

تأثیر سطوح مختلف رطوبت خاک در زمان آبیاری بر شاخص‌های رشد اندام هوایی، ریشه، عملکرد و کارایی مصرف آب خیار گلخانه‌ای

علیرضا شفقانی^۱، احمد کریمی^۲ و رحیم برزگر^{۳*}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۶/۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۱۵)

چکیده

هدف از تحقیق حاضر، ارزیابی اثر سطوح مختلف رطوبت خاک در زمان آبیاری بر رشد، عملکرد و کارایی مصرف آب خیار گلخانه‌ای رقم یلدا بود. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار و در سه تکرار در مرکز تحقیقات گلخانه‌ای اصفهان در سال ۱۳۹۵ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل رطوبت در حد ظرفیت مزرعه، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۴۵ درصد ظرفیت مزرعه بودند. آبیاری زمانی انجام شد که رطوبت خاک تا حد مقادیر فوق کاهش یافت. در این آزمایش، ارتفاع بوته، تعداد برگ، وزن تر اندام هوایی، متوسط سطح برگ، طول ریشه، وزن ریشه، وزن خشک ریشه، نسبت وزن شاخه به ریشه، تعداد میوه، عملکرد و کارایی مصرف آب اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که سطوح مختلف رطوبت خاک در زمان آبیاری بر خصوصیات ریشه، عملکرد و کارایی مصرف آب خیار گلخانه‌ای در سطح پنج درصد اثر معنی‌داری داشتند. با افزایش محتوای رطوبت خاک، رشد ریشه کاهش یافت. به طوری که تیمار ۴۵ درصد کسر رطوبت ظرفیت مزرعه در زمان آبیاری، بیشترین طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه را به خود اختصاص داد. بیشترین عملکرد از تیمارهای شاهد و ۱۰ درصد کسر رطوبت به دست آمد. نتایج نشان داد که تیمار، ۱۰ درصد کسر رطوبت ظرفیت مزرعه به دلیل بیشترین کارایی مصرف آب (۵/۲۸ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب) و عملکرد (۱۲/۳ کیلوگرم در مترمربع) بهترین تیمار بود.

واژه‌های کلیدی: تعداد میوه، تنش رطوبتی، ظرفیت مزرعه، عملکرد، نسبت اندام هوایی به ریشه

۱ و ۲. به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۳. استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: barzegar56@yahoo.com

مقدمه

بزرگ‌ترین چالش پیش روی کشاورزی ایران در دهه اخیر و سال‌های آینده، افزایش تولید غذا با آب کمتر به‌ویژه در مناطقی با محدودیت منابع آب و زمین است (۸). توسعه کشت‌های گلخانه‌ای از مواردی است که با حداکثر بهره‌وری آب، می‌تواند کمک مؤثری در مدیریت آب داشته باشد (۲۳).

در سال ۱۳۹۴ حدود هشت هزار هکتار به محصولات گلخانه‌ای اختصاص داشته که ۷۴/۸ درصد آن مربوط به کشت خیار گلخانه‌ای بوده است. از مجموع ۱/۷۳ میلیون تن تولید محصولات گلخانه‌ای در همین سال، ۸۴/۱ درصد آن مربوط به خیار گلخانه‌ای است (۱). همچنین گزارش شده که برای تولید یک کیلوگرم خیار در فضای باز، ۶۷۷ لیتر آب مصرف شده درحالی‌که برای تولید یک کیلوگرم خیار گلخانه‌ای ۴۰ لیتر آب مصرف می‌شود (۱).

آب در کشاورزی یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی و تنش‌های رطوبتی یکی از شایع‌ترین تنش‌های غیر زیستی است که اثرات آن به‌مدت زمان، دوام و شدت تنش بستگی دارد (۲۵). ریشه به‌عنوان یک اندام رویشی مهم، تأمین آب و مواد معدنی لازم برای رشد و نمو گیاه را برعهده دارد. ریشه‌ها قابل رؤیت نبوده و این امر سبب شده است تا با وجود نقش حیاتی آن، در بسیاری از موارد در بررسی شاخص‌های رشد به حساب نیایند (۱۱).

توسعه ریشه گیاه یکی از ویژگی‌هایی است که به‌صورت طبیعی تحت تأثیر مدیریت آبیاری و تنش‌های ناشی از آن قرار دارد. رشد و عملکرد اندام هوایی گیاه بازتابی از توزیع و فعالیت ریشه گیاه در مراحل مختلف رشد است. بنابراین چگونگی توسعه ریشه گیاهان کشت شده از نظر وضعیت، گسترش و فعالیت‌های منجر به جذب آب و عناصر غذایی در تولید محصولات بسیار مهم است (۱۹).

خیار گلخانه‌ای بسیار حساس به شرایط نامساعد محیطی است و حتی تغییرات جزئی در محتوای رطوبت خاک هم اثر سوء قابل ملاحظه‌ای بر رشد و عملکرد آن دارد (۴). تنش‌های آبی سبب بروز تغییرات زیادی از قبیل تغییر نسبت پراکنش

ریشه‌ها، کاهش سطح برگ یا تعداد برگ‌ها و درنهایت سبب کاهش رشد گیاه و عملکرد آن می‌شود. همچنین عملکرد میوه‌های خیار به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر میزان آب آبیاری در تمام مراحل رشد است. افزون بر این میزان پراکنش ریشه در سطح خاک و یا عمق خاک بستگی به میزان رطوبت و نحوه تأمین آن دارد (۲۱). وقتی توزیع ریشه توسط عوامل دیگر محدود نشود، مقدار رطوبت خاک عمق ریشه دوانی را کنترل می‌کند (۱۹). عقیده بر این است که مقدار کافی رطوبت در ناحیه ریشه، عامل مهمی برای استفاده کارآمد از عناصر غذایی موجود به‌شمار می‌آید. زمان، روش و مقدار آب آبیاری روی چگونگی توزیع ریشه مؤثر است (۶). گزارش شده که تنش خشکی، ریشه‌دوانی گیاه فسکو (*Festuca arandinacea*) را در لایه‌های ۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک افزایش می‌دهد (۳). درحالی‌که در شرایط خاک مرطوب، رشد طولی ریشه کندتر خواهد شد. آبیاری با فراوانی زیاد مانند آبیاری قطره‌ای که محیط را اشباع نگه می‌دارد، عامل محدود شدن رشد ریشه به عمق‌های سطحی خاک است (۱۰). از سوی دیگر گزارش شده که اعمال تنش رطوبتی در مراحل ابتدایی رشد گیاهان فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum*)، خیار (*Cucumis sativus*) و کدو (*Legenaria vulgaris*)، موجب بهبود رشد ریشه‌ها و عملکرد این محصولات شده است (۲۹).

در یک مطالعه روی خیار فضای آزاد، آبیاری بر اساس ۶۴، ۸۴ و ۱۰۰ درصد میزان تبخیر و تعرق و تیمارهای کودی شامل ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم بر هکتار ازت را بررسی کرده و نشان دادند خیار به شرایط کود و آب بسیار حساس است و با کاهش آب و کود عملکرد خیار فضای آزاد کاهش می‌یابد (۲). در مطالعه دیگری که به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف رطوبت خاک بر گیاه سیب‌زمینی انجام گرفت، هفت تیمار آبیاری شامل ۴۰، ۵۵، ۷۰، ۸۵، ۱۰۰، ۱۱۵ و ۱۳۰ درصد آبیاری کامل اعمال شد به‌طوری‌که تیمار ۱۰۰ درصد، معادل آبیاری کامل در نظر گرفته شد. نتایج حاکی از آن بود که با افزایش شدت تنش آبی

می‌شد. سیستم آبیاری به صورت قطره‌ای با دبی ۲/۵ لیتر در ساعت و هدایت الکتریکی و اسیدیته آب آبیاری به ترتیب برابر ۰/۳۱ دسی‌زیمنس بر متر و ۷/۸ بود. بذر خیار رقم یلدا در تاریخ ۹۴/۱۲/۱۷ ابتدا در سینی نشا حاوی پیت‌ماس کشت شد سپس نشاها بعد از گذشت ۱۴ روز، به زمین اصلی منتقل شدند. عملیات انتقال نشا به زمین اصلی در تاریخ ۱۳۹۵/۱/۲ انجام و دوره کشت به مدت ۱۴۰ روز به طول انجامید. حداقل و حداکثر دمای گلخانه محل آزمایش در طول شبانه‌روز بین ۱۸ تا ۲۸ درجه سلسیوس تنظیم شد. به منظور استقرار یافتن گیاه، آبیاری در همه تیمارها تا رسیدن به نقطه ظرفیت مزرعه انجام شد به این صورت که عمق ریشه در آبیاری‌های اولیه را ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته و توسط دستگاه رطوبت‌سنج، درصد رطوبت حجمی آن اندازه‌گیری و تا رسیدن به رطوبت ظرفیت مزرعه آبیاری شد. حجم آب مورد نیاز برای هر بوته از رابطه (۱) به دست آمد (۱۵).

$$VI = (\theta mFC - \theta mi) \times pb \times Drz \times A \quad (1)$$

که در آن VI بیانگر حجم آب مورد نیاز برای هر بوته بر حسب سانتی‌متر مکعب، θmi درصد رطوبت وزنی خاک در عمق مورد نظر، θmFC درصد رطوبت وزنی در نقطه ظرفیت مزرعه، pb جرم مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، Drz عمق ریشه گیاه بر حسب سانتی‌متر و A سطحی به طول و عرض ۴۰ سانتی‌متر (۴۰ × ۴۰) است. با در نظر گرفتن دبی قطره چکان‌ها، حجم آب به دست آمده برای هر بوته اعمال شد. عمق توسعه ریشه نسبت به زمان در طول دوره رشد تعیین شد و ملاک عمل قرار گرفت. به این صورت که در کنار تکرارها، بوته‌های اضافی نیز کشت شد و در هر ماه پس از آنکه رطوبت خاک اطراف بوته تا عمق ۶۰ سانتی‌متری به حد ظرفیت مزرعه می‌رسید، بوته از خاک خارج و حداکثر عمق توسعه ریشه اندازه‌گیری می‌شد. به طوری که عمق توسعه ریشه در زمان ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ روزگی به ترتیب برابر ۴۰، ۵۰ و ۶۰ سانتی‌متر بود. بیست روز پس از انتقال نشا به زمین اصلی و استقرار گیاه، اعمال تیمارهای

عملکرد و کارایی مصرف آب کاهش یافت (۲۲).

بسیاری از پژوهشگران تنش‌های رطوبتی را بر اساس درصدی از رطوبت ظرفیت مزرعه اعمال کرده‌اند ولی شیوه به کار رفته در این تحقیق، اعمال تنش بر اساس کسر درصدهای مختلف از ظرفیت نگهداری آب خاک است. هدف این آزمایش بررسی تأثیر سطوح مختلف رطوبت خاک در زمان آبیاری بر رشد ریشه، عملکرد و کارایی مصرف آب خیار گلخانه‌ای بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مرکز تحقیقات گلخانه‌ای در اصفهان با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۵۱۷ متر از سطح دریا، در مساحت ۱۲۰ متر مربع انجام شد. اندازه‌گیری‌های فیزیکی خاک قبل از شروع آزمایش، شامل تعیین نقطه ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم که توسط دستگاه صفحات فشاری اندازه‌گیری شد. همچنین بافت خاک به روش هیدرومتری و وزن مخصوص ظاهری خاک به روش نمونه‌گیری با سیلندر فلزی تعیین شد. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول (۱) ارائه شده است.

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار و سه تکرار اجرا شد که تیمارها شامل شش سطح صفر (شاهد)، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۴۵ درصد کسر رطوبت ظرفیت مزرعه بودند. هر واحد آزمایشی دارای سه خط کاشت بود که روی هر خط کاشت پنج بوته با فواصل ۴۰ سانتی‌متر روی ردیف و ۷۰ سانتی‌متر بین ردیف کشت شدند. فاصله بین هر پلات نیز ۱/۲۰ متر در نظر گرفته شد. به منظور تعیین درصد رطوبت حجمی خاک در زمان آبیاری، لوله‌های دستگاه رطوبت سنج مدل Diviner ۲۰۰۰ series II در هر تیمار تا عمق یک و نیم متری از سطح خاک نصب شد. بر این اساس زمانی که هریک از درصدهای بالا توسط دستگاه رطوبت‌سنج نشان داده می‌شد، این رطوبت را به عنوان نقطه شروع آبیاری در نظر گرفته و تا رسیدن به ظرفیت مزرعه، آبیاری در هر تیمار انجام

جدول ۱. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک گلخانه محل آزمایش (عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر)

K	P	N	OC	PWP	FC	SP	CEC	ρ_b	EC	pH	بافت
(ppm)		(%)					(Cmol kg ⁻¹)	(g cm ⁻³)	(dS m ⁻¹)	-	
۵۱۸	۱۸	۰/۱۶	۰/۶۸	۱۰/۱	۲۱/۵	۴۵	۱۶/۳	۱/۲	۲/۶	۷/۳	رسی شنی

ρ_b وزن مخصوص ظاهری خاک، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، SP: رطوبت اشباع، FC: ظرفیت مزرعه، PWP: نقطه پژمردگی دائم و OC: کربن آلی

دادن درون آن در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت و توزین ریشه‌ها توسط ترازو با دقت ۰/۰۱، وزن خشک آنها تعیین شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) اندازه‌گیری و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون توکی در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس جدول (۲) نشان داد که سطوح مختلف رطوبت خاک در زمان آبیاری بر ارتفاع گیاه، تعداد برگ، وزن تر اندام هوایی و سطح برگ اثر معنی‌داری در سطح یک درصد داشته است.

رشد اندام هوایی و ریشه

سطوح مختلف رطوبت خاک در زمان آبیاری بر ارتفاع گیاه، تعداد برگ، وزن تر اندام هوایی و سطح برگ اثر معنی‌داری در سطح یک درصد داشته است (جدول ۳) به طوری که بیشترین ارتفاع گیاه، تعداد برگ، وزن تر اندام هوایی و سطح برگ از تیمار صفر درصد کسر رطوبت مزرعه در زمان آبیاری و حداقل آنها از تیمار ۴۵ درصد کسر رطوبت مزرعه در زمان آبیاری به دست آمد (جدول ۳).

نتایج حاصل نشان داد که در تیمارهای مختلف با کاسته شدن میزان رطوبت خاک قبل از شروع آبیاری، ارتفاع گیاه و وزن تر اندام هوایی نیز شروع به کاهش کرده است. می‌توان گفت، کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستمی در طول روز موجب نقصان پتانسیل فشاری به حدی کمتر از میزان لازم برای بزرگ شدن سلول‌ها می‌شود. از آنجا که پدیده رشد،

آبیاری آغاز و تا پایان دوره رشد ادامه یافت. به منظور تعیین عملکرد محصول، میوه برداشت شده در هر تکرار از هر تیمار توزین شد. برداشت میوه زمانی انجام گرفت که طول میوه تقریباً به ۱۵ سانتی‌متر می‌رسید. شروع برداشت میوه از تاریخ ۹۵/۲/۸ آغاز و تا ۹۵/۴/۳۱ ادامه یافت. به منظور ارزیابی کارایی مصرف آب از رابطه (۲) استفاده شد:

$$WUE = \frac{Y}{W} \quad (2)$$

که در آن WUE کارایی مصرف آب بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب، Y مقدار محصول برداشت شده بر حسب کیلوگرم بر هکتار و W مصرفی بر حسب متر مکعب بر هکتار است. سطح برگ توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ با نام AM۳۵۰ Portable Leaf Area Meter، هر ۱۵ روز یک‌بار تا پایان دوره کشت اندازه‌گیری شد. به این صورت که از هر تکرار برگ‌های چهارم یا پنجم بالغ جدا شده و سطح برگ توسط دستگاه اندازه‌گیری شد. پس از اتمام فصل رشد، قسمت هوایی گیاه قطع و وزن تر اندام هوایی اندازه‌گیری شد. در پایان فصل رشد، به منظور استخراج ریشه‌ها از خاک، رطوبت خاک در عمق ۶۰ سانتی‌متری توسط دستگاه رطوبت‌سنج اندازه‌گیری شد و میزان آب لازم توسط رابطه (۱) در سطحی به طول و عرض ۳۰ سانتی‌متر برای رساندن رطوبت محیط ریشه به میزان FC محاسبه شد (۳۳). سپس تلاش شد که ریشه‌ها سالم از خاک خارج و با ملایمت در زیر جریان آب شسته و میزان وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه و رشد طولی آنها برای هر تکرار از هر تیمار اندازه‌گیری شود. رشد طولی ریشه‌ها با استفاده از متر اندازه‌گیری و در مرحله بعد، ریشه‌ها درون فویل آلومینیومی قرار گرفته و به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس از طریق قرار

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه

میانگین مربعات											
منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	تعداد برگ	وزن تر اندام گیاه	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	طول ریشه	نسبت اندام هوایی به ریشه	تعداد میوه	عملکرد هر بوته	کارایی مصرف آب
بلوک	۲	۳/۶۴ ^{BS}	۰/۲۶۶ ^{BS}	۲۰۱۴ ^{BS}	۰/۰۳ ^{BS}	۰/۰۰۷ ^{BS}	۰/۵۱ ^{BS}	۲/۰۷ ^{BS}	۱/۵۵ ^{BS}	۹۷۱۷ ^{BS}	۱/۰۳ ^{BS}
تیمار	۵	۱۰۴ ^{**}	۵/۳۶۱ ^{**}	۲۱۳۵۰ ^{**}	۲۱۴ ^{**}	۱/۳۰ ^{**}	۲۶۸ ^{**}	۹۵/۸ ^{**}	۴۸۹ ^{**}	۲۴۹۷۴۴ ^{**}	۸۶/۵ ^{**}
خطا	۱۰	۴/۶۷	۰/۱۶۲	۱۳۲۳	۰/۱۰۲	۰/۰۱۱	۰/۹۳۴	۱/۹۴	۲۳/۶	۷۲۲۱۲	۴/۸۸
ضریب تغییرات (%)		۱/۴۲	۱/۸۱	۱۰/۶۳	۰/۶۳	۲/۴۳	۰/۲۹	۸/۴۲	۱۱/۲	۱۰/۱۷	۱۰/۰۸

** و NS به ترتیب بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال یک درصد و عدم اختلاف معنی دار هستند

جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف رطوبت خاک در زمان آبیاری بر شاخص‌های رشد اندام هوایی و ریشه خیار گلخانه‌ای

درصد کسر رطوبت ظرفیت مزرعه در زمان آبیاری	ارتفاع گیاه		وزن تر اندام هوایی		متوسط سطح برگ تازه بالغ		وزن تر ریشه		وزن خشک		نسبت وزن تر اندام هوایی به ریشه	
	ارتفاع (سانتی‌متر)	برگ	وزن (گرم)	تعداد	طول (سانتی‌متر)	مساحت (متر مربع)	وزن (گرم)	ریشه (گرم)	طول ریشه (سانتی‌متر)	ریشه (گرم)	نسبت	به ریشه
۰	۱۶۱ ^a	۲۳/۸ ^a	۴۵۱ ^a	۲۳/۸ ^a	۴۷۶ ^a	۴۲/۳ ^c	۳۷۰ ^b	۲۴/۱ ^d	۲۴/۱ ^d	۱۰/۶۶ ^a		
۱۰	۱۵۳ ^b	۲۶/۸ ^b	۴۱۰ ^a	۲۶/۸ ^b	۴۴۵ ^b	۴۲/۴ ^c	۳۸۳ ^b	۳۴/۵ ^c	۳۴/۵ ^c	۹/۲۶ ^{ab}		
۲۰	۱۵۳ ^b	۲۶/۶ ^b	۳۶۴ ^{ab}	۲۶/۶ ^b	۴۱۶ ^c	۴۲/۸ ^c	۳۸۱ ^b	۳۵/۱ ^c	۳۵/۱ ^c	۸/۵۲ ^b		
۳۰	۱۵۰ ^{bc}	۲۶/۳ ^b	۳۱۶ ^b	۲۶/۳ ^b	۳۹۶ ^d	۵۵/۵ ^b	۴۸۳ ^a	۳۵/۵ ^c	۳۵/۵ ^c	۵/۶۹ ^c		
۴۰	۱۴۶ ^c	۲۱/۱ ^c	۲۹۳ ^{bc}	۲۱/۱ ^c	۳۵۷ ^e	۵۸/۸ ^a	۴۹۷ ^a	۴۵/۲ ^b	۴۵/۲ ^b	۴/۹۸ ^c		
۴۵	۱۴۵ ^c	۲۰/۱ ^d	۲۱۸ ^c	۲۰/۱ ^d	۳۳۹ ^f	۵۸/۹ ^a	۵۰۱ ^a	۵۱/۳ ^a	۵۱/۳ ^a	۳/۸ ^c		

میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف در سطح پنج درصد آزمون توکی هستند

خاک در زمان آبیاری تأثیر چشم‌گیری در افزایش وزن ریشه نداشت به طوری که تیمارهای صفر (شاهد)، ۱۰ و ۲۰ درصد کسر رطوبت ظرفیت مزرعه در زمان آبیاری، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد با یکدیگر ندارند. ولی کاهش رطوبت خاک در زمان آبیاری به میزان ۴۰ و ۴۵ درصد کسر رطوبت ظرفیت مزرعه منجر به افزایش وزن ریشه شد و باعث شد تا با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نشان دهند. در بحث رشد اندام هوایی ملاحظه شد که تنش اعمال شده منجر به کاهش سطح برگ شد. به دنبال کاهش گسترش برگ، از مصرف کربن و انرژی کاسته شده و میزان بیشتری از ذخایر گیاه در اختیار ریشه قرار می‌گیرد تا ریشه به منظور جذب بیشتر آب به سمت لایه‌های مرطوب خاک رشد کند (۲۰ و ۳۲) بنابراین به نظر می‌رسد میزان وزن ریشه به دلیل افزایش تخصیص اسیمیلات به ریشه افزایش یافته است.

نتایج به دست آمده از بررسی اثر تنش خشکی روی رشد ریشه خیار، نیز نشان داده که اعمال تنش خفیف (آبیاری یک روز در میان) در مراحل ابتدایی رشد گیاهچه لفل دل‌مه‌ای، خیار و کدو موجب بهبود رشد ریشه‌ها و عملکرد این محصولات شده است (۲۹). همچنین نتایج به دست آمده از مطالعه دیگری حاکی از اثر مثبت تنش خشکی ملایم (آبیاری یک روز در میان) در مرحله تولید نشای گوجه‌فرنگی و بادمجان به رشد گیاه در زمین اصلی بوده است (۱).

وزن خشک ریشه

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس جدول (۲) نشان داد که سطوح مختلف رطوبت خاک در زمان آبیاری بر وزن خشک ریشه اثر معنی‌داری در سطح یک درصد داشته است به طوری که بیشترین وزن خشک ریشه مربوط به تیمار ۴۵ درصد کسر رطوبت ظرفیت مزرعه بود که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای ۴۰ و ۳۰ درصد کسر رطوبت نداشت و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد بود که با تیمارهای ۲۰ و ۱۰ درصد کسر رطوبت تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین در

حاصل فعالیت‌های حیاتی در شرایطی است که گیاه بایستی آب کافی در اختیار داشته باشد، در صورت عدم تأمین آب مورد نیاز به دلیل کاهش فشار تورژسانس سلول‌های در حال رشد و اثر بر طول سلول‌ها، ارتفاع گیاه کم می‌شود (۱۶). نتایج ارائه شده در جدول (۳) نشان می‌دهد، کاهش رطوبت خاک در فواصل بین دو آبیاری منجر به کاهش تعداد برگ شده است. یکی از راهکارهای گیاه در زمان وقوع تنش، کاهش تعداد برگ است. کاهش تعداد برگ در زمان تنش به علت پیری زودرس گیاه و تجمع زیاد اتیلن، راهی برای کاهش تعرق و رسیدگی زودتر گیاه برای فرار از تنش است (۱۴).

از سوی دیگر نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳) نشان داد اثر سطوح مختلف رطوبت خاک در زمان آبیاری بر سطح برگ اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد در بین تمامی تیمارها ایجاد کرده است به طوری که بیشترین سطح برگ مربوط به تیمار شاهد و کمترین آن مربوط به تیمار ۴۵ درصد کسر رطوبت ظرفیت مزرعه بوده است. بر این اساس می‌توان گفت که مهم‌ترین نتیجه حساسیت رشد سلول به کمبود رطوبت، کاهش قابل توجه در رشد برگ و در نتیجه مساحت برگ است (۵، ۲۱ و ۲۸). این موضوع به کمبود فشار تورژسانس، بسته شدن روزنه‌ها و در نهایت افت جذب عناصر غذایی در محیط تنش مربوط می‌شود که این شرایط منجر به کاهش سطح فتوسنتز کننده و کارایی اندام‌های فتوسنتزی برای تولید مواد فتوسنتزی شده که نتیجه آن کاهش رشد اندام هوایی و متعاقب آن کاهش وزن تر اندام هوایی شده است (۲۶).

وزن تر ریشه

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که سطوح مختلف رطوبت خاک در زمان آبیاری، بر وزن تر ریشه اثر معنی‌داری در سطح یک درصد داشته است به طوری که بیشترین وزن تر ریشه مربوط به تیمار ۴۵ درصد کسر رطوبت ظرفیت مزرعه و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۳). نکته دارای اهمیت این است که سطوح مختلف رطوبت

باعث افزایش بیوماس اندام هوایی نسبت به ریشه و در نتیجه سبب افزایش این نسبت در مقایسه با شرایط تنش شده است. بر اساس نتایج مقایسه میانگین در سطح پنج درصد (جدول ۳)، نسبت اندام هوایی به ریشه در تیمارهای ۴۵، ۴۰ و ۳۰ درصد کسر رطوبت ظرفیت مزرعه در زمان آبیاری فاقد اختلاف معنی‌دار بود.

افزایش تنش اعمال شده منجر به افزایش طول ریشه نسبت به تیمار شاهد شد. دلیل این موضوع آن است که به‌علت کاهش رطوبت خاک تا نزدیکی درصد پژمردگی در فاصله بین دو آبیاری، گیاه به جذب رطوبت توسط ریشه در اعماق پایین‌تر وابسته شده تا آب از دست رفته گیاه در اثر تعرق را جایگزین کند (۱۸). نتایج ارائه شده در جدول ۳، نشان داد که با کاهش میزان رطوبت خاک در زمان آبیاری، تمایل ریشه به طرف عمق بیشتر شده است. تجمع آب‌سبزیک اسید به‌وسیله تنش خشکی در بسیاری از گیاهان گزارش شده است (۳۴). وقتی گیاه در شرایط تنش خشکی قرار می‌گیرد، روزنه‌ها در اثر سنتز اسید آب‌سبزیک بسته شده و به‌دنبال آن با کاهش ساخت و انتقال مواد فتوسنتزی، منجر به کاهش رشد گیاه می‌شود (۳). آب‌سبزیک اسید تولید شده می‌تواند از طریق توقف تولید اتیلن (که مانع از رشد ریشه‌ها می‌شود) و همچنین با خنثی کردن اثر جیبرلین، سبب تحریک رشد ریشه‌ها شود (۱۲). در چنین شرایطی به‌منظور افزایش جذب آب، اغلب رشد زیست‌توده گیاه کاهش یافته و مواد فتوسنتزی بیشتری در اختیار ریشه قرار می‌گیرد (۲۰ و ۳۲). بنابراین رشد ریشه به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از ساقه خواهد بود. به این ترتیب با افزایش نسبت ریشه به ساقه میزان تعرق کاهش می‌یابد (۳۱).

شاخص‌های عملکرد میوه خیار

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین تیمارها در تعداد میوه و وزن میوه مشاهده شد به‌طوری که بیشترین تعداد میوه و وزن میوه مربوط

به سطح پنج درصد (جدول ۳) نشان داد تیمارهای ۴۰، ۴۵ و ۳۰ درصد کسر رطوبت ظرفیت و همچنین تیمارهای ۲۰، ۱۰ و صفر درصد کسر رطوبت ظرفیت مزرعه در زمان آبیاری فاقد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر هستند. بنابراین می‌توان گفت ۳۰ درصد کسر رطوبت ظرفیت مزرعه در زمان آبیاری توانسته سبب افزایش وزن خشک ریشه شود.

طول ریشه

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس جدول (۲) نشان داد که سطوح مختلف رطوبت خاک در زمان آبیاری بر طول ریشه اثر معنی‌داری در سطح یک درصد داشته است به‌طوری که حداکثر طول ریشه مربوط به تیمار ۴۵ درصد کسر رطوبت ظرفیت مزرعه در زمان آبیاری و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد بود. نتایج مقایسه میانگین در سطح پنج درصد (جدول ۳) نشان داد تیمار ۴۵ درصد کسر رطوبت با سایر تیمارها دارای اختلاف معنی‌دار بود. طول ریشه در تیمارهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد کسر رطوبت ظرفیت مزرعه در زمان آبیاری فاقد اختلاف معنی‌دار بود.

نسبت وزن تر اندام هوایی به ریشه

این نسبت بر مبنای وزن تر اندام هوایی به وزن تر ریشه بوده است. نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس جدول (۲) نشان داد که سطوح مختلف رطوبت خاک در زمان آبیاری بر نسبت اندام هوایی به ریشه اثر معنی‌داری در سطح یک درصد داشته به‌طوری که بیشترین نسبت اندام هوایی به ریشه مربوط به تیمار شاهد و کمترین آن مربوط به تیمار ۴۵ درصد کسر رطوبت ظرفیت مزرعه در زمان آبیاری بود. نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳) نشان داد که با کاهش میزان رطوبت خاک در زمان آبیاری، نسبت اندام هوایی به ریشه در تیمارهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد کسر رطوبت به‌ترتیب ۹/۳۸، ۲۰/۰۷، ۴۶/۶۲، ۵۳/۲۹ و ۶۵/۲۹ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافته است. بر اساس نتایج به‌دست آمده فراهمی رطوبت در تیمار شاهد

جدول ۴. نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف رطوبت خاک در زمان آبیاری بر شاخص‌های عملکرد میوه و کارایی مصرف آب خیار گلخانه‌ای

کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	عملکرد (کیلوگرم بر مترمربع)	تعداد میوه در بوته	درصد کسر رطوبت ظرفیت مزرعه در زمان آبیاری
۲۶/۸ ^{ab}	۱۴/۰ ^a	۶۱/۳ ^a	۰
۲۸/۵ ^a	۱۲/۳ ^{ab}	۵۴/۳ ^{ab}	۱۰
۲۳/۸ ^{abc}	۹/۸۷ ^{bc}	۳۵/۱ ^{bc}	۲۰
۱۹/۹ ^{bcd}	۸/۰۶ ^{cd}	۳۷/۳ ^c	۳۰
۱۷/۱ ^{cd}	۶/۶۷ ^{cd}	۳۴ ^c	۴۰
۱۵/۱ ^d	۵/۶۷ ^d	۲۷/۶ ^c	۴۵

میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف در سطح پنج درصد آزمون توکی هستند

جدول ۵. میزان عملکرد میوه، آب مصرفی و کارایی مصرف آب خیار در تیمارهای مختلف آبیاری

ویژگی	تیمار	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۴۵
عملکرد میوه (کیلوگرم بر مترمربع)		۱۴/۰	۱۲/۳	۹/۸۷	۸/۰۶	۶/۶۷	۵/۶۷
حجم آب مصرفی (مترمکعب بر مترمربع)		۰/۵۲۱	۰/۴۳۲	۰/۴۱۴	۰/۴۰۳	۰/۳۸۹	۰/۳۷۵
کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)		۲۶/۸	۲۸/۵	۲۳/۸	۱۹/۹	۱۷/۱	۱۵/۱

(۲۷). در مطالعه دیگری که تیمارهای ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، و ۱۲۵ درصد تبخیر از تشت را روی عملکرد خیار در شرایط مزرعه بررسی کردند، به این نتیجه رسیدند که با کاهش آب کاربردی، عملکرد گیاه نیز به‌طور چشم‌گیری کاهش یافت (۲۸). در تحقیق دیگری گزارش شده که بیشترین عملکرد از تیمار آبیاری به مقدار نیاز آبی گیاه و کمترین عملکرد از تیمار آبیاری به مقدار ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌دست آمد (۱۷).

کارایی مصرف آب

نتایج تجزیه واریانس جدول (۲)، نشان داد که اثر سطوح مختلف رطوبت خاک در زمان آبیاری بر کارایی مصرف آب در سطح یک درصد معنی‌دار بود به‌طوری‌که بیشترین کارایی مصرف آب مربوط به تیمار ۱۰ درصد کسر رطوبت و کمترین آن مربوط به تیمار ۴۵

به تیمار شاهد بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار ۱۰ درصد کسر رطوبت ظرفیت مزرعه نداشت و کمترین آن مربوط به تیمار ۴۵ درصد کسر رطوبت ظرفیت مزرعه بوده است (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴) نشان داد که هرچه میزان رطوبت خاک در زمان آبیاری بیشتر بوده، مقدار عملکرد افزایش یافته است به‌طوری‌که در تیمارهای ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۴۵ درصد کسر رطوبت ظرفیت مزرعه در زمان آبیاری به‌ترتیب ۱۲/۰۳، ۱۲/۰۳، ۲۹/۵۱، ۴۲/۴۰، ۵۲/۳۸ و ۵۹/۴۸ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش عملکرد مشاهده شد. در پژوهشی که اثر سه سطح رطوبتی خاک (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه) بر عملکرد خیار گلخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت، نیز گزارش شد که بیشترین عملکرد بوته از تیمار ۱۰۰ درصد و کمترین عملکرد نیز از تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد

به‌دست آمد و با کاهش میزان مصرف آب به‌میزان ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی، کارایی مصرف آب کاهش یافت (۱۳). همچنین در تحقیق دیگری بیشترین کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی را در تیمار آبیاری بخشی ناحیه ریشه با تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی و کمترین آن را در تیمار کم‌آبیاری با تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گزارش کردند (۲۴).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که خیار گلخانه‌ای به افزایش دور آبیاری بسیار حساس است به‌طوری که هرچه میزان رطوبت خاک در فاصله بین دو آبیاری کاهش یابد، تمایل ریشه به طرف عمق بیشتر شده و در نتیجه میزان طول و وزن تر و خشک ریشه افزایش می‌یابد و متعاقب آن سبب کاهش رشد اندام هوایی و درنهایت سبب کاهش عملکرد میوه می‌شود.

به‌طورکلی تیمار ۱۰ درصد کسر رطوبت ظرفیت مزرعه در زمان آبیاری با کاهش ۲۰ درصدی آب مصرفی نسبت به تیمار شاهد، بدون کاهش معنی دار عملکرد میوه سبب افزایش ۱۰/۶ درصدی کارایی مصرف آب نسبت به تیمار شاهد شد. بنابراین با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان مدیریت آبیاری با ۱۰ درصد کسر رطوبت ظرفیت مزرعه را به‌عنوان مدیریت مناسب برای خیار گلخانه‌ای پیشنهاد کرد.

درصد کسر رطوبت ظرفیت مزرعه بوده است (جدول ۴). با توجه به نتایج جدول (۵) تیمار ۱۰ درصد کسر رطوبت ظرفیت مزرعه در زمان آبیاری با کاهش ۲۰ درصدی آب مصرفی نسبت به تیمار شاهد، بالاترین میزان کارایی مصرف آب را به خود اختصاص داده است. عملکرد بالا در اثر آب کافی به این دلیل است که ریشه گیاه همیشه مرطوب بوده و عناصر بیشتر در دسترس گیاه قرار می‌گیرند. علاوه بر این با افزایش سطح برگ، فتوسنتز هم بیشتر شده و مواد کربوهیدراتی زیادی ساخته می‌شود که باعث افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب می‌شود (۹). در پژوهشی که به‌منظور بررسی اثر آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب خیار گلخانه‌ای انجام گرفت نیز گزارش شد که با کاهش میزان رطوبت خاک مقدار کارایی مصرف آب به‌شدت کاهش یافت به‌طوری که بیشترین مقدار کارایی مصرف آب در تیمار آبیاری به‌مقدار نیاز آبی گیاه و کمترین آن از تیمار آبیاری به‌میزان ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد (۱۷). نتایج تحقیق دیگری نشان داد که شروع آبیاری خیار گلخانه‌ای در پتانسیل ۱۰۰- هکتوپاسکال سبب افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب نسبت به تیمار شروع آبیاری در پتانسیل ۳۰۰- هکتوپاسکال شده است (۷). در مطالعه دیگری که به‌منظور بررسی میزان آبیاری بر عملکرد و بازده مصرف آب روی گوجه‌فرنگی انجام شد، نتایج نشان داد که بیشترین کارایی مصرف آب در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, K., H. Gholizadeh, H. R. Ebadzadeh, F. Hatami, R. Hosseinpoor, R. Kazemifard and H. Abdshah. 2016. Effects of Drought Stress on Some Morphological Characteristics of Tomato (*Solanum lycopersicum*), Pepper (*Capsicum annum*) and Eggplant (*Solanum melongena*) Seedlings after Planting in the Main Land. Agricultural Statistics Year 2015. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Deputy Director of Planning and Economic, Information Technology Center and Communications, Tehran. (In Farsi).
- Amer, K. H., S. A. Midan and J. L. Hatfeld. 2009. Effect of deficit irrigation and fertilization on cucumber. *Agronomy Journal* 101: 1556-1564.
- Amrijit, K. N., S. Kumari and D. R. Sharma. 2005. In vitro selection and characterization of water stress tolerance culture of bell pepper. *Plant Physiology* 10: 14-19.
- An, Y. Y. and Z. S. Liang. 2013. Drought tolerance of *Periploca sepium* during seed germination: antioxidant defense and compatible solutes accumulation. *Acta Physiology Plant* 35: 959-967.
- Bagheri, A., A. Nezami and M. Sultani. 2001. Breeding for stress tolerance in cool season food Legumes.

- Agricultural Research* 78:326-347. (In Farsi).
6. Bingru, H. and G. Hongwen. 2000. Root physiological characteristics associated with drought resistance in tall fescue cultivars. *Crop Science* 40: 196-203.
 7. Buttaro, D., P. Santamaria, A. Signore, V. Cantorea, F. Boaria, F. Montesano and P. Angelo. 2014. Irrigation management of greenhouse tomato and cucumber using tensiometer effects on yield, quality and water use. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 4:440-444.
 8. Dehghan, H., A. Alizadeh, K. Esmaili and S. A. Nemati. 2015. Root growth, yield and yield components of tomato in drought stress. *Journal of Water Research in Agriculture* 29 (2): 169-179. (In Farsi).
 9. El-Haris, M. K. and A. H. Abdel-Razek. 1997. Effect of water quantity on onion yield under sprinkler irrigation. *Journal of Agriculture Research* 42: 127-135.
 10. Ellis, F. B. and B. T. Barnes. 1980. Growth and development of root system of winter cereals grown after different tillage methods including direct drilling. *Plant and Soil* 55: 283-288.
 11. Eric, O. and E. S. Robert. 2007. Regulation of root growth responses to water deficit. PP. 33–53. In: Jenks, M. A., P. M. Hasegawa and S. M. Jain (Eds.), *Advances in Molecular Breeding toward Drought and Salt Tolerant Crops*. Springer, Berlin, Germany.
 12. Glick, B. R., D. M. Penrose and J. Li. 1998. A model for the lowering of plant ethylene concentrations by plant growth-promoting bacteria. *Journal of Theoretical Biology* 190: 63–68.
 13. Golkar, F., A. Farahmand and H. Fardad. 2008. Investigating the effect of irrigation water on yield and water use efficiency in tomato. *Journal of Water Engineering* 1: 13-20. (In Farsi).
 14. Hakymynya, A., S. Boland nazar and S. J. Tabatabai. 2013. Limited effect of irrigation in different growth stages on vegetative traits, yield and water use efficiency of onion. *Journal of Agricultural Science* 23: 11-26.
 15. Hanks, R. J. and G. L. Ashcroft. 1980. *Applied Soil Physics*. Springer-Verlag, New York.
 16. Kafi, M., A. Borzouei, M. Salehei, A. Kamandi, A. Masoumi and J. Nabati. 2009. *Environmental Stress Physiology in Plants*. Jahad Daneshgahi Mashhad Press. Mashhad.
 17. Karimi, N., A. Sadreddini, M. Nazemi, D. Farsadi zadeh, A. Hosseinzade and F. Dehghani. 2010. The effect of deficit irrigation on growth and yield of greenhouse cucumber. *Journal of Water and Soil Science* 20(1): 15-25. (In Farsi).
 18. Kohi-Chellakaran, N., A. Alizadeh and K. Davari. 2015. The effect of different irrigation amounts on root length and grain corn yield in drip irrigation. *Journal of Water Research in Agriculture* 29(3): 331-340. (In Farsi).
 19. Lebowski, C. A. M., R. H. Dowdy, R. R. Allmars and J. A. Lamb. 1998. Soil strength and water content influences on corn root distribution in a sandy soil. *Plant and Soil* 203: 239-247.
 20. Liu, F. and H. Stutzel. 2004. Biomass partitioning, specific leaf area, and water use efficiency of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to water stress. *Scientia Horticulturae* 102: 15–27.
 21. Mao, X., M. Liu, X. Wang, C. Liu, Z. Hou and J. Shi. 2003. Effects of deficit irrigation on yield and water use of greenhouse grown cucumber in the North China Plain. *Agricultural Water Management* 61:219–228.
 22. Naderi M., M. Shayannejad, S. Heydari and B. Truth. 2016. Effect of different levels of soil moisture during irrigation on quantitative and qualitative properties of potato in Shahr-e-Kord and determining the depth of its optimum water consumption. *Journal of Water and Soil* 30 (5): 1370-1381. (In Farsi).
 23. Nasohi. Gh. 2002. *Greenhouse Cucumbers*. Nosuh Press, Tehran. (In Farsi).
 24. Nourmnad, N., M. R. Nouri Emamzadehi, B. Ghorbani and A. Mohammad Khani. 2007. Investigating the effect of traditional irrigation and irrigation on the yield and water efficiency of tomatoes. In: *Proceeding of the Ninth Irrigation Seminar and Reduction of Evaporation*, Kerman. (In Farsi).
 25. Pandey, R. K., J. W. Maranville and A. Admou. 2001. Tropical wheat response to irrigation and nitrogen in a Sahelian environment. I. Grain yield, yield components and water use efficiency. *European Journal of Agronomy* 15: 93-105.
 26. Pardo, A., M. Amato and F. Q. Chiaranda. 2000. Relationships between soil structure, root distribution and water uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). I. Plant growth and water distribution. *Europe Journal Agronomy* 13: 39-45.
 27. Rajaei, M., M. Attarzade, S. H. Mousavi and M. Attarzade. 2015. Use of (*Glycyrrhiza glabra*) compost in decreasing the effect of low water stress in greenhouse cucumber. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 25: 79 – 90. (In Farsi).
 28. RoupHael, Y. and C. Giuseppe. 2005. Radiation and water use efficiencies of greenhouse zucchini squash in relation to different climate parameters. *European Journal of Agronomy* 23: 183-194.
 29. Sadeghi, M., A. Ahmadian, H. Gholami tile bani and A. Gulpaygani. 2011. Effect of drought stress on morphological characteristics in the seedling of cucumber (*Cucumis sativs*) pepper (*Capsicum annum*) and pumpkin (*Legenaria vulgaris*) after planting in the ground operation. In: *Proceeding of the First National Conference on Strategies to Achieve Sustainable Agriculture*, Ahvaz, Khuzestan Province PNU. (In Farsi).
 30. Simsek, M., T. Tonkaz, M. Kacra, N. Comlekcioglu and Z. Dogan. 2005. The effects of different irrigation regimes on cucumber (*Cucumbis sativus* L.) yield and yield characteristics under open field conditions. *Agricultural*

Water Management 73: 173-191.

31. Singh, P. 1991. Influence of water deficits on Phenology, growth and dry mater allocation in chickpea (*Cicer arietinum*). *Field Crops Research* 28: 1-15.
32. Villagra, P. E. and J. B. Cavagnaro. 2006. Water stress effects on the seedling growth of *Prosopis argentina* and *Prosopis alpataco*. *Journal of Arid Environment* 64: 390-400.
33. Voldabadi, S. A. and H. Abadi Farahani. 2008. Effect of potassium application on quantitative properties and root development in corn, sorghum and millet under drought stress conditions. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding* 4: 37-48.
34. Yang, J., X. loui, B. Kiu, J. Li and D. He. 2004. Hormonal changes in plants grown under reduced irrigation. *Journal of Central European Agriculture* 10: 123-129.

Effects of Soil Moisture Deficit Levels at Irrigation time on Shoot and Root Growth Indices, Yield and Water Use Efficiency of Greenhouse Cucumber

A. Shafaei¹, A. Karimi² and R. Barzegar^{3*}

(Received: January 15-2018; Accepted: July 7-2018)

Abstract

The aim of this study was to evaluate the effect of different levels of soil moisture at irrigation time on root growth, yield and water use efficiency of greenhouse cucumber (*Cucumis sativus* L.), Yalda cultivar. The experiment was conducted in a randomized complete block design with six treatments and three replications in Isfahan Greenhouse Research Center in 2016. These experimental treatments included: field capacity (FC), 10% FC, 20% FC, 30% FC, 40% FC and 45% FC. Therefor, Irrigation was carried out after reducing the soil moisture to above values. In this experiment, plant height, leaf number, fresh weight of shoot, average leaf area, root length, root fresh weight, root dry weight, shoot to root ratio, fruit number, yield and water use efficiency were measured. The results showed that different levels of soil moisture at irrigation time had significant ($p < 0.05$) effect on root growth, yield and water use efficiency of greenhouse cucumber. The results also indicated that root growth decreased with increasing soil moisture content. The highest root length, fresh and dry weight of the root were achieved with the treatment of 45% moisture content of the field capacity at irrigation time. The highest yield was obtained in FC and 10% FC treatments. The results showed that the best treatment was 10% FC treatment due to highest water use efficiency (5.28 kg.m^{-3}) and yield (12.3 kg.m^{-2}).

Keywords: Field capacity, Fruit number, Shoot to root ratio, Water Stress, Yield

1, 2. MSc. Student and Assistant Professor, Respectively, Department of Soil Science, Agriculture Faculty, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Horticulture Science, Agriculture Faculty, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

*: Corresponding Author, Email: barzegar56@yahoo.com