Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Improving the soil wetting pattern in drip irrigation systems with emphasis on pulsed management

Sanaz Mohammadi[1]✉ | Iman Hajirad[2] | Abdolmajid Liaghat [3]

1. Corresponding Author, Department of Water Management and Engineering, Collage of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: Sanaz.mohammadi@modares.ac.ir
2. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: i.hajirad@ut.ac.ir
3. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: aliaghat@ut.ac.ir

Article Info

Article type: Review Article

Article history:

Received: Sep. 21, 2023

Revised: Nov. 29, 2023

Accepted: Dec. 3, 2023

Published online: Feb. 20, 2024

Keywords:
Crop Growth,
Dripper Clogging,
Irrigation Management,
Moisture Distribution,
Yield.

ABSTRACT

The depth and width of the soil wetting pattern determine the spacing between irrigation laterals and the irrigation drippers that influence their numbers and the overall cost of the irrigation system. Therefore, researchers look for solutions to adapt the soil wetting pattern to the pattern of crop root growth as much as possible such as adjusting the irrigation depth and irrigation intervals, utilizing physical, capillary, and hydraulic barriers, as well as pulsed management. Pulsed drip irrigation can replace the usual method of continuous irrigation due to its ability to improve the distribution of soil moisture and consequently crop yield. It also, prevents the accumulation of water in a specific point of the soil and decrease evaporation by improving moisture distribution in the soils with heavy texture and in the soils with a light texture, can lead to a reduction of deep percolation bellow the crop root zone. The results of studies have shown that pulsed drip irrigation can have a positive effect on reducing the clogging of irrigation drippers by providing the possibility of using a dripper with a high flow rate. Therefore, the general results of the research show that the use of pulsed drip irrigation can improve crop yield and water productivity. The purpose of this study is to review the experiences of using different management methods to improve the soil wetting pattern in drip irrigation systems and also provide experimental equations for simulating the soil wetting pattern under drip irrigation systems with emphasis on pulsed management.

Cite this article: Mohammadi, S., Hajirad, I., & Liaghat, A. (2024) Improving the soil wetting pattern in drip irrigation systems with emphasis on pulsed management, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (12), 1885-1911. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.365593.669576

© The Author(s).
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.365593.669576

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۴، شماره ۱۲ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

بهبود الگوی خیس‌شدگی خاک در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با تاکید بر مدیریت پالسی

ساناز محمدی[۱]✉ | ایمان حاجی راد[۲] | عبدالمجید لیاقت[۳]

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی و مدیریت آب دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: Sanaz.mohammadi@modares.ac.ir
۲. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: i.hajirad@ut.ac.ir
۳. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: Aliaghat@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ مروری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۳۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۹/۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۱۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۱

واژه‌های کلیدی:
رشد محصول،
توزیع رطوبت،
عملکرد،
گرفتگی قطره‌چکان،
مدیریت آبیاری.

چکیده

عمق و عرض پیاز رطوبتی تعیین‌کننده فاصله بین لترال‌ها و قطره‌چکان‌های آبیاری و درنتیجه تعداد آن‌ها و هزینه نهایی سامانه آبیاری می‌باشد. بنابراین برای تطبیق هرچه بیشتر الگوی خیس‌شدگی خاک با الگوی رشد ریشه، پژوهشگران استفاده از روش‌های مختلفی همچون تنظیم دور و عمق آبیاری، استفاده از مانع فیزیکی، کاپیلاری و هیدرولیکی و مدیریت پالسی را مورد بررسی قرار داده‌اند. اعمال مدیریت پالسی در روش آبیاری قطره‌ای به‌دلیل توانایی بهبود توزیع رطوبت در خاک می‌تواند جایگزین روش معمول آبیاری پیوسته شود. مطالعات نشان می‌دهند که آبیاری پالسی با بهبود دسترسی ریشه گیاه به آب، اکسیژن و عناصر غذایی باعث افزایش فعالیت ریشه و توسعه آن می‌شود. علاوه بر این، آبیاری پالسی از طریق بهبود توزیع رطوبت در خاک‌هایی با بافت سنگین از تجمع آب در یک نقطه خاص از خاک جلوگیری کرده و باعث کاهش تبخیر آب از خاک می‌گردد. در خاک‌هایی با بافت سبک نیز استفاده از مدیریت پالسی می‌تواند منجربه کاهش نفوذ عمقی به زیر منطقه توسعه ریشه گیاه گردد. آبیاری پالسی از طریق فراهم کردن امکان استفاده از قطره‌چکان با نرخ دبی بالا می‌تواند تأثیر مثبتی بر کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌های آبیاری داشته باشد. نتایج کلی تحقیقات نشان می‌دهد که آبیاری قطره‌ای پالسی می‌تواند بهبود عملکرد محصول و بهره‌وری آب را به همراه داشته باشد. هدف از مطالعه حاضر مروری بر تجربیات استفاده از روش های مختلف مدیریتی برای بهبود الگوی خیس‌شدگی خاک و ارائه معادلات تجربی برای شبیه‌سازی الگوی خیس شدگی خاک تحت سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با تاکید بر جریان پالسی است.

استناد: محمدی؛ سانار، حاجی راد؛ ایمان، لیاقت؛ عبدالمجید، (۱۴۰۲) بهبود الگوی خیس‌شدگی خاک در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با تاکید بر مدیریت پالسی، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴ (۱۲)، ۱۹۱۱-۱۸۸۵. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.365593.669576

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.365593.669576

مقدمه

آبیاری عبارت است از کاربرد آب در مزرعه از طریق روش‌های مختلف آبیاری. در کشورهایی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک همچون ایران که با رشد روزافزون جمعیت و کاهش منابع آب شیرین مواجه هستند، فشار قابل توجهی بر بخش کشاورزی برای کاهش مصرف آب و تخصیص آب شیرین به بخش‌های صنعتی و شهری وجود دارد. امروزه بخش کشاورزی با چالش جدی تولید مواد غذایی بیشتر به ازای مصرف آب کمتر مواجه است که با افزایش بهره‌وری آب کشاورزی قابل دستیابی است. باتوجه به کمبود منابع آب در دنیا و کشور ایران، استفاده از تکنیک‌های موثر آبیاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است تا بتوان با مصرف بهینه آب به توسعه پایدار بخش کشاورزی کمک کرد (Hozayn et al., 2013; Hajirad et al., 2021; Hajirad et al., 2023). در این راستا استفاده از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای که آب و مواد غذایی موردنیاز گیاه را به‌مقدار کافی و در زمان مناسب در اختیار ریشه گیاه قرار می‌دهند، بسیار گسترش یافته است.

از مزایای سیستم‌های آبیاری قطره‌ای می‌توان به راندمان مصرف آب بالا، نیاز کمتر به انرژی نسبت به دیگر سیستم‌های آبیاری تحت فشار و عملکرد بالا و کیفیت بالاتر محصول اشاره کرد (Vyrlas & Sakellariou, 2005). پتانسیل راندمان در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای در حدود ۹۰ درصد می‌باشد، البته باید در نظر داشت که این راندمان بالا ناشی از ویژگی ذاتی این سیستم‌ها نبوده بلکه تابعی از مدیریت صحیح در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای است. دبی خروجی، زمان و دور آبیاری از پارامترهای مدیریتی مهم در این رابطه می‌باشند.کلیه روش‌های آبیاری و از جمله روش آبیاری قطره‌ای تنها در صورتی‌که مطابق با وضعیت و شرایط خاک و گیاه به‌طور صحیح طراحی و مدیریت شوند، امکان افزایش بهره‌وری آب را خواهند داشت.

طراحی صحیح یک سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی نیازمند اطلاع از الگوی توزیع آب اطراف قطره‌چکان‌ها است تا با الگوی رشد ریشه در خاک مطابقت داشته باشد (Kandelous et al., 2011). ابعاد پیاز رطوبتی اطراف یک قطره‌چکان آبیاری قطره‌ای به دو فاکتور مهم ویژگی‌های خاک و برنامه‌ریزی آبیاری وابسته است. ویژگی‌های خاک شامل بافت، ساختمان، هدایت هیدرولیکی، وجود لایه نفوذناپذیر، سطح آب زیرزمینی و متغیرهای دیگر (Pelletier & Tan, 1993)، و برنامه‌ریزی آبیاری شامل موقعیت قرارگیری قطره‌چکان‌ها (سطح خاک یا زیر خاک، فاصله بین قطره‌چکان‌ها)، دبی، دور و مدت زمان آبیاری و نوع سیستم آبیاری قطره‌ای می‌باشد (Elnesr & Alazba, 2015).

در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای درصورتی‌که عرض پیاز رطوبتی کم باشد، به‌منظور مرطوب شدن بستر کاشت و تامین نیاز آبی در منطقه توسعه ریشه گیاه می‌توان از تعداد قطره‌چکان‌های بیشتری در طول لترال استفاده کرد که باعث افزایش هزینه سامانه می‌گردد. هم‌چنین می‌توان از قطره‌چکان‌هایی با دبی بالاتر استفاده کرد که باعث گسترش ابعاد پیاز رطوبتی می‌گردد ولی باید توجه داشت که این گسترش در هردو جهت عمودی و افقی خواهد بود که خصوصا در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به لحاظ افزایش تلفات نفوذ عمقی به زیر منطقه توسعه ریشه گیاه و در نتیجه تلفات مواد غذایی و آلودگی آبهای زیرزمینی نامطلوب است (Skaggs et al., 2010). همچنین باتوجه با بافت خاک در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی افزایش نرخ دبی قطره‌چکان می‌تواند موجب افزایش رواناب سطحی گردد (Gardens et al., 2005). علاوه براین، تجمع آب بر روی سطح خاک تلفات تبخیر از سطح خاک را نیز افزایش می‌دهد (Skaggs et al., 2010). بنابراین استفاده از قطره‌چکان با دبی بالاتر نمی‌تواند راهکار مناسبی برای تصحیح ابعاد پیاز رطوبتی در خاک باشد. یکی از اهداف اصلی که در طراحی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی باید مدنظر قرار گیرد، حداکثرسازی حرکت افقی و رو به بالای آب نسبت به حرکت عمودی رو به پایین برای یک حجم معین آب کاربردی است، چراکه تنها در این‌صورت می‌توان از تحویل دقیق آب و مواد غذایی به منطقه توسعه ریشه گیاه اطمینان داشت (Ismail et al., 2014). بیشترین تلفات آب در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌صورت نفوذ عمقی در دوره جوانه‌زنی اتفاق می‌افتد. در خاک‌هایی با بافت سنگین، بالابودن نرخ دبی قطره‌چکان می‌تواند مشکلات ایجاد رواناب در سطح خاک، تبخیر از سطح خاک و عدم تهویه کافی در منطقه توسعه ریشه گیاه را به‌دنبال داشته باشد. در صورت استفاده از قطره‌چکان‌هایی با نرخ دبی پایین نیز مشکل گرفتگی قطره‌چکان مطرح می‌شود (Ismail et al., 2006). بنابراین باید به‌دنبال تکنیک‌های مدیریتی بود که بتوان بر این مشکلات غلبه کرد و الگوی خیس‌شدگی اطراف قطره‌چکان آبیاری را با الگوی رشد ریشه در خاک هرچه بیش‌تر تطبیق داد. تاکنون راه‌کارهای مختلفی توسط پژوهشگران آبیاری برای بهبود الگوی خیس‌شدگی خاک تحت سامانه‌های آبیاری قطره‌ای مورد بررسی قرار گرفته است که به‌شرح زیر می‌باشد (جدول ۱).

تنظیم دور و عمق آبیاری

در زمینه تطبیق الگوی خیس‌شدگی حاصل از یک سامانه آبیاری قطره‌ای با الگوی رشد ریشه تحقیقات زیادی انجام شده است. پژوهشگران بیان داشتند که پیاز رطوبتی اطراف یک نازل دفن شده در زیر سطح خاک را می‌توان با تنظیم دور آبیاری مدیریت کرد، چراکه کوتاه شدن دور آبیاری همراه با کاهش حجم آب مصرفی در هر نوبت آبیاری باعث حرکت الگوی خیس‌شدگی به سمت سطح خاک می‌گردد (Phene et al., 1987).

برخی محقیقن برای اطمینان از یکنواختی نرخ جوانه‌زنی برای عمق‌های مختلف نصب لترال‌ها در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی افزایش عمق آب آبیاری را توصیه کرده‌اند تا خاک اطراف بذر کاملا مرطوب شود (Bordovsky & Poter, 2003; Henggeler, 1995; Howell et al, 1997). البته باید درنظر داشت که عمق آبیاری بیشتر باعث افزایش نفوذعمقی به زیر منطقه توسعه ریشه گیاه می‌گردد که می‌تواند کیفیت آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار داده و از طرفی منجربه متراکم‌تر شدن خاک گردد که مشکل تهویه خاک و کاهش عملکرد محصول را در پی خواهد داشت (Colaizzi et al., 2004). هم‌چنین افزایش عمق آبیاری می‌تواند باعث کاهش دمای خاک و تاخیر در جوانه‌زنی محصول نیز گردد (Liu et al, 2015).

استفاده از مانع فیزیکی

به‌منظور کنترل حرکت رو به پایین آب در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برخی پژوهشگران استفاده از روش جایگذاری یک مانع غیرقابل نفوذ در زیر خطوط لترال را پیشنهاد کردند. این مانع ممکن است از جنس پلی‌اتیلن (Barth, 1995) یا فویل فلزی (Welsh et al, 1995) باشد. در خاک‌هایی با نفوذپذیری بالا استفاده از یک مانع فیزیکی[1] باعث افزایش نگهداشت آب در منطقه توسعه ریشه، کاهش نفوذ عمقی، حل مشکل جوانه‌زنی و افزایش محصول نسبت به حالت عادی و درنتیجه بهبود بهره‌وری آب می‌گردد (Elawady et al., 2003; Awady et al., 2008; Elnesr et al., 2015). در این راستا Barth (1995) طی مطالعه‌ای از فویل پلی‌اتیلن غیرقابل نفوذ در زیر خطوط لترال استفاده کرد. مانع فیزیکی مورد استفاده عبارت بود از یک صفحه پلاستیکی به‌عرض ۶۰ سانتی‌متر، ضخامت ۰/۰۶ میلی‌متر که در عمق ۳۰-۴۰ سانتی‌متری خاک قرار گرفت. او به این نتیجه رسید که مانع فیزیکی به‌طور قابل ملاحظه‌ای نگهداشت آب در منطقه توسعه ریشه را افزایش و نفوذ عمقی را کاهش داده است. او هم‌چنین اظهار داشت کاربرد فویل پلاستیکی V شکل قادر است ذخیره آب در خاک را افزایش دهد. علاوه بر این او یک دستگاه جهت نصب و کارگزاری همزمان لوله لترال و فویل پلاستیکی V شکل بدون برهم زدن پروفایل طبیعی خاک طراحی کرد (Barth, 1995).

در تحقیق دیگری از صفحه غیرقابل نفوذ V شکل دقیقا زیر خطوط لترال استفاده شد. به عبارتی در این روش خطوط لترال آبیاری دقیقا روی صفحه‌های غیرقابل نفوذی به عرض ۷/۵ سانتی‌متر قرار می‌گیرند. در این پژوهش از قطره‌چکان‌هایی با دبی ۳/۵ لیتر بر ساعت در خاک لوم شنی استفاده شد. پژوهشگران اظهار کردند که با اعمال این روش ۷۰ درصد از آب کاربردی می‌تواند در عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک، منطقه‌ای به عرض ۹۰ سانتی‌متر را مرطوب کند درحالی که بدون اعمال این روش فقط ۲۵ درصد از آب کاربردی در این منطقه از خاک پخش می‌شود (Welsh et al., 1995).

پژوهشگران مختلف گزارش کردند که استفاده از روش مانع فیزیکی باعث افزایش عملکرد قابل ملاحظه محصول در خاک‌های شنی می‌شود. برای مثال کاربرد این روش باعث افزایش ۱۸ درصدی عملکرد اسفناج گردید (Elawady et al., 2003). طبق مطالعه‌ای که با استفاده از روش مانع فیزیکی در خاک ماسه‌ای-شنی انجام گرفته بود، افزایش عملکرد ۱۱۹ درصدی در گوجه‌فرنگی و ۱۳۱ درصدی در کنگرفرنگی[2] گزارش شد (Elnesr, 2012). البته باید توجه داشت که نرخ بالای افزایش عملکردی که در نتیجه کاربرد مانع فیزیکی در تحقیقات مذبور گزارش شده است مربوط به نفوذپذیری بالای خاک‌های شنی می‌باشد که در واقع مانع فیزیکی با ممانعت از نفوذ عمقی باعث نگهداشت آب در منطقه توسعه ریشه گیاه و درنتیجه افزایش عملکرد محصول گردیده است (Elnesr et al., 2014).

طبق نتایج به‌دست آمده، استفاده از روش مانع فیزیکی شاید راهکار خوبی در جهت ممانعت از نفوذ عمقی آب در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی باشد، اما معایبی نیز دارد. اصلی‌ترین مشکل این روش هزینه‌بر بودن آن به لحاظ حفر شیار عمیق و عریض جهت نصب مانع فیزیکی می‌باشد. هم‌چنین چنانچه مانع فیزیکی در عمق کم نصب شود یا در خاک‌هایی با نفوذپذیری کم مورد استفاده قرار گیرد مرطوب ماندن منطقه توسعه ریشه و فقدان هوا در آن منطقه به علت وجود مانع فیزیکی می‌تواند باعث فساد ریشه یا ایجاد بیماری

1. Physical Barrier
2. Jerusalem Artichokes

خصوصا در ریشه‌های کم عمق گردد (Elnesr et al., 2015). علاوه بر این نصب مانع فیزیکی می‌تواند خطر کوتاه شدن ریشه، تجمع نمک و دیگر مواد سمی را در پی داشته باشد. بنابراین توصیه می‌شود از روش مانع فیزیکی فقط در خاک‌هایی با نرخ نفوذپذیری بالا استفاده گردد (Goyal, 2015).

استفاده از مانع کاپیلاری

پژوهشگران متعددی سعی کردند نتایج مشابهی در زمینه بهبود توزیع رطوبت در خاک (Kampf et al., 1998; Morris & Stormont, 1998) و افزایش عملکرد محصول (Ityel et al., 2010, 2011) از طریق روش مانع کاپیلاری[1] به‌دست آورند. طبق تعریف یک مانع کاپیلاری حد واسط بین دو لایه خاک می‌باشد که ویژگی‌های هیدرولیکی کاملا متمایزی دارند مانند یک لایه خاک ریز که بین یک لایه خاک درشت بافت قرار گرفته است (Kampf et al., 1998). پژوهشگران در مطالعه‌ای گزارش کرده‌اند که وجود یک مانع کاپیلاری، رطوبت حجمی خاک را متناسب با بافت خاک و عمق نصب مانع کاپیلاری ۲۰ تا ۷۰ درصد افزایش و عملکرد محصول فلفل و کاهو را به‌ترتیب ۲۵ و ۳۶ درصد افزایش داده است در حالی‌که اثر ناچیزی بر روی عملکرد گوجه‌فرنگی و خربزه داشته است. به‌طور کلی نتایج نشان داد که استفاده از مانع کاپیلاری در خاک‌هایی با ظرفیت نگهداشت آب کم باعث افزایش محتوای رطوبتی خاک در منطقه توسعه ریشه گیاه می‌شود و درنتیجه آن مقدار آب و کود مصرفی کاهش می‌یابد که متعاقبا باعث کاهش آلودگی در زیر ناحیه ریشه گیاه می‌گردد (Ityel et al., 2011).

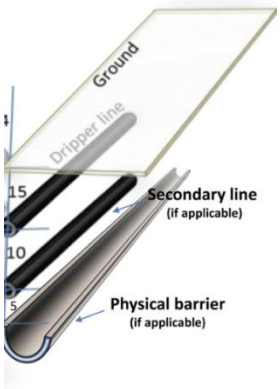
استفاده از مانع هیدرولیکی

روش متفاوت دیگری که پژوهشگران برای تنظیم الگوی خیس‌شدگی پیشنهاد کردند، ایجاد یک مانع هیدرولیکی[2] و استفاده از سامانه لترال دوگانه[3] می‌باشد (Ismail et al., 2006). در این روش یک خط لترال دوم زیر خط لترال اصلی قرار می‌گیرد به‌طوری‌که دو خط لترال همان مقدار آبی را که برای یک خط لترال طراحی شده بود به مزرعه منتقل خواهند کرد (شکل ۱). اساس روش لترال دوگانه بر این فرض استوار است که به علت گرادیان فشاری بالا، آب در خاک خشک سریع‌تر از خاک مرطوب حرکت می‌کند. بنابراین زمانی‌که لترال پایینی خاک زیر لترال بالایی را خیس می‌کند باعث می‌شود آب خروجی از لترال بالایی بیشتر حرکت عرضی و رو به بالا داشته باشد. این روش معایب روش مانع فیزیکی را نداشته و نیاز به حفر ترانشه عریض نیز ندارد. با استفاده از این روش می‌توان بر اساس عمق و تراکم ریشه، آب را بین دو خط لترال تقسیم کرد به‌طوری‌که در مراحل ابتدایی رشد که ریشه‌های گیاه خیلی کم عمق است حجم آب بیشتری از لترال بالایی خارج گردد. مطالعات انجام شده در مزرعه نشان داده است که استفاده از روش مانع هیدرولیکی می‌تواند محصول کلی و قابل فروش کنگر فرنگی را به‌ترتیب ۱۲ و ۴۸ درصد افزایش دهد که بیان‌گر کارایی این روش در بهبود عملکرد گیاه می‌باشد (Ismail et al., 2006).

روش مانع هیدرولیکی یا لترال دوگانه با وجود مزایایی که دارد، به‌لحاظ نیاز به کارگذاری دو خط لترال در سامانه ممکن است از لحاظ اقتصادی قابل کاربرد برای کشت‌های مختلف نباشد.

در شکل (۱) شماتیک نحوه قرارگیری مانع فیزیکی و مانع هیدرولیکی در زیر خط لترال آبیاری قطره‌ای نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد در روش استفاده از مانع فیزیکی، مانع در زیر خط لترال کارگذاری می‌گردد. در روش مانع هیدرولیکی نیز خط لترال اصلی در شکل در عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک قرار گرفته است و خط لترال دوم به‌عنوان مانع هیدرولیکی در زیر خط لترال اصلی و در عمق ۲۵ سانتی‌متری خاک قرار گرفته است (Elnesr & Alazba, 2015).

1. Capillary Barrier
2. Hydrualic Barrier
3. Dual-Drip Lateral



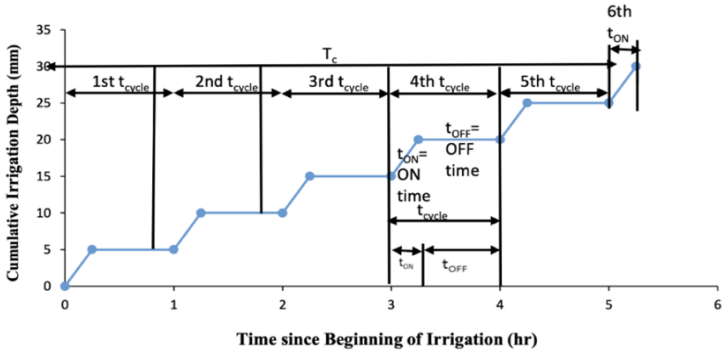
شکل ۱. شماتیک نحوه کارگزاری مانع فیزیکی و مانع هیدرولیکی (لترال دوگانه) (Elnesr & Alazba, 2015).

مدیریت پالسی

با توجه به نتایج مثبت حاصل از مطالعات مربوط به آبیاری سطحی با رژیم متناوب در زمینه بهبود یکنواختی توزیع آب در خاک و افزایش محصول، برخی پژوهشگران تصمیم به استفاده از این مفهوم در آبیاری قطره‌ای گرفتند و این روش را آبیاری قطره‌ای متناوب[1] یا پالسی[2] نامیدند (Vyrlas & Sakellariou, 2005; Elmaloglou & Diamantopoulos, 2008; Bakeer et al., 2009; Eid et al., 2013; Hajirad et al., 2021a; Hajirad et al., 2021b; Hajirad et al., 2021c; Mohammadi et al., 2021a;).

اصول آبیاری قطره‌ای پالسی اولین بار توسط Karmeli & Peri (1974) مطرح شد. تناوب یا پالس شامل یک سری چرخه‌های آبیاری است که هر چرخه شامل یک فاز آبیاری[3] (وصل) و یک فاز استراحت[4] (قطع) است. شمای مفهومی مدیریت پالسی در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در شکل ۲ نشان داده شده است. پژوهشگران اظهار داشتند که استفاده از روش آبیاری پالسی، توزیع رطوبت در خاک تحت سامانه‌های آبیاری قطره‌ای را بهبود می‌بخشد زیرا کاربرد متناوب آب اجازه توزیع مجدد رطوبت در خاک قبل از شروع تناوب بعدی آبیاری را می‌دهد که انتظار می‌رود باعث تسریع حرکت افقی و رو به بالای آب در خاک گردد (Elnesr & Alazba, 2015).

امروزه فن‌آوری آبیاری قطره‌ای پالسی در سراسر جهان اعمال می شود و نتایج تحقیقات نشان داده است که اثرات مثبتی بر افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصول، صرفه‌جویی در مصرف آب، به حداقل رساندن مشکلات انسداد قطره‌چکان‌ها و غیره دارد. سامانه آبیاری قطره‌ای معمولا آب را در محل ریشه گیاه یا در نزدیکی آن تحویل می‌دهدُ اما آبیاری مداوم باعث پرشدن منافذ ریز و درشت خاک شده و امکان انتقال اکسیژن از ریشه به گیاه را دچار اختلال می‌کند که عدم تهویه مناسب می‌تواند بر رشد گیاه اثر منفی داشته باشد. استفاده از نرخ دبی پایین نیز مشکلات گرفتگی قطره‌چکان‌ها را می‌تواند به‌دنبال داشته باشد. برای غلبه بر این مشکلات در سال‌های اخیر از تکنیک مدیریتی جدید پالس استفاده شده است. آبیاری پالسی به چرخه‌های کوتاه مدت قطع و وصل جریان اطلاق می‌شود که این چرخه‌ها تا زمانی که کل آب موردنیاز گیاه اعمال گردد، تکرار می‌شوند. در مدیریت پالسی با اعمال چرخه‌های مختلف آبیاریُ، زمان کافی برای تهویه خاک وجود داشته و شرایط مطلوب‌تری برای رشد گیاه فراهم می‌شود (Elmaloglou & Diamantopoulos, 2008).



شکل ۲. مفهوم شماتیک مدیریت پالسی در آبیاری قطره‌ای (Elnesr & Alazba, 2015).

1. Intermittent Drip Irrigation
2. Pulsed Drip Irrigation
3. On Times
4. Off Times

نقش مدیریت پالسی در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

روش معمول آبیاری پیوسته در صورت استفاده از نرخ دبی پایین مشکلات گرفتگی قطره‌چکان و درصورت استفاده از نرخ دبی بالا نفوذعمقی به زیر منطقه توسعه ریشه گیاه و ایجاد رواناب سطحی در خاک‌هایی با بافت سنگین را در پی دارد. نتایج تحقیقات نشان داده است که چنانچه آب کاربردی به‌صورت پالسی اعمال شود کاهش گرفتگی قطره‌چکان و نفوذ عمقی و افزایش هوادهی خاک را به‌دنبال خواهد داشت (Jackson and Kay, 1987; Rank, 2019)

جدول ۱. پژوهش‌های انجام شده در زمینه بهبود الگوی خیس‌شدگی خاک در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای.

معایب	مزایا		روش مورد استفاده	بافت خاک	سیستم آبیاری قطره‌ای	محصول	منابع
–	-	حفظ الگوی خیس-شدگی خاک با افزایش دبی قطره‌چکان در مدیریت پالسی نسبت به مدیریت پیوسته	کاهش خطر گرفتگی روزنه قطره‌چکان‌ها در مدیریت پالسی	مدیریت پالسی	–	سطحی	–	Jackson & Kay, (1987)
–	–	کاهش تلفات نفوذعمقی	افزایش نگهداشت رطوبت در منطقه توسعه ریشه	مانع فیزیکی	شنی	سطحی	–	Barth, (1995)
–	–	–	افزایش نگهداشت رطوبت در منطقه توسعه ریشه	مانع فیزیکی	لوم شنی	سطحی	–	Welsh et al., (1995)
–	–	–	–	مانع فیزیکی	شنی	سطحی	اسفناج	Elawady et al., (2003)
–	–	–	تغییرات کم الگوی خیس‌شدگی خاک با افزایش شش برابری سایز روزنه قطره‌چکان‌ها در مدیریت پالسی نسبت به پیوسته	مدیریت پالسی	لوم شنی	سطحی	–	Al-Naeem, (2008)
افزایش هزینه ماندابی شدن و فساد ریشه در خاک هایی با نفوذپذیری کم	–	–	افزایش عملکرد ۱۱۹ درصدی گوجه فرنگی و ۱۳۱ درصدی کنگرفرنگی	مانع فیزیکی	ماسه‌ای– شنی	سطحی	گوجه فرنگی– کنگرفرنگی	Elnesr, (2012)
–	کاهش آب و کود مصرفی	افزایش ۲۰–۷۰ درصدی رطوبت حجمی در خاک‌های مختلف	افزایش عملکرد ۲۵ درصدی فلفل و ۳۶ درصدی کاهو	مانع کاپیلاری	شنی شن لومی لوم شنی	سطحی	فلفل–کاهو	Ityel et al., (2011)
افزایش هزینه	–	–	افزایش ۱۲ درصدی عملکرد محصول	مانع هیدرولیکی (لترال دوگانه)	شنی	زیرسطحی	کنگرفرنگی	Ismail et al., (2006)
–	کاهش تلفات نفوذ عمقی	کاهش گرفتگی قطره-چکان‌ها به علت افزایش اندازه روزنه	امکان استفاده از قطره-چکان با نرخ دبی بالا	مدیریت پالسی	شنی لوم شنی	سطحی	–	Levin et al., (1979)
–	کاهش تلفات نفوذ عمقی	کاهش رواناب سطحی و گرفتگی قطره‌چکان	استفاده از قطره‌چکان با نرخ دبی بالا در مدیریت پالسی به جای قطره‌چکان با نرخ دبی پایین در مدیریت پیوسته	مدیریت پالسی (یک ساعت فاز آبیاری یک ساعت فاز استراحت)	لوم رسی سیلتی	سطحی	–	Mostaghimi & Mitchell, (1983)
–	کاهش مصرف آب	افزایش بهره‌وری آب در تیمار پالسی نسبت به پیوسته	افزایش ۱۴/۷ درصدی عملکرد ریشه در سامانه قطره‌ای سطحی و ۱۱/۱ درصدی در سامانه قطره‌ای زیرسطحی	مدیریت پالسی	لوم رسی	سطحی و زیرسطحی	چغندرقند	Vyrls & Sakellariou, (2005)

–	کاهش ۲ درصدی حجم آب مصرفی	بهبود یکنواختی توزیع رطوبت در خاک و نگهداشت رطوبت بیشتر در منطقه توسعه ریشه	افزیش ۱۱/۸ درصدی عملکرد محصول نسبت به مدیریت پیوسته	مدیریت پالسی (زمان قطع و وصل ۵ دقیقه)	رسی	سطحی	ذرت	El-Abedin, (2006)
–	–	افزایش راندمان کاربرد آب	افزایش ۴۹ درصدی عملکرد محصول و ۴۸/۵ درصدی بهره وری آب	مدیریت پالسی (اعمال عمق آبیاری دو، سه و چهار بار در روز با زمان استراحت نیم ساعته)	شنی	سطحی و زیرسطحی	سیب زمینی	Bakeer et al., (2009)
–	–	–	افزایش عملکرد محصول و راندمان کاربرد آب با افزایش تعداد پالس‌های آبیاری	مدیریت پالسی (دو، سه و چهار پالس آبیاری با زمان استراحت یک ساعته)	لوم رسی سیلتی	زیرسطحی	لوبیا سبز	Abouarab et al., (2011)
–	–	افزایش تجمع عناصر غذایی با افزایش تعداد پالس‌ها	بهبود پارامترهای رشد و افزایش عملکرد و بهروه‌وری آب	مدیریت پالسی (چهار پالس آبیاری با زمان استراحت یک ساعته)	لوم رسی شنی	زیرسطحی	نخود فرنگی	El-mogy et al., (2012)
–	–	–	افزایش عملکرد محصول با افزایش تعداد پالس‌های آبیاری	مدیریت پالسی (چهار، هشت و دوازده پالس)	شنی	سطحی	سویا	Eid et al., (2013)
–	–	صرفه‌جویی ۳۴ درصدی آب مصرفی در تیمار کم آبیاری پالسی نسبت به آبیاری کامل پالسی	افزایش ۳۷ درصدی بهره‌وری آب در تیمار کم‌آبیاری پالسی نسبت به تیمار آبیاری کامل پالسی	مدیریت پالسی (یک ساعت فاز آبیاری یک ساعت فاز استراحت)	شنی	سطحی	بادام	Phogat et al., (2013)
هزینه‌بر بودن مانع فیزیکی		افزایش نگهداشت رطوبت در منطقه توسعه ریشه در تیمار پالسی و یکنواختی پخش رطوبت در خاک تا عمق ۴۰ سانتی‌متری در تیمار لترال دوگانه و افزایش حرکت جانبی و رو به بالای آب در خاک در تیمار مانع فیزیکی	افزایش ۵۰ درصدی عملکرد محصول در تیمار لترال دوگانه و عدم تاثیر تیمارهای مدیریت پالسی و مانع فیزیکی بر عملکرد محصول و افزایش کیفی بازارپسندی محصول در تیمار مدیریت پالسی	مدیریت پالسی لترال دوگانه مانع فیزیکی	لوم شنی	زیرسطحی	گوجه‌فرنگی	Elnesr et al., (2015)
–	-	کاهش ۲۵ درصدی آب مصرفی بدون کاهش عملکرد و بهبود بهره-وری آب	عدم افزایش عملکرد محصول	مدیریت پالسی (شش پالس با زمان استراحت ۵۰ دقیقه)	Dystroferric Red Latosol	سطحی	کاهو	Almeida et al., (2015)
استفاده از مانع فیزیکی فقط در خاک هایی با میزان نفوذپذیری بالا	کاهش تلفات نفوذ عمقی در تیمارهای مدیریت پالسی و لترال	افزایش حرکت جانبی آب در خاک در تیمار لترال دوگانه و مدیریت پالسی	افزایش ۳۰ درصدی عملکرد محصول در تیمار لترال دوگانه و افزاش ۱۰ درصدی آن در تیمار مدیریت پالسی	مدیریت پالسی (سه پالس آبیاری با زمان استراحت سه برابر زمان هر پالس) لترال دوگانه	لوم شنی	زیرسطحی	سیب‌زمینی	Elnesr & Alazba., (2015)

–	دوگانه			مانع فیزیکی				
–	–	-	کاهش اثر منفی شوری بر عملکرد محصول و بهره‌وری آب	مدیریت پالسی همراه با سطوح مختلف شوری آب ابیاری	Dystroferric Red Latosol	سطحی	نخود فرنگی	Almeida et al., (2018)
–	–	-	حفظ رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی و جلوگیری از تنش آبی با افزایش تعداد پالس‌های آبیاری	مدیریت پالسی (دو، سه و چهار پالس آبیاری)	لوم رسی شنی	سطحی	پیاز سفید	Madane et al., (2018)
–	–	افزایش سایز پیاز رطوبتی در ناحیه توسعه ریشه گیاه	افزایش راندمان کاربرد آب و کاهش تنش وارده به گیاه	مدیریت پالسی (چهار و هشت پالس در روز)	شنی	سطحی	پرتقال	Abdelraouf et al., (2019)
–	–	-	بهبود هوادهی خاک در منطقه توسعه ریشه در مدیریت پالسی نسبت به پیوسته	مدیریت پالسی (سه پالس آبیاری)				Rank, (2019)
–	–	-	افزایش ۳۳ درصدی بهره‌وری آب در تیمار کم‌آبیاری پالسی نسبت به تیمار آبیاری کامل پیوسته	مدیریت پالسی	لوم	سطحی	گوجه‌فرنگی	Abd-Elhakim et al., (2020)
–	–	–	کاهش ۴۰ درصدی آب مصرفی در تیمار کم‌آبیاری پالسی نسبت به آبیاری کامل پیوسته بدون تغییر در پارامترهای رشد گیاه	مدیریت پالسی (پنج پالس با زمان استراحت یک ساعته)	شنی	سطحی	گشنیز	Zamora et al., (2020)
–	–	–	–	مدیریت پالسی	Oxisol of low fertility	سطحی	بادمجان	Arriero et al., (2020)
کاهش عملکرد محصول در تیمار کم‌آبیاری (تامین ۶۰ درصد نیاز آبی) با مدیریت پالسی نسبت به پیوسته	–	–	کاهش ۲۰ درصدی مصرف آب در تیمار کم آبیاری (تامین ۸۰ درصد نیاز آبی) با مدیریت پالسی نسبت ب پیوسته بدون کاهش عملکرد محصول	مدیریت پالسی	لومی	سطحی	ذرت علوفه‌ای	Hajirad et al., (2021)
–	–	–	حفظ رطوبت خاک در محدوده مناسب و کم بودن تغییرات رطوبتی خاک در مدیریت پالسی	مدیریت پالسی	لوم شنی	سطحی	–	Kim et al., (2021)
–	–	–	افزایش ابعاد پیاز رطوبتی در جهت افقی، عدم ایجاد شرایط ماندابی در سطح خاک باتوجه به بافت خاک و دبی قطره‌چکان‌ها با افزایش تعداد پالس‌های آبیاری و زمان استراحت بین	مدیریت پالسی (دو، سه و چهارپالسی با زمان استراحت یک و سه برابر هر پالس آبیاری)	رسی	سطحی	-	Mohammadi et al., (2022)

					پالس‌ها			
–	توزیع مناسب‌تر رطوبت در منطقه توسعه ریشه گیاه	افزایش نگهداشت رطوبت در منطقه توسعه ریشه	افزایش ۱۷ درصدی عملکرد محصول با افزایش تعداد پالس‌های آبیاری و زمان استراحت	مدیریت پالسی (دو، سه و چهارپالسی با زمان استراحت یک و سه برابر هر پالس آبیاری)	لومی	سطحی	ذرت علوفه‌ای	Mohammadi et al., (2023)
–	–	–	افزایش عملکرد محصول قابل فروش و بهره‌وری آب بادمجان در صورت استفاده از مدیریت پالسی هنگام آبیاری با آب فاضلاب	مدیریت پالسی با آب آبیاری کم‌کیفیت (شش پالس با زمان استراحت ۳۰ دقیقه)	Oxisol	سطحی	بادمجان	Arriero et al., (2020)
–	–	پوشش هزینه‌های خودکارسازی سامانه آبیاری قطره‌ای پالسی با مزایای حاصل از افزایش در آمد ناخالص در تیمار پالسی نسبت به پیوسته	افزایش عملکرد محصول قابل فروش و بهره‌وری آب توت فرنگی	مدیریت پالسی	لوم رسی	سطحی	توت‌فرنگی	Gendron et al., 2018

Diamantopoulo (2009)، اثر پدیده پسماند را بر نفوذ و توزیع مجدد رطوبت خاک تحت سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی با مدیریت پیوسته و پالسی در دو بافت خاک مختلف شن لومی و لوم سیلتی با سه دبی جریان مختلف ۱، ۲ و ۴ لیتر در ساعت مورد بررسی قرار داد. نتایج تحلیل‌های عددی نشان داد در هر دو نوع مدیریت آبیاری پیوسته و پالسی، پدیده پسماند رطوبتی باعث کاهش نفوذ عمقی به زیر ناحیه توسعه ریشه گیاه شده و فرآیند زهکشی را به تاخیر می‌اندازد.

در زمینه ارزیابی اقتصادی استفاده از مدیریت پالسی در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای مطالعه‌ای در کبک کانادا بر روی محصول توت‌فرنگی در خاک لوم رسی در سه سایت مختلف برای تعیین تاثیر آبیاری قطره‌ای پالسی انجام شد. نتایج نشان داد که با میزان مصرف آب مشابه با مدیریت پیوسته، آبیاری قطره‌ای پالسی باعث افزایش عملکرد محصول توت‌فرنگی گردید که منجربه بهبود بهره‌وری آب محصول و افزایش درآمد ناخالص قابل توجهی نسبت به شرایط آبیاری قطره‌ای پیوسته شد. همچنین پژوهشگران اعلام کردند مزایای حاصل از آبیاری قطره‌ای پالسی، هزینه‌های یک سامانه آبیاری قطره‌ای خودکار با دوره بازپرداخت کوتاه یک ساله را پوشش می‌دهد (Gendron et al., 2018).

تاثیر آبیاری قطره‌ای پالسی بر رشد گیاهان مختلف

در رابطه با بررسی تاثیر مدیریت پالسی در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای بر رشد گیاهان مختلف در داخل و خارج از کشور تحقیقات و آزمایشات مزرعه‌ای زیادی انجام شده است. Abuarab et al. (2011) تأثیر سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی پالسی را بر عملکرد گیاه لوبیا سبز در شرایط مزرعه‌ای واقع در منطقه مدیترانه‌ای مصر به مدت دو سال مورد ارزیابی قرار دادند. مدیریت پالسی به‌صورت تیمارهای یک، دو، سه و چهار پالس آبیاری با فاصله زمانی یک ساعت بین هر پالس اعمال شد. نتایج نشان داد که افزایش تعداد پالس‌ها در هر آبیاری به طور قابل توجهی بر رشد رویشی و عملکرد لوبیا سبز تأثیرگذار است. راندمان مصرف آب (WUE) و راندمان مصرف آب آبیاری (IWUE) نیز به طور قابل توجهی تحت تاثیر تعداد پالس‌های آبیاری قرار گرفت. به‌طورکلی، پژوهشگران تیمار چهار پالسی را برای لوبیا سبز تحت سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در شرایط مزرعه مورد مطالعه توصیه کردند. همچنین آن‌ها اظهار داشتند وجود فاصله زمانی بین پالس‌های آبیاری باعث می‌شود زمان کافی برای جذب مناسب‌تر رطوبت در پالس بعدی آبیاری فراهم شود و ضمن صرفه‌جویی در آب مصرفی، عملکرد محصول نیز از نظر کمی و کیفی بهبود یابد.

در تحقیق دیگری اثر تعداد پالس‌های آبیاری در شرایط بدون خاکپوشه و با خاکپوشه بر عملکرد سویا مورد بررسی قرار گرفت. تیمارها

شامل اعمال نیاز آبی روزانه گیاه در یک، چهار، هشت و ۱۲ پالس آبیاری و انواع مختلف پوشش خاکپوشه (بدون خاکپوشه، خاکپوشه پلاستیکی سیاه، خاکپوشه ساقه برنج) بودند. بیشترین عملکرد محصول مربوط به تیمار هشت پالسی با خاکپوشه پلاستیکی مشکی بود. همچنین اثر تیمار پالسی بر بهره‌وری آب نیز معنی‌دار بود به‌طوری که بیشترین مقدار آن در تیمار چهار و هشت پالسی مشاهده شد. پژوهشگران علت افزایش عملکرد را افزایش دسترسی به مواد غذایی در محدوده توسعه ریشه گیاه در نتیجه بهبود توزیع رطوبت در خاک و افزایش حجم خیس‌شده خاک با رطوبت برابر یا بیشتر از حد ظرفیت زراعی عنوان کردند (Eid et al., 2013).

Phogat et al. (2013) نیز تاثیر کم‌آبیاری همراه با مدیریت پالسی را بر عملکرد و بهره‌وری درخت بادام مورد بررسی قرار دادند. تیمارهای مورد بررسی شامل آبیاری کامل با مدیریت پیوسته و دبی قطره‌چکان‌های ۲/۳ لیتر بر ساعت، آبیاری کامل (FI_c) و کم‌آبیاری (65% ET_c) با مدیریت پالسی و دبی قطره‌چکان‌های ۴ لیتر بر ساعت (FI_p, SDI_p) در خاک شنی بودند. نتیجه شبیه‌سازی بیلان آب خاک نشان داد که راندمان جذب آب ریشه در تیمار SDIp (۶۸٪) نسبت به تیمارهای FIp (۵۴٪) و FIc (۵۵٪) بیش‌تر بود. در تیمارهای FI_p و FI_c که به‌ترتیب ۵۶۵ و ۵۸۳ میلی‌متر آب بیش‌تری نسبت به تیمار SDIp دریافت کرده بودند تنها ۲۱–۲۵٪ از آب اضافی توسط ریشه گیاه جذب شد و بخش زیادی (۵۰٪) به‌صورت نفوذ عمقی از دسترس ریشه گیاه خارج شده بود که می‌توانست باعث آلودگی منابع آب زیرزمینی و کاهش راندمان کوددهی گردد. بهره‌وری آب آبیاری در تیمار کم‌آبیاری پالسی نسبت به تیمار آبیاری کامل پالسی ۳۷ درصد افزایش داشت. بنابراین نتایج به‌دست آمده نشان داد در مناطقی که با کمبود منابع آب مواجه هستند کم‌آبیاری همراه با مدیریت پالسی راهکار مناسبی برای درخت بادام می‌باشد زیرا باعث افزایش ۳۷ درصدی بهره‌وری آب، کاهش هشت درصدی عملکرد محصول و صرفه‌جویی ۳۴ درصدی آب مصرفی نسبت به تیمار آبیاری کامل پالسی می‌شود.

Abdelraouf et al. (2019) اثر مدیریت پالسی در آبیاری قطره‌ای را همراه با خاکپوشه سبوس برنج بر عملکرد، بهره‌وری آب و کیفیت محصول پرتقال در خاکی با بافت شنی مورد بررسی قرار دادند. بالاترین عملکرد، بهره‌وری آب و برخی ویژگی‌های کیفی محصول مربوط به زمانی بود که عمق آب آبیاری با اعمال هشت پالس در روز اعمال می‌شد، در شرایطی که خاکپوشه سبوس برنج به میزان ۹ تن در هکتار مصرف شده بود. نتایج نشان داد که اعمال عمق آب آبیاری به‌صورت هشت پالس در روز باعث افزایش سایز پیاز رطوبتی در ناحیه توسعه ریشه گیاه و درنتیجه افزایش راندمان کاربرد آب و کاهش تنش وارده به گیاه می‌گردد.

Abd-Elhakim et al. (2021) اثر مدیریت پالسی همراه با اعمال کم‌آبیاری تحت سامانه آبیاری قطره‌ای را بر عملکرد و بهره‌وری آب گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیقات نشان داد که بیشترین عملکرد مربوط به تیمار آبیاری کامل با مدیریت پالسی و کم‌ترین عملکرد محصول نیز مربوط به تیمار کم‌آبیاری ۵۰ درصد (تامین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) با مدیریت پیوسته بود. بالاترین مقدار بهره‌وری آب در تیمار کم‌آبیاری ۵۰ درصد با مدیریت پالسی (۳۷/۱ کیلوگرم بر مترمکعب) و پایین‌ترین مقدار بهره‌وری آب در تیمار آبیاری کامل با مدیریت پیوسته (۲۷/۹ کیلوگرم بر مترمکعب) به دست آمد.

Zamora et al. (2020) تاثیر کودآبیاری قطره‌ای تحت مدیریت پالسی و پیوسته را در سطوح مختلف آبیاری (سطح تأمین آب ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد تبخیر–تعرق گیاه) بر عملکرد گیاه گشنیز مورد بررسی قرار دادند. در مدیریت پیوسته آب آبیاری در یک پالس و در مدیریت پالسی آب آبیاری در طی پنج پالس با فاصله زمانی یک ساعته اعمال شد. نتایج مطالعه نشان داد که پارامترهای مورد بررسی گیاه گشنیز در تیمار کم‌آبیاری (تأمین ۶۰ درصد تبخیر–تعرق گیاه) پالسی مشابه با تیمار آبیاری کامل (تأمین ۱۰۰ درصد تبخیر– تعرق گیاه) با مدیریت پیوسته است درحالی‌که در این تیمار حدود ۴۰ درصد آب کمتری مصرف شده بود.

Mohammadi et al. (2023) تاثیر آبیاری قطره‌ای پالسی و زمان‌بندی اعمال پالس‌ها را بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای طی دو دوره رشد بهاره و تابستانه در منطقه ورامین، ایران بررسی کردند. در این آزمایش چهار تیمار مدیریت آبیاری شامل کاربرد عمق آب آبیاری در یک، دو، سه و چهار پالس (P1, P2, P3, P4) و دو تیمار زمان‌بندی قطع جریان، به‌صورت یک برابر و سه برابر مدت زمان وصل جریان در هر پالس (T1, T2) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که اثر متقابل تیمارهای مورد بررسی بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب معنی‌دار (به‌ترتیب در سطح یک و ۵ درصد) است. بیشترین عملکرد خشک و بهره‌وری آب مربوط به تیمار T2 P4 بود که حدود ۱۷ درصد نسبت به تیمار مدیریت پیوسته T1 P1 افزایش داشت. افزایش چهار برابری تعداد پالس‌های آبیاری باعث افزایش شش و ۱۷ درصدی پارامترهای مورد بررسی به‌ترتیب در تیمارهای T1 و T2 شد. بنابراین با توجه به نتایج مثبت افزایش زمان قطع جریان در آبیاری قطره‌ای پالسی، پژوهشگران پیشنهاد کردند در صورت استفاده از این فناوری نسبت زمان قطع به وصل جریان افزایش یابد. همچنین در رابطه با زمانبندی قطع جریان در مدیریت پالسی با افزایش سه برابری زمان قطع جریان، فرصت کافی در

خاک برای جذب رطوبت حاصل از پالس بعدی آبیاری فراهم گردید که باعث توزیع بهتر رطوبت در عمق توسعه ریشه و درنتیجه بهبود عملکرد و افزایش بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای شده است.

حاجی‌راد و همکاران (۱۴۰۰) تأثیر سطوح مختلف آبیاری تحت دو مدیریت پالسی و پیوسته را بر عملکرد بیولوژیک و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای رقم ZP 606 در منطقه ورامین مورد بررسی قرار دادند. فاکتور اصلی شامل چهار سطح آبیاری تأمین ۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰ و۶۰ درصد نیاز آبی ذرت (به ترتیب I2، I1، I3 و I4) و فاکتور فرعی شامل دو مدیریت آبیاری پالسی (اعمال عمق آبیاری طی سه پالس) (P) و پیوسته (C) بودند. براساس نتایج، بیشترین عملکرد بیولوژیک و عملکرد تازه محصول ذرت علوفه‌ای مربوط به تیمار PI2 و بیشترین بهره‌وری آب آبیاری نیز در تیمار PI3 به‌دست آمد. اعمال مدیریت پالسی موجب افزایش شاخص سطح برگ، سرعت رشد نسبی، سرعت رشد گیاه و سرعت جذب خالص در تیمارهای I2، I1 و I3 در مرحله‌ی ابریشم‌دهی شد، درصورتی‌که در تیمار I4 به‌دلیل افزایش شدت تنش آبی، باعث کاهش شاخص‌های رشد گردید. پژوهشگران پیشنهاد کردند که اگر با مشکل کمبود آب در منطقه مواجه باشیم می‌توان با مصرف۲۰ درصد آب کمتر و اعمال مدیریت پالسی ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب، عملکردی مشابه با تیمار آبیاری کامل با مدیریت پیوسته به‌دست آورد (Hajirad et al., 2021d).

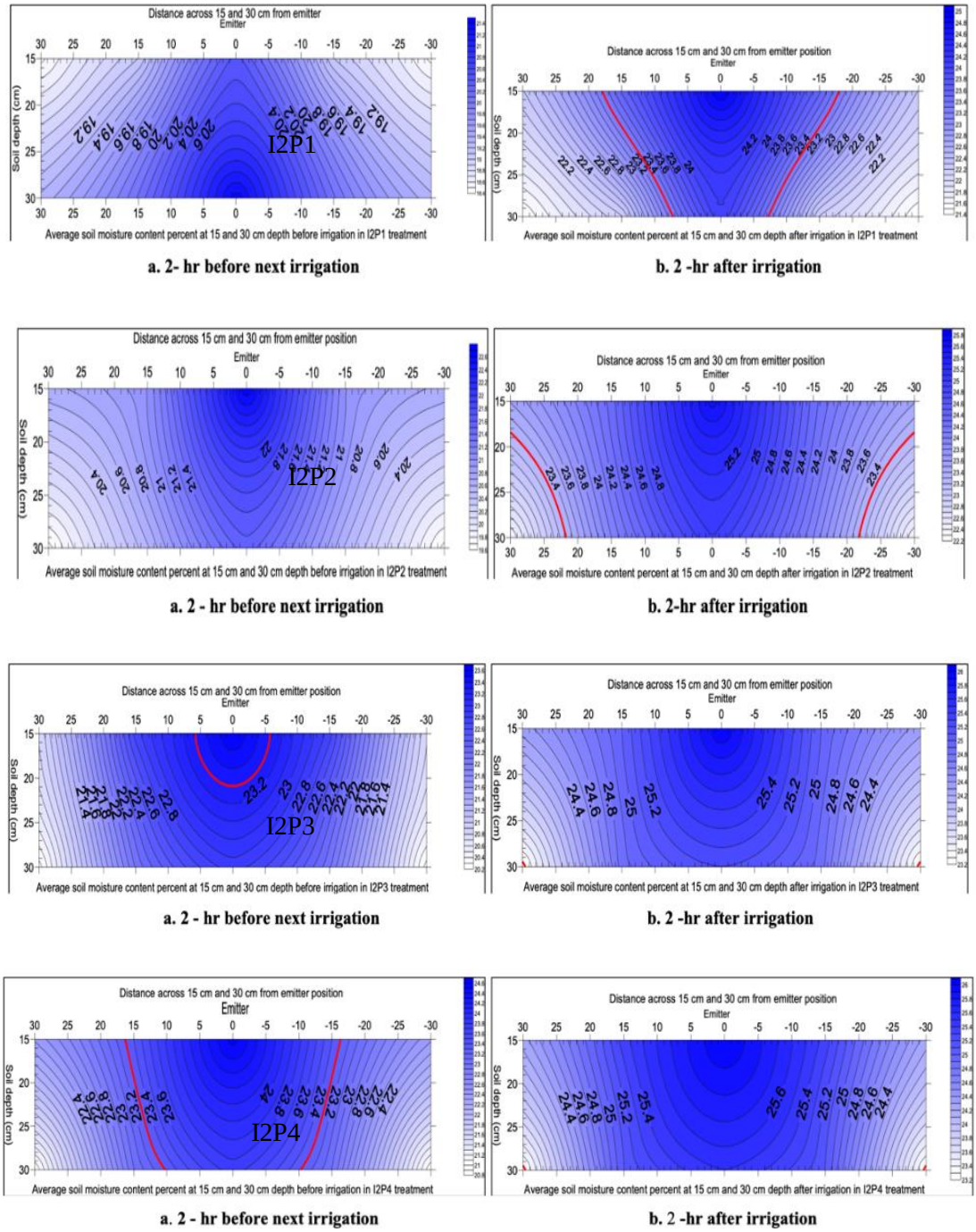
تأثیر آبیاری قطره‌ای پالسی بر توزیع رطوبت در خاک

مهم‌ترین جنبه در طراحی سامانه آبیاری قطره‌ای نحوه توزیع رطوبت در خاک اطراف قطره‌چکان آبیاری است، زیرا مطابقت هرچه بیش‌تر الگوی خیس‌شدگی خاک اطراف قطره‌چکان با الگوی رشد ریشه در خاک باعث می‌شود، آب و مواد غذایی به‌طور مناسب در اختیار گیاه قرار گیرد و باعث بهبود عملکرد محصول و بهره‌وری آب مصرفی گردد. Al-Naeem (2008) اثر مدیریت پالسی را بر روی خاک لوم شنی موجود داخل یک جعبه خاک با سامانه آبیاری قطره‌ای خطی مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که افزایش سایز روزنه قطره‌چکان در مدیریت پالسی تا شش برابر مدیریت پیوسته، تغییر کوچکی در الگوی خیس‌شدگی خاک ایجاد می‌کند. طبق این مطالعه نفوذ عمقی آب کاهش و گسترش افقی رطوبت در خاک تا دوازده برابر مدیریت پیوسته افزایش یافت. همچنین پژوهشگران بیان کردند، همبستگی قوی بین نرخ آب کاربردی و پیش‌روی افقی و عمودی آب در خاک مشاهده شد که به‌صورت تابع توانی قابل بیان است. همچنین Madane et al. (2018) اثر آبیاری قطره‌ای پالسی را تحت سطوح مختلف آبیاری بر توزیع رطوبت در خاک تحت کشت پیاز سفید مورد بررسی قرار دادند. تیمارهای مورد بررسی شامل چهار مدیریت مختلف آبیاری (پیوسته P1، دو پالسی P2، سه پالسی P3، چهار پالسی P4) و سه سطح مختلف آبیاری (تامین ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه I1، تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه I2 و تامین ۱۲۰ درصد نیاز آبی گیاه I3) بودند. نتایج نشان داد که رطوبت خاک دو ساعت بعد از شروع آبیاری در تیمار I2P4 در فاصله افقی ۳۰ سانتی متری از قطره‌چکان و عمق ۱۵ سانتی‌متری زیر قطره‌چکان در حد ظرفیت زراعی خاک (۲۶ درصد) بوده است. بنابراین باتوجه به فاصله ۳۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌های آبیاری، رطوبت خاک در حد فاصل دو قطره‌چکان برای رشد گیاه در شرایط مطلوب قرار داشته است و گیاه دچار تنش آبی نشده است (شکل ۳). همان‌طور که در شکل نیز مشاهده می‌شود افزایش تعداد پالس‌های آبیاری باعث شده است که رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی خاک نزدیک شده و گیاه در شرایط تنش آبی قرار نگیرد.

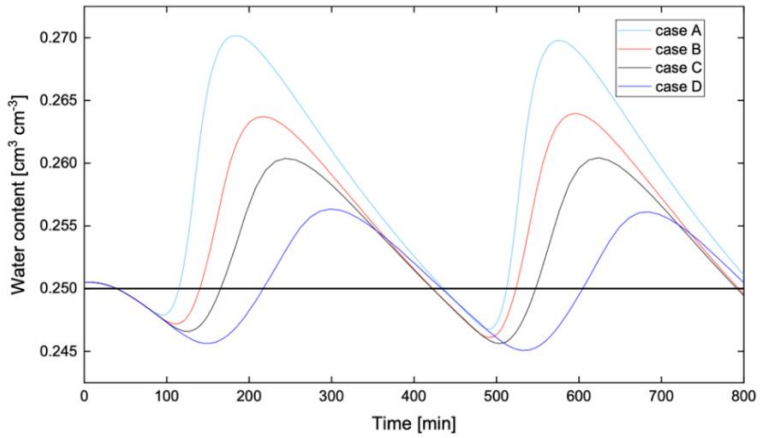
Rank (2019) نیز نحوه توزیع رطوبت در خاک و هوادهی خاک با بافت لوم شنی را تحت مدیریت‌های مختلف پالسی (سه پالس آبیاری) و پیوسته با دبی‌های مختلف قطره‌چکان مورد بررسی قرار داد. سه دبی مختلف ۲، ۴ و ۸ لیتر در ساعت مورد استفاده قرار گرفت. با افزایش میزان دبی قطره‌چکان مدت زمان آبیاری کاهش می‌یابد بنابراین در طی یک آبیاری سه ساعته مدیریت پالسی با دبی قطره‌چکان ۲ لیتر بر ساعت به‌صورت سه پالس ۲۰ دقیقه‌ای با مدت زمان استراحت ۲۰ دقیقه اعمال شد و برای دبی قطره‌چکان ۴ لیتر بر ساعت به‌صورت سه پالس ۱۰ دقیقه‌ای با مدت زمان استراحت ۳۰ دقیقه اعمال شد و در نهایت برای دبی قطره‌چکان ۸ لیتر بر ساعت به‌صورت سه پالس ۵ دقیقه‌ای با زمان استراحت ۳۵ دقیقه اعمال شد. بررسی نتایج مربوط به توزیع رطوبت در خاک نشان داد که در صورت استفاده از دبی قطره‌چکان ۲ لیتر بر ساعت که مدت زمان هر پالس آبیاری ۲۰ دقیقه است حرکت عمودی آب در خاک بیشتر از حرکت افقی می‌باشد.

Kim et al. (2021) نیز توزیع رطوبت در خاک لوم شنی را در فواصل مختلف از قطره‌چکان آبیاری به‌صورت تابعی از پالس‌های آبیاری با استفاده از شبیه‌سازی عددی مورد بررسی قرار دادند. برای شبیه‌سازی زمانی و مکانی حرکت آب در خاک از مدل هایدروس استفاده شد و تیمارهای مورد بررسی شامل دو فاصله قطره‌چکان ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری و چهار تیمار مختلف مدیریت آبیاری شامل مدیریت پیوسته (A)، مدیریت پالسی (B) به‌صورت دو دقیقه آبیاری و یک دقیقه استراحت (2O1F)، پالسی (C) (یک دقیقه آبیاری و یک دقیقه

استراحتُ (1O1F) و مدیریت پالسی (D) به‌صورت یک دقیقه آبیاری و دو دقیقه استراحت (1O2F) بود. نتایج بررسی‌ها نشان داد که در تیمار فاصله ۲۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها مدیریت پیوسته (A) آب را به‌سرعت در اختیار گیاه قرار می‌دهد و بالابودن حجم آبیاری باعث افزایش سریع‌تر رطوبت خاک می‌گردد و تغییرات رطوبتی خاک در این نوع مدیریت آبیاری بالاست درحالی‌که در مدیریت پالسی (D) عکس این حالت اتفاق می‌افتد. باتوجه به نتایج به‌دست آمده پژوهشگران اظهار کردند که برای محصولاتی هم‌چون لوبیا و کاهو که با شرایط مرطوب سازگارند و درصورت تامین آب کافی، عملکرد بهتری خواهند داشت و مدیریت پیوسته مناسب‌تر است. همین‌طور در شرایطی که گیاه دچار تنش آبی شده و نیاز است که رطوبت خاک سریعا افزایش یابد بهتر است مدیریت پیوسته اعمال گردد. اما در گیاهانی مانند فلفل قرمز که به تنش آبی حساس بوده و حد تحمل آبی محدودی نیز دارند، اعمال مدیریت پالسی که بتواند رطوبت خاک را در محدوده مناسبی حفظ کند، نسبت به مدیریت پیوسته مناسب‌تر خواهد بود (شکل۴).

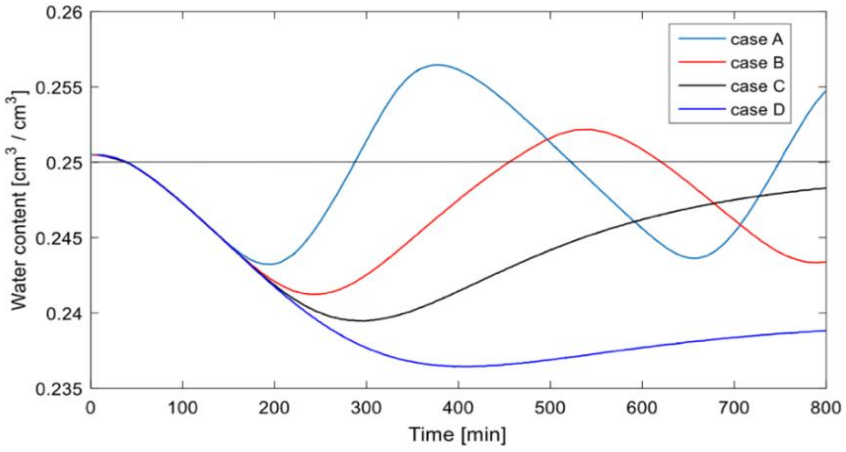


شکل ۳. متوسط رطوبت خاک اطراف قطره‌چکان دو ساعت قبل (a) و بعد (b) از شروع آبیاری در تیمارهای پالسی مختلف مورد بررسی در سطح آبیاری کامل I2 (Madane et al, 2018).



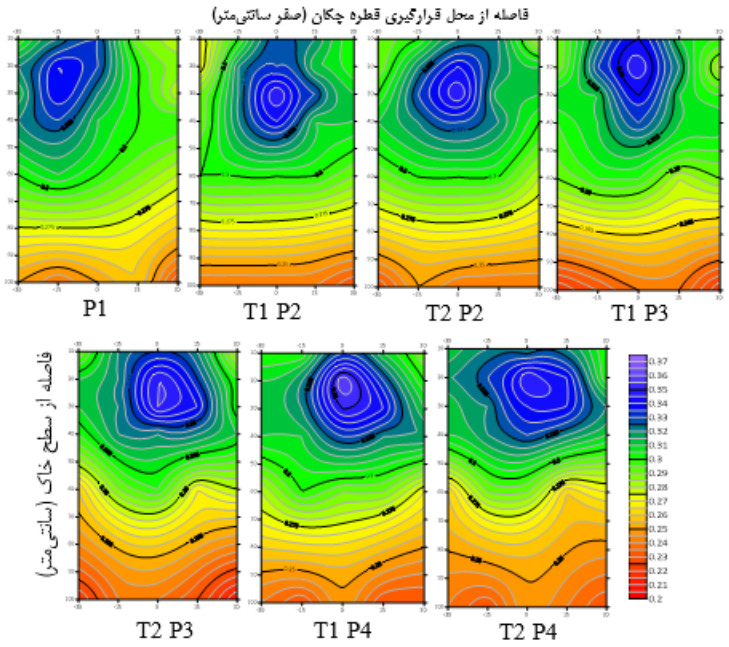
شکل ٤. تغییرات رطوبتی خاک در عمق توسعه ریشه گیاه در فاصله ۲۰ سانتی‌متری از قطره‌چکان تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری (Kim et al, 2021).

همچنین در فاصله ۳۰ سانتی‌متری از محل قطره‌چکان‌ها همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، در شرایط مدیریتی (C) و (D) باتوجه به بافت خاک لوم شنی، تغییرات رطوبتی خاک بسیار کم بوده و حتی در طی کل دوره آبیاری، رطوبت خاک به ۲۵٪ نیز نرسیده است و حرکت عمودی آب در خاک بیش‌تر از حرکت افقی بوده است. بنابراین هنگام طراحی و مدیریت سامانه آبیاری قطره‌ای پالسی باید فاصله بین پالس‌های آبیاری را به‌دقت انتخاب کرد.

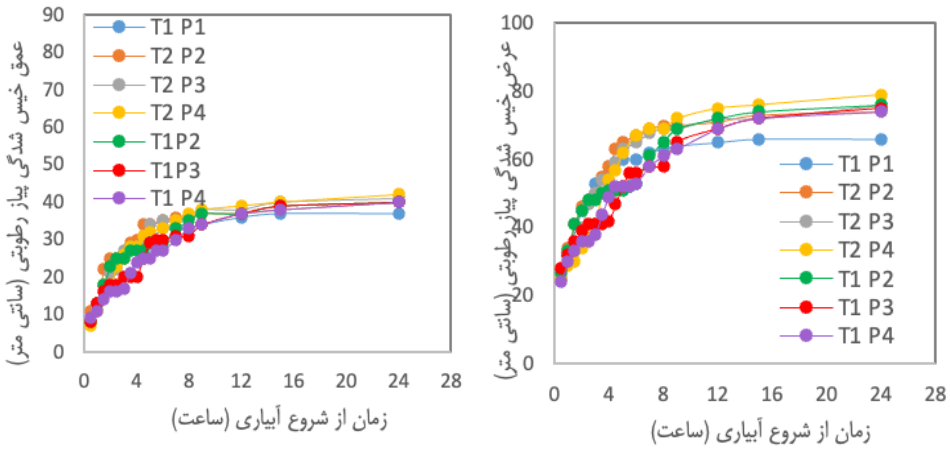


شکل ٥. تغییرات رطوبتی خاک در عمق توسعه ریشه گیاه در فاصله ۳۰ سانتی‌متری از قطره‌چکان تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری (Kim et al, 2021).

در یک مطالعه مزرعه‌ای و آزمیشگاهی محمدی و همکاران (۱۳۹۹ و ۱۴۰۱) اثر مدیریت‌های مختلف آبیاری قطره‌ای (یک، دو، سه و چهار پالس آبیاری) و زمان‌بندی‌های مختلف قطع جریان (یک برابر و سه برابر مدت زمان وصل جریان) را بر توزیع رطوبت و ابعاد پیاز رطوبتی تشکیل‌شده اطراف یک قطره‌چکان آبیاری در دو بافت خاک لومی و رسی مورد بررسی قرار دادند (شکل‌های ۶ و ۷). بررسی نتایج مربوط به نحوه توزیع رطوبت و ابعاد پیاز رطوبتی تشکیل‌شده در تیمارهای مختلف مورد آزمایش نشان داد که افزایش تعداد پالس‌های آبیاری و زمان قطع جریان، باتوجه به بافت خاک باعث گردید ضمن افزایش ابعاد پیاز رطوبتی که بیش‌تر در جهت افقی صورت گرفت، توزیع رطوبت در خاک نیز مناسب‌تر باشد و در ساعات اولیه آبیاری با توجه به تقسیط عمق آب آبیاری و بافت خاک، رطوبت بخش سطحی خاک به بیش از حد ظرفیت زراعی نرسد و شرایط اشباع و ماندابی در سطح خاک ایجاد نشود. بنابراین پژوهشگران اظهار کردند که در خاک‌هایی با بافت سنگین با اعمال مدیریت پالسی و تقسیط عمق آب آبیاری برخلاف تیمار مدیریت پیوسته که حجم آب کاربردی به یک‌باره وارد خاک می‌شود، انتظار می‌رود شرایط مطلوب‌تری از نظر توزیع رطوبت، هوادهی و اکسیژن برای رشد ریشه گیاه فراهم گردد.



شکل ٦. توزیع رطوبت در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خاک لومی در تیمارهای مورد بررسی شش ساعت پس از اتمام آبیاری (محمدی و همکاران، ۱۳۹۹)

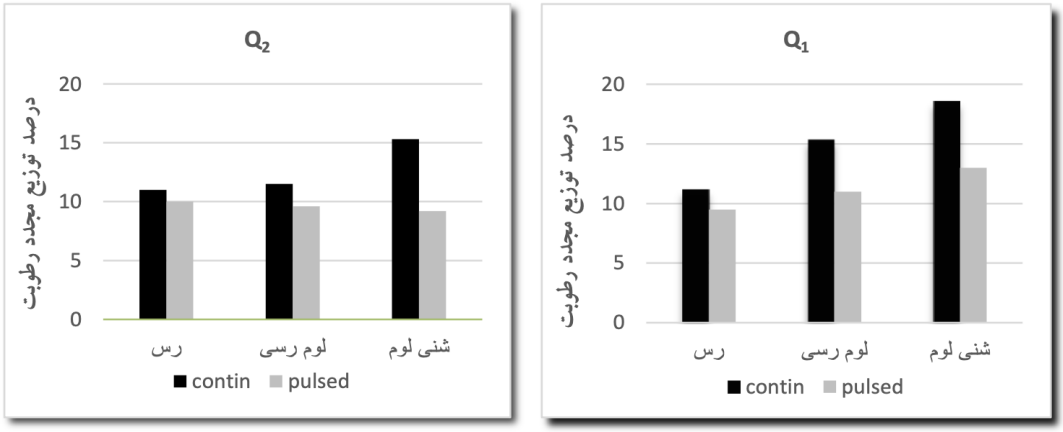


شکل ۷. روند تغییرات عمق و عرض خیس‌شدگی پیاز رطوبتی تیمارهای مختلف آبیاری در زمان‌های مختلف پس از شروع آبیاری در خاک رسی (محمدی و همکاران، ۱۴۰۱).

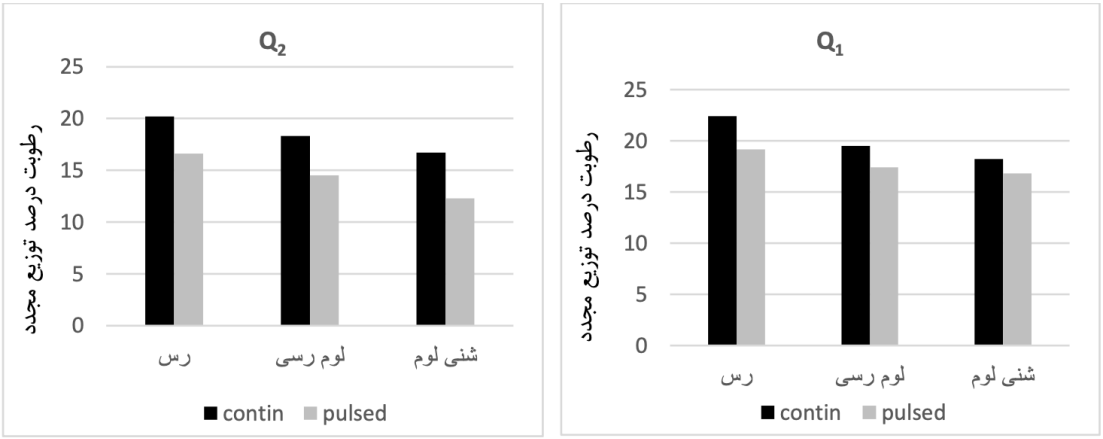
مطالعات حاجی‌راد و همکاران (۱۴۰۰) در زمینه بررسی توزیع رطوبت در خاک لوم در شرایط کم‌آبیاری پالسی نشان داد که استفاده از مدیریت پالسی در شرایط کم‌آبیاری (کاهش ۲۰ درصدی نیاز آبی گیاه) توزیع رطوبتی بهتری را در منطقه توسعه ریشه گیاه ذرت علوفه‌ای فراهم کرده است اما اعمال مدیریت پالسی در شرایط تنش آبی شدید (کاهش ۴۰ درصدی نیاز آبی گیاه) شرایط را برای نفوذ موثر آب در منطقه توسعه ریشه گیاه فراهم نکرده است و توزیع رطوبت در لایه سطحی خاک با در معرض تبخیر قرار دادن رطوبت خاک سبب تشدید شرایط تنش آبی گیاه شده است.

محمدبیگی و همکاران (۱۳۹۵) نیز به بررسی و مقایسه توزیع مجدد رطوبت در خاک تحت آبیاری قطره‌ای با جریان پیوسته و پالسی پرداختند. دبی قطره‌چکان‌های ۲/۴ و ۸ لیتر بر ساعت برای سه بافت خاک مختلف (رسی، لوم رسی و شن لومی) استفاده شد. نتایج نشان داد که درصد توزیع مجدد رطوبت به کل رطوبت در جهت افقی (شکل ۸) و عمودی قابل توجه بوده و در خاک رسی برای دبی ۲/۴ لیتر در ساعت و در جهت عمودی به ۲۳ درصد نیز می‌رسد (شکل ۹). نتایج نشان داد که در جهت افقی مقدار توزیع مجدد رطوبت در خاک‌هایی با بافت سبک نسبت به خاک‌هایی با بافت سنگین بیشتر می‌باشد. پژوهشگران بیان کردند که در آبیاری پیوسته به مدت هفت ساعت (زمان

آبیاری) توزیع رطوبت در خاک صورت گرفته است و پس از قطع ابیاری توزیع مجدد رطوبت در خاک آغاز گشته است. این در حالی است که در مدیریت آبیاری پالسی پس از هر یک ساعت ابیاری یک ساعت زمان قطع جریان در نظر گرفته شده است بنابراین توزیع مجدد رطوبت در خاک در این فاصله زمانی قبل از شروع پالس بعدی ابیاری اتفاق می‌افتد. بنابراین نتایج پژوهش نشان می‌دهد که توزیع رطوبت در خاک در آبیاری پیوسته کمتر از آبیاری پالسی بوده ولی توزیع مجدد آن در جهت افقی و عمودی در آبیاری پیوسته بیشتر از پالسی بوده است.



شکل ۸. درصد توزیع مجدد رطوبت به کل رطوبت خاک در جهت افقی در بافت های خاک مختلف برای آبیاری پالسی و پیوسته (محمدبیگی و همکاران، ۱۳۹۵).



شکل ۹. درصد توزیع مجدد رطوبت به کل رطوبت خاک در جهت عمودی در بافت های خاک مختلف برای آبیاری پالسی و پیوسته (محمدبیگی و همکاران، ۱۳۹۵).

کریمی و کریمی (۱۴۰۰) به ارزیابی الگوی خیس‌شدگی رطوبت در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با جریان پالسی و پیوسته پرداختند. بدین منظور سه بافت خاک مختلف (سبک، متوسط و سنگین)، سه دبی قطره‌چکان (۲، ۴ و ۶ لیتر در ساعت) و دو عمق مختلف نصب قطره‌چکان (۱۵ و ۳۰ سانتی‌متر) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی پالسی با افزایش فاصله استراحت بین پالس‌های آبیاری عرض پیاز رطوبتی افزایش یافته و جبهه رطوبتی در جهت افقی بیشتر حرکت می‌کند. هم‌چنین به ازای حجم آب آبیاری یکسان توزیع افقی رطوبت در دبی‌های کم بیشتر از دبی‌های بالا بود. بیشترین عمق خیس‌شدگی نیز در بافت سبک با دبی قطره‌چکان زیاد و در بافت سنگین با دبی قطره‌چکان کم مشاهده گردید. به‌طور کلی نتایج تحقیق نشان داد که در مدیریت پالسی با تغییر نسبت پالس می‌توان بهترین توزیع افقی و عمودی جبهه رطوبتی را باتوجه به شرایط مزرعه و نوع گیاه کشت شده تعیین کرد.

تاثیر مدیریت پالسی بر گرفتگی قطره‌چکان‌های آبیاری

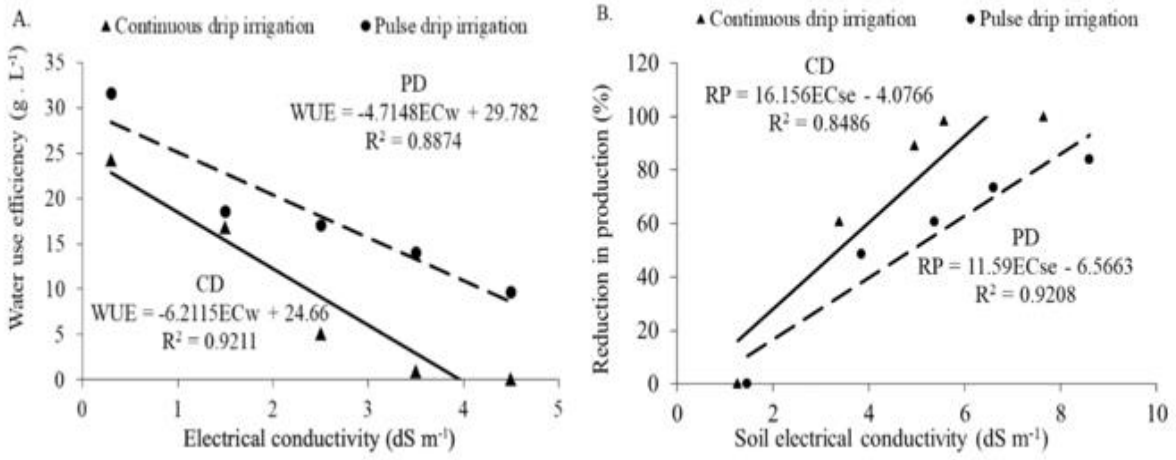
نتیجه مطالعات مختلف نشان داده است که الگوی خیس‌شدگی حاصل از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای پالسی دارای قطره‌چکان‌هایی با نرخ دبی بالا مشابه با الگوی خیس‌شدگی حاصل از مدیریت پیوسته در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای دارای قطره‌چکان‌هایی با نرخ دبی پایین

است. بنابراین مدیریت پالسی با فراهم کردن امکان استفاده از قطره‌چکان‌هایی با نرخ دبی بالا که دارای روزنه بزرگ‌تر می‌باشند می‌تواند مشکل گرفتگی قطره‌چکان‌های آبیاری را تا حدی مرتفع سازد. Jackson & Kay (1987) مطالعه‌ای انجام دادند که با افزایش قطر روزنه قطره‌چکان‌ها و استفاده از مدیریت پالسی، مشکل گرفتگی قطره‌چکان‌ها تا حد زیادی مرتفع شد. روش افزایش قطر روزنه قطره‌چکان برای کاهش گرفتگی آن منجر به افزایش دبی خروجی قطره‌چکان و تغییر در ابعاد پیاز رطوبتی خاک می‌گردد که ممکن است اثرات منفی بر دسترسی گیاه به آب و موادغذایی داشته باشد. پژوهشگران شواهدی ارایه کردند که نشان می‌دهد الگوی خیس‌شدگی خاک را می‌توان در دبی‌های بالا با استفاده از مدیریت پالسی جریان حفظ کرد.

تاثیر مدیریت پالسی بر توزیع نمک و نیترات در خاک

مطالعات محدودی در رابطه با بررسی تاثیر استفاده از آبیاری قطره‌ای پالسی بر توزیع نمک و نتیرات در خاک انجام شده است و نیاز است بررسی‌های بیشتری در این زمینه صورت گیرد. نتایج مطالعات اندک انجام شده در این زمینه حاکی از این است که مدیریت پالسی نقش مثبتی بر توزیع نمک و نیترات در محدوده توسعه ریشه گیاه دارد. Huang et al. (2018) آزمایش‌های گلدانی شامل چهار سطح مختلف نیتروژن و دو مدیریت آبیاری مختلف پیوسته و پالسی را برای بررسی اثر مدیریت پالسی بر تجمع رطوبت و نیتروژن در خاک انجام دادند. نتایج نشان داد که آبیاری پیوسته می‌تواند میزان رطوبت را در اطراف قطره چکان آبیاری افزایش دهد درحالی‌که توزیع افقی رطوبت خاک را در مقایسه با آبیاری پالسی به ویژه در لایه‌های عمیق خاک کاهش می‌دهد. براساس نتایج به‌دست آمده در دو مرحله رشد بوتینگ[1] و گلدهی[2] ذرت که دوره‌های اوج مصرف آب و کود هستند مقدار نیتروژن آمونیوم (NH^{4}_{+}) و نیتروژن نیترات (NO^{-}_{3}) در تیمار مدیریت پالسی در عمق ۲۰–۳۵ سانتی‌متری خاک بیشترین مقدار را داشت. این عمق از خاک بیان‌گر عمق فعال ریشه ذرت می‌باشد که با فراهم کردن مقدار نیتروژن بیشتر برای گیاه امکان رشد و نمو بهتر محصول را ایجاد می‌کند.

Almeida et al. (2018) نیز اثر آبیاری قطره‌ای تحت مدیریت پالسی و پیوسته با آب شور را بر عملکرد و بهره‌وری آب لوبیا سبز مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزایش شوری آب آبیاری در محدوده ۰/۳ تا ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر، آب مصرفی گیاه (جذب آب توسط ریشه گیاه) در مدیریت پیوسته به‌طور متوسط ۶۴ درصد و در مدیریت پالسی ۴۸ درصد کاهش پیدا کرد (شکل ۱۰). آبیاری قطره‌ای پالسی خاک را برای مدت طولانی‌تری مرطوب نگه می‌دارد و حجم آب شوری که ابتدا وارد خاک می‌گردد نسبت به مدیریت پیوسته کم‌تر بوده و درنتیجه مقدار املاح تجمع‌یافته در خاک نیز کم‌تر می‌شود که اثرات مخرب نمک را به تاخیر انداخته و امکان رشد و توسعه بیشتر محصول را فراهم می‌آورد. به ازای هر واحد افزایش شوری بهره‌وری آب در مدیریت پیوسته به‌طور متوسط ۲۵/۲ درصد و در مدیریت پالسی ۱۵/۸ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین پژوهشگران اظهار داشتند که در شرایط استفاده از آب شور برای آبیاری، مدیریت پالسی اثرات منفی آب شور بر عملکرد محصول را کاهش و بهره‌وری آب را نسبت به مدیریت پیوسته در شرایط مشابه افزایش می‌دهد.



شکل ۱۰. تغییرات کاهش عملکرد محصول لوبیا سبز (a) و بهره‌وری آب (b) به‌صورت تابعی از شوری آب آبیاری تحت مدیریت پیوسته و پالسی (Almeida et al, 2018).

1. Booting Stage
2. Tasseling Stage

Arriero et al. (2020) اثر آبیاری قطره‌ای پالسی با آب شور و پساب را بر عملکرد و بهره‌وری آب بادمجان مورد مطالعه قرار دادند. مدیریت پالسی به‌صورت تقسیم عمق آب آبیاری به شش پالس با فاصله زمانی ۳۰ دقیقه فاز استراحت اعمال شد. تیمارهای کیفیت آبیاری شامل تامین آب از منبع (W1)، آب شورNaCl (W2)، آب شور CaCl2 (W3)، پساب (W4) و ترکیب آب شور NaCl و پساب (W5) بودند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که کم‌ترین عملکرد محصول مربوط به تیمار W3 با مدیریت پالسی بود و بالاترین عملکرد محصول نیز مربوط به تیمار W1 با مدیریت پیوسته بود که البته در مدیریت پیوسته اختلاف معنی‌داری بین کیفیت‌های مختلف آب آبیاری مشاهده نشد. حداکثر بهره‌وری آب مربوط به تیمار W4 با مدیریت پالسی بود که تنها با تیمار W3 اختلاف معنی‌داری داشت و کم‌ترین بهره‌وری آب نیز مربوط به تیمار W4 با مدیریت پیوسته بود که در شرایط مدیریت پالسی حدود ۵۸ درصد بهره‌وری آب بالاتری نسبت به مدیریت پیوسته داشت. تیمار W3 با مدیریت پیوسته حدود ۳۹ درصد بهره‌وری آب بالاتری نسبت به مدیریت پالسی داشت. به‌طور کلی مطابق نتایج به‌دست آمده در تیمار W2 و W4 مدیریت پالسی نتایج بهتری نسبت به مدیریت پیوسته ارائه کرد. همچنین استفاده از پساب به‌همراه مدیریت پالسی نیز در گیاه بادمجان نتایج مطلوب‌تری از نظر عملکرد محصول و بهره‌وری آب نسبت به مدیریت پیوسته به‌همراه داشت.

شبیه‌سازی ابعاد پیاز رطوبتی در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

برای طراحی و بهره‌برداری کارآمدتر از سیستم‌های آبیاری قطره ای، اطلاع از الگوی خیس شدگی اطراف قطره‌چکان‌ها در خاک‌های مختلف و تحت دبی‌های آبیاری متفاوت ، اطمینان از تحویل دقیق آب و مواد غذایی به منطقه توسعه ریشه گیاه، برنامه‌ریزی آبیاری و منطبق کردن الگوی خیس شدگی خاک با الگوی رشد ریشه گیاه مورد نیاز می‌باشد (Thorburn et al., 2003; Bristow et al., 2000; Lubana et al., 2002; Kandelous and Simunek, 2010).

عدم وجود اطلاعات کافی در رابطه با تغییرات زمانی و مکانی الگوی خیس شدگی خاک می‌تواند منجر به مدیریت نامطلوب و بهره‌وری آب پایین در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای گردد (Lubana & Narda, 2001). بدین منظور کارخانه‌های سازنده قطره‌چکان‌ها یا موسسات تحقیقات آب و خاک جداول و نمودارهای مختلفی ارائه داده‌اند که مورد استفاده طراحان و متخصصان قرار می‌گیرد. به‌طور نمونه Keller & Bliesner (1990) جدولی ارائه کرده‌اند که مساحت خیس شده در زیر یک قطره‌چکان با دبی چهار لیتر در ساعت و برای سه نوع بافت خاک درشت، ریز و متوسط را ارئه می‌دهد. شکل و حجم خاک خیس شده و توزیع مکانی رطوبت در یک سیستم آبیاری قطره‌ای با توجه به ویژگی‌های هیدرولیکی خاک، دبی قطره‌چکان‌ها، فاصله و موقعیت قرارگیری قطره‌چکان‌ها (روی سطح خاک یا زیر سطح خاک)، عمق و دور آب آبیاری، نرخ جذب ریشه و الگوی توزیع ریشه متغیر است (Bresler, 1977; Lubana et al., 2002). بنابراین استفاده از جداولی مانند جدول Keller & Bliesner (1990) نمی‌تواند دقت کافی برای تعیین ابعاد پیاز رطوبتی در شرایط مختلف را دارا باشد. به‌طور کلی روش‌های مورد استفاده برای شبیه‌سازی ابعاد پیاز رطوبتی در آبیاری قطره‌ای را می‌توان در سه دسته کلی مدل‌های عددی، تحلیلی و تجربی تقسیم‌بندی کرد. پژوهشگران زیادی برای حل معادله ریچاردز از روش‌های عددی استفاده کرده‌اند. روش‌های عددی که برای حل معادله ریچاردز مورد استفاده قرار می‌گیرند با وجود دقت بالایی که دارند از لحاظ محاسباتی سنگین، وقت‌گیر و نیازمند اطلاعات جزئی در رابطه با ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌باشند. بنابراین استفاده از این مدل‌ها نیازمند فرضیات ساده‌سازی زیادی است که کاربرد آن‌ها را محدود به شرایط منطقه مورد مطالعه می‌کند. یک از مدل‌های عددی شناخته شده در این زمینه، مدل عددی هایدروس (HYDRUS) می‌باشد که برای شبیه‌سازی جریان آب، املاح و گرما به صورت دو بعدی و سه بعدی در محیط اشباع مورد استفاده قرار می‌گیرد (Subbaiah, 2013; Naglič et al., 2014; Cote et al., 2003). محققین زیادی الگوی خیس‌شدگی اطراف قطره‌چکان آبیاری را با روش‌های تحلیلی مختلف مورد بررسی قرار داده‌اند هرچند استفاده از این روش‌ها برای کاربردهای عملی مانند طراحی سیستم‌های آبیاری فراگیر نشده است (Cook et al., 2003; Moncef et al., 2002; Moncef & Khemaise, 2016).

مدل‌های تجربی زیادی برای تعیین هریک از پارامترهای رطوبت خاک، شعاع پیاز رطوبتی، حجم پیاز رطوبتی، عمق خیس‌شدگی، مرزها و شکل حجم خیس شده خاک به‌صورت تابعی از حجم آب کاربردی، تخلخل خاک و پارامترهای زودیافت خاک (هدایت هیدرولیکی اشباع یا نرخ نفوذپذیری طولانی‌مدت) بر اساس روش‌های رگرسیونی، آنالیز ابعادی و شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از مشاهدات مزرعه‌ای توسعه یافته‌اند. روش‌های تجربی در شرایطی مورد استفاده قرار می‌گیرند که اطلاعات مربوط به ویژگی‌های هیدرولیکی خاک (موردنیاز در مدل‌های تحلیلی و عددی) در دسترس نباشد و سهولت محاسباتی از اهمیت بالایی برخوردار باشد. مطالعات مختلفی در این

زمینه در خارج از کشور (Schwartzman & Zur, 1986; Amin & Ekhmaj, 2006; Singh et al., 2006; Malek and Peters, 2011; Al-Ogaidi et al., 2016) و داخل کشور انجام شده است (کندلوس و همکاران، ۱۳۸۷، میرزایی و همکاران، ۱۳۹۹، کریمی و همکاران، ۱۳۹۳).

شبیه‌سازی ابعاد پیاز رطوبتی در سامانه آبیاری قطره‌ای پالسی

معادلات تجربی ارائه شده در تحقیقات پیشین برای برآورد ابعاد پیاز رطوبتی در شرایط آبیاری پیوسته صادق بودند لذا مطالعات مختلفی در زمینه ارائه معادلات تجربی در شرایط مدیریت پالسی توسط محققان در داخل و خارج از کشور انجام شده است که خلاصه آن در جدول (۲) ارائه می‌گردد. در این زمینه Ismail et al, (2014) معادلات ارائه شده توسط Schwartzman & Zur (1986) را برای آبیاری قطره‌ای سطحی در شرایط پالسی اصلاح کردند. آن‌ها با استفاده از آنالیز ابعادی معادلاتی را برای برآورد عمق و عرض پیاز رطوبتی در حالت آبیاری پالسی و پیوسته در خاک شنی به‌صورت تابعی از دبی قطره‌چکان، زمان آبیاری و هدایت هیدرولیکی اشباع ارائه کردند. نتایج نشان داد که تحت شرایط آبیاری پالسی کارایی مدل برای برآورد عمق و عرض پیاز رطوبتی به ترتیب ۸۶٪ و ۷۹٪ بود که نشان‌دهنده توانایی قابل قبول مدل می‌باشد و می‌توان از این معادلات برای برآورد عمق و عرض پیاز رطوبتی تحت شرایط جریان پالسی در یک سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی استفاده کرد. کریمی و کریمی (۱۳۹۹) مساحت خیس‌شده پیاز رطوبتی در سیستم آبیاری قطره‌ای پالسی را با استفاده از مدل رگرسیون غیرخطی برای سه نوع بافت خاک سبک، متوسط و سنگین با سه نوع دبی قطره‌چکان در سه عمق مختلف نصب مورد بررسی قرار دادند. زمان قطع و وصل پالس‌های آبیاری به‌صورت ۳۰–۳۰، ۲۰–۴۰ و ۴۰–۲۰ دقیقه بود. با درنظر گرفتن متغیرهای زمان آبیاری، دبی قطره‌چکان، هدایت هیدرولیکی اشباع، درصد شن و رس و سیلت، چگالی ظاهری خاک، رطوبت اولیه خاک، عمق نصب قطره‌چکان و هم‌چنین نسبت پالس، روابطی را برای تخمین سطح خیس‌شده جبهه رطوبتی بالا و پایین قطره‌چکان ارائه کردند. عملکرد مدل‌های پیشنهادی با مقایسه بین داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی‌شده مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل‌های تجربی پیشنهادی توانایی قابل قبولی در پیش بینی سطح خیس‌شده دارند. محمدبیگی و همکاران (۱۳۹۵) نیز توزیع رطوبت خاک اطراف قطره‌چکان در آبیاری قطره‌ای پالسی و پیوسته را به‌روش آنالیز ابعادی مورد بررسی قرار دادند. سه تیمار بافت خاک سنگین، متوسط و سبک، دو تیمار دبی قطره‌چکان و دو روش آبیاری قطره‌ای پالسی و پیوسته به‌کار گرفته شد. در روش پالسی پس از هر یک ساعت آبیاری یک ساعت استراحت یا قطع آبیاری اعمال شد. پارامترهای به‌کار رفته در معادلات شامل دبی قطره‌چکان، هدایت هیدرولیکی خاک، حجم آب نفوذ یافته در خاک و زمان آبیاری بودند. ارزیابی شاخص‌های آماری نشان داد که عملکرد معادله‌های پیشنهادی در سطح مطلوب قرار داشته و نتایج آن‌ها از اعتبار قابل ملاحظه‌ای برخوردار می‌باشد. البته باید توجه داشت که اگرچه معادلات ارائه شده در این پژوهش در شرایط آبیاری قطره‌ای پالسی حاصل شده است اما معادلات شامل پارامتری که بیان‌گر نحوه اعمال مدیریت پالسی در آبیاری قطره‌ای باشد، نیست. محمدی و همکاران (۱۴۰۰) نیز با استفاده از روش آنالیز ابعادی معادلاتی را برای برآورد ابعاد پیاز رطوبتی خاک رسی تحت سامانه آبیاری قطره‌ای توسعه دادند. تیمارهای مورد بررسی شامل مدیریت پالسی (اعمال عمق آبیاری در دو، سه و چهارپالس) و زمان‌بندی قطع جریان (یک برابر و سه برابر زمان وصل جریان) بودند. معادلات تجربی ارائه شده تابعی از دبی قطره‌چکان آبیاری، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، حجم آب کاربردی و نسبت پالس آبیاری به‌عنوان معیاری از نحوه اعمال مدیریت‌های مختلف پالسی بودند. نتایج آنالیز اماری نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر برآوردی معادلات تجربی توسعه داده شده و مقادیر مشاهداتی عمق و عرض پیاز رطوبتی وجود نداشت. پژوهشگران هم‌چنین نتایج حاصل از برآورد ابعاد پیاز رطوبتی خاک با معادلات تجربی توسعه داده شده را با نتایج مدل عددی هایدروس در شرایط مدیریت پالسی مقایسه کردند. اگرچه مدل عددی هایدروس دقت بالاتری در شبیه‌سازی ابعاد پیاز رطوبتی داشت اما باتوجه به سهولت کاربرد و نیاز به داده‌های ورودی کم‌تر، پژوهشگران استفاده از مدل تجربی را برای طراحی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با مدیریت پالسی توصیه کردند.

Mirzaei & beigi (2020) نیز با استفاده از روش آنالیز ابعادی معادلاتی را برای توزیع پتاسیم در سه نوع بافت خاک مختلف (شنی، لومی و رسی) تحت مدیریت پالسی و پیوسته توسعه دادند. تجمع پتاسیم در این معادلات به‌صورت تابعی از رطوبت اولیه و پتاسیم اولیه خاک، هدایت هیدرولیکی خاک، حجم آب موجود در خاک و دبی خروجی قطره‌چکان بیان شدند. ارزیابی معادلات توسعه یافته نشان داد که مدل‌های توسعه یافته دقت قابل قبولی در تخمین تجمع پتاسیم در خاک در شرایط مدیریت پالسی و پیوسته دارند. بنابراین می‌توان از این مدل‌ها به‌عنوان ابزاری جهت مدیریت کودآبیاری در مزارع استفاده کرد.

جدول ۲. معادلات تجربی ارائه شده برای شبیه‌سازی الگوی خیس‌شدگی خاک در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای.

معادلات ارائه شده عمق (D) و عرض (W) پیاز رطوبتی در مدیریت پالسی	پارامترهای معادله	روش مورد استفاده	نوع سیستم آبیاری و مدیریت	بافت خاک	منابع
$D = 1.202(K_s)^{-0.2}T^{0.2}(Q_p)^{0.4}\ CR^{0.369}$ $Z = 1.183(K_s)^{0.196}T^{0.465}(Q_p)^{0.267}CR^{0.295}$	دبی قطره‌چکان، زمان آبیاری و هدایت هیدرولیکی اشباع، نسبت مدت زمان فازآبیاری به کل زمان آبیاری	آنالیز ابعادی	سطحی با مدیریت پالسی	شنی	Ismail et al., (2014)
$D = 10.716\ \forall^{0.7927}\ PR^{-0.2073}\left(\frac{K_s}{q}\right)^{0.6891}$ $W = 10.777\ \forall^{0.6682}\ PR^{-0.3318}\left(\frac{K_s}{q}\right)^{0.5023}$	دبی قطره‌چکان، حجم آب کاربردی، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، نسبت جریان پالسی	آنالیز ابعادی	سطحی با مدیریت پالسی	رسی	Mohammadi et al., (2021b)
$A_d = at^{a_1}q^{a_2}K_s{}^{a_3}S^{a_4}Si^{a_5}C^{a_6}\rho_b{}^{a_7}\theta_i{}^{a_8}$	زمان آبیاری، دبی قطره‌چکان، هدایت هیدرولیکی اشباع، درصد شن و رس و سیلت، چگالی ظاهری خاک، رطوبت اولیه خاک، عمق نصب قطره‌چکان و همچنین نسبت پالس	رگرسیون غیرخطی	سطحی با مدیریت پالسی	سبک، متوسط و سنگین	Karimi & Karimi, (2020)
$D = 9.21\ K_s^{0.73}q^{0.0755}t^{0.85}$ $Z = 13.22\ K_s^{0.715}q^{0.095}t^{0.81}$	دبی قطره‌چکان، هدایت هیدرولیکی خاک، حجم آب نفوذ یافته در خاک و زمان آبیاری	آنالیز ابعادی	سطحی با مدیریت پیوسته و پالسی	سبک، متوسط و سنگین	Mohammadbeigi et al., (2016)
$K(x,y) = 0.072\frac{G^{1.5}}{\theta_o K_0^{0.5}}\left(\frac{K_s}{q}\right)^{-1.391.}R^{-0.396}V^{-0.795}$	رطوبت اولیه و پتاسیم اولیه خاک، هدایت هیدرولیکی خاک، حجم آب موجود در خاک و دبی خروجی قطره‌چکان	آنالیز ابعادی	سطحی با مدیریت پیوسته و پالسی	شنی، لومی و رسی	Mirzaei & Beigi, (2020)

نتیجه‌گیری

اطلاع از ابعاد پیاز رطوبتی خاک می‌تواند راهنمایی برای مدیریت صحیح و کارآمد سامانه‌های آبیاری قطره‌ای جهت تامین نیاز آبی گیاه باشد. مطابقت پیاز رطوبتی تشکیل شده در خاک با الگوی رشد ریشه باعث می‌شود آب و مواد غذایی به‌درستی در اختیار گیاه قرار گیرد و از هدررفت و آب و مواد مغذی جلوگیری شود. بنابراین پژوهشگران به‌دنبال راهکارهای مدیریتی هستند که امکان تطابق هرچه بیشتر پیاز رطوبتی خاک با الگوی رشد ریشه را فراهم کنند. راهکارهای مدیریتی مختلفی که توسط پژوهشگران مورد استفاده قرار گرفته‌اند عبارتند از: تنظیم دور و عمق آبیاری، استفاده از مانع فیزیکی، مانع کاپیلاری و مانع هیدرولیکی و استفاده از تکنیک مدیریت پالسی. هرکدام از راهکارهای ارائه شده دارای مزایا و معایبی می‌باشند که می‌توان باتوجه به شرایط بافت خاک و گیاه و درنظر گرفتن هزینه‌ها گزینه مناسب را انتخاب و مورد استفاده قرار داد.

مدیریت پالسی در آبیاری قطره‌ای شامل یک سری چرخه‌های قطع و وصل جریان می‌باشد. وجود فاز قطع جریان در این نوع مدیریت باعث می‌شود پس از هر پالس آبیاری فرصت کافی برای توزیع مجدد رطوبت در خاک فراهم شود. نتایج تحقیقات مختلفی که در زمینه استفاده از آبیاری قطره‌ای پالسی در دنیا و ایران انجام شده است نشان می‌دهد مدیریت پالسی امکان بهبود پیاز رطوبتی تشکیل شده در خاک تحت سامانه آبیاری قطره‌ای را دارد. در خاک‌هایی با بافت سبک باعث کاهش نفوذ عمقی و درنتیجه کاهش هدررفت آب و مواد مغذی می‌گردد و در خاک‌هایی با بافت سنگین باعث هوادهی محیط ریشه و توزیع مناسب‌تر آب و مواد مغذی در منطقه توسعه ریشه گیاه می‌گردد که می‌تواند بهبود عملکرد محصول را در پی داشته باشد. همچنین نتایج بررسی‌ها نشان داده است که پیاز رطوبتی تشکیل شده در خاک اطراف قطره‌چکان‌هایی با نرخ دبی بالا در صورت استفاده از مدیریت پالسی مشابه پیاز رطوبتی حاصل از قطره‌چکان‌هایی با نرخ دبی پایین است. باتوجه به این‌که در قطره‌چکان‌هایی با نرخ دبی پایین کوچک بودن روزنه قطره‌چکان مشکلات گرفتگی را در پی دارد، با استفاده از مدیریت پالسی که امکان کاربرد قطره‌چکان با دبی بالاتر را فراهم می‌کند، می‌توان تا حدودی مشکلات مربوط به گرفتگی قطره‌چکان‌ها را کاهش داد. همچنین در مواردی که تنش آبی شدید اعمال می‌گردد استفاده از مدیریت پالسی در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای توصیه نمی‌شود چراکه تقسیط حجم کم آبیاری در هر نوبت باعث می‌گردد فقط لایه سطحی خاک خیس شده و رطوبت موردنیاز در عمق

توسعه ریشه گیاه تامین نگردد. اطلاع از الگوی خیس‌شدگی اطراف قطره‌چکان آبیاری در طراحی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای از لحاظ انتخاب فاصله بهینه بین قطره‌چکان‌های آبیاری و لوله‌های لترال و عمق نصب بهینه آن‌ها و هم‌چنین مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری اهمیت دارد. الگوی خیس‌شدگی اطراف یک قطره‌چکان آبیاری را می‌توان با استفاده از اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای، حل عددی و تحلیلی معادلات حاکم بر جریان و مدل‌های شبیه‌سازی به دست آورد. اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای الگوی خیس‌شدگی هزینه‌بر و زمان‌بر بوده و فقط مختص شرایط محل اندازه‌گیری است. بنابراین امروزه استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی توزیع رطوبت در خاک با توجه به محیط کاربرپسندی که دارند، گسترش یافته است. مدل‌های شبیه‌سازی توزیع رطوبت مانند مدل HYDRUS از روش‌های عددی برای حل معادلات جریان استفاده می‌کنند. باتوجه به این‌که این مدل‌ها با وجود داشتن دقت کافی، نیاز به داده‌های ورودی زیادی دارند، برخی پژوهشگران استفاده از مدل‌های تجربی شبیه‌سازی الگوی خیس‌شدگی خاک را پیشنهاد می‌کنند. مدل‌های تجربی اگرچه نسبت به مدل‌های عددی و تحلیلی دقت پایین‌تری دارند اما به تعداد پارامترهای ورودی کمتری نیاز دارند. بنابراین در طراحی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و اطلاع اولیه از ابعاد کلی پیاز رطوبتی اطراف قطره‌چکان آبیاری می‌توانند مفید باشند. مطالعات مختلفی در داخل و خارج از کشور به ارائه معادلات تجربی برآورد ابعاد پیاز رطوبتی در شرایط آبیاری قطره‌ای پالسی پرداخته است. در رابطه با توزیع نمک و نیترات تحت سامانه آبیاری قطره‌ای پالسی نیز نتایج مثبتی توسط پژوهشگران گزارش شده است اما باتوجه به اهمیت موضوع نیاز به تحقیقات گسترده‌تری در این زمینه می‌باشد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

حاجی‌راد، ایمان؛ میرلطیفی، مجید؛ دهقانی‌سانیج، حسین و محمدی، ساناز. (۱۴۰۰). تأثیر سطوح مختلف آبیاری قطره‌ای پالسی بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای. *مدیریت آب و آبیاری*، ۱۱(۲)، ۸۷-۹۸.

حاجی‌راد، ایمان؛ میرلطیفی، مجید؛ دهقانی‌سانیج، حسین و محمدی، ساناز. (۱۴۰۰). تأثیر دو نوع مدیریت آبیاری بر شاخص‌های رشد ذرت علوفه‌ای در اقلیم خشک و نیمه‌خشک. *آبیاری و زهکشی*، ۱۵(۶)، ۱۴۴۴- ۱۴۵۸.

حاجی راد، ایمان؛ میرلطیفی، سیدمجید؛ دهقانی‌سانیج، حسین و محمدی، ساناز. (۱۴۰۰). بررسی تأثیر کم‌آبیاری بر عمکرد و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای در صورت استفاده از دو نوع مدیریت مختلف در سیستم آبیاری قطره ای. *پژوهش آب ایران*، ۱۵ (۳)، ۱۵-۲۳.

حاجی راد، ایمان؛ میرلطیفی، سیدمجید؛ دهقانی‌سانیج، حسین و محمدی، ساناز. (۱۴۰۰). برآورد ضریب گیاهی و ضریب تنش آبی ذرت علوفه‌ای تحت سطوح مختلف آبیاری به روش بیلان آب خاک (مطالعه موردی: دشت ورامین). *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۹(۲)، ۲۳۵۹-۲۳۷۱.

حاجی راد، ایمان؛ میرلطیفی، سیدمجید؛ دهقانی‌سانیج، حسین و محمدی، ساناز. (۱۴۰۰). تعیین تبخیر- تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای به روش بیلان آب خاک تحت سطوح مختلف آبیاری قطره‌ای با مدیریت پالسی و پیوسته (مطالعه موردی: دشت ورامین). *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۲(۷)، ۱۸۶۹-۱۸۸۰.

کریمی، بختیار؛ سهرابی، تیمور؛ میرزایی، فرهاد و آبابایی، بهنام. (۱۳۹۳). ارائه روابطی برای پیش‌بینی الگوی توزیع مجدد رطوبت خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به روش آنالیز ابعادی. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۱(۶)، ۲۲۳-۲۳۷.

کریمی، بختیار، و کریمی, نظیر. (۱۳۹۹). شبیه‌سازی مساحت خیس شده پیاز رطوبتی در سیستم آبیاری قطره‌ای پالسی. *آب و خاک*. ۳۴(۲)، ۳۴۹-۳۶۴.

کریمی، بختیار، و کریمی، نظیر. (۱۴۰۰). ارزیابی الگوی جبهه پیشروی رطوبت در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با جریان پیوسته و پالسی. *مهندسی منابع آب*، ۱۴(۵۱)، ۲۱-۳۹.

کندولوس ملائی، مازیار؛ عبدالمجید، لیاقت و عباسی، فریبرز. (۱۳۸۷). برآورد ابعاد پیاز رطوبتی در آبیاری قطرهای زیرسطحی با استفاده از آنالیز ابعادی. علوم کشاورزی ایران، ۳۹(۲)، ۳۷۱-۳۷۸.

محمدبیگی، آرش؛ میرزایی، فرهاد و اشرف، نگین. (۱۳۹۵). بررسی و مقایسه توزیع مجدد رطوبت در آبیاری قطره‌ای با جریان پالسی و جریان پیوسته. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۴۷(۳)، ۴۶۷-۴۷۳.

محمدبیگی، آرش؛ میرزایی، فرهاد و اشرف، نگین. (۱۳۹۵). شبیه سازی توزیع رطوبت خاک اطراف قطره چکان در آبیاری قطره ای پالسی و پیوسته به روش آنالیز ابعادی. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۳ (۶)، ۱۶۳-۱۸۰.

محمدی، ساناز؛ میرلطیفی، مجید؛ دهقانی‌سانیج، حسین و همایی، مهدی. (۱۳۹۹). تأثیر مدیریت پالسی در سیستم آبیاری قطره‌ای بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۱(۱۲)، ۳۱۳۵-۳۱۴۵.

محمدی، ساناز؛ میرلطیفی، سیدمجید؛ همایی، مهدی؛ دهقانی‌سانیج، حسین و حاجی‌راد، ایمان. (۱۴۰۰). تعیین ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای در سیستم

آبیاری قطره‌ای پالسی به‌روش بیلان آب خاک در منطقه ورامین. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۲(۵)،۱۲۲۳-۱۲۳۷.

محمدی، ساناز؛ میرلطیفی، سیدمجید؛ دهقانی‌سانیج، حسین؛ حاجی‌راد، ایمان و همایی، مهدی. (۱۴۰۰). مدل‌سازی ابعاد پیاز رطوبتی خاک تحت سامانه آبیاری قطره‌ای پالسی به‌روش آنالیز ابعادی و مقایسه با مدل عددیHYDRUS-2D . *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۲(۷)، ۱۹۰۳-۱۹۱۳.

محمدی، ساناز؛ میرلطیفی، مجید؛ دهقانی‌سانیج، حسین؛ حاجی‌راد، ایمان و همایی، مهدی. (۱۴۰۱). شبیه‌سازی و بررسی توزیع رطوبت و جبهه رطوبتی در یک خاک رسی تحت آبیاری قطره‌ای با مدیریت پالسی. *پژوهش آب ایران*، ۱۶(۲)، ۵۷-۶۹.

میرزایی شیرکوهی اصل, فرهاد؛ ال‌کثیر، زینب و معینی قراگوزلو، احمدرضا. (۱۳۹۹). ارائه مدلی برای برآورد ابعاد بخش مرطوب خاک در آبیاری قطره‌ای در خاک‌لایه‌دار به روش آنالیز ابعادی. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۴(۲)، ۵۷۰ -۵۷۸.

REFERENCES

Abd-Elhakim, A., Elmeadawy, M., El-Sybaee, I. & Egela, M. (2021). Effect Use of Pulsed Deficit Drip Irrigation for Tomato Crop in Greenhouse powered by solar energy. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, *38*(1), 1-14.

Abdelraouf, R. E., Azab, A., Tarabye, H. H. H., & Refaie, K. M. (2019). Effect of pulse drip irrigation and organic mulching by rice straw on yield, water productivity and quality of orange under sandy soils conditions. *Plant Archives*, *19*(2), 2613-2621.

Abuarab, M. E., El-Mogy, M., & Lotfy, A. (2011). Response of green bean to pulse subsurface trickle irrigation. *Misr Society of Agricultural Engineering*, *28*, 1-17.

Almeida, W. F. D., Paz, V. P. D. S., de Jesus, A. P., Silva, J. S. D., Gonçalves, K. S., & Oliveira, A. S. D. (2018). Yield of green beans subjected to continuous and pulse drip irrigation with saline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, *22*, 476-481.

Al-Naeem, M. A. (2008). Use of pulse trickles to reduce clogging problems in trickle irrigation system in Saudi Arabia. *Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBS*, *11*(1), 68-73.

Al-Ogaidi, A. A., Wayayok, A., Rowshon, M. K., & Abdullah, A. F. (2016). Wetting patterns estimation under drip irrigation systems using an enhanced empirical model. *Agricultural Water Management*, *176*, 203-213.

Amin, M. S., & Ekhmaj, A. I. (2006, September). DIPAC-drip irrigation water distribution pattern calculator. In *7th International micro irrigation congress* (Vol. 1016).

Arriero, S. S., Almeida, W. F. D., Paz, V. P. D. S., & Damasceno, L. F. (2020). Yield of eggplant using low quality water and pulse drip irrigation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, *24*, 822-826.

Awady, M. N., Wassif, M. A., Abd-El-Salam, M. F., & El-Farrah, M. A. (2008, March). Moisture distribution from subsurface dripping using saline water in sandy soil. In *The 15th Annual Conference of the Misr Society of Ag Eng. Misr Society of Agricultural Engineering* (pp. 477-496).

Bakeer, G., El-Ebabi, F. & El-Saidi, M. (2009). Effect of pulse drip irrigation on yield and water use efficiency of potato crop under organic agriculture in sandy soils. Misr Journal of Agriculture Engineering, 26: 736-765.

Barth, H. K., & Lamm, E. R. (1995). Resource conservation and preservation through a new subsurface irrigation system. Microirrigation for changing world: Conserving resources/Preserving the environment. Proceed Fifth Intern Microirrigation Cong. Orlando, Florida, 168-174.

Bordovsky, J. P., & Porter, D. (2003). Cotton response to pre-plant irrigation level and irrigation capacity using spray, LEPA, and subsurface drip irrigation. In *2003 ASAE Annual Meeting* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Bresler, E. (1977) Trickle-drip irrigation: principles and application to soil-water management. *Advances in Agronomy*, 29:343–393.

Bristow, K. L., Cote, C. M., Thorburn, P. J., & Cook, F. J. (2000). Soil wetting and solute transport in trickle irrigation systems. In *6th International Micro-irrigation Congress (Micro 2000), Cape Town, South Africa, 22-27 October 2000* (pp. 1-9). International Commission on Irrigation and Drainage (ICID).

Colaizzi, P.D., Schneider, A.D., Evett, S.R. and Howell, T.A. (2004). Comparison of SDILEPA, and spray irrigation performance for grain sorghum. Trans. ASAE, 47: 1477–1492.

Cook, F. J., Thorburn, P. J., Fitch, P., & Bristow, K. L. (2003). WetUp: a software tool to display approximate wetting patterns from drippers. *Irrigation Science*, *22*(3-4), 129-134.

Cote, C. M., Bristow, K. L., Charlesworth, P. B., Cook, F. J., & Thorburn, P. J. (2003). Analysis of soil wetting and solute transport in subsurface trickle irrigation. *Irrigation Science*, *22*(3-4), 143-156.

Eid, A. R., Bakry, B. A. & Taha, M. H. (2013). Effect of pulse drip irrigation and mulching systems on yield,

quality traits and irrigation water use efficiency of soybean under sandy soil conditions. *Agricultural Sciences*, 4: 249-261.

Elawady, M. N., Abd El-Salam, M. F., Elnawawy, M. M., & El-Farrah, M. A. (2003, October). Surface and subsurface irrigation effects on Spinach and sorghum. In *The 4th Annual Conference of Misr Society of Agricultural Engineers* (pp. 118-130).

Elmaloglou, S., & Diamantopoulos, E. (2007). Wetting front advance patterns and water losses by deep percolation under the root zone as influenced by pulsed drip irrigation. *Agricultural water management*, *90*(1-2), 160-163.

Elmaloglou, S., & Diamantopoulos, E. (2009). Effects of hysteresis on redistribution of soil moisture and deep percolation at continuous and pulse drip irrigation. *Agricultural water management*, *96*(3), 533-538.

Elnesr, M. (2012). Subsurface drip irrigation development and modeling of wetting pattern. Lap Lambert Academic.

Elnesr, M. N., & Alazba, A. A. (2015). The effects of three techniques that change the wetting patterns over subsurface drip-irrigated potatoes. *Spanish journal of agricultural research*, *13*(3), e1204-e1204.

Elnesr, M. N., Alazba, A. A., & Šimůnek, J. (2014). HYDRUS simulations of the effects of dual-drip subsurface irrigation and a physical barrier on water movement and solute transport in soils. *Irrigation science*, *32*, 111-125.

Gardenas, A. I., Hopmans, J. W., Hanson, B. R., & Simunek, J. (2005). Two-dimensional modeling of nitrate leaching for various fertigation scenarios under micro-irrigation. *Agricultural water management*, *74*(3), 219-242.

Gendron, L., Létourneau, G., Cormier, J., Depardieu, C., Boily, C., Levallois, R., & Caron, J. (2018). Using pulsed water applications and automation technology to improve irrigation practices in strawberry production. *HortTechnology*, *28*(5), 642-650.

Goyal, M. R. (2015). Research Advances in Sustainable Micro Irrigation, 1st edn. Oakville: Apple Academic Press, Canada.

Hajirad, I., Mirlatifi, S. M., Dehghanisanij, H., & Mohammadi, S. (2021a). Determining yield response factor (ky) of silage maize under different irrigation levels of pulsed and continuous irrigation management. *Central Asian Journal of Plant Science Innovation*, *1*(4), 214-220.

Hajirad, I., Mirlatifi, S. M., Dehghanisanij, H., & mohammadi, S. (2021b). Estimating Silage Maize Crop Coefficient and Water Stress Coefficient under Different Irrigation Levels using Soil Water Balance Method (Case Study: Varamin Region). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(9), 2359-2371. doi: 10.22059/ijswr.2021.326719.669013.

Hajirad, I., Mirlatifi, S. M., Dehghanisanij, H., & mohammadi, S. (2021c). Determining Actual Evapotranspiration of Silage Maize using Soil Water Balance Method under Different Drip Irrigation Levels with Pulsed and Continuous Management (Case Study: Varamin Region). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *52*(7), 1869-1880. doi: 10.22059/ijswr.2021.322095.668940

Hajirad, I., Mirlatifi, S. M., DehghaniSanij, H., & Mohammadi, S. (2021d). Effects of Different Pulsed Drip Irrigation Levels on the Yield and Water Productivity of Silage Maize. *Water and Irrigation Management*, *11*(2), 87-98. (In Persian)

Hajirad, I., Mirlatifi, S. M., Dehaghani Sanich, H., & Mohammadi, S. (2021e). Investigating the effect of deficit irrigation on yield and water productivity of silage maize under pulsed and continuous drip irrigation management. *Iranian Water Researches Journal*, *15*(3), 15-23.

Hajirad, I., Mirlatifi, S. M., Dehghanisanij, H., & Mohammadi, S. (2022). The Effects of Two Irrigation Management on Growth Indices of Silage Maize in arid and semi-arid climates. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *15*(6), 1444-1458. (In Persian)

Hajirad, I., Mirlatifi, S. M., Dehghanisanij, H., & Mohammadi, S. (2019). Soil Wetting Pattern of Drip Irrigated Maize as influenced by Deficit Irrigation and Discharge Rate. *1th International and 4th National Congress on Iranian Irrigation and Drainage* (INCIID 2019).

Hajirad, I., Mohammadi, S., & Dehghanisanij, H. (2023). Determining the critical points of a basin from the point of view of water productivity and water consumption using the wapor database. *Environmental Sciences Proceedings*, 25(1), 86.

Henggeler, J. (1995). A history of drip-irrigated cotton, in Texas Micro-irrigation for a Changing World: Conserving Resources/Preserving the Environment. Proc. Fifth International Micro-irrigation Congress, 669–674

Howell, T.A., Schneider, A. & Evett, S. (1997). Subsurface and surface micro-irrigation of corn—southern high plains. Trans. ASAE, 40: 635–641.

Hozayn, M., El-Monem, A. A. A., Abdelraouf, R. E., & Abdalla, M. M. (2013). Do magnetic water affect water use efficiency, quality and yield of sugar beet (Beta vulgaris L.) plant under arid regions conditions?. *Journal of Agronomy*, *12*(1), 1-10.

Huang, L., Yang, P., Ren, S., & Cui, H. (2018). Effects of continuous and pulse irrigation with different nitrogen applications on soil moisture, nitrogen transport and accumulation in root systems. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, *11*(5), 139-149.

Ismail, S. M., El-abedin, T. Z., Wassif, A., & El-Nesr, M. N. (2006). Drip irrigation systems in sandy soil using physical and hydraulic barriers. Misr J. Ag. Eng, 23(4), 1021-1034.

Ismail, S., Zien-El-Abedin, T., Omara, A. A. & Abdel-Tawab, E. (2014). Modeling the soil wetting pattern under pulse and continus drip irrigation. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 14(9): 913-922.

Ityel, E., Lazarovitch, N., Silberbush, M., & Ben-Gal, A. (2011). An artificial capillary barrier to improve root-zone conditions for horticultural crops: response of pepper, lettuce, melon, and tomato. *Irrigation Science*, 30: 293-301.

Ityel, E., Lazarovitch, N., Silberbush, M., & Ben-Gal, A. (2010). An artificial capillary barrier to improve root zone conditions for horticultural crops: physical effects on water content. *Irrigation science*, 29: 171-180.

Jackson, R. C., & Kay, M. G. (1987). Use of pulse irrigation for reducing clogging problems in trickle emitters. *Journal of Agricultural Engineering Research*, *37*(3-4), 223-227.

Kampf, M., Holfelder, T., & Montenegro, H. (1998). Inspection and numerical simulations of flow processes in capillary barrier cover systems. In Advances in hydro-science and engineering, proceedings of the 3rd international conference on hydro-science and-engineering. Brandenburg University, Cottbus.

Kandelous, M. M., & Šimůnek, J. (2010). Comparison of numerical, analytical, and empirical models to estimate wetting patterns for surface and subsurface drip irrigation. *Irrigation Science*, *28*, 435-444.

Kandelous, M. M., Liaghat, A., & Abbasi, F. (2008). Estimation of soil wetting pattern in subsurface drip irrigation using dimension alanalysis method. *Journal Agricalture Science*. 39(2):371–378. (In Persian)

Kandelous, M. M., Šimůnek, J., Van Genuchten, M. T., & Malek, K. (2011). Soil water content distributions between two emitters of a subsurface drip irrigation system. *Soil Science Society of America Journal*, *75*(2), 488-497.

Karimi, B., & Karimi, N. (2020). Simulation of Wetted Area of Moisture Bulb in Pulsed Drip Irrigation. *Water and Soil*, *34*(2), 349-364. doi: 10.22067/jsw.v34i2.82228 .(In Persian)

Karimi, B., & Karimi, N. (2022). Evaluation of moisture advance front pattern in subsurface drip irrigation with continuous and pulsed flow. *Water Resources Engineering*, *14*(51), 21-38. doi: 10.30495/wej.2022.20462.2120. (In Persian)

Karimi, B., Sohrabi, T., Mirzaei, F., & Ababaei, B. (2015). Developing Equations to Predict the Pattern of Soils Moisture Redistribution in Surface and Subsurface Drip Irrigation Systems Using Dimension Analysis. *Journal of Water and Soil Conservation*, *21*(6), 223-237. (In Persian)

Karmeli, D., & Peri, G. (1974). Basic principles of pulse irrigation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 100(3), 309-319.

Keller, J., & Bliesner, R. D. (1990). *Sprinkle and trickle irrigation* (Vol. 3, No. 5, pp. 86-96). New York: Van Nostrand Reinhold.

Kim, D. H., Kim, J. S., Kwon, S. H., Park, J. M., & Choi, W. S. (2021). Simulation of Soil Water Movement in Upland Soils Under Pulse Irrigation using HYDRUS-2D. *Journal of Biosystems Engineering*, *46*(4), 508-516.

Liu, X.F., Wan, S.Q., Feng, L., Jiang, S.F., Kang, Y.H. & Liu, S.P. (2015). Response of potato yield and irrigation water use efficiency under subsurface drip irrigation at various lateral depths. *Journal of Irrigation and Drainage.* 34: 63–66.

Lubana, P. P. S. & Narda, N. K. (2001). Modelling soil water dynamics under trickle emitters-a review. *Journal of Agriculture Engineering Research*, 78(3): 217–232.

Lubana, P. P. S., Narda, N. K. & Brown, L. C. (2002). Application of a hemispherical model to predict radius of wetted soil volume under point source emitters for trickle irrigated tomatoes in Punjab state. Trans ASABE, 32: 243–257.

Madane, D. A., Mane, M. S., Kadam, U. S., Thokal, R. T., Patil, S. T., Nandgude, S. B., & Dhekale, J. S. (2018). Effect of Pulse Irrigation (Drip) Influencing Different Irrigation Levels on Growth and Yield Parameters of White Onion (Allium cepa L.). *Advanced Agricultural Research & Technology Journal*, *2*(2).

Madane, D. A., Maneb, M. S., Kadamb, U. S., & Thokalc, R. T. (2018). Effect of pulse irrigation (drip) through different irrigation levels on moisture distribution pattern and yield of white onion (Alium cepa L.). *Plant Archives*, 18(1), 1065-1073.

Malek, K., & Peters, R. T. (2011). Wetting pattern models for drip irrigation: new empirical model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, *137*(8), 530-536.

Mirzaei, F., & Biegi, A. M. (2020). Modeling Distribution of Potassium in the Soil in Under Drip Irrigation. *J Soil Water Sci*, *4*(1), 122-131.

Mirzaei, F., Alkasir, Z., & moini, A. (2020). Modeling for Estimating Soil Moisture Dimensions in Drip Irrigation in Layer Soil Using Dimensional Analysis Method. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *14*(2), 570-578. (In Persian)

Mohammad beigi, A., Mirzaei, F., & Ashraf, N. (2016). Evaluation and comparing of redistribution of moisture in drip irrigation by pulsed flow and continuous flow. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *47*(3), 467-473. doi: 10.22059/ijswr.2016.59317 .(In Persian)

Mohammadbeigi, A., Mirzaei. F., & Ashraf. N. (2017). Simulation of soil moisture distribution under drip irrigation pulsed and continuous in dimensional analysis method. *Journal of Water and Soil Conservation*, *23*(6), 163-180. doi: 10.22069/jwfst.2017.9762.2412. (In Persian)

Mohammadi S.**,** Mirlatifi, S. M., Dehghanisanij, H., Hajirad, I. (2019). Effects of Pulsed Drip Irrigation on Soil Moisture Distribution under water stress Conditions. *1th International and 4th National Congress on Iranian Irrigation and Drainage* (INCIID 2019).

Mohammadi, S., Mirlatifi, S. M., Homaee, M., Dehghanisanij, H., & hajirad, I. (2021a). Determination of Silage Maize Crop Coefficient under Pulsed Drip Irrigation using Water Balance Method in Varamin. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *52*(5), 1223-1237. doi: 10.22059/ijswr.2021.316676.668865.

Mohammadi, S., Mirlatifi, S. M., Dehghanisanij, H., hajirad, I., & Homaee, M. (2021b). Modeling Soil Wetting Patterns under Pulsed Drip Irrigation by Dimensional Analysis Method and Comparison with HYDRUS-2D Numerical Model. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *52*(7), 1903-1913. doi: 10.22059/ijswr.2021.322796.668947.

Mohammadi, S., Mirlatifi, S. M., Dehghanisanij, H., & Homaee, M. (2021c). Effect of Pulsed Management in Drip Irrigation on Yield, Yield Components and Water Productivity of Silage Maize. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *51*(12), 3135-3145. (In Persian)

Mohammadi, S., Mirlatifi, S. M., Dehghanisanij, H., hajirad, I., & homaee, M. (2022). Simulation and investigation of Soil Moisture Distribution and Wetting Patterns in a Clay Soil under Pulsed Drip Irrigation. *Iranian Water Researches Journal*, *16*(2), -. Doi: 10.22034/iwrj.2022.13788.2385. (In Persian)

Mohammadi, S., Mirlatifi, S. M., Homaee, M., Dehghanisanij, H., & Hajirad, I. (2023). Evaluation of silage maize production under pulsed drip irrigation in a semi-arid region. *Irrigation Science*, 1-15.

Moncef, H., and Khemaies, Z. (2016). An analytical approach to predict the moistened bulb volume beneath a surface point source. Agricultural Water Management, 166, 123-129.

Moncef, H., Hedi, D., Jelloul, B., & Mohamed, M. (2002). Approach for predicting the wetting front depth beneath a surface point source: theory and numerical aspect. *Irrigation and Drainage: The Journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*, *51*(4), 347-360.

Naglič, B., Kechavarzi, C., Coulon, F., & Pintar, M. (2014). Numerical investigation of the influence of texture, surface drip emitter discharge rate and initial soil moisture condition on wetting pattern size. *Irrigation science*, *32*, 421-436.

Pelletier, G., & Tan, C. S. (1993). Determining irrigation wetting patterns using time domain reflectometry. *HortScience*, *28*(4), 338-339.

Phene, C. J., Davis, K. R., Hutmacher, R. B., & McCormick, R. L. (1986, August). Advantages of subsurface irrigation for processing tomatoes. In *II International Symposium on Processing Tomatoes, XXII IHC 200* (pp. 101-114).

Phogat, V., Skewes, M. A., Mahadevan, M., & Cox, J. W. (2013). Evaluation of soil plant system response to pulsed drip irrigation of an almond tree under sustained stress conditions. *Agricultural Water Management*, *118*, 1-1.

Rank, P. H. (2019). *Development and evaluation of an automated pulse irrigation system* (Doctoral dissertation, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Kelappaji College of Agricultural Engineering and Technology, Tavanur).

Schwartzman, M., & Zur, B. (1986). Emitter spacing and geometry of wetted soil volume. *Journal of Irrigation*

and Drainage Engineering, *112*(3), 242-253.

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.

Skaggs, T. H., Trout, T. J., Šimůnek, J., & Shouse, P. J. (2004). Comparison of HYDRUS-2D simulations of drip irrigation with experimental observations. *Journal of irrigation and drainage engineering*, *130*(4), 304-310.

Stormont, J. C., & Morris, C. E. (1998). Method to estimate water storage capacity of capillary barriers. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, *124*(4), 297-302.

Subbaiah, R. (2013). A review of models for predicting soil water dynamics during trickle irrigation. *Irrigation Science*, *31*(3), 225-258.

Thorburn, P. J., Cook, F. J., & Bristow, K. L. (2003). Soil-dependent wetting from trickle emitters: implications for system design and management. *Irrigation Science*, *22*(3-4), 121-127.

Vyrlas, P., and Sakellariou, M. (2005). Intermittent water application through surface and subsurface drip irrigation. ASAE Annual International Meeting, Tampa, FL, USA. Available in http:// goo.gl/3Gn7xb.

Welsh, D. F., Kreuter, U. P., Byles, J. D., & Lamm, E. R. (1995, April). Enhancing subsurface drip irrigation through vector flow. In *Proceedings of the 5th International Microirrigation Congress, Orlando, FA, ASAE* (pp. 2-6).

Zamora, V. R. O., da Silva, M. M., Santos Júnior, J. A., da Silva, G. F., Menezes, D., & de Almeida, C. D. G. C. (2021). Assessing the productivity of coriander under different irrigation depths and fertilizers applied with continuous and pulsed drip systems. *Water Supply*, *21*(5), 2099-2108.

Improving the soil wetting pattern in drip irrigation systems with emphasis on pulsed management

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Due to the lack of water resources in the world and in Iran, there is a need for effective irrigation techniques in order to contribute to the sustainable development of the agricultural sector with optimal water consumption. In this regard, the use of drip irrigation systems that provide the plant's roots with sufficient water and nutrients at the right time has been widely spread. All irrigation methods, including the drip irrigation systems, can increase water productivity only if they are designed and managed correctly for the specific soil and plant conditions. Therefore, we should look for management techniques that can match the wetting pattern around the irrigation dripper with the root growth pattern in the soil as closely as possible. In this regard, researchers investigated the use of different methods, such as adjusting the depth and intervals of irrigation, utilizing physical, capillary, and hydraulic barriers, as well as pulse management. This knowledge ensures accurate delivery of water and nutrients to the crop root zone, facilitates irrigation planning, and enables matching the soil wetting pattern with the plant root growth pattern.

Materials and Methods

Considering the importance of soil moisture distribution and the effect of improving the dimensions of the soil wetting pattern on crop yield and water productivity in drip irrigation systems, researchers investigated the use of different methods, such as adjusting the depth and intervals of irrigation, utilizing physical, capillary, and hydraulic barriers, as well as pulse management. This knowledge ensures accurate delivery of water and nutrients to the crop root zone, facilitates irrigation planning, and enables matching the soil wetting pattern with the plant root growth pattern. The present study reviewed the experiences of using different management methods to improve the soil wetting pattern and provide experimental equations with an emphasis on pulsed management.

Results and discussion

Pulsed management in drip irrigation systems includes using a series of On and Off cycles. The Off-time cycles in this management allow sufficient opportunity to redistribute moisture in the soil after each irrigation pulse. The results of various researches that have been conducted in the field of using pulsed drip irrigation in the world and Iran show that pulsed management has the possibility of improving the dimensions of soil wetting pattern in the crop root zone. In soils with a light texture, it reduces deep percolation and as a result, reduces the loss of water and nutrients, and in soils with a heavy texture, it causes aeration of the root zone and more appropriate distribution of water and nutrients in the crop root zone, which can lead to improved crop yield. Also, the results of the investigations have shown that the soil wetting pattern around the drippers with high flow rates when using pulse management is similar to the soil wetting pattern produced by the drippers with low flow rates. Due to the fact that in drippers with a low flow rate, the smallness of the dripper opening leads to clogging problems, by using pulse management that allows the use of a dripper with a higher flow rate, the problems related to the clogging of the drippers can be reduced to some extent. In relation to the distribution of salt and nitrate under pulsed drip irrigation system, positive results have also been reported by researchers, but due to the importance of the issue, more extensive research is needed in this field.

Conclusion

In recent years, pulsed drip irrigation has replaced the usual (continuous) irrigation method due to its efficiency and saving in water consumption, the ability to precisely adjust the amount of water required by plants and reduce irrigation costs. Also, this irrigation method plays an important role in reducing soil and water pollution. The purpose of this study is to investigate the results of pulsed drip irrigation systems in Iran and the world. The studies show that pulsed drip irrigation can have a positive effect on the plant growth and yield. This type of irrigation increases the absorption of water and nutrients by plants and also increases root activity and the development of the root system of plants. In addition, pulse irrigation can improve the distribution of moisture in the soil and prevent the accumulation of water in a certain point. This causes the evaporation of water from the soil and the evaporation of transpiration of plants to happen in a more uniform way and leads to the improvement of irrigation efficiency. Also, pulse irrigation can have a positive effect on the clogging of irrigation drippers.

Keywords: Crop Growth, Dripper Clogging, Irrigation Management, Moisture Distribution, Yield.