

# بررسی تأثیر آبیاری ناقص ریشه و کم آبیاری معمولی بر بهره‌وری آب و عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت

فاطمه کاراندیش<sup>۱</sup>، سید مجید میرلطیفی\*<sup>۲</sup>، علی شاهنظری<sup>۳</sup>، فریبرز عباسی<sup>۴</sup>، مهدی قیصری<sup>۵</sup>

۱. دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲. دانشیار دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی، گروه آبیاری

۳. استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۴. دانشیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

۵. استادیار دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۲۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۱۱/۷

## چکیده

مسئله بحران آب در سال‌های اخیر و مصرف بیش از ۷۰ درصد منابع آب شیرین در بخش کشاورزی آب لزوم اصلاح روش‌های آبیاری را، به‌منظور افزایش بهره‌وری آب، آشکار می‌سازد. در این مطالعه تأثیر اعمال پنج تیمار آبیاری کامل (FI)، کم‌آبیاری ناقص ریشه در دو سطح ۷۵ درصد (PRD75) و ۵۵ درصد (PRD55)، و کم‌آبیاری معمولی در دو سطح ۷۵ درصد (DI75) و ۵۵ درصد (DI55) بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت طی دو فصل زراعی ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ در سطح مزرعه بررسی شد. نتایج نشان داد اختلاف مقادیر برخی صفات کمی محصول در تیمارهای PRD با FI کمتر از این اختلاف بین تیمارهای DI با FI بود. میزان عملکرد دانه در تیمار PRD75، به‌مثابه مهم‌ترین جزء اقتصادی، اختلاف معناداری با تیمار آبیاری کامل نداشت و این اختلاف در هر دو سال کمتر از ۱۰ درصد بود. به‌علاوه، اندازه‌گیری مقادیر رطوبت خاک حاکی از آن است که به‌رغم دادن آب کمتر در تیمار PRD75 در مقایسه با FI و وجود تنش رطوبتی مقادیر جذب رطوبت در آن تیمار بیشتر از سایر تیمارهای کم‌آبیاری بود. اعمال تیمار PRD75، ضمن ممانعت از کاهش معنادار عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت و همچنین کاهش ۲۵ درصد مصرف آب در طول دوره اعمال تیمار، موجب افزایش بهره‌وری آب، به‌ترتیب، ۱۶ و ۲۰ درصد افزایش در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ شد و می‌تواند روشی مطمئن برای کنترل مصرف آب در استان مازندران به‌شمار رود.

## کلیدواژگان

تنش رطوبتی، ذرت، رطوبت خاک، مازندران.

## مقدمه

بحران آب در سال‌های اخیر در بسیاری از کشورها به یکی از معضلات بسیار مهم تبدیل شده است. مصرف آب در بخش کشاورزی حدود ۷۰ درصد منابع آب شیرین را به خود اختصاص می‌دهد (FAO, 2002; WRI, 2005). در این شرایط، عدم اتخاذ تدبیری مناسب در زمینه کاهش مصرف آب، به‌ویژه در بخش کشاورزی، کاهش دبی جریان رودخانه‌های بزرگ و مهم دنیا و حتی خشکانیدن آن‌ها را به دنبال داشته است (Ma et al, 2003). رسیدن به کشاورزی پایدار نیازمند استفاده بهینه از منابع آب موجود است. میزان محصول، که مهم‌ترین هدف کشاورزی آبی است، تا حد زیادی تابع حجم آب مصرفی است و عدم کاهش معنادار آن در نتیجه اعمال تنش رطوبتی حایز اهمیت بسیار است. اعمال تنش رطوبتی در حالت کم آبیاری معمولی می‌تواند موجبات کاهش میزان محصول و بسیاری از اجزای عملکرد آن را فراهم آورد. نتایج بسیاری از مطالعات حاکی از آن است که اعمال تنش رطوبتی به‌صورت کم آبیاری معمولی در گیاه ذرت به کاهش میزان عملکرد بیولوژیک (Sepehri et al, 2002; Osborn et al, 2002; Kang and Zhang, 2009; Yazar et al, 2004)، کاهش عملکرد دانه (Denmead and Shawn, 1960; Westgate, 1994) و کاهش وزن هزاردانه و تعداد کل دانه بلال (Zinselmeier et al, 1995; Smallwood et al, 1999; Cheong et al, 2003; Xiong et al, 2002; Majidian et al, 2007) منتج می‌شود. بنابراین، محققان همواره به دنبال راهی برای جلوگیری از کاهش معنادار محصول در نتیجه اعمال تنش رطوبتی‌اند. کم آبیاری ناقص ریشه، که برای اولین بار در کشور استرالیا با مطالعه بر درخت انگور پایه گذارده شد (Dry and Loveys, 1998)، یکی از روش‌های

نوین مدیریت آبیاری طی سال‌های اخیر است که تئوری خاص حاکم بر آن این روش را از روش کم آبیاری معمولی، که عمدتاً موجب کاهش محصول می‌شود، متمایز ساخته است. در این تکنیک فقط نیمی از ریشه در هر نوبت آبیاری می‌شود و نیم دیگر خشک باقی می‌ماند. بخشی از ریشه که خشک مانده است، به‌مثابه واکنشی فیزیولوژیکی در برابر تنش آبی، مقداری هورمون شیمیایی، با نام آبسسیک اسید، در ریشه تولید می‌کند که انتقال این ماده به شیره گیاهی موجب قلیایی شدن آن و کاهش میزان بازشدگی روزنه می‌شود و موجبات کاهش هدررفت آب را فراهم می‌آورد. فراهم ساختن شرایط برای تولید این ماده در ریشه با تر و خشک کردن متناوب آن ایجاد می‌شود (Stoll et al, 2000). نتایج بسیاری از مطالعات حاکی از افزایش میزان بهره‌وری آب و همچنین عدم کاهش معنادار محصول در نتیجه اعمال کم آبیاری ناقص ریشه است (Ahmadi et al, 2010; Zegbe and Serna-Pérez, 2011; Posadas, 2008; Shahnazari et al, 2007; Shahnazari et al, 2008; Shani et al, 2006). بابازاده و همکاران (۱۳۸۹) ۵۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش میزان پروتئین دانه ذرت را در نتیجه اعمال آبیاری ناقص ریشه گزارش کرده‌اند. Soltani et al. (2007) نیز افزایش میزان راندمان کاربرد آب و عدم کاهش معنادار وزن خشک توده هوایی را در نتیجه اعمال تیمار آبیاری ناقص ریشه در مقایسه با آبیاری کامل گزارش کرده‌اند. نتایج تحقیقات Yazar et al. (2009) بر گیاه ذرت حاکی از آن است که بین مقادیر وزن هزاردانه در تیمارهای آبیاری کامل و کم آبیاری ناقص ریشه اختلاف معناداری وجود نداشته است. از سوی دیگر، Sepehri et al. (2009) و Majidian et al. (2003) کاهش میزان وزن هزاردانه و عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در گیاه ذرت را نتیجه اعمال کم آبیاری

مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری بر گیاه ذرت تحت آبیاری قطره‌ای سطحی با فواصل قطره‌چکان ۲۰ سانتی‌متر و دبی ۲ لیتر بر ساعت انجام شد. قبل از انجام دادن طرح، یکنواختی دبی قطره‌چکان‌ها و همپوشانی آن‌ها با آبیاری در ساعت‌های مختلف بررسی شد. لترال‌های آبیاری بین ردیف‌های کشت قرار گرفت و در تیمارهای آبیاری کامل و کم‌آبیاری معمولی، در هر نوبت آبیاری، دو طرف ردیف کشت آبیاری شد. اما در تیمارهای آبیاری ناقص، ریشه، در هر نوبت آبیاری، به‌صورت تناوب، فقط یک طرف ردیف کشت آبیاری شد. رقم ذرت ۷۰۴ در عمق ۵ سانتی‌متر از سطح خاک و با فواصل ۷۵ سانتی‌متر بین ردیف و ۲۰ سانتی‌متر روی ردیف کاشت شد. شرایط آب‌وهوایی منطقه براساس طبقه‌بندی اقلیمی در سیستم دوما رتن مرطوب<sup>۱</sup> با متوسط بارندگی سالانه ۷۰۰ میلی‌متر است. خواص خاک منطقه مطالعاتی در جدول ۱ آمده است.

معمولی گزارش کرده‌اند. با وجود این، Kang and Zhang (2004) بر این باورند که به‌رغم برتری‌های روش کم‌آبیاری ناقص ریشه نسبت به روش‌های آبیاری کامل و کم‌آبیاری معمولی متفاوت بودن شرایط محیطی در سطح مزرعه - همچون شرایط آب‌وهوایی، خاک، نوع گیاه، نوع و میزان کود و زمان اعمال آن - می‌تواند بر نتایج حاصل از اعمال تیمار کم‌آبیاری ناقص ریشه تأثیر گذارد. بنابراین لزوم اجرای تحقیقات گوناگون در سطح مزرعه برای اظهار نظر قطعی ضروری به‌نظر می‌رسد. در این مطالعه، تأثیر اعمال کم‌آبیاری ناقص ریشه در مقایسه با آبیاری کامل و کم‌آبیاری معمولی بر میزان عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت در سطح مزرعه و تحت آبیاری قطره‌ای سطحی بررسی شد.

## مواد و روش‌ها

طرح مذکور طی دو فصل زراعی ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ در زمینی به ابعاد ۸۲۵ متر مربع (15m×55m) واقع در

جدول ۱. خواص فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه مطالعاتی

محدوده عمقی (cm)	بافت	ظرفیت زراعی (% حجمی)	نقطه پژمردگی (% حجمی)	چگالی ظاهری (gr/cm <sup>3</sup> )
۰-۲۰	Sandy clay loam	۳۰	۱۵	۱/۴
۲۰-۴۰	Clay oam	۳۲	۱۴	۱/۳۸
۴۰-۶۰	Clay oam	۳۲	۱۴	۱/۳۵
۶۰-۸۰	Clay loam	۳۲	۱۴	۱/۳۷

این مطالعه در قالب طرحی کاملاً تصادفی با پنج تیمار آبیاری کامل (FI) و کم‌آبیاری ناقص ریشه در دو سطح ۷۵ درصد (PRD<sub>75</sub>) و ۵۵ درصد (PRD<sub>55</sub>) و کم‌آبیاری معمولی در دو سطح ۷۵ درصد (DI<sub>75</sub>) و ۵۵ درصد (DI<sub>55</sub>) با سه تکرار انجام شد. هر تکرار (یک کرت) مساحتی معادل 55 متر مربع

داشت و کرت‌ها به‌وسیله یک ردیف نکاشت از هم جدا شدند. آبیاری تیمار FI به‌صورت یک روز در میان و با هدف رساندن میزان رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی انجام گرفت و نیاز آبی گیاه در این تیمار با استفاده از رابطه ذیل محاسبه شد:

$$I_n = \sum_{i=1}^m ((\theta_{FCi} - \theta_{Bli}) \times D_i) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این رابطه  $\theta_{FCi}$  درصد حجمی ظرفیت زراعی مزرعه،  $\theta_{Bli}$  درصد حجمی رطوبت خاک قبل از آبیاری،  $D_i$  عمق هر لایه از خاک به میلی متر،  $I_n$  عمق خالص آبیاری به میلی متر، و  $i$  شماره هر لایه خاک است. در این تحقیق میزان ظرفیت زراعی مزرعه قبل از کاشت در آزمایشگاه برآورد شد. در طول دوره اعمال تیمار، بارندگی وجود نداشت. به منظور تعیین روند تغییرات رطوبت در محدوده توسعه ریشه سنسورهای TDR هر دو سمت ریشه (خشک و مرطوب) در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه و همین طور در تیمار آبیاری کامل نصب شد. اعمال تیمار کم آبیاری ناقص ریشه در سال اول از زمان خوشه دهی (۵۵ روز پس از کاشت) و در سال دوم از ۴۵ روز پس از کاشت تا زمان رسیدن کامل محصول (۱۰۷ روز پس از کاشت در سال ۱۳۸۹ و ۱۱۰ روز پس از کاشت در سال ۱۳۹۰) بود. در این دوره، زمان تغییر آبیاری از یک سمت به سمت دیگر در تیمارهای کم آبیاری ناقص ریشه بعد از هر سه نوبت آبیاری بود و تیمارهای PRD<sub>75</sub> و DI<sub>75</sub> در هر نوبت آبیاری ۷۵ درصد و تیمارهای PRD<sub>55</sub> و DI<sub>55</sub> در هر نوبت آبیاری ۵۵ درصد از عمق خالص آبیاری ( $I_n$ ) محاسبه شده در تیمار آبیاری کامل را در طول دوره اعمال تیمار دریافت کردند. گفتنی است، به رغم کاهش سطح در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه، حجم آب ارائه شده به یک سمت تیمارهای PRD<sub>55</sub> و PRD<sub>75</sub>، به ترتیب، برابر ۵۵ و ۷۵ درصد حجم آب ارائه شده در تیمار FI بود و تأثیر این کاهش سطح به عمد لحاظ نشد. میزان حجم آب مصرفی در هر تیمار براساس قرائت پیش و پس از آبیاری کنتورهای محاسبه شد که در ابتدای لوله های نیمه اصلی در هر تیمار نصب شد. به منظور مقایسه عملکرد و اجزای

عملکرد محصول در تیمارهای مختلف، با حذف ردیف های کناری در هر تکرار، به منزله اثر حاشیه، نمونه برداری فقط از دو ردیف وسط انجام شد. بدین منظور ده گیاه از هر تکرار برداشت و صفات طول و قطر هر بلال، وزن هزاردانه براساس رطوبت ۱۴ درصد، و وزن خشک کل اندام هوایی (بیوماس کل) اندازه گیری و تعداد دانه در ردیف (به صورت متوسط تعداد دانه در سه ردیف مختلف) و تعداد ردیف دانه در هر بلال شمارش شد. در سال دوم، علاوه بر موارد یاد شده، قطر و طول دانه نیز اندازه گیری شد. علاوه بر آن، میزان عملکرد دانه، براساس وزن دانه در مساحت معین، عملکرد بیولوژیک، با اندازه گیری وزن کل اندام هوایی، بهره وری آب، با تقسیم عملکرد دانه بر عمق آب مصرفی، و شاخص برداشت، از تقسیم عملکرد اقتصادی (عملکرد دانه) به عملکرد زیستی (عملکرد بیولوژیک)، در هر تیمار محاسبه شد. داده های به دست آمده از این مطالعه با استفاده از نرم افزار SPSS از نظر آماری تجزیه و تحلیل شد و مقایسه میانگین ها، با استفاده از آزمون دانکن و در سطح معناداری ۵ درصد، انجام شد.

### یافته ها و بحث

مقادیر حجم آب مصرفی در تیمارهای مختلف در جدول ۲ آمده است. براساس مقادیر به دست آمده معلوم شد اعمال تیمارهای PRD<sub>75</sub> و DI<sub>75</sub>، به ترتیب، ۲۵ درصد کاهش مصرف آب در طول دوره اعمال تیمار در فصول زراعی سال های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ و کاهش مصرف آب به میزان ۱۵/۲ درصد در کل فصل رشد سال ۱۳۸۹ و ۱۷/۳ درصد در کل فصل رشد سال ۱۳۹۰ در مقایسه با تیمار آبیاری کامل را موجب شده است. همچنین اعمال تیمارهای PRD<sub>55</sub> و DI<sub>55</sub>، به ترتیب، موجب ۴۵ درصد کاهش در مصرف آب در

در کل فصل رشد سال ۱۳۹۰ در مقایسه با تیمار آبیاری کامل شد.

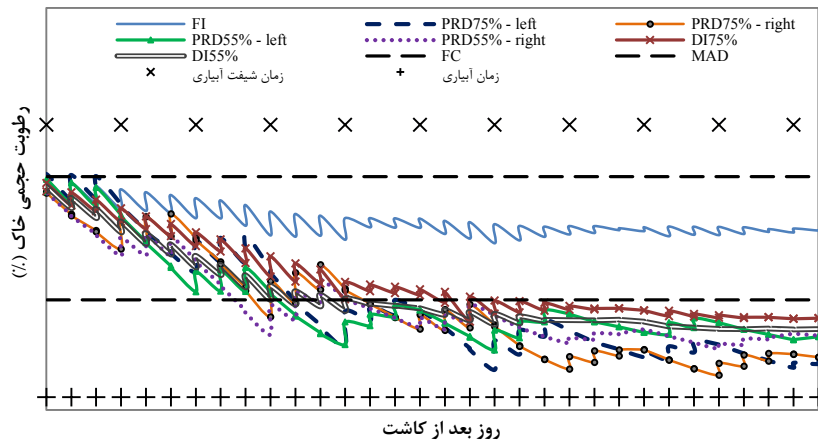
طول دوره اعمال تیمار در فصول زراعی سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ و کاهش مصرف آب به میزان ۲۷/۴ درصد در کل فصل رشد سال ۱۳۸۹ و ۳۱/۳ درصد

جدول ۲. عمق آب مصرفی در تیمارهای کم‌آبیاری ناقص ریشه (PRD) و کم‌آبیاری معمولی (DI) و آبیاری کامل (FI)

میزان کاهش مصرف آب در مقایسه با آبیاری کامل (%)		عمق آب مصرفی (mm)		تیمار
۹۰	۸۹	۹۰	۸۹	
-	-	۵۳۱	۶۱۳	FI کل فصل رشد
-	-	۳۶۹	۳۷۲	FI دوره اعمال تیمار
۱۷/۳	۱۵/۲	۴۳۹	۵۲۰	PRD <sub>75</sub> & DI <sub>75</sub> کل فصل رشد
۲۵	۲۵	۲۷۷	۲۷۹	PRD <sub>75</sub> & DI <sub>75</sub> دوره اعمال تیمار
۳۱/۳	۲۷/۴	۳۶۵	۴۴۵	PRD <sub>55</sub> & DI <sub>55</sub> کل فصل رشد
۴۵	۴۵	۲۰۳	۲۰۴	PRD <sub>55</sub> & DI <sub>55</sub> دوره اعمال تیمار

شکل ۱ نشان می‌دهد میزان رطوبت حداقل در تیمار PRD<sub>75</sub> از ۴۸ تا ۸۴ روز پس از کاشت روند کاهشی داشت و پس از آن تا انتهای فصل رشد تغییر نیافت. در حالی که در تیمار PRD<sub>55</sub> ۷۲ روز پس از کاشت این اتفاق افتاد. به عبارت دیگر، به‌رغم اعمال آب کمتر از نیاز آبی گیاه، ریشه قدرت جذب بیشتر و تخلیه رطوبتی بالاتر از محدوده رطوبت قابل استفاده برای گیاه (۱۴ تا ۳۲ درصد) را نداشت. همچنین مشاهده می‌شود میزان رطوبت حداقل در تیمار PRD<sub>75</sub> در مقایسه با سایر تیمارها در حد پایین‌تری قرار داشت که خود نشان‌دهنده تخلیه رطوبتی بالاتر در این تیمار است. بنابراین می‌توان دریافت که اگرچه میزان توان ریشه برای تخلیه رطوبت موجود در خاک با گذشت زمان در تیمارهای DI<sub>75</sub> و DI<sub>55</sub> و PRD<sub>55</sub> کاهش می‌یابد، تیمار PRD<sub>75</sub> قدرت بالاتری در تخلیه و استفاده مطلوب‌تر از رطوبت موجود در خاک دارد که برتری آن را در مقایسه با تیمارهای PRD<sub>55</sub> و DI<sub>55</sub> و DI<sub>75</sub> به‌اثبات می‌رساند. جذب بیشتر رطوبت از خاک در تیمار PRD<sub>75</sub> می‌تواند در نتیجه افزایش تراکم ریشه

شکل ۱ روند تغییرات رطوبت خاک را ۴۸ تا ۱۱۰ روز پس از کاشت تا عمق ۸۰ سانتی‌متری نشان می‌دهد. برنامه‌ریزی آبیاری به‌گونه‌ای صورت گرفت که همواره میزان رطوبت خاک در تیمار FI به اندازه حداقل ۲ درصد کمتر از ظرفیت زراعی منطقه (۰/۳۲) باشد. روند تغییرات رطوبت در یک سمت تیمارهای PRD<sub>75</sub> و PRD<sub>55</sub> حاکی از آن است که با شروع تغییر آبیاری از یک سمت به سمت دیگر رطوبت خاک در بخشی که آبیاری نمی‌شود شروع به کاهش می‌کند و روند نزولی خود را تا قبل از آبیاری مجدد طی می‌نماید. براساس شکل ۱ و با توجه به مقادیر رطوبت بعد از یک نوبت آبیاری و قبل از آبیاری در نوبت بعدی می‌توان دریافت که میزان تخلیه رطوبتی در اکثر روزها در سمت مرطوب تیمار PRD<sub>75</sub> در مقایسه با FI بیشتر است و میزان رطوبت حداقل در تیمار PRD<sub>75</sub> در این بازه زمانی در حدود ۱۰ درصد کمتر از میزان آن در تیمار FI است (۰/۱۸٪ در مقایسه با ۰/۲۸٪) که این نتیجه نشان می‌دهد جذب آب در تیمار PRD<sub>75</sub> در مقایسه با سایر تیمارهای کم‌آبیاری بیشتر است.

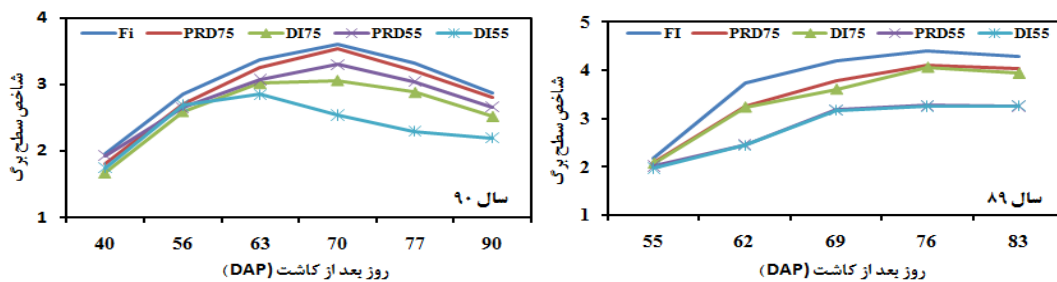


شکل ۱. روند تغییرات رطوبت خاک در تیمارهای آبیاری کامل و کم آبیاری. (+) زمان آبیاری و (x) شیفت آبیاری

به علاوه، مقادیر شاخص سطح برگ در تیمارهای کم آبیاری ناقص ریشه در مقایسه با تیمارهای کم آبیاری معمولی بالاتر بود. همچنین روند تغییرات سطح برگ در تیمار PRD75 در هر دو فصل مشابه تیمار FI بود و با اختلافی کمتر از آن نسبت به سایر تیمارها تغییر کرد. کاهش میزان بازشدگی روزنه‌ها و جلوگیری از هدررفت آب جذب شده و حفظ آن در گیاه زمینه لازم را برای حفظ شادابی و فتوسنتز و در نتیجه عدم تغییر معنادار سطح برگ در تیمار آبیاری ناقص ریشه را فراهم کرد (Kang and Zhang, 2004).

(Kang and Zhang, 2004) و هدایت هیدرولیکی آن (Poni et al, 1992) باشد.

روند تغییرات شاخص سطح برگ طی دو فصل زراعی در شکل ۲ آمده است. این روند در هر دو فصل ابتدا صعودی بود و تقریباً پس از ظهور گل‌های نر ثابت شد و در ادامه روند نزولی خود را آغاز کرد که این نتیجه با یافته‌های Yazar et al (2009) مطابقت دارد. با وجود این، سیر نزولی شاخص سطح برگ در تیمارهای کم آبیاری معمولی زودتر از تیمارهای کم آبیاری ناقص ریشه و آبیاری کامل شروع شد.



شکل ۲. روند تغییرات شاخص سطح برگ طی دو فصل زراعی

در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است. براساس این جدول‌ها، اختلاف مقدار وزن هزاردانه در سال ۱۳۸۹ بین تیمارهای FI و PRD75 معنادار نبود و این اختلاف بین

نتیجه آنالیز واریانس دانکن در سطح معناداری ۵ درصد برای برخی اجزای عملکرد ذرت تحت تیمارهای مختلف در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰

فرضیات فوق درباره آبیاری ناقص ریشه نشان می‌دهد. براساس جدول‌های ۳ و ۴، در سال ۱۳۸۹ اختلاف معنادار بین مقادیر صفات قطر و طول بلال در تیمار آبیاری کامل با سایر تیمارها وجود داشت. اما این اختلاف در سال ۱۳۹۰ فقط بین تیمارهای آبیاری کامل و  $DI_{55}$  معنادار بود. اگرچه اعمال تنش رطوبتی در دو حالت کم‌آبیاری معمولی و کم‌آبیاری ناقص ریشه موجب کاهش قطر و طول بلال در مقایسه با آبیاری کامل شد، این تأثیر در تیمارهای کم‌آبیاری معمولی بیشتر از تیمارهای کم‌آبیاری ناقص ریشه حاصل شد. (Yazar et al, 2009) کاهش طول چوب بلال در نتیجه اعمال تنش رطوبتی در دو حالت کم‌آبیاری معمولی و کم‌آبیاری ناقص ریشه را گزارش کرده‌اند. میزان قطر دانه در تیمارهای مختلف اختلاف معناداری نداشت و برای صفت طول دانه فقط بین تیمارهای  $FI$  و  $DI_{55}$  اختلاف معنادار مشاهده شد. بررسی جدول‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهد اعمال زودتر تیمارهای کم‌آبیاری و در نتیجه ارائه حجم آب کمتر در فصل زراعی ۱۳۹۰ در مقایسه با سال ۱۳۸۹، در مجموع، باعث کاهش تعداد دانه در ردیف و قطر و طول بلال شد. این در حالی است که اعمال ده روز زودتر تیمار (۴۵ روز بعد از کاشت) و در نتیجه کاهش حجم آب در سال ۱۳۹۰ در مقایسه با سال ۱۳۸۹ کاهش تعداد ردیف دانه و وزن هزاردانه را افزایش داد. کاهش تعداد دانه در ردیف موجب افزایش ذخیره غذایی هر دانه و درشت‌تر شدن دانه‌ها و در نتیجه افزایش وزن هزاردانه می‌شود. همچنین بیشتر بودن دوره تنش رطوبتی در سال ۱۳۹۰ با کاهش تعداد دانه در ردیف و در نتیجه درشت‌تر شدن دانه‌ها باعث شد برخلاف سال ۱۳۸۹ اختلاف بین مقادیر وزن هزاردانه در تیمارهای  $FI$  و  $PRD_{75}$  و  $PRD_{55}$  و  $DI_{75}$  معنادار نباشد.

سایر تیمارها با تیمار  $FI$  معنادار بود. با وجود این، در سال ۱۳۹۰ فقط بین مقادیر وزن هزاردانه در تیمارهای  $FI$  و  $DI_{55}$  اختلاف معنادار مشاهده شد؛ اما اعمال کم‌آبیاری ناقص ریشه مقادیر وزن هزاردانه بالاتری را منتج شد. به علاوه اختلاف میزان صفت تعداد ردیف دانه در سال ۱۳۸۹ بین تیمارهای مختلف معنادار نبود؛ اما این اختلاف بین تیمارهای  $FI$  و  $DI_{55}$  در سال ۱۳۹۰ معنادار بود. همچنین میزان صفت تعداد دانه در ردیف در هر دو سال بین تیمارهای آبیاری کامل و  $PRD_{75}$  معنادار نبود و این اختلاف بین سایر تیمارها با آبیاری کامل در هر دو فصل معنادار بود. کاهش تعداد کل دانه بلال و وزن هزاردانه در نتیجه اعمال تنش رطوبتی در شرایط کم‌آبیاری معمولی در مطالعات بسیاری گزارش شده است (Classen and Shawn, 1970; Zinselmier et al, 1995; Cheong et al, 2003; Smallwood et al, 1999; Xiong et al, 2002; Yazar et al, 2009). تعداد نهایی دانه در بلال در زمان گرده‌افشانی تعیین می‌شود. از این رو، اعمال تنش رطوبتی با کاهش سطح برگ (شکل ۲) و در نتیجه کاهش میزان فتوسنتز و ناکافی بودن میزان هیدرات‌های کربن برای رشد سلول‌های جنینی موجب تأخیر در زمان ظهور کاکل یا سقط جنین و همچنین چروکیدگی دانه‌ها می‌شود و در نتیجه به کاهش تعداد کل دانه منتج می‌گردد (Zinselmier et al, 1995; Westgate, 1994). بنابراین، کاهش دو صفت مذکور زمینه لازم را برای کاهش وزن هزاردانه در تیمارهای کم‌آبیاری معمولی فراهم می‌آورد (Cheong et al, 2003; Anderia et al, 1995; Angadia and Entz, 2002). با وجود این، نبود اختلاف معنادار صفات مذکور بین تیمارهای  $FI$  و  $PRD_{75}$  تمایز این شیوه آبیاری را در مقایسه با کم‌آبیاری معمولی و در نتیجه عدم صحت

جدول ۳. مقایسه میانگین آثار ساده تیمارها بر خصوصیات کمی محصول در فصل زراعی سال ۱۳۸۹

تیمار	وزن هزاردانه (gr)	تعداد ردیف دانه	تعداد دانه در ردیف	طول بلال (mm)	قطر بلال (mm)
FI	۱۷۵ <sup>a</sup>	۱۴ <sup>a</sup>	۴۹ <sup>a</sup>	۲۴۱ <sup>a</sup>	۴۵/۶ <sup>a</sup>
PRD <sub>75</sub>	۱۷۲/۶ <sup>a</sup>	۱۴ <sup>a</sup>	۴۸ <sup>ab</sup>	۲۳۵ <sup>b</sup>	۴۵/۳ <sup>b</sup>
DI <sub>75</sub>	۱۶۳/۷ <sup>b</sup>	۱۳ <sup>a</sup>	۴۶ <sup>b</sup>	۲۳۲ <sup>c</sup>	۴۵/۲ <sup>b</sup>
PRD <sub>55</sub>	۱۴۶/۰ <sup>c</sup>	۱۳ <sup>a</sup>	۳۸ <sup>c</sup>	۲۲۹ <sup>d</sup>	۴۵/۲ <sup>b</sup>
DI <sub>55</sub>	۱۴۱/۲ <sup>d</sup>	۱۳ <sup>a</sup>	۳۸ <sup>c</sup>	۲۱۵ <sup>e</sup>	۴۲/۵ <sup>c</sup>

جدول ۴. مقایسه میانگین آثار ساده تیمارها روی اجزای عملکرد محصول در فصل زراعی سال ۱۳۹۰

تیمار	وزن هزاردانه (gr)	تعداد ردیف دانه	تعداد دانه در ردیف	قطر دانه (m)	طول دانه (mm)	قطر بلال (mm)	طول بلال (mm)
FI	۱۹۱/۳	۱۴/۸	۳۹/۵	۸/۶	۱۱/۴	۴۴/۱	۲۲۳/۱
PRD <sub>75</sub>	۱۹۰/۶	۱۴/۵	۳۸/۲	۸/۸	۱۱/۶	۴۳/۸	۲۱۴/۹
DI <sub>75</sub>	۱۸۸/۷	۱۳/۹	۳۳/۶	۹/۷	۱۱/۰	۴۳/۴	۲۰۴/۲
PRD <sub>55</sub>	۱۸۶/۹	۱۴/۱	۳۵/۷	۸/۸	۱۱/۳	۴۳/۳	۲۰۹/۳
DI <sub>55</sub>	۱۸۳/۵	۱۳/۶	۳۳/۰	۸/۸	۱۱/۲	۴۱/۳	۱۹۲/۹

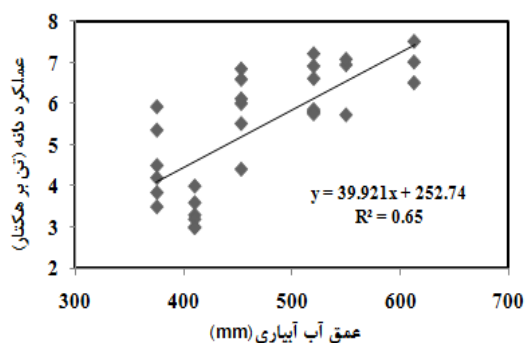
ریشه است (Shahnazari et al, 2007; Posadas, 2008; Dry et al, 2000). از آنجا که علت کاهش عملکرد دانه در بسیاری از مطالعات کاهش میزان فتوسنتز در شرایط تنش رطوبتی است (Gianquinto et al, 2003; Rodriguez, 2003; Grady, 2000)، بالاتر بودن مقادیر شاخص سطح برگ در تیمارهای کم آبیاری ناقص ریشه (شکل ۲) و رابطه مستقیم بین میزان فتوسنتز و شاخص سطح برگ می تواند دلیل بالاتر بودن مقادیر عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه در مقایسه با تیمارهای کم آبیاری معمولی باشد.

مقادیر عملکرد دانه در تیمارهای کم آبیاری در سال ۱۳۹۰ کمتر از مقادیر مشابه در سال ۱۳۸۹ بود. تفاوت برخی مدیریت های زراعی بین دو سال، همچون زمان کوددهی و زمان شروع اعمال تیمار، می تواند دلیل اصلی تفاوت مقادیر به دست آمده باشد. یکی

تأثیر اعمال تیمارهای آبیاری روی میزان عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت و بهره‌وری آب در جدول ۵ آمده است. براساس این جدول، در هیچ یک از دو فصل اختلاف معناداری در مقادیر عملکرد دانه بین تیمارهای FI و PRD<sub>75</sub> وجود نداشت. این در حالی است که این اختلاف بین تیمار FI با سایر تیمارها معنادار بود. با وجود این، مقادیر عملکرد دانه در تیمارهای کم آبیاری ناقص ریشه در حد معناداری بیشتر از مقادیر آن در تیمارهای کم آبیاری معمولی با سطوح مشابه بود. کاهش میزان عملکرد دانه ذرت در نتیجه اعمال تنش رطوبتی در مطالعات بسیاری گزارش شده است (Denmead and Shawn, 1960; Westgate, 1994; Gencoglan, 1999; Boz, 2001; Bozkurt et al, 2006; Yazar, 2000). با وجود این، نتایج بسیاری از مطالعات حاکی از عدم کاهش معنادار عملکرد محصول در نتیجه اعمال تیمار کم آبیاری ناقص



کم آبیاری ناقص ریشه میزان بیوماس کل را ۱۱-۶ درصد در مقایسه با آبیاری کامل کاهش می دهد. تأثیر کاهش میزان بیوماس کل در نتیجه اعمال تیمار کم آبیاری ناقص ریشه در نتایج مطالعات Yazar et al (2009) نیز گزارش شده است. اعمال تنش رطوبتی و کاهش جذب رطوبت کافی موجب کاهش دوره رشد رویشی و زایشی خواهد شد که به کاهش میزان بیوماس کل اندام هوایی در تیمارهای تحت تنش می انجامد (Osborn et al, 2002; Yazar et al, 2009; Jacobs and Pearson, 1991). اما، به رغم تنش رطوبتی، بالاتر بودن مقادیر جذب آب در تیمار PRD<sub>75</sub> در مقایسه با سایر تیمارهای کم آبیاری (شکل ۱) می تواند زمینه لازم را برای افزایش عملکرد بیولوژیک در این تیمار فراهم آورد.



شکل ۳. رابطه میزان عمق آب آبیاری و عملکرد دانه

براساس جدول ۵، بین مقادیر شاخص برداشت در سال ۱۳۸۹ در تیمارهای FI و DI<sub>55</sub> اختلاف معناداری وجود داشت. میزان این صفت در سال ۱۳۸۹ در نتیجه تنش رطوبتی در سطح ۷۵ درصد افزایش و در سطح ۵۵ درصد کاهش یافت. کاهش میزان شاخص برداشت در شرایط تنش رطوبتی در حالت های کم آبیاری معمولی و کم آبیاری ناقص ریشه در برخی مطالعات گزارش شده است (Yazar et al, 2007; Shahnazari et al, 2009). شاخص برداشت

از اجزای مؤثر در میزان عملکرد دانه تعداد دانه در ردیف است که کاهش آن در سال ۱۳۹۰ در مقایسه با سال ۱۳۸۹ در همه تیمارها مشهود است (جدول های ۳ و ۴). از طرف دیگر، میزان آب آبیاری نیز می تواند یکی از عوامل مؤثر بر کاهش میزان عملکرد محصول باشد. رابطه بین عمق آب آبیاری و میزان عملکرد دانه در شکل ۳ آمده است که حاکی از وجود رابطه ای خطی با مجذور ضریب همبستگی بالا (۰/۶۵) بین عمق آب آبیاری و میزان عملکرد دانه است (Yazar et al, 2009; Boz, 2001). بنابراین، بیشتر بودن طول دوره اعمال تیمارهای کم آبیاری در سال ۱۳۹۰ در مقایسه با سال ۱۳۸۹ و اعمال تنش رطوبتی و ارائه حجم آب کمتر در بازه های طولانی تر در سال ۱۳۹۰ نیز می تواند دلیل دیگر کاهش عملکرد دانه در این سال باشد. با وجود این، ملاحظه می شود که نوع تیمار نیز در این زمینه دخیل است و کاهش آب آبیاری تأثیری متفاوت بر میزان کاهش عملکرد دانه می گذارد؛ به گونه ای که به ازای عمق آب ثابت میزان عملکرد دانه در تیمارهای کم آبیاری ناقص ریشه بالاتر از این مقادیر در تیمارهای کم آبیاری معمولی بود و نسبت به تیمار FI کاهش کمتری داشت.

براساس جدول ۵، بیشترین و کمترین میزان عملکرد بیولوژیک در هر دو فصل زراعی، به ترتیب، مربوط به تیمارهای FI و DI<sub>55</sub> بود. اختلاف میزان عملکرد بیولوژیک در سال های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ بین تیمارهای FI و PRD<sub>75</sub> معنادار نبود و این اختلاف بین تیمار FI و سایر تیمارها معنادار بود. تأثیر تنش رطوبتی در کاهش میزان عملکرد بیولوژیک، که نشان دهنده میزان کل ماده تجمع یافته در اندام هوایی در زمان برداشت است، در بسیاری از مطالعات گزارش شده است (Sepehri et al, 2002; Osborn et al, 2002). Kang et al (2001) ثابت کردند اعمال

تیمارهای کم آبیاری ناقص ریشه در مقایسه با تیمارهای کم آبیاری معمولی (شکل ۲) زمینه لازم را برای افزایش میزان فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه و در نتیجه افزایش عملکرد دانه فراهم می‌آورد (Anderia et al, 1995; Angadia and Entz, 2002) و در نهایت باعث افزایش مقادیر شاخص برداشت می‌شود.

نشان دهنده چگونگی تسهیم مواد پرورده بین سازه‌های رویشی و دانه است (Sinclair et al, 1990). به عبارت دیگر، این شاخص نشان‌دهنده میزان مواد فتوسنتزی اختصاص یافته به اندام اقتصادی گیاه نسبت به کل مواد تولیدی ذخیره شده در طول دوره رشد و نمو گیاه است (Sepehri et al, 2002). به این ترتیب، بالاتر بودن مقادیر شاخص سطح برگ در

جدول ۵. مقایسه میانگین آثار ساده تیمارها بر عملکرد و حجم آب مصرفی و بهره‌وری آب طی دو فصل زراعی

بهره‌وری آب (kg.ha <sup>-1</sup> ) (l.mm <sup>-1</sup> )		شاخص برداشت		عملکرد بیولوژیک (ton.ha <sup>-1</sup> )		عملکرد دانه (ton.ha <sup>-1</sup> )		تیمار
۹۰-۹۱	۸۹-۹۰	۹۰-۹۱	۸۹-۹۰	۹۰-۹۱	۸۹-۹۰	۹۰-۹۱	۸۹-۹۰	
b <sub>۱۱/۹</sub>	B <sub>۱۱/۴</sub>	ab <sub>۰/۳۵</sub>	ab <sub>۰/۲۷</sub>	a <sub>۱۹/۰</sub>	a <sub>۲۵/۷</sub>	a <sub>۶/۶</sub>	a <sub>۷/۰</sub>	FI
a <sub>۱۴/۳</sub>	a <sub>۱۳/۲</sub>	bc <sub>۰/۳۳</sub>	ab <sub>۰/۳۳</sub>	a <sub>۱۸/۷</sub>	ab <sub>۲۱/۸</sub>	a <sub>۶/۲</sub>	a <sub>۶/۹</sub>	PRD <sub>75</sub>
b <sub>۱۱/۸</sub>	b <sub>۱۱/۱</sub>	bc <sub>۰/۳۲</sub>	a <sub>۰/۳۴</sub>	b <sub>۱۶/۵</sub>	bc <sub>۱۷/۸</sub>	b <sub>۵/۳</sub>	b <sub>۵/۸</sub>	DI <sub>75</sub>
a <sub>۱۵/۳</sub>	C <sub>۷/۴</sub>	a <sub>۰/۳۶</sub>	ab <sub>۰/۲۳</sub>	b <sub>۱۶/۰</sub>	c <sub>۱۴/۶</sub>	ab <sub>۵/۷</sub>	c <sub>۳/۳</sub>	PRD <sub>55</sub>
b <sub>۱۱/۲</sub>	C <sub>۷/۱</sub>	c <sub>۰/۳۲</sub>	b <sub>۰/۲۳</sub>	c <sub>۱۵/۲</sub>	c <sub>۱۴/۰</sub>	c <sub>۴/۹</sub>	c <sub>۳/۲</sub>	DI <sub>55</sub>

اگرچه اعمال تنش رطوبتی موجب کاهش برخی صفات محصول ذرت می‌شود، اختلاف مقادیر این صفات در تیمارهای کم آبیاری ناقص ریشه با آبیاری کامل کمتر از این اختلاف بین تیمارهای کم آبیاری معمولی با آبیاری کامل است. به‌رغم اعمال عمق آب ثابت در تیمارهای PRD و DI میزان عملکرد دانه در تیمارهای کم آبیاری ناقص ریشه بالاتر از این مقادیر در تیمارهای کم آبیاری معمولی بود و کاهش کمتری نسبت به تیمار FI داشت. روند تغییرات رطوبت خاک نشان داد توان تخلیه رطوبتی در تیمار PRD<sub>75</sub> در مقایسه با تیمارهای DI<sub>75</sub> و DI<sub>55</sub> و PRD<sub>55</sub> بالاتر است و در نتیجه امکان استفاده مطلوب‌تر و بیشتر از رطوبت خاک را فراهم می‌آورد؛ به‌گونه‌ای که میزان رطوبت حداقل خاک در این تیمار در حد معناداری کمتر از سایر تیمارهای کم آبیاری است. همچنین میزان

براساس جدول ۵، بین مقادیر بهره‌وری آب در تیمارهای مختلف اختلاف معناداری وجود داشت. بیشترین و کمترین میزان این صفت در سال ۱۳۸۹، به ترتیب، متعلق به تیمارهای PRD<sub>75</sub> و DI<sub>55</sub> و در سال ۱۳۹۰، به ترتیب، متعلق به تیمارهای PRD<sub>55</sub> و DI<sub>55</sub> است. به علاوه، نتایج این جدول بالاتر بودن مقدار بهره‌وری آب را در تیمار PRD<sub>75</sub> در مقایسه با تیمار آبیاری کامل در فصل زراعی ۱۳۹۰ به اثبات می‌رساند. علت این امر در بسیاری از مطالعات عدم کاهش معنادار محصول و کاهش حجم آب مصرفی در تیمار کم آبیاری ناقص ریشه در مقایسه با تیمار آبیاری کامل گزارش شده است (Shao et al, 2008; Shahnazari et al, 2007; Yazar et al, 2009).

### نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از این تحقیق حاکی از آن است که

ممانعت از کاهش معنادار عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت و همچنین کاهش ۲۵ درصد مصرف آب در طول دوره اعمال تیمار، موجبات افزایش بهره‌وری آب را فراهم می‌آورد و روشی مطمئن برای کنترل مصرف آب در استان مازندران است.

توانایی جذب آب توسط ریشه با گذشت زمان در تیمار PRD<sub>75</sub> بالاتر از توانایی جذب آب در تیمارهای PRD<sub>55</sub> و DI<sub>75</sub> و DI<sub>55</sub> بود. این نتیجه می‌تواند یکی از دلایل اصلی نتایج مطلوب‌تر در تیمار PRD<sub>75</sub> در مقایسه با سایر تیمارهای کم‌آبیاری باشد. بنابراین می‌توان اذعان داشت که اعمال تیمار PRD<sub>75</sub> ضمن

## REFERENCES

- Andria, R. Chiaranda, F. Q. Magliulo, V. and Mori, M. (1995), Yield and soil water uptake of sunflower sown in spring and summer, *Agron. J.* 87, 1122-1128.
- Angadi, S. V. and Entz, M. H. (2002), Water Relations of standard height and Dwarf sunflower cultivars, *Crop Sc.* 42, 152-159.
- Babazadeh, H. Saraee Tabrizi, M. Parsinejad, M. and Modarrs sanavi, S. A. M. (1389), Improving the irrigation water use efficiency of soybean using partial root drying, *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 4 (52), 99-110 (in Farsi).
- Boz, B. (2001), Validation of the Ceres-Maize Growth Model under Cukurova Region Conditions, Department of Agricultural Structures and Irrigation, Institute of Natural and Applied Sciences, Cukurova University, MSc Thesis, 59, Adana.
- Bozkurt Y. Yazar A. Gencel B. and Sezen S. M. (2006), Optimum lateral spacing for drip-irrigated corn in the Mediterranean Region of Turkey, *Agricultural Water Management*, 85, 113-120.
- Cheong, Y. H. Kim, K. N. Pandey, G. K. Gupta, R. Grant, J. J. and Luan, S. (2003), CBL 1, a calcium sensor that differentially regulates salt, drought, and cold responses in Arabidopsis, *The Plant Cell*. 15, 1833-1845.
- Denmead, O. T. and Shaw, R. H. (1960), The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn, *Agron. J.* 52, 272-274.
- Dry, P. R. and Loveys, B. R. (1998), Factors influencing grapevine vigor and the potential for control with partial rootzone drying, *Aus. J. Grape Wine Res.* 4, 140-148.
- FAO. (2002), Crops and drops: making the best use of water for agriculture, 28, Rome, Italy: FAO. Information brochure.
- Gençoğlan, C. and Yazar, A. (1999), Corn yield and water use water Kisintili applications to yield, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23, 233-241.
- Gianquinto, G. Sambo, P. and Pimpini, F. (2003), The use of SPAD-502 chlorophyllmeter for dynamically optimising the nitrogen supply in potato crop: first results *Acta Horticulturae* 627, 225-230.
- Jacobs, B. C. and Pearson, C. J. (1991), Potential yield of maize determined by rates of growth and development of ears, *Field Crop Res.* 27, 281-298.
- Kang, S. and Zhang, J. (2004), Controlled alternate partial root- Zone irrigation: its physiological consequences and impact On water use efficiency, *J. Exp. Bot.* 55, 2437-2446.
- Kang, S. Hu, X. Goodwine, I. and Jerie, P. (2002), Soil water distribution, water use and yield response to partial rootzone drying under a shallow groundwater table condition in a pear orchard, *Scientia Horticulturae*, 97, 227-291.
- Ma, X. Fukushima, Y. Liu, C. and Wu, X. (2003), A hydrological model application to the small tributary basis of the Yellow River, *Geophys. Res. Abstr.* 5, 08024.
- Majidian, M. Ghalavand, A. Karimian, N. A. Kamkar Haghghi, A. A. (2007), Effects of nitrogen

- different amounts, manure and irrigation water on yield and yield components of corn, *EJCP*, 1 (2), 67-85 (In Farsi).
- Osborne, S. L. Schepers, J. S. Francis, D. D. and Schlemmer, M. R. (2002), Use of Spectral radiance to in-season biomass and grain yield in nitrogen and water-stressed corn, *Crop Sci*, 42, 165-171.
- Ponie, S. Tagliavini, M. Neri, D. Scudellari, D. and Toselli, M. (1992), Influence of root pruning and water stress on growth and physiological factors of potted apple, grape, peach and pear trees, *Sci, Horti*, 52, 223-226.
- Posadas, A. (2008), Partial root-zone drying: an alternative irrigation management to improve the water use efficiency of potato crops, ISBN 978-92-9060-360-3. Production system and the environmental division working paper, No. 2008-2.
- Rodriguez, I. R. and Grady, L. M. (2000), Using a chlorophyll meter to determine the chlorophyll concentration nitrogen concentration and visual quality of St. Austinne grass, *Hort, Sci*, 35, 751-754.
- Sepehri, A. Modarres sanavi, A. Ghareh Riazi, B. and Iamini, I. (2002), Effect of water defecit and different nitrogen rate on growth and development stages, yield and yield component of maize, *J of Olume Zeraee Iran*, 4 (3), 195-184 (In Farsi).
- 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.
- Shani-Dashtgol, A. Jaafari, S. Abbasi, N. and Malaki, A. (2006), Effect sof alternate furrow irrigation (PRD) on yield quantity and quality of sugarcane in southern farm in Ahvaz. Proceeding of national conference on Irrigation and Drainage Networks Management, Shahid Chamran University of Ahvaz, 2-4 May, 565-572 (In Farsi).
- Sinclair, T. R. Bennett, J. M. and Muchow, R. C. (1990), Relative sensitivity of grain yield and biomass accumulation to drought in field grown maize, *Crop Sci*, 30, 690-693.
- Soltani, S. Mousavi, F. Mostafazadeh, B. and aneshvar, M. D. (2007), Effect of PRD on yield , yield component, water use efficiency and Nutrient concentration of canola, Ninth national conference on irrigation and evaporation reduction.
- Stoll, M. Loveys, B. and Dry, P. (2000), Improving water use efficiency of irrigated horticultural crops, *J. Exp. Bot*, 51, 1627-1634.
- Westgate, M. E. (1994), Water status and development of the maize endosperm and embryo during drought, *Crop Sci*, 34, 76-83.
- WRI. (2005), World Resources Institute: Fresh water resources 2005, [http://earthtrends.wri.org/pdf\\_library/data\\_tables/wat2\\_2005.pdf](http://earthtrends.wri.org/pdf_library/data_tables/wat2_2005.pdf).
- Xiong, L. Schumaker, K. S. and Zhu, J. K. (2002), Cell signaling during cold, drought, and salt stress, *The plant Cell*, 14, 165-183.
- Yazar, A. Sezen S. M. and Gencel B. (2002), Drip irrigationof corn in the Southeast Anatolia Project (GAP) areain Turkey, *Journal of Irrigation and Drain Engineering*, 51, 293-300.
- Yazar, A. Gokcel, F. and Sezen, M. S. (2009), Corn yield response to partial rootzone drying and deficit irrigation strategies applied with drip system, *Plant and soil environ*, 55 (11), 494-503.
- Zegbe, J. A. and Serna-Pérez, A. (2011), Partial root-zone drying maintains fruit quality of “Golden Delicious” apple at harvest and postharvest, *Sci, Hort*, 127, 455-459.
- Zinselmeier, C. M. Laure, M. J. and Boyer, J. S. (1995), Reversing drought-induced losses in grain yield: Sucrose maintains embryo growth in maize, *Crop Sci*, 35, 1390-1400.