نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۷، ص. ۶۹۰-۶۷۵

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 4, Sept.-Oct. 2018, p. 675-690

اثر آبیاری بخشی منطقه ریشه و زئولیت بر کارایی مصرف آب و خصوصیات فیزیولوژیک فلفل دلمه‌ای

پروین دانش‌پژوه[۱]- احمد رضا قاسمی[۲*]- محمد رضا نوری[۳]- رحیم برزگر[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۰۷

چکیده

سهم بالای مصرف آب در بخش کشاورزی اهمیت پژوهش در این بخش را افزایش داده است. این پژوهش به منظور بررسی تاثیر مصرف زئولیت و نحوه توزیع آن در خاک به همراه آبیاری بخشی منطقه ریشه (PRD) و کم آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب فلفل‌دلمه‌ای در دانشگاه شهرکرد اجرا شد. این مطالعه در سه سطح آبیاری ۱۰۰ درصد، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌صورت آبیاری بخشی منطقه ریشه و کانی زئولیت در دو سطح شامل ۲ و ۴ درصد وزنی و به‌صورت پخش در یک و دو طرف گلدان اجرا شد. نتایج تحقیق بصورت طرح کاملا تصادفی و همچنین آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی تحلیل شدند. نتایج اختلاف معنی‌داری بین تیمار شاهد و صفات وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر کل میوه و شاخص‌های شیمیایی ویتامین ث، pH، مواد جامد محلول، قطر میوه و غلظت کلروفیل a نشان داد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که تغییرات وزن تر و قطر میوه‌ها در تمام تیمارها نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار دارند. تعداد میوه نیز در کم‌آبیاری شدید (۵۰ درصد) و وزن میوه در تمام تیمارها نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار نشان داد. به عبارت دیگر استفاده از زئولیت در بیشترین سطح مورد بررسی (۴ درصد) هم نتوانسته تاثیر منفی تنش خشکی را جبران کند. همچنین نتایج نشان داد که کاربرد روش PRD به همراه زئولیت و کم‌آبیاری منجر به افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب در تمام تیمارها شده است. بالاترین کارایی مصرف آب به میزان ۱۱۰ درصد مربوط به تیمار ۲ درصد زئولیت، کم‌آبیاری ۵۰ درصد و پخش زئولیت در دو طرف گلدان و کمترین میزان افزایش کارایی مصرف آب نیز مربوط به دو تیمار ۴ درصد زئولیت، کم‌آبیاری ۷۵ درصد و پخش زئولیت در یک طرف گلدان و تیمار ۲ درصد زئولیت، کم‌آبیاری ۷۵ درصد و پخش زئولیت در دو طرف گلدان و به میزان ۱۸ درصد (۱۸ درصد افزایش نسبت به شاهد) بدست آمد. تیمارهای با کم‌آبیاری ۵۰ درصد دارای بالاترین مقدار کارایی مصرف آب می‌باشند که از بین این تیمارها، تیمار ۴ درصد زئولیت، کم‌آبیاری ۵۰ درصد و پخش زئولیت در دو طرف گلدان از نظر وزن‌تر میوه و تعداد میوه (دو پارامتر مهم در تولید فلفل دلمه‌ای) نیز نسبت به دیگر تیمارهای کم‌آبیاری ۵۰ درصد شرایط بهتری دارد، بنابراین این تیمار به عنوان تیمار مناسب توصیه می‌گردد. نتایج این تحقیق می‌تواند در افزایش راندمان تولیدات گلخانه‌ای بویژه در مناطق کم آب مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تولیدات گلخانه‌ای، رطوبت، شاخص‌های شیمیایی، کم‌آبیاری، PRD

مقدمه

نیاز روز افزون به فرآورده‌های کشاورزی از یک‌سو و از سوی دیگر کمبود منابع آب در بیشتر نقاط کشور بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک سبب شده بهینه‌سازی مصرف آب در سر لوحه کار برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران قرار گیرد. از طرفی روند برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی از طریق چاه‌های عمیق و نیمه عمیق و پیشروی آب شور در سفره‌های آب شیرین، باعث شده تا حجم نسبی آب‌های شور افزایش یابد. بر این اساس کم‌آبی و کاهش کیفی منابع آب و خاک از عوامل اصلی کاهش تولید می‌باشند. کاربرد روش‌های کم‌آبیاری یکی از راهبردهای مهم بهینه‌سازی مصرف آب، جهت سازگاری با کم‌آبی محسوب می‌شود. استفاده از روش‌های کم‌آبیاری می‌تواند باعث کاهش رطوبت خاک و عملکرد محصول شود در مقابل استفاده از کانی زئولیت یکی از راه‌های جلوگیری از کاهش رطوبت خاک و افزایش کارایی مصرف می‌باشد. زئولیت‌ها مواد معدنی با ساختار متخلخل هستند که یون‌های بزرگ و مولکول‌های آب حفره‌های آن را اشغال می‌کنند (۲). برخلاف کانی‌های معمول رسی،

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، استادیار و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
(*- نویسنده مسئول: Email: ar-ghasemi@um.ac.ir)
۴- استادیار گروه مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
DOI: 10.22067/jsw.v32i4.69640

در ژئولیت‌ها چارچوب ساختمانی به اندازه کافی باز است و این ویژگی باعث به‌وجود آمدن خواص منحصر به فرد ژئولیت‌ها شده است (۲۱).

برای افزایش بهره‌وری آب، علاوه بر تلاش برای بهبود شرایط خاک از نظر افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت، اصلاح روش‌های آبیاری نیز باید در دستور کار قرار گیرد. یکی از روش‌های مناسب آبیاری برای تولیدات گلخانه‌ای روش آبیاری بخشی منطقه ریشه (PRD) است. آبیاری بخشی روش معمولی از آبیاری یکنواخت است که در تمام منطقه توسعه ریشه تامین آب به صورت متناوب تنها در یک طرف از منطقه ریشه صورت گرفته و در آبیاری بعدی معکوس عمل می‌شود (۱۱). در این روش در هر دور آبیاری یک طرف گلدان آبیاری می‌شود که این روش علاوه بر کاهش مصرف آب باعث تحریک ریشه گیاه برای رشد و توسعه بیشتر شده که منجر به استفاده بهتر از رطوبت خاک می‌شود.

یکی از گیاهانی که می‌توان به تولید گلخانه‌ای آن به‌ویژه در فصول سرد سال پرداخت فلفل دلمه‌ای می‌باشد. این گیاه از لحاظ مقدار تولید سبزیجات در اغلب کشورها بعد از سیب زمینی و گوجه فرنگی قرار دارد. عکس‌العمل آن نیز به خشکی در مراحل مختلف رشد متفاوت می‌باشد (۱۴). با توجه به اینکه در تحقیق حاضر روش آبیاری مورد استفاده آبیاری بخشی منطقه ریشه (PRD) به همراه کانی زئولیت می‌باشد، در زیر به برخی از جدیدترین مطالعات انجام شده در این زمینه اشاره می‌شود.

السادک (۸) با مطالعه برروی بهینه‌سازی مصرف آب با روش PRD به این نتیجه رسید که این روش در مقایسه با آبیاری غرقابی از طریق تولید سیگنال‌های شیمیایی سبب کاهش قابل توجهی در مصرف آب می‌شود. بزکورت‌کولاک و همکاران (۳) در پژوهشی بر روی بادمجان تحت دو سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی با چهار تیمار آبیاری کامل، کم‌آبیاری ۵۰ و ۷۵ درصد و آبیاری بخشی (PRD) ۵۰ درصد، نشان دادند که بیشترین راندمان مصرف آب متعلق به آبیاری قطره‌ای زیر سطحی تحت تیمار PRD، برابر ۵۰ درصد می‌باشد. نتایج گیریلو و همکاران (۱۰) با بررسی تاثیر کم‌آبیاری بر کیفیت ترکیب فلانوئید در میوه پرتقال نشان دادند که کم‌آبیاری به ویژه در شرایط PRD می‌تواند باعث تغییر قابل ملاحظه‌ای در فلانوئید پوست میوه می‌شود و تاثیر مثبتی بر کیفیت میوه دارد.

بابا زاده و همکاران (۴) در تحقیقی ۵۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش میزان پروتئین دانه‌ی ذرت را نتیجه اعمال آبیاری ناقص ریشه گزارش کردند. کاراندیش و همکاران (۱۳) در بررسی تاثیر آبیاری ناقص ریشه و کم‌آبیاری معمولی بر بهره‌وری آب و عملکرد گیاه ذرت نشان دادند که میزان عملکرد دانه در تیمار $PRD_{75\%}$، اختلاف معنی‌داری با تیمار آبیاری کامل نداشت ولی موجب کاهش ۲۵ درصد مصرف آب در طول دوره اعمال تیمار شد.

احمدی و همکاران (۱) در بررسی شرایط تنش خشکی و کاربرد زئولیت معدنی بر رشد و برخی پارامتر فیزیولوژیکی گیاه پنیرک نشان دادند که با بکارگیری زئولیت کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد.

در مطالعات انجام شده قبلی کارایی استفاده از روش آبیاری بخشی منطقه ریشه و همچنین استفاده از زئولیت به‌صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته است؛ بنابراین در تحقیق حاضر کارایی استفاده از هر دو روش فوق به‌صورت همزمان و با اعمال کم‌آبیاری مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر کم‌آبیاری بخشی منطقه ریشه و کانی زئولیت بر برخی خصوصیات گیاه فلفل‌دلمه‌ای، آزمایشی در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد در سال ۱۳۹۵ انجام گرفت.

با توجه به اهمیت و الزام وجود تیمار شاهد در این تحقیق، امکان تحلیل داده‌ها به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی وجود نداشت، زیرا تیمار شاهد تنها داری یک سطح بوده و نمی‌توان آنرا به عنوان یک فاکتور در نظر گرفت. در چنین مواردی ابتدا داده‌ها در قالب طرح کاملا تصادفی تحلیل شده و سپس جهت بررسی اثرات متقابل بین فاکتورها با حذف تیمار شاهد، داده‌ها به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی نیز مورد تحلیل قرار می‌گیرند.

بنابراین این پژوهش داده‌ها ابتدا در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار و با در نظر گرفتن زئولیت در ۲ سطح (۲ و ۴ درصد وزنی)، نحوه توزیع زئولیت به دو صورت (یک و دو طرف گلدان) و کم‌آبیاری در ۲ سطح (۷۵ و ۵۰ درصد تامین نیاز گیاه) به همراه تیمار شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی، بدون آبیاری بخشی و زئولیت) و در چهار تکرار تحلیل شد و در مرحله دوم، جهت بررسی اثرات متقابل بین فاکتورها (زئولیت، نحوه توزیع زئولیت و کم آبیاری) با حذف شاهد، داده‌ها به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی نیز مورد تحلیل قرار گرفت. مشخصات تیمار به همراه علامت اختصاری در جدول ۱ ارایه شده است.

برای آماده‌سازی محیط کشت از گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۳۰ و قطر ۲۸ سانتی‌متر استفاده شد و برای ایجاد زهکش تا ارتفاع ۳ سانتی‌متری در کف گلدان شن دانه درشت ریخته شد و مابقی حجم گلدان با ترکیبی از ۵۰ درصد خاک زراعی، ۲۵ درصد کود دامی و ۲۵ درصد سبوس برنج با مقادیر زئولیت (مطابق تیمارها) پر گردید (شکل ۱).

تجزیه فیزیکی خاک و خصوصیات آن در جدول ۲ ارایه شده است.

در تیمارهای PRD، برای قطع ارتباط آب بین دو طرف گلدان‌ها

از ورق‌های کارتن پلاست و چسب آکواریوم استفاده شد (شکل۲).

پس از آماده‌سازی محیط کشت، نشاء فلفل‌دلمه‌ای رقم لوموس (F_1) در گلدان‌هایی به حجم ۸ لیتر کشت شدند. در هنگام انتقال نشاء به داخل گلدان‌ها به این نکته که ریشه‌ها در طرفین توسعه یابند دقت و توجه کافی شد. بعد از انتقال و قرار گرفتن نشاءها در داخل خاک برای جلوگیری از پوسیدگی ریشه همزمان با آبیاری اولیه از سم بنومیل استفاده گردید. سه هفته بعد از انتقال نشاء به گلدان‌ها یعنی زمانی که احتمال صدمه به گیاه در اثر کم‌آبیاری کاهش پیدا کرد تیمارهای کم آبیاری اعمال شد.

آب مورد نیاز تیمارها برای ۱۰۰ درصد نیاز گیاه به‌صورت حجمی برآورد و سپس با در نظر گرفتن سطوح مختلف کم‌آبیاری برای بقیه تیمارها محاسبه و به گلدان‌ها داده شد. برآورد حجمی آب مورد نیاز تنها در اولین آبیاری و به دلیل خشک بودن خاک انجام شد، بدین صورت که آنقدر به تیمار شاهد آب اضافه شد تا شاهد خروجی باشیم، سپس با کسر مقدار خروجی از مقدار ورودی، حجم آب مورد نیاز برای اولین آبیاری تعیین شد. برای برآورد نیاز آبی در آبیاری‌های بعدی، با سنجش مدام رطوبت خاک با استفاده از دستگاه تتاپروپ SM-300 و در نظر گرفتن مقدار FC و PWP خاک و مقدار ضریب تخلیه مجاز گیاه (MAD=0.5) مقدار نیاز آبی با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

(۱)

$$d = \frac{(FC - PWP) \times \mathrm{Dr} \times \mathrm{MAD}}{100}$$

که در آن: d عمق آب آبیاری (cm)، PWP نقطه پژمردگی (حجمی)، FC ظرفیت زراعی (حجمی)، Dr عمق ریشه (cm) و MAD ضریب تخلیه مجاز (درصد) می‌باشند.

جدول ۱- مشخصات تیمارهای آزمایش

Table 1 - The Specifications of experimental treatments

ردیف	نام تیمار	توضیحات تیمار
1	$T_{0\%-100\%}$	بدون زئولیت و آبیاری کامل 0% zeolite and full irrigation
2	$T_{2\%-75\%-ONE}$	۲ درصد زئولیت در یک طرف گلدان و کم‌آبیاری ۷۵ درصد 2% zeolite on one side and 75% deficit irrigation
3	$T_{2\%-75\%-TWO}$	۲ درصد زئولیت در دو طرف گلدان و کم‌آبیاری ۷۵ درصد 2% zeolite on two side and 75% deficit irrigation
4	$T_{2\%-50\%-ONE}$	۲ درصد زئولیت در یک طرف گلدان و کم‌آبیاری ۵۰ درصد 2% zeolite on one side and 50% deficit irrigation
5	$T_{2\%-50\%-TWO}$	۲ درصد زئولیت در دو طرف گلدان و کم‌آبیاری ۵۰ درصد 2% zeolite on two side and 50% deficit irrigation
6	$T_{4\%-75\%-ONE}$	۴ درصد زئولیت در یک طرف گلدان و کم‌آبیاری ۷۵ درصد 4% zeolite on one side and 75% deficit irrigation
7	$T_{4\%-75\%-TWO}$	۴ درصد زئولیت در دو طرف گلدان و کم‌آبیاری ۷۵ درصد 4% zeolite on two side and 75% deficit irrigation
8	$T_{4\%-50\%-ONE}$	۴ درصد زئولیت در یک طرف گلدان و کم‌آبیاری ۵۰ درصد 4% zeolite on one side and 50% deficit irrigation
9	$T_{4\%-50\%-TWO}$	۴ درصد زئولیت در دو طرف گلدان و کم‌آبیاری ۵۰ درصد 4% zeolite on two side and 50% deficit irrigation

شکل ۱- نمایی از گلدان‌ها

Figure 1- A View of the pots

جدول ۲- نتایج تجزیه فیزیکی خاک
Table 2 –Results of physical analysis of soil

بافت خاک Soil Texture	رس % Clay	سیلت % Silt	شن % Sand	PWP %Weighing	FC %Weighing
لوم‌رسی Clay loam	37.9	21.3	40.80	8.9	24.8

شکل ۲- آماده سازی گلدان‌ها
Figure 2- Preparing the pots

شکل ۳- اندازه‌گیری سطح برگ
Figure 3- Leaf area measurement

در نهایت شاخص‌های فیزیولوژیکی و شیمیایی و همچنین کارایی مصرف آب اندازه‌گیری شد. شاخص‌های فیزیولوژیکی شامل، وزن تر و خشک کل اندام هوایی، وزن تر کل میوه (با استفاده از ترازو)، قطرمیوه (با استفاده از کولیس)، تعداد میوه و سطح برگ (با استفاده از نرم‌افزار Image j) می‌باشند (شکل۳).

برای اندازه‌گیری سطح برگ ابتدا به صورت تصادفی چند برگ بالغ از بوته‌های گیاه فلفل دلمه‌ای در تیمارهای مختلف جدا گردید، سپس برگ‌ها روی سطح صافی قرار داده شد و با استفاده از دوربین از تیمارهای مختلف عکس‌برداری انجام گرفت. با انتقال این عکس‌ها به نرم افزار Image j، سطح برگ محاسبه گردید.

شاخص‌های شیمیایی شامل، ویتامین ث، pH، مواد جامد محلول و کلروفیل a، b و کل می‌باشند.

همچنین کارایی مصرف آب با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$WUE = \frac{Y}{I} \quad (۲)$$

که در آن: WUE کارایی مصرف آب برحسب کیلوگرم بر مترمکعب، Y عملکرد محصول خشک بر حسب کیلوگرم و I مقدار آب مصرفی در طول فصل رشد بر حسب متر مکعب می‌باشد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها (به روش آزمون LSD) در سطح ۵ درصد با نرم افزار SAS انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص‌های فیزیولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های فیزیولوژیکی مورد بررسی در قالب طرح کاملا تصادفی در جدول ۳ ارایه شده است. همانگونه که در جدول نشان داده شده است، تغییرات وزن‌تر اندام‌هوایی، وزن خشک اندام‌هوایی و وزن تر کل میوه در سطح ۹۹ درصد و قطرمیوه در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار ولی تعداد میوه و سطح برگ غیر معنی‌دار می‌باشند، هرچند مقادیر P-value ارایه شده در ردیف آخر نشان می‌دهد که تغییرات تعداد میوه در بین تیمارهای مختلف نیز در سطح ۹۰ درصد معنی‌دار می‌باشد. از طرف دیگر اثر زئولیت و کم آبیاری با روش آبیاری بخشی تاثیر معنی‌داری (در سطح ۹۵ درصد) بر سطح برگ و تعداد میوه تیمارهای مختلف نداشته است.

وزن تر کل میوه

میانگین تیمارها برای وزن‌تر میوه شکل (۴) نشان داد کم‌آبیاری حتی در شرایط اضافه کردن زئولیت نیز منجر به کاهش معنی‌داری میانگین وزن کل میوه نسبت به شاهد شده است. بیشترین کاهش وزن تر میوه نسبت به شاهد در تیمار ۲ درصد زئولیت در یک طرف گلدان و کم آبیاری ۵۰ درصد اتفاق افتاده است. تنش رطوبتی باعث کاهش واکنش‌های بیولوژیک و آب ذخیره شده در میوه می‌شود. در این حالت کاهش عملکرد می‌تواند در اثر کاهش فتوسنتز و انتقال مواد به سمت میوه باشد (۱۷). نتایج میدان‌شاهی و همکاران (۱۹) و لطف‌الرحمان و همکاران (۱۷) نیز نشان می‌دهد عملکرد میوه گوجه‌فرنگی به‌طور معنی‌داری تحت تنش رطوبتی قرار دارد و در اثر تنش آبی، عملکرد میوه کاهش می‌یابد. همچنین شکل (۱) نشان می‌دهد که افزودن زئولیت در یک یا دو طرف گلدان تاثیر معنی‌داری بر وزن‌تر میوه نداشته است (تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای یک

طرف و دوطرفه مشاهده نمی‌شود). در مجموع هم می‌توان نتیجه گرفت که افزودن زئولیت در هر دو سطح ۲ و ۴ درصد نتوانسته از کاهش وزن تر میوه ناشی از تنش رطوبتی جلوگیری کند.

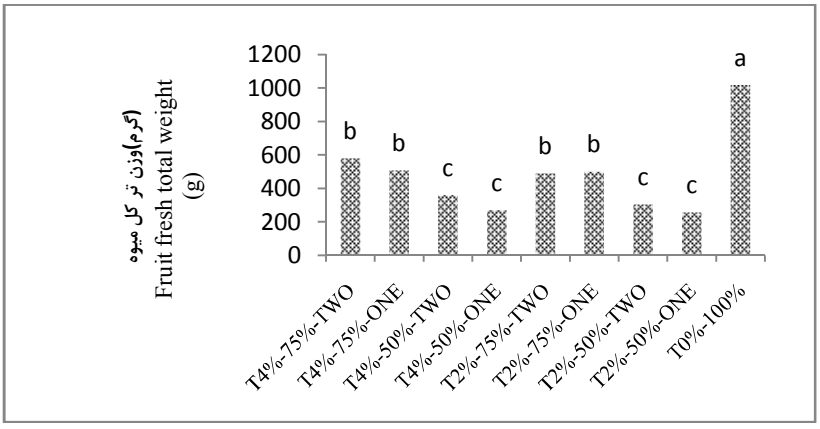
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای گیاه فلفل دلمه‌ای

Table 3- Results of analysis variance (mean square) for sweet pepper

منبع تغییرات Source of Varianc	درجه آزادی dF	سطح برگ Leaf area	وزن تر کل میوه fresh fruit total weight	تعداد میوه number of fruits	قطرمیوه fruit diameter	وزن‌تر اندام‌هوایی shoot fresh weight	وزن اندام‌هوایی shoot dry weight
تیمار Treatments	8	1449.066^{ns}	219127.634**	8.694^{ns}	0.012*	4850.40**	81.95**
خطا Error	27	1456.108	6138.31	4.66	0.005	415.72	8.081
ضریب تغییرات Coefficient of Variation(%)	-	15.37	16.38	24.62	17.95	13.66	9.93
P-value	-	0.463	<0.0001	0.090	0.040	<0.0001	<0.0001

*، ** و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد و غیر معنی‌دار

*, ** and ns means significant at 1%, 5% and non-significant respectively



شکل ٤- مقایسه میانگین وزن تر کل میوه در تیمارهای مختلف

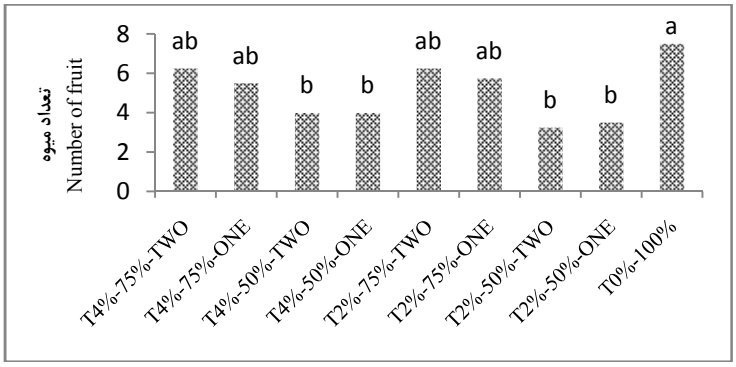
Figure 4- Mean Comparison of fruit fresh total weight in different treatments

تعداد میوه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آبیاری و زئولیت برای صفت تعداد میوه تنها در سطح ۹۰ درصد معنی‌دار است. نتایج مقایسه میانگین تیمارها نیز نشان می‌دهد تنها تیمارهای همراه با کم‌آبیاری شدید (۵۰ درصد) نسبت به شاهد دچار کاهش معنی‌دار شده‌اند که این کاهش در تیمارهای با ۲ درصد زئولیت اندکی بیشتر از ۴ درصد زئولیت است (شکل ۵). نتایج بررسی‌های گذشته نیز نشان می‌دهد که کم آبیاری باعث کاهش تعداد میوه در گیاهان مختلف شده است (۳۰).

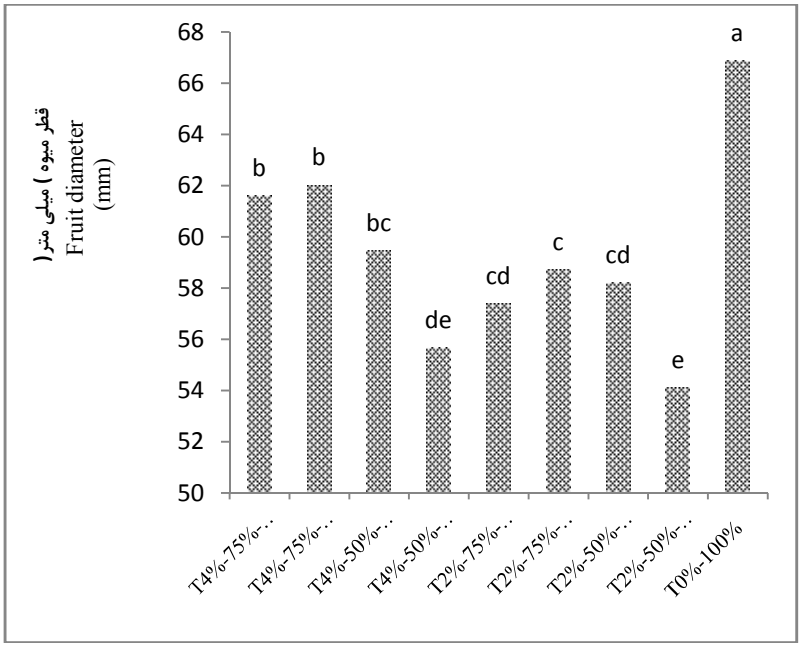
قطر میوه

قطر میوه می‌تواند تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر بازارپسندی میوه داشته باشد. مقایسه میانگین قطر میوه (شکل ۶) نیز مانند وزن تر میوه نشان از کاهش معنی‌دار تمام تیمارها نسبت به شاهد دارد. کمترین میانگین قطر میوه مربوط به تیمار ۲ درصد زئولیت در یک طرف گلدان و آبیاری بخشی ۵۰ درصد می‌باشد. میدان‌شاهی و همکاران (۱۹) نیز نشان دادند که با اعمال کم‌آبیاری اندازه میوه گوجه‌فرنگی کاهش معنی‌دار یافته است. دلیل کاهش قطر میوه در شرایط کم‌آبی را می‌توان اینگونه بیان کرد که کمبود آب رشد سلول-های گیاهی را کاهش می‌دهد و موجب کاهش شکل‌گیری سلول‌های آوند چوبی می‌شود (۲۴). همچنین باعث کوچک شدن فضاهای بین سلولی و تا حدی کاهش تقسیم سلولی می‌شود که این تغییرات را می‌توان در اندازه ساقه، برگ‌ها و میوه‌ها مشاهده کرد (۲۶).



شکل ۵- مقایسه میانگین تعداد میوه در تیمارهای مختلف

Figure 5- Mean Comparison of number of fruits in different treatments



شکل ٦- مقایسه میانگین قطر میوه در تیمارهای مختلف

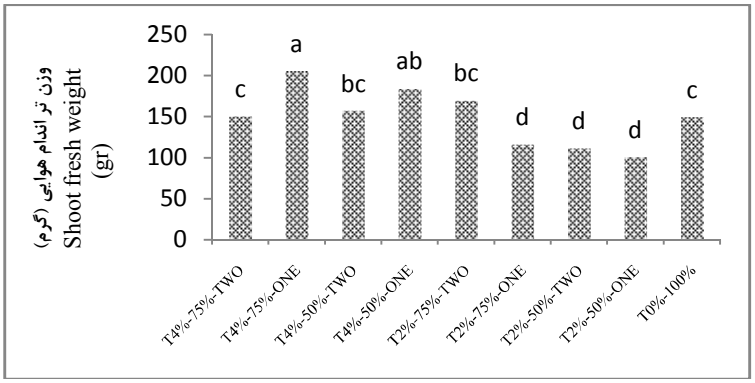
Figure 6 - Mean Comparison of fruit diameter in different treatments

وزن تر و خشک اندام هوایی

نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۷) برای وزن تر اندام هوایی فلفل دلمه‌ای نشان می‌دهد که تیمارهای با ۲ درصد زئولیت به جز تیمار $T_{2\%-75\%-TWO}$ نسبت به تیمار شاهد دچار کاهش معنی دار شده اند. واکنش معمول گیاهان به تنش خشکی کاهش رشد ساقه و کل اندازه گیاه می‌باشد (۲۲). در مقابل تیمارهای همراه با ۴ درصد زئولیت نسبت به شاهد افزایش نشان می‌دهند، هرچند این افزایش در تمام تیمارها معنی دار نیست. دلیل این افزایش می‌تواند ذخیره شدن آب و عناصر غذایی در کانال‌های زئولیت و همچنین جلوگیری از آبشویی این عناصر باشد. همچنین افزودن زئولیت به خاک مثل یک مخزن ذخیره آب عمل کرده و مدت حفظ رطوبت در خاک را افزایش می‌دهد. به عبارت دیگر افزایش مقدار زئولیت از ۲ درصد به ۴ درصد توانسته اثر منفی تنش خشکی را کنترل نماید.

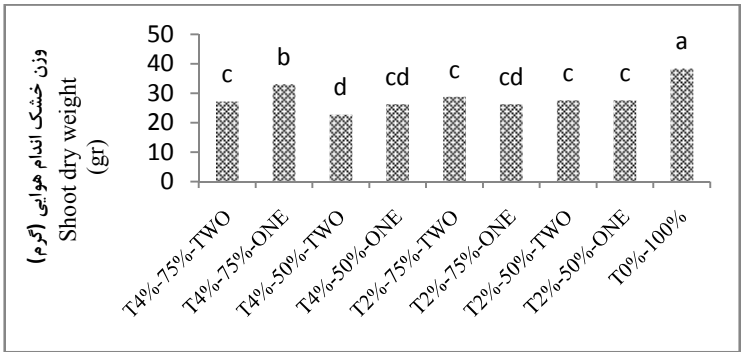
برخلاف وزن‌تر اندام‌های هوایی، وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه فلفل دلمه‌ای در تمام تیمارهای مورد بررسی کاهش معنی داری نسبت به تیمار شاهد نشان می‌دهند (شکل ۸). تنش خشکی در گیاه موجب ایجاد رقابت برای جذب آب بین بخش‌های هوایی و زمینی در بوته شده که در این رقابت، گیاه سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی را به اندام‌های زمینی اختصاص می‌دهد، در نتیجه مواد فتوسنتزی کمتری به بخش هوایی رسیده، که این امر باعث کاهش وزن اندام‌های هوایی گیاه می‌شود (۳۰). محمدی و همکاران (۲۰) و دهقان و همکاران (۷)

نیز نتایج مشابهی برای گیاه گوجه فرنگی گزارش نموده‌اند. همچنین احمدی‌آذر و همکاران (۱) نیز کاهش وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه پنیرک را با افزایش تنش خشکی گزارش نمودند.



شکل ۷- مقایسه میانگین وزن‌تر اندام‌هوایی در تیمارهای مختلف

Figure 7- Mean Comparison of shoot fresh weight in different treatments



شکل ۸- مقایسه میانگین وزن‌خشک اندام‌هوایی در تیمارهای مختلف

Figure 8- Mean Comparison of shoot dry weight in different treatments

شاخص‌های شیمیایی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس شاخص‌های شیمیایی در قالب طرح کاملا تصادفی در جدول ۴ نشان می‌دهد، تغییرات ویتامین ث، pH و مواد محلول جامد در سطح یک درصد و غلظت کلروفیل a در سطح ۵ درصد نسبت به شاهد معنی‌دار است.

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای گیاه فلفل دلمه‌ای

Table 4 -Results of analysis variance (mean square) for sweet pepper

منبع تغییرات Source of Varianc	درجه آزادی dF	ویتامین ث vitamin C	pH	مواد جامدمحلول total soluble solids	کلروفیل a chlorophyll a	کلروفیل b chlorophyll b	کلروفیل کل total chlorophyll
تیمار Treatments	8	54.893**	0.503**	32.518**	0.0144 *	0.008ns	0.008ns
خطا Error	27	0.513	1.060	1.103	0.004	0.021	0.014
ضریب تغییرات Coefficient of Variation(%)	-	0.82	4.81	12.86	15.38	12.36	7.29
P-value	-	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.015	0.916	0.772

* ،** و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی‌دار

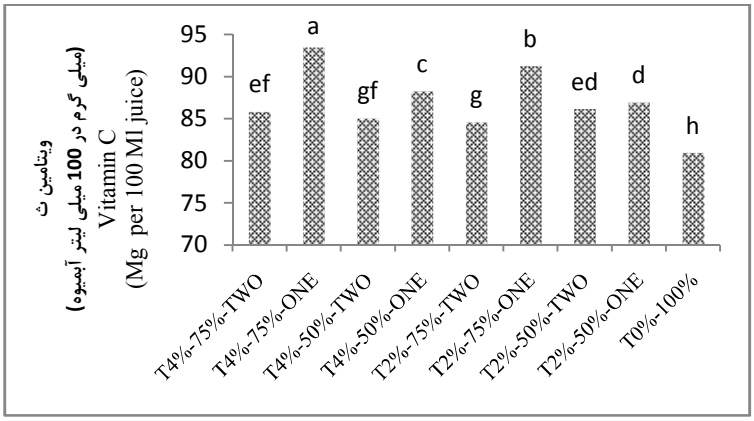
*, ** and ns means significant at 1%, 5% and non-significant respectively

ویتامین ث

نتایج مقایسه میانگین ویتامین ث در فلفل دلمه‌ای نشان می‌دهد تمام تیمارها نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار نشان می‌دهند. بیشترین افزایش مربوط تیمار ۲ درصد زئولیت در یک طرف گلدان و کم آبیاری ۷۵ درصد می‌باشد و تیمار ۲ درصد زئولیت در یک طرف گلدان و کم آبیاری ۵۰ درصد در رتبه دوم قرار دارد. لی و کادر (۱۶) نیز گزارش کردند که آبیاری کمتر یا دور آبیاری زیاد سبب افزایش ویتامین ث می‌شود که با یافته‌های این پژوهش هماهنگی کامل دارد. ویتامین ث بخشی از سیستم دفاعی گیاه است (۲۳). گیاهان برای مقابله با تنش خشکی سطح آنتی‌اکسیدان‌های مختلف را فزایش می دهند. اسید آسکوربیک (ویتامین ث) از جمله ترکیبات آنتی اکسیدانی است که از تخریب بافت‌ها توسط رادیکال‌های آزاد جلوگیری می‌کند، که میزان آن در شرایط خشکی در جهت کاهش آثار مخرب تنش افزایش می‌یابد. یاری و همکاران (۲۹) بالاترین میانگین تولید ویتامین C با کاربرد ۴۴ گرم زئولیت و آبیاری دو هفته یک بار به میزان ۱۶۷/۷ میلی‌گرم بر ۱۰۰گرم گیاه آلوئه ورا را گزارش نمودند.

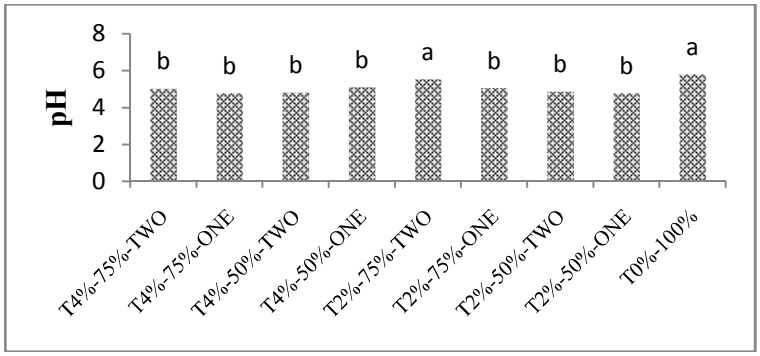
pH

مقایسه میانگین pH تیمارهای مورد بررسی نشان داد به جز تیمار ۲ درصد زئولیت در دو طرف گلدان و کم آبیاری ۷۵ درصد، بقیه تیمارها کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد داشتند. دلیل آن را می‌توان به کم بودن ظرفیت تبادل کاتیونی نسبت داد (۱۸). بالاترین pH مربوط به تیمار شاهد و کمترین مربوط به افزودن ۲ درصد زئولیت در یک طرف گلدان و کم آبیاری ۵۰ درصد می‌باشد. بطور کلی با کاهش میزان آبیاری، مقدار pH فلفل دلمه‌ای نیز کاهش یافته است. کاهش مقدار pH میوه با کاهش میزان آب آبیاری در برخی مطالعات دیگر مانند شرایعی و همکاران (۲۷) هم گزارش شده است.



شکل ۹- مقایسه میانگین ویتامین ث در تیمارهای مختلف

Figure 9 - Mean Comparison of vitamin C in different treatments



شکل ۱۰- مقایسه میانگین pH در تیمارهای مختلف

Figure 10 - Mean Comparison of pH in different treatments

کل مواد جامد محلول

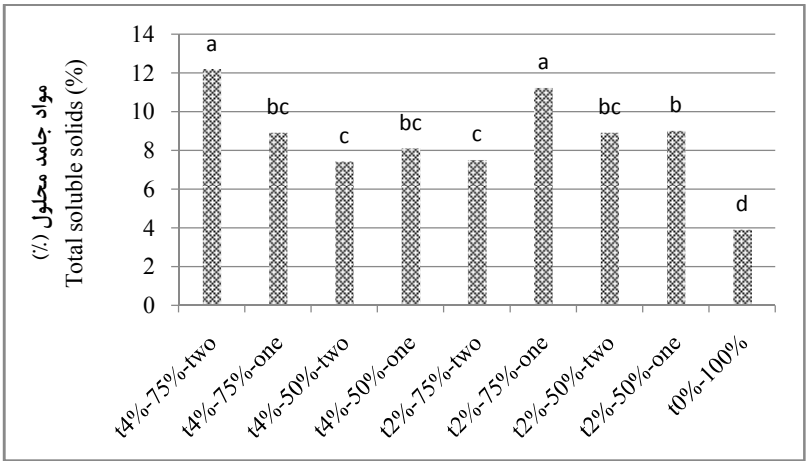
همانطور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است مقدار مواد جامد محلول در تمام تیمارهای مورد بررسی اختلاف معنی‌دار و افزایشی نسبت به شاهد دارند. به عبارت دیگر اعمال تنش باعث افزایش معنی‌دار مواد جامد محلول در تیمارها شده است. گیاهان در شرایط تنش خشکی، از طریق تنظیم اسمزی، آماس سلولی را حفظ می‌کنند. این عمل به وسیله تجمع مواد قابل حل مانند قندها انجام می‌شود که به تنظیم اسمولاریته درون سلول‌های گیاه کمک کرده و موجب حفظ مولکول‌ها و ذخیره کربوهیدراتی میوه گیاه می‌شود (۵). کارام و همکاران (۱۲) گزارش کردند که افزایش تنش آبی، کیفیت میوه فلفل شیرین را از طریق افزایش مواد جامد محلول بهبود می‌بخشد. فواتی و همکاران (۹) نیز نتایج مشابهی برای گوجه فرنگی گزارش کردند. در مطالعات رستمی و همکاران (۲۶) در مطالعه‌ای بر روی فلفل قلمی نشان دادند که مواد جامد محلول با کاهش میزان آبیاری، افزایش می‌یابد. این نتایج با نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر مطابقت دارد.

کلروفیل a

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۴ نشان می‌دهد که اثر زئولیت و کم‌آبیاری به همراه روش آبیاری بخشی تنها بر میزان کلروفیل a در سطح اطمینان ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد و نتایج مربوط به کلروفیل b و کل معنی‌دار نمی‌باشند. نتایج مقایسه میانگین‌ها در کلروفیل a نیز نشان می‌دهد تنها افزودن ۴ درصد زئولیت در یک طرف گلدان و آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه ($T_{4\%-75\%-ONE}$) موجب افزایش معنی‌داری در میزان کلروفیل a نسبت به شاهد شده است. به عبارت دیگر تنش آب و آبیاری بخشی به همراه زئولیت نتوانسته تاثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل ایجاد کند. هرچند مطالعات متعددی افزایش کلروفیل را در شرایط خشکی گزارش نموده‌اند ولی به نظر می‌رسد که در تحقیق حاضر افزودن زئولیت به تیمارها تاثیر کم آبیاری را بر تغییر کلروفیل خنثی نموده است.

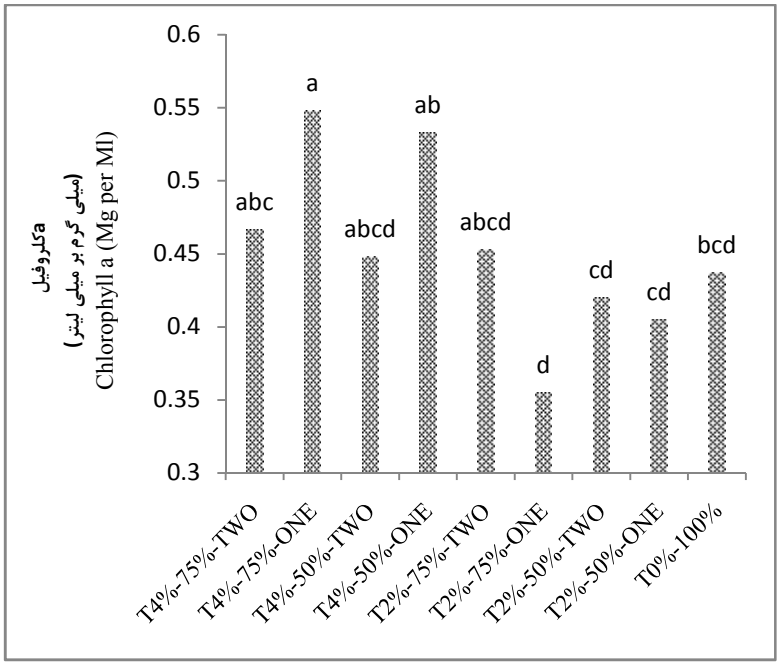
کارایی مصرف آب

نتایج تجزیه واریانس داده‌های کارایی مصرف آب در قالب طرح کاملا تصادفی نشان می‌دهد که مقادیر مختلف زئولیت و کم آبیاری به همراه آبیاری بخشی در سطح ۱ درصد تاثیر معنی‌داری بر تیمارها داشته است. اعمال تنش آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، بالاترین کارایی مصرف آب را با تفاوت معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد نشان می‌دهد که با توجه به اینکه در این شرایط کمترین مقدار آب به تیمارها اعمال شده، منطقی به نظر می‌رسد. در تیمارهای ۵۰ درصد کم آبیاری، تیمارهایی که زئولیت در دو طرف گلدان‌ها اعمال شده است کارایی مصرف آب بیشتری نسبت به تیمارهای با زئولیت یک‌طرفه نشان می‌دهد که حاکی از نقش مثبت زئولیت در افزایش کارایی مصرف آب است. بالاترین مقدار کارایی مصرف آب مربوط به دو تیمار ۲ درصد زئولیت در دو طرف گلدان و آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه ($T_{2\%-50\%-TWO}$) و تیماری با همین شرایط ولی ۴ درصد زئولیت ($T_{4\%-50\%-TWO}$) می‌باشد که تفاوت بین این دو نیز از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. بنابراین علاوه تایید تاثیر مثبت زئولیت بر افزایش کارایی مصرف آب، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش زئولیت از ۲ به ۴ درصد تاثیر معنی‌داری بر افزایش کارایی مصرف آب نداشته است. علی رغم اینکه تیمار $T_{2\%-50\%-TWO}$ بالاترین کارایی مصرف آب را دارد (۱۱۰ درصد افزایش نسبت به شاهد) ولی وزن تر کل میوه که هدف نهایی تولید است در این تیمار حدود ۷۰ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داده است، بنابراین نمی‌توان این تیمار را به عنوان تیماری مناسب قلمداد کرد.



شکل ۱۱- مقایسه میانگین کل مواد جامد محلول در تیمارهای مختلف

Figure 11 - Mean Comparison of total soluble solids in different treatments



شکل ۱۲- مقایسه میانگین کلروفیل a در تیمارهای مختلف

Figure 12 - Mean Comparison of chlorophyll a in different treatments

با در نظر گرفتن پارامتر تولید میوه، بهترین تیماری که با افـزایش کارایی مصرف آب کمترین مقدار کاهش را در تولیـد میـوه نشـان داد تیمار $T_{4\%-75\%-TWO}$ می‌باشد. مقدار کارایی مصـرف آب در ایـن تیمـار حدود ۴۲ درصد بیشتر از شاهد و کاهش وزن‌تـر میـوه (شـکل ۴) آن حدود ۴۳ درصد نسبت به تیمار شاهد است.

خاشعی سیوکی و همکاران (۱۵) نیز گزارش نمودند که با افزایش تنش خشکی و مصرف زئولیـت میـزان کـارایی مصـرف آب افـزایش می‌یابد. استیکک و همکاران (۲۸) نیز در مطالعات خود بر روی گوجـه فرنگی با اعمال تیمار آبیاری بخشی (PRD) نتیجه گرفتند که در این تیمار گیاه رشد کمتری دارد ولی محصول با افـزایش کـارایی مصـرف آب همراه است. کامپوس و همکاران (۶) نیز نشـان دادنـد کـه روش PRD در مقایسه با آبیاری کامل تا ۵۰ درصد کـارایی مصـرف آب در گوجه‌فرنگی را افزایش می‌دهد. تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه می‌توانند با تغییر محیط، باز و بسته شدن روزنه‌ها را کنترل و موازنه آب را تنظـیم نمایند.

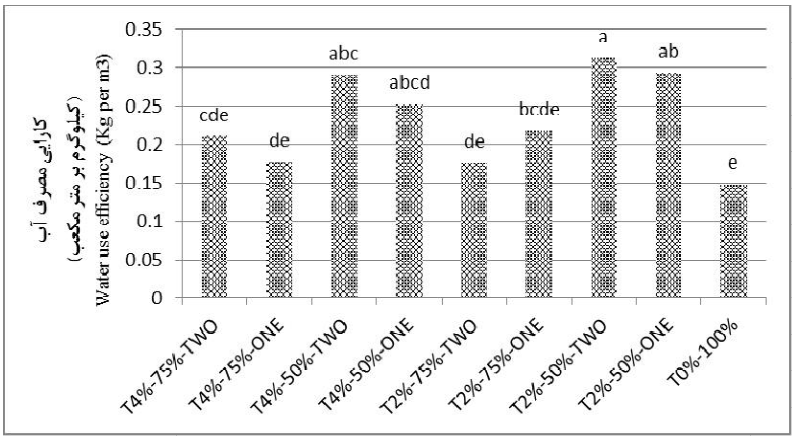
جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) کارایی مصرف آب

Table 5 - Analysis variance (mean square) of water use efficiency

منبع تغییرات **Source of Varianc**	درجه آزادی **dF**	کارایی مصرف آب **water use efficiency**
تیمار Treatments	8	0.0139**
خطا Error	27	0.003
ضریب تغییرات Coefficient of Variation (%)	-	24.04
P-value	-	0.001

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

** significant at 1%



شکل ۱۳- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف

Figure 13- Mean Comparison of water use efficiency in different treatments

اثرات متقابل

در این بخش برای بررسی اثرات متقابل بین زئولیت، کم آبیاری و روش توزیع زئولیت در گلدان‌ها، داده‌ها بصورت آزمایش فاکتوریل در قالب در طرح کاملاتصادفی نیز تحلیل گردید (جدول ۶). در این جدول نتایج موبوط به شاخص‌هایی که حداقل یکی از اثرات متقابل آنها معنی‌دار شده است ارایه گردید.

با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل مقدار زئولیت و نحوه توزیع آن در گلدان‌ها می‌توان نتیجه گرفت که نحوه توزیع زئولیت در گلدان‌ها (در یک طرف یا هر دو طرف گلدان) توانسته است اثر کاهش مقدار زئولیت را در برخی شاخص‌ها جبران کند. برای نمونه اثر متقابل مقدار و نحوه توزیع زئولیت برای قطر میوه در شکل ۱۴ نشان می‌دهد که در هر دو مقدار ۲ و ۴ درصد زئولیت قطر میوه در شرایطی که زئولیت در دو طرف گلدان توزیع شده بصورت معنی‌داری افزایش یافته است.

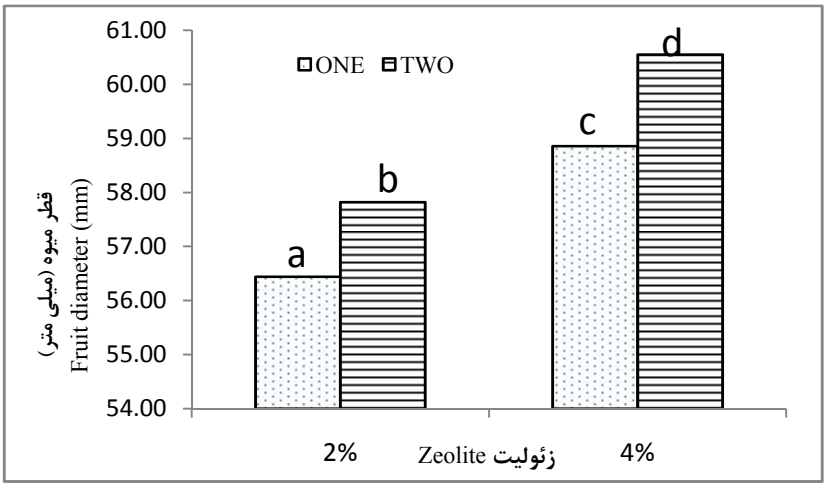
جدول ٦- تجزیه واریانس اثرات متقابل

Table 6- Analysis variance components for interaction effects

منبع تغییرات Source of Varianc	درجه آزادی dF	وزن تر کل میوه fresh fruit total weight	قطرمیوه fruit diameter	وزن‌تر اندام‌هوایی shoot fresh weight	وزن خشک اندام‌هوایی shoot dry weight	ویتامین ث vitamin C	PH	مواد جامد محلول total soluble solids	کلروفیل a chlorophyll a
زئولیت*کم آبیاری Zeolite*Deficit irrigation	1	633.53**	10.944*	1697/69*	62.580**	5.502**	0.621**	35.701**	0.0001 ns
زئولیت*روش توزیع Zeolite*distribution method	1	116.68ns	0.199 ns	10604.048**	72.030**	5.805**	0.177ns	51.005**	0.038**
کم آبیاری*روش توزیع Deficit irrigation* distribution method	1	506.75**	46.262**	101.246ns	0.028 ns	53.79**	0.396*	5.611*	0.0038ns
زئولیت*کم آبیاری *روش توزیع Zeolite*Deficit irrigation* distribution method	1	406.25*	0.728 ns	2544.341*	11.103ns	1.197 ns	0.005 ns	63.281**	0.003 ns
ضریب تغییرات	-	8.98	2.60	12.70	10.21	9.80	4.98	12.55	10.47

* ،** و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی‌دار

*, ** and ns means significant at 1%, 5% and non-significant respectively

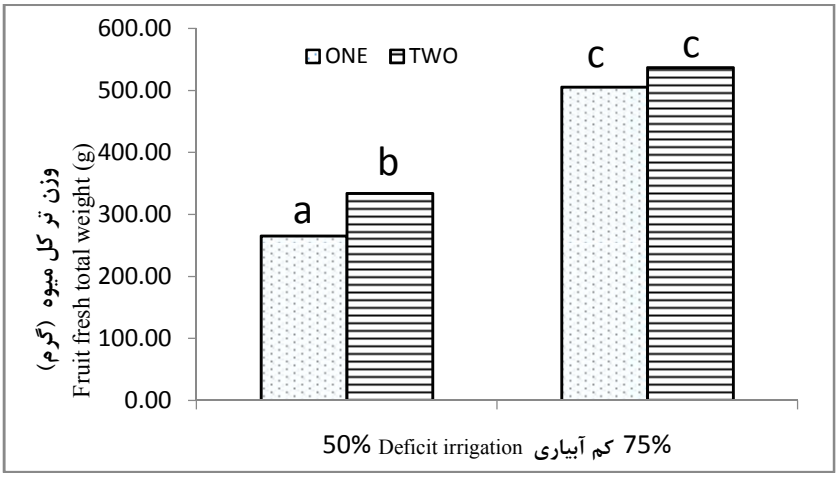


شکل ١٤- برهمکنش مقدار زئولیت و نحوه توزیع آن بر قطر میوه

Figure 14 – Interaction of zeolite and its distribution on fruit diameter

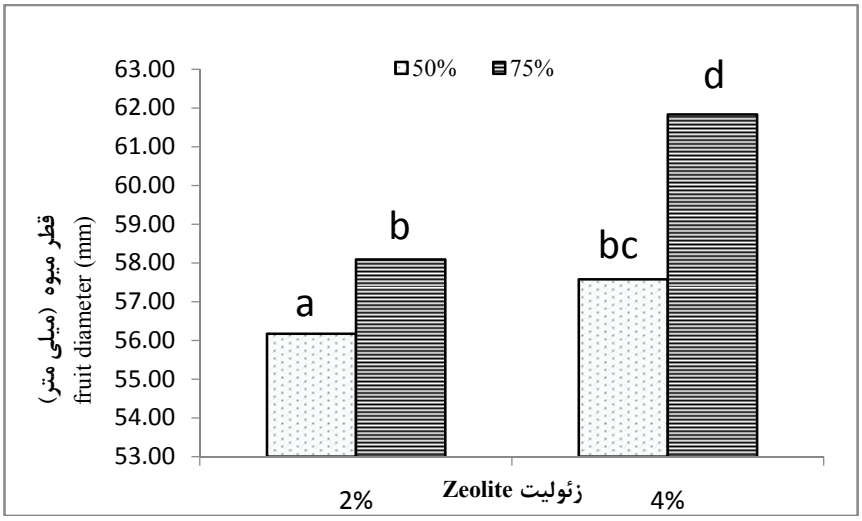
همچنین اثرات متقابل نحوه توزیع زئولیت در گلدان‌ها و کم آبیاری نیز معنی‌دار شده است. برای نمونه شکل ۱۵ مقایسه میانگین برای اثرات متقابل وزن‌تر کل میوه را نشان می‌دهد. همانگونه که مشخص است تفاوت بین کم آبیاری ۵۰ درصد با ۷۵ درصد در هر دو حالت توزیع زئولیت در یک طرف و دو طرف گلدان معنی‌دار می‌باشد. که نشان می‌دهد اثر کاهنده کم آبیاری بر وزن تر کل میوه بر اثر مثبت زئولیت غلبه نموده است. به عبارت دیگر زئولیت نتوانسته اثر کاهشی کم آبیاری ۵۰ درصد در کاهش عملکرد را نسبت به کم آبیاری ۷۵ درصد به خوبی جبران کند. ولی با توجه به معنی‌داری تفاوت بین توزیع زئولیت در یک طرف و دوطرف گلدان در کم آبیاری ۵۰ درصد، می‌توان نتیجه گرفت که توزیع زئولیت در دوطرف گلدان باعث افزایش معنی‌دار وزن تر میوه نسبت به توزیع زئولیت در دو طرف گلدان شده است. به عبارت دیگر توزیع زئولیت در دو طرف گلدان می‌تواند بصورت معنی‌داری از کاهش محصول نسبت به توزیع زئولیت در یک طرف گلدان جلوگیری کند.

بر اساس نتایج ارایه شده در جدول ۶ اثرات متقابل مقدار زئولیت و کم آبیاری نیز معنی‌دار شده است. نتایج ارایه شده در شکل ۱۶ برای قطر میوه این موضوع را نشان می‌دهد. با افزایش مقدار زئولیت به ۴ درصد، قطر میوه نیز بصورت معنی‌داری افزایش یافته است. در کم‌آبیاری ۵۰ درصد و ۷۵ درصد با افزایش مقدار زئولیت از ۲ به ۴ درصد قطر میوه بصورت معنی‌داری افزایش یافته است. به عبارت دیگر افزایش مقدار زئولیت توانسته تاثیر منفی کم‌آبیاری را کاهش کند.



شکل ۱۵- برهمکنش کم‌آبیاری و نحوه توزیع زئولیت بر وزن تر کل میوه

Figure 15- Interaction of deficit irrigation and zeolite distribution on fruit fresh total weight



شکل ۱۶- مقایسه میانگین قطر میوه در تقابل مقدار زئولیت با کم‌آبیاری

Figure 16 - Interaction of deficit irrigation and zeolite on fruit diameter

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که اکثر صفات مورد بررسی (به جزء کلروفیل) در تیمارهای حاوی زئولیت همراه با آبیاری بخشی منطقه ریشه (PRD) نسبت به شرایط عدم مصرف زئولیت و استفاده از روش PRD تفاوت معنی‌دار نشان می‌دهند، که با توجه به ویژگی‌های مثبت این پلیمرها از قبیل استحکام بخشیدن به خاک و فراهم آوردن شرایط مناسب برای رشد گیاهان و همچنین توانایی جذب آب می‌توان این تفاوت‌ها را توجیه نمود.

از بین پارامترهای مورد بررسی وزن تر میوه که مهمترین پارامتر در تولید فلفل دلمه‌ای می‌باشد در تمام تیمارهای تنش خشکی، زئولیت و PRD کاهش معنی دار نسبت به شاهد نشان داد، هرچند در تیماری تنش ۷۵ درصد مقدار این کاهش کمتر می‌باشد ولی در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که حتی در شرایط استفاده از ۴ درصد زئولیت هم استفاده از روش PRD همراه با کم‌آبیاری برای تولید این گیاه توصیه نمی‌شود. افزایش مقدار زئولیت به مقداری بیشتر از ۴ درصد وزنی ممکن است بتواند کاهش عملکرد میوه را جبران کند که باید در تحقیقات بعدی مورد بررسی قرار گیرد. کارایی مصرف آب در تنش خشکی همراه با زئولیت و آبیاری بخشی افزایش معنی‌دار نشان می‌دهد که البته به قیمت کاهش معنی‌دار عملکرد میوه بدست آمده است. بنابراین استفاده از روش مورد استفاده در این تحقیق تنها در شرایطی توصیه می‌شود که منابع آب شیرین محدود و دسترسی به آن بسیار کم باشد. هرچند کاهش مصرف آب در این روش می‌تواند به افزایش سطح زیر کشت کمک کند. با توجه به اینکه در تولید سبزیجاتی مانند فلفل مهمترین پارامتر وزن تر میوه می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که تیمار کم آبیاری ۷۵ درصد به همراه پخش ۴ درصد زئولیت در دو طرف گلدان به دلیل اینکه کمترین مقدار کاهش محصول را نسبت به شاهد داشته است (حدود ۴۳ درصد) و همچنین کارایی مصرف آب را حدود ۴۲ درصد افزایش داده است، بهترین تیمار مورد بررسی در این تحقیق می‌باشد.

منابع

1- Ahmad Azar F., Hasanlu T., Imani a., Feyzi Asl V. 2015. Drought stress and application of mineral zeolite on growth and some physiological parameters of cucumber plant. Journal of Plant Breeding. Iranian Journal of Biology, 28(3): 459-474 (In Persian).

2- Ayan S., Yahyaoglu Z., Gercek V. and Şahin A. 2005. Utilization of zeolite as a substrate for containerized oriental spruce (Picea orientalis L.) seedlings Concentration (mg/kg) 3 dS m-116 dS m-110 propagation. International Symposium on Growing Media.4-10.

3- Babazadeh H., Saraee Tabrizi M., and Modarrs Sanavi S. A. M. 2010. Improving the irrigation water use efficiency of soybean using partial root drying, jornal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 4 (52), 99 – 110 (In Persian).

4- Bezkurt Colak Y., Yazar A., Colak I., Akca H. and Duraktekin G. 2015. Evaluation of crop water stress Index (CWSI) for Eggplant under Varying Irrigation Regimes Using Surface and Subsurface Drip Systems.

Agriculture and Agriculture Science. 42: 372 – 382.

5- Blum A. 1988. Plant Breeding for Stress Environments. CRC Press, Inc., pp. 45-56.

6- Campos H. N., Trejo C., Pena-Valdivia C. B., Ayala C. R., and Garcia P. S, 2008. Effect of partial root zone drying on growth, gas exchange and yield of tomato. Scientical Horticulture, 4: 493-499.

7- Dehghan H., Alizadeh A., Esmaeli K., Nemati H. 2015. The effect of drought stress on root growth and yield components of tomato. Journal of water research in agriculture. 29(2): 169 -179 (In Persian).

8- EL-Sadek A. 2014. Water use Optimisation based on the concept of partial rootzone drying. Ain Shams Engineering Journal, 5:55-62.

9- Favati F., Lovelli S., Galgano F., Miccolis V., Di Tommaso T. and Candido V. 2009. Processing tomato quality as affected by irrigation scheduling. Scientia Horticulturae. 122(4):562- 571.

10- Grilo F. S., Di Stefano V., Lo Bianco R. 2017. Water use efficiency and physiological characteristic of "Tommy Atkins" mango under partial root zone drying irrigation system. Journal of Water Resourceand Protection. v. 7. n. 13. pp. 1029-1037.

11- Jerie P., Zhang J., Kang S. and Hu. X. 2003. The effects of partial rootzone drying on root, trunk sap flow and waterbalance in an irrigation pear (Pyrus communis L.) Orchard. Journal of Hydrol. 280:192-206.

12- Karam F., Masaad R., Bachour R., Rhayem C. and Rouphael Y. 2009. Water and radiation use efficiencies in Drip- irrigated pepper (*capsicum annuum L.*): Response to full and deficit irrigation regimes. European Journal of Horticultural Science. pp. 79-85.

13- Karandesh F., Mirlatifi S.M., Shahnazari A., Abbasi F., Gheysari M. 2011. The effect of partial root drying and deficit irrigation on the water use efficiency on yield components in conditions plant corn. Iranian journal of soil and water research. 44: 33 34 (In Persian).

14- Khan M. A. I., Farooqne A. M., Haque, M. A., Rahim, M. A. 2008. Effects of water Stress at varios qrowth stages on the Physio-morphological characters and yield in chilli. Bangladesh Agricultural Research, 33(3): 353-362.

15- Khashei Sivaki a., Kochakzadeh m., Shahabifar M. 2008. The Effect of Application of Clinoptilolite Natural Zeolite and Soil Moisture on Corn Yield Components. Journal of Soil Research (Soil and Water Science) 22(2). 235-241 (In Persian).

16- Lee S. K. and Kader A. A. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin c content of horticultural crops. Postharvest Biology and Technology. 20(3): 207-220.

17- Lutfor Rahman S. M., Nawata E. and Sakuratani T. 1998. Effects of water stress on yield and related morphological characters among tomato (Lycopersicon esculentum Mill.) cultivars. Thai Journal of Agricultural Science, 31(1):10-18.

18- Mamy Y., Peyvast GH. A., Bakhshi D. and Sami Zadeh H. 2007. Determination of different substrate for tomato planting in soil-free cultivation system. Journal of Horticulture (Science and Technology of Agriculture), 22: 48–39 (In Persian).

19- Meydan Shahi M., Mousavi S. F., Mostafizadefard B., Lindy A. 2012. Effect of Deficit irrigation by PRD method and sodium salicylate on yield, yield components and tomato juice consumption efficiency. Journal of Greenhouse Crop Science and Technology, 4(13):1-13 (In Persian).

20- Mohammadi M., Leaghat A., Molavi H. 2011 .The effect of salinity and drought stress on yield components tomato in field conditions tom. Journal of irrigation Science and Engineering, 34:15-24 (In Persian).

21- Mohammadi M., Molavi H., Layghat A. and Parsinejad M. 2013. The Effect of Zeolite Application on the Performance and Water Consumption Efficiency of Maize. Journal of Water Research in Agriculture, 27(1):57-67 (In Persian).

22- Munns R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environ, 25: 239–250.

23- Ramachandra Rao S. and Ravishankar G. A. 2002. Plant cell cultures: Chemical factories of secondary metabolites. Biotechnology Advances. 20(2): 101-153.

24- Rigling A., Briihlhart H., Braker O., Forster T. and Schweingruber F.H. 2003. Effect of irrigation on diameter growth and vertical resin production in *Pinus sylvestris* L. on dry sites in the central Alps, Switzerland. Forest Ecologyand Management. 175: 285- 296.

25- Rostami F., Sefidkohi M. A., Shahanzari A., Akbarpour V. 2016. Effect of A 200 superabsorbent under drought stress conditions on some phytochemical parameters of chili pepper plant and water productivity. Iranian Journal of Water Research. Volume 10 number 1. Successive 20th. 114–107 (In Persian).

26- Sarmadnia Gh. H. and Kochaki A. 1992. Physiological aspects of farming. Mashhad University Press, pp. 424 (In Persian).

27- Sharayei P., Sobhani A. R. and Rahimiyan M. H. 2006. The effect of different level of irrigation and potassium fertilizers on water use efficiency and the quality of tomato fruit of Erli Belanket. Journal of Agricultural Engineering Research, 7(2): 75-86 (In Persian).

28- Stikic R., Popovic S., Srdic M., Savic D., Jovanovic Z. and Prokic L. J., 2003. Partial Root Drying (PRD): A New Technique for Growing Plants That Saves Water and Improves The Quality of Fruit. Bulgarian Journal of Plant Physiology, 164–171.

29- Yari S., Sigarodi f., Moradi p. 2013. Effect of different levels of zeolite on growth and production of gel in aloe vera plant under different irrigation conditions. Journal of Medicinal Plants, 4(48): 72-81 (In Persian).

30- Zarei M., Kazemaini S. A., Bohrani G. 2014. The effect of tillage and stress water systems on Wheet plant performance. Journal of Iranian Crop Research, 12(4): 793-804 (In Persian).

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 4, Sept.-Oct. 2018, p. 675-690

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۷، ص. ۶۹۰-۶۷۵

The Effect of Partial Root-Zone Drying and Zeolite on Water Use Efficiency and Physiological Characteristics of Sweet Pepper

P. Daneshpazhoh[1]- A. R. Ghasemi[2*]- M. R. Noori[3]- R. Barzegar[4]

Received: 01-01-2018
Accepted: 29-07-2018

Introduction: Optimal water utilization is one of the most important challenges of the present century. Due to limited water resources and the existence of alternate droughts in the country, optimal use of it is necessary. The deficit irrigation technique is one of the most effective and practical ways in which it can determine and justify the minimum water consumption with acceptable economic performance. Its use in reducing water consumption for biomass production and for irrigation of annual and perennial crops. To effectively apply water deficit management, an understanding of the effects of irrigation at different stages of vine growth is required. Partial Root-zone Drying (PRD) is also one of the new irrigation techniques over the past years. The results of many studies indicate that water use efficiency has increased and there is no significant reduction in the yield in this irrigation method. In this technique, only half of the roots are irrigated at each turn and the remaining half remains dry. On the other hand, in recent years, the use of natural minerals has improved in order to improve the physical and chemical composition of the soil, which leads to an increase in water holding capacity in the soil. One of the methods for increasing the water use efficiency is the application of water absorbent materials in soil. Super absorbent polymer increases the water saving in soil and decreases the amount of water used for irrigation. Zeolite is one of these minerals that increases the soil water holding capacity. So far, many studies have been carried out on the use of PRD, as well as the use of zeolite, but none has examined the effect of these two simultaneously. Therefore, in the present study, the efficiency of both above method and deficit irrigation on yield and water use efficiency of sweet pepper were investigated.

Materials and Methods: This research was carried out in a completely randomized design with 9 treatments and 4 replications in a greenhouse in Shahrekord University. This study was carried out at three levels of irrigation of 100%, 75% and 50% of the water requirement of the plant by Partial Root-zone Drying and zeolite in two levels of 2 and 4% by weight in the soil, in one and two sides of the pots with a height of 30 and diameter 28 cm. After preparing the culture medium, the F1 type Lummus seedlings were transferred to the pots. During the transfer of transplants into the pot, careful attention was paid to the fact that the roots were developed on both sides. Physiological parameters such as leaf area, total fresh and dry weight of the whole organ, total fresh weight of fruit, diameter and number of fruits and chemical indices including vitamin C, pH, total soluble solids and chlorophyll a, b and total chlorophyll with water use efficiency were measured and evaluated. In order to analyze the results, SAS software (version 1/9) was used. Mean comparison was also performed by LSD test.

Results and Discussion: The results of this study showed that there was a significant difference in the 1% level for fresh and dry weight, fresh weight of fruit and chemical indices of vitamin C, pH and soluble solids, and a significant difference at 5% for diameter fruit and chlorophyll. The results of comparing the meanings showed that fresh weight and fruit diameter were significantly decreased in all treatments than control. The number of fruits in severe irrigation (50%) and in both levels of zeolite showed a significant decrease compared to control. Vitamin C value as an important indicator of fruit quality in all treatments was significantly higher than control, in other words water stress causes an increase in the amount of vitamin C in the fruit, and the amount of pH in the most treatments has decreased significantly compared to the control treatment.

Conclusion: Given that all important processes such as photosynthesis, nutrition, opening and closing of stomatal and plant growth and development are under the influence of water, most of the studied traits in this research (except chlorophyll) in zeolite-containing treatments, showed a significant advantage over non-consumption of zeolite. The results also showed that application of PRD method with zeolite in deficit irrigation resulted in significant increase in water use efficiency in all treatments.

Keywords: Chemical indicators, Deficit irrigation, Greenhouse products, Moisture, PRD

1, 2 and 3- Graduate Student, Assistant Professor and Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Respectively
(*- Corresponding Author Email: ghasemiar@yahoo.com, ar-ghasemi@sku.ac.ir)
4- Assistant Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahrekord University