوای آب ریشه	تراکم بافت ریشه	طول مخصوص ریشه
FLIP2011-45L	./۰۲۲۳i	۲/۸۸defgh	۱۹/۸۰C	./۰۶۴bcdefgh	۱۲۶۳/۶d
PRECO2- ILL4605	./۰۲۰jk	۳/۶۹۷bc	۲۴/۱۶abc	./۰۸۲abcde	۱۰۴۱/۹d
کیمیا	./۰۲۱۹ij	۳/۴۱cd	۲۵/۱۵abc	./۰۵۰defgh	۱۲۷۷/۳d
FLIP2014- 72L	./۰۱۵۷l	۲/۰۹j	۲۴/۹۱Abc	./۰۲۶h	۱۴۸۱/۸abcd
FLIP2007- 95L	./۰۲۶۴cde	۳/۰۷cdef	۲۴/۳۹abc	./۰۸۴abcd	۱۶۴۵/۸abcd
FLIP2012-240L	./۰۲۷۳bcd	۲/۸defghi	۱۹/۵۹C	./۰۴۵۸defgh	۱۵۶۸/۵abcd
FLIP97-10L	./۰۲۷۸abc	۴/۲۴ab	۱۹/۸۰۸c	./۰۹۹ab	۱۰۲۹/۶d
ILL8006	./۰۲۲۱i	۴/۶۳a	۳۵/۰۴a	./۰۸۳۴abcde	۱۳۲۰/۹d
FLIP2014- 103L	./۰۳۲a	۳/۰۳def	۱۶/۹۰C	./۰۶۶abcdefgh	۱۵۰۶/۶abcd
FLIP2012-77L	./۰۲۲۴hi	۲/۸۶defgh	۱۹/۰۷c	./۰۶۹abcdefg	۱۲۲۱/۹d
۶-۳۱۶	./۰۲۲۱i	۲/۷۸efghi	۳۳/۷۱ab	./۰۳۰gh	۲۱۴۰/۶ab
FLIP2012- 244L	./۰۲۴۰gh	۲/۲۷hij	۲۵/۳۶abc	./۰۴۳defgh	۲۰۹۰/۹abc
FLIP2002-12L	./۰۲۵۱efg	۲/۳۴ghij	۲۵/۰۲abc	./۰۴۵۲defgh	۲۲۲۲/۵a
FLIP2002-7L	./۰۱۹۸k	۲/۱۲j	۱۴/۹۹c	./۰۴۱efgh	۱۱۳۴/۶d
سپهر	./۰۲۶۴cde	۲/۵۶fghij	۱۹/۱۵c	./۱۰۸a	۱۵۴۹/۷Abcd
FLIP2002_032L	۰,۰۲۵۷def	۳/۰۸cdef	۱۸/۴۱C	./۰۷۸۹abcdef	۱۳۱۶/۷d
FLIP2007-55L	./۰۱۹۳k	۲/۱۸ij	۱۹/۴۰C	./۰۳۵fgh	۱۴۱۸/۳bcd
FLIP2010_95L	./۰۲۶۴cde	۳/۶۹۴bc	۲۳/۱۲abc	./۰۸۳۲abcde	۱۳۰۵/۹d
FLIP2012_2L	./۰۲۴۶efg	۳/۲۸cde	۲۲/۲۰abc	./۰۹۵abc	۱۳۳۳/۲cd
پيله سوار	./۰۲۳hi	۲/۹۴defg	۱۶/۴۲C	./۰۷۹abcde	۱۰۹۷/۱d
FLIP2014-0311	./۰۲۸۶b	۴/۱۳ab	۲۶/۶۷abc	./۱۰۱ab	۱۴۳۸/۶bcd
FLIP2014-02IL	./۰۲۸۳b	۲/۸۲defgh	۱۵/۱۷c	./۰۵۳cdefgh	۱۲۲۶/۳d
FLIP2014-029L	./۰۲۲۴hi	۳/۰۲def	۲۰/۵۹Bc	./۰۷۸۱abcdef	۱۲۳۹/۵D

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند

ادامه جدول ۳- مقایسه میانگین صفات ریشه عدس به روش دانکن

تیما	حجم مخصوص ریشه	شادابی ریشه	تراکم حجم ریشه	چگالی ریشه
FLIP2011-45L	۰/۰۰۰۰۱۸۴bcdefg	۲۴/۴۲fghij	۰/۰۰۰۰۳۸۲Defgh	۰/۱۲efg
PRECO2- ILL4605	۰/۰۰۰۰۲۱۷abcdef	۲۱/۵۷ghij	۰/۰۰۰۰۴۹bc	۰/۰۷gh
کیما	۰/۰۰۰۰۱۹۲abcdefg	۳۰/۵۶cdefg	۰/۰۰۰۰۴۵cd	۰/۰۷gh
FLIP2014- 72L	۰/۰۰۰۰۱۰۷l	۲۴/۲۱fghij	۰/۰۰۰۰۲۷۷j	۰/۱۰efg
FLIP2007- 95L	۰/۰۰۰۰۱۷۷bcdefg	۲۰/۴۹hij	۰/۰۰۰۰۴۰۸cdef	۰/۱۱efg
FLIP2012-240L	۰/۰۰۰۰۱۸۴bcdefg	۳۸/۸۷abc	۰/۰۰۰۰۳۷۱defghi	۰/۰۴h
FLIP97-10L	۰/۰۰۰۰۲۸ A	۳۲/۷۳bcdef	۰/۰۰۰۰۵۶ab	۰/۰۹def
ILL8006	۰/۰۰۰۰۲۵ab	۳۷/۲۲efghi	۰/۰۰۰۰۶۱a	۰/۱۰def
FLIP2014- 103L	۰/۰۰۰۰۲۲ Abcdef	۴۱/۰۹ab	۰/۰۰۰۰۴۰۳def	۰/۱۶bc
FLIP2012-77L	۰/۰۰۰۰۱۹۷abcdefg	۲۲/۳۷ghij	۰/۰۰۰۰۳۸defgh	۰/۱۲efg
۶-۳۱۶	۰/۰۰۰۰۱۳۸defg	۳۸/۲۳abcd	۰/۰۰۰۰۳۶۹efghi	۰/۱۶bc
FLIP2012- 244L	۰/۰۰۰۰۱۳۱efg	۳۷/۶۶efghi	۰/۰۰۰۰۳۰۲hij	۰/۱۵bcd
FLIP2002-12L	۰/۰۰۰۰۱۳۴fd	۲۴/۶۹fghij	۰/۰۰۰۰۳۱۱ghij	۰/۱۳bcde
FLIP2002-7L	۰/۰۰۰۰۱۹۹abcdefg	۳۵/۲۲bcde	۰/۰۰۰۰۲۸۱j	۰/۱۸b
سپهر	۰/۰۰۰۰۲۰۱abcdefg	۱۷/۴۲j	۰/۰۰۰۰۳۳۹fghij	۰/۱۴bcd
FLIP2002_032L	۰/۰۰۰۰۲۱۳abcdef	۲۴/۹۰fghij	۰/۰۰۰۰۴۰۹cdef	۰/۲۰b
FLIP2007-55L	۰/۰۰۰۰۱۵۱cdefg	۲۹/۰۱defgh	۰/۰۰۰۰۲۸۹ij	۰/۱۳bcde
FLIP2010_95L	۰/۰۰۰۰۲۴abc	۲۷/۹۵efghi	۰/۰۰۰۰۴۹bc	۰/۰۷gh
FLIP2012_2L	۰/۰۰۰۰۲۳abcd	۲۱/۸۴ghij	۰/۰۰۰۰۴۳cde	۰/۲۱a
پيله سوار	۰/۰۰۰۰۲۲abcde	۲۳/۳۱ghij	۰/۰۰۰۰۳۹defg	۰/۱۲efg
FLIP2014-0311	۰/۰۰۰۰۲۲abcdef	۲۳/۲۹ghij	۰/۰۰۰۰۵۴ab	۰/۰۵gh
FLIP2014-02IL	۰/۰۰۰۰۲۳۴۹abcd	۴۵/۳۰۹a	۰/۰۰۰۰۳۷۵defgh	۰/۱۱efg
FLIP2014-029L	۰/۰۰۰۰۱۸۹abcdefg	۱۹/۳۵ij	۰/۰۰۰۰۴۰۰def	۰/۰۹def

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند

ریشه به ژنوتیپ سپهر به میزان ۰/۱۰۸ و کمترین میزان تراکم بافت ریشه ۰/۰۳۰ به ژنوتیپ ۶-۳۱۶ تعلق داشت (جدول ۳).
سطح ریشه: صفت سطح ریشه از خصوصیات مهم برای جذب آب و عناصر غذایی در گیاه است. ریشه‌های گسترده از راه افزایش جذب آب و افزایش تعرق در افزایش عملکرد دانه مؤثر هستند (گنجعلی و همکاران، ۱۳۸۶). در این آزمایش بر اساس نتایج بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی صفت سطح ریشه در سطح ۱٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند (جدول ۲). بیشترین میزان سطح ریشه در ژنوتیپ FLIP2014- 103L به میزان ۳۱۳/۴۶ و کمترین میزان سطح ریشه ۱۲۳/۵۸ در ژنوتیپ FLIP2014- 72L مشاهده گردید (جدول ۳). گنجعلی و کافی (۱۳۸۶) گزارش کردند که سطح ریشه در گیاهان زراعی می‌تواند به دلیل سطح تماس گیاه با خاک باشد و هرچه سطح ریشه بیشتر باشد دسترسی به آب نیز بیشتر است. (ابریشم چی و همکاران، ۱۳۹۱) نشان دادند که با افزایش سطح ریشه کارایی جذب عناصر غذایی و آب نیز افزایش می‌یابد. گنجعلی (۱۳۸۴) با بررسی جنبه های فیزیومورفولوژیک مقاومت به خشکی در ژنوتیپ های نخود دریافت که سایر صفات مربوط به ریشه عمدتاً متأثر از مجموع طول ریشه ها است. از طرفی چون طول ریشه اصلی از جهت بهره برداری ریشه از رطوبت و عناصر غذایی موجود در افق های متفاوت خاک مورد توجه است، بنابراین صفت طول ریشه می تواند به عنوان یک معیار مناسب برای گزینش ژنوتیپ های متحمل به خشکی مورد استفاده قرار گیرد.

محتوای آب ریشه: در این آزمایش با توجه به نتایج در بین ژنوتیپ‌های عدس مورد مطالعه صفت محتوای آب ریشه دارای اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۲). بیشترین میزان محتوای آب ریشه در ژنوتیپ 6-316 به میزان ۳۳/۷۱ و کمترین میزان محتوای آب ریشه ۱۴/۹۹ به ژنوتیپ FLIP2002-7L تعلق داشت (جدول ۳). جذب آب توسط گیاه به اندازه ریشه مانند وزن و طول ریشه و توزیع و فعالیت ریشه در خاک بستگی دارد (گنجعلی و همکاران، ۱۳۸۶). بنابراین برای درک بیشتر مفاهیم مکانیسم های مقاومت و یافتن منابع ژنتیکی مورد نیاز برنامه‌های اصلاحی، درک صفات ریشه که با مقاومت به خشکی مرتبط هستند مانند محتوای آب ریشه ضروری است. حجم مخصوص ریشه: در این مطالعه براساس نتایج به‌دست آمده بین ژنوتیپ‌های عدس صفت حجم مخصوص ریشه در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری دارند (۱-۴). کمترین میزان حجم مخصوص ریشه ۰/۰۰۰۰۱۰ در ژنوتیپ FLIP2014- 72L و بیشترین میزان حجم مخصوص ریشه ۰/۰۰۰۰۲۵ در ژنوتیپ ILL8006 مشاهده شد (جدول ۳). کلاهیان همدانی زاد و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی رابطه صفات ریشه با عملکرد دانه گندم گزارش کردند که بین ژنوتیپ‌های گندم در تمام صفات ریشه اختلاف معنی‌داری وجود دارد.
تراکم بافت ریشه: در این پژوهش براساس تجزیه نتایج واریانس صفت تراکم بافت ریشه بین ژنوتیپ‌های عدس مورد مطالعه در سطح ۱٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند (جدول ۲). بیشترین میزان تراکم بافت

سطح ریشه در ژنوتیپ ۴/۶۳ در ژنوتیپ ILL8006 و کمترین میزان چگالی سطح ریشه ۲/۰۹ در ژنوتیپ FLIP2014- 72L مشاهده گردید (جدول ۳).

چگالی ریشه: با توجه به جدول تجزیه واریانس در بین ژنوتیپ‌های عدس مورد بررسی از نظر صفت چگالی ریشه بین ژنوتیپ‌ها در سطح ۱٪ اختلاف معنی داری وجود دارد (جدول ۲). بیشترین میزان چگالی ریشه در ژنوتیپ FLIP2012_2L به میزان ۰/۲۱ سانتی‌متر مکعب و کمترین میزان آن در ژنوتیپ FLIP2012-240L به میزان ۰/۰۴ سانتی‌متر مکعب مشاهده شد (جدول ۴-۲). چگالی ریشه صفتی است که از حجم و وزن ریشه تأثیر می‌گیرد. در مطالعات مختلف گزارش شده که تنش‌های شوری و خشکی باعث کاهش چگالی ریشه می‌شود. رطوبت زیاد باعث افزایش چگالی ریشه می‌شود به این دلیل که سیستم ریشه‌ای گسترش یافته و ریشه‌های فرعی برای جذب آب بیشتر ایجاد می‌شود (Meskini-Vishkaee et al., 2016). گنجلی و باقری (۱۳۸۹) در پژوهشی بر صفات ریشه ۱۰ ژنوتیپ نخود بیان داشتند که این ارقام از نظر صفت چگالی ریشه اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند. ختار و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی بر روی ریشه لوبیا گزارش کردند که تنش شوری چگالی ریشه را کاهش داد به این دلیل که با افزایش میزان شوری، رشد ریشه و گسترش ریشه‌های مؤثر به شدت کاهش می‌یابد در نتیجه باعث کاهش زیاد وزن ریشه شده در نتیجه چگالی ریشه کاهش می‌یابد. Razavi و همکاران (۲۰۱۱) بیان نمودند که در پسته هنگامی که تنش شوری رخ می‌دهد رشد ریشه کاهش یافته در نتیجه چگالی ریشه کاهش پیدا کرده است.

وزن خشک اندام هوایی: براساس جدول تجزیه واریانس در بین ژنوتیپ‌های عدس مورد بررسی از نظر صفت وزن خشک اندام هوایی بین ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲). بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی به ژنوتیپ سپهر به میزان ۰/۰۵۶ و کمترین میزان آن به ژنوتیپ FLIP2014- 72L به میزان ۰/۰۲۵ تعلق داشت (جدول ۳). وزن خشک اندام هوایی یکی از صفات اصلی در تجزیه رشد گیاه است که از میزان آب موجود در محیط ریشه تأثیر می‌گیرد. در نتیجه تنش‌های خشکی و شوری بر این صفت اثر قابل توجهی دارند (گنجلی و همکاران، ۱۳۸۹). تحقیق گنجلی و همکاران (۱۳۸۹) نشان داد که جذب کارآمد آب توسط ریشه یکی از مؤلفه‌های مهم برای مقاومت به خشکی است در نتیجه گیاهی که در اوایل فصل رشد نسبت ریشه به اندام هوایی بیشتری دارند در دوره‌های بعدی رشد از قابلیت بیشتری برای بهبود فتوسنتز برخوردارند. اقلیما و همکاران (۱۳۹۸) در بررسی تنوع ژنتیکی شیرین بیان با استفاده از خصوصیات ریخت‌شناسی گزارش نمودند که بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر صفات وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی و وزن تر ریشه در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌داری دارند. موفقیت مدل‌هایی که رشد ریشه و توزیع آن را شبیه‌سازی می‌کنند به چگونگی شناخت دقیق روابط موجود بین صفات مربوط به ریشه از جمله وزن خشک ریشه، حجم ریشه، طول ریشه و روابط آن‌ها با اندام هوایی بستگی دارد (Turner et al., 2003).

طول مخصوص ریشه: براساس نتایج بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، این ژنوتیپ‌ها از نظر صفت طول مخصوص ریشه در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری دارند (جدول ۲). کمترین میزان طول مخصوص ریشه ۱۰۲۹/۶ به ژنوتیپ FLIP97-10L و بیشترین میزان طول مخصوص ریشه ۱۶۴۵/۸ به ژنوتیپ ۱۶۴۵/۸ به ژنوتیپ FLIP2007- 95L تعلق داشت (جدول ۳). گیاه زمانی که با تنش خشکی مواجه می‌شود برای اینکه توانایی جذب ریشه‌ها را افزایش دهد ماده خشک بیشتری را به ریشه اختصاص می‌دهد که باعث تغییراتی در خصوصیات صفات ریشه مانند طول مخصوص ریشه و طول ریشه می‌شود (شعبان و همکاران، ۱۳۹۰). در زمینه صفات ریشه برخی از پژوهشگران معتقدند که اندازه‌گیری تراکم و طول ریشه بهتر از اندازه‌گیری توزیع وزن ریشه در خاک است (Musters and Bouten, 2000). فخری و همکاران (۱۳۹۴) بیان نمودند در شرایطی که شوری اعمال شود صفات ریشه مانند طول ریشه، حجم ریشه، طول مخصوص ریشه و محتوای آب ریشه باعث کاهش این صفات می‌شود ولی همین شرایط باعث ایجاد همبستگی معنی‌داری بین این صفات می‌شود. قطر ریشه: با توجه به نتایج تجزیه واریانس در این آزمایش در بین ژنوتیپ‌های عدس مورد مطالعه از نظر صفت قطر ریشه در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌داری دارند (جدول ۲). بیشترین میزان قطر ریشه ۰/۰۳۵ در ژنوتیپ ILL8006 و کمترین میزان قطر ریشه ۰/۰۱۵ در ژنوتیپ‌های FLIP2012- 244L و FLIP2002-12L مشاهده گردید (جدول ۳). افزایش قطر ریشه بر تحمل تنش خشکی و کارایی مصرف آب مؤثر می‌باشد به این دلیل که ریشه‌هایی که قطر بیشتری دارند از آوندهای چوبی بزرگتری برخوردارند و از این راه باعث افزایش جذب آب از لایه‌های زیرین خاک می‌شوند (Manschadi et al., 2008).

تراکم طول ریشه: در این مطالعه با توجه به نتایج تجزیه واریانس صفت تراکم طول ریشه در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۲). بیشترین میزان تراکم ریشه در ژنوتیپ FLIP2014- 103L به میزان ۰/۰۳۲ و کمترین میزان تراکم طول ریشه در ژنوتیپ FLIP2014- 72L به میزان ۰/۰۱۵۷ مشاهده شد (جدول ۳). تراکم طول ریشه یکی از صفات مهم مورفولوژیکی است که با جذب آب از خاک ارتباط مستقیم دارد، هرچه تراکم طولی ریشه بیشتر باشد گیاه نسبت به تنش خشکی مقاوم‌تر می‌شود. تراکم حجم ریشه: در این پژوهش نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ژنوتیپ‌های عدس مورد بررسی از نظر صفت تراکم حجم ریشه در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری دارند (جدول ۲). کمترین میزان تراکم حجم ریشه ۰/۰۰۲۷ به ژنوتیپ FLIP2014- 72L و بیشترین میزان تراکم حجم ریشه ۰/۰۰۶۱ به ژنوتیپ ILL8006 تعلق داشت (جدول ۳). شادابی ریشه: در این مطالعه صفت شادابی ریشه بین ژنوتیپ‌های عدس مورد مطالعه از نظر صفت شادابی ریشه در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند (جدول ۲). بیشترین میزان شادابی ریشه در ژنوتیپ FLIP2014-02IL به میزان ۴۵/۳۰ و کمترین میزان شادابی ریشه در ژنوتیپ سپهر به میزان ۱۷/۴۲ مشاهده شد (جدول ۳).

چگالی سطح ریشه: در این آزمایش صفت چگالی سطح ریشه بین ژنوتیپ‌های عدس مورد بررسی از نظر صفت چگالی سطح ریشه در سطح ۱٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند (جدول ۲). بیشترین میزان چگالی

۴- نتیجه گیری

FILIP2014-۴۵۹/۳۰) و طول ریشه (۵۵/۷۱ سانتی متر) نیز به ژنوتیپ 02IL تعلق دارد. بیشترین میزان تراکم حجم ریشه (۰/۰۰۰۲۷) در ژنوتیپ FILIP2014- 72L مشاهده شد. ژنوتیپ FILIP2014- 103L دارای بیشترین مقدار تراکم طول ریشه (۰/۰۳۲) و سطح ریشه (۳۱۳/۴۶) بود. بیشترین مقدار طول مخصوص ریشه (۱۶۴۵/۸) و حجم ریشه (۲/۴۹) سانتی متر مکعب) به ژنوتیپ FILIP2007- 95L تعلق داشت. بیشترین میزان محتوای آب ریشه (۳۳/۷۱) در ژنوتیپ 6-316 مشاهده شد. ژنوتیپ FILIP97-10L بیشترین میزان وزن خشک ریشه (۰/۰۵۳) را داشت.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌های این آزمایش مشخص شد که بین ژنوتیپ‌ها در بیشتر صفات ریشه در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد و همچنین ژنوتیپ سپهر بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی (۰/۰۵۶) و بیشترین میزان تراکم بافت ریشه (۰/۱۰۸) را داشته است؛ ژنوتیپ 2L- FILIP2012 بیشترین میزان چگالی ریشه (۰/۲۱) سانتی متر مکعب) را دارا بوده. ژنوتیپ ILL8006 نیز بیشترین مقدار چگالی سطح ریشه (۴/۶۳)، قطر ریشه (۰/۰۳۵) و حجم مخصوص ریشه (۰/۰۰۰۰۲۵) و وزن تر ریشه (۱/۱۵) را دارا بوده است. بیشترین میزان شادابی ریشه

منابع

- ابریشم چی، پ.، گنجعلی، ع.، ساکنی، ه.، ۱۳۹۱. بررسی صفات مورفولوژیک، میزان پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتیاکسیدان در ژنوتیپ‌های نخود (L. arietinum Cicer) در شرایط تنش خشکی، نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران، جلد ۳، شماره ۲، ص ۳۰-۱۷.
- اخوان، س.، شعبانپور، م.، اصفهانی، م.، ۱۳۹۱. اثر تراکم و بافت خاک بر رشد ریشه و اندام‌های هوایی گندم، نشریه آب و خاک، جلد ۲۶، شماره ۳، ص ۷۳۵-۷۲۷.
- بغدادی، ح.، ۱۳۸۴. بررسی خصوصیات زراعی و عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش عدس در شرایط دیم. مقالات اولین همایش ملی حبوبات، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۱۷۸-۱۷۶.
- پارسا، م.، باقری، ع.، ر.، ۱۳۹۰. حبوبات. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ص ۵۲۲.
- حسینی، ع.، امید بیگی، و.، ر.، ۱۳۸۱. اثرات تنش آبی برخی از خصوصیات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و متابولیکی گیاه ریحان. دانش کشاورزی. سال ۱۲، شماره ۳، ص ۵۹-۴۷.
- حسینی، ف.، س.، نظام، ی.، ا.، پارسا، م.، نیا قالی باف، م.، ک.، ۱۳۹۰. اثرات آبیاری تکمیلی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام عدس در شرایط آب و هوایی مشهد. (Lens.culinaris Medik) آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، شماره ۲۵، ص ۶۳۳-۶۲۵.
- زارع مهرجردی، م.، نباتی، ج.، معصومی، ع.، باقری، ع.، ر.، کافی، م.، ۱۳۹۰. بررسی تحمل به شوری ریشه و شاخساره یازده ژنوتیپ نخود متحمل و حساس به خشکی در شرایط هیدروپونیک، نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران، جلد ۲، شماره ۲، ص ۹۶-۸۳.
- شعبان، م.، منصوری فر، س.، قبادی، م.، اشرفی پارچین، ر.، ۱۳۹۰. اثر تنش خشکی و کود نیتروژن آغازگر بر خصوصیات ریشه و عملکرد چهار ژنوتیپ نخود (Cicer arietinum L.)، مجله به‌زراعی نهال و بذر، جلد ۲، شماره ۴، ص ۴۷۰-۴۵۱.
- عبدالشاهی، ر.، طالعی، ع.، امید، م.، یزدی صمدی، ب.، ۱۳۸۹. مطالعه ویژگی‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک وابسته به تحمل به خشکی در گندم نان، مجله علوم گیاهان زراعی ایران، جلد ۴۱، شماره ۲، ص ۲۵۸-۲۴۷.
- عبدالشاهی، ر.، طالعی، ع.، امید، م.، یزدی صمدی، ب.، ۱۳۸۹. مطالعه ویژگی‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک وابسته به تحمل خشکی در گندم نان. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. دوره ۴۱، شماره ۲، ص ۲۴۷-۲۵۸.
- فخری، ش.، راهنما، ا.، مسکریاشی، م.، ۱۳۹۴. ارتباط بین صفات رشدی ریشه و شاخص‌های فیزیولوژیک دو رقم گندم نان در شرایط تنش شوری. علوم گیاهان زراعی ایران. دوره ۷۴، شماره ۱، ص ۱۱۷-۱۰۹.
- کلاهیان همدانی‌زاد، ا.، رامشینی ح.، قادری، م.ق.، فاضل نجف‌آبادی، م.، ۱۳۹۴. بررسی رابطه صفات ریشه با عملکرد دانه گندم در شرایط بدون تنش و تنش خشکی آخر فصل، نش‌های محیطی در علوم زراعی، جلد ۸، شماره ۱، ص ۱۱-۱.
- کوچکی، ع.، بنایان، م.، ۱۳۸۸. زراعت حبوبات. جهاد دانشگاهی (دانشگاه مشهد). ص ۲۳۶.
- گل‌آبادی، م.، ارزانی، ا.، میرمحمدی میدی، س.، ع.، م.، ۱۳۸۷. اثر تنش رطوبتی آخر فصل بر عملکرد و صفات مورفوفیزیولوژیک در خانواده‌های F گندم دوروم. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. جلد ۶، شماره ۲، ص ۴۱۸-۴۰۵.
- گنجعلی، ع. و باقری، ع.، ۱۳۸۹. ارزیابی خصوصیات مورفولوژیک ریشه نخود (Cicer arietinum L.) در واکنش به تنش خشکی، نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران، جلد ۲، شماره ۱، ص ۱۱۰-۱۰۱.
- گنجعلی، ع.، باقری، ع.، ر.، ۱۳۸۸. ارزیابی خصوصیات مورفولوژیک ریشه نخود (Cicer arietinum L.) در واکنش به تنش خشکی. نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران. جلد ۱، شماره ۲، ص ۱۱۰-۱۰۱.
- گنجعلی، ع.، پالتا، ه.، ترنر، ن.، ۱۳۸۶. الگوهای زمانی و مکانی رشد ریشه ژنوتیپ‌های نخود (Cicer arietinum L.) در شرایط تنش غرقابی. مجله پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۵، شماره ۲.

- گنجعلی، ع.، پریسا، ح.، حجت، س.، ۱۳۸۶. تنوع ژنوتیپی صفات ریشه و اندام هوایی گیاهچه های نخود در محیط هیدروپونیک و گلخانه. مجله پژوهش های زراعی ایران، جلد ۵، شماره ۱.
- مقیمی مقدم، ن.، کلارستاقی، ک.، صدر آبادی، ر.، ۱۳۹۰. مطالعه ریشه گندم در شرایط تنش خشکی اولین همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی
- ولی فیضی اصل، و.، فتوت، ا.، آستارایی، ع.، لکزبان، ا.، ۱۳۹۳. تاثیر مقادیر و زمان مصرف نیتروژن بر برخی ویژگی های مختلف گندم دیم های، نشریه زراعت دیم ایران جلد ۲، شماره ۱، ص ۵۹-۴۱.
- Bibi, A., Sadaqat, H.A., Akram, H.M., Mohammed, M.I., 2010. Physiological markers for screening sorghum (*Sorghum bicolor*) germplasm under water stress condition. *Int. J. Agric. Biol.*, Vol. 12, P. 451-455.
- Ehdai, B., Layne, A. P. and Wainnes, J. G. 2012. Root system plasticity to drought influences grain yield in bread wheat. *Euphytica*, Vol. 186, P. 219-232.
- Eshghizadeh, H.R., M. Kafi, A. Nazami, and A.H. Khoshgoftarmanesh. 2012. Studies on the role of root morphology attribution in salt tolerance of blue-pani grass (*Panicum antidotale* Retz.) using artificial neural networks (ANN). *Research on Crops*. Vol.13 (2), P. 534-544.
- Gregory, P. J. 1988. Root growth of chickpea, faba bean, lentil and pea and effects of water and salt stresses. PP 857-867. In: Summerfield, R. J. (Ed.). *World Crops: Cool Season Food Legumes*. Kluwer Academic Publishers
- Gruber, B.D., Giehl, R.F.H., Friedel, S. and Wirén, N.V. 2013. Plasticity of the Arabidopsis Root System under Nutrient Deficiencies. *Plant Physiology*. Vol. 163, P. 161-179.
- Gupta, U. S. 1984. Crop Improvement for drought resistance. *Curr. Agric.* 8: 1-15.
- Hajabbasi, M. A. 2010. Tillage effects on soil compactness and wheat root morphology. *Journal of Agricultural Science and Technology*, Vol. 3, P. 67-77.
- Hasanabadi, T., Ardakani, M. R., Rejali, F., Paknejad, F., Eftekhari, S. A., and Zargari, K. 2010. Response of barley root characters to co-inoculation with *Azospirillum lipoferum* and *Pseudomonas fluorescens* under different levels of nitrogen. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, Vol.9 (2), P. 156-162.
- Hoad, S. P., Russell, G., Lucas, M. E. and Bingham, I. J. 2001. The management of wheat, barley, and oat root systems, *Advances in Agronomy*, Vol.74, P. 193-249.
- Hosseini Salekdeh, G. R., John, R., Boyer, E. and John, M. 2009. Conceptual framework for drought phenotyping during molecular breeding, *Trends in Plant Science*, Vol.14, P. 1360-1385
- Hosseinzadeh, S.R., A. Salimi, A. Ganjeali, and R. Ahmadpour. 2012. Effects of foliar application of methanol on growth and root characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *European Journal of Experimental Biology*, Vol. 2(5), P. 1697-1702.
- Ludlow, M. M. and R. C. Munchow. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yield in water - limited environments. *Adv. Agron.* Vol. 43, P. 107 - 153.
- Mahanta, D., Rai, R. K., Mishra, S. D., Raja, A., Purakayastha, T. J., and Varghese, E. 2014. Influence of phosphorus and biofertilizers on soybean and wheat root growth and properties. *Field Crops Research*, Vol.166, P. 1-9.
- Mandal, K. G., Hati, K. M., Misra, A. K., Ghosh, P. K., and Bandyopadhyay, K. K. 2003. Root density and water use efficiency of wheat as affected by irrigation and nutrient management. *Jour. Agric. Physics*, Vol. 3(1), P. 49-55
- Manschadi, A. M., Christopher, J., Devoil, P. and Hammer, G. L. 2006. The role of root architectural traits in adaptation of wheat to water-limited environments, *Functional Plant Biology*, Vol. 33, P. 823-837.
- Manschadi, A. M., Hammer, G. L., Christopher, J. T. and deVoil, P. 2008. Genotypic variation in seedling root architectural traits and implications for drought adaptation in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant and Soil*, Vol. 303, P. 115-129.
- McVicar, R., Pearse, P., Brenzil, C., Hartly, S., Panchuk, K. and Mooleki, P. 2005. *Lentil in Saskatchewan*. Saskatchewan Agriculture and Food Canada Publishing, P. 200.
- Meskini-Vishkaee F, Mohammadi M H, Neishaboori M R, Shekari F. 2016. Effect of soil moisture on Wheat and Canola root respiration rates in two soil textures. *Plant Process and Function*, Vol. 4, P. 177-188.
- Musters, P.A.D., Bouten, W., 2000. A method for identifying optimum strategies of measuring soil water contents for calibrating a root water uptake model. *J. Hydrology.*, Vol. 227, P. 273-286

- Okçu, G., Kaya, M.D., M. Atak, M., 2005. Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). *Turk J. Agric. For.* Vol. 29, P. 237-242.
- Oweis, T., Hachum, A. and Pala, M. 2005. Lentil production under supplemental irrigation in a Mediterranean environment. *Agriculture Water Management*, Vol. 68, P. 251-265.
- Paula, S., and Pausas, J. G. 2011. Root traits explain different foraging strategies between resprouting life histories. *Oecologia*, Vol. 165(2), P. 321-331.
- Pedersen, A, Zhang, K., Thorup-Kristensen, K., Jensen, L.S., 2009. Modeling diverse root density dynamics and deep nitrogen uptake – A simple approach. University of Warwick institutional repository: <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-009-0028-8>, P. 29
- Razavi Nasab, A., Shirani, H., Tajabadi pour, A., Dashti, H. 2011. Effect of salinity and organic matters on chemical composition and root morphology of pistachio seedlings. *Journal Crop Improvement*, Vol. 13, P. 31-42.
- Richards, R. A. 2008. Genetic opportunities to improve cereal root systems for dryland agriculture. *Plant Production Science*, Vol. 11(1), P. 12-16.
- Schenk, M.K., Barber, S.A. 1979. Root Characteristics of Corn Genotypes as Related to P Uptake. (*Agron. J.*, Vol. 71, P. 921-927.
- Schweiger, P., Petrasek, R. and Hartl, W. 2009. Root distribution of winter wheat cultivars as affected by drought. International Symposium “Root Research and Applications”. Vienna, Austria.
- Serraj, R., Krishnamurty, L., Kashiwagi, J., Kumar, J.K., Chandra, S, Crouch, J.H., 2004. Variation in root traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) grown under terminal drought. *Field Crops Research*. Vol. 88, P. 115-127
- Tepe, I., Erman, M., Yazlik, A., Levent, R. and Ipek, K. 2005. Comparison of some winter lentil cultivars in weedcrop competition. *Crop Protection*, Vol. 24(6), P. 585-589.
- Turner, N. C., Wright, G. C., and Siddique, K.H.M. 2003. Adaptation of grain legumes to water-limited environment: Selection for physiological, biochemical and yield component characteristics for improved drought resistance. In: Saxena, N. P. (Ed.), P. 43-80.
- Wasson, A. P., Richards, R. A., Chatrath, R., Misra, S. C., Sai Prasad, S. V., Rebetzke, G. J., Kirkegaard, J. A., Christopher, J. and Watt, M. 2012. Traits and selection strategies to improve root systems and water uptake in water-limited wheat crops. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 63(9), P. 3485-3498.
- Whitmore, A. P. and Whalley, W. R. 2009. Physical effects of soil drying on roots and crop growth. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 60(10), P. 2845-2857.
- Wu, Y., He, D., 2011. Advances in root hairs in Gramineae and *Triticum aestivum*. *African J. Agric. Res.*, Vol. 6(5), P. 1047-1050

Investigating the genetic diversity of root traits in lentil (*Lens culinaris Medik*)

Maryam Gholami¹, Zahra Tahmasebi^{1*}, Rahim Naseri²

1- Department of Agronomy and Plant Breeding, faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.

2- Department of Plant Production Technology, Dehloran Faculty of Agriculture and Engineering, Ilam University, Ilam, Iran

*Email Address: z.tahmasebi@ilam.ac.ir

Abstract

Introduction

Lentils are one of the most important legumes. Many researches have been done about the aerial parts of plants. Stresses are the most important cause that cause problems in agricultural production in different ways, and drought stress is one of these stresses. The main limiting factor for plant growth is the available water, the maximum yield in terms of growth and production is achieved when the limited water in the soil is absorbed to the maximum. Considering that more than 80% of lentil cultivation in the country is in the dry season, dryness and lack of water in the soil have the greatest effect on reducing the yield of this plant in different stages of plant growth and development. However, less attention has been paid to aspects of root growth on which the whole plant structure depends. This issue is caused by the problems related to root study due to its underground condition. Efficient absorption of water by roots is an important characteristic for drought resistance. The absorption of water by the plant depends on the size of the root (length or weight), its activity and distribution in the soil. Studies have shown that root characteristics such as depth, volume, xylem diameter and dry weight have a high diversity. Water absorption by the plant depends on the morphological characteristics of the root, its activity and distribution in the plant. Therefore, it seems that to better understand the mechanisms of plant resistance to drought and to obtain the genetic resources needed in breeding programs. It is necessary to understand the morphological traits related to drought resistance, especially the traits related to plant roots. Considering that limited information is available about the diversity of lentil root traits, in the present study, the diversity of root morphological traits among a number of lentil genotypes is studied.

Methodology

Considering the importance of root characteristics in lentils and their effect on plant performance and avoiding drought stress. In order to find the genetic diversity between root traits in 23 lentil genotypes, an experiment was conducted in the form of a completely randomized design with four replications in the research greenhouse of Ilam University. In this experiment, PVC pipes with a diameter of 10 cm and a length of 60 cm, which were filled with 75% of air sand and 25% of soil, were used for cultivation. Irrigation was done twice a week. Seedlings were thinned at the stage of 2 to 3 leaves. 30 days after the germination of the seeds, the aerial parts were separated and then the roots were separated from the airy sand bed by pressurized water. Root dry weight, root length, root volume, root freshness, root surface, root specific length, root diameter, root specific volume, root water content, root tissue density, root volume density, root length density, root density, root surface density and dry weight were measured. A ruler measured the length of the roots with high precision. After, roots were placed in the water to float them. After the aerial parts of the plant were separated, the roots were washed and transferred to the laboratory, and then a digital scale measured the wet weight of the roots with an accuracy of one thousandth. Root volume was measured using a graduated cylinder. Then the roots were placed in the oven at 70 degrees Celsius for 48 hours and after the desired time, they were weighed by a digital scale with an accuracy of one thousandth. Also, the aerial parts of the studied genotypes were placed inside an electric oven with a temperature of 70 degrees Celsius for 48 hours, and after the desired period of time, the dry weight of the aerial parts was calculated by a digital scale with an accuracy of 1,000 grams. The rest of the traits were measured by the parameters and calculated with the help of the formula. At the end, variance analysis of completely random block design and average comparison between traits by Duncan's method at a statistical level of 5% was done using SAS V.9.4 software.

Conclusion

According to the results of variance analysis of the data of this experiment, it was found that there is a significant difference between the genotypes in most of the root traits at the 1% level. Sepehr genotype has the highest amount of shoot dry weight (0.056) and the highest amount of root tissue density (108.0); FILIP2012-2L genotype had the highest root density (0.21 cm³). ILL8006 genotype also had the highest root surface density (4.63), root diameter (0.035), root specific volume (0.00025) and root fresh weight (1.15). The highest amount of root vigor (459.30) and root length (55.71 cm) belongs to FILIP2014-02IL genotype. The highest root volume density (0.00027) was observed in FILIP2014-72L genotype. FILIP2014-103L genotype has the highest value of root length density was (0.032) and root surface (313.46). The highest value of specific root length (1645.8) and root volume (2.49 cm³) belonged to the genotype FILIP2007-95L. The amount of root water content (33.71) was observed in genotype 316-6. Genotype FILIP97-10L had the highest amount of root dry weight (0.053). Considering the existence of genetic diversity between root traits in the studied genotypes. Root length is one of the most important physiological and morphological characteristics of drought resistance. Cultivars with longer root length germinate usually faster than cultivars with shorter root length and are more resistant to drought. Root volume is one of the most important traits in terms of water and food absorption. Therefore, it is a good measurement unit for the relationship between roots and aerial organs. The absorption of water by the plant depends on the size of the root such as the weight and length of the root and the distribution and activity of the root in the soil. Therefore, to understand more the concepts of resistance mechanisms and to find the genetic resources needed for breeding programs, it is necessary to understand root traits that are related to drought resistance, such as root water content. The existing diversity can be used to improve varieties resistant to drought stress in lentil.

Keywords

Variance analysis; root vigor; root length; shoot dry weight.