بررسی اثر رژیم‌های مختلف آب آبیاری بر توسعه ریشه و بهره‌وری مصرف آب گیاه فلفل سبز

فراست سجادی، حسین شریفان و صابر جمالی[1*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۲/۲۷)

چکیده

عملکرد گیاه، تابعی از توزیع ریشه و فعالیت آن است. در شرایط غرقابی، رشد کافی و کارایی ریشه برای بهره‌وری محصول ضروری هستند. هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر رژیم‌های متفاوت آبیاری بر توسعه ریشه، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه فلفل سبز (*Capsicum annum* L. رقم گرین هاشمی بود. آزمایش مذکور در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای در بهار و تابستان سال ۱۳۹۴ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، انجام شد. رژیم‌های مختلف آبیاری شامل سه سطح (۱۰۰، ۱۲۵ و ۱۵۰ درصد تبخیر از تشت کلاس A) بود. نتایج نشان داد که بیش‌آبیاری بر حجم، طول، سطح ریشه، وزن تر و خشک ریشه و تعداد میوه برداشت شده در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی بر بهره‌وری مصرف آب و وزن تر و خشک میوه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که گیاه فلفل سبز به بیش‌آبیاری حساس است، به‌طوری‌که افزایش میزان آب آبیاری از ۱۰۰ به ۱۲۵ درصد تبخیر از تشت، حجم ریشه، طول ریشه، بهره‌وری مصرف آب، تعداد میوه برداشت شده و وزن تر میوه را به‌میزان ۲۰، ۱۳/۸، ۲۶، ۲۹ و ۶/۴ درصد کاهش داد. همچنین نتایج حاکی از آن است که افزایش آب آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار وزن تر میوه شد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری مصرف آب، بیش‌آبیاری، تعداد میوه، حجم و سطح ریشه، وزن تر میوه فلفل

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: sa13e12@gmail.com

مقدمه

فلفل قلمی با نام علمی (*Capsicum annum* L.) یکی از محصولات مهم جالیزی به‌شمار می‌رود. اطلاعات موجود در زمینه تولید محصولات گلخانه‌ای با توجه به کمبود منابع آبی قابل دسترس در بخش کشاورزی کشور ایران محدود است. به‌همین دلیل اطلاع از وضعیت موجود جهت استفاده پایدار از منابع آب برای تولید محصولات کشاورزی لازم است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ۹۹ درصد از سطح زیرکشت محصولات گلخانه‌ای به خیار، هشت درصد به گوجه‌فرنگی و چهار درصد به فلفل به‌عنوان کشت دوم اختصاص دارد (۲). رشد اکثر گیاهان تحت تأثیر عومل مختلف محیطی و گیاهی است، به‌طوری‌که فلفل نیز تحت تأثیر این شرایط قرار می‌گیرد (۲۲). اعمال تنش شوری کلرید سدیم در گیاه فلفل موجب کاهش معنی‌دار رشد ریشه در تیمارهای شوری نسبت به تیمار شاهد شده است (۱۲). هر یک از شاخص‌های رشد گیاه از جمله ارتفاع بوته، طول ریشه، حجم ریشه، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه و وزن خشک ریشه در تنش آبیاری تحت تأثیر قرار می‌گیرد. نتایج تحقیقات حاصل از تأثیر تنش آبی در رشدگیاه فلفل، کاهش هریک از پارامترهای فوق نسبت به حالت بدون تنش آبی را نشان داده است (۲۳). سالاریان (۳) نشان داد که رژیم‌های مختلف آبیاری (۷۵، ۸۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) بر تعداد میوه، وزن تر و خشک ریشه، طول ریشه، وزن میوه، کارایی مصرف آب در گیاه فلفل دلمه‌ای، اثر منفی معنی‌داری داشت. سرهنگ‌زاده (۵) در تحقیقات خود بر روی گیاه ذرت نشان داد که سطوح مختلف بیش‌آبیاری، منجر به کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک ریشه، ارتفاع گیاه و قطر ساقه شد.

ریشه به‌عنوان یک اندام رویشی مهم، تأمین آب و مواد معدنی لازم برای رشدونمو گیاه را بر عهده دارد. ریشه‌ها در شرایط عادی قابل مشاهده نبود و این امر سبب شده است تا با وجود نقش حیاتی ریشه در بسیاری از موارد، مورد توجه قرار نگیرند (۱). لابوسکی و همکاران (۱۹) بیان کردند که وقتی توزیع ریشه توسط عوامل دیگر محدود نشود، مقدار رطوبت خاک عمق ریشه دوانی را کنترل می‌کند. به عقیده این محققان مقدار کافی رطوبت در ناحیه ریشه، عامل مهمی برای استفاده کارامد از عناصر غذایی موجود به‌شمار می‌آید. ضیائیان و ملکوتی (۶) بیان کردند که زمان، روش و مقدار آب آبیاری روی چگونگی توزیع ریشه مؤثر است.

در تحقیقی دیگر به‌منظور بررسی اثر مقادیر آب آبیاری بر رشد ریشه و اندام‌های هوایی ارقام سورگوم علوفه‌ای، نتایج نشان داد که کاهش مقدار آب آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار وزن خشک، طول، حجم و سطح ریشه، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه و سطح برگ، نسبت اندام هوایی به ریشه شد (۱۱). به‌طورکلی، غرقاب شدن خاک در اثر بیش‌آبیاری از راه‌های مختلف بر رشد گیاه اثر می‌گذارد که عبارت‌اند از: ۱- اثر بر قابلیت جذب و انتقال عناصر غذایی به اندام‌های هوایی (برای مثال کاهش قابلیت جذب نیتروژن برای گیاه در خاک به‌دلیل هدررفت آن از طریق فرایند نیترات‌زدایی و بروز کمبود نیتروژن در گیاه)، ۲- تولید اتانول و متابولیت‌های سمی برای گیاه، پس از غرقاب شدن خاک، بر اثر کمبود اکسیژن، در ریشه‌های گیاه متابولیسم بی‌هوازی (فرایند تخمیر) انجام می‌شود و سبب تشکیل و انباشته شدن اتانول و لاکتات می‌شود که به رشد گیاه آسیب می‌زند، ۳- در متابولیسم بی‌هوازی (فرایند تخمیر) کمتری تولید می‌شود که سبب مختل شدن وظایف سلول‌های گیاه می‌شود، ۴- کاهش تولید کلروفیل یا تجزیه آن سبب کاهش شدت فتوسنتز و بروز کمبود کربوهیدرات‌ها در گیاه می‌شود که رشد گیاه را کم می‌کند. در تأیید این مطلب، افزودن گلوکز به محیط رشد گیاه اثر مضر غرقاب بر رشد ریشه‌ها را کاهش می‌دهد و ۵- غرقاب شدن خاک از ساخت و انتقال هورمون‌های سیتوکینین و جیبرلین به اندام‌های هوایی جلوگیری می‌کند، در نتیجه رشد گیاه کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، هورمون‌های اتیلن و آبسیزیک اسید در ریشه انباشته می‌شوند و می‌توانند به اندام‌های هوایی نیز انتقال یابند و رشد گیاه بر اثر زیادی آنها کاهش می‌یابد. به‌عبارت دیگر، غرقاب شدن خاک سبب بروز اختلالات هورمونی در گیاه می‌شود (۱۵ و ۲۰).

توسعه ریشه‌های گیاه علاوه‌بر اینکه یک صفت ژنتیکی است، به وضعیت محیطی که در آن رشد می‌کند نیز وابسته است (۹). طباطبایی و همکاران (۷) در تحقیقی به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف آبی بر رشد، عملکرد و کارایی مصرف آب فلفل دلمه‌ای در شرایط گلخانه‌ای به این نتیجه رسیدند که با کاهش مصرف آب، تعداد میوه، وزن تر و خشک میوه، وزن خشک اندام هوایی و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

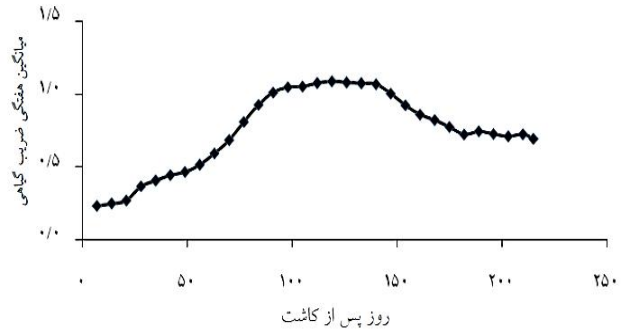
سجادی (۴) به‌منظور بررسی تأثیر توأم سطوح مختلف شوری و بیش‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه فلفل سبز، نشان دادند که سطوح مختلف بیش‌آبیاری بر وزن تر و خشک میوه، تعداد میوه و وزن تر و خشک ریشه اثر معنی‌داری داشت. نتایج کرناک و همکاران (۲۴) به‌منظور بررسی اثر توأم سطوح مختلف آبیاری و ارقام مختلف بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه فلفل با چهار سطح (۱۲۵، ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد تبخیر از سطح تشت کلاس A) نشان داد که افزایش میزان آب آبیاری در سه رقم ACE، King و Queen منجر به افزایش متوسط وزن میوه و کاهش راندمان مصرف آب شده است. در تحقیقی دیگر نتایج نشان داد که بیش‌آبیاری منجر به کاهش وزن میوه، تعداد میوه، عملکرد میوه، طول و قطر میوه در گیاه بادمجان شد، ولی بین سطوح مختلف کم‌آبیاری و شاهد اختلاف معنی‌داری در صفات ذکر شده مشاهده نشد (۲۴)، همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که بیش‌آبیاری منجر به کاهش بهره‌وری در مصرف آب شد. نتایج تحقیقی بر روی گوجه‌فرنگی نشان داد که سطوح مختلف کم‌آبیاری منجر به کاهش بهره‌وری مصرف آب و عملکرد میوه شد (۲۱). بنابراین هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر رژیم‌های متفاوت آبیاری بر توسعه ریشه، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه فلفل سبز رقم گرین هاشمی بود.

مواد و روش‌ها

گیاه مورد بررسی در این پژوهش فلفل سبز بود که به تیره سیب‌زمینی یا بادمجان (Solanaceae) تعلق دارد. گیاهان این تیره معمولاً به‌صورت درختچه‌هایی با برگ‌های منفرد هستند (سجادی، ۱۳۹۵). نشاهای حاصل از کاشت بذرهای فلفل در خزانه پس از چهار برگی شدن به گلدان‌هایی به قطر ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر حاوی خاک، کود حیوانی و پرلیت به نسبت ۶۰، ۳۰ و ۱۰ درصد انتقال یافتند. لازم به‌ذکر است که در ابتدا در کف گلدان‌ها به‌صورت یکسان مقداری سنگریزه به عنوان فیلتر جهت بهبود زهکشی و تهویه قرار داده شد و پنج سانتی‌متر بالای گلدان‌ها برای اعمال آبیاری خالی در نظر گرفته شد و بقیه پر از خاک شدند. بافت خاک مورد استفاده در گلدان‌ها سیلتی – رسی بود، رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی FC و حد پژمردگی دائم، PWP به ترتیب برابر ۳۶ درصد و ۱۷ درصد وزنی و هدایت الکتریکی عصاره اشباع و pH خاک نیز به‌ترتیب برابر ۰/۶ دسی‌زیمنس بر متر و ۷/۵ تعیین شدند، به‌طوری‌که از نظر شوری محدودیتی برای رشد گیاه ایجاد نمی‌کرد. این تحقیق در گلخانه گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و با ۱۳/۳ متر ارتفاع از سطح دریا، جهت بررسی تأثیر سطوح مختلف بیش‌آبیاری بر توسعه ریشه گیاه فلفل سبز رقم گرین هاشمی بر مبنای کشت گلدانی در سال ۱۳۹۴ انجام شد. طرح مورد استفاده در این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. سطوح مختلف بیش‌آبیاری شامل سه سطح (۱۰۰، ۱۲۵ و ۱۵۰ درصد تبخیر از سطح تشت) بود، که به‌ترتیب با نماد W_1 تا W_3 نشان داده شد. بافت خاک به روش هیدرومتری تعیین شد. برخی ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری نظیر کلر، کلسیم، منیزیم، کربنات و بی‌کربنات از روش تیتراسیون، سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر و سولفات با دستگاه اسپکتوفتومتری اندازه‌گیری شدند، همچنین سنجش اسیدیته آب با دستگاه pH متر و قابلیت هدایت الکتریکی آب با دستگاه ECمتر انجام شد. ترکیبات شیمیایی آب مورد استفاده جهت آبیاری مطابق جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱. ترکیبات شیمیایی تیمارهای آب مورد استفاده در آبیاری

تیمار آب	ترکیبات شیمیایی									
	pH	$EC_{۲۵}$ (dS/m)	$HCO_۳^-$	$CO_۳^{۲-}$	$SO_۴^{۲-}$	$Mg^{۲+}$	$Ca^{۲+}$	K^+	Na^+	Cl^-	SAR
			(meq/L)								
آب شهری	۷	۰/۵	۵/۰۸	۱/۵۲	۰/۷	۲/۸	۴/۴	۰/۸	۰/۳	۱	۰/۱۶



شکل ۱. تغییر مقدار ضریب گیاهی فلفل در طی فصل رشد (عابدی کوهپائی و همکاران، ۱۳۹۰)

گلدان‌ها پس از نشاکاری، به مقدار مساوی آبیاری شدند تا نشاها در محل جدید مستقر شوند. در هر گلدان تراکم بوته‌ها سه عدد بود. از طرفی پس از ۱۰ روز که فلفل‌ها بـه گلـدان انتقـال داده شد و در گلدان‌ها به‌طور کامل استقرار پیدا کرد، بر سـطح بـرگ گیاهان، کود عناصر ریز مغذی محلـول‌پاشـی شـد و تیمارهـای مـورد بررسـی اعمـال شـد. از سـوی دیگـر پـس از ۲۱ روز از محلول پاشی اول، مجدداً بر روی سطح بـرگ گیاهـان بـه‌طـور یکسان عناصر ریز مغذی محلول‌پاشی شد. جهت تعیـین مقـدار آب مورد نیاز از تشت تبخیر کلاس A استفاده شد و تیمارهـای آبی براساس آن اعمال شدند. نیاز آبی براسـاس مقـدار تجمعـی آب تبخیر شده از تشت تبخیـر، پـس از اعمـال ضـریب تشـت محاسبه شده از روش پیشنهاد شده در نشریه فائو ۵۶ با توجه بـه موقعیت استقرار آن در محل (به‌طـور میـانگین ۰/۷) تعیـین شـد (۱۳، ۱۶ و ۲۶). دور آبیاری در این طرح با توجه بـه نیـاز آبـی گیاه یک روز در میان، در نظر گرفتـه شـد. همچنـین براسـاس بررسی‌های انجام شده ضریب گیـاهی بـرای فلفـل تعیـین و در محاسبه نیاز آبی مدنظر قرار گرفت (شکل ۱). مقدار نیاز آبـی از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$ET_a = K_c \times K_p \times (E_{pan}) \qquad [۱]$$

در این رابطه ETa: میلی‌متر بر روز (تبخیر تعرق روزانـه)، Kp: ضریب تشت، Epan: تبخیر از سطح تشت (میلی‌متـر در روز) و K_c: ضریب گیاهی است. (جدول ۲).

پس از برداشت میوه پارامترهایی نظیـر وزن تـر و خشـک میوه، تعداد میوه برداشت شده در بوته و بهره‌وری مصرف آب تحت رژیم‌های متفاوت آبیاری بررسی شد. جهت اندازه‌گیری وزن تر و خشک میوه از ترازوی با دقـت ۰/۰۱ گـرم اسـتفاده شد، لازم به‌ذکر است جهت اندازه‌گیری وزن خشـک میـوه‌هـا درون پاکت‌های مربوط به هریک از تیمارها قـرار داده شـد و میوه‌ها با قرار گرفتن در درون آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ سـاعت خشـک شـدند و وزن میـوه‌هـای خشـک به‌دست آمد. از طرفی پس از برداشت ریشه‌ها، آثار بیش‌آبیاری بر صفات مورفولوژیک گیاه فلفل با انـدازه‌گیـری پارامترهـای طول ریشه، حجم ریشه، وزن تر و خشک ریشه و سطح ریشـه مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور قسمت هوایی بوته‌ها پس از اتمام فصل رشد، قطع و ریشه گیاه با خارج کردن خاک گلدان‌ها به‌صورت یکجا خارج شد. ریشه‌های هر گلدان پس از چندین بار شستشو از خاک جـدا شـدند. هـر ریشـه در داخـل استوانه مدرج با میزان مشخص آب، گذاشته شد و از روی بـالا

جدول ۲. مقادیر مختلف ضریب گیاهی و طول دوره رشد فلفل (عابدی کوهپائی و همکاران، ۱۳۹۰)

مرحله رشد	فلفل	
	طول دوره	K_c
ابتدایی	۳۰	۰/۲۵
توسعه گیاه	۴۰	۰/۵۳
میانی	۱۰۰	۱/۰۳
پایانی	۴۵	۰/۷۵

آمدن آب، حجم ریشه برحسب سانتی‌متر مکعب به‌دست آمد. برای اندازه‌گیری وزن ریشه‌ها در حالت تر و خشک از روش توزین با ترازوی دیجیتالی دارای دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد. برای این منظور ریشه‌ها درون پاکت قرار گرفتند و وزن ریشه‌های تر به‌دست آمد. در گام بعدی پاکت‌ها با قرار گرفتن در درون آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شده و وزن ریشه‌های خشک به‌دست آمد. طول ریشه نیز برحسب سانتی‌متر با استفاده از خط‌کش با دقت ۰/۱ میلی‌متر در هر تیمار گیاه فلفل تخمین زده شد (شکل ۱). سطح ریشه‌های گیاه فلفل با استفاده از رابطه پیشنهادی اتکسیون (رابطه ۲) براورد شد (۹).

$$A = 2(V\pi L)^{0.5} \qquad [2]$$

در این رابطه A: سطح ریشه (cm^2)، V: حجم ریشه (cm^3) و L طول ریشه (cm) است. ریشه‌های هر گلدان پس از چندین بار شستشو از خاک جدا شدند. در پایان بعد از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹ و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودار با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

بحث و نتایج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس در جدول (۳) نشان داده شده است. این نتایج حاکی از آن است که اثر سطوح مختلف بیش‌آبیاری بر صفات اندازه‌گیری شده حجم، طول، سطح، وزن تر و خشک ریشه و تعداد میوه برداشت شده در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است، ولی میزان آب آبیاری بر وزن تر و خشک میوه و بهره‌وری مصرف آب در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود.

اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر وزن تر و خشک، طول، حجم و سطح ریشه

مطابق شکل (۲) بیشترین میزان طول، سطح و حجم ریشه مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب با ۴۸/۳ سانتی‌متر، ۱۵۷ سانتی‌متر مربع و ۴۰/۶ سانتی‌متر مکعب و کمترین مقدار به‌ترتیب با ۳۱/۰ سانتی‌متر، ۸۹/۶ سانتی‌متر مربع و ۲۰/۷ سانتی‌متر مکعب در تیمار ۱۵۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد. مقایسه میانگین طول، سطح و حجم ریشه در اثر تیمارهای بیش‌آبیاری نشان داد که افزایش میزان آب آبیاری منجر به کاهش صفات مذکور شد.

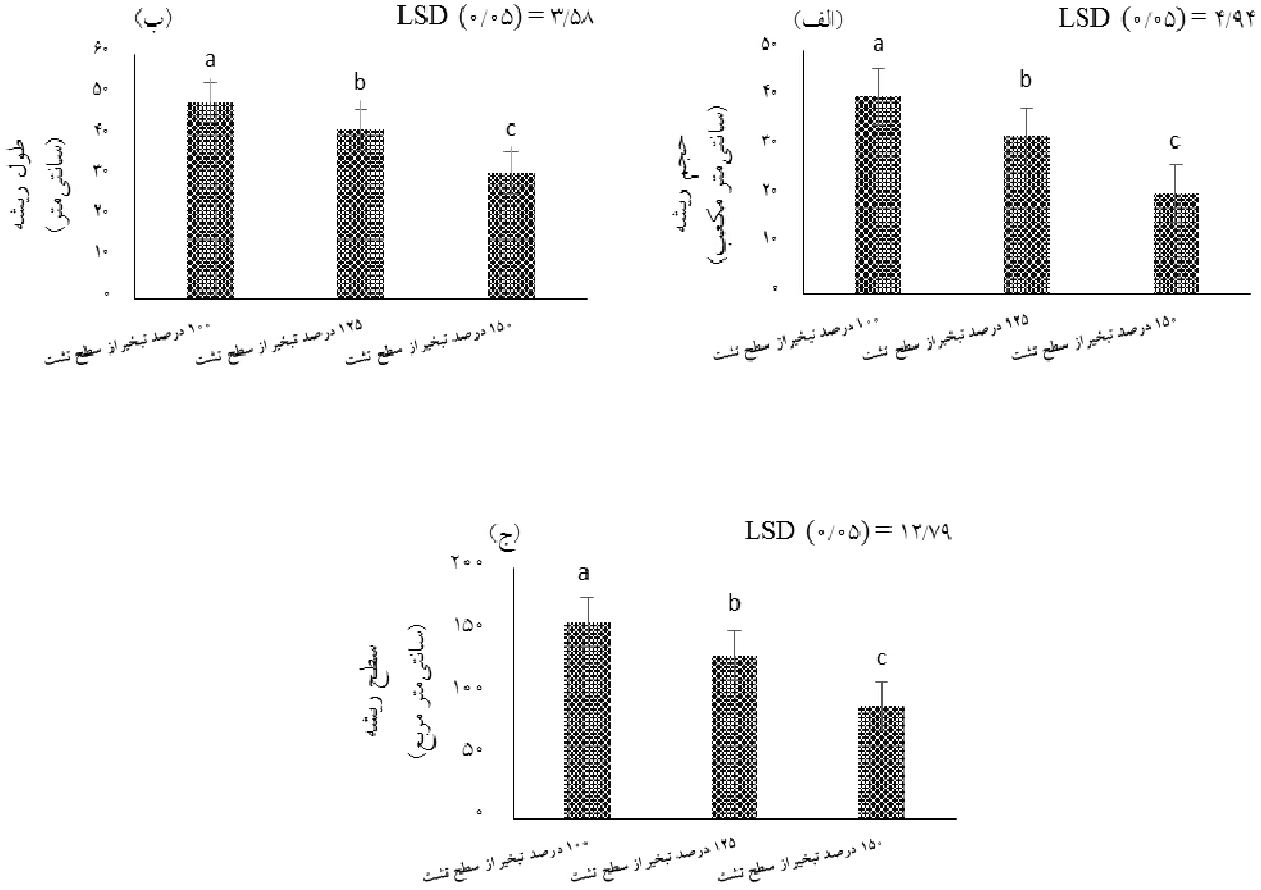
مطابق شکل (۳) بیشترین میزان وزن تر و خشک ریشه مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب با ۷۶/۵ گرم و ۱۴/۱ گرم و کمترین مقدار به‌ترتیب با ۳۹/۹ گرم و ۷/۱ گرم در تیمار ۱۵۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد. مقایسه میانگین وزن تر و خشک ریشه در اثر تیمارهای بیش‌آبیاری نشان داد که افزایش میزان آب آبیاری منجر به کاهش صفات مذکور شد.

نتایج این تحقیق حاکی از آن است که گیاه فلفل سبز به

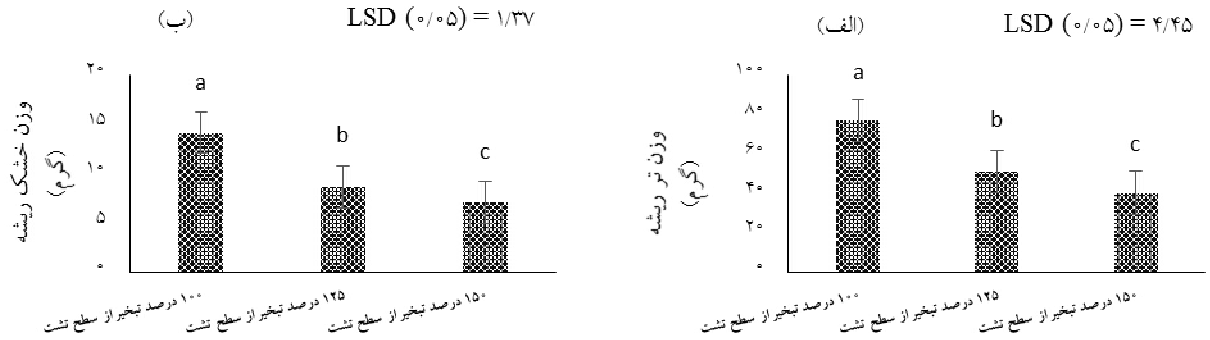
جدول ۳. جدول تجزیه واریانس شاخصهای عملکرد و اجزای عملکردو توسعه ریشه گیاه فلفل

منابع تغییرات	درجه آزادی	حجم ریشه	طول ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	سطح ریشه	بهره وری مصرف آب	متوسط وزن تر میوه در طول دوره رشد	متوسط وزن خشک میوه در طول دوره رشد	تعداد میوه برداشت شده در طول دوره رشد
رژیم آبیاری	۲	۲۰۸**	۱۶۳**	۷۱۰**	۲۸/۵**	۲۴۱۲**	۴/۶۳*	۳۵۸*	۱/۱۲^{ns}	۳۰/۸*
خطا	۸	۶/۰۹	۲/۷۷	۴/۱۲	۰/۵۴	۳۴/۶	۰/۰۲	۳۳/۲	۰/۶۳	۳/۳۷
ضریب تغییرات		۷/۷۴	۴/۰۱	۳/۷۱	۶/۵۴	۴/۵۱	۴/۶۷	۴/۶۵	۴/۵۰	۱۱/۳۳

**: معنی‌داری در سطح یک درصد، *: معنی‌داری در سطح پنج درصد، ns غیر معنی‌دار



شکل ۲. بررسی اثر سطوح مختلف بیش‌آبیاری بر: الف) حجم، ب) طول و ج) سطح ریشه گیاه فلفل سبز. حروف مشترک در هر یک از ستون‌ها بیانگر عدم معنی‌داری مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد است.



شکل ۳. بررسی اثر سطوح مختلف بیش‌آبیاری بر: الف) وزن تر و ب) وزن خشک ریشه گیاه فلفل سبز. حروف مشترک در هر یک از ستون‌ها بیانگر عدم معنی‌داری مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد است.

شکل ۴. توسعه ریشه در شرایط متفاوت بیش‌آبیاری: الف) ۱۰۰ درصد نیاز آبی، ب) ۱۲۵ درصد نیاز آبی و پ) ۱۵۰ درصد نیاز آبی

بیش‌آبیاری حساس بوده و اکثر پارامترهای مربوط به توسعه ریشه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی دارای بیشترین مقدار بود (شکل ۴). از طرفی زیاد بودن آب در منطقه توسعه ریشه نیز رشد و توسعه ریشه‌ها را محدود می‌کند زیرا آب اضافی علاوه‌بر شستشوی املاح و مواد غذایی مورد نیاز گیاه از خاک و خارج کردن آنها از دسترس ریشه، باعث کمبود اکسیژن در دسترس ریشه‌ها شده و تهویه خاک را محدود می‌کند و خفگی ریشه را به‌دنبال خواهد داشت. الگوی توزیع طولی ریشه گیاه فلفل سبز تحت تیمارهای مورد بررسی نشان داد که در صورت فراهم بودن رطوبت مورد نیاز گیاه (به‌میزان ۱۰۰ درصد)، رشد ریشه در مقایسه با دو تیمار دیگر بیش‌آبیاری بهتر بود. تنش آبی به‌طور محسوسی باعث کاهش وزن مرطوب و خشک ریشه، حجم، سطح و طول ریشه شد. این محققان در آزمایش‌های خود به این نتیجه رسیدند که وجود رطوبت مناسب و کافی رشد ریشه را افزایش داد و با فاصله از مقدار بهینه رطوبت رشد ریشه کاهش پیدا کرد. تحقیقات آسنگ و همکاران (۱۴) نیز کاهش رشد ریشه‌ها و محدود شدن آنها به لایه‌های بالایی خاک در اثر سطوح مختلف آبیاری را در تحقیقات خود روی گندم گزارش کردند. جئو و همکاران (۱۷) بیان داشتند که ریشه‌های توسعه یافته تحت شرایط

کم‌آبیاری و بیش‌آبیاری در مقایسه با ریشه‌های توسعه یافته تحت شرایط رطوبتی مطلوب، ریزترند و انشعابات کمتری دارند و عمق نفوذ آنها نیز کمتر است. درحالی‌که در شرایط مطلوب عمق ریشه‌دوانی بیشتر خواهد بود. آنها همچنین کاهش جوانه‌زنی و محدودیت سرعت طویل شدن ریشه را با افزایش تنش رطوبتی گزارش کردند. افزایش میزان آب آبیاری و به‌دنبال آن خفگی ریشه و کاهش اکسیژن باعث کاهش یکی از فاکتورهای رشد گیاه یعنی کاهش وزن ریشه و به‌تبع حجم ریشه شده است. از آنجایی‌که افزایش محتوی آب خاک نشان‌دهنده کاهش هوای خاک است که بر پارامترهای مختلف ریشه اثر منفی دارد، لذا کاهش وزن، حجم، سطح و طول ریشه منطقی است. این بدان معناست که ریشه گیاه فلفل به بیش‌آبیاری مقاوم نیست. کاهش رشد ممکن است به‌طورکلی به‌علت از دست رفتن اتساع سلولی و کاهش فعالیت میتوزی یا مهار طویل شدن سلول‌ها باشد (۲۶). مطالعات کوهی چله‌کران و همکاران (۱۰) نشان می‌دهد که آبیاری با فراوانی زیاد مانند آبیاری قطره‌ای که محیط را اشباع نگه می‌دارد، عامل محدود شدن رشد ریشه ذرت دانه‌ای در عمق‌های مختلف خاک است. اثر مضر غرقاب شدن خاک بر رشد ریشه عمدتاً به‌دلیل کمبود اکسیژن در محیط پیرامون ریشه است. این کمبود اکسیژن، تأثیر خود را بر متابولیسم ریشه، به‌صورت مختل کردن تعادل هورمونی گیاه، کاهش نفوذپذیری ریشه نسبت به آب و کاهش سرعت جذب عناصر غذایی نشان می‌دهد. غرقاب شدن خاک از ساخت و جابه‌جایی هورمون‌های سیتوکینین و جیبرلین در ریشه جلوگیری می‌کند (۴).

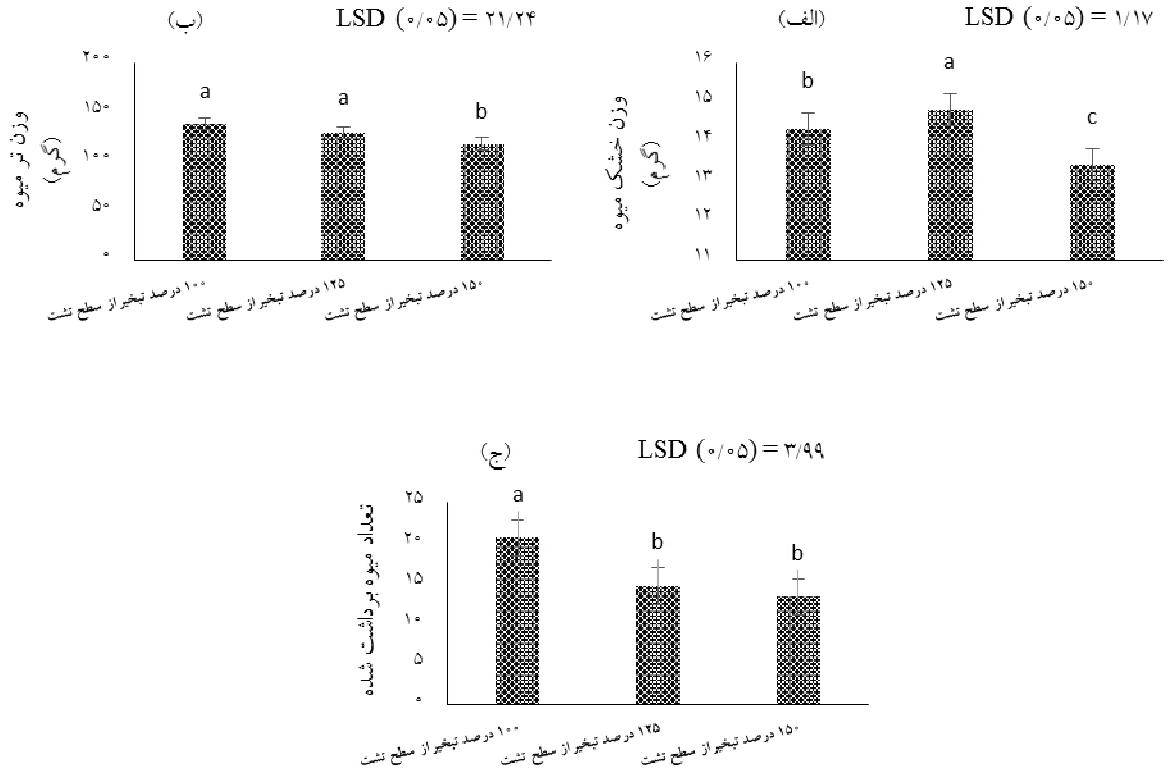
عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه فلفل سبز

مطابق شکل (۵) بیشترین میزان وزن تر میوه و تعداد میوه برداشت شده در بوته مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب با ۱۳۷/۹ گرم و ۲۰/۷ عدد بود، ولی بیشترین میزان وزن خشک میوه با ۱۴/۸ گرم مربوط به تیمار ۱۲۵ درصد نیاز آبی بود، از طرفی کمترین مقدار به‌ترتیب با ۱۱۷/۵ گرم، ۱۳/۴ گرم و ۱۳/۳ عدد در تیمار ۱۵۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد. لازم به ذکر است که بین سطوح ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی در صفت وزن تر میوه و همچنین بین سطوح ۱۲۵ و ۱۵۰ درصد نیاز آبی در صفت تعداد میوه برداشت شده در هر بوته اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد وجود نداشت. مقایسه میانگین وزن تر میوه و تعداد میوه در اثر تیمارهای بیش‌آبیاری نشان داد که افزایش میزان آب آبیاری منجر به کاهش صفات مذکور شد، ولی در صفت وزن خشک میوه، روند معنی‌داری وجود نداشت.

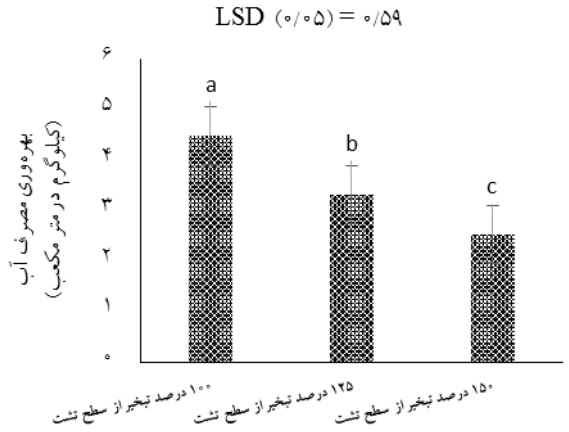
مطابق شکل (۶) بیشترین میزان بهره‌وری مصرف آب مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی با ۴/۵ کیلوگرم در متر مکعب و کمترین مقدار با ۲/۵ کیلوگرم در متر مکعب در تیمار ۱۵۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد. مقایسه میانگین بهره‌وری مصرف آب در اثر تیمارهای بیش‌آبیاری نشان داد که افزایش میزان آب آبیاری منجر به کاهش صفات مذکور شد. نتایج این تحقیق با نتایج سجادی (۴) روی فلفل، سالاریان (۳) روی فلفل، طباطبایی و همکاران (۷) روی فلفل، کرناک و همکاران (۲۴) روی فلفل، سنگیت و همکاران (۲۵) روی بادمجان و اوزبیس و تاری (۲۱) روی گوجه‌فرنگی مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری

عملکرد گیاه تابعی از توزیع ریشه و فعالیت آن است. در شرایط غرقابی، رشد و کارایی ریشه برای بهره‌وری محصول ضروری هستند. به‌طورکلی به‌نظر می‌رسد که آبیاری به‌میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی، بیشترین میزان رشد و توسعه ریشه را دارا بوده و در سطوح بالاتر آبیاری، رشد و توسعه ریشه کاهش یافت. نتایج نشان داد که گیاه فلفل سبز به بیش‌آبیاری حساس بوده و افزایش ۲۵ درصدی آب منجر به کاهش ۲۶ درصدی بهره‌وری مصرف آب شد، همچنین نتایج حاکی از آن است که آبیاری به‌میزان ۱۲۵ درصد نیاز آبی در صفت وزن تر میوه در



شکل ۵. بررسی اثر سطوح مختلف بیش‌آبیاری بر الف) وزن تر میوه، ب) وزن خشک میوه و ج) تعداد میوه برداشت شده در بوته گیاه فلفل سبز. حروف مشترک در هر یک از ستون‌ها بیانگر عدم معنی‌داری مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد است.



شکل ۶. بررسی اثر سطوح مختلف بیش‌آبیاری بر بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر وزن تر میوه گیاه فلفل سبز. حروف مشترک در هر یک از ستون‌ها بیانگر عدم معنی‌داری مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد است.

طول دوره رشد منجر به کاهش ۶/۴ درصدی آن شد، ولی با تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال پنج درصد نداشت. بیش‌آبیاری در صفت تعداد میوه منجر به کاهش تعداد میوه شد، به‌طوری‌که بین دو سطح ۱۲۵ و ۱۵۰ درصد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ولی در مقایسه با شاهد به‌ترتیب کاهش ۲۹ و ۳۵/۵ درصدی را نشان داد.

منابع مورد استفاده

۱. اشرفی، ع . ۱۳۸۶ . بررسی گسترش ریشه و سایر صفات مورفولوژیک ارقا م گندم دیم در دو رژیم رطوبتی و دو نوع خاک . پایان‌نامه کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲. حیدری، ن.، ج. خیرابی، م. علایی، ع. ا .فرشی، پ. کاظمی، ژ. وزیری، م. ر. انتصاری، ح. دهقانی سانیج، م. ح. سادات میری و م. میرلطیفی. ۱۳۸۶. *کارایی مصرف آب در کشت گلخانه‌ای*. ناشر کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

۳. سالاریان، م. ۱۳۹۳. بررسی اثرات کم‌آبیاری و شوری آب بر عملکرد فلفل گلخانه‌ای در سیستم هوشمند آبیاری قطره‌ای. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی. دانشگاه فردوسی مشهد.

۴. سجادی، ف. ۱۳۹۵. تأثیر توأم سطوح مختلف شوری و بیش آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه فلفل سبز (*Capsicum annum* L.). پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۵. سرهنگ‌زاده، ا. ۱۳۸۸. تأثیر شوری کلرید سدیم و غرقاب بر ویژگی‌های شیمیایی خاک، رشد و تغذیه گیاه ذرت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تبریز.

۶. ضیائیان، ع. و م. ملکوتی. ۱۳۸۰. ضرورت اعمال بهینه کود در راستای افزایش عملکرد و بهبود کیفیت ذرت. نشریه فنی شماره ۲۰۲ ایران، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.

۷. طباطبائی، س. ح.، س. مردانی‌نژاد و ح. زارع ابیانه. ۱۳۹۳. اثر تنش آبی بر رشد، عملکرد و کارایی مصرف آب فلفل در شرایط گلخانه‌ای. *نشریه پژوهش آب در کشاورزی* ۲۸(۱): ۷۱-۶۳.

۸. عابدی کوپایی، ج.، س. س اسلامیان و م. ج. زارعیان. ۱۳۹۰. اندازه‌گیری و مدل‌سازی نیاز آبی و ضریب گیاهی خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل با استفاده از میکرولایسیمتر در گلخانه. *علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای* ۲(۷): ۶۳-۵۱.

۹. علیزاده، ا. ۱۳۸۴. *رابطه آب خاک و گیاه*. انتشارات آستان قدس رضوی. مشهد.

۱۰. کوهی چله‌کران، ن.، ا. علیزاده، و ک. داوری. ۱۳۹۴. اثر مقادیر مختلف آبیاری روی تراکم طول ریشه و عملکرد ذرت دانه‌ای در آبیاری قطره‌ای. *پژوهش آب در کشاورزی* ۲۹(۳): ۳۴۰-۳۳۱.

۱۱. موسوی فضل، س. ح.، ا. علیزاده، ح. انصاری و پ. رضوانی مقدم. ۱۳۹۳. اثر مقادیر آب آبیاری و کود پتاسیم بر رشد ریشه و اندام‌های هوایی ارقام سورگوم علوفه‌ای. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران* ۸(۴): ۷۵۶-۷۴۷.

۱۲. نوح‌پیشه، ز. و خ. منوچهری کلانتری. ۱۳۹۰. اثرات کاربرد متقابل اسپرمیدین و تنش شوری در گیاه فلفل. *مجله زیست شناسی ایران* ۲۴(۶): ۸۵۷-۸۴۸.

13. Allen, R. G., Preira, L. S., Raes, D. and M. Smith 1998. Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirement. FAO Irrigation and Drainage paper, NO.56, Rome, Italy.
14. Asseng, S., J. T. Ritchie, A. J. M. Smucker and M. J. Robertson. 1998. Root growth and water uptake during water deficit and recovering in wheat. *Plant and Soil* 201: 265–273.
15. Bernardino, D. F. M. and C. J. R. Carvalho. 2000. Physiological and morphological responses of Barchiaria Spp. To flooding. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35: 1954-1966.
16. Doorenbod, J. and W.O. Pruitt. 1977. Crop Water Requirement. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24, FAO,

Rome.
17. Guo, A. H., G. SH. Liu, SH. Q. An, S. X. Ren and R. N. Lin.. 2002. Effect of limited water supply on root growth and development of winter weat and the characters of soil moisture use before planting. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 13 (5): 621-626.
18. 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.
19. Marshner, H. 1995. Mineral Nutrient of Higher Plants. Academic Press, London.
20. Ozbahce, A. and A. F. Tari. 2010. Effects of different emitter space and water stress on yield and quality of processing tomato under semi-arid climate conditions. *Agricultural Water Management* 97(9): 1405-1410.
21. Khan, M. A. I., A. M. Farooque, M. A. Haque, M. A. Rahim and M. A. Hoque. 2008. Effects of water stress at various growth stages on the physio-morphological characters and yield in chilli. *Bangladesh Journal of Agricultural Research* 33: 353-362.
22. Kırnak, H., Z. Gokalp, H. Demir, S. Kodal and E. Yildirim. 2016. Paprika Pepper Yield and Quality as Affected by Different Irrigation Levels. *Tarım Bilimleri Dergisi* 22(1): 77-88.
23. 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.
24. Senyigit, U., A. Kadayifci, F. O. Ozdemir, H. Oz and A. Atilgan. 2011. Effects of different irrigation programs on yield and quality parameters of eggplant (*Solanum melongena* L.) under greenhouse conditions. *African Journal of Biotechnology* 10(34): 6497.
25. Shah, F. R., N. Ahmad, K. R. Masood and D. M. Zahid. 2008. The influence of cadmium and chromium on the biomass production of shisham (Dalbergia sissoo roxb.) seedlings. *Pakistan journal of botany* 40(4): 1341-1348.
26. Yuan, B. Z., Y. Kang and S. Nishiyama. 2001. Drip irrigation scheduling for tomatoes in unheated greenhouse. *Irrigation Science* 20: 149–154.

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 22, No. 3, Fall 2018, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Investigation the Effect of Different Irrigation Regimes on Root Development and Water Use Efficiency on Green Pepper

F. Sajadi, H. Sharifan and S. Jamali[1*]

(Received: February 27-2017 ; Accepted: May 17-2017)

Abstract

Yield is a function of root distribution and activity. In flood conditions, root growth and efficiency are essential for crop productivity. The goal of this study was to investigate the effect of different irrigation regimes on the root development, yield and yield components of green pepper (green Hashemi cultivars). This study, which was based on a completely randomized design with three replications under greenhouse conditions, was done at Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources in 2016. Different irrigation regimes consisted of 3 levels (100, 125 and 150 percent of water requirement). The results showed that the effect of different irrigation regimes on root volume, root length, root area and number of fruit was significant at 1 percent level ($P<0.01$), but water use efficiency, and fresh and dry weight of fruit were significant at 5 percent level ($P<0.05$). The results also revealed that green pepper plants were sensitive to over irrigation. Increasing irrigation levels from 100 to 125 percent of pan evaporation resulted in the reduction of root volume, root length, water use efficiency, number of fruits, and pepper fresh weight to 20, 13.8, 26, 29and 6.4 percent, respectively. As the conclusion, with the increase in water irrigation level, the fresh weight of the fruit was significantly decreased.

Keywords: Fruit fresh weight, Number of fruit, Over irrigation, Root volume and area, Root volume, Water use efficiency.

1. Department of Water Engineering, Faculty of Soil and Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: sa13e12@gmail.com