

## تأثیر تنش رطوبتی بر توزیع و گسترش ریشه و بخش هوایی چهار ژنوتیپ تریتیکاله (*Triticosecale wittmack*)

حمیدرضا خزاعی<sup>۱</sup> - شهرام ریاحی‌نیا<sup>۲\*</sup> - حمیدرضا عشقی‌زاده<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۱۷

### چکیده

عمق نفوذ و گسترش ریشه گیاه نقش به‌سزایی در تحمل به تنش و استفاده بهینه از رطوبت ذخیره شده در خاک دارد. این پژوهش به منظور بررسی ویژگی‌های رشد ریشه و شناسایی صفات موثر در تحمل به کمبود آب در ژنوتیپ‌های تریتیکاله صورت گرفت. به منظور بررسی ویژگی‌های مورفولوژیک ریشه گیاه تریتیکاله در شرایط متفاوت رطوبتی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی در سه تکرار که شامل دو رژیم رطوبتی در دو سطح متفاوت رطوبت قابل دسترس خاک شامل شاهد (رطوبت در حد ظرفیت زراعی) و تنش کمبود آب (آبیاری در زمان رسیدن رطوبت به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و چهار ژنوتیپ تریتیکاله شامل سه لاین امید بخش ET-82-8، ET-82-15، ET-79-17 به همراه رقم رایج Junillo-92 در گلخانه تحقیقاتی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۸۷ اجرا شد. نتایج نشان داد که تنش کمبود آب عمق توسعه ریشه را حدود ۹ درصد افزایش داد. همچنین تفاوت عمیق‌ترین عمق ریشه در لاین ET-82-15 نسبت به سطحی‌ترین عمق در رقم Junillo-92 حدود ۸/۲ سانتی‌متر بود. تاخیر در آبیاری باعث کاهش ۲۵ درصدی طول تجمعی ریشه شد. همچنین اختلاف معنی‌دار ۴۳ درصدی بین بیشترین طول تجمعی ریشه در لاین ET-82-15 نسبت به کمترین طول در ET-79-17 وجود داشت. تنش کمبود آب؛ طول، سطح، قطر و وزن خشک ریشه در اعماق ۲۰-، ۴۰-۶۰ و ۴۰-۶۰ سانتیمتری خاک را نیز کاهش داد. ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در شرایط تنش کمبود آب نشان داد به استثنای همبستگی بین طول و قطر ریشه همه خصوصیات مورد مطالعه ریشه همبستگی مثبت و معنی‌داری از نظر آماری با یکدیگر دارند. به طور کلی به نظر می‌رسد که طول تجمعی ریشه و سطح ریشه از ویژگی‌های موثر ژنوتیپ‌های تریتیکاله در تولید دانه بوده که تحت شرایط تنش کمبود آب می‌توانند نقش موثری داشته باشند.

**واژه‌های کلیدی:** نفوذ عمقی، طول تجمعی، سطح کل ریشه، عملکرد دانه

### مقدمه

شرایط مختلف آب، هوا و مواد معدنی محیط ریشه به وسیله عملیات زراعی با سهولت بیشتری قابل تغییر می‌باشد (۲). دمای خاک به وسیله به هم زدن، شخم و مالچ، رطوبت آن به وسیله آبیاری و مواد معدنی آن به وسیله کوددهی قابل تغییر است. در حالی که تغییر محیط شاخه و برگ (اتمسفر) مشکل و گاهی غیر ممکن می‌باشد (۱). بنابراین شاید بهتر آن باشد که مطالعات روی ریشه بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

از بین تنش‌های مختلف محیطی که بر ریشه گیاه تأثیر می‌گذارد اثر تنش کمبود آب در مراحل رشد و نمو بارزتر است (۱۸). تنش کمبود آب مهم‌ترین عامل کاهش عملکرد در گیاهان زراعی، به خصوص گیاهانی با نیاز آبی بالا گزارش شده است (۲۶). راهبرد تحمل به خشکی، به مفهوم ادامه فعالیت‌های اساسی گیاه در صورت مواجه شدن با خشکی است (۱۸). صفات ریختی ریشه و پاسخ به

ریشه گیاه با توجه به ویژگی‌های ذاتی خود نقش مهمی در گسترش و توسعه ژرم پلاسماهای گیاهان متحمل به تنش خشکی دارد (۴). محدود بودن تحقیق روی ریشه، در مقایسه با سایر اندامهای گیاهی تا حدودی به دلیل مشکلات متعددی است که بر سر راه مطالعه آنها وجود دارد. با این حال تقویت رشد گیاه از طریق ایجاد تغییر در محیط ریشه آسان‌تر از تغییر در محیط شاخ و برگ است.

۱- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- گروه علوم و مهندسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه پیام نور

\*- نویسنده مسئول: (Email: sh\_riahinia@yahoo.com)

۳- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*wittmack*) تحت شرایط عادی و تنش کمبود آب و ارتباط این صفات با ویژگی های بخش هوایی و همچنین بررسی پراکنش ریشه در لایه‌های مختلف خاک در شرایط تنش و بدون تنش رطوبتی بود.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در چهار تکرار در سال ۱۳۸۷ در گلخانه تحقیقاتی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. بذرهاى چهار ژنوتیپ تریتیکاله شامل سه لاین امید بخش ET-82-15، ET-82-17 و ET-79-17 به همراه رقم رایج Junillo-92 پس از ضدعفونی و تعیین قوه نامیه در داخل سینی نشاء کشت شد و گیاهچه‌های دو برگی به داخل بستر آماده شده در تیوب های پلاستیکی با قطر دهانه ۹۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۰۰۰ میلی‌متر که با خاکی لومی پر شده بودند، کشت شدند (۱). به منظور یکنواختی محیط خاک و پرهیز از تفکیک ذرات خاک بر اساس اندازه در هنگام پر کردن تیوب های پلاستیکی ذرات خاک کاملاً خشک نبود. لایه‌های خاک به ارتفاع ۱۰-۵ سانتیمتر ریخته و سپس کوبیده شد. جهت ثبات و پایداری تیوب ها و نیز جلوگیری از نفوذ نور و سبز شدن ریشه هر یک از تیوب ها در لوله هایی از جنس پلی اتیلن سیاه رنگ قرار گرفتند. گیاهان مربوط به تیمار شرایط مساعد رطوبتی به گونه‌ای انجام شد که خاک هر تیوب در محدوده عمق توسعه ریشه در حد ظرفیت زراعی باقی بماند و تیمارهای مربوط به تنش کمبود آب در زمان استقرار کامل گیاه و پس از رسیدن رطوبت خاک به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، با مقدار ثابت آب (ثابت در هر آبیاری به طوری که خاک هر تیوب در محدوده عمق توسعه ریشه به ظرفیت زراعی برسد)، انجام شد.

در زمان رسیدگی محصول، قسمت هوایی گیاه از سطح خاک قطع شد و عملکرد دانه هر بوته اندازه گیری شد. به دلیل زمان‌بر بودن روند شستشوی ریشه‌ها و نیز به منظور کاهش تغییرات ناشی از فعالیت میکروارگانیزم‌ها و حذف بخش هوایی، تیوب ها به سردخانه با دمای ۴ درجه منتقل شدند. برای جدا کردن ریشه از خاک، ابتدا کیسه پلاستیکی را از درون لوله‌ی رشد خارج کرده و پس از برش طولی در حالی که بر روی تور سیمی و درون تشت آب قرار داشت ریشه‌ها با آب جاری و به آرامی از خاک جدا شد تا به این ترتیب آسیب کمتری به ریشه‌ها و آرایش آن وارد شود. سپس ریشه‌ها پس از توزین و اندازه‌گیری طول، به قطعات ۲۰ سانتیمتری تفکیک شده و پس از رنگ آمیزی با ماده شیمیایی متیلن بلو با استفاده از اسکنر کامپیوتری و نرم افزار Delta T-scan ویژگی های همچون سطح، طول تجمعی و قطر ریشه‌ها تعیین شدند. سپس داده‌های به دست آمده برای هر یک از صفات، مورد تجزیه‌ی واریانس قرار گرفته و

تنش کمبود آب از اجزای مهم تحمل به خشکی محسوب می‌شوند (۲). در برنج، ذرت و گندم تحمل به خشکی و عملکرد بالا به رشد بیشتر ریشه و ویژگی های آن ربط داده شده است (۱۷ و ۲۴). نتایج پژوهشی بر روی برنج (*Oryza sativa*) نشان داده است که هر چه سرعت رشد ریشه بالاتر باشد، بروز تنش نیز به تاخیر می‌افتد (۲۶). تاخیر در پسابدگی از طریق افزایش رشد ریشه موجب افزایش توانایی استخراج رطوبت خاک می‌شود و به عنوان یک ساز و کار موثر برای تحمل به خشکی عمل می‌کند (۲۹). اسلوان و همکاران (۲۵) اظهار داشتند که افزایش حجم و طول ریشه در سویا (*Glycine max*) باعث تعویق در پسابدگی و مقاومت به خشکی می‌شود و بدین ترتیب فشار تورژسانس در طول دوره خشکی حفظ می‌شود. برای تحمل به خشکی سه ساز و کار در ارتباط سیستم ریشه‌ی گیاهان؛ افزایش حداکثر طول ریشه برای استفاده بیشتر از ذخایر آب، افزایش حجم ریشه و نسبت وزن ریشه به بخش هوایی، افزایش توانایی نفوذ ریشه در برابر موانع فیزیکی و شیمیایی و بالا بردن توان تنظیم اسمزی در ریشه که باعث استخراج آب بیشتری از خاک و مقاومت در مقابل تنش کمبود آب و افزایش توان بازیافت گیاه می‌شود، پیشنهاد شده است (۲۶).

وزن خشک ریشه ملاک مناسبی برای مطالعات ریشه و پاسخ آن به واکنش‌های محیطی محسوب می‌شود. این ویژگی می‌تواند به عنوان یک پارامتر اساسی در برآورد ذخیره مواد فتوسنتزی در گیاه محسوب شود (۱). ایکانایاک و همکاران (۱۰) نسبت وزن خشک ریشه به بخش هوایی را به عنوان یک شاخص مقاومت به خشکی محسوب کردند. سطح ریشه به ندرت در مطالعات اکولوژیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد، هر چند به نظر می‌رسد این ویژگی یکی از مهمترین ویژگی های ریشه است که در مطالعات جذب آب و مواد غذایی ریشه می‌توان به آن پرداخت. طول ریشه را می‌توان پرکاربردترین ویژگی ریشه دانست زیرا محققان ریشه معتقدند پارامتر طول ریشه در واحد حجم خاک بهترین ویژگی برای محاسبه جذب آب توسط گیاه است (۳۰). توپستین و همکاران (۲۷) به این نتیجه رسیدند که ارقام متحمل به خشکی، ریشه طویل تر و حجم ریشه بیشتری نسبت به دیگر ارقام دارند. بسیاری از گونه های گیاهی با افزایش سهم مواد فتوسنتزی اختصاص یافته به رشد ریشه و بنابراین افزایش نسبت ریشه به اندام های هوایی و بهره‌گیری بیشتر از آب قابل دسترس به کمبود رطوبت پاسخ می‌دهند (۳).

ونوپرازاد و همکاران (۲۸) همبستگی بین عملکرد دانه و حداکثر طول ریشه را در برنج تحت شرایط تنش کمبود آب مثبت و در شرایط عادی منفی گزارش کردند، بنابراین ترکیب ژن های کنترل کننده عملکرد دانه و صفات ریخت شناسی ریشه برای افزایش مقاومت به خشکی توصیه شده است. هدف از این پژوهش، مطالعه صفات مورفولوژیک ریشه ژنوتیپ های تریتیکاله (*Triticosecale*)

آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار نشد (جدول ۳ و ۴). اختلاف ۶۰ درصدی بین بیشترین وزن خشک ریشه در لاین های ET-82-15، ET-82-۸ و ET-۸۲-۸ و ET-82-17 نسبت به کمترین وزن در رقم Junillo-92 در عمق ۶۰-۴۰ از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار نشد (جدول ۴). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تأثیر معنی داری بر وزن خشک ریشه هر بوته در اعماق ۴۰-۲۰ و ۶۰-۴۰ نداشت (جدول ۳).

#### سطح کل ریشه

سطح کل ریشه بوته تحت تأثیر تنش کمبود آب قرار گرفت (جدول ۱). تنش کمبود آب منجر به کاهش حدود ۳۲ درصدی سطح کل ریشه بوته شد (جدول ۲). اختلاف بین بیشترین سطح کل ریشه (۴۴۲۹ میلی متر مربع) متعلق به لاین ET-82-15 با کمترین سطح در لاین ET-79-17 معنی دار بود (جدول ۱ و ۲). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تأثیر معنی داری بر این صفت نداشت (جدول ۱). در هنگام وقوع خشکی محتوای رطوبتی خاک به شدت کاهش می یابد، بنابراین اندک مولکول های آب موجود در خاک تحت این شرایط به وسیله نیروی مکش زیادی از طرف ذرات ریز خاک (پتانسیل ماتریک خاک) به شدت جذب می شوند. بنابراین جهت قابل دسترس ساختن این مقدار آب برای گیاهان که بسیار حیاتی است باید سطح تماس بین ریشه ها و ذرات خاک افزایش یابد. در لاین ET-82-15 با پیشرفت تنش خشکی، سطح کل ریشه به تدریج افزایش یافت به گونه ای که با ۴۵/۲ افزایش نسبت به لاین ET-79-17 بالاترین مقادیر این صفت را در بین ژنوتیپ های تربیتکاله به خود اختصاص داد. گنجعلی و همکاران (۴) بیان داشتند که افزایش سطح ریشه در زمان تنش های خشکی از طریق افزایش نقاط ورودی آب و عناصر غذایی و همچنین به وسیله افزایش سطح جذب، می تواند کارایی جذب آب و عناصر را افزایش دهد.

تنش کمبود آب سطح کل ریشه بوته را در عمق ۲۰-۰ سانتی متر را در سطح احتمال ۵٪ تحت تأثیر قرار نداد (جدول ۳). تأخیر در آبیاری باعث کاهش حدود ۲۱/۴ درصدی سطح کل ریشه شد. اختلاف حدود ۳۲/۴ درصدی بین بیشترین سطح کل ریشه در لاین ET-82-15 نسبت به کمترین سطح در ET-79-17 از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار نشد (جدول ۳ و ۴). در عمق ۴۰-۲۰ سانتی متری تنش کمبود آب سبب کاهش ۴۲ درصدی سطح کل ریشه شد که این کاهش از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۳ و ۴). اختلاف ۶۵ درصدی بین بیشترین سطح کل ریشه در لاین ET-82-15 نسبت به کمترین سطح در ET-79-17 از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار شد (جدول ۳).

تنش کمبود آب سطح کل ریشه بوته را در عمق ۶۰-۴۰ سانتی متری را در سطح احتمال ۵ درصد تحت تأثیر قرار داد (جدول ۳). تأخیر

محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین ها با استفاده از روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

## نتایج

### وزن خشک کل ریشه

تنش کمبود آب وزن خشک ریشه هر بوته را در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر قرار داد (جدول ۱). کمبود رطوبت باعث کاهش حدود ۴۵ درصدی وزن خشک ریشه شد. اختلاف ۵۰ درصدی بین بیشترین وزن خشک ریشه در لاین ET-82-15 نسبت به کمترین وزن در ET-82-8 از نظر آماری معنی دار بود (جدول ۱). از نظر وزن ریشه دو نوع الگوی کاملاً متفاوت در ژنوتیپ های تربیتکاله مشاهده شد. کاهش حدود ۵۰ درصدی بین بیشترین وزن خشک ریشه در لاین ET-82-15 نسبت به کمترین وزن در ET-82-8 به خوبی نشان می دهد که به غیر از لاین ET-82-15 بقیه ژنوتیپ ها توانایی کمتری در حفظ رشد ریشه تحت شرایط خشکی را دارند (جدول ۲). در واقع با پیشرفت تنش خشکی همچنان که فتوسنتز برگ کاهش پیدا می کند، احتیاجات قندی برای تنظیم اسمزی در گیاهان و به دنبال آن رشد ریشه به طور اجتناب ناپذیری متوقف می گردد. بنابراین به ویژه در گیاهان حساس، رشد و نمو ریشه در شرایط خشکی نسبت به شرایط فراهمی رطوبت کاهش می یابد (۲۰ و ۲۲). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تأثیر معنی داری بر وزن خشک ریشه هر بوته نداشت (جدول ۱).

### توزیع وزن خشک ریشه در اعماق مختلف

تنش کمبود آب وزن خشک ریشه هر بوته را در عمق ۲۰-۰ سانتی متر را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۳). کمبود رطوبت باعث کاهش حدود ۴۵ درصدی وزن خشک ریشه شد. اختلاف حدود ۵۰ درصدی بین بیشترین وزن خشک ریشه در لاین ET-82-15 نسبت به کمترین وزن در ET-82-8 از نظر آماری معنی دار نشد (جدول ۴). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تأثیر معنی داری بر وزن خشک ریشه هر بوته نداشت. تنش کمبود آب وزن خشک ریشه هر بوته را در اعماق ۴۰-۲۰ و ۶۰-۴۰ سانتی متر را در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر قرار نداد (جدول ۳). تنش کمبود آب باعث کاهش حدود ۳۶/۹ درصدی وزن خشک ریشه در عمق ۴۰-۲۰ شد، اما این افزایش از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار نشد (جدول ۳ و ۴). اختلاف حدود ۵۰ درصدی بین بیشترین وزن خشک ریشه در لاین ET-82-8 نسبت به کمترین وزن در رقم Junillo-92 در عمق ۴۰-۲۰ از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار نشد (جدول ۴). در عمق ۶۰-۴۰ سانتی متری تنش کمبود آب باعث کاهش ۳۷/۵ درصدی وزن خشک ریشه شد، اما این کاهش از نظر

در آبیاری باعث کاهش حدود ۷۷ درصدی سطح کل ریشه شد.

جدول ۱- مقادیر درجه آزادی و سطح احتمال معنی دار بودن برخی ویژگی‌های ژنوتیپ‌های تریتیکاله تحت تاثیر تنش کمبود آب

منابع تغییر	درجه آزادی	عمق ریشه (cm)	وزن خشک کل ریشه هر بوته (g)	سطح کل ریشه (mm <sup>2</sup> )	طول تجمعی (mm)	قطر ریشه (mm)
رژیم آبیاری	۱	NS	**	**	*	NS
ژنوتیپ	۳	NS	*	*	**	NS
رژیم آبیاری × ژنوتیپ	۱	NS	NS	NS	NS	NS

NS، \*\* و \* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی دار

تحت شرایط خشکی، به سرعت کاهش می‌یابد در صورتی که از محتوای رطوبتی خاک در اعماق پایین تر به کندی کاسته می‌شود. بنابراین بدیهی است که بیشترین طول ریشه جهت جلوگیری بروز خسارت در تنش‌های شدید دیده می‌شود.

#### طول تجمعی ریشه

تنش کمبود آب طول تجمعی ریشه هر بوته را در سطح احتمال ۵۵ درصد تحت تاثیر قرار داد (جدول ۱). کمبود رطوبت باعث کاهش ۲۵ درصدی طول تجمعی ریشه شد. اختلاف ۴۳ درصدی بین بیشترین طول تجمعی ریشه در لاین ET-82-15 نسبت به کمترین آن در ET-17-79 از نظر آماری در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد (جدول ۱ و ۲). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تاثیر معنی‌داری بر طول تجمعی ریشه هر بوته نداشت (جدول ۱).

تنش کمبود آب طول تجمعی ریشه هر بوته در عمق ۲۰-۲۰ سانتی متری را در سطح احتمال ۱ درصد تحت تاثیر قرار نداد (جدول ۳). هر چند کاهش ۳۲ درصدی بین بیشترین طول تجمعی ریشه در لاین ET-82-15 نسبت به کمترین میزان آن در Junillo-92 مشاهده شد ولی این اختلاف از نظر آماری معنی دار نشد (جدول ۴).

اختلاف ۵۹ درصدی بین بیشترین سطح کل ریشه در لاین ET-82-8 نسبت به کمترین سطح در رقم Junillo-92 از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار شد (جدول ۵ و ۸). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تاثیر معنی‌داری بر سطح کل ریشه هر بوته نداشت (جدول ۳).

#### نفوذ عمقی ریشه

عمق ریشه بوته در سطح احتمال ۵٪ تحت تاثیر تنش کمبود آب قرار نگرفت. با این حال تنش کمبود آب، منجر به افزایش حدود ۹ درصدی عمق توسعه ریشه هر بوته شد. ژنوتیپ و برهمکنش آن با تنش کمبود آب نیز تاثیر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۱). تفاوت عمیق‌ترین عمق ریشه در لاین ET-82-15 نسبت به سطحی‌ترین عمق در رقم Junillo-92 حدود ۸/۲ سانتی متر بود. (جدول ۲). در شرایط تنش خشکی، عمق ریشه بیشتر می‌تواند سبب شود که آب از اعماق پایین تری جذب شده و دسترسی منابع آب بیشتری را فراهم کند. یکی از جنبه‌های اجتناب از تنش، دور ماندن از شرایط نقصان آب خاک و رسیدن به لایه‌های عمیق تر می‌باشد. کیان و فرای (۲۳) با اندازه‌گیری محتوای رطوبت حجمی خاک در اعماق مختلف نشان دادند که رطوبت در لایه‌های سطحی خاک

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های<sup>۱</sup> صفات اندازه‌گیری شده در برخی ویژگی‌های ژنوتیپ‌های تریتیکاله تحت تاثیر تنش کمبود آب

عامل آزمایشی	سطح	عمق ریشه (cm)	وزن خشک کل ریشه (g)	سطح کل ریشه (mm <sup>2</sup> )	طول تجمعی (mm)	قطر ریشه (mm)
الگوی آبیاری	۱۰۰	۳۳/۹ <sup>a</sup>	۰/۴۳۳ <sup>a</sup>	۸۸۴ <sup>a</sup>	۱۱۳۹۳ <sup>a</sup>	۰/۷۷۸ <sup>a</sup>
	۵۰	۳۷/۳ <sup>a</sup>	۰/۲۳۷ <sup>b</sup>	۶۰۴۳ <sup>b</sup>	۸۵۳۸ <sup>b</sup>	۰/۵۱۳ <sup>a</sup>
تنش (۵٪) LSD						
ژنوتیپ	ET-82-15	۴۳/۱ <sup>a</sup>	۰/۴۷۹ <sup>a</sup>	۹۷۸۹ <sup>a</sup>	۱۲۴۴۳ <sup>a</sup>	۰/۶۴۳ <sup>a</sup>
	ET-82-8	۴۲/۵ <sup>a</sup>	۰/۲۴۱ <sup>b</sup>	۶۵۵۳ <sup>b</sup>	۸۵۲۹ <sup>bc</sup>	۰/۸۹۴ <sup>a</sup>
	ET-79-17	۳۵/۹ <sup>a</sup>	۰/۲۹۷ <sup>b</sup>	۵۳۶ <sup>b</sup>	۷۰۹۸ <sup>c</sup>	۰/۴۹۸ <sup>a</sup>
	Juanillo-92	۳۴/۹ <sup>a</sup>	۰/۳۲۰ <sup>b</sup>	۸۰۶۱ <sup>ab</sup>	۱۱۷۹۱ <sup>ab</sup>	۰/۵۰۹ <sup>a</sup>
ژنوتیپ (۵٪) LSD						
	۹/۰۲	۰/۱۵۷	۲۹۴۹	۳۵۰۷	۰/۵۰۶	

۱- در هر ستون برای هر عامل آزمایشی میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

نشد (جدول ۴). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تأثیر معنی‌داری بر قطر ریشه هر بوته در عمق ۲۰-۰ نداشت (جدول ۳). در عمق ۴۰-۲۰ اختلاف حدود ۲۶/۳ درصدی بین بیشترین قطر ریشه در لاین ET-79-17 نسبت به کمترین آن در رقم Junillo-92 از نظر آماری در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد (جدول‌های ۳ و ۴). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تأثیر معنی‌داری بر طول تجمعی ریشه هر بوته در عمق ۴۰-۲۰ نداشت (جدول ۳).

در عمق ۶۰-۴۰ اختلاف حدود ۵۳/۳ درصدی بین بیشترین قطر ریشه در لاین ET-82-8 نسبت به کمترین آن در ET-79-17 از نظر آماری در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار نشد (جدول‌های ۳ و ۴). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تأثیر معنی‌داری بر قطر ریشه هر بوته در عمق ۶۰-۴۰ نداشت (جدول ۳).

#### ارتفاع بوته

ارتفاع بوته تحت تأثیر تنش کمبود آب قرار گرفت (جدول ۵). تنش کمبود آب منجر به کاهش ۱۰ درصدی ارتفاع بوته شد. اختلاف بین بیشترین سطح کل ریشه (۱۵/۸ سانتی‌متر) متعلق به لاین ET-82-15 با کمترین سطح در لاین ET-79-17 معنی دار بود (جدول ۶). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۵).

#### تعداد پنجه

تنش کمبود آب تعداد پنجه هر بوته را تحت تأثیر قرار نداد (جدول ۵). با این حال باعث کاهش حدود ۱۷ درصدی تعداد پنجه هر بوته شد. اختلاف حدود ۱۸ درصدی بین بیشترین تعداد پنجه هر بوته در لاین ET-82-15 نسبت به کمترین تعداد در لاین ET-79-17 معنی دار نشد (جدول ۶). همچنین برهمکنش ژنوتیپ و رژیم آبیاری تأثیر معنی‌داری بر تعداد پنجه هر بوته نداشت (جدول ۵).

#### تعداد پنجه بارور

تعداد پنجه بارور در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر تنش کمبود آب قرار گرفت (جدول ۵). تنش کمبود آب منجر به کاهش حدود ۴۲ درصدی تعداد پنجه بارور در بوته شد. اختلاف بین بیشترین تعداد پنجه بارور (۰/۶۳) متعلق به لاین ET-82-15 و رقم Juanillo-92 با کمترین تعداد در لاین ET-79-17 معنی دار نبود (جدول ۶). همچنین برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۵).

#### عملکرد بیولوژیک بوته

تنش کمبود آب عملکرد بیولوژیک هر بوته را در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر قرار داد (جدول ۵). تأخیر در آبیاری باعث کاهش ۳۷

برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تأثیر معنی‌داری بر طول تجمعی ریشه هر بوته در عمق ۲۰-۰ نداشت (جدول ۳). در مورد عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متری این اختلاف از نظر آماری در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد (جدول ۳). در این عمق اختلاف حدود ۵۱/۷ درصدی بین بیشترین طول تجمعی ریشه در رقم Junillo-92 نسبت به کمترین آن در ET-79-17 از نظر آماری در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد (جدول‌های ۳ و ۴). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تأثیر معنی‌داری بر طول تجمعی ریشه هر بوته در عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متری نداشت (جدول ۳).

در عمق ۶۰-۴۰ سانتی‌متری اختلاف حدود ۷۲/۷ درصدی بین بیشترین طول تجمعی ریشه در لاین ET-82-15 نسبت به کمترین آن در ET-79-17 از نظر آماری معنی دار نشد (جدول ۳ و ۴). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تأثیر معنی‌داری بر طول تجمعی ریشه هر بوته در عمق ۶۰-۴۰ سانتی‌متری نداشت (جدول ۳).

#### قطر ریشه

قطر ریشه در سطح احتمال ۵ درصد تحت تأثیر تنش کمبود آب قرار نگرفت (جدول ۲). تنش کمبود آب منجر به کاهش ۳۴/۲ درصدی قطر ریشه شد. در واقع تولید ریشه‌های نازک تر در پاسخ به تنش خشکی می‌تواند یک استراتژی مناسب در گیاهان تحت تنش باشد تا بدین ترتیب جذب و استفاده از مواد غذایی در آنها با حداقل انرژی افزایش یابد. ساخت ریشه‌های نازک برای گیاه بسیار ساده و کم هزینه بوده ولی از آنجا که سطح بیشتری در هر واحد وزن دارا می‌باشند، برای جذب و استفاده مواد غذایی و آب بسیار مهم و موثرند.

هوفر (۱۴) در مورد ارقام تال فسکیو (*Festuca arundinacea*) اظهار داشت که کاهش ضخامت ریشه از طریق افزایش تماس ریشه‌ها و ذرات خاک به ویژه قبل از خشکی شدید، افزایش سازگاری و تحمل به خشکی می‌شود. تحقیقات هومس (۱۵) نشان داد که دلیل اصلی کاهش ضخامت ریشه و تولید تارهای کشنده، اسید آبسزیکی است که در زمان تنش خشکی در گیاه تجمع پیدا می‌کند. اختلاف بین بیشترین قطر ریشه متعلق به لاین ET-82-8 با کمترین قطر در لاین ET-79-17 معنی دار نبود (جدول ۲). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۱).

تنش کمبود آب قطر ریشه هر بوته را در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری را تحت تأثیر قرار نداد (جدول ۲). هر چند کاهش ۱۷ درصدی بین بیشترین قطر ریشه در لاین ET-82-15 نسبت به کمترین میزان آن در Junillo-92 مشاهده شد ولی این اختلاف از نظر آماری معنی دار

هر بوته نداشت (جدول ۵).

درصدی عملکرد بیولوژیک هر بوته شد. اختلاف حدود ۲۹ درصدی بین بیشترین عملکرد بیولوژیک هر بوته در لاین ET-82-15 نسبت به کمترین در ET-79-17 در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار شد (جدول ۶). همچنین برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تاثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه هر بوته نداشت (جدول ۵).

### بحث

به علت سختی کار مطالعه ریشه و نیز عدم توجه کافی پژوهشگران کشور، توجه به ویژگی‌های این اندام زیرزمینی مهم و تبیین نقش آن در تولید محصولات زراعی سال‌های زیادی است که در اولویت نبوده است. از سوی دیگر با توجه به نوع اقلیم کشور که در آن تنش کمبود آب از دغدغه‌های پیش رو در تولید محصولات زراعی در شرایط آبی و دیم محسوب می‌شود، تفکیک اهمیت ویژگی‌های مورفولوژیک ریشه در شرایط متفاوت رطوبتی در ایجاد چشم‌انداز مناسب در برنامه‌های اصلاح گیاهان زراعی کمک خواهد نمود.

### شاخص برداشت

تنش کمبود آب شاخص برداشت هر بوته را به طور معنی‌دار تحت تاثیر قرار نداد (جدول ۵). با این حال تاخیر در آبیاری باعث افزایش ۱۰ درصدی این شاخص شد. همچنین اختلاف حدود ۱۸ درصدی بین بیشترین شاخص برداشت هر بوته در لاین ET-79-17 نسبت به کمترین در ET-82-15 معنی‌دار نشد (جدول ۶). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تاثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه

جدول ۳- مقادیر درجه آزادی و سطح احتمال معنی‌دار بودن برخی ویژگی‌های ریشه ژنوتیپ‌های تربیتکاله در لایه‌های صفر الی ۶۰ سانتی متری سانی متری تحت تاثیر تنش کمبود آب

منابع تغییر	درجه آزادی	سطح ریشه (mm <sup>2</sup> )			قطر ریشه (mm)			طول تجمعی (mm)			وزن خشک ریشه (g)		
		عمق -۶۰	عمق -۴۰	عمق +۲۰	عمق -۶۰	عمق -۴۰	عمق +۲۰	عمق -۶۰	عمق -۴۰	عمق +۲۰	عمق -۶۰	عمق -۴۰	عمق +۲۰
رژیم آبیاری	۱	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	**
ژنوتیپ	۳	NS	**	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS
آبیاری × ژنوتیپ	۱	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS و \*\*، \* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌دار

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های مشخصات ریشه ژنوتیپ‌های تربیتکاله در لایه‌های صفر الی ۶۰ سانتی متری تحت تاثیر تنش کمبود آب

عامل آزمایشی	عمق +۲۰	عمق -۴۰	عمق +۲۰	سطح ریشه (mm <sup>2</sup> )			قطر ریشه (mm)			طول تجمعی (mm)			وزن خشک ریشه (g)
				عمق -۶۰	عمق -۴۰	عمق +۲۰	عمق -۶۰	عمق -۴۰	عمق +۲۰	عمق -۶۰	عمق -۴۰	عمق +۲۰	
۱۰۰	۵۳۰.۱ <sup>a</sup>	۳۰۱.۶ <sup>a</sup>	۵۲۱.۰ <sup>a</sup>	۰.۹۲۶ <sup>a</sup>	۰.۶۴۸ <sup>a</sup>	۰.۳۲۰ <sup>a</sup>	۵۹۱.۰ <sup>a</sup>	۴۴۷۳ <sup>a</sup>	۱۰۰.۹ <sup>a</sup>	۰.۳۵۶ <sup>a</sup>	۰.۱۰۶۵ <sup>a</sup>	۰.۰۰۸ <sup>a</sup>	
۵۰	۴۱۶۷ <sup>a</sup>	۱۷۵۴ <sup>b</sup>	۱۲۰ <sup>b</sup>	۰.۱۸۵ <sup>a</sup>	۰.۵۶۴ <sup>a</sup>	۰.۱۲۱ <sup>a</sup>	۴۹۷۶ <sup>a</sup>	۲۹۷۷ <sup>b</sup>	۵۸۳ <sup>a</sup>	۰.۱۹۸ <sup>b</sup>	۰.۰۴۱ <sup>a</sup>	۰.۰۰۵ <sup>a</sup>	
ET-82-15	۵۶۹۵ <sup>a</sup>	۳۷۱۳ <sup>a</sup>	۳۸۰ <sup>a</sup>	۰.۹۴۷ <sup>a</sup>	۰.۷۳۸ <sup>a</sup>	۰.۲۴۴ <sup>a</sup>	۶۲۰۵ <sup>a</sup>	۴۷۵۳ <sup>a</sup>	۱۴۸۴ <sup>a</sup>	۰.۳۷۳ <sup>a</sup>	۰.۰۰۵ <sup>a</sup>	۰.۰۰۵ <sup>a</sup>	
ET-82-8	۵۳۰.۱ <sup>a</sup>	۱۵۴۷ <sup>b</sup>	۴۸۴ <sup>b</sup>	۰.۹۳۰ <sup>a</sup>	۰.۶۴۰ <sup>ab</sup>	۰.۲۹۸ <sup>a</sup>	۶۱۲۸ <sup>a</sup>	۲۵۲۰ <sup>b</sup>	۷۷۹ <sup>a</sup>	۰.۲۰۹ <sup>a</sup>	۰.۰۰۶ <sup>a</sup>	۰.۰۰۵ <sup>a</sup>	
ET-79-17	۲۸۴۹ <sup>a</sup>	۱۲۸۹ <sup>b</sup>	۲۲۱ <sup>b</sup>	۰.۸۹۲ <sup>a</sup>	۰.۵۰۳ <sup>b</sup>	۰.۱۳۹ <sup>a</sup>	۵۲۲۹ <sup>a</sup>	۲۴۸۳ <sup>b</sup>	۴۰۴ <sup>a</sup>	۰.۲۷۱ <sup>a</sup>	۰.۰۰۴ <sup>a</sup>	۰.۰۰۵ <sup>a</sup>	
Juanillo-92	۴۸۷۳ <sup>a</sup>	۲۹۹۰ <sup>a</sup>	۱۹۸ <sup>a</sup>	۰.۷۸۴ <sup>a</sup>	۰.۵۴۴ <sup>b</sup>	۰.۲۰۱ <sup>a</sup>	۴۲۱۰ <sup>a</sup>	۵۱۴۳ <sup>a</sup>	۵۱۸ <sup>a</sup>	۰.۲۵۶ <sup>a</sup>	۰.۰۰۳ <sup>a</sup>	۰.۰۰۱ <sup>a</sup>	

در هر ستون برای هر عامل آزمایشی میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۵- مقادیر درجه آزادی و سطح احتمال معنی دار بودن برخی ویژگی‌های ژنوتیپ‌های تریتیکاله تحت تاثیر تنش کمبود آب

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد پنجه هر بوته	تعداد پنجه بارور هر بوته	عملکرد دانه (g)	عملکرد کاه (g)	نسبت ریشه به شاخساره	عملکرد بیولوژیک بوته (g)	شاخص برداشت بوته (%)	ارتفاع گیاه (cm)
رژیم آبیاری	۱	NS	**	**	**	**	**	NS	**
ژنوتیپ	۳	NS	NS	NS	**	NS	*	NS	**
رژیم آبیاری × ژنوتیپ	۱	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Pr &gt; F

در هر ستون برای هر عامل آزمایشی میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری ندارند.

جدول ۶- مقایسه میانگین‌های صفات اندازه‌گیری شده در برخی ویژگی‌های ژنوتیپ‌های تریتیکاله تحت تاثیر تنش کمبود آب

عامل آزمایشی	تعداد پنجه هر بوته	تعداد پنجه بارور هر بوته	عملکرد دانه (g)	عملکرد کاه (g)	نسبت ریشه به شاخساره	عملکرد بیولوژیک بوته (g)	شاخص برداشت بوته (%)	ارتفاع گیاه (cm)
۱۰۰	۳/۳۱a	۳/۲۵a	۲/۱۱a	۲/۳۸a	۰/۰۷۷a	۵/۸۷a	۳۶/۸a	۷۱/۳
۵۰	۲/۷۵ <sup>a</sup>	۱/۸۷ <sup>a</sup>	۱/۴۹ <sup>b</sup>	۱/۴۴ <sup>b</sup>	۰/۰۷۰ <sup>a</sup>	۲/۶۸ <sup>b</sup>	۴۰/۷ <sup>a</sup>	۶۴/۳
تنش (٪) LSD	۰/۸۲۴	۰/۶۷۳	۰/۴۰	۰/۳۷	۰/۰۲۶	۰/۸۶	۵/۰۳	۴/۸۷
ET-82-15	۳/۳۷ <sup>a</sup>	۲/۷۵ <sup>a</sup>	۱/۸۰ <sup>a</sup>	۲/۵۲ <sup>a</sup>	۰/۰۱۰۳ <sup>a</sup>	۵/۵۹ <sup>a</sup>	۳۳/۸ <sup>a</sup>	۷۵/۰
ET-82-8	۳/۱۲ <sup>a</sup>	۲/۶۳ <sup>a</sup>	۱/۷۳ <sup>a</sup>	۱/۶۳ <sup>bc</sup>	۰/۰۵۷ <sup>a</sup>	۴/۴۰ <sup>ab</sup>	۴۰/۸ <sup>a</sup>	۶۱/۹
ET-79-17	۲/۷۵ <sup>a</sup>	۲/۱۲ <sup>a</sup>	۱/۶۱ <sup>a</sup>	۱/۴۱ <sup>c</sup>	۰/۰۷۰ <sup>a</sup>	۳/۹۷ <sup>b</sup>	۴۱/۶ <sup>a</sup>	۵۹/۷
Juanillo-92	۲/۸۷ <sup>a</sup>	۲/۷۵ <sup>a</sup>	۲/۰۶ <sup>a</sup>	۲/۰۷ <sup>b</sup>	۰/۰۶۴ <sup>a</sup>	۵/۱۴ <sup>ab</sup>	۳۹/۶ <sup>a</sup>	۷۴/۷
ژنوتیپ (٪) LSD	۱/۱۶	۰/۹۵۲	۰/۵۷	۰/۵۰	۰/۰۴۷	۱/۲۱	۸/۵۰	۶/۸۹

در هر ستون برای هر عامل آزمایشی میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری ندارند.

ریشه، طول تجمعی و وزن خشک ریشه چهار ژنوتیپ مورد مطالعه را کاهش داد (جدول ۲) که با توجه به تاثیر کمبود آب بر کاهش ظرفیت پروتوپلاسم، به طور مستقیم و کاهش سطح برگ و بستن روزنه‌ها، به طور غیر مستقیم فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه کاهش یافته و به دنبال آن انتقال مواد غذایی کمتر به بخش زیر زمینی گیاه قابل پیش بینی است (۱). یانگ و همکاران (۳۱) نیز بر محدود شدن وزن ریشه گندم در شرایط تنش خشکی اشاره کردند و میزان این محدودیت را به مدت زمان اعمال تنش و زمان وقوع آن بر حسب مرحله رشدی گیاه منوط دانستند. بنابراین همزمان با کاهش طول تجمعی که معمولاً کاهش سطح کل ریشه را در پی دارد، وزن خشک کل ریشه کاهش یافته است.

در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، لاین ET-82-15 دارای عمق ریشه، سطح کل ریشه، وزن خشک کل ریشه و طول تجمعی بیشتری بوده است (جدول ۲). همچنین این لاین دارای تعداد پنجه در هر بوته، تعداد پنجه بارور در هر بوته و عملکرد بیولوژیک بوته بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بوده است (جدول ۶).

در شرایط عادی وجود ریشه‌های پر تراکم در قسمت‌های بالایی خاک، عامل عمده جذب آب برای گیاه در نظر گرفته می‌شود به این صورت که در شرایط رطوبتی مناسب، ریشه‌ها قادرند آب را به سادگی از لایه‌های سطحی جذب نمایند و نقش ریشه‌های موجود در لایه‌های عمقی در جذب آب اندک است (۱۲ و ۱۶). اما در طول فصل رشد ممکن است قسمت‌های فوقانی پروفیل خاک که تراکم ریشه در آن بیشتر است با خشکی مواجه شود، ولی با این وجود گیاه قادر است به فعالیت‌های حیاتی خود ادامه دهد. بنابراین در این حالت بخش‌های تحتانی که تراکم ریشه در آن‌ها کمتر است ولی دارای رطوبت مناسبی هستند، مسئول جذب آب برای گیاه می‌باشند. به عبارت دیگر گیاه با تغییر الگوی حداکثر جذب آب به طرف ریشه‌های با تراکم کمتر (از طریق افزایش فعالیت آنها) به رشد و نمو خود ادامه می‌دهد (۷ و ۱۹). یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که کمبود آب منجر به عمیق‌تر شدن ریشه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه شد هر چند این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۲). این مشاهده با توجه به تلاش گیاه برای بهره‌گیری از آب قابل دسترس خاک در عمق‌های پایین‌تر قابل توجیه است. تنش کمبود آب سطح کل

جدول ۷- ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه تحت شرایط تنش کمبود آب

وزن ساقه	تعداد پنجه بارور	تعداد پنجه	وزن خوشه	نسبت ریشه به ساقه	شاخص برداشت	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	عملکرد ریشه خشک	وزن ریشه	قطر ریشه	طول ریشه	سطح ریشه	صفات
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	سطح ریشه
													طول ریشه
													قطر ریشه
													وزن خشک ریشه
													عملکرد دانه
													عملکرد بیولوژیک
													شاخص برداشت
													نسبت ریشه به ساقه
													وزن خوشه
													تعداد پنجه
													تعداد پنجه بارور
													وزن ساقه

\*\*\* و \*\* NS- به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌دار



ساده بین سطح ریشه و صفات طول ریشه، قطر ریشه، وزن خشک ریشه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، نسبت ریشه به ساقه، تعداد پنجه، تعداد پنجه بارور و وزن ساقه مثبت و از نظر آماری معنی دار بود (جدول ۷). تورچی و همکاران (۲) در آزمایشی که بر روی تعدادی از ژنوتیپ های کلزا (*Brassica napus*) انجام دادند دریافتند که در شرایط تنش کمبود آب، ضرایب همبستگی ساده بین وزن خشک ریشه و صفات ضخامت، حجم، حداکثر طول ریشه و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی مثبت و معنی دار است. با توجه به نتایج حاصل شده می توان گفت که در شرایط تنش کمبود آب اغلب صفات ریشه تاثیر مثبت و معنی داری بر روی خصوصیات بخش هوایی مانند عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، نسبت ریشه به ساقه، تعداد پنجه، تعداد پنجه بارور و وزن ساقه داشتند. به نظر می رسد که طول تجمعی ریشه و سطح ریشه از ویژگی های موثر این ژنوتیپ ها در تولید عملکرد دانه تحت شرایط تنش کمبود آب بوده است.

همچنین با آن که تراکم ریشه در جذب آب نقش مستقیمی دارد اما به هنگام وقوع تنش آبی در لایه های سطحی، فعالیت ریشه های کم تراکم عمقی در جذب آب افزایش و منطقه حداکثر جذب به اعماق منتقل می شود. تحقیق حاضر به منظور اثبات واقعیت توانایی گیاه در کنترل و جبران کمبود منابع آبی انجام گرفت. به نظر می رسد که از نتایج این گونه تحقیقات بتوان در جهت مدیریت مصرف منابع آب به خصوص در شرایط آبیاری زیر سطحی و کم آبیاری استفاده کرد.

راندمان بیشتر ممکن است ناشی از سازوکارهای گوناگون شامل افزایش سرعت توسعه ریشه، افزایش انشعابات ریشه (۲۲)، افزایش سرعت جذب در واحد سطح یا وزن ریشه (۹)، افزایش نسبت ساقه به ریشه (۶ و ۱۳) افزایش تعداد و طول ریشه های موین (۱۱)، افزایش ترشحات ریشه (۲۲) و بالابردن میزان همزیستی با قارچ میکوریزا (۱۳) که سبب کاهش نیاز به مواد غذایی و آب برای رشد می شود باشد. دیویس (۸) نیز کاهش تعداد میکروارگانیزم ها را که در شرایط بهینه رطوبتی و دمایی در خاک از طریق ترشح مواد آلی شرایط تغذیه ای را برای رشد طولی بهتر ریشه فراهم می کنند، علت کاهش عملکرد در شرایط تنش رطوبتی بیان نمود.

در شرایط مساعدتر رطوبتی دسترسی به مواد غذایی بیشتر و سهم بیشتر از بخش هوایی منجر به تولید ریشه های قطورتر می شود. این در حالی است که در شرایط تنش کمبود آب راهبرد ظریف تر شدن ریشه ها دسترسی به سطح بیشتری از خاک را فراهم می کند. در همین رابطه ویرسم (۳۰) اظهار داشت که در خاک خشک ریشه های گندم (*Triticum aestivum*) نازک تر، طویل تر و دارای انشعاب کمتری بودند. از طرفی خشکی بیش از حد خاک از توسعه ریشه های موین جلوگیری به عمل می آورد.

ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در شرایط تنش کمبود آب نشان داد به استثنای همبستگی بین طول و قطر ریشه همه خصوصیات مورد مطالعه ریشه همبستگی مثبت و معنی داری از نظر آماری با یکدیگر دارند (جدول ۷). در شرایط تنش، ضرایب همبستگی

## منابع

- ۱- اشرفی، ع. ۱۳۸۶. بررسی گسترش ریشه و سایر صفات مورفولوژیک ارقام گندم دیم در دو رژیم رطوبتی و دو نوع خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد زراعت. دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۲- تورچی، م.، ف. شیخ، م. ولیزاده، م. شکبیا و ب. پاسبان اسلام. ۱۳۸۴. رابطه خصوصیات مورفولوژیکی ریشه با مقاومت به کمبود آب در تعدادی از ژنوتیپ های کلزا (*Brassica napus* L.). مجله دانش کشاورزی. جلد ۱۵. شماره ۳. صفحه ۱۵-۲۶.
- ۳- کافی، م. و ع. مهدوی دامغانی. ۱۳۷۹. مکانیسم های مقاومت گیاهان به تنش های محیطی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. تعداد صفحات
- ۴- گنجعلی، ع. ۱۳۸۴. بررسی جنبه های فیزیومورفولوژیک مقاومت به خشکی در ژنوتیپ های نخود. رساله دکتری زراعت. دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۵- نقیبی، ع. ۱۳۸۷. نشریه تریتیکاله. سایت سازمان جهاد کشاورزی استان مرکزی.
- 6- Bouma, T. J., K. L. Nielsen, and B. Koutstaal. 2000. Sample preparation and scanning protocol for computerized analysis of root length and diameter. *Plant Soil*. 218: 185-196.
- 7- Braud, I., N. Varado and A. Oliosio. 2005. Comparison of root-water-uptake modules using either Collected Abstracts. The 9<sup>th</sup> Int. Conf. on Plant Grow. Subs. Lausanne.
- 8- Davis, G. R. 1984. Effect of soil compaction on root growth of *Pinus radiata*. Proceeding of Symposium Site and Productivity of Fast Growing Plantations, South Africa, PP. 871-890.
- 9- Egle, K., G. G. B. Manske, W. Romer and P. L. G. Vlek. 1999. Improved phosphorus efficiency of three new wheat genotypes from CIMMYT in comparison with an older Mexican variety. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 162: 353-358.
- 10- Ekanayak, I. J., D. P. Garrriy, T. M. Masajo, and C. O. O'Tool. 1994. Root pulling resistance in rice inheritance and association with drought tolerance. *Euphytica*. 34:905-913.
- 11- Fohse D., N. Claassen and A. Jungk. 1991. Phosphorus efficiency of plants. II. Significance of root radius, root

- hairs and cation-anion balance for phosphorus influx in seven plant species. *Plant Soil*. 132: 261-272.
- 12- Green, S. R., and B. E. Clothier. 1995. Root water uptake by kiwifruit vines following partial wetting of the root zone. *Plant Soil*. 173:317-328.
  - 13- Hamblin, A., D. Tennant and M. W. Perry. 1990. The cost of stress: dry matter partitioning changes with seasonal supply of water and nitrogen to dry land wheat. *Plant Soil*. 122: 47-58.
  - 14- Hofer, R. M. 1991. Root hairs. P. 129-148. In: Waisel et al.(ed.). *Plant Roots: The hidden half*. Marcel Dekker, Inc., New York.
  - 15- Homes, J. 1999. Induction of root hairs from maize roots and abscisic acid. P. 148-149. In P.E. Pilet (ed.) *Collected Abstracts*. The 9th Int. Conf. on Plant Growth. Subs. Lausanne.
  - 16- Huang, B., R. R. Duncan and R. N. Carrow. 1997. Drought-resistance mechanisms of seven warm season turf grasses under surface soil drying: II. Root Aspects. *Crop Science*. 37:1863-69.
  - 17- Jensen, C. R., V. O. Mogensen, G. Mortensen, J. K. Fieldsend, G. F. J. Milford, M. N. Anderson, and J. H. Thage. 1996. Seed glucosinolate, oil and protein contents of field-grown rape (*Brassica napus* L) affected by soil drying and evaporative demand. *Field Crop Research* 47:93-105.
  - 18- Levit, J. 1990. *Response of plants to environmental stresses*. Vol 2. Academic Press, New York.
  - 19- Li, K. Y., R. D. Jong, and J. B. Boisvert. 2001. An exponential root water- uptake model with water stress compensation. *Journal of Hydrology*. 252:189-204.
  - 20- Lu, Z., and P. M. Neumann. 1998. Water stressed maize, barley and rice seedling shoe species specific diversity in mechanisms of leaf growth inhibition. *Journal of Experimental Botany*. 49:1945-1952.
  - 21- Manske, G. G. B., J. I. Ortiz-Monasterio, M. Van Ginkel, R. Gonzalez, S. Rajaram, E. Molina and P.L.G. Vlek. 2000. Traits associated with improved P-uptake. efficiency in CIMMYT's semidwarf spring bread wheat grown on an acid Andisol in Mexico. *Plant Soil*. 221: 189-204.
  - 22- Neumann, G. and V. Romheld. 1999. Root excretion of carboxylic acids and protons in phosphorus-deficient plants. *Plant Soil* 211: 121-130.
  - 23- Qian, Y. L., J. D. Fry, and W. S. Upham. 1997. Rooting and drought avoidance of warm-season turfgrass and tall fescue in Kansas. *Crop Science*. 37:905-910.
  - 24- Richards, R. A. and J. B. Passioura. 1991. Seminal root morphology and water use of wheat. 1. Environmental effect. *Crop Science*. 21:249-252.
  - 25- Sloane, R. J., R. P. Patterson, and T. E. Carter. 1990. Field drought tolerance of soybean plant introduction. *Crop Science*. 30: 118-123.
  - 26- Toorchi, M., H. E. Shashidhar, T. M. Gireesha, and S. H. Hittalman. 2003. Performance of backcross involving transgressant double haploid lines in rice under contrasting moisture regimes: yield components and marker heterozygosity. *Crop Science*. 43:102-112.
  - 27- Tupitsyn, N. V., J. G. Waines and A. K. Lyashok. 1986. Water uptake by the root system of the spring wheats *Botanicheskaya 3* and *Orenburgskaya 7* in relation to their drought resistance. *Plant Breeding Abs*. 57: 809,815.
  - 28- Venoprasad, R., H. E. Shashidhar, S. Hittalmani, and G. S. Hemamalini. 2002. Tagging quantitative traits in rice (*Oryza sativa* L.) under contrasting moisture regimes. *Euphytica*. 128: 193-300.
  - 29- White, J. W., and J. A. Castillo. 1989. Relative effect of root and shoot genotypes on yield of common bean under drought stress. *Crop Science*. 29: 360-362.
  - 30- Wiersum, L. K. 1997. The relationship of the size and structural rigidity of pores to their penetration of roots. *Plant and Soil*, 9: 75-85.
  - 31- Yang, G. Y., Y. P. Lua, B. G. Li and X. Y. Liu. 2006. The response of winter wheat root to the period and the after-effect of soil water stress. *Agricultural Sciences in China* .5: 284-290.