Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Application of porous clay capsule technique in optimizing water consumption of citrus orchard

Hojjat Ghorbani Vaghei[*1], **HosseinAli Bahrami**[2]

[*1]Assistant Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran
[2]Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Abstract

Introduction
Water is one of the main important environmental factors limiting plant culture, in arid and semiarid regions like Iran. Providing continuous soil moisture content in the range of field capacity and reducing water losses in near root zone can play a key role in the development of soil and water management programs. Subsurface irrigation system with porous clay capsules are able to release water in the soil at field capacity range. This method is one of the traditional methods to reduce water consumption and increase water use effficiency for providing water requirement of plants in small scale farms at the worlds. There are different types of porous pipes. Clay nozzles are a type of porous clay pipes that allow optimal use of irrigation water due to the moisture supply of field capacity at the roots of plants.

Materials and Methods
In this study, subsurface irrigation with porous clay capsule nuzzle was used to provide the water requirement of two fruitful plant (Grapes and Oranges) and measure the volume of water consumption in comparison with drip irrigation method. Porous clay capsule is able to release water into soil about field capacity in low hydroustatic pressure. The soil water content in field capacity was measured by mini soil Tensiometer in 30 kPa soil suction. Soil moisture in field capacity content was 28% for clay soil texture in citrus orchard. In subsurface and surface irrigation methods, 4 porous clay capsules and 2 dripper (8 litr.h^{-1}), were placed for each citrus plant respectively. The volume of water consumed after each irrigation in both methods was measured by a water meter counter with precision +/-1 liter. In citrus plants, to compare the effect of irrigation type the collar diameter and plant height were studied for three consecutive years, and were compared using t-test ($P<0.05$).

Results and Discussion
The volume of water used in subsurface irrigation method was less than the surface irrigation method. The results showed that the water supply using buried porous clay capsule irrigation method for citrus plant compared to surface drip irrigation method was associated 42% reduction in water consumption.. Comparison of collar diameter and plant height of citrus plants showed that there was no statistically significant difference ($p<0.05$) in two irrigation methods. Collar diameter and height growth of citrus trees in subsurface and surface irrigation methods in 2015 compared to 2012 was about 2.5 times.

Conclusion
According to the results of the present study, it can be concluded that the use of porous clay capsules will be one of the most effective traditional methods of optimization and management in water consumption of small scale orchards, especially at arid and semiarid region. An examination of the work done to date on clay nozzles shows that less attention has been paid to the economic aspects and competitiveness of these parts with other nozzles available in the market. It seems that the challenge of sedimentation of water-soluble materials inside the parts or attacking the roots on them has prevented the entry of large private sector investors into this completely economic and high-income environment.

Keywords: Soil field capacity, Subsurface irrigation, Vegetative growth, Water consumption

Article Type: Research Article

[*]Corresponding Author, E-mail: ghorbani169@yahoo.com

Citation: Ghorbani Vaghei, H., & Bahrami, H.A. (2021). Application of porous clay capsule technique in optimizing water consumption of citrus orchard. *Water and Soil Management and Modeling*, 1(3), 15-24.
DOI: 10.22098/MMWS.2021.9140.1024
DOR: 20.1001.1.27832546.1400.1.3.2.4

Received: 2 July 2021, Accepted: 3 August 2021
Water and Soil Management and Modeling, Year 2021, Vol. 1, No. 3, pp. 15-24
Publisher: University of Mohaghegh Ardabili © Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۵٤٦-۲۷۸۳

بهینه‌سازی مصرف آب در مرکبات با استفاده از تکنیک کپسول رسی متخلخل

حجت قربانی‌واقعی*[۱]، حسینعلی بهرامی[۲]

[۱] استادیار، گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران
[۲] دانشیار، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

تأمین پیوسته رطوبت خاک در محدودهٔ ظرفیت زراعی و کاهش تلفات آب در خارج از محدودهٔ رشد ریشه می‌تواند نقش کلیدی در توسعهٔ برنامه‌های مدیریت آب و خاک داشته باشد. سامانهٔ آبیاری زیرسطحی با کپسول رسی متخلخل قادر به تأمین پیوستهٔ رطوبت خاک در محدودهٔ ظرفیت زراعی است. در این پژوهش اثر دو روش آبیاری زیرسطحی با کپسول‌رسی متخلخل و روش آبیاری سطحی از نوع قطره‌ای برای تأمین رطوبت مورد نیاز بوته پرتقال تامسون ناول مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهال پرتقال برای مقایسهٔ تأثیر روش آبیاری، تنها پارامترهای قطر رویشی یقه و ارتفاع بوته به مدت سه سال متوالی مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین در این پژوهش حجم آب مصرفی بعد از هر بار آبیاری در هر دو روش توسط کنتور آب با دقت ±1 لیتر اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تأمین رطوبت برای گیاه پرتقال به‌روش کپسول رسی متخلخل نسبت به‌روش آبیاری قطره‌ای سطحی با ۴۲ درصد کاهش مصرف آب همراه بوده است. حال آن‌که اختلاف آماری معناداری بین قطر رویشی یقه و ارتفاع بوته در دو روش در هر سه سال مشاهده نشد. هم‌چنین نتایج مشاهدات میدانی حاکی از تأخیر مدت زمان آبیاری در روش آبیاری زیرسطحی در مرداد ماه از شش روز به نه روز در مقایسه با روش آبیاری سطحی داشت. به‌طور کلی، با علم به محدودیت منابع آبی در کشور استفاده از کپسول رسی متخلخل یکی از مؤثرترین روش‌های بهینه‌سازی و مدیریت در مصرف آب اراضی باغی خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری زیرسطحی، باغ مرکبات، رشد رویشی، ظرفیت زراعی خاک.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ghorbani169@yahoo.com

استناد: قربانی واقعی، ح.، و حسینعلی بهرامی، ح. (۱۴۰۰). بهینه‌سازی مصرف آب در مرکبات با استفاده از تکنیک کپسول رسی متخلخل. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۱(۳)، ۱۵-۲۴.
DOI: 10.22098/MMWS.2021.9140.1024
DOR: 20.1001.1.27832546.1400.1.3.2.4

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۲
مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۰، دوره ۱، شماره ۳، صفحه ۱۵ تا ۲۴
ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱- مقدمه

کشور ایران به‌دلیل واقع شدن در کمربند خشک و نیمه‌خشک و نیز به‌دلیل میزان بارندگی سالیانه کم‌تر از متوسط جهانی همواره با مشکل تأمین آب مورد نیاز گیاهان مواجه بوده است (Bagheri et al., 2015) و برای تأمین نیاز آب گیاهان زراعی و باغی به ناچار از منابع آب زیرزمینی استفاده می‌شود. مصرف بی‌رویهٔ منابع آب زیرزمینی و راندمان کم آبیاری دو تهدیدی است که امکان ظهور تکنیک‌های جدید و وضع قوانین جدید را برای مقابلهٔ با کم‌آبی فراهم کرده است (Keramatzadeh et al., 2011; Bastani, 2018). امروزه استفاده از تکنیک آبیاری قطره‌ای برای مهار تنش رطوبتی محصولات مختلف باغی از گسترش نسبتاً چشم‌گیری در دنیا برخوردار شده است (Basal et al., 2009). با وجود این، روش آبیاری قطره‌ای به‌دلیل خیس شدن سطح خاک در مناطق خشک کشور با تبخیر قابل توجه آب از سطح برخوردار است. لذا لزوم به‌کارگیری روش‌های جدیدتر به‌نام آبیاری زیرسطحی برای چنین مناطقی احساس می‌شود (Bagheri et al., 2015; Ghorbani et al., 2015; Ghorbani et al., 2016; Bastani, 2018).

Khalili (2012) به‌منظور بررسی توزیع رطوبت در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی پژوهشی با دو عمق کارگذاری، لوله‌های قطره چکان‌دار (۴۰ و ۵۰ سانتی‌متری)، سه مدت کارکرد (۲، ۴ و ۶ ساعت) با فاصلهٔ قطره‌چکان‌های ۵۰ سانتی‌متر و دبی ۳/۵ لیتر در ساعت انجام داد. نتایج این پژوهش نشان داد که عمق کارگذاری ۵۰ سانتی‌متر برای لوله‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با فاصلهٔ قطره چکان‌های ۵۰ سانتی‌متر و دبی ۳/۵ لیتر در ساعت برای یک خاک لومی مناسب است. البته در سال ۱۳۸۶ و بعد روش‌های آبیاری زیرسطحی از نوع لوله‌های تراوا در داخل کشور ایران مورد توجه قرار گرفته است (Hejazi et al., 2009)، در این روش، آب در حجم و فشار کم بر اثر نیروی مکش خاک موجب تراوش آب از نازل‌های زیرسطحی به خاک شده و در طراحی این نوع سامانه محل قرارگیری نازل‌ها طوری برنامه‌ریزی شده است تا آب در نزدیک سطح ریشه رهاسازی شود. مقدار تراوش آب به‌صورت هوشمند و رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی است. همین عوامل موجب کاهش تلفات و در نتیجه بالا رفتن کارایی مصرف آب در چنین روشی نسبت به سایر روش‌های مرسوم تحت فشار آبیاری می‌شود (Hejazi et al., 2009; Ghorbani et al., 2010; Bahrami et al., 2010; Ghorbani et al., 2011). در طراحی آبیاری زیرسطحی، ابعاد جبههٔ رطوبتی و چگونگی توزیع رطوبت در آن، دو عامل اصلی در تعیین عمق و فاصلهٔ مناسب برای حصول به توزیع بهینهٔ آب در ناحیهٔ توسعه ریشه است (Al-Ibrahem et al., 2010; Xi et al., 2013; Zarei et al., 2014) از طرفی، توسعهٔ سیستم ریشه درخت تحت تأثیر عوامل مختلف دیگری چون ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نوع گونهٔ گیاهی، کیفیت آب و سن درخت قرار دارد (Al-Ibrahem et al., 2010, Salgado and Cautin, 2008). با وجود این، تعیین عمق و فاصلهٔ نصب لوله‌های آبده مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تأمین نیاز آبی گیاه و موفقیت یک طرح آبیاری زیرسطحی است (Elmaloglou and Diamantopoulos. 2009).

لوله‌های متخلخل انواع و اقسام متفاوتی دارند. نازل‌های سفالی نوعی از لوله‌های رسی متخلخل (Bainbridge, 2001) هستند که به‌دلیل تأمین رطوبت ظرفیت زراعی در پای ریشه گیاهان امکان استفادهٔ بهینه از آب آبیاری را فراهم می‌سازد (Bainbrige, 2002; Siyal and Skaggs, 2009; Bahrami et al., 2010; Bastani, 2018). هم‌چنین، کپسول‌های رسی متخلخل نوعی نازل سفالی با ابعاد کوچکتر هستند (Bahrami et al. 2010) که رویکرد جدیدی در تأمین رطوبت خاک برای مزارع کوچک و متوسط مقیاس مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌وجود آورده است (Bainbridge, 2002; Abu- Abu-Zreig et al., 2006; Zreig and Atoum, 2004; Abu-Zreig et al., 2009; Qiaosheng et al., 2007; Siyal and Skaggs, 2009; Bastani, 2018).

در پژوهشی تأثیر آبیاری زیرسطحی با کپسول‌های رسی متخلخل بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه انگور مورد بررسی قرارگرفت. در این پژوهش برای تأمین رطوبت خاک از نازل‌های سفالی با منبع تغذیهٔ نقطه‌ای به طول ۱۲ سانتی‌متر و برای هر بوته از شش نازل سفالی کارگذاری شده در عمق ۵۰ سانتی‌متری خاک استفاده شد (Ghorbani et al., 2015). بررسی نتایج ویژگی‌های میوهٔ انگور نشان داد که وزن و طول خوشه، مقدار مواد جامد محلول و pH در آبیاری کپسول‌های رسی متخلخل زیرسطحی اختلاف معناداری در سطح پنج درصد با آبیاری قطره‌ای سطحی نداشت. هم‌چنین تحلیل نتایج برگی نشان داد که میزان کلروفیل و رطوبت نسبی برگ گیاه انگور در سطح آماری پنج درصد تحت تأثیر روش آبیاری قرار نداشت. مقدار متوسط مصرف آب و عملکرد میوه در روش آبیاری کپسول رسی زیرسطحی و آبیاری قطره‌ای سطحی به‌ترتیب ۴۰۵۰ و ۶۶۶۸ مترمکعب در هکتار و ۱۴/۲ و ۱۴/۸ تن در هکتار بود و با توجه به مقدار عملکرد میوه و مقدار آب مصرفی، شاخص بهره‌وری آب در روش آبیاری کپسول رسی بهتر از روش آبیاری قطره‌ای سطحی بود.

مطالعات در زمینهٔ به‌کارگیری کپسول‌های رسی متخلخل برای تأمین رطوبت مورد نیاز گیاهان باغی ناچیز است. مطالعات پژوهشگران بر کاهش مصرف آب به‌روش آبیاری زیرسطحی با

کپسول‌های رسی بر گیاهانی هم‌چون برنج (ShamsAli et al., 2018)، انگور (Ghorbani et al., 2015)، خیار و هندوانه (Bainbridge, 2001) نشان داده است که حجم آب مصرفی در این روش کم‌تر از سایر روش‌های آبیاری سطحی است. لذا این پژوهش به‌دنبال بررسی بیش‌تر این واقعیت در دو گیاه مثمر باغی به‌ویژه در شرایط کم‌آبی حاکم بر مناطق نیمه‌خشک کشور است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه

به‌منظور بررسی اثر کاهش مصرف آب در باغ مرکباتی دو ساله (تامسون ناول) با پایهٔ نارنج به‌روش سامانهٔ آبیاری زیرسطحی آزمایشی به متراژ ۶۰۰۰ متر مربع با ۱۳۰ نهال واقع در روستای یساقی شهرستان کردکوی در سال ۱۳۹۱ انجام و تا سال ۱۳۹۴ مورد پایش قرار گرفت. وضعیت اقلیمی منطقه طوری است که چهار ماه از سال (خرداد تا شهریور) مقدار تبخیر و تعرق بیش از مقدار بارندگی است (جدول ۱). برای تأمین آب مورد نیاز آبیاری در این مدت از تانکر ۲۰۰۰ لیتری سه لایهٔ فین‌دار عمودی استفاده شد که در ارتفاع یک متر نسبت به سطح زمین قرار گرفته بود. برای انتقال آب تانکر به زمین از لولهٔ پلی‌اتیلن نمرهٔ ۴۰ میلی‌متر و نیز از لوله‌های پلی‌اتیلن نمرهٔ ۳۲ میلی‌متر به‌عنوان لولهٔ لاترال استفاده شد و برای هر بوته یک لولهٔ ۱۶ آبیاری از لولهٔ لاترال انشعاب گرفته شد. به هر لولهٔ ۱۶ آبیاری انشعاب گرفته چهار عدد از کپسول رسی متخلخل در چهار جهت بوته به‌هم متصل و مجموعه در خاک مدفون شدند. شکل ۱ نحوهٔ کارگذاری کپسول رسی متخلخل به‌صورت نقطه‌ای را در عمق ۸۰ سانتی‌متری خاک نشان می‌دهد. برای اندازه‌گیری حجم آب مصرفی در هر روش از کنتور حجمی دقیق (با دقت 1± لیتر) دو اینچی استفاده شد و در ادامه میزان حجم آب مصرفی به‌روش زیرسطحی نسبت به‌روش آبیاری قطره‌ای سطحی مورد مقایسه قرار گرفت. شکل ۲ نمایی از نحوهٔ کارگذاری کپسول رسی متخلخل به‌روش آبیاری زیرسطحی در باغ پرتقال و نحوه رشد رویشی آن را در گذر زمان نشان می‌دهد. مدت زمان پایش آبیاری در هر سال پنج ماه بود که از آخر اردیبهشت شروع و تا اول آبان ادامه داشت و این پایش تا سال ۱۳۹۴ ادامه داشت.

۲-۲- ویژگی‌های ریخت‌شناسی و هیدرولیکی کپسول رسی متخلخل

کپسول‌های رسی متخلخل به‌کار رفته در این تحقیق از نوع GB2 و ساخت شرکت اندیشاب است که قطر خارجی و داخلی آن به‌ترتیب ۳/۵ و ۱/۵ سانتی‌متر با ضخامت دیواره یک سانتی‌متر و طول ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد. ویژگی‌های ریخت‌شناسی و هیدرولیکی GB2 در جدول ۲ آمده است. تراوایی این قطعات در فشار هیدروستاتیکی ۲۵ کیلوپاسکال ۳/۹ لیتر بر ساعت و در فشار هیدروستاتیکی ۱۰۰ کیلوپاسکال در حدود ۱۵ لیتر بر ساعت است. در این پژوهش برای هر نهال مرکبات چهار کپسول رسی متخلخل در داخل زمین در عمق ۸۰ سانتی‌متر کار گذاشته شد. کپسول‌های رسی متخلخل از تنهٔ مرکبات ۸۰ سانتی‌متر فاصله داشتند. هم‌چنین سامانهٔ آبیاری زیرسطحی برای تخلیهٔ هوای محبوس شده از انتهای لوله اصلی و لوله‌ای فرعی مجهز به شیر هواگیر مکانیکی بود. منبع تأمین آب مرکبات در هر دو روش آبیاری، چاه غیر شرب باغ بود که از عمق ۲۵ متری زمین با کف‌کش برداشت و به داخل تانکر ۲۰۰۰ لیتری انتقال داده می‌شد.

برای اندازه‌گیری ظرفیت زراعی خاک از دستگاه مینی‌تانسیومتر خاک مدل آب بانک ساخت شرکت اندیشاب استفاده شد. در عمل یک نمونه خاک مرطوب در مکش ۳۰ کیلوپاسکال از محل تماس کلاهک مینی‌تانسیومتر با خاک تهیه و به‌روش وزنی در آون در دمای ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد رطوبت آن تعیین شد. این رطوبت ملاک عمل زمان آبیاری قرار گرفت. هم‌چنین ۱۰ نمونهٔ خاک دو کیلویی به‌صورت ضربدری از عمق ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متری خاک برداشت شد و سپس یک کیلوگرم از مخلوط این ده نمونهٔ خاک برای تحلیل ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی به آزمایشگاه خاک دانشگاه گنبد کاووس انتقال داده شد. در هر سال ارتفاع و قطر درختان اندازه‌گیری شد و کارایی دو سیستم آبیاری بر اساس متغیرهای اندازه‌گیری شده و با استفاده از آزمون t در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفت.

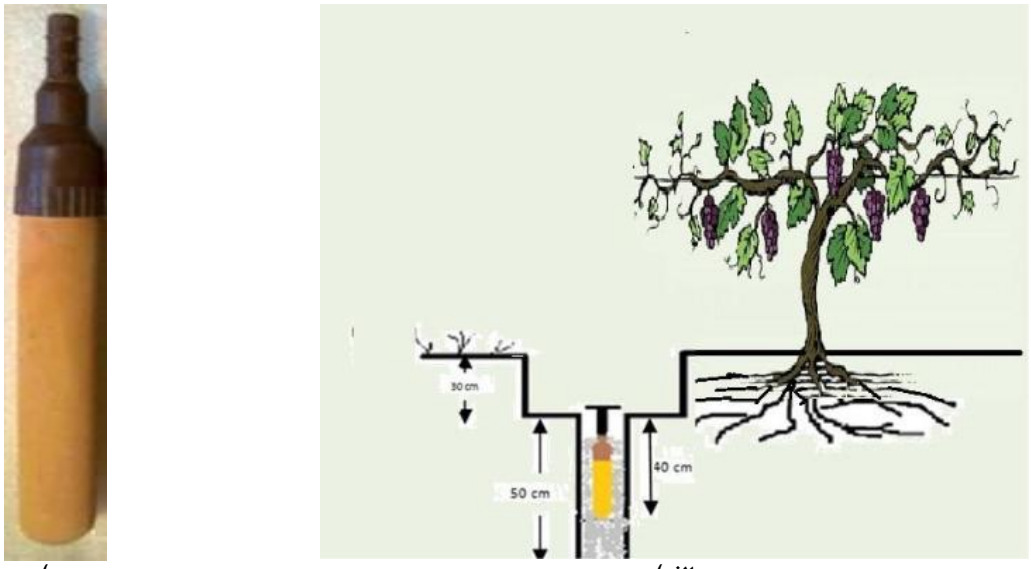
۳- نتایج و بحث

جدول ۳ نشان‌دهندهٔ برخی ویژگی‌های شیمیایی آب و فیزیکی-شیمیایی خاک منطقهٔ مورد مطالعه است. به‌دلیل فعالیت‌های زراعی در اطراف باغ و استفاده از کودهای ازته مقدار نیترات خاک نسبتاً بالاست و به‌دلیل آهکی بودن خاک مقدار کلسیم و منیزیم آب نیز بالاست. بر اساس تحلیل نتایج خاک، بافت خاک غالب منطقهٔ مورد مطالعه لومی‌رسی، pH آن ۸/۲۶ و هدایت الکتریکی آن ۲/۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد. هم‌چنین هدایت هیدرولیکی خاک توسط استوانهٔ مضاعف با سه تکرار انجام شد که مقدار متوسط آن ۲/۹ سانتی‌متر بر ساعت به‌دست آمد. تحلیل نتایج نشان می‌دهد که قابلیت نفوذ آب به خاک ضعیف است و با توجه به پایین بودن مقدار مادهٔ آلی این خاک عملیات بهسازی خاک اطراف بوته‌ها ضروری تشخیص داده شد.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی ماهانهٔ منطقهٔ مورد مطالعه در شش ماه مورد بررسی

Table 1- Meterological data of study area during a 6-month period

اطلاعات هواشناسی	سال مطالعه	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر
مجموع بارندگی ماهانه (میلی‌متر)	1391	8.6	55.2	113.7	0.0	27.5	98.9
	1392	57.0	2.6	0.0	10.8	0.4	89.8
	1393	20.4	40.8	5.5	0.2	42.1	55.6
	1394	1.4	0.0	53.5	0.3	98.8	44.2
متوسط دمای ماهانه (درجهٔ سانتی‌گراد)	1391	21.9	25.9	27.3	29.5	26.9	22.9
	1392	19.7	25.1	27.8	27.1	30.27	22.4
	1393	21.7	25.9	28.2	28.6	28.4	20.8
	1394	19.5	26.6	28.7	29.4	26.2	22.2



ب) الف)

شکل ۱- نمای کارگذاری کپسول رسی متخلخل در عمق ۸۰ سانتی‌متری خاک (الف) و نمایش نوع نازل (ب)

Figure 1- Installation of porous clay capsules in soil at a depth of 80 cm (a) and view of the porous clay capsule (b)

شکل ۲- نمای باغ مرکبات آبیاری شده به‌روش زیرسطحی و تأثیر آن بر رشد رویشی گیاه در گذر زمان

Figure 2- Citrus orchard irrigated by subsurface irrigation method and its effect on plant growth over time

جدول ۲- مشخصات ریخت‌شناسی و هیدرولیکی کپسول‌های رسی متخلخل (GB2)

Table 2- The morphological and hydraulic properties of porous clay capsule (GB2)

قطر خارجی (سانتی‌متر)	قطر داخلی (سانتی‌متر)	ضخامت دیواره (سانتی‌متر)	طول با قسمت آب‌بندی (سانتی‌متر)	آبدهی (لیتر بر ساعت) ۲۵ کیلو پاسگال	۵۰ کیلو پاسگال	۸۰ کیلو پاسگال	۱۰۰ کیلو پاسگال
3.5	1.5	1.0	30.0	3.9	6.8	12.0	15.1
		ضریب تغییرات		11.5	8.7	5.8	2.4

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی آب و خاک در منطقهٔ مورد مطالعه

Table 3- Physical-chemical properties of water and Soil in the study area

	هدایت‌هیدرولیکی (سانتی‌متر بر ساعت)	بافت خاک	جرم ظاهری ویژه (گرم بر سانتی‌مترمکعب)	Ca++ (mg/L)	Mg++ (mg/L)	$SO4^{--}$ (mg/L)	$PO4^{---}$ (mg/L)	$NO3^{-}$ (mg/L)	EC (dS/m)	pH
آب	–	–	–	1423.3	5423.5	988.3	0.42	27.6	0.75	7.40
خاک	9.2	لوم رسی	1.4	-	-	-	-	-	2.2	8.26

مقدار ماده آلی خاک (O.M): 0.76%و درصد آهک خنثی (T.N.V%): 18.2 بود.

در این پژوهش برای جلوگیری از تأثیر تنش رطوبتی بر رشد رویشی و زایشی مرکبات ۱۰۰ درصد نیاز آبی پرتقال برای هر دو روش آبیاری زیرسطحی و آبیاری قطره‌ای تأمین شده بود. مقدار رطوبت ظرفیت زراعی برای خاک رسی در باغ پرتقال ۲۸ درصد بود. باغ پرتقال همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است به‌دلیل تازه کاشت بودن تنها ویژگی‌های مرفولوژیکی رشد رویشی هم‌چون قطر تنهٔ اصلی و ارتفاع نهال مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۲ روند رشد رویشی نهال پرتقال را به‌روش آبیاری زیرسطحی به روایت تصویر در گذر زمان نشان می‌دهد.

نتایج تحلیل آماری به‌روش T-Test نشان داد که بین دو روش آبیاری، اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد از نظر ارتفاع درختان در هر سه سال مشاهده نشد (جدول ۴). بر اساس نتایج به‌دست آمده در روش آبیاری زیرسطحی، میانگین ارتفاع درختان، در سال‌های دوم و چهارم اجرای آزمایش به‌ترتیب برابر ۲۲۶/۸۵±۵/۶۴۲ و ۲۷۷/۷۵±۸/۹۴۰ بود که ۱/۸۹ و ۲/۳۱ برابر نسبت به سال اول آزمایش افزایش نشان داد (جدول ۵). میزان افزایش ارتفاع درختان در تیمار آبیاری قطره‌ای سطحی در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ نسبت به سال اول آزمایش به‌ترتیب برابر ۲/۰۷ و ۲/۳۷ بود.

نتایج آزمون t برای مقایسهٔ میانگین قطر درختان در دو روش آبیاری نشان داد که اختلاف معناداری ($P<$۰/۰۵) بین دو روش آبیاری زیرسطحی و قطره‌ای، از نظر قطر درختان مورد مطالعه طی سه سال وجود نداشت (جدول ۴). هم‌چنین بر اساس نتایج به‌دست آمده میانگین قطر درختان، در سال چهارم اجرای آزمایش در روش آبیاری زیرسطحی و قطره‌ای به‌ترتیب برابر ۸/۷±۰/۲۹۴ و ۸/۴۲±۰/۲۸۵ بود که ۱/۴۴ و ۱/۷۶ برابر نسبت به سال اول آزمایش افزایش نشان داد (جدول ۶). هم‌چنین میانگین قطر درختان در دو روش آبیاری مذکور در سال ۱۳۹۲ به‌ترتیب ۰/۷۰ و ۰/۹۱ برابر بیش‌تر از سال اول آزمایش بود.

بر اساس تحلیل نتایج t-Test روند رشد قطر و ارتفاع درختان نسبت به سال ۱۳۹۱ در هر دو روش مشابه هم بوده و اختلافی با هم نداشتند و با علم به این‌که تیمار غذایی یکسانی در بین تمامی درختان در دو روش آبیاری اعمال شده بود، به‌خوبی می‌توان نتیجه گرفت که تنش آبی به گیاهان وارد نشده است و با نگاهی

جدول ۴– آزمون t برای مقایسهٔ تأثیر آبیاری زیرسطحی و قطره‌ای سطحی بر ارتفاع و قطر درختان مرکبات طی سه سال آزمایش

Table 4- T- test for comparing the effect of subsurface and surface drip irrigation on citrus tree height and collar diameter at three studied years

پارامتر	سال	درجهٔ آزادی	خطای استاندارد	آماره t	Sig.
ارتفاع درختان	1391	11	7.380	1.815^{ns}	0.097
	1392	11	10.409	0.575^{ns}	0.577
	1394	11	15.624	1.635^{ns}	0.130
قطر درختان	1391	11	0.260	2.008^{ns}	0.070
	1392	11	0.345	0.711^{ns}	0.492
	1394	11	0.438	0.640^{ns}	0.536

ns غیرمعنادار در سطح احتمال ۵ درصد است.

جدول ۵- میانگین و انحراف معیار ارتفاع درختان مرکبات تحت آبیاری زیرسطحی و قطره‌ای سطحی طی سه سال آزمایش
Table 5- Mean and standard deviation for citrus tree height in subsurface and surface drip irrigation at three studied years

نوع آبیاری	1391	1392	1394
آبیاری زیرسطحی	120.015±4.689	226.85±5.642	277.75±8.940
آبیاری قطره‌ای سطحی	106.62±5.533	220.86±9.706	252.20±13.760

جدول ۶- میانگین و انحراف معیار قطر درختان مرکبات تحت آبیاری زیرسطحی و قطره‌ای سطحی طی سه سال مورد آزمایش
Table 6- Mean and standard deviation for citrus tree collar diameter in subsurface and surface drip irrigation at three studied years

نوع آبیاری	1391	1392	1394
آبیاری زیرسطحی	3.562±0.187	6.025±0.253	8.70±0.294
آبیاری قطره‌ای سطحی	3.04±0.129	5.780±0.142	8.42±0.285

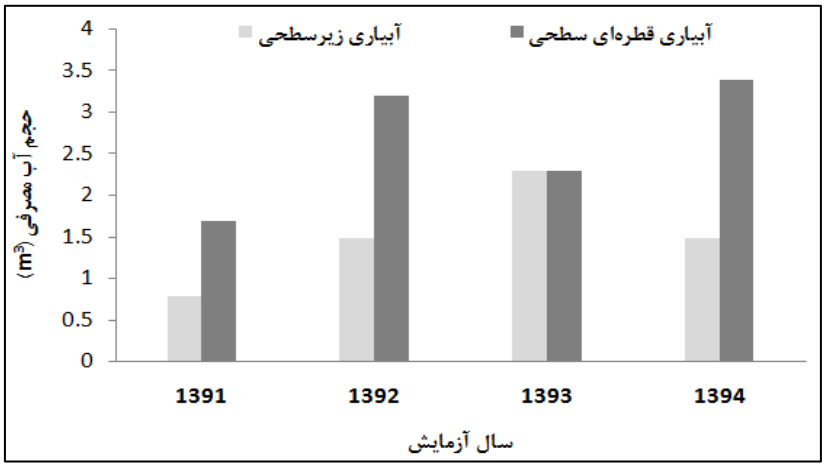
به شکل ۳ اهمیت موضوع آبیاری زیرسطحی باکپسول رسی متخلخل در کاهش مصرف آب در مقایسه با روش قطره‌ای سطحی نمایان است. بر اساس نتایج مندرج در شکل ۳ روش آبیاری زیرسطحی نسبت به روش آبیاری قطره‌ای سطحی از مصرف آب به مراتب کم‌تری برخوردار است. در سال اول هر گیاه به‌طور میانگین در روش آبیاری زیرسطحی ۰/۸ مترمکعب آب دریافت کرده بود درحالی‌که در روش آبیاری قطره‌ای سطحی این مقدار در حدود نزدیک به دو برابر بود. هم‌چنین مصرف آب در سال ۱۳۹۲ در روش آبیاری زیرسطحی به مراتب کم‌تر از روش قطره‌ای بود و این روند برای سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ تکرار شده بود.

شکل ۳ روند مصرف آب با گذر زمان را برای هر بوته در دو روش آبیاری نشان می‌دهد. روند مصرف آب در هر دو روش با گذر زمان نسبتاً صعودی است و این امری طبیعی است، به این علت که بوتهٔ مرکبات دو ساله به روال طبیعی در حال رشد و تکامل هستند. مقدار آب مصرفی در سال ۱۳۹۳ بیش‌تر از ۱۳۹۴ ثبت شده است (شکل ۳). علت این امر وقوع یخبندان شدید و صدمه‌ای بود که به درختان منطقه وارد شده بود. برای کمک به روند جوانه‌زنی و سرسبز شدن و بازآفرینی سرشاخه‌ها آبیاری در این سال (۱۳۹۳) به مراتب بیش‌تر و خارج از حد نرمال انجام شده بود. بنابراین، حجم آب مصرفی در این سال مربوط به مدیریت آبیاری دو روش نیست.

به‌طور کلی کاهش مصرف آب در روش زیرسطحی در مدت پایش آبیاری در سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ حدود ۵۵-۴۲ درصد کم‌تر از روش قطره‌ای بود. هم‌چنین مجموع حجم آب مصرفی برای چهار سال در باغ پرتقال برای هشت ردیف درخت (۸۰ درخت) تحت پایش آبیاری زیرسطحی حدود ۴۸۷ مترمکعب بود، درحالی‌که میزان آب مصرفی برای پنج ردیف درخت مرکبات (۵۰ درخت) با آبیاری قطره‌ای سطحی حدود ۵۲۳ مترمکعب بوده است. به‌بیانی دیگر در روش آبیاری زیرسطحی برای هر درخت به‌طور متوسط حدود ۱/۵ مترمکعب آب در هر دورهٔ آبیاری مصرف شده است. درحالی‌که در آبیاری قطره‌ای سطحی ۲/۶ مترمکعب بوده است (شکل ۳). به‌عبارتی دیگر، مصرف آب در آبیاری زیرسطحی ۴۲ درصد کم‌تر از روش آبیاری سطحی بوده است. می‌توان این‌طور هم گفت که اگر قرار بود برای ۱۳۰ درخت در یک سال ۳۳۸ مترمکعب آب به‌روش قطره‌ای سطحی صرف آبیاری شود، روش آبیاری زیرسطحی قادر است با مصرف ۱۹۵ مترمکعب به تأمین نیاز آبی این درختان بپردازد. مقدار آب صرفه‌جویی شده به این روش در حدود ۱۴۰ مترمکعب بود که می‌توان با آن ۹۰ درخت دیگر را به‌همین روش آبیاری کرد. اگر فرض بر این باشد که آب باغ باید خریداری شود و قیمت هر چهار مترمکعب آب در اراضی فاقد آب که با تانکر به سرزمین حمل می‌شود یک میلیون ریال باشد مبلغ نه میلیون ریال از محل صرفه‌جویی آب پس‌انداز خواهد شد. قدر مسلم این مبلغ در واحد سطح چندین هکتار عدد بزرگ‌تر و قابل توجهی خواهد بود که چشم‌پوشی از آن برای مدیران و برنامه‌ریزان کلان کار معقولی نیست.

بررسی روند رشد قطری تنه و رشد طولی درختان مرکبات در سال ۱۳۹۴ نسبت به سال ۱۳۹۲ حکایت از رشد نسبی به‌ترتیب ۱/۴۴ و ۱/۲۲ برابری در روش آبیاری زیرسطحی دارد. به‌عبارتی قطر تنه و ارتفاع درختان مرکبات در آبیاری زیرسطحی در سال ۱۳۹۴ نسبت به ۱۳۹۱ در حدود ۲/۵ برابر شده بود. بررسی روند قطر تنه و رشد طولی درختان مرکبات نشان داد که قطر تنه و رشد طولی درختان مرکبات در روش تأمین رطوبت سطحی نیز تقریباً مشابه رطوبت زیرسطحی بود. روند رشد قطر تنه و ارتفاع درختان مرکبات تحت پایش آبیاری قطره‌ای سطحی در سال ۱۳۹۴ نسبت به ۱۳۹۱ به‌ترتیب حکایت از افزایش نسبی ۲/۷ و ۲/۴ برابری دارد. به‌طور کلی، مقایسهٔ آزمون آماری نشان داد که در سطح معناداری ۰/۰۵ هیچ‌گونه اختلاف معناداری بین قطر تنه و ارتفاع درختان در سال اول آزمایش در دو روش زیرسطحی

سفالی نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی مشاهده نشد. در سال ۱۳۹۳ به‌دلیل یخبندان و سرمازدگی توقف رشد در هر دو روش مشاهده شد. اما در سال ۱۳۹۴ بررسی‌ها نشان داد که رشد طولی و قطری درختان مرکبات در آبیاری قطره‌ای کمی بهتر از آبیاری زیرسطحی بود، هر چند آزمون آماری هیچ‌گونه اختلاف معناداری بین دو روش را نشان نداده است.



شکل ۳- حجم آب مصرفی (مترمکعب) به ازای هر درخت تحت آبیاری زیرسطحی و قطره‌ای سطحی طی سال‌های مورد آزمایش

Figure 3- Water consumption (m^3) for each citrus tree in subsurface and surface drip irrigation during studied years

در پژوهشی که توسط Gholami et al. (2013) در ایستگاه پژوهش‌های زیتون شهرستان دالاهو انجام شد اثر مالچ و دور آبیاری بر صفات رویشی زیتون مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش‌گران نشان دادند که دور آبیاری سه روزه با افزایش صفات رویشی همراه بود در حالی‌که در دور آبیاری ۱۰ روزه رشد رویشی دچار اختلال شده بود. نکتهٔ جالب این‌که دور آبیاری برای مرکبات به‌روش آبیاری زیرسطحی هر نه روز یک‌بار انجام شده است، درحالی‌که به‌روش آبیاری قطره‌ای سطحی در فصل خرداد و تیر شش روز یک‌بار و در مرداد و تا ۱۵ شهریور هر سه روز یک‌بار انجام می‌شد تا مانع از ایجاد تنش رطوبتی در گیاه گردد. نتایج مشاهده‌های میدانی به‌خوبی حکایت از کاهش مصرف آب و نیز تأخیر فاز آبیاری در روش آبیاری زیرسطحی نسبت به‌روش آبیاری قطره‌ای سطحی در پرتقال تامسون داشت و این یکی دیگر از نتایج این پژوهش در بررسی روش آبیاری زیرسطحی نسبت به‌روش آبیاری قطره‌ای سطحی بود.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق استفاده از کپسول‌های رسی متخلخل را برای تأمین رطوبت بهینه خاک در حد ظرفیت زراعی برای مرکبات توصیه می‌کند. اگرچه این روش برای سایر درختان، درختچه‌ها و بوته‌ها نیز توصیه می‌شود، اما لازم است مطالعات علمی پیرامون این روش در مقایسه با سایر روش‌های آبیاری سطحی در سطح کلان‌تر مورد بررسی قرار گیرد. کپسول‌های رسی متخلخل به‌دلیل آبدهی منظم و متناسب با نیاز رطوبتی گیاه توانسته بود از مصرف زیاد آب در هر بار آبیاری مرکبات جلوگیری کند. کاهش تبخیر آب به‌صورت سطحی عامل اصلی اختلاف مصرف آب در این روش نسبت به‌روش قطره‌ای سطحی است. نتایج این تحقیق نشان داد که روش کپسول رسی زیرسطحی نسبت به آبیاری سطحی علاوه بر تأخیر فاز آبیاری، بیش‌ترین کاهش مصرف آب را در مرکبات به‌همراه داشت. بررسی کارهای انجام شده تا به امروز روی نازل سفالی نشان می‌دهد که کم‌تر به جنبه‌های اقتصادی و توان رقابتی این قطعات با سایر نازل‌های موجود در بازار پرداخته شده است. به‌نظر می‌رسد چالش رسوب مواد محلول در آب در داخل قطعات و یا حمله ریشه به آن‌ها بیش از هر چیز مانع ورود سرمایه‌گذاران کلان بخش خصوصی به این فضای کاملاً اقتصادی و پردرآمد شده است. در این پژوهش عمق کارگذاری قطعات سفالی در باغ مرکبات نسبت به پژوهش‌های گذشته از ۵۰ سانتی‌متر به ۸۰ سانتی‌متر تغییر داده شده بود و از آن‌جا که بخش اعظم فعالیت تارهای کشنده در عمق ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متری خاک است. روش کارگذاری عمقی در ۸۰ سانتی‌متر از سطح خاک نگرانی حمله ریشه را مرتفع کرده بود. از سوی دیگر به‌نظر می‌رسد چون قطعات در عمق خاک کارگذاری شده‌اند بر خلاف قطره‌چکان‌های سطحی به‌دلیل عدم تبخیر آب از سطح نازل مانع رسوب مواد در درون قطعات شود. لذا نیاز است در مطالعات آینده آبدهی قطعات با گذر زمان در سال‌های متوالی با خارج‌کردن قطعات از درون خاک و تعیین مجدد دبی آن‌ها مطالعه و مورد ارزیابی دقیق‌تری قرار بگیرد. مشکل دیگر در استفاده از نازل‌های سفالی در آبیاری زیرسطحی مربوط به‌فعالیت

باکتری‌ها و قارچ‌ها در لوله‌هاست که به‌نظر می‌رسد بتوان با اسیدشویی از نوع اسید نیتریک یا اسید سولفوریک در دوز دو در هزار این مشکل را مرتفع کرد. لذا توصیه می‌شود پژوهش‌ها در این زمینه در سال‌های متوالی مورد بررسی قرار گیرد و راه‌حل‌های بیش‌تری برای مهار باکتری‌ها و قارچ‌ها و نیز نفوذ ریشه به‌داخل قطعات ارائه شود. هم‌چنین لازم است با حمایت دولت و به‌کمک بخش خصوصی و سرمایه‌گذاران تولید انبوه و ایجاد تنوع در نازل‌های زیرسطحی نقطه‌ای، نواری و ورقه‌ای در برنامهٔ توسعهٔ حفاظت آب خاک گنجانده شود تا علاوه بر مهار مصرف بی‌رویه آب در باغ‌های کشور یک استانداردی برای طول و قطر قطعات سفالی تعریف شود و در این راستا لازم است تمامی تلاش‌های پژوهش‌گران برای ارتقای کمی و کیفی قطعات استاندارد شده متمرکز شود.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی توسعهٔ آبیاری زیرسطحی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک شمال شرق کشور است که از حمایت مالی ستاد توسعه فناوری آب، خشکسالی، فرسایش و محیط زیست معاونت علم و فناوری ریاست جمهوری برخوردار بوده است که بدین‌وسیله نویسندگان مقاله مراتب قدردانی خود را اعلام می‌دارند.

منابع

باستانی، ش. (۱۳۹۶). مروری بر تاریخچهٔ ابداعات و نوآوری‌ها در زمینهٔ آبیاری زیرسطحی. *آب و توسعه پایدار*، ۴(۲)، ۶۹-۸۰.

باقری، ر.، حسام، م.، کیانی، ع.، و هزارجریبی، ا. (۱۳۹۴). چگونگی توزیع رطوبت در خاک اطراف قطره‌چکان‌های زیرسطحی در بافت‌های مختلف خاک. *نشریهٔ آبیاری و زهکشی ایران*، ۹(۳)، ۳۹۹-۴۰۶.

حجازی، م.، زارعی، ق.، موذن‌پور، م.، رنجبر، و.، و مجیدی، ا. (۱۳۷۹). بررسی امکان آبیاری زیرزمینی سفالی محصولات زراعی و باغی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. گزارش طرح تحقیقاتی، ۴۰ صفحه.

خلیلی، م. (۱۳۹۱). تعیین پروفیل رطوبتی در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی. پایان‌نامهٔ وزارت علوم، تحقیقات و فناوری. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

زارعی، ق.، و شهپری، س.ع. (۱۳۹۲). ویژگی‌های هیدرولیکی کپسول‌های سفالی سامانهٔ آبیاری زیرسطحی در سه بافت خاک. *تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی*، ۱۴(۴)، ۵۷-۷۲.

شمس‌علی، ل.، بیابانی، ع.، قربانی‌واقعی، ح.، و طلیعی، ف. (۱۳۹۷). بررسی اثر تاریخ کاشت و سامانهٔ آبیاری بر برخی ویژگی‌های زراعی برنج در گنبد کاووس. *مدیریت آب و آبیاری*، ۸(۱)، ۲۷-۳۸.

قربانی‌واقعی، ح.، بهرامی، ح.ع.، علیزاده، پ.، و نصیری‌صالح، ف. (۱۳۹۰). ویژگی‌های هیدرولیکی کپسول‌های رسی متخلخل و تأثیر آن بر توزیع رطوبت خاک. *مجله پژوهش آب ایران*، ۵(۹)، ۱۳۱-۱۴۰.

قربانی‌واقعی، ح.، بهرامی، ح.ع.، مظهری، ر.، و حشمت‌پور، ع. (۱۳۹۴). تأثیر آبیاری زیرسطحی با کپسول‌های رسی متخلخل بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه انگور .*آب و خاک*، ۲۹(۱)، ۵۸-۶۶.

قربانی‌واقعی، ح.، و بهرامی، ح.ع. (۱۳۹۵). آنالیز ابعادی الگوی خیسیدگی خاک از کپسول‌های رسی متخلخل. *مجله پژوهش آب ایران*، ۱۰(۱)، ۷۷-۸۵.

غلامی، ر.ا.، ارجی، ع.، و گردکانه، م. (۱۳۹۲). بررسی اثرات دور آبیاری و مالچ بر صفات رویشی زیتون در استان کرمانشاه. *علوم باغبانی*، ۲۷(۱)، ۷۴-۸۱..

کرامت‌زاده، ع.، چیذری، ا.ح.، و شرزه‌ای، غ.ع. (۱۳۹۰). نقش بازار آب در تعیین ارزش اقتصادی آب کشاورزی با رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) (مطالعهٔ موردی: اراضی پایین‌دست سد شیرین‌دره بجنورد). *تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران*. ۴۲(۱)، ۲۹-۴۴.

References

Abu-Zreig, M.M., & Atoum, M.F. (2004). Hydraulic characteristics and seepage modeling of clay pitchers produced in Jordan. *Canadian Biosystems Engineering*, 46, 1.15–1.20.

Abu-Zreig, M.M., Khdair, A., & Alazba, A. (2009). Factors affecting water seepage rate of clay pitchers in arid lands. *University Sharjah Journal of Pure and Applied Science & Technology*, 6(1), 59-80.

Abu-Zreig, M.M., Abe, Y., & Isoda, H. (2006). The auto-regulative capability of pitcher irrigation system. *Agriculture Water Management*, 85(3), 272–278.

Al Ibrahem, A., Boulouha, B., Gregoriou, C., El-Kholy, M., Ksantini, M., Serafids, N., & Shdiefat, S. (2010). Olive gap manualgood agricultural practices for the near east and north africa countries. Viale delle Terme di Caracalla. Rome, Italy. FAO, 2010, 255 pages.

Bagheri, R., Hesam, M., Kiani, A., & Hezarjaribi, A. (2015). Emitters subsurface distribution of soil

moisture in different tissues. *Irrigation and Drainage*, 3(9), 399-407 (in Persian).

Bahrami, H.A., Ghorbani Vaghei, H., Alizadeh, P., Nasiri, F., & Mahallati, Z. (2010). Fuzzy modeling of soil water distribution using buried porous clay capsule irrigation from a subsurface point source. *Journal of sensor letters*, 8, 75-80.

Bainbridge, D. (2001). Buried clay pot irrigation a little known but a very efficient traditional method of irrigation. *Agriculture Water Management*, 48, 79-88.

Bainbridge, D.A. (2002). Alternative irrigation systems for arid land restoration. *Ecological Restoration*, 20(1), 23-30.

Basal, H., Dagdelen, N., Unay, A., & Yilmaz, E. (2009). Effects of deficit drip irrigation ratios on Cotton (Gossypium Hirsutum) yield and fiber quality. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 159, 19–29.

Bastani, S. (2018). A historical review of innovations and developments of subsurface irrigation systems. *Journal of Water and Sustainable Development*, 4(2), 69-80 (in Persian).

Elmaloglou, S., & Diamantopoulos, E. (2009). Simulation of soil water dynamics under subsurface drip irrigation from line sources. *Agricultural Water Management*, 96(11), 1587-1595.

Gholami, R., Arji, I., & Gerdakaneh, M. (2013). Study of Irrigation Interval and Mulch Effects on Vegetative Growth of Olive in Kermanshah Province. *Journal of Horticultural Science*, 27(1), 74-81.

Ghorbani Vaghei, H., & Bahrami, H.A. (2016). Dimensional analysis of the soaking pattern of porous clay capsules. *Iranian Water Research Journal*, 10 (1), 77-85. (in Persian).

Ghorbani Vaghei, H., Bahrami, H.A., Mazhari, R., & Heshmatpour, A. (2015). Effect of subsurface irrigation with porous clay capsules on quantitative and quality of grape plant. *Soil and Water*, 29(1), 58-66. (in Persian).

Ghorbani Vaghei, H., Bahrami, H.A., Alizade, P., & Nasiri Saleh, F. (2011). Hydraulic properties of porous clay capsules and its effect on soil moisture distribution. *Iranian Water Research Journal*, 5(9), 131-140. (in Persian).

Hejazi, S.M., Zarei, GH., Moazenpour, M., & Majidi, E. (2000). Assessment of possibility of subsurface clay pipe irrigation method for agricultural and horticultural crops. Research Report. No. 88/281. Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), 40 pages (in Persian).

Keramatzadeh, A., Chizari, A., & Sharzehi, G. (2011). The role of water market in determining the economic value of irrigation water through positive mathematical programming (PMP). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 42(1), 29-44 (in Persian).

Khalili, M. (2012). Determination of soil water profile in subsurface drip irrigation. M.Sc. Thesis, Gorgan University of Agricultural Science and Natural resources. (in Persian).

Qiaosheng, S., Zouxin, L. Zhenying, W. & Hijung, L. (2007). Simulation of the soil wetting shape porous pipe sub-irrigation using dimensional analysis. *Irrigation and Drainage*, 56, 389-398.

Salgado, E., & Cautin, R. (2008). Avocado root distribution in fine and coarse-textured soils under drip and micro sprinkler irrigation. *Journal of Agricultural Water Management*, 95, 817-824.

ShamsAli, L., Biabani, B., Ghorbani Vaghei, H., & Taliei, F. (2018). Investigating the effects of cultivation dates and irrigation systems on some agronomic properties of rice in Gonbad Kavous. *Journal of Water and Irrigation Management*, 8(1), 27-38 (in Persian).

Siyal, A.A., & Skaggs, T.H. (2009). Measured and simulated soil wetting patterns under porous clay pipe sub-surface irrigation. *Agricultural Water Management*, 96(6), 893-904.

Xi, B., Wang,Y., Jili, L., Bloomberg, M., Li,G. & Di, N. (2013). Characteristics of fine root system and water uptake in a triploid Populus tomentosa plantation in the North China Plain: Implications for irrigation water management. *Journal of Agricultural Water Management*, 117, 83-92.

Zarei, GH. & Shahpari, S.A. (2014). Hydraulic characteristics of porous clay capsules in a subsurface irrigation system at three soil textures. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 14(4), 57-72 (in Persian).

Zare, M., Nazari Samani, A.A., Mohammady, M., Teimourian, T., & Bazrafshan, J. (2016). Simulation of soil erosion under the influence of climate change scenarios. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 75, 1405.

Zhang Q., Lei, T., & Zhao, J. (2008). Estimation of the detachment rate in eroding rills in flume experiments using an REE tracing method. *Geoderma*, 147, 8-15.