اثر کشت مخلوط و کم‌آبیاری بر کارآیی مصرف آب و عملکرد گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum Mill*) و ریحان (*Ocimum basilicum*)

یاسین صالحی[۱]، داود زارع‌حقی[۲*]، عادل دباغ محمدی‌نسب[۳]، محمدرضا نیشابوری[۴]

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۷/۳/۲

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۲-استادیار گروه علوم ومهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۳-استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
٤-استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
*مسؤل مکاتبه: E-mail: davoudhaghi@tabrizu.ac.ir

چکیده

کم آبیاری راهکار بهینه شده‌ای است که در آن آگاهانه به گیاهان اجازه داده می‌شود با دریافت آب کمتر از نیاز، محصول خود را کاهش دهند. کشت مخلوط سیستمی پایدار و کارآمد است که از طریق افزایش بهره‌وری منابع خاک و آب باعث افزایش کارآیی مصرف آب می‌شود. در این راستا آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل دو فاکتور در سه تکرار اجرا گردید. فاکتور اول سه نوع کشت شامل کشت خالص گوجه‌فرنگی، کشت خالص ریحان و کشت مخلوط آن دو به نسبت ۵۰ درصد گوجه‌فرنگی و ۵۰ درصد ریحان و فاکتور دوم چهار دوره زمانی آبیاری شامل آبیاری بدون تنش آبی در ناحیه ریشه ۰/۸FC، آبیاری زمانی که رطوبت خاک در ناحیه ریشه به حدود۰/۷FC، ۰/۵FC، ۰/۳FC بود. نتایج نشان داد بیشترین کارآیی مصرف آب بر اساس عملکرد ماده خشک در کشت مخلوط و در سطح رطوبتی۰/۵FCحاصل گردید. بیشترین عملکرد ماد خشک و عملکرد میوه گیاه گوجه فرنگی در کشت مخلوط و بیشترین عملکرد ماده خشک و تر برای گیاه ریحان در کشت خالص آن بدست آمد. نسبت برابری زمین در تمام سطوح رطوبتی بیشتر از ۱ بود که بالاترین میزان آن (LER= ۲/۱) از سطح رطوبتی بدون تنش بدست آمد. به طور کلی کشت مخلوط و کم آبیاری تا سطح ۰/۵FC برای دو گیاه ریحان و گوجه‌فرنگی علاوه بر داشتن عملکرد مناسب توانسته از هدر رفتن حجم بالایی از آب جلوگیری کند.

واژه‌های کلیدی: کارآیی مصرف آب، کم آبیاری، کشت مخلوط، گوجه‌فرنگی، ریحان

The Effect of Intercropping and Deficit Irrigation on the Water Use efficiency and Yield of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) and Basil (*Ocimum basilicum*)

Yasin Salehi[1], Davoud Zarehaghi[2*], Adel Dabbagh Mohammadi Nasab[3], Mohammad Reza Neyshabouri[4]

Received: January 7, 2018 Accepted: May 23, 2018
1-MSc. Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
2- Assist. Prof., Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
3- Prof., Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture University of Tabriz, Iran.
4- Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
*Corresponding Author Email: E-mail: davoudhaghi@tabrizu.ac.ir

Abstract

Deficit irrigation is an optimized solution in which the plants are deliberately allowed to reduce their crop by receiving less water than needed. Combined cultivation is a sustainable and efficient system that can increase water use efficiency by increasing the productivity of soil and water resources. In this regard, a factorial experiment in a completely randomized design with two factors in three replications was carried out. The first factor was three types of cultivars: Monoculture tomato, Monoculture basil and intercropping of 50% tomato and 50% basil, and the second factor was four irrigation periods including irrigation without water stress in the root zone 0.8FC irrigation when the soil moisture in the root zone was about 0.7FC, 0.5FC, 0.3FC. The results showed that the highest water use efficiency based on dry matter yield was obtained, in intercropping at moisture level of 0.5FC. The highest dry matter yield and storability of tomato plant were obtained in intercropps and the highest dry and wet matter yield of the basil plant were obtained in monoculture. The Land equivalent ratioat all levels of moisture was greater than 1, the highest (LER = 2.1) was obtained at a non-stressed levels. Intercropping and irrigation up to 0.5FC level for two basil and tomato plants in addition to having the proper yield, has been able to prevent large amounts of water from being wasted.

Keywords: Basil, Deficit Irrigation, Intercropping, Tomato, Water Use Efficiency

مقدمه

کشور ایران در یکی از خشک‌ترین مناطق جهان قرار دارد . متوسط بارندگی کشورمان حدود ۲۵۰ میلیمتر بوده که برابر یک سوم متوسط جهانی است . شرایط خاص اقلیمی کشور که خشکی و پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی واقعیت گریزناپذیر آن است که هر گونه تولید مواد غذایی و کشاورزی پایدار را منوط به استفاده صحیح و منطقی از منابع آب محدود کشور نموده است. تامین آب و حفظ آن در خاک به وسیله عوامل مختلف محیطی، گیاهی و مدیریتی تحت تاثیر قرار می‌گیرد (سلطانی و فرجی ۲۰۰۸). با توجه به شرایط خاص اقلیمی کشور ایران و پائین بودن امکان

افزایش منابع جدید آب مورد استفاده در بخش کشاورزی و ضرورت افزایش تولیدات کشاورزی از منابع آب محدود ، استفاده از روش‌های علمی و فنی مناسب جهت افزایش کارآیی مصرف آب کشاورزی از ضروریات بخش کشاورزی است.

عوامل مدیریتی مانند استفاده از تاریخ کاشت مناسب، تراکم مناسب و استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط از طریق تأثیر بر مصرف آب یا عملکرد یا هر دو آن‌ها بر کارآیی مصرف آب تاثیر می‌گذارد(توسوبو و همکاران ۲۰۰۱). کارآیی مصرف آب یکی از خصوصیات مهم فیزیولوژیکی می‌باشد و نشان‌دهنده توانایی گیاه در مقابله با کمبود آب است؛ عواملی که کارآیی مصرف آب را تحت تاثیر قرار می‌دهند شامل عوامل آب و هوایی، شرایط خاک و عوامل گیاهی هستند (مجد نصیری و همکاران ۲۰۰۳). کشت مخلوط فرایندی است که با استفاده بهینه از آب و منابع مختلف به عنوان مانعی در برابر از بین رفتن یک محصول بخصوص در شرایط دیم عمل می‌کند (سینگ و همکاران ۲۰۱۲) این نوع کشت به صورت کشت توام دو یا چند گونه گیاهی در زمان و مکان مشخص به انجام می‌رسد به گونه‌ای که گیاه در اکثر دوره رویش خود در مجاورت گیاه دیگر بوده و لزومی ندارد این دو گیاه همزمان کشت یا برداشت شوند (کوچکی و خیابانی ۱۹۹۵). کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص دارای مزایای زیادی از جمله افزایش عملکرد (کامانگا و همکاران ۲۰۱۰)، افزایش کارآیی مصرف آب (یوان یوان و همکاران ۲۰۱٦)، افزایش کارآیی مصرف عناصر غذایی (لی و همکاران ۲۰۱۱) و موجب حفاظت خاک (رئیسی ۲۰۰٦) می‌شود. با مدیریت کم آبیاری ضمن وارد نیامدن خسارت شدید به گیاه در اثر تنش رطوبتی و با قبول کاهش مقداری از عملکرد، در مقدار آب آبیاری صرفه جویی می‌شود. در روش کم آبیاری ممکن است مراحلی از رشد و نمو گیاه تحت تاثیر تنش رطوبتی ملایم قرار گیرند. تنش ملایم ناشی از کم آبیاری ممکن است به دلیل تاخیر چند روز در آبیاری و یا کاهش مقدار آب مصرفی در هر نوبت آبیاری باشد(مجنونی هریس و اسدی ۲۰۱۳). هوی و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای به منظور تعیین کارآیی مصرف آب (WUE) بالاتر و بهبود کیفیت میوه در محصولات گلخانه‌ای با آب کمتر، آزمایشی با کم‌آبیاری تنظیم شده (RDI[1]) در هندوانه، فلفل دلمه‌ای و گوجه‌فرنگی در گلخانه خورشیدی در حوضه رودخانه شیانگ درشمال غرب چین انجام دادند و نتایج نشان داد فصل‌های زمستان و بهار از لحاظ داشتن کارآیی بهتر مصرف آب و کیفیت بالای محصول هندوانه مناسب هستند، کارآیی مصرف آب با حفظ کیفیت میوه در فلفل با آبیاری منظم در ۷۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای حاصل گردید، در مورد گوجه‌فرنگی حداکثر مقدار عملکرد و کارآیی مصرف آب (WUE) با آبیاری معادل ۷۷ و ۸۹/۵ درصد حداکثر تبخیر و تعرق بدست آمد. بر اساس نتایج تحقیق کمبود آب در مرحله رویشی گوجه‌فرنگی تأثیری بر عملکرد محصول و کیفیت میوه نداشته اما تنش آبی خفیف در مرحله گلدهی، مرحله رشد و رسیدن میوه بر کارآیی مصرف آب و بهبود کیفیت میوه تأثیرگذار بود. یوان یوان و همکاران (۲۰۱٦) در مطالعه‌ای بر روی دو گیاه ذرت و سویا آزمایشی به صورت کشت خالص و مخلوط در سه تراکم با ۳ نسبت کاشت انجام دادند که با توجه به ارزیابی شاخص بهره‌وری نسبی (REI[2])، ذرت رشد کارآمدتری در انباشته کردن زیست توده در بازه کل رشد نسبت به سویا داشت. در طول دوره رشد، شاخص تولید ماده خشک و شاخص سطح برگ (LAI[3]) با افزایش تراکم بوته با صرف نظر کردن از اینکه به صورت کشت خالص یا مخلوط رشد کرده افزایش یافته و شاخص برگ در تیمار کشت خالص برای هر دو گیاه بیشتر از سیستم کشت مخلوط بود. نسبت برابری زمین (LER[4]) از ۱/۳۵-۰/۸٤

[1]-Regulated Deficit Irrigation
[2]-Relative Efficiency Index
[3] Leaf Area Index
[4] Land Equivalent Ratio

نشان داد که در کشت مخلوط، دو گیاه از منابع مکمل استفاده کرده و بزرگ‌ترین (LER) در مخلوط دو ردیف ذرت و دو ردیف سویا در تراکم کم مشاهده شد. نسبت آب معادل (WER[1]) که مشخصه کارآیی مصرف آب در کشت مخلوط است در محدوده ۱/٦٨-۰/٨٤ بود که تفاوت اثر کشت مخلوط بر کارآیی مصرف آب را نشان می‌دهد (یوان‌یوان و همکاران ۲۰۱٦). حیدری سورشجانی (۲۰۱٤) به منظور بررسی سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی ذرت علوفه‌ای در منطقه شهرکرد مطالعه‌ای در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۷ تیمار شامل ٤۰، ٥٥، ۷۰، ۸٥، ۱۰۰، ۱۱٥ و ۱۳۰ درصد آبیاری کامل با سه تکرار به روش آبیاری جویچه‌ای انجام دادند. نتایج نشان داد که سطوح مختلف آبیاری بر روی کارآیی مصرف آب، درصد ماده خشک، عملکرد ارتفاع و قطر میانه ساقه، طول و وزن بلال تاثیر معنی‌داری گذاشت. اما سطوح مختلف آبیاری بر درصد پروتئین و درصد روغن دانه تأثیر معنی‌داری نداشته است. نتایج تحقیقات انجام شده روی کشت خالص گیاهان مختلف زراعی نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های مدیریتی مختلف در بخش آبیاری از جمله اعمال کم‌آبیاری موضعی ریشه در سطوح مختلف، می‌تواند سبب بهبود کارآیی مصرف آب گردد که این مطلب در مورد کشت مخلوط کمتر بررسی شده و با توجه به اهمیت زراعی دو گونه ریحان و گوجه‌فرنگی و نبود اطلاعات و مستندات کافی در خصوص کارآیی مصرف آب در کشت مخلوط این دو گیاه و اثرات کم‌آبیاری بر کارآیی مصرف آب آن‌ها، این آزمایش با هدف بررسی کشت مخلوط ریحان و گوجه-فرنگی در شرایط گلخانه‌ای به منظور دست‌یابی به بیشترین کارآیی مصرف آب در شرایط آبیاری مختلف طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر کشت مخلوط و کم‌آبیاری بر کارآیی مصرف آب ریحان و گوجه فرنگی آزمایشی گلخانه‌ای در گلخانه گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تبریز به مدت پنج ماه از بهمن ۱۳۹٥ لغایت خرداد ۱۳۹٦ طراحی و اجرا گردید. در این تحقیق از جعبه‌های کشت به ارتفاع ۲۰ و طول ۳٥ و عرض ۲۸ سانتی‌متر حاوی ۲۰ کیلوگرم خاک با کلاس بافتی لوم رسی سیلتی استفاده شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول (۱) ارائه شده است.

طرح آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور و جمعا ۱۲ تیمار در سه تکرار و با مجموع ۳٦ جعبه کشت اجرا گردید. فاکتور اول سه نوع کشت شامل کشت خالص گوجه‌فرنگی، کشت خالص ریحان و کشت مخلوط این دو گیاه به نسبت ٥۰ درصد گوجه‌فرنگی و ٥۰ درصد ریحان و فاکتور دوم شامل چهار دوره زمانی آبیاری (آبیاری موقعی که رطوبت خاک به ۰/۸، ۰/۷، ۰/٥ و ۰/۳ ظرفیت مزرعه‌ای رسید) بود. به منظور تامین نیاز غذایی گیاهان بر اساس آزمون خاک ٦۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیتروژن از منبع کود اوره، ۱٥میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل ، ۱۰میلی‌گرم بر کیلوگرم آهن از منبع سولفات آهن، ۱۰میلی‌گرم بر کیلوگرم مس از منبع سولفات مس و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم منگنز از منبع سولفات منگنز با در نظر گرفتن وزن خاک جعبه‌های کشت به گلدان‌ها اضافه گردید. در این آزمایش کود اوره در دو نوبت به خاک اضافه گردید. نوبت اول قبل از کشت گیاه و نوبت دوم یک ماه پس از کشت بود. بر اساس تراکم مطلوب برای کشت خالص گوجه‌فرنگی در هر جعبه کشت ۲ نشاء قرار گرفت (مارتین و کریستین ۲۰۱۳)، در کشت خالص ریحان در هرجعبه کشت ۱٤ بوته ریحان حفظ گردید (پیرکوهی و همکاران ۲۰۱۲) و برای کشت

[1] Water Equivalent Ratio

جدول۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

کلاس بافت خاک	شن	سیلت	رس	کربن آلی	نیتروژن	رطوبت حجمی ظرفیت مزرعه ای (FC)	کربنات کلسیم معادل (CCE)	واکنش خاک	EC عصاره ($ds.m^{-1}$)
					(%)				
لوم رسی سیلتی	۵/۵	۵۸/٤	۳٦/۱	۲	۰/۲۳	۳٤	۲۰	۷/۱۲	۲/۵٤

ادامه جدول ۱

فسفر	پتاسیم	آهن	روی	مس	منگنز
		($mg.kg^{-1}$)			
۹	۷٤۰	۰/۸	۲/۵	۰/۷	۱/٤

مخلوط در هر جعبه کشت یک نشاء گوجه‌فرنگی و هفت بوته ریحان استقرار یافت. برای اندازه‌گیری و کنترل رطوبت خاک در جعبه‌های کشت از حسگرهای مقاومت الکتریکی و دستگاه اهم‌متر استفاده شد. جهت تبدیل مقاومت الکتریکی حسگر به رطوبت خاک منحنی کالیبره تبدیل مقاومت حسگر به رطوبت برای خاک مورد تحقیق رسم گردید. هر زمان با اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی توسط دستگاه اهم‌متر و قرار دادن آن در منحنی کالیبره مقدار رطوبت خاک بدست آمد. در هرجعبه کشت دو حسگر جهت قرائت مقاومت قرار داده شد و با میانگین-گیری از ۲ حسگر رطوبت هر گلدان تعیین گردید. هر موقع رطوبت در جعبه‌های کشت به مقادیر تعریف شده در تیمارهای رطوبتی رسید آبیاری آن تیمار صورت پذیرفت.

طول دوره کشت ۱۵۰ روز بود که طی آن دو چین برداشت و در پایان دوره مجموع وزن تر و خشک دو چین در واحد ۷ بوته در نظر گرفته شد. برای گوجه فرنگی نیز وزن تر و خشک بخش هوایی و عملکرد میوه برای هر بوته اندازه گیری گردید. وزن خشک بخش هوایی دو گیاه برای عملکرد ماده خشک، از عملکرد میوه گوجه فرنگی و وزن تر بخش هوایی ریحان برای عملکرد قابل عرضه به بازار منظور گردید.

کارآیی مصرف آب از تقسیم عملکرد بر حجم آب مصرفی محاسبه شد (رابطه ۱).

$$WUE = \frac{Y}{IRR}$$ [رابطه ۱]

WUE کارآیی مصرف آب بر حسب کیلوگرم محصول به ازای متر مکعب آب مصرفی، Y: مقدار ماده تولید شده بر حسب کیلوگرم و IRR: مقدار آب مصرفی در هر جعبه کشت بر حسب مترمکعب می‌باشد. برای تعیین کارآیی مصرف آب، ابتدا کارآیی مصرف آب در واحد سطح برای هر کدام از گیاهان در کشت خالص محاسبه گردید و سپس کارآیی مصرف آب مجموع دو گیاه در کشت مخلوط محاسبه و مقایسه‌ها انجام گردید (گائو و همکاران ۲۰۰۹).

برای ارزیابی کشت مخلوط از شاخص نسبت برابری زمین LER استفاده گردید. در این شاخص تمام گیاهان پس از پایان یافتن دوره کشت برای هر تیمار به صورت جداگانه عملکردشان محاسبه گردید و در فرمول زیر قرار داده شد.

LER (T) = LER (a) + LER (b)

[رابطه ۲]

LER (a) = Yab / Yaa

LER (b) = Yba / Ybb

LER (T) نسبت برابری زمین LER(a) : نسبت برابر زمین گونه A، LER(b): نسبت برابری زمین گونه B، Yab: عملکرد گونه A در کشت مخلوط و Yaa: عملکرد گونه A در کشت خالص، Yba: عملکرد گونه B در کشت مخلوط، Ybb: عملکرد گونه B در کشت خالص می باشد. LER >۱ به معنای مزیت کشت مخلوط بر کشت خالص، LER <۱ به معنای عدم مزیت کشت مخلوط بر خالص می‌باشد و LER =۱ به معنای یکسانی عملکرد در کشت مخلوط و کشت خالص است (سولیوان ۱۹۹۸). در محاسبه نسبت برابری زمین از وزن تر بخش هوایی به عنوان عملکرد قابل عرضه ریحان و از عملکرد میوه به عنوان عملکرد میوه گوجه‌فرنگی استفاده شده است. تجزیه واریانس داده‌ها بر اساس آزمایش فاکتوریل و بر پایه طرح کاملاً تصادفی صورت گرفت. برای مقایسه میانگین داده‌ها و سطوح از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید. جهت تجزیه و تحلیل داده‌های آماری از نرم افزارهای SPSS و برای رسم نمودارها و جداول از Excel و Word استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌ها اثر سطوح رطوبتی و نوع کشت را بر عملکرد ماده خشک گوجه فرنگی و ریحان و عملکرد قابل عرضه ریحان در سطح احتمال ۱ درصد و بر روی عملکرد میوه گوجه فرنگی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نشان داد. اثر متقابل نوع کشت در سطوح رطوبتی نیز به جز در عملکرد میوه گوجه‌فرنگی بر دیگر پارامترها معنی‌دار شد (جدول ۲).

عملکرد ماده خشک گوجه‌فرنگی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد ماده خشک بدون میوه گوجه‌فرنگی تحت تاثیر سطوح رطوبتی، نوع کشت و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین عملکرد ماده خشک بخش هوایی در کشت مخلوط و سطح رطوبتی ۰/۷FC بدست آمد که این مقدار نسبت به کشت خالص اختلاف ۲ برابری را نشان داد. کشت خالص در سطح رطوبتی ۰/۳FC کم‌ترین عملکرد ماده خشک را به میزان ۲۶/۰۳ گرم از خود نشان داد (شکل ۱). دهقان و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی اثر تنش رطوبتی بر اجزای عملکرد گوجه فرنگی نشان دادند که با کاهش رطوبت خاک از مقدار ماده خشک بخش هوایی گوجه فرنگی کاسته شد. زتارلی و همکاران (۲۰۰۹) نیز اثر کم‌آبیاری را بر بیوماس خشک اندام هوایی گوجه فرنگی در سطح ۵ درصد معنی‌دار گزارش کردند. جوانمرد و اسکندری (۲۰۱٤) عملکرد ماده خشک تولید شده در کشت مخلوط لوبیای چشم بلبلی و ذرت را نسبت به کشت خالص آن‌ها به ترتیب ۱/۷ و ۱/۲ برابر گزارش کردند.

عملکرد ماده خشک ریحان

تجزیه واریانس در سطح احتمال ۱ درصد اثر معنی‌دار سطوح رطوبتی، نوع کشت و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد ماده خشک بخش هوایی ریحان را نشان می‌دهد (جدول ۲). بیشترین عملکرد ماده خشک بخش هوایی ریحان در کشت خالص و در سطح رطوبتی ۰/۸FC و کمترین مقدار آن نیز در کشت مخلوط و در سطح رطوبتی ۰/۳FC بدست آمد که نشان‌دهنده کاهش چشمگیر عملکرد ریحان تحت تاثیر کشت مخلوط و افزایش تنش خشکی است. عملکرد ماده خشک ریحان در کشت خالص بدون تنش رطوبتی نسبت به کشت مخلوط در همان سطح رطوبتی کاهش ۹۰ درصدی را نشان می‌دهد. با کاهش رطوبت تا ۰/۳FC اختلاف دو نوع کشت به ٥٦ درصد می‌رسد که همچنان دارای اختلاف معنی‌دار بوده و برتری کشت خالص نسبت به کشت مخلوط را نشان می‌دهد (شکل ۲). غالبیت گوجه‌فرنگی بر ریحان در رقابت بین گونه‌ای، ممانعت گوجه‌فرنگی از رسیدن نور کافی به ریحان به علت سایه اندازی گسترده (به طور متوسط ارتفاع گوجه فرنگی و ریحان در کشت مخلوط به ترتیب ٦٥ و ١٤ سانتی‌متر بود) طی فصل رشد و همچنین رقابت دو گونه برای جذب رطوبت و استفاده از عناصر

غذایی می‌تواند از عوامل این نتیجه باشد. ژانگ و همکاران (۲۰۰۸) نیز علت کاهش عملکرد گیاه در کشت مخلوط را به رقابت برای جذب منابع از قبیل نور، آب، مواد غذایی و فضا برای دو گیاه زاراعی نسبت دادند. رضائی چیانه و همکاران (۲۰۱۵) نیز در کشت مخلوط شوید و شنبلیله بیشترین عملکرد بیولوژیکی شنبلیله را در کشت خالص گزارش نمودند.

عملکرد میوه گوجه فرنگی

سطوح رطوبتی اثر معنی‌داری بر عملکرد میوه گوجه‌فرنگی در سطح احتمال ۱ درصد داشت. نوع کشت نیز میزان عملکرد میوه را در سطح احتمال ۵ درصد تحت تأثیر قرار داد اما اثر متقابل نوع کشت× سطوح رطوبتی بر این پارامتر غیر معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین (شکل ۳) نشان می‌دهد که کشت مخلوط به جز در سطح ۰/۳FC در بقیه سطوح رطوبتی عملکرد میوه گیاه گوجه‌فرنگی را افزایش داده است. بیشترین عملکرد میوه در کشت مخلوط و سطح بدون تنش رطوبتی با ۱۹۱/۳۳ گرم و کمترین عملکرد آن در کشت مخلوط و سطح رطوبتی ۰/۳FC با ۲۸/۳۳ گرم بدست آمد. با توجه به نتایج می‌توان گفت که با کاهش سطح رطوبت از اختلاف عملکرد میوه بین کشت خالص و مخلوط کم شده است. نتایج عملکرد میوه گیاه گوجه فرنگی در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص افزایش ٤٨، ٤٢ و ٣٢ درصدی در سه سطح رطوبتی ۰/۸FC، ۰/۷FC و ۰/۵FC و کاهش ۲۵ درصدی در سطح رطوبتی ۰/۳FC را نشان می‌دهد. گوجه‌فرنگی در کشت مخلوط به علت داشتن فضای بیشتر نسبت به کشت خالص و غالبیت آن بر گیاه ریحان توانسته جذب مناسب‌تری از آب و عناصر غذایی نسبت به کشت خالص داشته باشد و در نتیجه عملکرد میوه آن نسبت به کشت خالص در واحد بوته بیشتر گردیده است. این نتایج با یافته‌های حدیدی و همکاران (۲۰۱۱) مبنی بر حصول بیشترین عملکرد میوه کدو تنبل در کشت مخلوط کدو تنبل با لوبیا مطابقت دارد. نامبردگان عنوان کردند که تمامی آرایش-های کشت مخلوط باعث افزایش عملکرد میوه کدو تنبل شد که دلیل این امر را به افزایش کارآیی استفاده از منابع در واحد سطح به وسیله گونه‌های موجود در کشت مخلوط نسبت دادند.

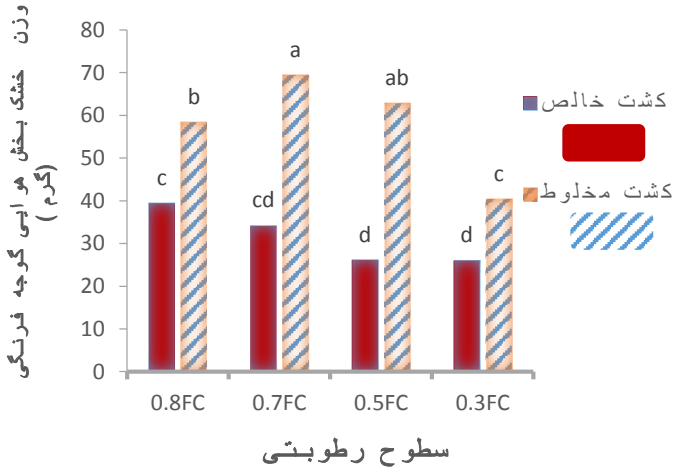
عملکرد قابل عرضه ریحان

تجزیه واریانس در سطح احتمال ۱ درصد اثر معنی‌دار سطوح رطوبتی، نوع کشت و اثر متقابل آن‌ها را بر عملکرد قابل عرضه ریحان را نشان می‌دهد (جدول ۲). بیشترین عملکرد قابل عرضه ریحان در کشت خالص و سطح رطوبتی بدون تنش (۰/۸FC) بدست آمد که کشت مخلوط در همان سطح رطوبتی نسبت به خالص دارای اختلاف ۸۱ درصد بود و با افزایش تنش رطوبتی از مقدار آن کاسته شد. کم‌ترین میزان عملکرد قابل عرضه ریحان در کشت مخلوط و سطح رطوبتی ۰/۳FC بدست آمد که در این سطح رطوبتی نیز کشت خالص نسبت به مخلوط دارای برتری بود.

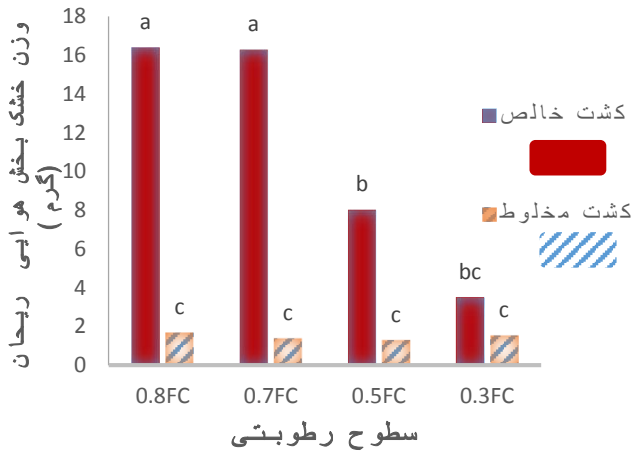
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای سطوح رطوبتی و نوع کشت بر عملکرد دو گونه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		عملکرد ماده خشک گوجه فرنگی	عملکرد ماده خشک ریحان	عملکرد میوه گوجه فرنگی	عملکرد قابل عرضه ریحان
سطوح رطوبتی	۳	۳۹۹/٦٥٤**	۰/۸۰٤**	٤۸/٥۷۳**	۰/۸۲۴**
نوع کشت	۱	٤۱٥۷/٦٦٥**	۲۰/۳۲۹**	۲۳/۷٥۳*	۱۰/۶۰۸**
نوع کشت× سطوح رطوبتی	۳	۱۹۲/٦٦۸**	۰/۷۷۲**	۹/۲۰۱^{ns}	۰/۳۱۶**
خطای آزمایش	۱۶	۲٤/۹٦۸	۰/۰۹۳	۳/۱۷٥	۰/۰۴۳
ضریب تغییرات (درصد)	-	۳٥/۱۷	۸٤/۲٥	۳۸/۰۷	۲۳/۶۸

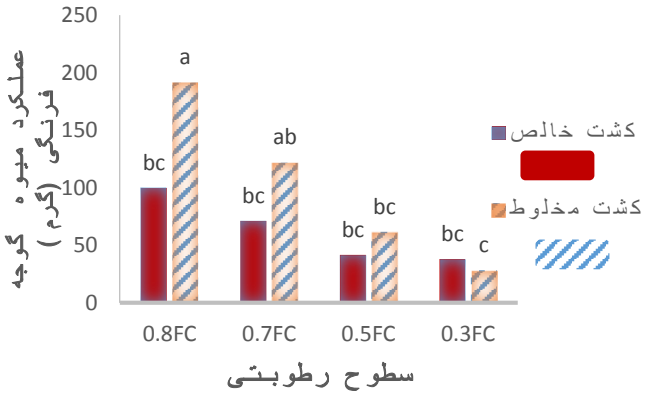
ns ، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد می‌باشد.



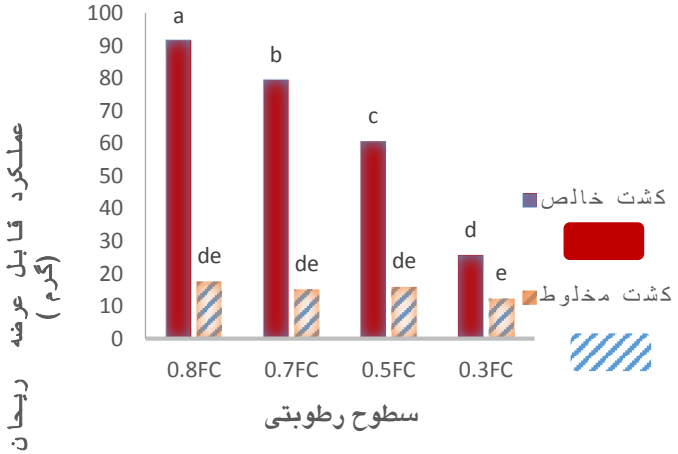
شکل ۱- مقایسه میانگین وزن خشک بخش هوایی گوجه-فرنگی تحت تأثیر سطوح رطوبتی× نوع کشت



شکل ۲- مقایسه میانگین وزن خشک بخش هوایی ریحان تحت تأثیر سطوح رطوبتی× نوع کشت



شکل ۳- مقایسه میانگین عملکرد میوه گوجه‌فرنگی تحت تأثیر سطوح رطوبتی× نوع کشت



شکل ۴- مقایسه میانگین عملکرد قابل عرضه ریحان تحت تأثیر سطوح رطوبتی× نوع کشت

جدول ۳- تجزیه واریانس کارآیی مصرف آب تحت تاثیر نوع کشت و کم آبیاری

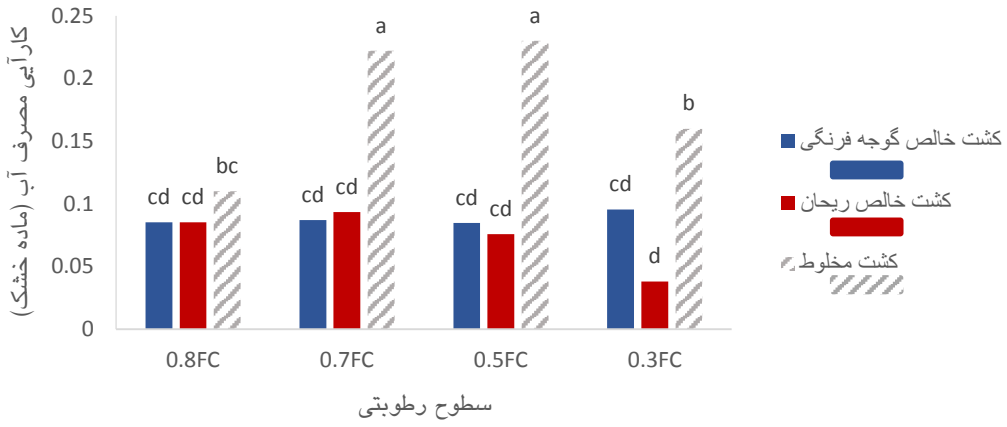
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
		کارآیی مصرف آب ماده خشک
سطوح آبیاری	۳	۰/۰۴۰**
نوع کشت	۲	۰/۰۰۴**
نوع کشت× سطوح آبیاری	۶	۰/۰۰۴**
خطای آزمایش	۲۴	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (درصد)	-	۵۴

ns ، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد می‌باشد.

کارآیی مصرف آب

جدول ۳، نتایج تجزیه واریانس کارآیی مصرف آب محاسبه شده بر اساس عملکرد ماده خشک بخش هوایی اثر نوع کشت، سطوح رطوبتی و اثر متقابل سطوح رطوبتی × نوع کشت را در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار نشان می‌دهد.

بیشترین کارآیی مصرف آب بر اساس عملکرد ماده خشک در کشت مخلوط و در سطح رطوبتی ۰/۵FC حاصل گردید که اختلاف آماری معنی‌داری با سطح رطوبتی ۰/۷FC در همان نوع کشت نداشت. کمترین کارآیی مصرف آب بر اساس عملکرد ماده خشک نیز در کشت خالص ریحان و در سطح رطوبتی ۰/۳FC حاصل شد (شکل ۵). با توجه به نتایج به دست آمده اعمال کم-آبیاری تا سطح ۰/۵FC همراه با کشت مخلوط می‌توان کارآیی مصرف آب مناسبی را بدست آورد. بواترا و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر سه سطح رطوبتی شامل ۸۰، ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای را بر روی کارآیی مصرف آب چهار رقم گندم در عربستان سعودی مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که کارآیی مصرف آب تا ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای تحت تأثیر قرار نگرفت اما در تنش ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای کارآیی مصرف آب کاهش یافت. کانتون و دنت (۲۰۰٤) بیشترین کارآیی مصرف آب را در کشت مخلوط ذرت و نخود در مقایسه با کشت خالص آن‌ها گزارش کردند. همچنین نتایج روی و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که کارآیی مصرف آب در کشت مخلوط ذرت و ماش همانند نتایج این تحقیق در کشت مخلوط بیشتر است.



شکل ۵- مقایسه میانگین کارآیی مصرف آب تحت تأثیر سطوح رطوبتی× نوع کشت

نسبت برابری زمین (LER[۶])

مزیت تولید درکشت مخلوط نسبت به کشت خالص بر اساس نسبت برابری زمین LER بیان می‌شود. مقدار LER کل در همه تیمارها رطوبتی بیشتر از ۱ است که این مزیت کشت مخلوط این دو گیاه را نسبت به کشت خالص آنها نشان می‌دهد (جدول ٤). در کشت مخلوط برای گوجه‌فرنگی به دلیل نبود رقابت بین گونه‌ای و متفاوت بودن سیستم ریشه‌ای دو گیاه گوجه‌فرنگی و ریحان (ضیائی و همکاران ۲۰۱٤) عملکرد میوه افزایش یافت و به تبع آن LER نیز افزایش یافت بیشترین LER در تیمار بدون تنش ۰/۸FC با مقدار ۲/۱ بدست آمد که نشان می‌دهد کشت مخلوط نسبت به کشت خالص ۱۱۰ درصد برتری دارد و با کاهش رطوبت از میزان LER کم شد اما در تمام سطوح این شاخص بزرگ‌تر از ۱ بود کمترین LER در سطح تنش ۰/۳FC با مقدار ۱/۲۲ بدست آمد که نشان دهنده ۲۲ درصد برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص دو گونه به صورت جداگانه می‌باشد. نتایج کارآیی مصرف آب نیز این موضوع را به خوبی نشان می‌دهد. گاوش و همکاران (۲۰۰٦) معتقدند که LER می‌تواند به عنوان یک ارزیابی مناسب برای بهره‌برداری از منابع زیست محیطی مانند تابش، عناصر غذایی، بارش در کشت مخلوط مورد توجه باشد. بسیاری از محققین برتری کشت مخلوط را با محاسبه LER تایید کرده اند (نجیب‌نیا و همکاران، ۲۰۱٤)، جوکار (۱۳۸٤) میانگین LER برای کشت مخلوط ذرت و خیار ۱/٥٦ بدست آمد. دَهمَرده و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیق ۲ ساله بر روی کشت مخلوط ذرت و لوبیای چشم بلبلی تغییرات LER را در سال اول آزمایش بین ۱/۳۲ تا ۲/۳۱ و در سال دوم بین ۱/۰۷ تا ۲/٥۷ به‌دست آوردند و همچنین گزارش نمودند که در سال اول، کشت مخلوط از ۳۲ تا ۱۳۱ درصد و در سال دوم از ۷ تا ۱٥۷ درصد نسبت به کشت خالص ذرت و لوبیای چشم بلبلی از سود مندی بیشتری برخوردار بودند.

جدول۴- اثر سطوح رطوبتی بر نسبت برابری زمین ریحان و گوجه‌فرنگی

		۰/۸FC	۰/۷FC	۰/٥FC	۰/۳FC
LER	گوجه‌فرنگی	۱/۹۱	۱/۷۱	۱/٤۸	۰/۷۴
LER	ریحان	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۲٦	۰/۴۸
LER	کل	۲/۱	۱/۹	۱/۷٤	۱/۲۲

نتیجه‌گیری کلی

بیشترین کارآیی مصرف آب بر اساس عملکرد ماده خشک در کشت مخلوط و در سطح رطوبتی۰/٥FC حاصل گردید نتایج این تحقیق نشان داد که تلفیق کشت مخلوط و کم‌آبیاری توانسته کارآیی مصرف آب را افزایش دهد. نسبت برابری زمین در تمام سطوح رطوبتی بیشتر از ۱ بود که بالاترین میزان آن (LER= ۲/۱) از سطح رطوبتی بدون تنش بدست آمد. که نشان دهنده ۱۱۰ درصد افزایش سودمندی زراعی نسبت به کشت خالص دو گونه است. به طور کلی کشت مخلوط و کم آبیاری تا سطح ۰/٥FC برای دو گیاه ریحان و گوجه-فرنگی علاوه بر داشتن عملکرد مناسب توانسته از هدر رفتن حجم بالایی از آب جلوگیری کند.

۶ - Land Equivalent Ratio

منابع مورد استفاده

Boutraa T, Akhkha A, Al-shoaibi A Kh and Alhejeli A, 2010. Effect of water stress on growth and water use efficiency of some wheat cultivars (*Triticum durum*) grown in Saudi Arabia. Journal of Taibah University for Science, 3: 39-48.

Dahmardeh M, Ghanbari A, Syasar B and Ramroudi M, 2009. Effect of intercropping maize with cowpea on green forage yield and quality evaluation. Asian Journal of Plant Science, 8(3): 235 239.

Dehghan H, Alizadeh A, Ismaili K, and Nemati S H. 2015. Root growth, Yield and Yield Components of Tomato under Drought Stress. Journal of Water Research in Agriculture, 29 (2): 169-179. (In Persian).

Gao Y, Duan AW, Sun JS, Li FS, Liu ZG, Liu H and Liu ZD, 2009. Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. Field Crops Research, 111:65–73.

Ghosh PK, Manna MC, Bandyopadhyay-Ajay KK, Tripathi AK, Wanjari RH, Hati KM, Misra AK, Acharya CL, and SubbaRao A, 2006. Interspecific interaction and nutrient use in soybean/sorghum intercropping system. Agronomy Journal, 98, 1097-1108.

Hadidi N, Sharaiha R, and Al-Debel H, 2011. Effect of intercropping on the performance of some summer vegetable crops grown under different row arrangements. Lucrări Ştiinţifice Seria Agronomie, 54: 11-17.

Heidari Sarshjani S. 2014. Effect of low irrigation on quantitative and qualitative characteristics of potato and corn fodder in Shahrekord. Master's thesis of Agriculture, university of Isfahan. (In Persian).

Hui Y, Taisheng D, Rangjian Q, Jinliang Ch, Feng W, Yang L, Chenxia W, Lihong G and Shaozhong K. 2017. Improved water use efficiency and fruit quality of greenhouse crops under regulated deficit irrigation in northwest China. Agricultural Water Management, 179:193-204.

Javanmard A and Eskandari H. 2014. Investigation of some competition and forage quality indices in different intercropping patterns of maize with vetch, common bean, bitter vetch and berseem clover. Journal of Crop Production, 7 (3): 89-109. (In Persian).

Jokar M., Ghanbari A., and Ghadiri H., 2005. Investigation of intercropping corn and cucumbers and its effect on weed control. Master's thesis of Agriculture, University of Zabol. (In Persian).

Kamanga BC, Waddington GSR, Robertson MJ and Giller KE, 2010. Risk analysis of maize-legume crop combinations with smallholder farmers varying in resource endowment in central Malawi. Journal of Experimental Agriculture, 46:1-21.

Kanton RAL, and Dennett MD, 2004. Water uptake and use by morphologically contrasting maize/pea cultivars in sole and intercrops in temperate conditions. Experimental Agriculture, 40: 201-214.

Koocheki A and Khiabani H. 1995. Agriculture from Ecological point of view. Publications University of Mashhad. (In Persian).

Li JL, Mei YW, Qing LX, Yan HC, Hai PH, Jun G and Ming Z, 2011. Yield performance and resource efficiency of double-cropping maize in yellow-huai-hai river valleys region. Acta Agronomica Sinica 37 (7):1229-1234.

Majid Nasiri B, Karimi M, and Noor Mohammadi Gh. 2003. Effects of growing season and plant densities on water use efficiency in safflower (*Carthamus tinctorious* L.) cultivars and lines. Iranian Journal of Crop sciences, 4(4): 235-245. (In Persian).

Majnoni Harris Ak, and Asadi A. 2013. Principles and concepts of irrigation. Amidi Publishing, Tabriz. (In Persian).

Martin MM, and Christian PH, 2013. High-density planting of tomato cultivar's with early decapitation of growing point increased yield in a closed hydroponic system. Acta Agriculturae Scandinavica, section B. Soil and Plant Science.

Najibnia s, Koocheki A, Nassiri Mahallati M and porsa H, 2014. Water capture efficiency, use efficiency and productivity in sole cropping and intercropping of rapeseed, bean and corn. European Journal of Sustainable Development, 3, 4: 347-358.

Pirkouhi M GH, Nobahar A and Dadashi A, 2012. Effects of variety, planting pattern and density of plant phenology traits basil plants (*Ocimum basilicum* L.).International Journal of Agricultural and Crop Sciences, 4(17):1221-1227.

Raiesi F, 2006. Carbon and N mineralization as affected by soil cultivation and crop residue in a calcareous wetland ecosystem in Central Iran. Agriculture Ecosystems & Environment 112: 13–20.

Rezaei Chineh A, Tajbakhsh M., Jamali M, and Qasiasi M. 2015. Evaluation of Yield and Indices Advantages at Different Intercropping Patterns of Dill (*Anethun graveolens* L.) and Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). Plant Production Technology, 16 (1): 15-27. (In Persian).

Roy S, Barman M, Puste A M, Gunri S k and Jana K, 2014. Growth, yield, water use efficiency and competitive functions of intercropping system of maize (*Zea mays* L.) and mungbean (*Vigna radiata* L.) as influenced by irrigation. SAARC Journal of Agriculture, 13(2): 94-107.

Singh A, Aggarwal N, Aulakh GS and Hundal R K, 2012.Ways to maximize the water use efficiency in field crops – A review. Greener Journal of Agricultural Sciences. 2(4): 108-129.

Soltani A, and Faragi A, 2008. Soil, Plant and Water Relations. Mashhad Jihad Daneshgahi Press.Sullivan P, 1998. Intercropping principles and production practices appropriate technology transfer for rural areas. Fayetteville, AR, 56–71.

Tsubo M, Walker S, and Mukhala E, 2001. Comparisons of radiation use efficiency of mono-inter-cropping systems with different row orientations. Field Crops Research 71: 17-29.

Yuanyuan R, Jiajia L, Zhiliang W and Suiqi Zh, 2016. Planting density and sowing proportions of maize–soybean intercrops affected competitive interactions and water-use efficiencies on the Loess Plateau, China. European Journal of Agronomy, 72: 70–79.

Zhang L, Van Der Werf W, Bastiaans L, Zhang S, Li B, and Spiertz JHJ, 2008. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. Field Crops Research, 107: 29-42.

Ziaie M, Sharifi M, Naghdi Badi, Tahsili J, and Ghorbani Nohoji M. 2014. A Review on Ocimum basilicum L. Medicinal Plant with a Focus on the most Important Secondary Compounds and its Medicinal and Agronomic Properties. Journal of Medicinal Plant, 14 (52): 26 -40. (In Persian).

Zotarelli, L, Scholberg JM, Dukes MD, Mun˜ oz-Carpena R, and Icerman J, 2009. Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling. Agricultural Water Management, 96: 23- 34.