



Investigation of soil moisture distribution in Sub-irrigation planter (SIP) using different levels of water salinity (A case study of basil)

Hasan Karimi¹ | Mahmoud Mashal^{2✉} | Seyyed Ebrahim Hashemi Garmdareh³

1. Department of Water Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran. E-mail: hssankarimi@ut.ac.ir
 2. Corresponding Author, Department of Water Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran.
 E-mail: mmashal@ut.ac.ir
 3. Department of Water Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran. E-mail: sehashemi@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 13 February 2022
 Received in revised form
 23 October 2023
 Accepted 4 November 2023
 Published online 10 December 2025

Keywords:

Basil
 Salinity Distribution
 Yield
 Water Productivity

ABSTRACT

Due to the increasing limitations of water resources, knowing the amount and distribution of moisture in subsurface irrigation is very important in irrigation management. This research was carried out with the aim of investigating sub-irrigation planter (SIP) as one of the suitable methods of irrigation. In this study, two different cultivation media (soil-cocopeat-perlite and cocopeat-perlite) and two depths of the media in the pot (30 and 50 cm) and three water salinity levels of 1.2, 3.5, and 5 dS.m⁻¹ were used. The results showed that there is a significant difference in the wet and dry performance of basil plants between the two irrigation methods at the level of 1 percent and 5 percent. However, the yield values decreased significantly with increasing water salinity. Also, the results showed that the productivity of SIP and surface irrigation were significantly different from each other at the level of 1 percent. The results showed that in the SIP system, the highest salinity is in the surface layers of the soil, while in surface irrigation, the highest salinity is in the bottom layer. The results of investigating the soil moisture in different layers of the substrate showed that the soil moisture in both irrigation methods increases with the increase in the depth of the substrate and at the depth of the substrate, the amount of moisture in SIP is much higher than surface irrigation, and the highest soil moistures were obtained in the deepest layers of both cultivation depths 30 and 50 cm in SIP.

Cite this article: Karimi, H., Mashal, M., & Hashemi Garmdareh, S. E. (2025). Investigation of soil moisture distribution in Sub-irrigation planter (SIP) using different levels of water salinity (A case study of basil). *Journal of Water and Irrigation Management*, 15 (2), 641-653. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.339080.966>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.339080.966>

Publisher: University of Tehran Press.



بررسی توزیع رطوبت خاک در آبیاری زیر سطحی گلدانی با سطوح مختلف شوری آب (مطالعه موردی گیاه ریحان)

حسن کریمی^۱ | محمود مشعل^۲ | سید ابراهیم هاشمی گرمدره^۳

۱. گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: hssankarimi@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: mmashal@ut.ac.ir

۳. گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: sehashemi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	با توجه به محدودیت‌های روزافزون منابع آب آگاهی از مقدار و توزیع رطوبت در آبیاری زیرسطحی در مدیریت آبیاری اهمیت فراوان دارد. این پژوهش با هدف بررسی آبیاری زیرسطحی گلدانی، به‌عنوان یکی از روش‌های مناسب آبیاری صورت گرفت. در این مطالعه از دو بستر کشت مختلف (خاک-کوکوپیت-پرلیت و کوکوپیت-پرلیت) و دو عمق بستر در گلدان (۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر) و سه سطح شوری آب ۱/۲، ۳/۵ و پنج دسی‌زیمنس بر متر استفاده گردید. نتایج نشان داد در عملکرد تر و خشک گیاه ریحان بین دو روش آبیاری اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد و پنج درصد وجود دارد. با این‌حال، مقادیر عملکرد با افزایش شوری آب به‌طور معنی‌دار کاهش پیدا کرد. همچنین نتایج نشان داد که میزان بهره‌وری در روش آبیاری زیرسطحی گلدانی و آبیاری سطحی در سطح یک درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشتند. نتایج نشان داد که در سیستم زیرسطحی بیش‌ترین شوری در لایه‌های سطحی خاک قرار دارد، درحالی‌که در آبیاری سطحی بیش‌ترین شوری در لایه زیرین می‌باشد. نتایج بررسی رطوبت در لایه‌های مختلف بستر نشان داد که رطوبت در هر دو روش آبیاری با افزایش عمق بستر افزایش پیدا می‌کند که البته این افزایش در سیستم آبیاری زیرسطحی با سرعت بیش‌ترین مشاهده شد، همچنین در مقایسه بین دو روش آبیاری مشاهده شد که در عمق بستر بیش‌تر مقدار رطوبت در آبیاری زیرسطحی به مراتب بیش‌تر از آبیاری سطحی می‌باشد و بیش‌ترین رطوبت‌های خاک در عمیق‌ترین لایه‌های هر دو عمق کشت ۳۰ و ۵۰ در آبیاری زیر سطحی گلدانی به‌دست آمد.
کلیدواژه‌ها: بهره‌وری آب توزیع شوری عملکرد ریحان	

استناد: کریمی، حسن؛ مشعل، محمود و هاشمی گرمدره، سید ابراهیم (۱۴۰۴). بررسی توزیع رطوبت خاک در آبیاری زیر سطحی گلدانی با سطوح مختلف شوری آب (مطالعه موردی گیاه ریحان). نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۱۵ (۲)، ۶۴۱-۶۵۳. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.339080.966>



۱. مقدمه

کشت گیاهان گلخانه‌ای، صنعت مهمی در جهان است که نیاز به آب زیادی دارد. بنابراین مدیریت بهینه آب مورد نیاز گیاهان گلخانه‌ای به‌ویژه در مناطق کم‌آب، نیازمند توسعه روش‌های آبیاری کارآمدتر و مطلوب می‌باشد (Mungai *et al.*, 2017). یک روش کاربردی در آبیاری به‌ویژه در ارتباط با گیاهان گلخانه‌ای استفاده از روش آبیاری زیرسطحی مویینگی است. در این روش آب با استفاده از خاصیت مویینگی، از کف بستر کشت به سمت ریشه گیاه حرکت می‌کند. سیستم آبیاری مویینگی در یک چرخه بسته و بدون رواناب فعالیت می‌کند (Ferrarezi and Testezlaf, 2016). مطالعات مختلف نشان داده است که آبیاری زیرسطحی یکی از کارآمدترین روش‌های آبیاری در تأمین آب گیاهان می‌باشد (Hellis *et al.*, 2008; Arbat *et al.*, 2001). از آنجایی که در آبیاری زیرسطحی آب از زیر سطح تأمین می‌شود، تلفات تبخیر به کم‌ترین میزان ممکن کاهش می‌یابد، بنابراین آب بیش‌تری برای ریشه‌های گیاه موجود است (Rangrizi *et al.*, 2016).

در مطالعه‌ای پس از ارزیابی دو سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در کشت بادمجان نتیجه گرفته شد که علاوه بر این که عملکرد و کیفیت بادمجان در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بهتر بود، بهره‌وری آب نیز در این سیستم به مقدار قابل ملاحظه‌ای نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی بیش‌تر شد (Colak *et al.*, 2017). Mashhor *et al.* (2020) در مقایسه بین دو روش آبیاری سطحی و زیرسطحی بر روی گیاه فلفل گزارش کردند، آبیاری زیرسطحی قادر است به‌طور قابل توجهی میزان استفاده از آب و بهره‌وری گیاه را در مقایسه با آبیاری سطحی بهبود بخشد. هم‌چنین نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که می‌توان از روش آبیاری زیرسطحی در صورت عدم دسترسی به آب شیرین استفاده کرد، زیرا در این روش آبیاری سطح شوری آب در کاهش عملکرد تأثیر معنی‌داری نمی‌گذارد. استفاده از آب‌های با کیفیت پایین همانند آب‌های شور برای تولید محصولات زراعی در اکثر نقاط کشور دور از انتظار نیست. به‌منظور استفاده از این آب‌ها برای آبیاری باید پارامترهای متعددی در نظر گرفته شوند، زیرا کیفیت بد آب نه‌تنها گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بلکه ساختمان خاک را هم دچار تغییرات می‌کند (Flagella *et al.*, 2004). به‌منظور ارزیابی اثرات حجم آب آبیاری به‌کار برده‌شده و شوری آب آبیاری بر تولید گندم و توزیع شوری خاک، پژوهشی میدانی در چین در طول دو فصل زراعی صورت گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که شوری خاک در زمان برداشت در تمامی تیمارها صفر تا ۴۰ سانتی‌متر در مقایسه با شرایط اولیه به‌ویژه در لایه سطحی افزایش یافت. هرچند این اثرات با بارش‌های تابستان و پاییز از بین رفت. هم‌چنین اثر متقابل حجم آبیاری و شوری آب آبیاری بر روی عملکرد دانه، کل آب مصرفی و بهره‌وری آب آبیاری در هر دو فصل کشت از نظر آماری غیر معنی‌دار بود (Wang *et al.*, 2015).

گیاه دارویی ریحان از (*Ocimum basilicum* L.) خانواده نعنائیان، گیاهی یک‌ساله و علفی است. از این گیاه برای معالجه نفخ شکم، برخی بیماری‌های قلبی، بزرگ‌شدن طحال و هم‌چنین کمک به هضم غذا استفاده می‌شود. اسانس ریحان خاصیت ضد قارچی و ضد باکتریایی داشته و در صنایع آرایشی و بهداشتی نیز کاربرد دارد (Mohammadkhani and Heidari, 2007). در میان گونه‌های مختلف، گونه basilicum برای کشت تجاری و تولید اسانس از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Kakaraparthi *et al.*, 2015). توزیع رطوبت در خاک، به‌ویژه در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، به عواملی مانند ساختمان و ویژگی‌های هیدرولیکی خاک بستگی دارد (Singh *et al.*, 2006). توزیع رطوبت خاک کاربرد زیادی در درک فرایندهای جریان، توزیع و تبخیر آب، جذب آب به‌وسیله گیاه، انتقال املاح و فعالیت‌های میکروبی در خاک دارد. هم‌چنین، در بعضی از پژوهش‌های مدیریتی، پژوهش‌گران نیازمند تخمین میزان رطوبت خاک و یا مکش خاک می‌باشند. از این‌رو، نیاز به بررسی توزیع رطوبتی خاک به‌منظور ارزیابی سیستم‌های آبیاری به‌ویژه در آبیاری با آب‌های شور حس می‌شود. هم‌چنین با توجه به این که تا کنون در مطالعات کمی به بررسی روش آبیاری زیرسطحی به‌ویژه در

گلخانه بر روی توزیع رطوبت شده است، لذا نیاز به مطالعه در این حوزه احساس می‌شود. علاوه بر این یکی دیگر از اهداف این مطالعه انتخاب روش مناسب آبیاری با توجه به محدودیت‌های منابع آب بوده است که بدین منظور بررسی تیمارهای شوری آب نیز موردبررسی قرار گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف ارزیابی سیستم آبیاری زیرسطحی گلدانی در تابستان 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 و ۲۸ دقیقه عرض شمالی و در ارتفاع ۱۰۲۰ متری از سطح دریا انجام شد. گیاه مورد استفاده در این پژوهش، گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*) بود. تیمارهای مورد مطالعه در این 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) و هم‌چنین سه سطح شوری ۱/۲، ۳/۵ و پنج دسی‌زیمنس بر متر (S₁، S₂ و S₃) بودند. مطالعه بر پایه طرح کرت‌های دو بار خردشده با چهار تکرار طی یک فصل زراعی از خردادماه تا مهرماه انجام گرفت.

۲.۱. کاشت

در ابتدا بذرهای ریحان در سینی‌های کشت مخصوص در بستری از کوکوپیت و پرلیت در گلخانه کاشته شد و پس از رشد نشاها و چهاربرگی شدن آن‌ها، به گلدان‌های اصلی منتقل شدند. در مرحله کاشت بذر، تا مرحله چهار برگی شدن گیاه، به دلیل فقیربودن بستر کشت گیاه، سه مرحله کود ۲۰-۲۰-۲۰ (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) به گیاه داده شد. پس از نشا، برای کمک به رشد همه گیاهان، به مدت پنج روز با آب معمولی (شوری ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر) به صورت سطحی آبیاری شدند و پس از آن تیمارهای شوری آبیاری اعمال شد. هم‌چنین کوددهی به صورت محلول در آب انجام شد. نیمی از گلدان‌ها به صورت سطحی (O) و نیمی از آن‌ها به صورت زیرسطحی (SIP) آبیاری شدند.

۲.۲. آبیاری

گلدان‌های سطحی به روش وزنی آبیاری شدند. به منظور ساخت سیستم‌های SIP، گلدان‌ها به دو قسمت شامل مخزن در پایین گلدان و محیط رشد اشباع‌نشده در بالای آن (شکل ۱) تقسیم شدند. بدن منظور از یک لایه گراول پنج سانتی‌متری در پایین هر گلدان SIP به عنوان مخزن استفاده شده است. استفاده از گراول به عنوان مخازن باعث ایجاد محیط متخلخل و نفوذپذیری می‌شود، به طوری که هم حجم قابل توجهی آب را در خود نگه می‌دارد و هم می‌تواند به سرعت پر شود. در این گلدان‌ها از هر چهار تکرار مثل هم، یکی از مخازن تکرارها به مانومتر مجهز گردید. این مانومتر برای نشان دادن سطح آب در مخزن به کار رفت و در زمان‌هایی که نیاز به آبیاری بود آنقدر آب وارد مخزن می‌گردید تا مانومتر نشان دهد که مخزن پر شده است. زمان آبیاری در مورد تمام گلدان‌های سطحی و زیرسطحی، زمانی انجام می‌گرفت که رطوبت متوسط لایه ۱۰ سانتی‌متری خاک، به ۰/۷۵ FC برسد که به صورت وزنی و با اندازه‌گیری وزن گلدان‌ها صورت می‌گرفت. برای آبیاری از سه تیمار آب آبیاری با شوری‌ها مختلف استفاده گردید که شامل سطوح شوری ۱/۲، ۳/۵ و پنج دسی‌زیمنس بر متر (S₁، S₂ و S₃) بود. آب شور مورد استفاده در این مطالعه از آب شور چاه مزرعه تحقیقاتی قزلاق دانشکده تهیه گردید و سپس با اضافه نمودن آب با شوری کمتر شوری‌های کم‌تر تهیه گردید. برخی از خصوصیات آب به کار رفته در جدول (۱) ارائه شده است.

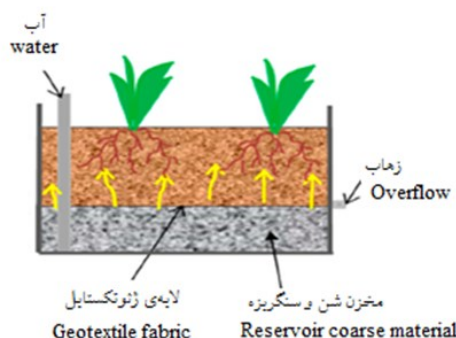


Figure 1. Schematic view of the sub-irrigation planter (SIP) and its components

Table 1. Results of chemical analysis of greenhouse water

Treatment	EC (dS.m ⁻¹)	pH	TDS (mg. l ⁻¹)	SAR (mmol. l ^{-0.5})
S ₁	1.2	6.67	768	1.17
S ₂	3.5	6.6	2240	2.1
S ₃	5	6.91	3200	3.28

۳.۲. بستر کشت

در این مطالعه از دو بستر کشت مختلف شامل: محیط رشدی با ترکیبی از کوکوپیت + پرلیت + کود ورمی کمپوست (۱:۲:۶) (C) و محیط رشدی با ترکیب بستر کشت کوکوپیت + پرلیت + خاک رسی + کود ورمی کمپوست ۱:۴:۱:۳ (SC) استفاده شد (جدول ۲). استفاده از بستر کشت بدون خاک در گلخانه ها هوای کافی برای تبادل گاز کافی و به حداقل رساندن خطر بیماری ها را به همراه دارد. همچنین به منظور ایجاد محیط کشت از دو گلدان با عمق های ۵۷ و ۳۷ سانتی متر برای دو عمق کشت ۵۰ و ۳۰ سانتی متری استفاده شد.

Table 2. Chemical and physical properties of the SIP used in the experiment

Type of substrates used in the pots	Abbreviation	Bulk density (gr. cm ⁻³)	True density (gr. cm ⁻³)	EC (dS.m ⁻¹)	FC (%)	pH
Cocopeat + perlite + vermicompost fertilizer 6+2+1	C	0.13	0.47	1.14	32.5	6.4
Culture substrate (cocopeat + perlite) + clay + vermicompost fertilizer (1 perlite + 3 cocopeat) + 4 + 1	SC	1.05	2.04	1.15	34	6.41

۴.۲. نمونه برداری

نمونه برداری نهایی در انتهای فصل کشت گیاه انجام شد و گیاهان موجود در گلدان ها از روی خاک کفبر شد و در آزمایشگاه وزن بوته (وزن ساقه و برگ) توسط ترازو با دقت ۰/۰۰۱ کیلوگرم توزین شده و در پاکت مخصوص قرار داده شد و به مدت ۴۸ ساعت در آون تهویه دار با دمای ۷۲ درجه سانتی گراد خشک گردید و سپس وزن خشک نیز اندازه گیری شد. همچنین از عمق های مختلف نمونه برداری خاک به منظور مقایسه توزیع رطوبت و شوری در پروفیل بستر کشت در هر روش آبیاری انجام شد. برداشت نمونه از اعماق ۱۰ سانتی متری پنج نمونه در عمق بستر کشت ۵۰ سانتی و سه نمونه در عمق بستر کشت ۳۰ سانتی متری) در طول فصل کشت برداشته شد. نمونه ها پس از وزن شدن، برای خشک شدن در داخل آون قرار گرفته و سپس دوباره وزن گردیدند. پس از استخراج عصاره اشباع خاک، مقدار شوری خاک به وسیله دستگاه EC متر در آزمایشگاه انجام شد. بهره وری آب (گرم ماده تولید شده بر کل آب آبیاری مصرف شده) در این پژوهش برای تمامی گلدان ها مورد محاسبه قرار گرفت.

با توجه به حجم آبی که در اختیار گیاه قرار گرفت بهره‌وری آب در تیمارهای مختلف با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$IWUE=Y/I$$

رابطه (۱)

که در آن، Y عملکرد دانه (kg/m^2)، I حجم آب آبیاری (m^3/m^2) و $IWUE$ بهره‌وری آب (kg/m^3) است. در این پژوهش، طرح کرت‌های دو بار خردشده با چهار تکرار مورد مطالعه قرار گرفت و تحلیل و مقایسه داده‌ها با استفاده از SAS 9.4 و EXCEL انجام گرفت.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. عملکرد تر و خشک گیاه

جدول (۳) مقایسه میانگین‌های روش‌های آبیاری بر وزن خشک و تر گیاه را در سطح یک و پنج درصد را نشان می‌دهد. مطابق نتایج این جدول، روش آبیاری بر وزن خشک و تر گیاه تأثیر به‌ترتیب در سطح یک و پنج درصد تأثیر معنی‌داری دارد. همچنین این پارامترها بر روی بسترهای مختلف کشت و همچنین سطوح شوری آب نیز دارای اختلاف معنی‌داری بودند. با این حال، تغییر در ارتفاع گلدان‌ها تنها باعث ایجاد اختلاف معنی‌دار در وزن تر بین دو بستر شد. افزایش ارتفاع گلدان‌ها تنها در وزن تر دارای تأثیر معنی‌دار بود، بدین ترتیب که تیمار D_1 مقدار وزن تر بیش‌تری را به خود اختصاص داده بود و این اختلاف در وزن خشک گیاه معنی‌دار نبود.

نتایج مقایسه میانگین بین داده‌ها (جدول ۴) نشان داد که تیمار SIP دارای بالاترین مقدار وزن خشک و تر گیاه در مقایسه با آبیاری سطحی بود و وزن تر و وزن خشک آن به‌ترتیب برابر با $143/79$ و $19/19$ گرم در هر مترمربع بود که نشان‌دهنده این است که جذب بهتر آب و املاح در این تیمار بهتر صورت گرفته است و در نتیجه به رشد بهتر گیاه در تیمار SIP انجامیده است. نتایج نشان داد که مقایسه میانگین وزن تر گیاه بسترهای مختلف SC و C دارای اختلاف معنی‌داری با یکدیگر می‌باشند و وزن تر گیاه بستر SC، 32 درصد نسبت به بستر C بیش‌تر می‌باشد که مهم‌ترین عامل آن خاصیت بهتر نگهداری آب در این بستر و انتقال راحت‌تر آن به گیاه می‌باشد. همانطور که انتظار می‌رود این اختلاف در وزن خشک گیاه نیز بین دو تیمار C و SC همچون وزن تر وجود دارد.

نتایج تیمارهای شوری نشان داد با افزایش شوری عملکرد کاهش یافت. این کاهش عملکرد در تیمارهای مختلف شوری معنی‌دار بود و به‌ترتیب باعث کاهش پنج و 10 درصدی در وزن تر تیمارهای S_2 و S_3 نسبت به تیمار شاهد S_1 گردید. در وزن تر گیاه رخ داد که این کاهش در وزن خشک به‌ترتیب برابر با سه و هشت درصد برای تیمارهای S_2 و S_3 بود.

همانطور که در شکل (۲) مشاهده می‌گردد تیمار SIP دارای بیش‌ترین مقدار وزن تر گیاه و تیمار O دارای کم‌ترین مقدار وزن تر می‌باشد. همچنین با توجه به شکل (۲) مشاهده می‌گردد که با افزایش ارتفاع گلدان در بسترهای SC مقدار وزن تر گیاه کاهش می‌یابد، درحالی‌که این اتفاق در بستر C برعکس می‌باشد. بیش‌ترین مقدار وزن تر برابر با 192 گرم بود که در تیمار O-SC- S_1 - D_1 به‌دست آمد و همچنین کم‌ترین وزن تر با مقدار 69 گرم در تیمار O-C- S_3 - D_1 مشاهده گردید. در شکل (۳) نیز همانطور که انتظار می‌رفت بیش‌ترین مقدار وزن خشک گیاه در تیمار SIP اتفاق افتاد که نشان از رشد بهتر گیاه در این روش و بستر SC دارد، همچنین در تیمارهای O و بستر C با کاهش وزن خشک رخ داد. نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه با نتایج به‌دست‌آمده توسط Rangrizi et al. (2016) که نشان دادند سیستم آبیاری زیرسطحی موجب افزایش وزن تر می‌گردد، مطابقت دارد. همچنین Oh and Son (2008) در مطالعه‌ای نشان دادند که بیش‌ترین وزن تر گیاه در تیمارهای آبیاری زیرسطحی در مقایسه با آبیاری سطحی مشاهده گردید.

Table 3. Analysis of data variance

Sources of changes	df	Fresh matter (gr)	Dry matter (gr)	Water efficiency (gr.l ⁻¹)
Repetition	3	^{ns} 632	^{ns} 2.45	^{ns} 1.69
Irrigation method	1	11063.06 **	27.63 *	720.18 **
Error	3	196.54	1.76	0.62
Bed material	1	32854.52 **	105.35 **	18.13 **
Water salinity	2	1251.28 **	16.21 **	2.48 **
Pot height	1	2262.43 **	^{ns} 3.36	166.90 **
Irrigation method * Bed material	1	29437.11 **	88.33 **	236.56 **
Irrigation method * Water salinity	2	1011.85 **	7.22 **	1.71 *
Irrigation method * Pot height	1	^{ns} 22.44	^{ns} 1.82	38.50 **
Bed material * Water salinity	2	^{ns} 65.15	^{ns} 0.77	^{ns} 0.30
Bed material * Pot height	2	17092.81 **	160.19 **	58.06 **
Water salinity * pot height	2	^{ns} 23.43	^{ns} 0.07	^{ns} 0.12
Irrigation method * Bed material * Water salinity	2	^{ns} 25.85	^{ns} 1.78	^{ns} 0.08
Irrigation method * Bed material * Water salinity * Pot height	7	^{ns} 22.45	^{ns} 0.96	5.57 **
Total error	66	87.35	1.24	0.38

**, *, ns; it means a difference at the level of 1%, 5% and no significant difference, respectively.

Table 4. Comparison of data averages

Treatment	Fresh matter (gr)	Dry matter (gr)	Water efficiency (gr. l ⁻¹)
SIP	143.79 a	19.19 a	a 10.80
O	122.32 b	b 18.11	b 5.32
SC	151.55 a	19.70 a	a 8.50
C	114.55 b	17.60 b	b 7.63
S1	139.51 a	19.36 a	a 8.35
S2	132.63 b	18.66 b	b 8.04
S3	127.02 c	17.93 c	c 7.79
D1	a 137.91	a 18.84	a 6.74
D2	b 128.20	b 18.46	b 9.38

Surface irrigation (O) and Sub-irrigation planter (SIP), coco peat-perlite (C) and soil-coco peat-perlite (SC), water salinity 1.2, 3.5 and 5 S₁, S₂ and S₃, respectively, two depths of 30 cm (D₁) and 50 cm (D₂).

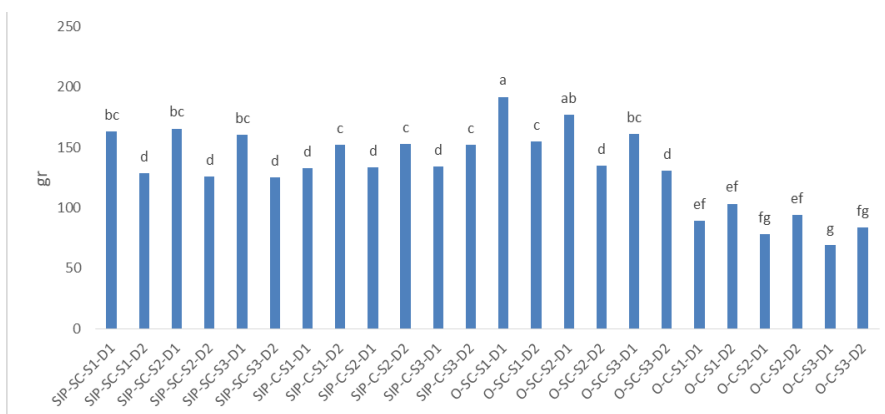


Figure 2. Comparison of plant fresh weight in different treatments

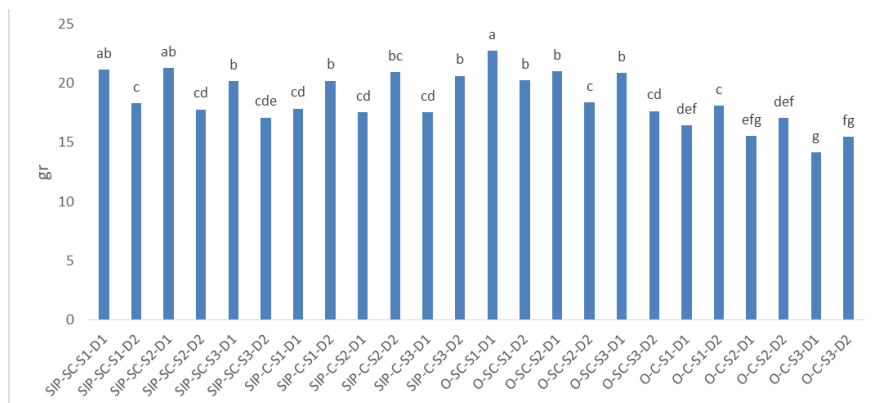


Figure 3. Comparison of plant dry weight in different treatments

۲.۳. بهره‌وری آب در گیاه

با توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) مشاهده شد که روش آبیاری، شوری آب، نوع بستر و ارتفاع گلدان بر میزان بهره‌وری آب تأثیر معنی‌دار دارند، همچنین تأثیر متقابل تیمارها نیز بر هم معنی‌دار می‌باشد. با توجه به جدول مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۴) مشاهده گردید که روش آبیاری SIP دارای بهره‌وری آب بالاتری نسبت به روش آبیاری O است که این اختلاف در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. مطابق نتایج جدول (۴)، میزان بهره‌وری آب مصرفی در تیمار SIP با $10/80$ گرم بر لیتر در حدود دو برابر تیمار O بوده است که نشان‌دهنده مناسب بودن این تیمار آبیاری می‌باشد. این نتایج نشان از برتری روش آبیاری تیمار SIP نسبت به روش آبیاری تیمار O می‌باشد که در مناطق با کمبود منابع آب بسیار دارای اهمیت می‌باشد و با مصرف آب کمتر مقدار محصول بیش‌تری دست می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که افزایش شوری آب باعث کاهش بهره‌وری می‌گردد که این کاهش بین تیمار S_1 با دو تیمار S_2 و S_3 در سطح یک درصد معنی‌دار است و مقدار کاهش آن‌ها با تیمار شاهد به ترتیب تقریباً برابر با $3/8$ و $7/1$ درصد می‌باشد.

مطابق جدول (۴) تغییر بستر کشت باعث ایجاد اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد در میزان بهره‌وری آب گردید. مقایسه میانگین‌ها نشان داد میزان بهره‌وری آب مصرفی در بستر کشت SC با $8/50$ گرم در لیتر از بستر C با $7/63$ گرم در لیتر بیش‌تر بوده است. مطابق شکل (۴) با تغییر بستر کشت از SC به C در تیمار آبیاری SIP میزان بهره‌وری آب مصرفی از $9/66$ به $11/93$ گرم در لیتر افزایش یافته است، اما در تیمار آبیاری O میزان بهره‌وری آب مصرفی از $7/32$ به $3/31$ گرم در لیتر کاهش یافته است که دلیل آن می‌تواند به بهتر بودن بستر C در آبیاری زیرسطحی با توجه به انتقال آب به گیاه و صعود بهتر آب بر اثر خاصیت موینگی در این بستر باشد.

با کاهش عمق بستر کشت از 50 به 30 سانتی‌متر میزان بهره‌وری آب مصرفی افزایش یافته است که این افزایش در هر دو روش آبیاری و بستر کشت رخ داد و این تأثیر در سیستم SIP برای بستر کشت C بسیار بیش‌تر از بستر کشت SC بوده است (شکل ۴). مطابق شکل (۴) بیش‌ترین بهره‌وری آب در تیمارهای SIP-C-D₂ در هر سه سطح شوری آبیاری مشاهده شد و کم‌ترین بهره‌وری آب در تیمار O-C-D₁ برای هر سه سطح شوری آب آبیاری رخ داد. نتایج این مطالعه نشان داد که سیستم SIP به دلیل امکان ذخیره آب در خاک و در اختیار قراردادن آن در طول دوره رشد به ریشه گیاه باعث بهبود بهره‌وری گردیده است. افزایش بهره‌وری آب در روش آبیاری زیرسطحی در پژوهش‌های مشابه دیگری نیز مشاهده گردیده است که نتایج این مطالعه با آن‌ها مطابقت دارد (Lee et al., 2010; Nalliah et al., 2010). Siyal et al. (2011) در پژوهش‌هایی که بر روی گیاهان زینتی کشت شده در گلدان انجام دادند، نشان دادند که سیستم آبیاری زیرسطحی (فیتیل‌ای موینگی) باعث کاهش $63/75$ درصدی آب می‌شود.

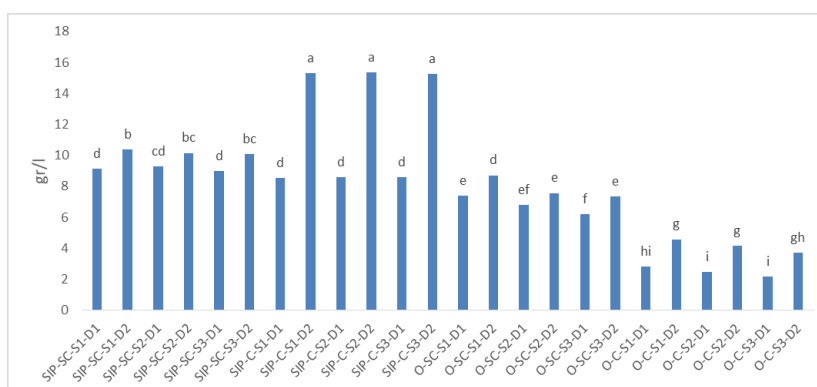


Figure 4. Comparison of water productivity in different treatments

۳.۳. توزیع رطوبت خاک

شکل‌های (۵) و (۶) توزیع رطوبت و شوری را در پروفیل خاک برای دو محیط کشت SC و C و دو روش آبیاری سطحی و زیرسطحی گلدانی در دو عمق بستر مختلف را نشان می‌دهد. بررسی این پروفیل‌ها کمک می‌کند تا به سیر حرکت نمک و رطوبت در خاک پی برده شود و به سیستم آبیاری بهینه و عمق کشت مطلوب گیاه به دست آید. همانطور که ملاحظه می‌شود توزیع شوری در هر دو شکل (۵) و (۶) و برای دو نوع محیط کشت، در تیمارهای سطحی و زیرسطحی گلدانی متفاوت است. در روش زیرسطحی گلدانی، بیشترین مقدار شوری خاک در لایه‌های سطحی رویت شد و با افزایش عمق کاهش شوری در خاک اتفاق افتاد، در حالی که در روش سطحی، شورترین لایه‌ها در بخش زیرین محیط کشت قرار داشتند و در مقایسه با لایه سطحی خاک با افزایش عمق مقدار شوری افزایش می‌یابد.

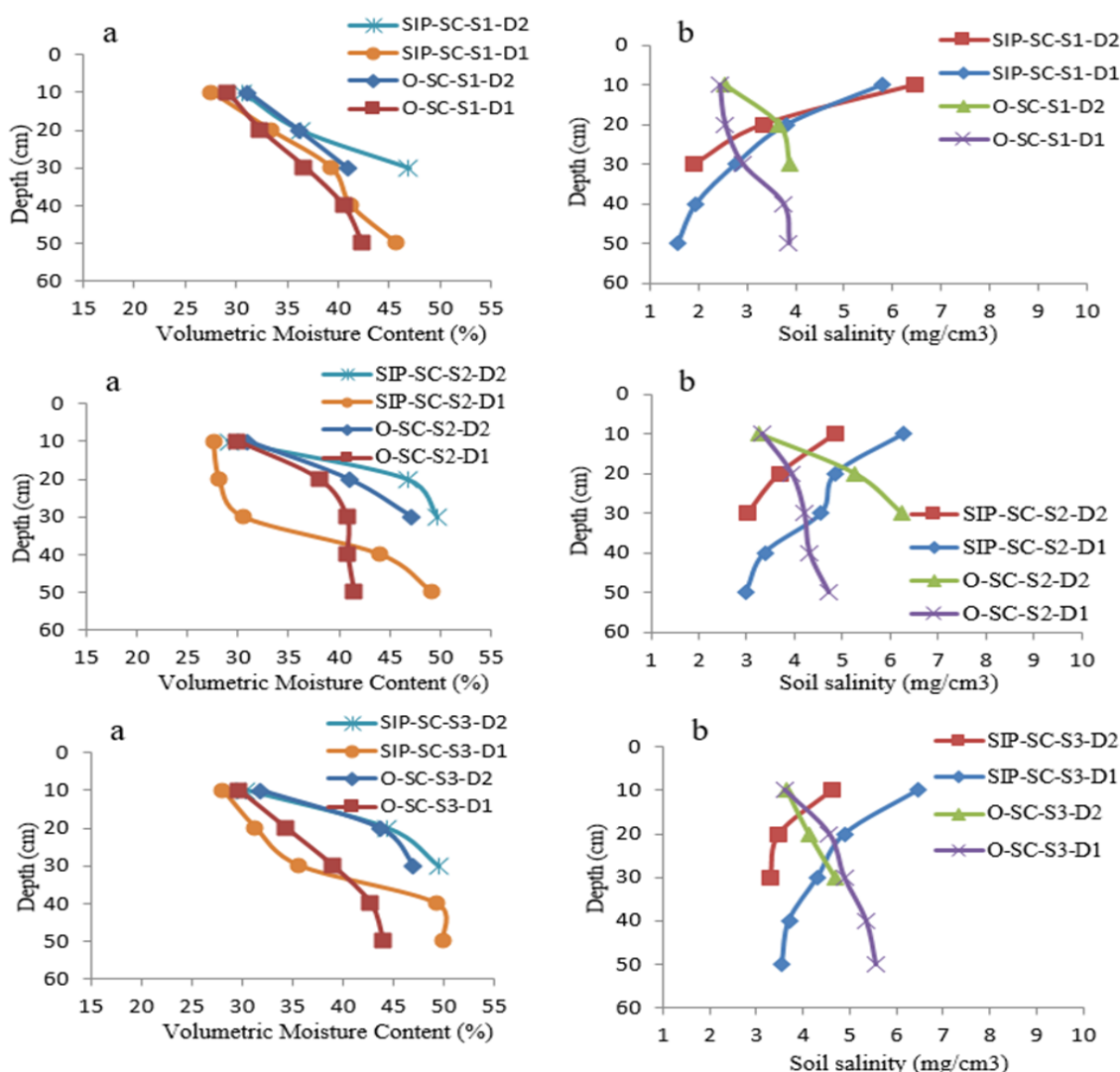


Figure 5. a) Comparison of moisture of SC culture substrate with salinity level S_1 , S_2 and S_3 with both SIP and O irrigation systems with depth D_1 and D_2 ; b) Comparison of salinity levels S_1 , S_2 and S_3 , SC culture substrate layers with both SIP and O irrigation systems with depth D_1 and D_2 .

(Surface irrigation (O) and Sub irrigation planter (SIP), coco peat-perlite (C) and soil-coco peat-perlite (SC), water salinity 1.2, 3.5 and 5 S_1 , S_2 and S_3 , respectively, two depths of 30 cm (D_1) and 50 cm (D_2))

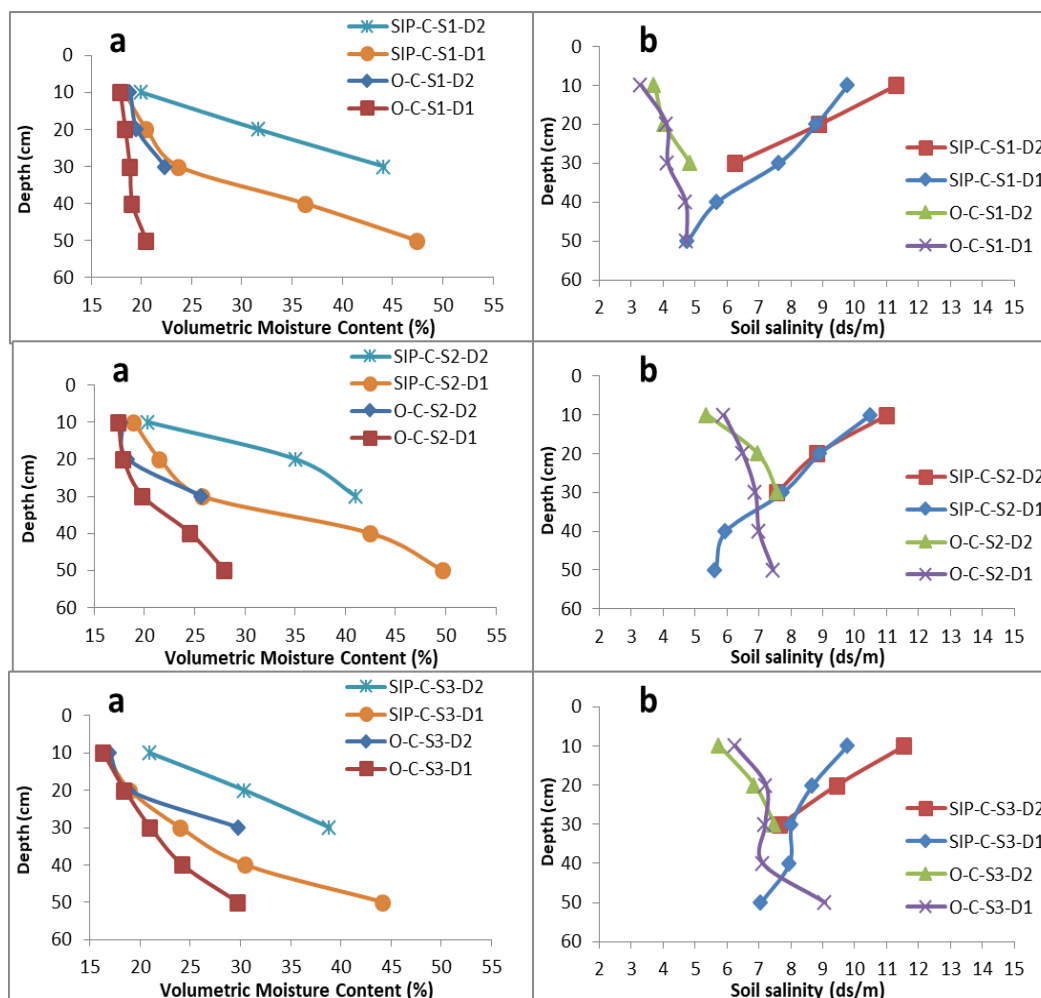


Figure 6. a) Comparison of moisture of C substrate layers with salinity level S1, S2 and S3 with both SIP and O irrigation systems with depth D1 and D2; b) Comparison of salinity levels S1, S2 and S3, C substrate layers with both SIP and O irrigation systems with depth D1 and D2.

(Surface irrigation (O) and Sub-irrigation planter (SIP), coco peat-perlite (C) and soil-coco peat-perlite (SC), water salinity 1.2, 3.5 and 5 S₁, S₂ and S₃, respectively, two depths of 30 cm (D₁) and 50 cm (D₂))

در بررسی رطوبت در لایه‌های مختلف بستر مشاهده می‌شود رطوبت در هر دو روش آبیاری با افزایش عمق بستر افزایش پیدا می‌کند که البته این افزایش در سیستم آبیاری زیرسطحی با سرعت بیش‌ترین مشاهده می‌شود، هم‌چنین در مقایسه بین دو روش آبیاری مشاهده شد در عمق بستر بیش‌تر مقدار رطوبت در آبیاری زیرسطحی به مراتب بیش‌تر از آبیاری سطحی می‌باشد و بیش‌ترین رطوبت‌های خاک در عمیق‌ترین لایه‌های هر دو عمق کشت D₁ و D₂ در SIP است. دلیل این روند، به‌علت وجود مخزن آب در سیستم آبیاری زیرسطحی می‌باشد که بنا بر خاصیت مویینگی خاک باعث افزایش مقدار رطوبت در لایه‌های بالایی مخزن می‌گردد. برای توزیع شوری نیز همین عامل می‌تواند باعث رقیق‌تر شدن نمک‌ها و کاهش شوری در این قسمت شود، درحالی‌که صعود آب به لایه‌های بالاتر و خارج شدن آن از خاک باعث افزایش شوری در این لایه‌ها می‌گردد. درحالی‌که در سیستم آبیاری سطحی، نمک‌ها به‌همراه آب به لایه‌های زیرین شسته شده و باعث افزایش شوری پروفیل در لایه‌های زیرین خاک می‌گردند. در شکل (۵) سیستم آبیاری زیرسطحی گلدانی با عمق کشت D₁ دارای سطوح بالاتری از شوری در طول پروفیل خود هستند که علت آن می‌تواند رطوبت

بیشتر لایه‌های محیط کشت در عمق‌های D_2 به دلیل نزدیکی بیش‌تر به مخزن زیرگلدانی باشد. رطوبت بالاتر لایه‌ها، باعث کاهش شوری در طول پروفیل خاک در تیمارهای مختلف شد.

شکل (۷) مقایسه بین دو بستر کشت SC و C در توزیع رطوبت و شوری در پروفیل خاک را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، در نمودار a که مربوط به تیمارهای S_1 است، در عمق D_2 تیمارهای مربوط به بستر C رطوبت بیش‌تری دارند، اما در عمق بیش‌تر D_1 ، تیمارهای SC مرطوب‌تر هستند که می‌تواند به دلیل جذب رطوبت کم‌تر توسط گیاه با توجه به نیروی چسبندگی بین خاک و آب در این بستر باشد. در نمودارهای b و c که مربوط به سطوح شوری S_2 و S_3 هستند، در عمق D_2 تیمارهای مربوط به بستر SC، رطوبت بیش‌تری دارند ولی در عمق D_1 ، هر دو تیمار SC و C دارای لایه‌هایی با رطوبت‌های تقریباً یکسانی هستند. همچنین در نمودارهای d، e و f ملاحظه می‌شود که تیمار SIP-SC- D_2 دارای شوری کم‌تری نسبت به سایر تیمارهای SIP است. در هر سه نمودار (سه سطح شوری S_1 ، S_2 و S_3) تیمارهای SIP-C در هر دو عمق D_1 و D_2 شوری بیش‌تری در اکثر لایه‌ها نسبت به تیمارهای SIP-SC دارند.

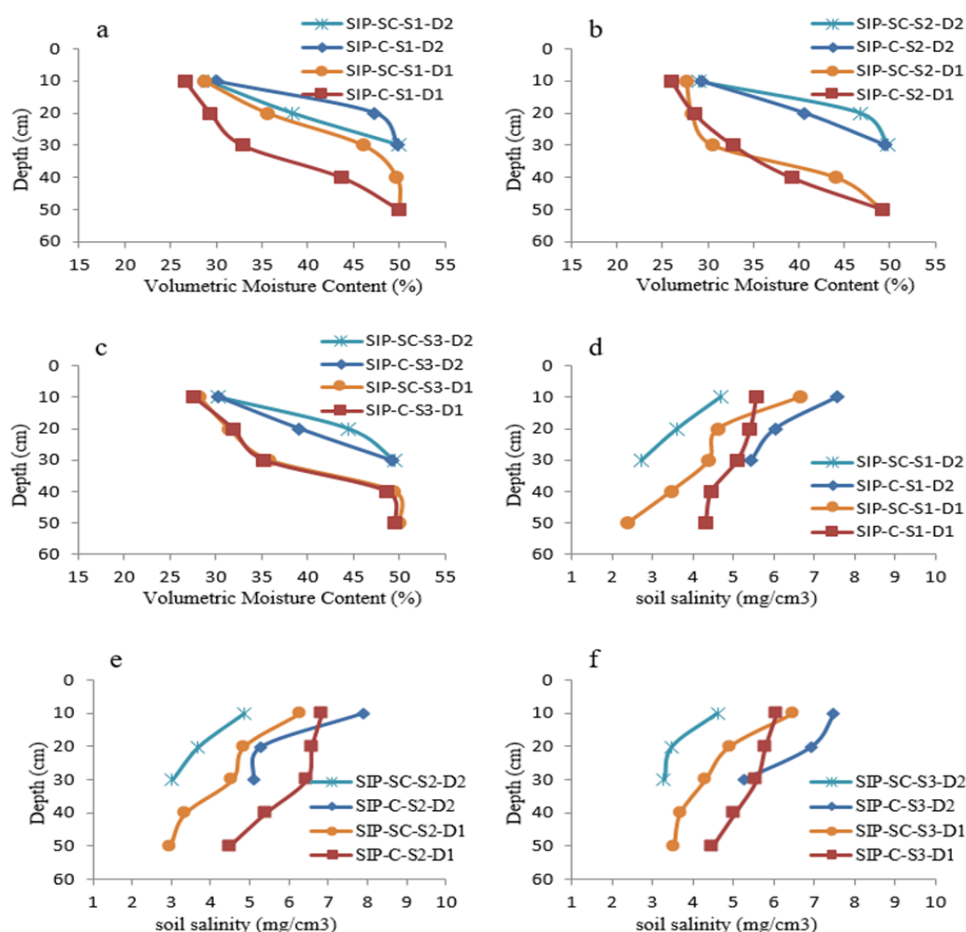


Figure 7. a) Comparison of moisture content in two culture media (SC and C) with salinity level S_1 at depth D_1 and D_2 ; b) Comparison of moisture content in two culture media (SC and C) with salinity level S_2 at depth D_1 and D_2 ; c) Comparison of moisture content in two culture media (SC and C) with salinity level S_3 at depth D_1 and D_2 . d) Comparison of salinity level S_1 in two culture media (SC and C) on depth D_1 and D_2 . e) Comparison of salinity level S_2 in two culture media (SC and C) on depth D_1 and D_2 . f) Comparison of salinity level S_3 in two culture media (SC and C) on depth D_1 and D_2 . (Surface irrigation (O) and Sub-irrigation planter (SIP), coco peat-perlite (C) and soil-coco peat-perlite (SC), water salinity 1.2, 3.5 and 5 S_1 , S_2 and S_3 , respectively, two depths of 30 cm (D_1) and 50 cm (D_2))

۴. نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که سیستم آبیاری زیرسطحی گلدانی (SIP) نسبت به روش سطحی از نظر صرفه‌جویی در مقدار آب آبیاری و در نتیجه بهبود بهره‌وری آب عملکرد بهتری دارد و موجب افزایش معنی‌دار در عملکرد تر و خشک گیاه می‌گردد. از این‌رو، می‌توان این روش آبیاری را برای آبیاری گلخانه‌ها در مناطقی با کمبود آب توصیه نمود. هم‌چنین در رابطه با عمق بستر در گلدان، کاربرد هر یک از اعماق ۵۰ و ۳۰ سانتی‌متری تفاوت معنی‌داری در بهره‌وری آب، وزن تر و خشک گیاه داشتند و نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که افزایش عمق بستر تا ۵۰ سانتی‌متری موجب افزایش عملکرد می‌گردد. هم‌چنین نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که افزایش شوری آب آبیاری باعث کاهش محصول و بهره‌وری محصول می‌گردد. بررسی‌های توزیع شوری در دو محیط کشت SC و C نشان داد در سیستم آبیاری زیرسطحی بیش‌ترین سطح شوری در لایه‌های سطحی و بالایی خاک رخ می‌دهد، در صورتی که در سیستم آبیاری سطحی بیش‌ترین شوری در لایه‌های زیرین خاک مشاهده می‌شود، بنابراین بررسی شوری در پروفیل محیط کشت در طول فصل کشت و انجام آشنایی بین دو فصل کشت به‌منظور جلوگیری از کاهش محصول در اثر شوری سطح در روش آبیاری SIP توصیه می‌شود. نتایج توزیع رطوبت خاک نیز نشان داد که در هر دو سیستم آبیاری با افزایش عمق مقدار رطوبت خاک افزایش پیدا می‌کند که این مقدار در سیستم آبیاری زیرسطحی با سرعت بیش‌تری اتفاق می‌افتد و در لایه‌های زیرین مقدار رطوبت بیش‌تر از سیستم آبیاری سطحی است که می‌تواند به‌دلیل نزدیکی به مخزن آب زیرین باشد.

۵. پی‌نوشت‌ها

1. Sub-Irrigation Planter (SIP)

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

- Arbat, G., Puig-Bargues, J., Barragan, J., Bonany, J., & De Cartagena, F. R. (2008). Monitoring soil water status for micro-irrigation management versus modelling approach. *Biosystems Engineering*, 100(2), 286-296.
- Çolak, Y. B., Yazar, A., Sesveren, S., & Çolak, İ. (2017). Evaluation of yield and leaf water potential (LWP) for eggplant under varying irrigation regimes using surface and subsurface drip systems. *Scientia horticulturae*, 219, 10-21.
- Ferrarezi, R. S., & Testezlaf, R. (2016). Performance of wick irrigation system using self-compensating troughs with substrates for lettuce production. *Journal of Plant Nutrition*, 39(1), 147-161.
- Flagella, Z., Giuliani, M. M., Rotunno, T., Di Caterina, R., & De Caro, A. (2004). Effect of saline water on oil yield and quality of a high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrid. *European Journal of Agronomy*, 21(2), 267-272.
- Hills, D. J., & Brenes, M. J. (2001). Microirrigation of wastewater effluent using drip tape. *Applied Engineering in Agriculture*, 17(3), 303.
- Kakaraparthi, P. S., Srinivas, K. V. N. S., Kumar, J. K., Kumar, A. N., Rajput, D. K., & Anubala, S. (2015). Changes in the essential oil content and composition of palmarosa (*Cymbopogon martini*) harvested at different stages and short intervals in two different seasons. *Industrial Crops and Products*, 69, 348-354.
- Lee, C.W., So, I.S., Jeong, S.W., & Huh, M.R. (2010). Application of Subirrigation Using Capillary Wick System to Pot Production. *Journal of Agriculture and Life Science*, 44, 7-14.

- Mashhor, M. V., Mashal, M., Hashemi Garmdareh, S. E., Reca, J., Lao, M. T., Veravipour, M., & Ebrahimian, H. (2020). Growth, yield, and water productivity responses of pepper to sub-irrigated planter systems in a greenhouse. *Sustainability*, 12(3), 1100.
- Mohammadkhani, N., & Heidari, R. (2007). Effects of water stress on respiration, photosynthetic pigments and water. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(22), 4022-4028.
- Mungai, M. M., Wariara, K., Gathogo, H. P., Mwibanda, W. J., & 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. *Int. J. Agron. Agric. Res.*, 11, 32-41.
- Nalliah, V., & Ranjan, R. S. (2010). Evaluation of a capillary-irrigation system for better yield and quality of hot pepper (*Capsicum annuum*). *Applied Engineering in Agriculture*, 26(5), 807-816.
- Oh, M. M., & Son, J. E. (2008). Phytophthora nicotianae transmission and growth of potted kalanchoe in two recirculating subirrigation systems. *Scientia horticulturae*, 119(1), 75-78.
- Rangrizi, S., Bahrami, H. A., Kianirad, M., & Shojaaddini, A. (2016). Evaluating the performance of bio-composite pipes as a subsurface irrigation method in culturing panicum (*Panicum antidotale*). (In Persian)
- Singh, D. K., Rajput, T. B. S., Sikarwar, H. S., Sahoo, R. N., & Ahmad, T. (2006). Simulation of soil wetting pattern with subsurface drip irrigation from line source. *Agricultural water management*, 83(1-2), 130-134.
- Siyal, A. A., Siyal, A. G., & 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.
- Wang, X., Yang, J., Liu, G., Yao, R., & Yu, S. (2015). Impact of irrigation volume and water salinity on winter wheat productivity and soil salinity distribution. *Agricultural Water Management*, 149, 44-54.
- Zhang, H. X., Qun, W. A. N. G., & Jun, F. A. N. G. (2011). Yield and quality response of cucumber to irrigation and nitrogen fertilization under subsurface drip irrigation in solar greenhouse. *Agricultural Sciences in China*, 10(6), 921-930.