

تأثیر مدیریت آبیاری ناقص ریشه با کاربرد آب تلفیقی دریا بر بهره‌وری آب و عملکرد گیاه آفتابگردان

معظم خالقی^۱، فرزاد حسن پور^۲، علی شاهنظری^{۳*}، فاطمه کاراندیش^۴

۱. دانشجوی دکتری، آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل

۲. دانشیار، گروه مهندسی آب دانشگاه زابل

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

۴. استادیار، گروه مهندسی آب دانشگاه زابل

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۱۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱/۲۲)

چکیده

استفاده منابع آب شور همگام با کاهش سطح آب مصرفی در طول فصل رشد گیاه نقش مهمی در سازگاری با کم‌آبی خواهد داشت. در این شرایط، اعمال مدیریت صحیح مصرف آب با هدف حفظ محصول در برابر تنش‌های اسمزی و کم‌آبی می‌تواند امنیت غذایی را به همراه آورد. به همین دلیل در این پژوهش، تأثیر مدیریت آبیاری ناقص ریشه با آب تلفیقی دریا بر خصوصیات کمی گیاه آفتابگردان و بهره‌وری آب در مزرعه بررسی می‌شود. تیمارهای آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک شامل آبیاری کامل با کاربرد آب شیرین (FI)، آبیاری کامل با کاربرد آب شور (SI)، آبیاری ناقص با کاربرد تناوبی آب شور و شیرین (FSI)، آبیاری ناقص ریشه در سطح ۷۵ درصد با آب شیرین (PRD₁)، آبیاری ناقص ریشه در سطح ۷۵ درصد با آب شور (PRD₂) و آبیاری ناقص ریشه در سطح ۷۵ درصد با کاربرد تناوبی آب شور و شیرین (PRD₃) بود. نتایج نشان داد که تیمارهای PRD₁، PRD₂ و PRD₃ اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد (FI) از لحاظ عملکرد، شاخص برداشت و بهره‌وری آب نداشتند. بالاترین میزان عملکرد در تیمار شاهد با ۴۷۰۶ کیلوگرم در هکتار و حداکثر شاخص برداشت و بهره‌وری آب به ترتیب با مقادیر ۸۵/۳۳ درصد و ۱/۱۲ کیلوگرم بر مترمکعب در هکتار در تیمار PRD₁ مشاهده شد. تیمارهای SI و PRD₂ به ترتیب با مقادیر ۳۹۸۳ و ۳۶۳۶ کیلوگرم در هکتار، کمترین سطح عملکرد را به خود اختصاص دادند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با اعمال یک مدیریت بهینه در تیمار PRD₃، علاوه بر ۲۵ درصد کاهش در کل آب مصرفی در طول دوره اعمال تیمار، می‌توان بخشی از نیاز باقیمانده گیاه در این دوره را نیز از منابع آب شور تأمین نموده و صرفه‌جویی بیش‌تری در مصرف آب شیرین در کشت آفتابگردان داشت.

واژه‌های کلیدی: آبیاری ناقص ریشه، مدیریت مصرف آب، کاربرد تناوبی آب شور و شیرین، طرح پایه بلوک کامل تصادفی

مقدمه

رقابت بر سر آب شیرین در توسعه شهرسازی، صنعت و کشاورزی، سبب کاهش منابع آب شیرین در سطح جهان شده است (Amer, 2010; Kang et al., 2010). این در حالی است که نیل به امنیت غذایی برای نرخ روزافزون جمعیت دنیا، مستلزم اختصاص دادن بخش عظیمی از منابع آب شیرین به بخش کشاورزی می‌باشد. از آنجایی که این بخش، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب شیرین در دنیا است، لذا مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر کاهش فشار بر منابع آب در شرایط بحران داشته باشد (Morison, 2008). در این راستا، یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های مدیریتی، کاربرد منابع

آبی نامتعارف و باکیفیت پایین به‌عنوان یک جایگزین برای آب شیرین در بخش کشاورزی است. یکی از منابع دارای پتانسیل جایگزینی، منابع آب‌های شور و لب‌شور می‌باشد (Kang et al., 2010; Chen et al., 2009). بر اساس بررسی‌های انجام‌شده، حدود ۱۱ درصد از کل جریان‌های سطحی کشور مربوط به رودخانه‌هایی است که حاوی آب شور هستند. همچنین علاوه بر منابع آب سطحی و زیرزمینی شور، ایران دارای ذخایر آب شور در غالب دریاچه‌های داخلی نظیر دریاچه خزر در شمال کشور با شوری حدود ۱۵ گرم در لیتر (تقریباً یک‌چهارم شوری متعارف دریاها) می‌باشد (Neyrizi, 2000).

نتایج تحقیقات بسیاری در این زمینه حاکی از آن است که این منابع، در صورت مدیریت صحیح مصرف، می‌تواند به‌منظور آبیاری استفاده و حتی برای تولید محصول مفید واقع

عمدتاً موجب کاهش محصول می‌گردد، متمایز ساخته است. در این روش، به‌جای توزیع آب در تمام بخش ریشه، فقط نیمی از آن آبیاری شده و نیم دیگر خشک باقی می‌ماند (Karandish et al., 2013). این استراتژی جدید، بر مبنای فرضیه افزایش تولید هورمون‌های گیاهی در ریشه استوار بوده که با کاهش میزان باز بودن روزنه‌ها، ضمن کاهش نرخ تعرق و کنترل میزان تلفات آب، امکان ورود دی‌اکسید کربن را فراهم آورده و مانع کاهش نرخ فتوسنتز می‌شود (Sepaskhah and Ahmadi, 2013). نتایج بسیاری از پژوهش‌ها نشانگر ارتقای بهره‌وری آب بدون کاهش معناداری در عملکرد گیاه و همچنین در بسیاری از موارد همراه با افزایش کیفیت محصول در نتیجه اعمال کم‌آبیاری ناقص ریشه می‌باشد (Shahnazari et al., 2008; Karandish et al., 2013; Shahnazari et al., 2007; Ghrab et al., 2013; Ahmadi et al., 2010; Parvizi et al., 2014; Romero et al., 2015; (2013) Ghrab et al. (Sepaskhah and Ahmadi, 2010 گزارش نمودند که با اعمال آبیاری ناقص ریشه شاهد افزایش ۵۰ درصدی بهره‌وری آب بدون کاهش معنی‌دار در عملکرد درخت زیتون در شرایط کاربرد آب شور بودند.

بررسی پژوهش‌های پیشین در راستای مدیریت مصرف آب نشان می‌دهد که استفاده از استراتژی‌های نوین آبیاری نظیر آبیاری ناقص ریشه غالباً معطوف به کاربرد آب شیرین بوده و تلفیق این شیوه‌های کارآمد نظیر آبیاری ناقص ریشه با کاربرد آب شور برای گیاهان زراعی تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا این تحقیق به‌منظور بررسی نقش مدیریت آبیاری ناقص ریشه با آب شور حاصل از آب دریا بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه آفتابگردان و بهره‌وری آب در مقایسه با استعمال آب شیرین مطابق با نیاز آبی گیاه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش، در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در فصل زراعی ۱۳۹۳، روی گیاه آفتابگردان انجام شد. ابعاد تقریبی زمین ۴۵۰ مترمربع (۳۰ × ۱۵) بوده و مساحت تقریبی هر تیمار با تکرارهایش معادل ۷۵ مترمربع بود. شرایط آب و هوایی منطقه بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی در سیستم دومارتن مرطوب با میانگین بارندگی سالانه ۷۰۰ میلی‌متر می‌باشد (Karandish et al., 2013). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مطالعاتی در جدول (۱) ارائه شده است.

گردد. استراتژی‌های مختلفی برای استفاده از چنین آب‌هایی به‌منظور آبیاری پیشنهاد شده است (Pang, 2010). اختلاط زه‌آب‌ها و همچنین آب‌های زیرزمینی شور با آب‌های باکیفیت مطلوب، به نسبتی که شوری آب آبیاری پایین‌تر از حد آستانه تحمل گیاه موردنظر باشد، یک شیوه قابل‌قبول محسوب می‌گردد (Amer, 2010). تحقیقات نشان‌دهنده ارجحیت روش اختلاط به‌جای کاربرد مجزای آب‌های باکیفیت‌های مختلف است. همچنین در بررسی اثر درازمدت کاربرد مخلوط آب‌های شور و غیر شور گزارش شده است که در مناطق با آب زیرزمینی غیر شور و بارندگی متوسط به بالا روش اختلاطی کاملاً سودمند است (Molavi, 2012).

اگرچه رشد و عملکرد اکثر محصولات زراعی هنگامی که در معرض تنش شوری قرار می‌گیرند روند نزولی دارد، ولیکن با توجه به شرایط محیطی و همچنین به‌وسیله فعالیت‌های مؤثر کشاورزی می‌توان این روند کاهشی را بهبود داده و از افت قابل‌توجه رشد و عملکرد گیاه ممانعت به عمل آورد (Mousavi, 2009). طی مطالعه‌ای گزارش شده است که کارایی مصرف آب آبیاری با افزایش میزان شوری از ۱/۷ تا ۱۰/۹ دسی زیمنس بر متر، روند صعودی داشته است (Kang et al., 2010). نتایج تحقیقی دیگر بر روی گیاه آفتابگردان نشان داد که با افزایش شوری آب آبیاری، عملکرد گیاه کاهش و راندمان کاربرد آب آبیاری افزایش می‌یابد (Chen et al., 2009). Amer (2010) کاهش شاخص سطح برگ و شاخص برداشت محصول را با افزایش سطح شوری و کاهش مقدار آب آبیاری در تیمارهای آزمایشی گزارش کرد.

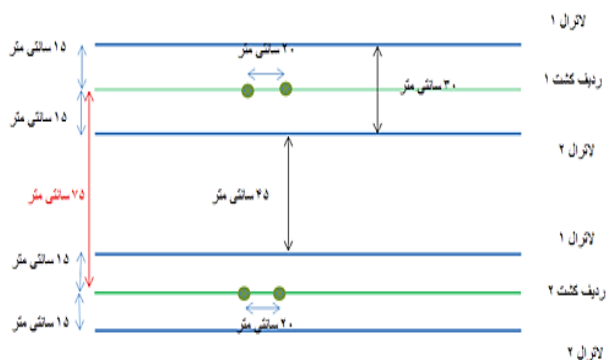
علی‌رغم نیاز به استفاده از آب شور در بخش کشاورزی به‌عنوان یک راهکار، توجه هم‌زمان به مسئله بحران آب، امنیت غذایی و مسائل زیست‌محیطی، لزوم به‌کارگیری استراتژی‌های نوین آبیاری نظیر کم‌آبیاری و آبیاری ناقص ریشه توأم با کاربرد چنین منابعی را امری اجتناب‌ناپذیر می‌نماید. اعمال تنش رطوبتی در حالت کم‌آبیاری معمولی می‌تواند موجبات کاهش میزان محصول و بسیاری از اجزای عملکرد آن را فراهم آورد (Babazadeh et al., 2010; Karandish et al., 2013; Karimi Kakhaki and Sepehri, 2010). آبیاری ناقص ریشه به‌عنوان یک تکنیک جدید کم‌آبیاری، طی سال‌های اخیر معرفی شده است که افزایش کارایی مصرف آب را در بسیاری از محصولات نشان داده است (Romero et al., 2015; Limaa et al., 2015; Yactayo et al., 2007). تئوری خاص حاکم بر این روش آن را از روش کم‌آبیاری معمولی که

جدول ۱- خواص فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه

محدوده عمق (cm)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	کربن آلی (%)	بافت خاک	ظرفیت زراعی (%)	هدایت الکتریکی (dS/m)	pH	چگالی ظاهری (gr/cm ³)
۰-۲۰	۵۴	۲۴	۲۲	۰/۶	لوم رسی شنی	۳۰	۲/۷۳	۷/۶۴	۱/۴۲
۲۰-۴۰	۵۶	۲۳	۲۱	۰/۵	لوم رسی شنی	۳۰	۲/۵۹	۷/۶۸	۱/۴۳
۴۰-۶۰	۵۵	۲۱	۲۴	۰/۲	لوم رسی شنی	۳۰	۲/۴۱	۸/۰۷	۱/۴۱

قبل از کاشت، آزمون خاک به منظور تعیین نیاز کودی گیاه انجام شد. سپس، سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی با در نظر گرفتن دو لوله آبدۀ برای هر ردیف کشت و بافاصله قطره‌چکان ۲۰ سانتی‌متر و دبی خروجی دو لیتر بر ساعت در مزرعه نصب شد. در آبیاری ناقص ریشه به صورت تناوبی در هر بار آبیاری، تنها در یکی از لوله‌های آبدۀ جریان وجود داشت تا از خشک بودن نیمی از سیستم ریشه اطمینان حاصل گردد. نحوه استقرار لوله‌های آبدۀ و ردیف‌های کاشت و فواصل در نظر گرفته شده به صورت شماتیک و در مزرعه به ترتیب در شکل (۱) نشان داده شده است. برای تعیین روند تغییرات رطوبت در محدوده توسعه ریشه و تعیین نیاز آبی گیاه از رطوبت‌سنج TDR مدل TRIME-FM استفاده شد. بدین منظور پس از نصب سیستم آبیاری، لوله دسترسی TDR تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متر در تیمارهای آبیاری کامل و آبیاری ناقص ریشه نصب شد.

پژوهش حاضر در قالب طرح فاکتوریل، به صورت طرح پایه بلوک کامل تصادفی با دو فاکتور اصلی شیوه آبیاری در دو سطح (آبیاری کامل و آبیاری ناقص ریشه) و مدیریت کیفی آب آبیاری در سه سطح (آب شیرین، آب شور و کاربرد تناوبی آب شور و شیرین) با سه تکرار اجرا شد. شش تیمار آزمایش شامل آبیاری کامل با کاربرد آب شیرین (FI) به عنوان تیمار شاهد، آبیاری کامل با کاربرد آب شور (SI)، آبیاری کامل با کاربرد تناوبی آب شور و شیرین (FSI)، آبیاری ناقص ریشه در سطح ۷۵ درصد با کاربرد آب شیرین (PRD₁)، آبیاری ناقص ریشه در سطح ۷۵ درصد با کاربرد آب شور (PRD₂)، آبیاری ناقص ریشه در سطح ۷۵ درصد با کاربرد تناوبی آب شور و شیرین (PRD₃) بود. آب شور با هدایت الکتریکی ۵/۴ دسی زیمنس بر متر از اختلاط ۲۰ درصد آب دریا با هدایت الکتریکی تقریبی ۲۳ دسی زیمنس بر متر با آب شیرین با هدایت الکتریکی تقریبی یک دسی زیمنس بر متر به دست آمد.



شکل ۱- شماتیک نحوه استقرار لاترال‌های آبیاری و ردیف‌های کاشت گیاه در مزرعه (الف) و در پلان افقی (ب)

و سه هفته پس از کشت) تأمین شد. نیاز آبیاری در تیمار آبیاری کامل بر اساس رابطه زیر تعیین شد:

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

که در این رابطه، θ_{FCi} مقدار رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی (%، θ_{BH} میزان رطوبت حجمی خاک قبل از هر نوبت آبیاری (%، D_i عمق خاک آبیاری شده به میلی‌متر، i شماره لایه و m عمقی از خاک می‌باشد که آبیاری می‌شود. θ_{BH}

بذر آفتابگردان (رقم آذرگل) در اواخر اردیبهشت‌ماه بافاصله ۲۰ سانتی‌متر روی ردیف و ۷۵ سانتی‌متر بین ردیف کاشت شد. طول دوره رشد تا زمان برداشت حدود ۱۰۰ روز بود. بر اساس نتایج آزمون خاک، کمبود عناصر غذایی مهم شامل پتاسیم، فسفر و ازت به ترتیب با مصرف کودهای سولفات پتاسیم (۵۰ کیلوگرم در هکتار) و سوپر فسفات تریپل (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) در ابتدای فصل کشت و کود اوره (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) به صورت سرک در دو مرحله (ابتدای کشت

اجزای عملکرد، از هر کرت آزمایشی، با در نظر گرفتن اثرات حاشیه‌ای، در مساحتی معادل یک مترمربع، کل بوته‌ها برداشت شد. با انتقال نمونه‌های گیاهی به آزمایشگاه، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و قطر طبق گیاه اندازه‌گیری شد. سپس دانه‌ها از طبق جدا و وزن صد دانه و عملکرد دانه (با رطوبت ۱۴ درصد) اندازه‌گیری شد. عملکرد بیولوژیک با تعمیم وزن خشک کل اندام هوایی به یک هکتار و شاخص برداشت از تقسیم عملکرد اقتصادی (دانه) به عملکرد بیولوژیک محاسبه شد. میزان کارایی مصرف آب آبیاری نیز با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد:

$$IWUE = \frac{Y}{I} \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در این رابطه، $IWUE$ کارایی مصرف آب آبیاری (Kg $m^{-3} ha^{-1}$)، Y عملکرد بیولوژیکی و یا اقتصادی (Kg/ha) و I میزان کل حجم آب آبیاری به‌کاربرده شده در طول فصل (m^3) می‌باشد. کلیه داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد مقایسه گردید.

نتایج و بحث

وزن تر و خشک‌ریشه

اعمال تیمارهای مدیریت کیفی آب آبیاری بر پارامترهای وزن تر و خشک‌ریشه اثر معنی‌داری را در سطح یک درصد نشان داد. درحالی‌که روش آبیاری اثر معنی‌داری بر این صفات نداشت (جدول ۲). مقادیر بیشینه و کمینه میانگین‌ها به ترتیب برای صفت وزن تر ریشه، ۱۹۵/۳۳ گرم (تیمار FI) و ۱۶۳/۶۷ گرم (تیمار PRD₂) و برای صفت وزن خشک‌ریشه، ۴۰/۵۸ گرم (تیمار FI) و ۳۲/۳۳ گرم (تیمار PRD₂) به دست آمد. برای وزن تر و خشک‌ریشه بین تیمارهای PRD₁ و FSI با تیمار کنترل (FI) اختلاف معنی‌داری ملاحظه نشد (جدول ۳). در صورتی‌که اختلاف تیمارهای کاربرد آب‌شور با هر دو شیوه آبیاری (PRD₂ و SI) دارای اختلاف معنی‌داری با FI می‌باشند. در حقیقت، تنش شوری به دلیل افزایش فشار اسمزی و کاهش توان ریشه باعث کاهش وزن ریشه شده است (Nagaz et al., 2012). همچنین، علی‌رغم کاهش ۲۵ درصدی در میزان آب آبیاری در روش آبیاری ناقص ریشه، کاهش معنی‌داری در میزان وزن ریشه نسبت به تیمار شاهد مشاهده نشد. این نتیجه، در برخی پژوهش‌های پیشین نیز گزارش شده است (Nagaz et al., 2013; Noroozi et al., 2013; Khalili-Rad et al., 2010; Babazadeh et al., 2010).

با استفاده از رطوبت‌سنج‌های TDR قبل از هر نوبت آبیاری تعیین شد. مقدار نیاز آبی تعیین‌شده بر اساس رابطه (۱) در تیمار آبیاری کامل در کل فصل رشد و در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه نیز تا ۴۵ روز بعد از کاشت (پس از مرحله استقرار گیاه و حصول اطمینان از حدی از رشد ریشه) اعمال شد. پس از این مدت و از زمان شروع اعمال تیمار تا انتهای فصل کشت، میزان حجم آب آبیاری در تیمارهای PRD معادل ۷۵ درصد از حجم آب ارائه‌شده در تیمار آبیاری کامل بود که به یک طرف ریشه داده شد. همچنین درصد سطح خیس شده به‌صورت میانگین در طول فصل کشت ۰/۳۵ بوده که در محاسبات تعیین نیاز آبی در سیستم آبیاری موضعی اعمال شده است. دور آبیاری نیز به‌صورت یک روز در میان در نظر گرفته شد. زمان تغییر آبیاری از یک سمت به سمت دیگر در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه پس از هر سه نوبت آبیاری بود. در تیمارهای کاربرد تناوبی آب شور و شیرین نیز زمان تغییر نوع آب بعد از هر سه نوبت آبیاری در نظر گرفته شد.

جهت تعیین صفات مورفولوژی اندام زیرزمینی گیاه، با حفر پروفیل، یک نمونه ریشه از هر تکرار در مرحله برداشت نهایی از خاک خارج شد. نمونه‌ها پس از شستشوی کامل با آب به‌صورت دستی و حذف ذرات خاک اطراف آن به آزمایشگاه منتقل و پارامترهای ریشه شامل طول ریشه اصلی، وزن تر و خشک و عرض توسعه‌یافتگی ریشه اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین شاخص سطح برگ گیاه در طول دوره اعمال تیمار تا مرحله برداشت نهایی چهار مرحله نمونه‌برداری صورت گرفت. بدین‌صورت که سه بوته از هر تیمار برداشت‌شده و برگ‌های آن‌ها از ناحیه اتصال پهنک به دم‌برگ جدا و طول و بزرگ‌ترین عرض با دقت میلی‌متر به‌وسیله خط‌کش اندازه‌گیری شد. سطح برگ با استفاده از معادله (۲) و شاخص سطح برگ با استفاده از معادله (۳) تعیین شد (Damavandi and Latifi, 2010):

$$S = 0.655113(L \times W) - 0.00011(L \times W)^2 \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$LAI = S / A \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این روابط S سطح یک برگ (سانتی‌متر مربع)، L طول برگ و W عرض برگ (سانتی‌متر)، A مساحت اشغال‌شده توسط بوته (سانتی‌متر مربع) و LAI شاخص سطح برگ (بدون بعد) می‌باشد. پس از محاسبه سطح هر برگ بر اساس رابطه فوق، سطح کل برگ‌های بوته از مجموع مساحت برگ‌ها به دست می‌آید. طبق رابطه (۳) پارامتر شاخص سطح برگ هر بوته از تقسیم سطح کل برگ‌های بوته به مساحت اشغال‌شده توسط بوته مشخص شد. برداشت محصول در اواسط شهریور و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، زمانی که پشت طبق‌ها زرد و براکت‌ها قهوه‌ای شد، صورت گرفت. به‌منظور تعیین عملکرد و

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس خصوصیات مورفولوژی ریشه در تیمارهای آزمایش

منابع تغییرات	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات		
		وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	طول ریشه اصلی
تکرار	۲	۹۴/۸۹	۷/۸۱	۰/۱۷
روش آبیاری	۱	۳۹۲/۰۰ ^{ns}	۱۰/۵۵ ^{ns}	۳۴/۱۷*
مدیریت کیفی آبیاری	۲	۷۸۴/۳۹**	۹۳/۲۱**	۱۵/۰۷*
روش آبیاری * مدیریت کیفی آبیاری	۲	۱۰/۱۷ ^{ns}	۴/۷۸ ^{ns}	۱/۸۳ ^{ns}
خطای آزمایش	۱۰	۹۳/۲۲	۶/۶۹	۳/۶۳
ضریب تغییرات		۵/۲۸	۷/۱۴	۷/۲۰

ns، ** و * به ترتیب نشانگر معنی دار بودن اثر تیمار آزمایشی در سطوح ۵ و ۱ درصد و عدم معنی داری در سطح ۵ درصد می باشد.

جدول ۳- روند تغییرات تیمارهای آزمایش با خصوصیات مورفولوژی ریشه

تیمارهای آزمایشی	وزن تر ریشه (gr)	وزن خشک ریشه (gr)	طول ریشه اصلی (cm)	عرض توسعه ریشه (cm)
FI	۱۹۵/۳۳ ^a	۴۰/۵۸ ^a	۲۶/۱۰ ^{bc}	۳۳/۴۳ ^b
SI	۱۷۶/۰۰ ^{bc}	۳۳/۲۶ ^b	۲۴/۰۳ ^c	۳۱/۸۷ ^b
FSI	۱۹۱/۰۰ ^{ab}	۳۷/۰۶ ^{ab}	۲۵/۱۰ ^{bc}	۳۳/۸۳ ^b
1 PRD	۱۸۷/۶۷ ^{ab}	۴۰/۴۶ ^a	۲۹/۹۰ ^a	۴۲/۹۰ ^a
2 PRD	۱۶۳/۶۷ ^c	۳۲/۳۳ ^b	۲۵/۶۳ ^{bc}	۴۱/۵۳ ^a
3 PRD	۱۸۳/۰۰ ^{ab}	۳۳/۵۲ ^b	۲۷/۹۷ ^{ab}	۴۳/۴۳ ^a

میانگین‌های با حروف یکسان در هر ستون فاقد اختلاف معنی دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد می باشند.

طول ریشه اصلی

بر اساس جدول (۲)، تیمارهای روش آبیاری و مدیریت کیفی آب آبیاری دارای اثر معنی دار در سطح پنج درصد بر مشخصه طول ریشه اصلی بود. بالاترین مقدار میانگین به تیمار PRD₁ با ۲۹/۹۰ سانتی‌متر و کمترین آن به تیمار SI با ۲۴/۰۳ سانتی‌متر تعلق داشت (جدول ۳). نتایج بیانگر آن است که تیمارهای PRD₁ و PRD₃ مقادیر طول ریشه بیشتری نسبت به تیمار شاهد داشت. در شیوه آبیاری ناقص ریشه، خشک و تر شدن متناوب ریشه، موجب افزایش رشد و توسعه ریشه‌ها شده و متعاقباً توانایی گیاه را برای جذب آب و مواد مغذی از خاک بهبود می‌بخشد (Shahnazari et al., 2008). درحالی‌که اعمال تیمار شوری (SI) به دلیل تنش شدید اسمزی در محدوده ریشه، سبب کاهش رشد ریشه شد. محدودیت رشد ریشه در اثر استعمال آب شور (Nagaz et al., 2012) و افزایش طول ریشه اصلی در اثر اعمال آبیاری ناقص ریشه (Sadra-Nadab et al., 2013; Dry and Loveys, 2000) در دیگر تحقیقات نیز گزارش شده است.

عرض توسعه یافتگی ریشه

بر طبق جدول تجزیه واریانس، اثر تیمار روش آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر عرض توسعه یافتگی ریشه معنی دار بوده،

اما تیمار مدیریت کیفی اثر معنی داری بر این صفت نداشت (جدول ۲). تیمار PRD₃ با میانگین ۴۳/۴۳ سانتی‌متر بیشترین و تیمار SI با میانگین ۳۱/۸۷ سانتی‌متر کمترین میزان عرض ریشه را داشت (جدول ۳). تیمارهای آبیاری ناقص ریشه در هر سه مدیریت کیفی آب آبیاری، باعث افزایش معنی دار عرض توسعه ریشه نسبت به تیمار شاهد و دیگر تیمارهای آبیاری کامل شد. دلیل آن را می‌توان به افزایش رشد ریشه‌های اولیه و تولید ریشه‌های ثانویه در روش آبیاری ناقص ریشه منسوب نمود که با افزایش توانایی جذب آب، اثرات نامطلوب تنش رطوبتی را نسبت به کم آبیاری معمولی کاهش می‌دهد (Sadra-Nadab et al., 2013; Dry and Loveys, 2000; Babazadeh et al., 2010; Sepaskhah and Ahmadi, 2010).

شاخص سطح برگ (Leaf Area Index)

بررسی نتایج مربوط به شاخص سطح برگ در تیمارهای اعمال شده نشان می‌دهد که اثر تیمار روش آبیاری بر این صفت در سطح یک درصد و اثر تیمار مدیریت کیفی آب آبیاری در سطح پنج درصد معنی دار بود (جدول ۴). تیمار FSI دارای بیشترین شاخص سطح برگ (۲/۹۳) و تیمار PRD₂ دارای کمترین مقدار (۱/۱۳) بود (جدول ۵). بر اساس جدول (۵)، اختلاف معنی داری در میزان شاخص سطح برگ بین تیمارهای PRD₁، FSI و SI با تیمار شاهد وجود نداشت. به نظر می‌رسد

مقدار آن نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. پژوهشگران در تحقیقات خود کاهش شاخص سطح برگ در اثر شوری را گزارش کردند (Kang *et al.*, 2010; Amer, 2010). یافته‌های دیگر محققین نیز عدم کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ در نتیجه اعمال آبیاری ناقص ریشه را تأیید می‌کند (Karandish *et al.*, 2013; Sampathkumar *et al.*, 2013; Babazadeh *et al.*, 2010; Roshdi *et al.*, 2006; Shahnazari *et al.*, 2007).

دلیل کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ در تیمارهای دیگر، کاهش رشد ریشه و در نتیجه عدم توانایی کافی برای جذب رطوبت و عناصر غذایی در نتیجه اعمال تنش آبی به گیاه توأم با تنش شوری بود. این در حالی است که در این تحقیق، اعمال تنش خشکی به شیوه آبیاری ناقص ریشه و یا اعمال تنش شوری به‌تنهایی اثر معنی‌داری بر روی شاخص سطح برگ نداشته و حتی با مدیریت مناسب کاربرد آب شور و شیرین،

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اجزای عملکرد در تیمارهای آزمایش

میانگین مربعات		درجه آزادی		منابع تغییرات
وزن صد دانه	وزن خشک طبق	قطر طبق	شاخص سطح برگ	
۰/۱۸	۱۶۲/۲۵	۱۷۰/۰۶	۰/۳۲	تکرار
۰/۵۴ ^{ns}	۶۱۹/۱۷ [*]	۱۷۴/۲۲ ^{ns}	۳/۱۳ ^{**}	روش آبیاری
۳/۳۱ ^{**}	۱۹۰۹/۸۳ ^{**}	۹۱۶/۲۲ ^{**}	۱/۱۰ [*]	مدیریت کیفی آبیاری
۰/۰۸ ^{ns}	۳۳۹/۰۴ ^{ns}	۱۱۶/۲۲ ^{ns}	۰/۳۳ ^{ns}	روش آبیاری * مدیریت کیفی آبیاری
۰/۱۸	۱۱۴/۷۴	۵۱/۲۶	۰/۲۱	خطای آزمایش
۵/۳۲	۱۰/۵۷	۳/۴۶	۲۰/۲۹	ضریب تغییرات

ns و ** و *** به ترتیب نشانگر معنی‌دار بودن اثر تیمار آزمایشی در سطوح ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشد.

جدول ۵- روند تغییرات تیمارهای آزمایش با اجزای عملکرد

وزن صد دانه (gr)	وزن خشک طبق (gr)	قطر طبق (mm)	شاخص سطح برگ	تیمارهای آزمایشی
۸/۵۷ ^a	۱۱۹/۱۴ ^a	۲۲۳/۰۰ ^a	۲/۶۹ ^{ab}	FI
۷/۲۹ ^{dc}	۹۶/۶۱ ^b	۲۰۱/۳۳ ^b	۲/۳۸ ^{ab}	SI
۸/۲۵ ^{ab}	۱۰۵/۷۴ ^{ab}	۲۰۶/۳۳ ^b	۲/۹۳ ^a	FSI
۸/۴۹ ^{ab}	۱۱۵/۴۹ ^{ab}	۲۱۵/۰۰ ^{ab}	۲/۳۶ ^{ab}	PRD ₁
۶/۸۴ ^d	۶۷/۵۳ ^c	۱۸۷/۳۳ ^c	۱/۱۳ ^c	PRD ₂
۷/۷۴ ^{bc}	۱۰۳/۲۷ ^{ab}	۲۰۹/۶۷ ^{ab}	۲/۰۱ ^b	PRD ₃

میانگین‌های با حروف یکسان در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشند.

در نتیجه، کاهش تولید مواد فتوسنتزی لازم برای رشد طبق باشد (Roshdi, 2006). کاهش قطر طبق در اثر اعمال تنش خشکی (Goksoy *et al.*, 2004; Yegappan *et al.*, 1982; Roshdi, 2006) و تنش شوری (Mervat *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2009) در تحقیقات گذشته نیز گزارش شده است.

وزن خشک طبق

نتایج تجزیه واریانس در جدول (۴)، تأثیر معنی‌دار شیوه آبیاری و مدیریت کیفی بر وزن خشک طبق را به ترتیب در سطوح پنج و یک درصد نشان می‌دهد. بر اساس جدول (۵)، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای PRD₁، FSI و PRD₃ با تیمار

قطر طبق

مطابق با جدول (۴)، تیمارهای مدیریت کیفی آب آبیاری در سطح یک درصد بر روی قطر طبق اثر معنی‌دار داشت. بدین‌صورت که بر اساس مقایسه میانگین‌ها، تیمارهای شاهد و PRD₂ به ترتیب با قطر طبقی معادل با ۲۲۳ و ۱۸۷/۳۳ سانتی‌متر، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار این صفت را داشتند (جدول ۵). اختلاف معنی‌داری در میزان قطر طبق بین تیمارهای PRD₁، PRD₃ با تیمار شاهد وجود نداشت؛ اما این اختلاف بین سایر تیمارها با تیمار شاهد، معنی‌دار بود. کاهش معنی‌دار قطر طبق می‌تواند به دلیل کاهش سطح برگ و

شدن قطر طبق و کوچک شدن آن را به همراه خواهد داشت. بر اساس جدول (۶)، همبستگی مثبت در سطح یک درصد بین قطر طبق و وزن خشک آن وجود دارد. در نتیجه کاهش اندازه طبق موجب کاهش وزن خشک آن را می‌شود. Sampathkumar *et al.*, (2013) حصول بالاترین مقدار ماده خشک در PRD و کاهش ماده خشک در اثر اعمال کم آبیاری معمولی را اعلام داشتند. کاهش ماده خشک در اثر اعمال تنش شوری نیز گزارش شد (Amer, 2010; Liu and Shi, 2010).

شاهد در سطح پنج درصد وجود نداشت. این نتیجه مشخص می‌سازد که در شیوه مدیریت تناوبی آبیاری، علی‌رغم حاکم بودن تنش رطوبتی و شوری، وزن خشک طبق تحت تأثیر قرار نخواهد گرفت. این امر احتمالاً به دلیل کاهش تنش شوری وارد شده به گیاه با اعمال مصرف تناوبی آب شیرین با آب شور و آبهویی نمک از منطقه ریشه می‌باشد. در حالی که در تیمار SI به دلیل تنش اسمزی و در تیمار PRD₂ به دلیل تنش هم‌زمان شوری و خشکی توانایی گیاه برای رشد گیاه کاهش یافته و کم

جدول ۶- ماتریس همبستگی ساده دوه‌دو صفات عملکرد و اجزای عملکرد

بهره‌وری آب	شاخص برداشت	عملکرد بیولوژیک	عملکرد اقتصادی	وزن صد	شاخص سطح برگ	وزن خشک طبق	قطر طبق
۱							۱
۰/۷۰۶**	۰/۵۶۲*	۰/۸۷۶**	۰/۷۴۶**	۰/۲۶۹ ^{ns}	۰/۱۰۸ ^{ns}	۰/۳۵۰ ^{ns}	۰/۳۷۱ ^{ns}
۰/۷۰۶**	۰/۵۶۲*	۰/۸۷۶**	۰/۷۴۶**	۰/۲۶۹ ^{ns}	۰/۱۰۸ ^{ns}	۰/۳۵۰ ^{ns}	۰/۳۷۱ ^{ns}
۰/۷۰۶**	۰/۵۶۲*	۰/۸۷۶**	۰/۷۴۶**	۰/۲۶۹ ^{ns}	۰/۱۰۸ ^{ns}	۰/۳۵۰ ^{ns}	۰/۳۷۱ ^{ns}
۰/۷۰۶**	۰/۵۶۲*	۰/۸۷۶**	۰/۷۴۶**	۰/۲۶۹ ^{ns}	۰/۱۰۸ ^{ns}	۰/۳۵۰ ^{ns}	۰/۳۷۱ ^{ns}
۰/۷۰۶**	۰/۵۶۲*	۰/۸۷۶**	۰/۷۴۶**	۰/۲۶۹ ^{ns}	۰/۱۰۸ ^{ns}	۰/۳۵۰ ^{ns}	۰/۳۷۱ ^{ns}
۰/۷۰۶**	۰/۵۶۲*	۰/۸۷۶**	۰/۷۴۶**	۰/۲۶۹ ^{ns}	۰/۱۰۸ ^{ns}	۰/۳۵۰ ^{ns}	۰/۳۷۱ ^{ns}
۰/۷۰۶**	۰/۵۶۲*	۰/۸۷۶**	۰/۷۴۶**	۰/۲۶۹ ^{ns}	۰/۱۰۸ ^{ns}	۰/۳۵۰ ^{ns}	۰/۳۷۱ ^{ns}
۰/۷۰۶**	۰/۵۶۲*	۰/۸۷۶**	۰/۷۴۶**	۰/۲۶۹ ^{ns}	۰/۱۰۸ ^{ns}	۰/۳۵۰ ^{ns}	۰/۳۷۱ ^{ns}
۰/۷۰۶**	۰/۵۶۲*	۰/۸۷۶**	۰/۷۴۶**	۰/۲۶۹ ^{ns}	۰/۱۰۸ ^{ns}	۰/۳۵۰ ^{ns}	۰/۳۷۱ ^{ns}

برگ، قطر و وزن خشک طبق با وزن صد دانه از جدول ماتریس همبستگی نیز کاملاً مشهود می‌باشد و کاهش این اجزای عملکرد موجب کاهش وزن صد دانه خواهد شد (جدول ۶). در مطالعات دیگر نیز کاهش وزن صد دانه در اثر اعمال شوری به دست آمد (Katerji *et al.*, 1996; Kang *et al.*, 2010; Molavi *et al.*, 2012). همچنین Sampathkumar *et al.*, (2013) کاهش معنی‌دار وزن صد دانه تحت تأثیر کم آبیاری معمولی را نتیجه گرفتند، در عین حال که این کاهش را برای آبیاری ناقص ریشه غیر معنی‌دار گزارش کردند.

عملکرد اقتصادی (دانه)

مطابق با تجزیه واریانس صورت گرفته (جدول ۷)، معنی‌دار شدن اثر سطوح مدیریت کیفی آب آبیاری بر روی پارامتر عملکرد اقتصادی در سطح یک درصد کاملاً مشهود است. مقایسه میانگین‌ها در جدول (۸) نشان داد تیمار شاهد حداکثر عملکرد دانه (۴۷۰۶/۷) کیلوگرم در هکتار) و تیمار PRD₂ کم‌ترین مقدار (۳۶۳۶) کیلوگرم در هکتار) را داشت. عملکرد دانه در تیمارهای PRD₁، FSI، PRD₃ و SI به ترتیب ۴۵۱۴/۳، ۴۳۰۶/۷ و ۳۹۸۳/۷ کیلوگرم در هکتار بود. اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای PRD₁، FSI و PRD₃ با تیمار کنترل

وزن صد دانه

تأثیر سطوح مختلف مدیریت کیفی آب آبیاری بر روی کمیت وزن صد دانه در سطح یک درصد کاملاً معنی‌دار شد (جدول ۴). وزن صد دانه در تیمار شاهد با مقدار ۸/۵۷ گرم و در تیمار PRD₂ با مقدار ۶/۸۴ گرم، به ترتیب حداکثر و حداقل مقدار را داشت. همچنین مقدار وزن صد دانه در تیمارهای PRD₁، FSI، PRD₃ و SI به ترتیب برابر با ۸/۴۹، ۸/۲۵، ۷/۷۴ و ۷/۲۹ گرم بود (جدول ۵). همان‌طور که از نتایج ذکر شده قابل برداشت است، بین تیمارهای PRD₁، FSI و تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد؛ بنابراین می‌توان گفت اعمال کم آبیاری به شیوه آبیاری ناقص ریشه اثرات نامطلوب تنش آبی و همچنین اعمال مدیریت تناوبی کاربرد آب شور و شیرین، اثرات منفی تنش شوری بر گیاه را تقلیل بخشیدند. به این ترتیب، کاهش معنی‌دار وزن صد دانه در تیمارهای دیگر می‌تواند به دلیل کاهش وزن خشک و تر ریشه و قدرت جذب آب و مواد مغذی در این تیمارها باشد که این امر سبب کاهش شاخص سطح برگ و در نتیجه کاهش منبع فتوسنتزی گیاه و متعاقب آن کاهش قطر و وزن خشک طبق و در نهایت کاهش وزن صد دانه می‌گردد (Roshdi, 2006). همبستگی مثبت بین شاخص سطح

(Karandish *et al.*, 2013; Yactayo *et al.*, 2013; Ghrab *et al.*, 2013; Shahnazari *et al.*, 2007) و کاهش میزان عملکرد در اثر تنش شوری را گزارش نمودند (Nagaz *et al.*, 2012; Katerji *et al.*, 1996; Wan *et al.*, 2010; Mousavi *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2009; Flagella *et al.*, 2004; Kang *et al.*, 2010; Amer, 2010).

از نظر عملکرد دانه مشاهده نشد. درحالی که این تفاوت بین تیمارهای SI و PRD₂ با تیمار شاهد معنی دار بود. واضح است که به دلیل همبستگی مثبت عملکرد اقتصادی با وزن صد دانه، دلیل کاهش عملکرد نیز می تواند مشابه عوامل تأثیرگذار بر میزان وزن صد دانه باشد. محققین بسیاری در تحقیقات خود عدم کاهش معنی دار عملکرد در نتیجه اعمال آبیاری ناقص ریشه

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس عملکرد و بهره‌وری آب در تیمارهای آزمایش

میانگین مربعات			درجه آزادی	منابع تغییرات	
بهره‌وری آب	شاخص برداشت	عملکرد بیولوژیک	عملکرد اقتصادی (دانه)	(df)	
۰/۰۰۰۱	۱۰/۵۹	۹۲۶۶۴/۷۲	۴۷۵۳/۱۷	۲	تکرار
۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۱۸۶۲۴۵۰/۰۰ ^{ns}	۲۶۵۲۳۴/۷۲ ^{ns}	۱	روش آبیاری
۰/۰۶ ^{**}	۱۴/۰۱ ^{**}	۲۸۱۶۳۷۵/۷۲ ^{ns}	۱۰۹۹۸۶۲/۱۷ ^{**}	۲	مدیریت کیفی آبیاری
۰/۰۰۱ ^{ns}	۱/۳۰ ^{ns}	۸۰۶۵۴/۱۷ ^{ns}	۱۵۳۲۵/۰۶ ^{ns}	۲	روش آبیاری * مدیریت کیفی آبیاری
۰/۰۰۴	۱/۸۲	۸۱۶۹۱۷/۵۲	۷۴۰۲۵/۷۰	۱۰	خطای آزمایش
۶/۲۴	۳/۳۸	۸۳۹	۶/۳۴		ضریب تغییرات

ns و ** به ترتیب نشانگر معنی دار بودن اثر تیمار آزمایشی در سطوح ۵ و ۱ درصد و عدم معنی داری در سطح ۵ درصد می باشد.

جدول ۸- روند تغییرات تیمارهای آزمایش با عملکرد و بهره‌وری آب

تیمارهای آزمایشی	عملکرد اقتصادی (دانه)	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	بهره‌وری آب
	(kg/ha)	(kg/ha)	(%)	(Kg m ⁻³ ha ⁻¹)
FI	۴۷۰۶/۷ ^a	۱۴۵۴۸/۰ ^a	۳۲/۳۹ ^a	۱/۰۵ ^a
SI	۳۹۸۳/۷ ^{bc}	۱۳۳۶۴/۳ ^{ab}	۲۹/۸۴ ^{bc}	۰/۸۹ ^b
FSI	۴۵۴۱/۳ ^a	۱۴۳۸۵/۳ ^a	۳۱/۵۹ ^{ab}	۱/۰۱ ^a
PRD ₁	۴۵۶۰/۷ ^a	۱۳۴۸۹/۷ ^{ab}	۳۳/۸۵ ^a	۱/۱۲ ^a
PRD ₂	۳۶۳۶/۰ ^c	۱۲۶۷۴/۳ ^b	۲۸/۷۰ ^c	۰/۸۹ ^b
PRD ₃	۴۳۰۶/۷ ^{ab}	۱۳۲۰۳/۷ ^{ab}	۳۲/۶۰ ^{ab}	۱/۰۶ ^a

میانگین‌هایی با حروف یکسان در هر ستون فاقد اختلاف معنی دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد می باشند.

عملکرد بیولوژیک

تنش‌های اعمال شده، مهم‌ترین دلیل کاهش معنی دار عملکرد بیولوژیک در این تیمار بود (Katerji *et al.*, 1996; Liu *et al.*, 2006; Amer, 2010; Sarai-Tabrizi *et al.*, 2010). جدول (۶) همبستگی بالای اجزای عملکرد (شاخص سطح برگ، قطر و وزن خشک طبق) را با عملکرد بیولوژیک نشان می‌دهد. در حقیقت با اعمال تنش به گیاه، توانایی گیاه برای رشد اندام هوایی از جمله برگ‌ها کاسته شده و شاخص سطح برگ کاهش می‌یابد. این امر سبب کاهش سطوح فتوسنتز کننده شده و در نتیجه باعث کاهش قدرت تولید و عملکرد گیاه می‌گردد.

شاخص برداشت

با توجه به جدول (۷)، شاخص برداشت تحت تأثیر تیمارهای

اعمال روش‌های آبیاری و مدیریت‌های کیفی آب آبیاری تأثیر معنی داری در سطح احتمال پنج درصد بر صفت عملکرد بیولوژیک داشت (جدول ۷). تیمار شاهد FI با عملکرد بیولوژیک ۱۴۵۴۸ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین و تیمار PRD₂ با مقدار ۱۲۶۷۴/۳ کیلوگرم در هکتار کم‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک را به خود اختصاص دادند (جدول ۸). بر اساس جدول (۸)، اختلاف معنی داری در مقدار عملکرد بیولوژیک بین تیمارهای PRD₁، SI، PRD₃، FSI و FI مشاهده نشد. در صورتی که اعمال تیمار PRD₂ کاهش معنی داری را در این صفت ایجاد نمودند. کاهش توانایی گیاه برای رشد بهینه اندام هوایی به دلیل

حد مطلوب باقی مانده و در نتیجه کارایی مصرف آب مشابهی با تیمار کنترل به دست آمده آمد. به طور مشابه محققین دیگر افزایش بهره‌وری آب در اثر اعمال آبیاری ناقص ریشه (Shahnazari *et al.*, 2007; Yactayo *et al.*, 2013) و کاهش آن با افزایش شوری (Wan *et al.*, 2010; Mousavi *et al.*, 2009) را در تحقیقات خود اعلام نمودند.

نتیجه‌گیری کلی

در مطالعه حاضر، برخی از صفات کمی محصول نظیر وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت و بعضی صفات مرفولوژی گیاه و نیز بهره‌وری آب گیاه آفتابگردان تحت اعمال آبیاری ناقص ریشه با کاربرد آب شور حاصل از دریا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق بیانگر آن بود که تکنیک آبیاری ناقص ریشه با ویژگی‌های مختص به خود ضمن صرفه‌جویی ۲۵ درصدی آب مصرفی قادر به حفظ بسیاری از خصوصیات کمی، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه آفتابگردان و عدم اختلاف معنی‌دار آن با آبیاری کامل می‌باشد. حداکثر میزان عملکرد اقتصادی در تیمار شاهد و نیز بالاترین میزان شاخص برداشت و بهره‌وری آب در تیمار PRD₁ مشاهده شد. نتایج نشان داد که در اکثر صفات مهم اندازه‌گیری شده کاربرد شیوه مدیریت تناوبی مصرف آب شور و شیرین چه به صورت تکنیک آبیاری ناقص ریشه (PRD₃) و چه به صورت آبیاری کامل (FSI) اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشته است. این درحالی‌که است که تیمار PRD₂ تفاوت فراوانی با تیمار شاهد داشته و عملکرد حداقل را بین تیمارها از خود نشان داد. این روند در تیمار SI نیز قابل مشاهده بود؛ بنابراین می‌توان ادعا داشت که با انتخاب روش مدیریتی مناسب می‌توان علی‌رغم کاهش میزان آب مصرفی تا حد امکان مانع از کاهش عملکرد محصول شد و با افزایش بهره‌وری آب توأم با کاربرد آب شور تقاضا برای آب شیرین را تقلیل بخشید. بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق چنین می‌توان بیان نمود که تیمار آبیاری ناقص ریشه با کاربرد تناوبی آب شور و شیرین (PRD₃) درعین حال که با کاهش میزان آب مصرفی باعث افزایش بهره‌وری آب می‌شود، با کاربرد آب شور راهگشای مؤثری در راستای نیل به توسعه پایدار و کاهش فشار بر منابع آب شیرین خواهد بود.

اعمال شده قرار نگرفت. حداکثر و حداقل مقدار این صفت به ترتیب در تیمارهای PRD₁ (۳۳/۸۵ درصد) و PRD₂ (۲۸/۷۰ درصد) مشاهده شد. همان‌گونه که از جدول (۸) تشخیص داده می‌شود، در مقایسه میانگین‌ها، بین تیمارهای PRD₁، FSI، PRD₃ و تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. درحالی‌که تیمارهای SI و PRD₂ با FI اختلاف معنی‌داری داشتند. از آنجاکه شاخص برداشت نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد بیولوژیک می‌باشد، علت افت شاخص برداشت در این تیمارها را می‌توان کاهش بیشتر عملکرد دانه در مقایسه با کاهش در عملکرد بیولوژیک در اثر تنش‌های وارد شده به گیاه دانست. نتایج به دست آمده با مطالعات پیشین هم‌خوانی دارد (Karandish *et al.*, 2013; Roshdi *et al.*, 2006; Shahnazari *et al.*, 2007; Amer, 2010; Karimi Kakhaki and Sepehri, 2010).

بهره‌وری آب

اثر تیمار مدیریت کیفی آب در سطح یک درصد بر روی صفت بهره‌وری آب معنی‌دار شد (جدول ۷). با توجه به مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۸)، تیمار PRD₁ با میزان ۱/۱۲ کیلوگرم بر مترمکعب در هکتار بیشترین و دو تیمار SI و PRD₂ با ۰/۸۹ کیلوگرم بر مترمکعب در هکتار کمترین مقدار بهره‌وری آب را داشتند. همان‌گونه که از جدول (۸) تشخیص داده می‌شود، در مقایسه میانگین‌ها، همه تیمارها برای این شاخص در دو گروه آماری a و b قرار گرفتند. این تقلیل در گروه‌های آماری می‌تواند بیانگر حساسیت کم بهره‌وری آب به تنش‌های اعمالی و عدم اختلاف زیاد بین بهره‌وری آب در تیمارهای مختلف اعمال شده باشد. به عبارتی کاربرد روش‌های مختلف مدیریتی سبب تغییرات زیاد در مقادیر این پارامتر نشده و نتایج تنها در دو دسته‌بندی آماری قرار گرفته است. در این پارامتر نیز، اختلاف بین تیمارهای PRD₁، PRD₃، FSI، و تیمار FI معنی‌دار نشد. درحالی‌که دو تیمار SI و PRD₂ تفاوت معنی‌داری با تیمار کنترل داشت. دلیل آن را می‌توان چنین بیان نمود که تیمارهای آبیاری ناقص ریشه علی‌رغم کاهش آب مصرفی و همچنین اعمال تنش شوری به صورت تناوبی با حفظ عملکرد دانه در سطح تیمار شاهد سبب حصول بهره‌وری آب بالاتری نسبت به تیمار شاهد گردید. همچنین در تیمار آبیاری کامل با تناوب آب شور و شیرین نیز علی‌رغم تنش شوری، عملکرد در

REFERENCES

- Ahmadi, S.H., Andersen, M.N., Plauborg, F., Poulsen, R.T., Jensen, C.R., Sepaskhah, A.R. and Hansen, S. (2010). Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: Gas exchange and xylem [ABA]. *Agricultural Water Management*, 97, 1486-1494.
- Amer, K. H. (2010). Corn crop response under managing different irrigation and salinity levels. *Agricultural Water Management*, 97, 1553-1563.
- Babazadeh, H., Sarai Tabrizi, M., Parsinejad, M. and Modares Sanavi, S.A.M. (2010). Evaluation of some qualitative and quantitative characteristics

- soybean (*Glycine max* L. Merrill) in water stress condition. *Journal of Water Resource in Agriculture*, 24(2), 99-109. (In Farsi)
- Chen, M., Kang, Y., Wan, Sh. and Liu, Sh. (2009). Drip irrigation with saline water for oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Agricultural Water Management*, 96, 1766-1772.
- Damavandi, A. and Latifi, N. (2010). Evaluation the effects of planting date on some growth indices and grain yield of two oil sunflower cultivars in Damghan province. *Biology journal of Garmsar Islamic Azad University*, 4(4), 1-11. (In Farsi)
- Dry, P. R. and Loveys, B. R. (2000). Partial drying of the root-zone of grape. I. Transient changes in shoot growth and gas exchange. *Vitis*, 39, 3-7.
- Flagella, Z., Giuliani, M.M., Rotunno, T., Di Caterina, R. and De Caro, A. (2009). Effect of saline water on oil yield and quality of a high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrid. *European Journal of Agronomy*, 21, 267-272.
- Ghrab, M., Gargouri, K., Bentaher, H., Chartzoulakisc, K., Ayadia, M., Mimound, M. B., Masmoudid, M. M., Mechliad, N. B. and Psarrasc, G. (2013). Water relations and yield of olive tree (cv. Chemlali) in response to partial root-zone drying (PRD) irrigation technique and salinity under arid climate. *Agricultural Water Management*, 123, 1-11.
- Goksoy, A. T., Demir, A. O., Turan, Z. M. and Dagustu, N. (2004). Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. *Field Crops Research*, 87, 167-178.
- Kang, Y., Chena, M. and Wan, S. (2010). Effects of drip irrigation with saline water on waxy maize (*Zea mays* L. var. ceratina Kulesh) in North China Plain. *Agricultural Water Management*, 97, 1303-1309.
- Karandish, F. Mirlatifi, M. Shahnazari, A. Abbasi, F. and Gheisari, M. (2013). Effect of partial root-zone drying and deficit irrigation on yield and yield components of maize. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 44 (1), 33-44. (In Farsi)
- Karimi Kakhaki, M. and Sepehri, A. (2010). Effect of deficit irrigation on water use efficiency and drought tolerance of new sunflower cultivars at reproductive stage. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*, 13(50), 163-176. (In Farsi)
- Katerji, N., van Hoorn, J. W., Hamdy, A., Karam, F. and Mastrorilli, M. (1996). Effect of salinity on water stress, growth, and yield of maize and sunflower. *Agricultural Water Management*, 30, 237-249.
- Khalili-Rad, R., Mirnia, S.K. and Bahrami, H.A. (2010). Assessing different soil water contents on corn root development. *Journal of Water and Soil*, 24(3), 557-564. (In Farsi)
- Limaa, R. S. N., Assis Figueiredoa, F. A. M. M., Martinsa, A. O., Deusa, B. C. S., Ferraza, T. M., Assis Gomesa, M. M., Sousab, E. F., Glennc, D. M. and Campostrini, E. (2015). Partial rootzone drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) effects on stomatal conductance, growth, photosynthetic capacity and water-use efficiency of papaya. *Scientia Horticulturae*, 183, 13-22.
- Liu, F., Shahnazari, A., Andersen, M.N., Jacobsen, S.E. and Jensen, C.R. (2006). Effects of deficit irrigation (DI) and partial root drying (PRD) on gas exchange, biomass partitioning, and water use efficiency in potato. *Scientia Horticulturae*, 109, 113-117.
- Liu, J., and Shi, D. C. (2010). Photosynthesis, chlorophyll fluorescence, inorganic ion and organic acid accumulations of sunflower in responses to salt and salt-alkaline mixed stress. *Photosynthetica*, 48(1), 127-134.
- Mervat, Sh. S., Abd El-Monem, A.A., El-Bassiouny, H.M.S. and Nadia M. B. (2012). Physiological response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to exogenous arginine and putrescine treatments under salinity Stress. *Journal of Applied Sciences Research*, 8(10), 4943-4957.
- Molavi, H. Mohammadi, M. and Liaghat, A. (2012). Effect of saline water management on yield and yield components of corn and soil salinity profile. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 35(3), 11-18. (In Farsi)
- Morison, j. i. l. (2008). Improving water use in crop production. <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/363/1491/639.full.html#ref-list1>.
- Mousavi, S. F., Mostafazadeh-Fard, B. Farkhondeh, A. and Feizi, M. (2009). Effects of deficit irrigation with saline water on yield, fruit quality and water use efficiency of cantaloupe in arid region. *Journal of Agriculture Science and Technology*, 11, 469-476.
- Nagaz, K., Masmoudi, M. M. and Mechlia, N. B. (2012). Impacts of irrigation regimes with saline water on carrot productivity and soil salinity. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 11, 19-27.
- Neyrizi, S. (2000). Management of application of brackish and saline water in agriculture. In: *Proceedings of Workshop on management of saline water*. 28 Feb., Iranian national committee on Irrigation and Drainage, 32, pp. 1-17. (In Farsi)
- Noroozi, M. Shahnazari, A. Raeini, M. and Ghadami, A. (2013). Effect of full irrigation, deficit irrigation and partial root-zone drying on root system of sunflower. *2nd International Conference on Plant, Water, Soil and Weather Modeling*, 8-9 May., Iran, Kerman. (In Farsi)
- Pang, H. C., Li, Y. Y. Yang, J. S. and Liang, Y. S. (2010). Effect of brackish water irrigation and straw mulching on soil salinity and crop yields under monsoonal climatic conditions. *Agricultural Water Management*, 97, 1971-1977.
- Parvizi, H., Sepaskhah, A. R. and Ahmadi, S.H. (2014). Effect of drip irrigation and fertilizer regimes on fruit yields and water productivity of

- a pomegranate (*Punica granatum* (L.) cv. Rabab) orchard. *Agricultural Water Management*, 146, 45-56.
- Romero, P., Gil Munoz, R., Fernández-Fernández, J. I., M. Del Amor, F., Martínez-Cutillas, A. and García-García, J. (2015). Improvement of yield and grape and wine composition in field-grown Monastrell grapevines by partial root zone irrigation, in comparison with regulated deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 149, 55-73.
- Roshdi, M., Heidari Sharifabad, H., Karimi, M., Noor Mohammadi, G. and Darvish, F. (2006). A survey on the impact of water deficiency over the yield of sunflower seed cultivar and its components. *Journal of Agricultural Sciences Islamic Azad University*, 12(1), 109-122. (In Farsi)
- Sadra-Nadab, Z., Shahnazari, A., Zia Tabar-Ahmadi, M. Kh. and Karandish, F. (2013). Effects of partial root-zone drying irrigation on the growth of roots and shoots of maize compared to full Irrigation. *The 1st National Conference on Solutions to Access Sustainable Development in Agriculture, Natural Resources and the Environment*, 3 Mar., Tehran. (In Farsi)
- Sampathkumar, T., Pandian, B. J., Rangaswamy, M. V., Manickasundaram, P. and Jeyakumar, P. (2013). Influence of deficit irrigation on growth, yield and yield parameters of cotton-maize cropping sequence. *Agricultural Water Management*, 130, 90-102.
- Sarai Tabrizi, M., Babazadeh, H., Parsinejad, M. and Modares Sanavi, S.A.M. (2010). Improving soybean water use efficiency using partial root drying. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*, 14(52), 1-14. (In Farsi)
- 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., Ahmadi, S.H., Lærke, P.E., Liu, F., Plauborg, F., Jacobsen, S.E., Jensen, C.R. and Andersen, M.N. (2008). Nitrogen dynamics in the soil-plant system under deficit and partial root-zone drying irrigation strategies in potatoes. *European Journal of Agronomy*, 28, 65-73.
- 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.
- Wan, Sh., Kang, Y., Wang, D. and Liu, Sh. (2010). Effect of saline water on cucumber (*Cucumis sativus* L.) yield and water use under drip irrigation in North China. *Agricultural Water Management*, 98(1), 105-113.
- Yactayo, W., Ramírez, D. A., Gutiérrez, R., Mares, V., Posadas, A. and Quiroz, R. (2013). Effect of partial root-zone drying irrigation timing on potato tuber yield and water use efficiency. *Agricultural Water Management*, 123, 65-70
- Yegappan, T., Paton, M. D., Gates, C. T. and Muller, W. (1982). Water stress in sunflower (responses of cyptla size). *Annals of Botany*, 49, 63-68.