

Comparison of Yield and Water Productivity in Surface and Subsurface Irrigation in Pots

HASAN KARIMI¹, MAHMOUD MASHAL¹, SEYYED EBRAHIM HASHEMI GARM DAREH^{*1}

1. Water Engineering Department, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran,

(Received: May. 18, 2021- Revised: June. 27, 2021- Accepted: July. 17, 2021)

ABSTRACT

It's so important to conducting research on improving productivity and performance due to the reduction of water resources and need for optimal use of water resources, in recent years. One of the suitable methods is potted subsurface irrigation that its effectiveness has been proven in recent researches. Due to less studied the effect of subsurface irrigation in greenhouses, in this study, the productivity of two methods of surface and subsurface irrigation in pots for basil in the greenhouse was compared. Also, two different culture media (soil-cocopeat-perlite and cocopeat-perlite) and two-bed depths in pots (30 and 50 cm) were used. The results showed that there was no significant difference between the two irrigation methods at the level of five percent in wet and dry crop yield. However, the yield values were 25% higher in the soil-cocopeat-perlite bed than the cocopeat-perlite bed. According to the amount of water used, the water productivity increased 13 % in the soil-cocopeat-perlite bed. The results also showed that the water productivity of potted subsurface irrigation and surface irrigation were 10.84 and 5.86 g/l, respectively, which were significantly differ from each other at the level of one percent.

Keywords: Basil, Water Consumption, Root Weight, Water Use Efficiency.

* Corresponding Author's Email: sehashemi@ut.ac.ir

مقایسه عملکرد و بهره‌وری آب گیاه ریحان با روش آبیاری سطحی و زیرسطحی در گلدان

حسن کریمی^۱، محمود مشعل^۱، سید ابراهیم هاشمی گرمدره^{۱*}

^۱گروه مهندسی آب، دانشکده‌گان ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۲۸ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۴/۶ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۴/۲۶)

چکیده

لزوم استفاده بهینه از منابع آب با توجه به کاهش منابع آبی در سال‌های اخیر، اهمیت انجام تحقیقات در مورد بهبود بهره‌وری و عملکرد را بیش از پیش نشان می‌دهد. آبیاری زیرسطحی گلدانی، یکی از روش‌های مناسبی است که در تحقیقات اخیر کارایی آن به اثبات رسیده است. از آنجایی که تأثیر روش آبیاری زیرسطحی در گلخانه‌ها بسیار کم مورد بررسی قرار گرفته است، در این پژوهش به مقایسه بهره‌وری دو روش آبیاری سطحی و زیرسطحی در گلدان برای گیاه ریحان در گلخانه پرداخته شد. همچنین از دو بستر کشت مختلف خاک کوکوپیت-پرلیت و کوکوپیت-پرلیت و دو عمق بستر در گلدان ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر استفاده شد. نتایج نشان داد در عملکرد تر و خشک گیاه بین دو روش آبیاری اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد وجود ندارد. با این حال مقادیر عملکرد در بستر خاک-کوکوپیت-پرلیت نسبت به بستر کوکوپیت-پرلیت ۲۵ درصد بیشتر بود. با توجه به میزان آب مصرفی، میزان بهره‌وری در بستر خاک-کوکوپیت-پرلیت به میزان ۱۳ درصد افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد که میزان بهره‌وری مصرف آب در روش آبیاری زیرسطحی گلدانی به مراتب بیشتر از آبیاری سطحی بود و به ترتیب مقادیر ۱۰/۸۴ و ۵/۸۶ گرم بر لیتر بود برای دو روش آبیاری بدست آمد که در سطح یک درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشتند.

واژه‌های کلیدی: ریحان، آب مصرفی، وزن ریشه، بهره‌وری مصرف آب.

مقدمه

قطره‌ای زیرسطحی به‌عنوان یک فناوری در دسترس جهت بهبود بهره‌وری از منابع آب استفاده می‌شود (Johnson & Cody, 2015). یکی از مناسب‌ترین روش‌های آبیاری با هدف کاهش مصرف آب روش آبیاری زیرسطحی (آبیاری مویبندی) می‌باشد که در آن تأمین آب در زیر خاک انجام شده و در اثر تبخیر مقدار کمی از آب مصرفی که به سطح خاک رسیده تبخیر می‌شود. در نتیجه، آب بیشتری در اختیار ریشه گیاهان قرار می‌گیرد. همچنین به دلیل کم بودن سرعت آبیاری، میزان نفوذ آب به اعماق خاک بسیار کم بوده و تقریباً حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد آب آبیاری مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد (Rangrizi, et al, 2016). آبیاری قطره سطحی و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مؤثرترین روش برای انتقال مستقیم آب و مواد مغذی به گیاهان است و نه تنها باعث صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود بلکه باعث افزایش بازده محصولات زراعی نیز می‌شود. آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به طور بالقوه می‌تواند آب، خاک و مواد مغذی پایدار را برای رشد بهینه محصول فراهم کند و همچنین برای مدیریت شوری و استفاده از مواد شیمیایی زراعی مؤثر باشد (Odhiambo & Irmak, 2015). نتایج تحقیقات چهار ساله Mohammadi & Abdolahi (2016) در کرمان برای مقایسه سیستم آبیاری سطحی و زیرسطحی نیز

امروزه بخش کشاورزی با این واقعیت روبرو است که در آینده‌ای نه‌چندان دور باید ضمن مصرف آب کمتر، تولید گسترده‌تری را عرضه نماید، بنابراین تحقیقات انجام‌شده در ارتباط با راهبردهای افزایش راندمان بهره‌وری از آب نقش مهمی در توسعه کشاورزی خواهد داشت (Zheng et al., 2013). کشت گیاهان گلخانه‌ای، صنعت مهمی در جهان است که نیاز به آب زیادی دارد. بنابراین مدیریت بهینه‌ی آب مورد نیاز گیاهان گلخانه‌ای به‌ویژه در مناطق کم‌آب، نیازمند توسعه روش‌های آبیاری کارآمدتر و مطلوب است (Mungai et al. 2017). گیاه ریحان رقم‌های مختلفی دارد و یکی از مهمترین سبزی‌های برگی بحساب می‌آید. بافت گیاهی خشک شده‌ی ریحان علاوه بر استفاده بعنوان سبزی تازه، بعنوان یک ادویه معطر مورد استفاده قرار می‌گیرد (Omidbaigi, 2000). بذر ریحان همچنین خواص دارویی دارد و به عنوان مسکن درد و درمان بیماری‌های گوارشی استفاده می‌شود (Khalid et al., 2006). بهبود کیفیت محصول و عملکرد، کاهش در آب مصرفی، کاهش هزینه‌های کشت شامل کود دهی، کنترل علف‌های هرز و عملیات خاک‌ورزی سبب گرایش کشاورزان جهت گسترش این روش در مزارع کالیفرنیا شده و در حال حاضر از سیستم آبیاری

و ۲۸ دقیقه عرض شمالی و در ارتفاع ۱۰۲۰ متری از سطح دریا انجام شد. مطالعه بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار و با ۳۲ تیمار انجام گرفت. تیمارهای مورد مطالعه شامل: دو روش آبیاری سطحی (O) و آبیاری زیرسطحی گلدانی (SIP^۱), دو عمق بستر کشت ۳۰ سانتی‌متر (D1) و ۵۰ سانتی‌متری (D2), دو نوع بستر کشت گلخانه‌ای کوکوپیت-پرلیت (C) و خاک-کوکوپیت-پرلیت (SC) بودند.

آماده‌سازی بستر و کاشت:

به منظور ایجاد محیط کشت در روش‌های O و SIP از دو نوع گلدان با عمق‌های ۵۷ و ۳۷ سانتی‌متر برای دو عمق کشت ۵۰ و ۳۰ سانتی‌متری استفاده شد. برای تعیین عمق کشت مناسب پنج گلدان با عمق کشت مختلف ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۶۰ در ابتدا در نظر گرفته شد. در انتهای هر گلدان ۵ سانتی‌متر گراول به عنوان مخزن آب تعبیه شد و روی آن تا عمق‌های مذکور C و SC ریخته شد. سپس تا عمق ۵ سانتی‌متر گلدان‌ها از آب پر شد تا آب به طریق مویبندی جذب پروفیل خاک شود. مخزن در روزهای چهارم و ششم نیز پر از آب شد. به مدت ۱۰ روز رطوبت لایه ۲۰ سانتی‌متری خاک در گلدان‌ها اندازه‌گیری و ثبت شد. انتخاب عمق بر این اساس انجام شد، که عمق مورد نظر بتواند رطوبت لایه ۲۰ سانتی‌متری خاک را بین ۷۵FC/۰ و FC تامین و حفظ کند. بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش عمق ۲۰ سانت به دلیل نزدیکی رطوبت سطحی به اشباع حذف شد. عمق ۶۰ سانت نیز به علت عدم تامین رطوبت کافی در لایه سطحی حذف شد. و دو عمق ۳۰ و ۵۰ سانتیمتری در هر از یک از دو نوع خاک به دلیل تامین رطوبت در محدوده مورد مجاز برای تحقیق انتخاب شدند. برای سیستم SIP در انتهای هر گلدان، ۵ سانتی‌متر گراول درشت دانه به عنوان مخزن نگهداری آب ریخته شد (شکل ۱ و ۲) یکی از تکرارهای گلدان‌های SIP مجهز به مانومتر شد تا سطح آب در مخزن زیر گلدان بصورت دائمی کنترل شود. همچنین در گلدان‌های SIP یک لوله‌ی عمودی پلی اتیلنی نیز در طول گلدان از بالا تا کف برای پر کردن مخزن از آب قرار داده شد و آب آبیاری از طریق این لوله وارد مخزن گلدان می‌شد.

در این مطالعه دو نوع بستر کشت گلخانه‌ای (کوکوپیت + پرلیت + کود ورمی کمپوست (با نسبت‌های ۱+۲+۶)) و (کوکوپیت + پرلیت + خاک + کود ورمی کمپوست (۱ + ۳ + ۱+۴)) مورد استفاده قرار گرفت. ظرفیت بالای نگهداری آب توسط کوکوپیت باعث شده است که کشت نیازی به آبیاری مکرر در فواصل کوتاه ندارد. اما این ویژگی تراکم بالای ذرات و تخلخل کم، باعث

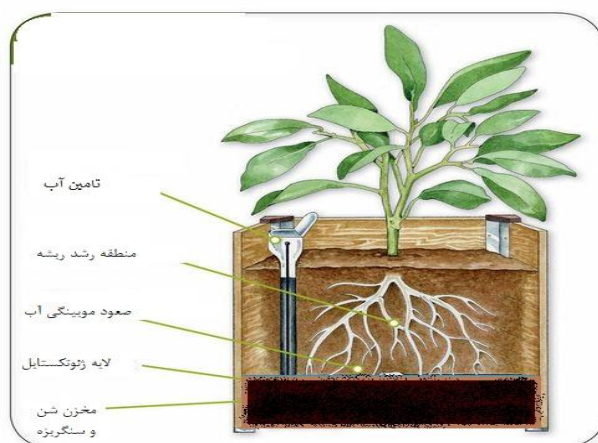
نشان دهنده کاهش حداقل ۳۰ تا ۴۰ درصد در مصرف آب کاربردی، در روش آبیاری زیرسطحی در مقایسه با آبیاری سطحی است. همچنین سیستم آبیاری زیرسطحی علاوه بر افزایش بهره‌وری و صرفه‌جویی در مصرف آب، باعث افزایش کمی و کیفی عملکرد درختان پسته شد. نتایج پژوهش Liaghat *et al.* (2018) در کرج نیز نشان داد که آبیاری زیرسطحی اثر بسیار معنی‌داری در کاهش آب مصرفی (۴۰ درصد) و افزایش عملکرد محصول (۴۶ درصد عملکرد دانه ای، ۵۰ درصد عملکرد علوفه ای و ۱۲ درصد وزن هزار دانه ذرت) نسبت به سیستم آبیاری سطحی دارد. همچنین آبیاری زیرسطحی با کاهش آبشویی نترات و نمک، از شور شدن و آلودگی لایه‌های زیرین خاک جلوگیری کرد. طی یک بررسی اجمالی از مقالات علمی جهان در مورد سیستم‌های زیرسطحی گلدانی، مشخص شد که تاکنون تنها یک مقاله‌ی علمی جامع در راستای بررسی سیستم‌های زیرسطحی گلدانی، توصیه آنها و اثبات کارایی مناسبشان نسبت به سایر روش‌های آبیاری چاپ شده است و در حال حاضر خلاء تحقیقات در مورد طراحی بهینه و استفاده از این سیستم آبیاری وجود دارد (Semananda *et al.*, 2018). تنها مطالعه انجام شده در این مورد را (Mashhor *et al.*, 2020) انجام دادند که در مقایسه بین دو روش آبیاری سطحی و زیرسطحی بر روی گیاه فلفل گزارش کردند، آبیاری زیر سطحی قادر است به طور قابل توجهی میزان استفاده از آب و بهره‌وری گیاه را در مقایسه با آبیاری سطحی بهبود بخشد و استفاده از سیستم زیرسطحی در آبیاری موجب کاهش ۲۴ درصدی مصرف آب می‌گردد. با توجه به خلا موجود در بررسی سامانه‌های زیرسطحی در گلخانه و عدم وجود مطالعه در این زمینه و از سوی دیگر نیاز روز افزون به کشت گلخانه‌ای علی‌الخصوص در محیط‌های شهری به منظور تأمین امنیت و مواد غذایی مطالعه حاضر صورت گرفته است. در این مطالعه سعی در انتخاب سامانه بهینه آبیاری با توجه به محدودیت‌های منابع آب بوده است که بتواند بعنوان راهگشای مشکلات مربوط در این زمینه باشد. بنابراین این مطالعه با هدف مقایسه عملکرد گیاه ریحان با استفاده از سیستم‌های آبیاری سطحی و زیرسطحی در گلدان هم چنین مقایسه کارایی دو روش آبیاری مذکور و تعیین بهترین سناریو انجام شد صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر از خرداد الی مهرماه ۱۳۹۸ در محل گلخانه تحقیقاتی گروه مهندسی آب پردیس ابوریحان دانشگاه تهران با موقعیت جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه

های کشت در بستری از کوکوپیت و پرلیت در گلخانه کاشته شد و پس از رشد نشاها و چهار برگی شدن، به گلدان‌ها منتقل شدند. در مرحله کاشت بذر، تا مرحله چهار برگی شدن گیاه، به دلیل فقیر بودن بستر کشت گیاه، سه مرحله کود ۲۰-۲۰-۲۰ (نیترژن، فسفر و پتاسیم) به گیاه داده شد. پس از انتقال به گلدان‌ها نیز کود دهی با کود ۲۰-۲۰-۲۰ به صورت محلول به غلظت دو گرم در لیتر هر دو هفته یکبار انجام شد.

هوادهی ضعیف در منطقه ریشه می‌شود. که بر انتشار اکسیژن به ریشه تأثیر می‌گذارد. بسته به تکنیک ر سیدگی و پردازش، خصوصیات فیزیکی کوکوپیت به راحتی می‌تواند بر ظرفیت هوا و نگهداری آب تأثیر بگذارد. بر اساس آزمایش انجام شده توسط Awang *et al.* (2009) مشخص شد که ترکیب مواد درشت در بستریهای کوکوپیت این مشکل را حل کرده و هوادهی را بهبود می‌بخشد. جدول (۱) خصوصیات شیمیایی و فیزیکی بستریهای مورد استفاده در آزمایش ارائه شده است. بذریهای ریحان در سینی



شکل ۱- نمای شماتیکی از سیستم زیرسطحی (SIP) و اجزای آن



شکل ۲- آماده سازی گلدان‌ها کشت

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی بستریهای مورد استفاده در آزمایش

pH	FC % (kg water/kg dry soil)	شوری اولیه (dS.m)	چگالی حقیقی (gr. cm ⁻³)	چگالی ظاهری (gr. cm ⁻³)	نام اختصاری	نوع محیط کشت مورد استفاده در گلدان‌ها
۶/۴	۳۲/۵	۱/۱۴	۰/۴۷	۰/۱۳	C	کوکوپیت + پرلیت + کود ورمی کمپوست
۶/۴۱	۳۴	۱/۱۵	۲/۰۴	۱/۰۵	SC	بستر کشت (کوکوپیت + پرلیت) + خاک رسی + کود ورمی کمپوست

آبیاری

دستگاه رطوبت‌سنج به 0.75FC رسید آبیاری انجام می‌گردد. همچنین مطابق با دستورالعمل FAO وضعیت گیاهان برای آبیاری ملاحظه و بررسی شد. در مورد گلدانهای زیرسطحی از

در مورد تمام گلدان‌های سطحی و زیرسطحی زمانی که رطوبت متوسط اندازه‌گیری شده لایه ۱۰ سانتی متری خاک با استفاده از

تأثیر متقابل تیمارها نیز بر هم معنی‌دار می‌باشد. با توجه به جدول مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۴) مشاهده شد که روش آبیاری SIP دارای بهره‌وری مصرف آب بالاتری نسبت به روش آبیاری O دارد که این اختلاف در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است، مطابق نتایج جدول (۴)، میزان بهره‌وری مصرف آب در تیمار SIP با ۱۰/۸۴ گرم بر لیتر در حدود ۸۵ درصد از تیمار O بیشتر بوده است که نشان دهنده مناسب بودن این تیمار آبیاری می‌باشد. همچنین مقدار آب مصرفی در تیمار O به میزان ۷۶ درصد بیشتر از تیمار SIP بوده است که اختلاف آن با تیمار SIP معنی‌دار بوده است. این نتایج نشان از برتری روش آبیاری SIP نسبت به روش آبیاری تیمار O می‌باشد، که در مناطق با کمبود منابع آب بسیار حائز اهمیت می‌باشد و با مصرف آب کمتر مقدار محصول بیشتری دست می‌یابد. کاهش تبخیر از سطح خاک در آبیاری SIP باشد که موجب کاهش حجم آب مصرفی و در نتیجه افزایش کارایی مصرف آب می‌شود، در صورتی که در آبیاری O به دلیل روش آبیاری همواره تبخیر از سطح اتفاق می‌افتد.

مطابق شکل (۳) میزان بهره‌وری مصرف آب در تیمار آبیاری SIP برای هر دو تیمار نوع بستر کشت و عمق بستر کشت بیشتر از تیمار آبیاری O بوده است. مطابق جدول (۳) تغییر بستر کشت باعث ایجاد اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد در میزان بهره‌وری مصرف آب گردیده است و مطابق جدول مقایسه میانگین‌ها، میزان بهره‌وری مصرف آب مصرفی در بستر کشت SC با ۸/۸۹ گرم در لیتر از بستر C با ۷/۸۱ گرم در لیتر بیشتر بوده است (جدول ۴). مطابق شکل (۳) با تغییر بستر کشت از SC به C در تیمار آبیاری SIP میزان بهره‌وری مصرف آب از ۹/۷۵ به ۱۱/۹۲ گرم در لیتر افزایش یافته است، ولی در تیمار آبیاری O میزان بهره‌وری مصرف آب از ۸/۰۴ به ۳/۶۹ گرم در لیتر کاهش یافته است که دلیل آن می‌تواند کاهش مصرف آب آبیاری در بستر کشت C، نسبت به SC می‌باشد در حالی که این صرفه‌جویی در مصرف آب باعث کاهش معنی‌دار مقدار محصول بین دو بستر نشده است.

نتایج مطالعه نشان داد که افزایش ارتفاع گلدان در هر دو نوع بستر کشت باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب گردید. این افزایش در بستر کشت C به صورت قابل توجهی نسبت به بستر کشت SC بیشتر بود و به مقدار ۱۵/۳۰ گرم بر لیتر رسید این در حالی است که میزان بهره‌وری مصرف آب مصرفی در بستر کشت SC به ۱۰/۳۸ گرم در لیتر افزایش یافت که نشان می‌دهد این تأثیر در بستر کشت C بسیار بیشتر از بستر کشت SC بوده است (شکل ۳). یکی از دلایل افزایش بهره‌وری مصرف آب در افزایش ارتفاع گلدان می‌تواند به دلیل فضای مناسب و کافی جهت ذخیره آب

هر چهار تکرار مثل هم، یک تکرار با مخزن مجهز به مانومتر استفاده شد. این مانومتر برای نشان دادن سطح آب در مخزن است. در زمان‌هایی که نیاز به پرکردن مخزن بود آنقدر آب داده می‌شد تا مانومتر نشان دهد که مخزن پر شده است. جدول (۲) خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده برای آبیاری را نشان می‌دهد. با توجه به داده‌های جدول میزان شوری و pH آب آبیاری در حد مجاز و مطلوب استفاده برای کشت گیاه ریحان می‌باشد. همچنین با توجه به مطالعه Sarai Tabrizi *et al* (2016) آستانه تحمل گیاه ریحان تا حد ۲/۵۳ دسی زیمنس بر متر شوری بدون کاهش عملکرد می‌باشد.

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری

SAR (mmol/L ^{1/2})	TDS (mg/L)	pH	EC (dS/m)
۱/۱۷	۷۶۸	۶/۷۷	۱/۲

نمونه‌برداری

پس از اتمام فصل کشت، گیاهان موجود در گلدان به صورت کف برداشت شده و وزن تر و ارتفاع آن‌ها اندازه‌گیری شد و سپس به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه در آون تهویه دار منتقل شدند و وزن خشک آن‌ها محاسبه شد، همچنین وزن تر و خشک ریشه نیز اندازه‌گیری گردید. تمامی توزین‌ها با ترازو با دقت ۰/۰۰۱ انجام شد. بهره‌وری آب (گرم ماده‌ی تولید شده بر کل آب آبیاری مصرف شده) در این تحقیق برای تمامی گلدان‌ها مورد محاسبه قرار گرفت.

برای محاسبه بهره‌وری آب از رابطه (۱) استفاده شد (Zhang *et al.*, 2021):

$$WP = \frac{Y}{I} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در این رابطه Y عملکرد گیاه (kg/m^2)، I حجم آب آبیاری (m^3/m^2) و WP بهره‌وری مصرف آب (kg/m^3) است.

آنالیزهای آماری

در این تحقیق از طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار استفاده گردید و تحلیل و مقایسه داده‌ها با استفاده از بسته نرم‌افزاری SAS 9.2 و EXCEL انجام گرفت.

نتایج و بحث

بهره‌وری مصرف آب در گیاه و حجم آب آبیاری

با توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) مشاهده شد که روش آبیاری، نوع بستر و ارتفاع گلدان بر میزان بهره‌وری مصرف آب و حجم آب مصرفی تأثیر معنی‌دار دارند، همچنین

آب در تیمار O-C-D1 و کمترین مقدار در SIP-C-D2 اتفاق افتاد. افزایش بهره‌وری آب در روش آبیاری زیرسطحی در تحقیقات مشابه دیگری نیز مشاهده شد که با مطالعه موجود تطبیق دارد. (Ranjan, 2010). در تحقیقاتی که بر روی گیاهان زینتی کشت شده در گلدان انجام دادند گزارش کردند سیستم آبیاری زیر سطحی (فیتیله‌ای مویینکی) باعث کاهش ۶۳/۷۵ درصدی آب می‌شود که با تحقیقات حاضر تطابق دارد (Siyal et al., 2011). در تحقیقاتی بر روی سیستم آبیاری زیرسطحی بیان کردند این روش آبیاری موجب افزایش بهره‌وری مصرف آب در محصول گوجه فرنگی شده است (Noruzi and Zolfi, 2021).

در خاک باشد که آن را در اختیار گیاه قرار می‌دهد در صورتی که در گلدان‌ها با ارتفاع کم امکان خروج آب آبیاری به صورت زه آب از انتهای گلدان وجود دارد. مطابق شکل (۳) بیشترین بهره‌وری مصرف آب در تیمار SIP-C-D2 و کمترین بهره‌وری مصرف آب در O-C-D1 اتفاق افتاد. در طول این مطالعه از دیگر نکات می‌توان به بهبود بهره‌وری مصرف آب اشاره کرد که می‌تواند به دلیل امکان ذخیره آب در خاک و در اختیار قرار دادن آن در طول دوره رشد به ریشه گیاه باشد. در شکل ۴ نیز مشاهده می‌گردد افزایش ارتفاع گلدان با مقدار آب مصرفی نسبت عکس داشته است و در بسترهای مشابه با افزایش ارتفاع گلدان کاهش مصرف آب مشاهده شد. همان‌طور که انتظار می‌رفت، بیشترین مقدار مصرف

جدول ۳- تجزیه واریانس داده‌ها

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر گیاه (gr)	وزن خشک گیاه (gr)	وزن تر ریشه (gr)	وزن خشک ریشه (gr)	ارتفاع (cm)	حجم آب مصرفی (lit)	بهره‌وری مصرف آب (kg.m ⁻³)
تکرار	۳	۱۳۰ ^{ns}	۰/۷۴ ^{ns}	۰/۶۲ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۱۸/۵۴ [*]	-	۰/۳۹ ^{ns}
روش آبیاری	۱	۷۰۲/۵۶ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۲ ^{ns}	۶۷/۸۹ ^{**}	۲/۶۷ [*]	۱/۰۶ ^{ns}	۸۹۲/۵۳ ^{**}	۱۹۷/۶۵ ^{**}
خطا	۳	۱۴۵/۴۰	۰/۷۴	۱/۵۸	۰/۰۲	۱/۰۹	-	۰/۴۲
بستر	۱	۱۲۹۲۱/۸۸ ^{**}	۴۷/۸۴ ^{**}	۳۶/۵۲ ^{**}	۰/۱۷ ^{ns}	۶۹۸/۳۵ ^{**}	۱۵/۹۶ ^{**}	۹/۴۷ ^{**}
ارتفاع گلدان	۱	۶۹۴/۳۴ [*]	۰/۸۶ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۰/۰۰۹ ^{ns}	۱۴/۴۳ ^{ns}	۳۹۹/۰۳ ^{**}	۶۱/۶۳ ^{**}
روش آبیاری* بستر	۱	۱۰۹۰۰/۹۹ ^{**}	۲۴/۶۵ ^{**}	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۷۵۱۲/۶۲ ^{**}	۱۱۴/۷۶ ^{**}	۸۴/۷۹ ^{**}
روش آبیاری* ارتفاع گلدان	۱	۲۹/۹۵ ^{ns}	۰/۰۸ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۲۶/۲۹ ^{ns}	۱۸/۹۱ ^{**}	۱۲/۱۴ ^{**}
بستر* ارتفاع گلدان	۱	۵۴۴۹/۱۵ ^{**}	۴۳/۳۶ ^{**}	۱۱۶/۶۲ ^{**}	۲/۵۹ ^{**}	۹۴۴/۲۷ ^{**}	۰/۴۵ ^{**}	۱۷/۴۱ ^{**}
روش آبیاری* بستر* ارتفاع گلدان	۱	۲/۹۷ ^{ns}	۰/۵۰ ^{ns}	۰/۵۸ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}	۵/۴۶ ^{ns}	۰/۲۱ ^{**}	۱۲/۸۹ ^{**}
خطای کل	۱۸	۸۷/۳۵	۰/۶۱	۰/۸۰	۰/۰۶	۱۳/۲۰	-	۰/۳۲

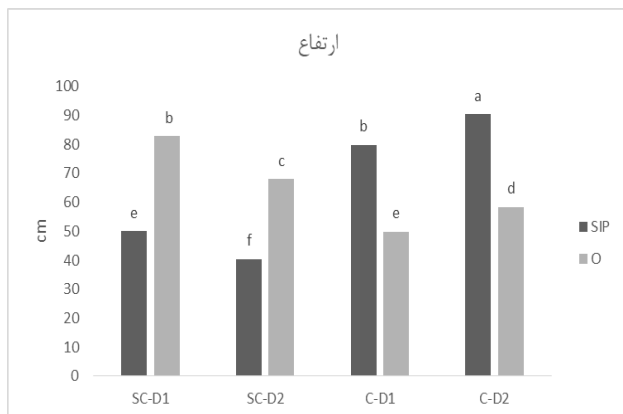
***، * و ns به ترتیب به معنی اختلاف در سطح یک درصد، پنج درصد و بدون اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۴- مقایسه میانگین داده‌ها

تیمار	وزن تر گیاه (gr)	وزن خشک گیاه (gr)	وزن تر ریشه (gr)	وزن خشک ریشه (gr)	ارتفاع (cm)	حجم آب مصرفی (lit)	بهره‌وری مصرف آب (kg.m ⁻³)
SIP	۱۴۴/۱۹ a	۱۹/۳۶ a	۱۴/۳۴ a	۱/۹۳ a	۶۵/۱۷ a	۱۳/۹۴ b	۱۰/۸۴ a
O	۱۳۴/۸۲ a	۱۹/۳۶ a	۱۱/۴۳ b	۱/۳۵ b	۶۴/۸۱ a	۲۴/۵۰ a	۵/۸۶ b
SC	۱۵۹/۶۰ a	۲۰/۵۸ a	۱۱/۸۲ b	۱/۵۷ a	۶۰/۳۲ b	۱۸/۵۱ b	۸/۸۹ a
C	۱۱۹/۴۱ b	۱۸/۱۳ b	۱۳/۹۵ a	۱/۷۱ a	۶۹/۶۶ a	۱۹/۹۳ a	۷/۸۱ b
D1	۱۴۴/۱۷ a	۱۹/۵۲ a	۱۲/۹۳ a	۱/۶۶ a	۶۵/۶۶ a	۲۲/۷۵ a	۶/۹۶ b
D2	۱۳۴/۸۵ b	۱۹/۱۹ a	۱۲/۸۴ a	۱/۶۲ a	۶۴/۳۲ a	۱۵/۶۹ b	۹/۷۴ a

آبیاری سطحی (O) و آبیاری زیرسطحی گلدانی (SIP)، کوکوپیت-پرلیت (C) و خاک-کوکوپیت-پرلیت (SC)، دو عمق بستر کشت ۲۰ سانتی‌متر (D1) و ۵۰ سانتی‌متری (D2)

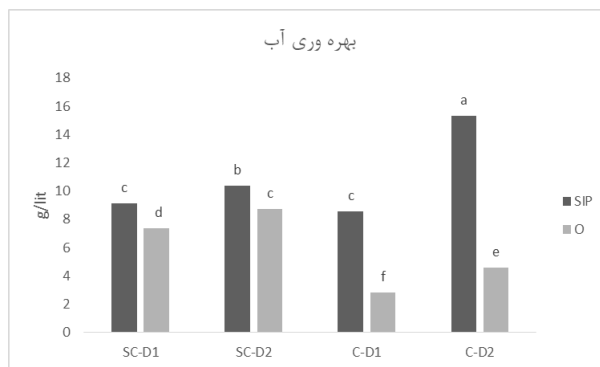
عمق کشت مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود که با تحقیقات حاضر تطابق داشت همچنین بستر کشت کوکوپیت موجب افزایش رشد گیاه می‌شود (Awang et al., 2009).



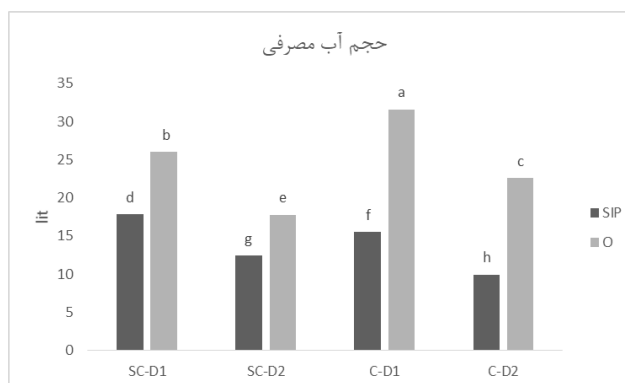
شکل ۵- مقایسه ارتفاع گیاه در دو روش آبیاری SIP و O، دو عمق کشت D1 و D2 و دو بستر کشت SC و C

وزن خشک و تر ریشه گیاه

با توجه به جدول (۳)، روش آبیاری بر وزن خشک و تر ریشه گیاه تأثیر معنی‌دار دارد، اما این اختلاف در ارتفاع گلدان معنی‌دار نبود و برای نوع بستر نیز مشاهده می‌شود. تنها در وزن تر اختلاف معنی‌دار بین دو بستر وجود دارد. در مقایسه میانگین بین داده‌ها (جدول ۴) مشاهده شد SIP دارای بالاترین مقدار وزن را در هر دو تیمار وزن خشک و تر داشته است که دارای اختلاف معنی‌دار با O می‌باشد. که این می‌تواند نشان از توسعه و رشد بیشتر ریشه در تیمار SIP به دلیل آبیاری از قسمت پایین گلدان و تلاش ریشه برای دست یافتن و جذب حداکثری رطوبت باشد. در مقایسه میانگین بسترهای مختلف در وزن تر ریشه، بستر C نسبت به SC مقدار بیشتری را به خود اختصاص داده است که این اختلاف معنی‌دار است. البته این اختلاف در وزن خشک ریشه بین دو تیمار C و SC وجود دارد اگرچه مقدار آن معنی‌دار نمی‌باشد. این نیز نشان از رشد بیشتر ریشه گیاه در بستر C دارد، که این رشد به دلیل بافت مستعد این بستر و کم بودن وزن مخصوص ظاهری و حقیقی نسبت به بستر SC است که باعث رشد آسانتر و بهتر ریشه می‌شود. همانطور که در شکل (۶) مشهود است SIP مقادیر بیشتری را در وزن خشک ریشه به خود اختصاص داده است و کمترین مقادیر وزن خشک در روش آبیاری O اتفاق افتاد. در شکل ۷ نیز مشاهده گردید بیشترین مقدار وزن تر ریشه در SIP-C-D2 اتفاق افتاد که نشان از رشد بهتر ریشه در این روش و بستر آبیاری دارد، همچنین کمترین مقدار وزن تر ریشه در O-SC-D2 است. در مطالعات پیشین گزارش شد سیستم آبیاری زیرسطحی موجی افزایش حجم و وزن



شکل ۳- مقایسه بهره‌وری آب در دو روش آبیاری SIP و O، دو عمق کشت D1 و D2 و دو بستر کشت SC و C

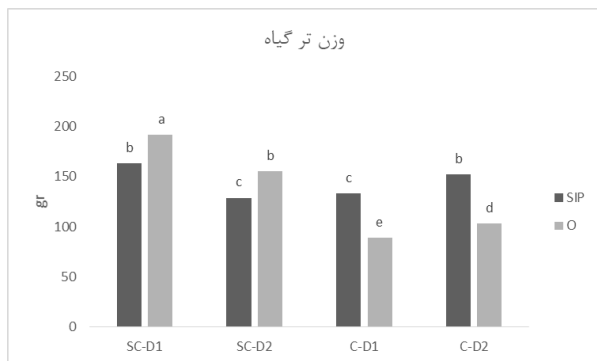


شکل ۴- مقایسه حجم آب مصرفی در دو روش آبیاری SIP و O، دو عمق کشت D1 و D2 و دو بستر کشت SC و C

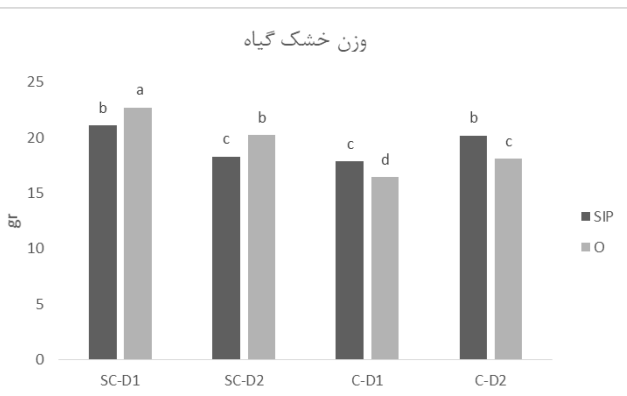
ارتفاع گیاه

مطابق جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) روش آبیاری و ارتفاع گلدان بر مقدار ارتفاع گیاه تأثیر معنی‌دار ندارد. اما نوع بستر بر این مقدار تأثیرگذار بود، همچنین اثر متقابل روش آبیاری و نوع بستر و ارتفاع گلدان و نوع بستر بر این مقدار معنی‌دار است. با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۴) ارتفاع در تیمار C نسبت به SC مقدار بیشتری را به خود اختصاص داده است که این اختلاف معنی‌دار است، اما در سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. البته همانطور که در قسمت‌های بعد مطرح می‌شود این افزایش ارتفاع در بستر C با افزایش وزن تر گیاه همراه نبوده است، به عبارتی تنها قد و ریشه گیاه در این نوع بستر افزایش موجب تقویت رشد ریشه و متعاقباً ارتفاع گردیده است. همراه با توجه به شکل (۵) می‌توان نتیجه گرفت در بررسی آثار متقابل تیمارها برای روش آبیاری SIP ارتفاع گیاه در بستر C در هر دو ارتفاع گلدان افزایش یافته است که این امر در مورد روش آبیاری O برعکس بوده است و در این روش ارتفاع گیاه در بستر SC بیشتر است. بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار SIP-C-D2 و کمتری ارتفاع گیاه در SIP-SC-D2 مشاهده شد. در تحقیقی که به منظور بررسی بستر کشت و عمق کشت انجام دادند بین تیمارهای

گیاه شده است و بنابراین گیاه رشد خود را بر اندام‌های هوایی متمرکز کرده است بنابراین عملکرد بهتری در این بستر حاصل شده است. در شکل (۸) مشاهده شد مقدار وزن تر گیاه در تیمارهای SIP در بستر C مقدار بیشتری دارد، در حالی که O در بستر SC مقادیر بیشتری را به خود اختصاص داده است. همچنین بیشترین مقدار وزن تر گیاه در تیمار O-SC-D2 و کمترین در O-C-D1 اتفاق افتاد. در شکل (۹) در بررسی وزن خشک گیاه همان‌طور که انتظار می‌رفت نتایج مشابه با وزن تر گیاه به دست آمد و بیشترین مقدار وزن تر خشک در تیمار O-SC-D2 و کمترین در O-C-D1 اتفاق افتاد. (Awang *et al*, 2009) گزارش کردند بستر کوکوپیت و پرلیت در سیستم آبیاری زیرسطحی عملکرد بهتری نسبت به آبیاری سطحی داشت که با تحقیقات حاضر همخوانی دارد. گزارش کردند سیستم آبیاری زیر سطحی موجب افزایش وزن تر می‌شود که البته در تحقیقات صورت گرفته در اینجا تأثیر روش آبیاری بر وزن خشک و تر گیاه معنی‌دار نبود (Rangrizi, *et al*, 2016). در تحقیقاتی بر روی سیستم آبیاری زیرسطحی بیان کردند این روش آبیاری موجب افزایش عملکرد در محصول گوجه فرنگی شده است (Noruzi and Zolfi, 2021).

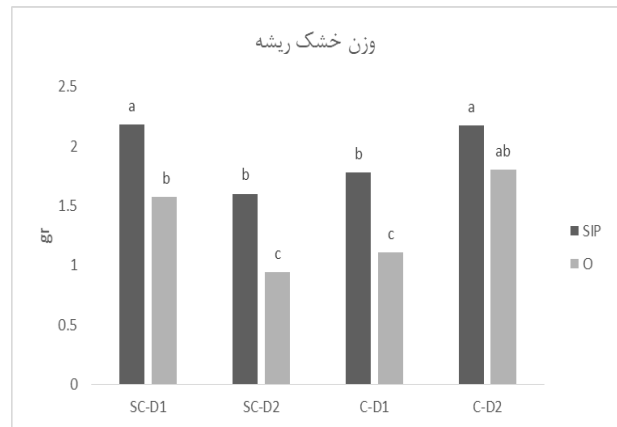


شکل ۸- مقایسه وزن تر گیاه در دو روش آبیاری SIP و O، دو عمق کشت D1 و D2 و دو بستر کشت SC و C

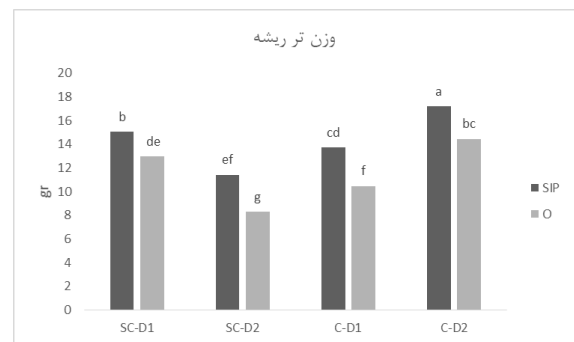


شکل ۹- مقایسه وزن خشک گیاه در دو روش آبیاری SIP و O، دو عمق کشت D1 و D2 و دو بستر کشت SC و C

تر ریشه می‌گردد که با تحقیقات صورت گرفته در یک راستا می‌باشند (Oh & Son., 2008)



شکل ۶- مقایسه وزن خشک ریشه در دو روش آبیاری SIP و O، دو عمق کشت D1 و D2 و دو بستر کشت SC و C



شکل ۷- مقایسه وزن تر ریشه در دو روش آبیاری SIP و O، دو عمق کشت D1 و D2 و دو بستر کشت SC و C

وزن تر و خشک گیاه

در وزن تر و خشک بین دو روش مختلف آبیاری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). همان‌طور که مشاهده می‌شود بسترهای مختلف برای وزن تر و خشک در سطح یک درصد با یکدیگر اختلاف دارند و اما در تیمار ارتفاع گل‌دان این اختلاف تنها برای وزن تر و در سطح پنج درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۳). همچنین اثر متقابل روش آبیاری و جنس بستر، جنس بستر و ارتفاع گل‌دان دارای اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد است (جدول ۳). منوط به جدول مقایسه میانگین داده‌ها بیشترین مقدار وزن تر و خشک در بین دو بستر مختلف در بستر SC به ترتیب با مقدار ۱۵۹/۶۰ و ۲۰/۵۸ گرم مشاهده شد. نکته حائز اهمیت دیگر در این بررسی بیشتر بودن مقدار وزن اندام هوایی گیاه نسبت به ریشه در بستر SC است، که این می‌تواند نشان از ارجحیت استفاده از بستر SC نسبت به C باشد، زیرا در کشت گیاه ریحان هدف از کشت اندام هوایی گیاه می‌باشد (جدول ۴)، می‌توان نتیجه گرفت آب و مواد غذایی در بستر SC بهتر جذب

نتیجه‌گیری

همان‌طور که مستحضرید با توجه به محدودیت‌های منابع آب و کمبود مطالعات در حوضه‌ی آبیاری زیرسطحی گلدانی در کشور این پژوهش با هدف استفاده از سیستم آبیاری زیرسطحی گلدانی (SIP) در محیط گلخانه برای کشت گیاه ریحان انجام پذیرفت. با توجه به نتایج سیستم آبیاری زیرسطحی نسبت به روش سطحی نتایج مطلوبی در صرفه‌جویی در مقدار آب مصرفی داشت و موجب افزایش معنی‌دار بهره‌وری مصرف آب شد. بنابراین می‌توان این روش آبیاری را برای استفاده در مناطقی که با کمبود آب

موجه هستند توصیه کرد. همچنین در رابطه با وزن تر و خشک گیاه بین دو روش آبیاری تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید اما در بسترهای مختلف تفاوت معنی‌دار بین دو بستر وجود دارد و SC دارای مقادیر بیشتری نسبت به بستر C است. بنابراین سیستم آبیاری زیرسطحی با بستر SC به عنوان تیمار بهینه جهت کشت گلخانه‌ای ریحان معرفی می‌شود، که موجب کاهش چشمگیر مصرف آب و افزایش عملکرد می‌شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Awang, Y., Shaharom, A. S., Mhamad, R. B. and Selamat, A. (2009). Chemical and physical characteristics of cocopeat-based media mixtures and their effects on the growth and development of *Celosia cristata*. *American journal of agricultural and biological sciences*, 4, 63-71.
- Johnson, R., and Cody, B. A. (2015). California agricultural production and irrigated water use. Congressional Research Service Sacramento, California, USA.
- Khalid, K. A., Hendaw, S. and El-Gezawy, E. (2006). *Ocimum basilicum* L. production under organic farming. *Research Journal of Agricultural and Biological Sciences*. 2, 25-32.
- Liaghat, A., Pourgholam-Amiji, M. & Mashhourinejad, P. (2018). Effect of surface and subsurface irrigation with saline water and mulch on corn water yield and productivity and soil salt distribution. *Water and Soil*. 32(4): 661-674. (In Farsi)
- Lee, C. W., So, I. S., Jeong, S. W., and Huh, M. R. (2010). Application of subirrigation using capillary wick system to pot production. 44, 7-14.
- Mali, S. S., Singh, R., Singh, A. K., and Meena, M. (2016). Influence of drip lateral placement depth and fertigation level on germination, yield and water-use efficiency of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 86(2): 178-85.
- Mashhor, M. V., Mashal, M., Hashemi Garmdareh, S. E., Reza, J., Lao, M. T., Varavipur, M. and Ebrahimian, H. (2020). Growth, yield, and water productivity responses of pepper to sub-irrigated planter systems in a greenhouse. *Sustainability*. 12(3), 1100.
- Mohammadi, A. M. A., Abdolahi, M. A. A. (2016). Introduction of subsurface irrigation method with cement pipes in pistachio orchards. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Pistachio Research Institute, First Edition, Kerman. P: 70. (In Farsi)
- Mungai, M. M., Wariara, K., Gathogo, H. P., Mwibanda, W. J., and Ochieng, A. A. (2017). Water use and plant growth of selected container grown ornamental plants under capillary wick based irrigation system and conventional irrigation system in Kenya. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*. 11, 32-41.
- Nalliah, V., and Ranjan, R. S. (2010). Evaluation of a capillary-irrigation system for better yield and quality of hot pepper (*Capsicum annum*). *Applied Engineering in Agriculture*. 26(5), 807-816.
- Noruzi, M., Zolfi, M. B. (2021). Effect of surface and subsurface strip diameter irrigation methods on yield and efficiency of tomato water consumption and salt distribution in soil profile. *Iranian Journal of Water Research*. 14(4): 77-86. (In Farsi)
- Odhambo, L. O., and Irmak, S. (2015). Relative evaporative losses and water balance in subsurface drip and center pivot-irrigated soybean fields. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 141(11), 04015020.
- Oh, M. M., and Son, J. E. (2008). Phytophthora nicotianae transmission and growth of potted kalanchoe in two recirculating subirrigation systems. *Scientia horticulturae*. 119(1), 75-78.
- Omidbaigi, R. (2000). Processing of medicinal plants. Mashhad. Astan Quds Razavi Publishers. 99-106.
- Rangrizi, S., Bahrami, H., Kianirad, M., and Shojaaddini, A. (2016). Evaluating the Performance of Biocomposite Pipes as a Subsurface Irrigation Method in Culturing Panicum (*Panicum antidotale*). *Journal of Soil and Water Resources Conservation*. 6(1), 33-46. (In Farsi)
- Sarai Tabrizi, M., Babazadeh, H., Homae, M., Kaveh, F., and Parsinejad, M. (2016). Determining the Threshold Value of Basil Yield Reduction and Evaluation of Water Uptake Models under Salinity Stress Condition. *Water and Soil*, 30(1), 30-40. (In Farsi)
- Semananda, N. P., Ward, J. D., and Myers, B. R. (2018). A semi-systematic review of capillary irrigation: the benefits, limitations, and opportunities. *Horticulture*, 4(3), 23.
- Siyal, A. A., Siyal, A. G., and Hasini, M. Y. (2011). Crop production and water use efficiency under subsurface porous clay pipe irrigation. *Pakistan*

Journal of Agriculture, Agricultural Engineering and Veterinary Sciences. 27(1), 39-50.

Zheng, J., Huang, G., Jia, D., Wang, J., Mota, M., Pereira, L.S., Huang, Q., Xu, X., and Liu, H. (2013). Responses of drip irrigated tomato (*Solanum lycopersicum* L.) yield, quality and water productivity to various soil matric potential thresholds in an arid region of Northwest

China. *Agricultural Water Management*, 129, 181-193.

Zhang, S., Wang, H., Sun, X., Fan, J., Zhang, F., Zheng, J., and Li, Y. (2021). Effects of farming practices on yield and crop water productivity of wheat, maize and potato in China: A meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 243, 106444.