تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۵، مهر ۱۳۹۸ (ص ۱۲۶۴-۱۲۵۵) DOI: 10.22059/ijswr.2018.263763.667990

The Effect of Furrow Irrigation Management onTerend of Corn Root Growth

MOHSEN DEHQANI[*1], MOHAMMADREZA NOORI EMAMZADEI[2], ALI SHAHNAZARI[3], MAHDI GHEISARI[4]

1. PhD student, Department of Irrigation Engineering, College of Agriculture, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran.
2. Associate Professor, Department of Irrigation Engineering, College of Agriculture, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran
3. Associate Professor, Department of Irrigation Engineering, College of Agriculture, Sari Agriculture Science and Natural Resource University ,Sari, Iran
4. Associate Professor, Department of Irrigation Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

(Received: Aug. 28, 2018- Revised: Oct. 7, 2018- Accepted: Oct. 10, 2018)

ABSTRACT

Irrigation management is one of the important factors influencing the development and distribution of plant roots, which is considered by many researchers. The purpose of this study was to study the growth and distribution of corn root in various irrigation management systems. This research was carried out as a split plot in a randomized complete block design at Kabootarabad Research Station in Isfahan. The main factor was consisted of three levels of irrigation regime I_1 (100%), I_2 (80%), I_3 (60%) and the sub-factor was included three irrigation methods, conventional, alternative and fixed furrow irrigation. The measured parameters of root were length, surface, volume, fresh and dry weight, which were carried out in 5 stages of plant growth including 9-leaf, 14-leaf, inflorescence emergence, milking and physiological examination. The results showed that the effect of irrigation regimes and the type of irrigation method on root traits was statistically significant at 5% level. The highest amount of root traits was corresponded to I1 regime and conventional furrow irrigation, and the lowest one was corresponded to I3 regime and fixed furrow irrigation. The highest amount of root traits was obtained in the soil layer of 0-20 cm for all regimes and irrigation methods. From the 9-leaf to the milky stage, the root traits had a bullish trend, then after constant and at the end of growing season declined. Generally, a suitable root system for absorption of water and nutrients required by the plant can be achieved by application of a deficit irrigation rate up to 20% in conventional furrow irrigation or alternative furrow irrigation, which leads to save water consumption.

Keywords:, Alternative irrigation, Deficit irrigation, Irrigation regimes, Root development

[*]Corresponding Author's Email: mdehqani@gmail.com

تأثیر مدیریت‌های آبیاری جویچه‌ای بر روند رشد ریشه گیاه ذرت

محسن دهقانی [۱*]، محمدرضا نوری امامزاده ای [۲]، علی شاهنظری [۳] ، مهدی قیصری [۴]

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲. دانشیار گروه گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۳. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۴. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

(تاریخ دریافت: ۶/ ۶/ ۱۳۹۷- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۷/۱۵- تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۷/۱۸)

چکیده

مدیریت آبیاری یکی از عوامل بسیار مهم و تأثیرگذار بر روند گسترش و توزیع ریشه گیاه است که مورد توجه بسیاری از محققین است. هدف از این پژوهش بررسی چگونگی رشد و توزیع ریشه گیاه ذرت در مدیریت‌های مختلف آبیاری جویچه‌ای است. این پژوهش به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده، در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در ایستگاه تحقیقاتی کبوترآباد اصفهان انجام شد. عامل اصلی شامل سه سطح رژیم آبیاری (I_1) ۱۰۰٪، (I_2) ۸۰٪، (I_3) ۶۰٪ و عامل فرعی شامل سه روش آبیاری جویچه‌ای مرسوم، یک‌درمیان ثابت و متناوب بود. پارامترهای اندازه‌گیری شده در ریشه شامل طول، سطح، حجم، وزن تر و خشک بود که در پنج مرحله از رشد گیاه شامل نه برگی، ۱۴ برگی، ظهور گل‌آذین، شیری شدن و رسیدگی فیزیولوژیک انجام شد. نتایج نشان داد که تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری و نیز نوع روش آبیاری جویچه‌ای بر ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده ریشه از نظر آماری معنی‌دار بوده است (در سطح پنج درصد). رژیم آبیاری I_1 در حضور آبیاری جویچه‌ای مرسوم و رژیم I_3 در روش آبیاری یک‌درمیان ثابت به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را بر صفات مختلف رشد ریشه داشتند. در این پژوهش بیشترین تأثیرپذیری صفات مورد نظر در ریشه در عمق ۲۰-۰ سانتیمتری مشاهده شد. روند رشد ریشه از نظر مقادیر ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده، از مرحله ۹ برگی تا قبل از پرشدن، صعودی و پس از آن ثابت و در انتهای دوره، کاهشی بوده است. به‌طور کلی با اعمال شرایط کم آبیاری تا ۲۰ درصد در آبیاری جویچه‌ای مرسوم و یا کاربرد آبیاری متناوب، می‌توان ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب به یک سامانه توسعه ریشه مناسب برای جذب آب و مواد غذایی موردنیاز گیاه دست یافت.

واژه‌های کلیدی: آبیاری یک‌درمیان، توسعه ریشه، کم آبیاری، رژیم آبیاری

مقدمه

مدیریت آبیاری یکی از مهمترین عوامل مؤثر بر رشد و نمو ریشه گیاه است. چگونگی توزیع و توسعه ریشه به‌صورت مستقیم بر جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاهان تأثیرگذار است؛ بنابراین تشخیص عوامل مؤثر بر رشد و نمو، نحوه گسترش و همچنین پاسخ ریشه به عوامل محیطی برای جذب آب و عناصر غذایی از خاک، امری ضروری به نظر می‌رسد (Feddes and Raats, 2004; Laboski *et al*., 1998). رطوبت موجود در خاک، از جمله عوامل بسیار مؤثر بر روند گسترش و توزیع ریشه گیاه است. به عبارت دیگر ریشه از مهمترین بخش‌های گیاه است که در اثر تنش رطوبت تحت تأثیر قرار می‌گیرد. ریشه گیاه مشابه یک پل، رابط بین گیاه و ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک عمل می‌کند (Gheysari *et al*., 2014). همچنین باز شدن روزنه‌های برگ با جذب آب، توسط سیستم ریشه گیاه کنترل می‌شود و نهایتاً سیستم ریشه‌ای گیاه، رابطه بین مقدار آب و مقدار محصول را تعیین می‌کند. بنا به دلایلی که گفته شد، مطالعه شکل و نحوه پراکندگی و مهمتر از همه طول ریشه به موضوع مورد علاقه پژوهشگران تبدیل شده است (Chimungua *et al*., 2015).

نتایج برخی از پژوهش‌ها نشان می‌دهد که وجود رطوبت مناسب و کافی در خاک، رشد ریشه را افزایش داده و ویژگی‌های مهم ریشه از جمله حجم، طول، سطح و وزن خشک ریشه را بهبود می‌بخشد (Kang *et al*., 2002; Sadranasab *et al*., 2014). در همین رابطه نتایج برخی پژوهش‌ها بیانگر این است که در شرایط کم آبیاری، کمبود رطوبت در لایه سطحی خاک منجر به افزایش طول ریشه و کاهش قطر آن می‌شود. این امر سبب کاهش مقاومت ریشه‌ها در مقابل جذب آب شده و به همین دلیل ریشه‌های گیاه، تنها در لایه‌های زیرین خاک قادر به جذب فعال آب و مواد غذایی خواهند بود (Yavuz *et al*., 2012). همچنین

* نویسنده مسئول: mdehqani@gmail.com

مشاهده شده است که تنش خشکی، قابلیت نفوذ و جذب ریشه را در لایه‌های خاک افزایش می‌دهد (Bingru and Hongwen, 2000). بر اساس پژوهش‌های به‌عمل‌آمده، طول ریشه مهم‌ترین پارامتر مربوط به رشد ریشه است و به همین دلیل پارامتر طول ریشه در واحد حجم خاک بهترین ویژگی برای محاسبه جذب آب توسط گیاه است (Chimungua *et al*., 2015).

با توجه به کمبود منابع آب در بخش کشاورزی تلاش برای کاهش اثرات آن بر عملکرد از طریق کاربرد روش‌های نوین کم-آبیاری از اهمیت بالایی برخوردار است. بررسی ارتباط بین شرایط مختلف اعمال کم‌آبیاری با طول ریشه گیاه، می‌تواند در راستای مدل‌سازی فرآیند جذب آب و توسعه ریشه مؤثر باشد (Trachsel *et al*., 2011). علاوه بر طول ریشه، شاخص‌های مهم دیگر رشد مانند وزن خشک، مساحت و نسبت وزن ریشه به وزن اندام هوایی، نیز به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر نحوه اعمال تیمارهای کم‌آبیاری قرار می‌گیرند (Yang *et al*., 2010; Shahnazari *et al*., 2007; Adiku *et al*., 2001).

در روش کم‌آبیاری موضعی ریشه[1]، منطقه ریشه به نواحی مختلف تقسیم و در هر نوبت آبیاری یک یا چند ناحیه مرطوب شده و نواحی دیگر خشک رها می‌شود. تکرار تناوبی این روش می‌تواند تغییراتی در ساختار فیزیولوژیک گیاه ایجاد نماید که آن را از روش کم‌آبیاری تنظیم‌شده متمایز می‌سازد (Liu *et al*., 2007). افزایش میزان کارایی مصرف آب آبیاری و عملکرد محصول در نتیجه اعمال آبیاری موضعی ریشه در مقایسه با کم‌آبیاری معمولی در نتایج مطالعات بسیاری از پژوهشگران آمده است (Kang *et al*., 2002; Liu *et al*., 2007). در پژوهش انجام گرفته توسط Dodd *et al*. (2008) مشخص شد که در اعمال کم‌آبیاری موضعی ریشه بر روی غلات، قسمت خشک ریشه اثر ناچیزی بر روی جذب آب و انتقال املاح دارد. در کم‌آبیاری موضعی ریشه، آب مصرفی در مقایسه با آبیاری کامل به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌یابد؛ با این حال اثر جبرانی خوبی بر روی جذب آب در منطقه‌ای که ریشه گیاه ذرت آبیاری می‌شود، گذاشته است (Tiantian *et al*., 2011). علاوه بر این در شرایط کم‌آبیاری موضعی ریشه نسبت به کم‌آبیاری معمول، ریشه ذرت توسعه بیشتری خواهد یافت (Karandish *et al*., 2012).

بر اساس پژوهش‌های انجام‌گرفته، عمق مؤثر ریشه ذرت در ۳۰-۴۰ روز پس از کاشت ۴۵ سانتیمتر، در ۵۵-۴۰ روز پس از کاشت ۶۰ سانتیمتر و در مرحله بلوغ به ۹۰ سانتیمتر می‌رسد (Panda *et al*., 2004). بین عمق ریشه، رطوبت قابل‌استفاده خاک و بافت خاک ارتباط وجود دارد (Hajabasi, 1999). در صورت خشک شدن طولانی خاک، رشد طولی ریشه به طرف پایین سریع‌تر می‌شود و اگر خاک به مدت طولانی مرطوب باشد، رشد طولی ریشه غلات کندتر می‌شود (Hu *et al*., 2009).

در پژوهش‌های انجام‌شده، کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه ذرت باعث کاهش وزن خشک اندام هوایی گیاه (Farre and Faci, 2009) و همچنین باعث کاهش وزن خشک ریشه ذرت سینگل کراس ۷۰۴ (Khalilirad *et al*., 2010) شد. ریشه ذرت در مواجه شدن با شرایط تنش، آمادگی این را پیدا می‌کند که در شرایط آبیاری کافی، تعداد انشعابات ریشه و نیز ریشه‌های موئین خود را به مقدار بیشتری توسعه دهد (Liang *et al*., 2008). عمق توسعه ریشه ذرت تحت تأثیر عمق آبیاری است، به طوری که با کاهش عمق آبیاری به دلیل محدود نمودن عمق خیس شده خاک، عمق توسعه ریشه نیز کاهش می‌یابد (Gheysari *et al*., 2009a, 2009b). نتایج یک تحقیق دیگر نشان داد که انواع رژیم‌های آبیاری تأثیر معنی‌داری بر روی وزن خشک ریشه ذرت دارد، به‌گونه‌ای که با افزایش شدت تنش خشکی، میزان وزن خشک ریشه‌ها کاهش می‌یابد؛ در حالی‌که یک کم-آبیاری ملایم و محدود تا حدودی باعث افزایش وزن خشک ریشه خواهد شد (Gheysari *et al*., 2014).

Kang and Zhang (2004) گزارش کردند که کم‌آبیاری موضعی می‌تواند زمینه تولید ریشه‌های ثانویه و توسعه ریشه‌های اولیه را فراهم آورده و در نهایت باعث افزایش جذب آب در کم‌آبیاری موضعی گردد. افزایش وزن خشک ریشه در شرایط کم‌آبیاری موضعی در نتایج پژوهش‌های (Sepaskhah and Ahmadi 2010) و Liu *et al*. (2007) نیز ارائه شده است.

با وجود اهمیت بررسی چگونگی پاسخ ریشه گیاه ذرت به شرایط تنش در تیمارهای خشکی به‌منظور استفاده پژوهش‌گران در زمینه‌های زراعت، فیزیک خاک و به‌ویژه برآورد نیاز آبی گیاه در شرایط مختلف مدیریت آبیاری و از طرفی نیاز به اطلاعات واقعی مزرعه‌ای برای مدل کردن و واسنجی مدل‌های حاصله، تا کنون تحقیق جامع و کاملی در مزرعه بر روند توسعه ریشه ذرت تحت تیمارهای مذکور صورت نگرفته است. بنابراین در این پژوهش، به بررسی تأثیر اعمال تیمارهای کم‌آبیاری تحت مدیریت‌های مختلف بر ریشه ذرت پرداخته شده است.

1. Partial Root Drying

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سه فصل زراعی و طی سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۶ در ایستگاه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان اجرا گردید. این ایستگاه در ۲۵ کیلومتری شرق اصفهان با ارتفاع ۱۵۱۰ متر از سطح دریا، عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی واقع شده و دارای آب و هوای گرم و خشک با میانگین بارندگی سالیانه ۱۱۰ میلی‌متر و دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد است.

به‌منظور انجام این پژوهش زمین موردنظر در پاییز سال قبل شخم خورده و چند روز قبل از اجرای آن، آماده‌سازی شامل تسطیح و مرزبندی انجام و جویچه‌ها با فواصل موردنظر آماده شدند. قبل از اجرای تحقیق از لایه‌های خاک تا عمق ۶۰ سانتیمتری با فواصل ۲۰ سانتیمتری نمونه‌برداری شد و برای تعیین ویژگی‌های مختلف فیزیکی به آزمایشگاه ارسال گردید.

این پژوهش به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده و در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. عامل اصلی شامل رژیم‌های آبیاری (۱۰۰٪ I_1، ۸۰٪ I_2، ۶۰٪ I_3) و عامل فرعی شامل سه نوع سیستم آبیاری جویچه‌ای مرسوم، یک‌درمیان ثابت و متناوب بود. در طول اجرای تحقیق و در فواصل بین آبیاری‌ها، رطوبت خاک در عمق‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ سانتیمتری خاک و در فواصل ۱۰ سانتیمتری از وسط جویچه‌ها در سطح افقی با استفاده از دستگاه TDR اندازه‌گیری شد. زمان آبیاری پس از کاهش رطوبت خاک در روزهای بعد از هر آبیاری تا میزان ۵۰ درصد رطوبت قابل‌استفاده خاک و بر اساس تیمار شاهد (به کمک دستگاه TDR) در نظر گرفته شد (Doorenbos and Pruitt, 1977).

عمق آب آبیاری برای محاسبه حجم آب آبیاری تیمار شاهد و اعمال رژیم‌های آبیاری از رابطه (۱) محاسبه شده است.

$$In=\sum((\theta FCi-\theta BLi)\times Di) \quad \text{(رابطه ۱)}$$

در این رابطه In نیاز خالص آبیاری(mm)، θFCi میزان رطوبت ظرفیت زراعی برای هر لایه، θBLi میزان رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری برای هر لایه، Di عمق توسعه ریشه (mm) و iشماره هر لایه خاک است.

حجم آب آبیاری نیز بر اساس رساندن رطوبت خاک تیمار شاهد به حد ظرفیت زراعی محاسبه و برای رژیم‌های آبیاری در سیستم‌های مرسوم و یک‌درمیان با استفاده از سیفون اعمال گردید. برای هر جویچه دو عدد سیفون در نظر گرفته شده و سیفون‌ها در عمق مناسب نصب و کالیبره گردیدند. در زمان آبیاری با استفاده از کورنومتر و با ثابت نگه‌داشتن ارتفاع آب در کانال و سرریز اضافی آن به جوی دیگر، حجم آب آبیاری وارد هر جویچه گردیده و آبیاری تکمیل شد.

در این پژوهش برای هر کرت آزمایشی، شش ردیف کشت با طول ۶۰ متر در نظر گرفته شد. رقم مورداستفاده، سینگل کراس ۷۰۴ بود که از ارقام رایج و غالب در کشور است. فواصل ردیف‌ها طبق توصیه بخش تحقیقات نهال و بذر استان اصفهان برای منطقه، ۷۰ سانتیمتر و فاصله بوته‌ها روی هر ردیف ۲۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد. مقادیر مناسب کودهای مورد نیاز بر اساس آزمون خاک و طبق توصیه مؤسسه تحقیقات خاک و آب (Malakooti and Gheybi, 2000) محاسبه و به خاک اضافه شد. تاریخ کاشت نیمه دوم خرداد ماه و زمان برداشت ذرت علوفه‌ای نیمه دوم شهریور ماه و زمان برداشت به‌منظور عملکرد دانه نیمه اول آبان ماه بود. از ابتدای کاشت تا استقرار گیاهچه‌ها یعنی مرحله ۴ برگی، تیمارها به‌طور یکسان آبیاری شده و پس از استقرار گیاهچه‌ها تیمارهای رژیم آبیاری اعمال گردید. اندازه‌گیری طول ریشه گیاه در ۵ مرحله از رشد گیاه شامل مراحل نه برگی (S_1)، ۱۴برگی (S_2)، ظهور گل‌آذین نر (S_3)، شیری‌شدن دانه (S_4) و رسیدگی کامل گیاه (S_5) انجام شد. با رسیدن گیاه به هر یک از مراحل ذکرشده، برای هر یک از سطوح آبیاری سه بوته به‌عنوان شاخص و نماینده آن تیمار، انتخاب و از محوطه انجام آزمایش خارج شد. ریشه گیاه از قسمت اندام هوایی گیاه جدا و با فشار ملایم آب شستشو داده شد. سپس ریشه‌ها در راستای طولی در چهار مقطع ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰ و ۶۰ سانتیمتر به بعد برش داده شد. به‌منظور تعیین حجم ریشه از روش استغراق در آب استفاده شد. نمونه‌های ریشه هر تیمار اسکن شده و تصاویر بدست آمده در محیط نرم‌افزار اتوکد رقومی شده و به کمک این تصاویر مجموع طول ریشه‌ها در هر یک از نمونه‌های برداشت‌شده، تعیین شد. سطح ریشه نیز با فرمول اتکینسون به شرح زیر محاسبه گردید (Alizadeh, 2008).

$$A=2\sqrt{v\pi L} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

در این رابطه A سطح ریشه (Cm^2)، L طول ریشه (Cm)، V حجم ریشه (cm^3) می‌باشد.

وزن مرطوب ریشه‌ها پس از نمونه‌برداری و وزن خشک آنها با قرار دادن نمونه‌ها در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. بدین ترتیب پارامترهای ریشه شامل طول، حجم، سطح، وزن تر و خشک تعیین گردید. داده‌های بدست آمده در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار SAS 9 (2001) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD و در سطح پنج درصد معنی‌داری صورت گرفت.

نتایج و بحث

میانگین ویژگی‌های فیزیکی خاک محل آزمایش تا عمق ۶۰ سانتیمتری در جدول (۱) آمده است. بافت خاک لومی رسی بوده و خصوصیات فیزیکی لایه‌های خاک تقریباً مشابه هستند.

آب مصرفی

مقدار آب مصرفی گیاه ذرت در تیمارهای مختلف در جدول (۲) ارائه شده است. کل آب مصرفی در آبیاری جویچه‌ای مرسوم تا مرحله برداشت علوفه و دانه به ترتیب برابر ۱۱۹۹۰ و ۱۲۷۵۰ مترمکعب در هکتار اندازه‌گیری شد. همچنین با تغییر آبیاری جویچه‌ای مرسوم به یک‌درمیان ثابت و یا متناوب تا مرحله برداشت علوفه ۳۹/۱۲ درصد و تا مرحله برداشت دانه ۴۳/۷ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی شد.

طول ریشه

مقایسه میانگین طول ریشه در لایه‌های خاک بر اساس آزمون دانکن برای روش‌های آبیاری جویچه‌ای مرسوم، یک‌درمیان ثابت و متناوب و رژیم‌های آبیاری (۱۰۰٪) I_1، (۸۰٪) I_2، (۶۰٪) I_3 در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک محل آزمایش

عمق خاک	ظرفیت مزرعه	نقطه پژمردگی	جرم مخصوص ظاهری	اسیدیته	شن	سیلت	رس
cm	درصد وزنی		gcm^{-3}		درصد		
۰-	۲۵/۴	۱۵/۲	۱/۴۸	۷/۵	۱۲	۴۳	۴۵
۴۰-۲۰	۲۵/۶	۱۵/۳	۱/۴۶	۷/۵	۱۱	۴۲	۴۷
۶۰-۴۰	۲۴/۸	۱۵/۱	۱/۴۷	۷/۴	۸	۴۴	۴۸

جدول ۲- مقدار آب مصرفی در تیمارهای آبیاری جویچه‌ای مرسوم، یک‌درمیان ثابت و متناوب

عامل آزمایشی		عمق آب مصرفی ($m^3.ha^{-1}$)		میزان کاهش مصرف آب در مقایسه با آبیاری کامل (٪)	
روش آبیاری	رژیم آبیاری	برداشت علوفه	برداشت دانه	برداشت علوفه	برداشت دانه
مرسوم	I_1	۱۱۷۹۰	۱۲۷۵۰	-	-
	I_2	۹۹۵۱	۱۰۷۱۹	۱۵/۵۹	۱۵/۹۳
	I_3	۸۱۱۲	۸۶۸۸	۳۱/۱۹	۳۱/۸۶
یک‌درمیان ثابت و متناوب	I_1	۶۶۹۷	۷۱۷۷	۳۹/۱۲	۴۳/۷۰
	I_2	۶۲۷۳	۶۶۵۷	۴۳/۵۳	۴۷/۷۹
	I_3	۵۳۵۳	۶۵۴۱	۴۴/۵۲	۴۸/۶۹

جدول ۳- مقایسه میانگین طول ریشه (سانتیمتر) در لایه‌های خاک بر اساس آزمون LSD

عامل آزمایشی		لایه‌های خاک (cm)				
روش آبیاری	رژیم آبیاری	۲۰-۰	۴۰-۲۰	۶۰-۴۰	۸۰-۶۰	طول کل
مرسوم	I_1	۴۳۲/۵۵ a	۳۳۱/۲۹ a	۲۶۳/۱۵ b	۵۲/۹۶ c	۱۰۷۹/۹۶ a
	I_2	۳۴۶/۲۵ b	۳۲۶/۸۷ a	۲۸۳/۱۸ a	۷۱/۳۴ b	۱۰۲۷/۶۵ b
	I_3	۲۱۷/۳۸ f	۱۹۴/۵۸ e	۱۷۴/۴۰ f	۵۷/۲۰ b	۶۴۳/۵۶ g
متناوب	I_1	۳۴۶/۲۰ b	۲۹۰/۰۶ b	۲۶۴/۱۶ b	۴۹/۱۷ c	۹۴۹/۶۰ c
	I_2	۳۱۷/۹۵ c	۲۶۸/۸۶ c	۲۵۶/۲۳ c	۵۷/۶۹ b	۹۰۰/۷۳ d
	I_3	۲۰۳/۷۲ g	۱۸۰/۲۱ f	۱۶۴/۳۹ g	۳۸/۷۰ d	۵۸۷/۰۲ h
یک‌درمیان ثابت	I_1	۲۷۹/۱۹ d	۲۳۴/۷۸ d	۲۰۵/۹۷ d	۴۰/۳۴ d	۷۶۰/۲۸ e
	I_2	۲۴۳/۰۲ e	۱۹۸/۹۶ e	۱۸۹/۷۶ e	۴۹/۵۲ c	۶۸۱/۲۶ f
	I_3	۱۷۷/۶۴ h	۱۶۴/۰۸ g	۱۴۴/۳۶ h	۲۸/۲۷ e	۵۱۴/۳۴ i

در هر مرحله میانگین‌های با حرف مشابه در هر ستون، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد که اثر روش آبیاری و رژیم آبیاری بر طول ریشه در لایه‌های خاک از نظر آماری در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده است. در روش آبیاری جویچه‌ای مرسوم و در هر لایه از خاک، بیشترین طول ریشه در رژیم آبیاری I_1 مشاهده شد. اعمال تنش تا ۲۰ درصد کاهش نسبت به آبیاری کامل در آبیاری جویچه‌ای مرسوم (I_2) و در لایه سطحی خاک

(۰-۲۰ سانتیمتری) باعث کاهش ۱۶ درصد تراکم ریشه و ادامه تنش تا ۴۰ درصد کاهش (I_3) نسبت به آبیاری کامل منجر به ۴۹/۷ درصد کاهش در طول ریشه گردید. همچنین اعمال تنش تا رسیدن به رژیم آبیاری I_2 در آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت و متناوب در لایه سطحی خاک به ترتیب باعث کاهش ۱۳ و هشت درصد ریشه و ادامه تنش تا رسیدن به رژیم آبیاری I_3 منجر به ۳۶ و ۴۱ درصد کاهش طول ریشه شد. روند تغییرات برای لایه-های دیگر هم مشابه لایه سطحی بوده ولی درصد افزایش و یا کاهش تراکم طول ریشه متفاوت بوده است. این مطلب نشان می-دهد که اعمال تنش آبیاری تا سطح معنی‌داری، باعث تحریک ریشه‌های گیاه شده و برای جبران احتمالی جذب رطوبت، گیاه طی فرآیند رشد ریشه‌های خود را توسعه می‌دهد. البته اگر تنش شدید بوده و از حد معینی فراتر رود ریشه‌های گیاه ضعیف شده و توانایی تولید ریشه‌های جدید را از دست می‌دهد. بنابراین رشد و گسترش ریشه‌ها در این شرایط محدود خواهد شد و حتی با ادامه تنش تغییرات آناتومیکی مضری در ساختار ریشه از جمله از بین رفتن اپیدرم، از بین رفتن کورتکس و از بین رفتن ریشه‌های شاداب ثانویه ایجاد خواهد شد که در نهایت منجر به مرگ ریشه‌ها می‌شود. مشابه این نتایج در پژوهش‌های انجام‌گرفته توسط Gheysari *et al*. (2014) و Sepaskhah and Ahmadi, (2010) نیز اشاره شده است.

بررسی نتایج نشان داد که در هر سه روش آبیاری و برای همه رژیم‌های آبیاری، بیشترین تراکم طول ریشه در لایه سطحی خاک وجود داشته و با افزایش عمق خاک از تراکم طولی ریشه گیاه کاسته می‌شود. روند کاهش طول ریشه در لایه‌های خاک و در آبیاری جویچه‌ای مرسوم برای رژیم آبیاری I_1 به این صورت بود که با افزایش لایه‌های خاک به ترتیب ۵/۶، ۱۸/۲ و ۷۴/۴ درصد نسبت به لایه سطحی کاهش یافت. این روند کاهش برای رژیم آبیاری I_1 و در آبیاری جویچه‌ای متناوب به‌صورت ۱۶/۲، ۲۳/۷ و ۸۵/۸ درصد نسبت به لایه سطحی بدست آمد. همین تغییرات برای رژیم آبیاری I_1 و در آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت به‌صورت ۱۵/۹، ۲۶/۲ و ۸۵/۵ درصد کاهش نسبت به لایه سطحی حاصل گردید. به عبارت دیگر در رژیم آبیاری I_1 و برای آبیاری جویچه‌ای مرسوم، الگوی گسترش ریشه به این صورت است که با افزایش لایه‌های خاک سهم هر لایه به ترتیب ۳۳/۸، ۳۱/۸، ۲۷/۵ و ۶/۹ درصد بود. این روند کاهش الگوی گسترش ریشه برای رژیم آبیاری I_1 و در آبیاری جویچه‌ای متناوب به‌صورت ۳۶/۴، ۳۰/۶، ۲۷/۸ و ۵/۸ درصد بدست آمد. همین تغییرات برای رژیم آبیاری I_1 و در آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت به‌صورت ۳۶/۷، ۳۰/۹، ۲۷/۱ و ۵/۳ درصد کاهش حاصل گردید. روند مشابهی برای رژیم‌های آبیاری I_2 و I_3 با درصدهای متفاوت مشاهده شد. مجموع طول ریشه در رژیم‌های آبیاری و در روش آبیاری متناوب نسبت به رژیم‌های مشابه در روش آبیاری یک‌درمیان ثابت بیشتر بود. این نتیجه نشان می‌دهد که اگرچه هر دو روش آبیاری باعث ایجاد تنش برای گیاه می‌گردند ولی احتمالاً نحوه تأثیرگذاری بر روند گسترش و توزیع ریشه متفاوت است. کم آبیاری در روش آبیاری متناوب به علت تر و خشک نمودن محدوده ریشه (جویچه‌ها) به‌صورت متناوب و آبیاری مجدد قسمت‌هایی از ریشه گیاه که در نوبت قبل خشک بوده‌اند، زمینه را برای برخی تغییرات فیزیولوژیکی فراهم آورده و می‌تواند باعث افزایش جذب آب و مواد غذایی گردد. افزایش گرادیان هیدرولیکی بین ریشه و خاک در ریشه‌های قدیمی و تولید ریشه‌های شاداب ثانویه از جمله مهمترین تغییراتی است که در نتیجه اعمال تنش به شیوه آبیاری متناوب در گیاه گزارش شده است (Kang and kzang, Kang et. al., 2002; Liu et. al., 2007; 2004).

از طرفی، کم آبیاری در روش آبیاری یک‌درمیان ثابت به علت اینکه برخی جویچه‌ها تا انتهای دوره خشک هستند باعث می‌شود که روند رشد و گسترش ریشه گیاه در مواجهه با این ناحیه خشک متوقف شده و پس از مدتی ریشه‌ها شادابی خود را از دست داده و با از بین رفتن قسمت‌های پوسته ریشه عملاً ریشه‌ها کارایی خود را از دست بدهند. نتایج مشابه این پژوهش در مطالعات Liang *et al*., (2008) و Sepaskhah and Ahmadi, (2010) نیز گزارش شده است.

شکل (۱) تصویر ریشه ذرت در مراحل مختلف رشد را در تیمار شاهد نشان می‌دهد. همچنین مقایسه میانگین صفات ریشه بر اساس آزمون دانکن در تیمارهای آبیاری جویچه‌ای مرسوم، یک‌درمیان ثابت و متناوب در جدول (۴) آمده است.

بیشترین مقدار میانگین صفات ریشه در تمام محدوده عمقی مربوط به رژیم آبیاری I_1 در روش آبیاری جویچه‌ای مرسوم و کمترین مقدار مربوط به رژیم آبیاری I_3 در روش آبیاری یک‌درمیان ثابت بود. در روش آبیاری جویچه‌ای مرسوم، با اعمال مقداری تنش تا رسیدن به رژیم آبیاری I_2، همه صفات اندازه‌گیری شده ریشه شامل طول، سطح، حجم، وزن تر و خشک به میزان کمی کاهش یافت. البته با توجه به کاهش ۲۰ درصدی در مصرف آب آبیاری انتظار می‌رود ریشه گیاه با کاهش بیشتری در صفات مذکور مواجه گردد؛ ولی گیاه طی مکانیسمی تولید ریشه‌های جدید و ثانویه را گسترش می‌دهد تا بتواند قسمتی از روند کاهش طبیعی مورد انتظار را جبران کند. این موضوع در شکل (۲) برای طول ریشه و وزن ریشه نشان داده شده است. اعمال تنش خشکی تا رژیم I_2 منجر به کاهش طول و بقیه صفات ریشه می‌گردد. با افزایش شدت تنش از رژیم I_2 تا I_3 روند کاهشی شدیدتر طول ریشه و به تبع آن بقیه صفات مشهود است. به علت ارتباط نزدیک بین مشخصه‌های ریشه و قسمت‌های هوایی گیاه، هرگونه اعمال

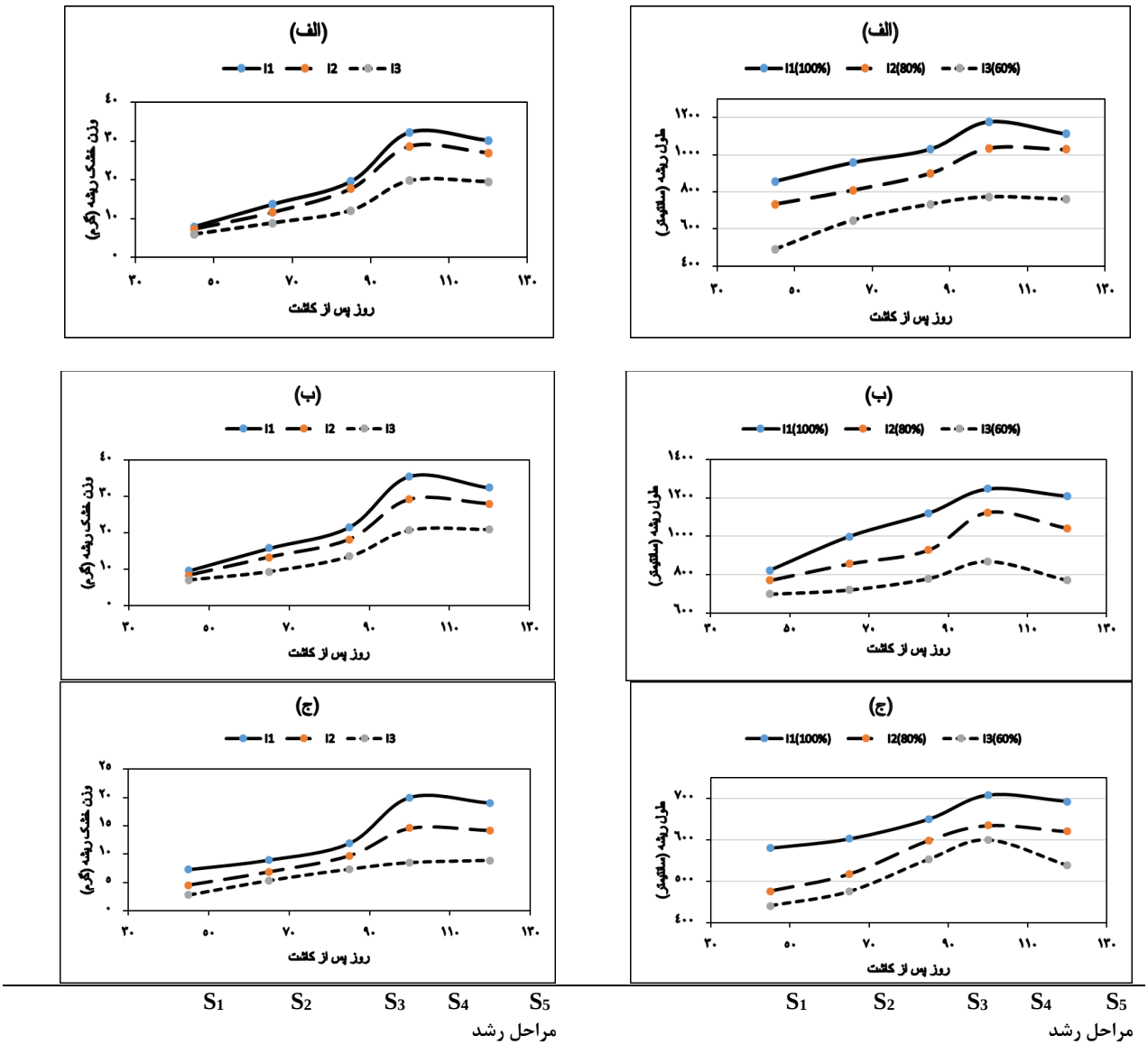
تنش که منجر به کاهش طول ریشه‌های گیاه گردد ابتدا شاخصه‌های فیزیکی ریشه و سپس رشد رویشی گیاه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. طول ریشه در تمام تیمارها از مرحله ۴ برگی به بعد، هر چند با شدت و ضعف متفاوت، روند صعودی را طی کرد و تا قبل از مرحله شیری شدن به بیشترین مقدار خود رسید ولی از این مرحله به بعد تقلیل یافته و روند نزولی به خود گرفت.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات ریشه در تیمارهای آبیاری جویچه‌ای بر اساس آزمون LSD

عامل آزمایشی		پارامترهای اندازه‌گیری				
مدیریت آبیاری	رژیم آبیاری	طول (cm)	سطح (cm^2)	حجم (cm^3)	وزن خشک (g)	وزن تر (g)
	I_1	۱۰۸۰ a	۱۰۸۶ a	۸۷/۳ a	۲۳/۱ a	۴۵/۲ a
مرسوم	I_2	۱۰۲۸ b	۱۰۱۳ b	۷۹/۹ b	۲۰/۷ b	۴۲/۶ b
	I_3	۶۴۴ g	۶۸۲ g	۵۷/۶ f	۱۳/۷ e	۲۷/۹ e
	I_1	۹۴۴ c	۹۷۰ c	۷۹/۵ b	۱۹/۴ c	۳۹/۵ c
متناوب	I_2	۸۹۷ d	۹۰۷ d	۷۳/۲ c	۱۹/۲ c	۳۹/۴ c
	I_3	۵۸۶ h	۵۶۶ h	۴۳/۵ g	۹/۹ g	۲۰/۲ f
	I_1	۷۶۰ e	۷۸۸ e	۶۵/۱ d	۱۴/۳ d	۳۱/۵ d
یک‌درمیان ثابت	I_2	۶۸۱ f	۷۲۶ f	۶۱/۷ e	۱۳/۳ f	۳۰/۹ d
	I_3	۵۱۴ i	۴۳۲ i	۲۸ h	۶/۶ h	۱۳/۵ g

در هر مرحله میانگین‌های با حرف مشابه در هر ستون، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

شکل ۱ – ریشه ذرت در مراحل ۹ برگی (الف)، ۱۴ برگی (ب)، ظهور گل‌آذین (ج)، شیری شدن (د) و رسیدگی فیزیولوژیک (ه)



شکل ۲ – طول و وزن خشک ریشه در هر مرحله از رشد ذرت در آبیاری‌های جویچه‌ای مرسوم، (الف)، متناوب (ب) و یک‌درمیان ثابت (ج)

وزن تر و خشک و حجم ریشه

وزن تر و خشک و حجم ریشه نیز مانند طول ریشه متأثر از مقدار رطوبت خاک بوده و با اعمال تنش آبیاری کاهش پیدا کرد. بدین صورت که در هر سه روش آبیاری تا مرحله I_2 روند کاهشی ملایم و با ادامه تنش تا مرحله I_3 روند کاهش به‌صورت شدیدتر مشاهده شد. تغییرات وزن خشک ریشه در پنج مرحله از رشد گیاه در شکل (۲) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که وزن تر و خشک و حجم ریشه در هر سه روش و رژیم‌های آبیاری از مرحله چهار برگی به بعد روند صعودی داشته و در مرحله شیری شدن به بیشترین مقدار خود می‌رسد، ولی از این مرحله به بعد وزن ریشه تقلیل یافته و روند نزولی به خود می‌گیرد. نکته قابل‌توجه این‌که اختلاف وزن ریشه در رژیم آبیاری I_1 و I_2 در هر مرحله از رشد در آبیاری مرسوم کم بوده و این اختلاف در آبیاری متناوب تا حدی بیشتر بوده و در آبیاری یک‌درمیان ثابت، این تفاوت بیشتر از دو روش آبیاری قبلی است. علت این موضوع را می‌توان چنین توجیه نمود که در آبیاری جویچه‌ای مرسوم، کاهش ۲۰ درصد در مصرف آب آبیاری می‌تواند یک تنش قابل‌تحمل برای کشت ذرت باشد. به نظر می‌رسد اعمال سطح معینی از کم آبیاری در روش آبیاری متناوب در مقایسه با روش مرسوم موجب تشدید تنش خشکی می‌گردد چرا که آبیاری متناوب (یک‌درمیان) ماهیتاً با کاربرد آب کمتر و کم آبیاری توأم است. از طرفی به علت تر و خشک شدن متوالی در آبیاری متناوب، ریشه‌ها به کمک مکانیسم‌هایی همچون ترشح آنزیم آبسسیک اسید بخشی از

تغییرات آناتومیکی مضری که باعث کاهش روند رشد فیزیکی ریشه می‌شود را جبران می‌کند. در آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت نیز به علت این‌که نیمی از جویچه‌ها همیشه خشک هستند، یک تنش شدید به ریشه‌های گیاه وارد می‌شود و اعمال تنش‌های بیشتر خسارت‌های وارده بر ریشه و گیاه را چند برابر می‌کند و این اختلاف در شکل (۲) مشخص است. بنابراین انتظار می‌رود تأثیرپذیری ویژگی‌های ریشه نسبت به تنش‌های متناظر در آبیاری یک‌درمیان متناوب کمتر از آبیاری یک‌درمیان ثابت و بیشتر از آبیاری مرسوم خواهد بود.

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که اعمال تنش خشکی بر ویژگی‌های ریشه گیاه ذرت شامل طول، سطح، حجم، وزن تر و خشک از نظر آماری در سطح پنج درصد اثر معنی‌داری داشته و با اعمال تنش خشکی صفات مذکور در هر سه روش آبیاری جویچه‌ای کاهش می‌یابد؛ لذا برای شرایط مشابه منطقه طرح کشت ذرت با اعمال تنش ملایم (کم‌آبیاری تا حد ۲۰ درصد) توأم با آبیاری جویچه‌ای مرسوم قابل توصیه است. تشدید بیشتر تنش خشکی باعث کاهش شدید صفات ریشه خواهد شد. بنابراین در راستای استفاده بهینه از منابع آب، کاربرد ۸۰ درصد آب آبیاری می‌تواند به عنوان راهکاری مناسب در شرایط بحران آب به کار رود.

شایان توجه است که کاربرد آبیاری جویچه‌ای متناوب در مقایسه با آبیاری جویچه‌ای مرسوم هرچند باعث کاهش برخی صفات ریشه می‌گردد ولی با توجه به صرفه جویی بیشتر آب مصرفی و از طرفی گسترش ریشه‌های ثانویه از طریق تغییر ساختار مورفولوژیک ریشه گیاه (در پاسخ گیاه به تنش خشکی و توسعه سامانه ریشه برای جذب آب و عناصر غذایی) می‌تواند به عنوان مهمترین تکنیک کم آبیاری در شرایط کمبود منابع آب و در راستای کشاورزی پایدار مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به اینکه این پژوهش در شرایط مزرعه انجام گرفته است، نتایج آن می‌تواند برای مزارع کشاورزان و کشت و صنعت‌های کشاورزی قابل توصیه باشد.

REFERENCES

Adiku, S.G.K., Lafontaine, H.O., and Bajazet, T. (2001). Patterns of root growth and water uptake of a maize – cowpea mixture grown under greenhouse conditions. Plant and Soil Journal. 235, 85 – 94.

Alizadeh, A. (2008). *Soil, Water, Plant relationship*. Publishing of Imam Reza, Mashad.(8th ed). pp: 470. (In Farsi).

Bingru, H., and Hongwen, G. (2000). Root physiological characteristics associated with drought resistance in tall fescue cultivars. Crop Science, 40:196-203.

Dodd, I.C., Egea, G., and Davies, W.J. (2008). Accounting for sap flow from different parts of the root system improves the prediction of xylem ABA concentration in plants grown with heterogeneous soil moisture. Journal of Experimental Botany, 59:4083–4093.

Doorenbos, J. and Pruitt, W.H. (1977). Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage, paper No. 24, Romme, Italy.

Farre, I. and Faci, J. M. (2009). Deficit irrigation in maize for reducing agricultural water use in a Mediterranean environment. Agricultural Water Management, 96, 383-394.

Feddes, R.A., and Raats P.A. (2004). Parameterising the soil–water–plant–root system. Wageningen Frontis Series, 6:95–141.

Gheysari, M. Mirlatifi, S.M. Bannayan, M. Hmomaee, M. and Hoogenboom, G. (2009a). Interaction of water and nitrogen on maize grown for silage. Agricultural Water Management, 96, 809-821.

Gheysari, M., Mirlatifi, S.M. Homaee, M. Asadi, M.E. and Hoogenboom, G. (2009b). Nitrate leaching in a silage maize field under different irrigation and nitrogen fertilizer rates. Agricultural Water Management, 96, 946-954).

Gheysari, M., Majidi, M.M., Mirlatifi, S.M., Zareiyan, M.J., Amiri, S. and Banifatemeh, S.M. (2014). The Effects of Two Different Deficit Irrigation Managements on the Root Length of Maize. Water and Soil Vol. 28, No. 5, Nov.-Dec. 2014, p. 890-898. (In Farsi)

Chimungua, J.G., Malirob, M., Nalivatab, P.C., Kanyama-Phirib, G., Browna. K.M., Lynch, J.P., (2015). Utility of root cortical aerenchyma under water limited conditions in tropical maize (Zeamays L.) .Field Crops Research. 171,86-98.

Hajabasi, M.A. (1999). *Soil Physics and Roots of Plant*. Publishing of Ghazal, Isfahan. (In Farsi)

Hu, X.T., Chen, H., Wang, J., Meng, X.B., and Chen, F.H. (2009). Effects of soil water content on cotton root growth and distribution under mulched drip irrigation. Agricultural Sciences in China, 8:709-716.

Kang, S., Hu, X., Goodwin, I., and Jerie, P. (2002). Soil water distribution, water use, and yield response to partial root zone drying under shallow groundwater table condition in a pear orchard. Scientia Horticulture. 92, 277–291.

Kang, S., and Zhang, J. (2004). Controlled alternate partial root- Zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. Journal of experimental botany. 5, 2437–2446.

Karandish, F. Mirlatifi, S.M. Shahnazri, A. Gheysari, M. and Abbasi, F. (2012). Effect of partial root-zone

drying (PRD) and deficit irrigation on Nitrogen uptake and leaching in maize. Water and irrigation management, 2(2), 86-97. (In Farsi)

Khalili rad, R. Mirnia, S.kh. and Bahrami, H. (2010). Effect of different water amount on growth of maize root. Journal of soil and water, 24, 557-564. (In Farsi)

Laboski, C.A.M., Dowdy, R.H., Allmars, R.R. and Lamb, J.A. (1998). Soil Strength and water content influences on corn root Distribution in a sandy soil. Plant and Soil Journal, 203, 239 – 247.

Liang, A. H. Ma, F. Y. Liang, Z. S. and Mu, Z. X. (2008). Studies on the physiological mechanism of functional compensation effect in maize root system induced by re-watering after draught stress. Journal of North Science Technology, 36, 58–64.

Liu, F., Liang, J., Kang, Sh., and Zhang, J. (2007). Benefits of alternate partial root-zone irrigation on growth, water and nitrogen use efficiencies modified by fertilization and soil water status in maize. Plant and Soil, 295, 279-291.

Malakooti, M.J. and Gheybi M.N. (2000). Determination of critical limit of nutrition elements in soil plant and fruit. Karaj: Publishing center of learning spreading. (In Farsi)

Panda R., Behera S., and Kashyap P.S. (2004). Effective management of irrigation water for maize under stressed conditions. Agricultural Water Management, 66:181-203.

SAS Institute. 2001. SAS System. 8th ed. SAS Inst., Cary, NC.

Sadranasab, Z., Shahnazari, A., Ziatabarahmadi, M.KH., Karandish, F. (2014). Study of corn growth trend in two methods of low irrigation. Water Research in Agriculture.28, 409-418.

Sepaskhah, A.R., and Ahmadi, S.H. (2010). A review on partial root-zone drying irrigation. International Journal of Plant Production. 4 (4), 241-258.

Shahnazari, A., Liu, F., Andersen, M.N., Jacobsen, S.E., and Jensen, C.R. (2007). Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. Field Crops Research. 100, 117–124.

Tiantian, Hu., Shaozhong, K., Fusheng, Li. and Jianhua, Zh. (2011). Effects of partial root-zone irrigation on hydraulic conductivity in the soil–root system of maize plants. Journal of experimental botany, 62:4163-4172.

Trachsel, s., Kaeppler, Sh.M., Brown, K.M. and Lynch, J.P. (2011). Shovelomics: high throughput phenotyping of maize (Zea mays L.) root architecture in the field. Plant and Soil, 341: 75-81.

Yang, G., Aiwang, D., Xinqiang, Q., Wanga, Z., and Jingsheng, S. (2010). Distribution of roots and root length density in a maize/soybean strip intercropping system. Agricultural water Management, 98:199-212.

Yavuz, M., Cakır, R., Kavdır, Y., Deveciler, M., and Bahar, E. (2012). Irrigation Water Management for Sprinkler Irrigated Corn Using Rooting Data Obtained by the Minirhizotron Technique. International Journal of Agriculture & Biology, 14 (1):11-19.