Investigating the Technical Performance and Soil Salinity Variations for Subsurface Drip Irrigation System of Pistachio Orchards in Semnan Province

N. Naderi* and S. M. Tabatabaian

Assistant Prof., Department of Agricultural Engineering Research, Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Semnan (Shahrood), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shahrood, Iran. **Naderi7367@yahoo.com**
Expert, Department of Agricultural Engineering Research, Shahrood, AREEO, Shahrood, Iran. **mehrad6788@gmail.com**

Received: March 2024 and Accepted: June 2024

Abstract

Subsurface drip irrigation is one of the optimal management methods of water application in the agricultural sector. The aim of this study was to investigate the technical performance and soil salinity in the subsurface drip irrigation systems in Semnan Province during the years 2019 to 2020. Five systems were evaluated in Shahroud, Damghan, and Semnan areas. For this purpose, the hydraulic characteristics of the system, soil moisture, and soil salinity were investigated. In general, the results of the evaluation showed that the coefficient of flow variations (Vqs) varied from 4% to 8%, the statistical uniformity coefficient (Us) varied from 85% to 90.7%, and the emitter discharge coefficient of variation (Vpf) varied from 0.09 to 0.15. The hydraulic performance of the systems was relatively good. The evaluation results showed, the pressure at the end of the laterals was less than necessary in some parts, but the use of pressure compensating emitters adjusted the flow in these parts. In the studied orchards, the installation depth of the laterals was non-uniform and between 15 and 45 cm. The amount of moisture increased from the soil surface to lower parts. Examination of salinity profile of soil saturated extract showed that, with increasing horizontal distance from the lateral, the amount of salinity increased, but decreased with increasing depth. The maximum amount of salinity was found in the installation depth of 30 and 40 cm, in the 0-30 and 30-60 cm soil layers. The reason for the increase in salinity in this area was the decrease in soil moisture due to the capillary rise of moisture and its evaporation from the soil surface and faster absorption of moisture by the roots. The most important factors to improve the performance of the systems are proper implementation of the systems and provision of the necessary pressure in the manifolds and laterals, soil salinity leaching in winter with heavy flood irrigation, and installation of the laterals evenly at the appropriate depth.

Keywords: Emitter performance, Lateral installation, Soil moisture, Soil salinity leaching, Uniform water application

* - Corresponding author's email: **Naderi7367@yahoo.com**
https://doi.org/10.22092/jwra.2024.364909.1031

مقاله پژوهشی نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۸ / شماره ۲/ ۱۴۰۳.ص۱۳۹-۱۴۸
https://doi.org/10.22092/jwra.2024.364909.1031

ارزیابی عملکرد فنی و تغییرات شوری خاک در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی باغ‌های پسته استان سمنان

نادر نادری* و سیدمحسن طباطبائیان

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران.

Naderi7367@yahoo.com

کارشناس، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران.

mehrad6788@gmail.com

دریافت: اسفند ۱۴۰۲ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۳

چکیده

یکی از روش‌های مدیریت بهینه مصرف آب در بخش کشاورزی آبیاری قطره‌ای زیرسطحی است. این پژوهش با هدف برر سی عملکرد فنی و و ضعیت شوری خاک در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیر سطحی اجرا شده در ا ستان سمنان طی سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰ انجام شد. تعداد پنج سامانه در شهرستان‌های شاهرود، دامغان و سمنان مورد ارزیابی قرار گرفت. به این منظور، ویژگی‌های هیدرولیکی سامانه، پروفیل رطوبت و شوری خاک بررسی شد. در مجموع، نتایج ارزیابی نشان داد که ضریب تغییرات دبی از ۴٪ تا ۸٪ ، ضریب یکنواختی آماری از ۸۵٪ تا ۹۰/۷٪ و عملکرد کلی قطره‌چکان از ۰/۰۹ تا ۰/۱۵ متغیر بود. عملکرد هیدرولیکی سامانه‌ها از وضعیت نسبتاً مطلوبی برخوردار بود. نتایج ارزیابی نشان داد که در برخی ق سمت‌ها، ف شار در انتهای لاترال‌ها کمتر از حد لازم بود، اما ا ستفاده از قطره‌چکان‌های جبران‌کننده ف شار باعث تنظیم دبی در این قسمت‌ها شده بود. در باغ‌های مورد بررسی، عمق نصب لاترال‌ها غیر یکنواخت و بین ۱۵ تا ۴۵ سانتی‌متر بود. مقدار رطوبت خاک، از سطح تا عمق روندی افزایشی داشت. بررسی پروفیل شوری عصاره اشباع خاک نشان داد که مقدار شوری با افزایش عمق روندی کاهشی، و با افزایش فا صله افقی از لوله لترال روندی افزایشی دا شت. مقدار بیشینه شوری در عمق نصب ۳۰ و ۴۰ سانتیمتر، در لایه‌های ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری خاک وجود دا شت. علت افزایش شوری در این ناحیه کاهش رطوبت خاک در اثر صعود مویینه رطوبت و تبخیر آن از سطح خاک و جذب سریع‌تر رطوبت توسط ریشه بوده است. مهم‌ترین عوامل بهبود عملکرد سامانه‌ها عبارتند از: اجرای صحیح سامانه‌ها و تأمین فشار لازم در مانیفولدها و لترال‌ها، آبشویی خاک در فصل زمستان با آبیاری سنگین غرقابی، و کارگذاری لترال‌ها در عمق مناسب به‌طور یکنواخت.

واژه‌های کلیدی: رطوبت خاک، آبشویی خاک، عملکرد قطره‌چکان، کارگذاری لترال، یکنواختی پخش آب

* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول: **Naderi7367@yahoo.com**

مقدمه

محدود بودن مقدار آب در مناطق پسته‌کاری کشور از جمله استان سمنان، لزوم استفاده بهینه از منابع آبی موجود را قوت بخشیده است. در این مناطق باید بر بالا بردن تولید به‌ازای واحد آب مصرفی متمرکز شد. به‌دلیل شرایط اقلیمی منطقه و تابش شدید آفتاب، بخش زیادی از آب داده شده به درختان تبخیر می‌شود. به همین دلیل استفاده از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌عنوان گزینه‌ای جهت رفع این مشکلات مطرح است (باستانی، ۱۳۹۶). دهقانی‌سانیج و همکاران (۱۳۹۸) نتیجه گرفتند که مقدار رطوبت در اطراف محل کارگذاری لوله‌های قطره چکان‌دار بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد. همچنین میزان رطوبت در زیر عمق کارگذاری لوله‌های قطره‌چکان دار نسبت به بالای این عمق بیشتر بود. بررسی مدیریت بهره‌برداری در سامانه‌های اجرا شده آبیاری زیرسطحی در باغات پسته استان کرمان نشان داد یکنواختی پخش آب در بین قطعات متفاوت بوده و در مواردی ضریب تغییرات دبی در حد غیر قابل‌قبول طبقه‌بندی شد. علاوه بر این بهره‌بردار از یک برنامه دقیق آبیاری پیروی نمی‌کرد به‌طوری‌که در بعضی مواقع بیش‌آبیاری و در بعضی مواقع کم آبیاری انجام می‌شد (کوهی و دهقانی، ۱۳۹۱). یکی از اهداف مهم در آبیاری قطره‌ای، یکنواختی پخش آب است که به یکنواختی خروج آب از قطره‌چکان‌ها بستگی دارد. عوامل متعددی نظیر گرفتگی قطره‌چکان، تغییرات فشار آب و ساختمان قطره‌چکان‌ها بر یکنواختی پخش آب مؤثر است (ای اس ای ای، ۲۰۰۳). آکار و همکاران (۲۰۱۰) با ارزیابی سامانه های آبیاری تحت‌فشار در کشور ترکیه، میانگین ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای را به‌ترتیب ۸۱ و ۶۹ درصد به‌دست آوردند. گرفتگی قطره چکان‌ها، پایین بودن مقادیر فشار در سامانه، طراحی ضعیف و مدیریت بهره‌برداری نامناسب از عوامل افت یکنواختی پخش سامانه، تشخیص داد شدند. سرچشمه‌پور و همکاران (۱۳۸۴) طی پژوهشی امکان تغییر سامانه آبیاری از روش سنتی به قطره‌ای در باغات پسته کرمان را مورد بررسی قرار دادند. در روش سنتی ۹۰۰۰ و در تیمارهای روش قطره‌ای ۵۰۰۰ و ۷۵۰۰ مترمکعب در سال آب مصرف شد درحالی که بین عملکرد آن‌ها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. لذا نتیجه گرفتند با استفاده از سامانه قطره‌ای ضمن کاهش حدود ۵۰ درصدی مصرف آب می‌توان به عملکرد مطلوبی دست‌یافت. عبداللهی و فکری (۱۳۸۸) سه روش آبیاری سنتی، قطره‌ای سطحی و زیرسطحی را از نظر مقدار مصرف آب و وضعیت رطوبتی خاک مورد مقایسه و بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج مطالعه مذکور راندمان آبیاری در روش زیرسطحی به‌طور معنی‌داری بیش از راندمان آبیاری در روش‌های سنتی و قطره‌ای سطحی بود. همچنین در طول فصل زراعی به‌علت دور آبیاری کوتاه و پیوستگی آبیاری در روش‌های قطره‌ای سطحی و زیرسطحی رطوبت خاک همواره نزدیک ظرفیت زراعی نگهداری می‌شد در نتیجه عملکرد از نظر کمی و کیفی در وضعیت بهتری قرار داشت. سیاری و همکاران (۱۳۸۶) برای آبیاری زیرسطحی درختان پسته در رفسنجان کارگذاری لترال‌ها در دو عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری را مورد مقایسه و بررسی قرار دادند. در پایان نتیجه گرفتند که کارگذاری لترال‌ها در عمق ۳۰ سانتی‌متری به‌دلیل نزدیکی به سطح خاک، باعث افزایش تلفات تبخیر شد. همچنین در این عمق کارگذاری، تجمع املاح در منطقه ریشه نسبت به عمق کارگذاری ۶۰ سانتی‌متر بیشتر بود.

طی پژوهشی بر اساس نتایج مدل‌های هایدروس و اندازه‌گیری گیاهی مشخص شد که جذب آب توسط ریشه درخت پسته در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به طور معنی‌داری از آبیاری قطره‌ای سطحی بیشتر بود. همچنین نتایج نشان داد که رطوبت خاک تا چهار روز بعد از آبیاری قطره‌ای به‌خوبی پاسخ‌گوی نیاز گیاهی بوده و کوتاه بودن دور آبیاری باعث می‌شود که بتوان از بیشترین پتانسیل این سامانه بهره برد (عطایی و همکاران، ۱۳۹۷). مسئله نفوذ ریشه به داخل قطره‌چکان‌ها یکی از دغدغه‌های موجود هنگام استفاده از روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی است و نفوذ ریشه به داخل قطره‌چکان‌ها میتواند باعث انسداد آن‌ها، کاهش آبدهی و یکنواختی پخش آبیاری شود.

در سال‌های اخیر برای جلوگیری از ورود و رشد ریشه داخل قطره‌چکان از سم علف‌کش تری‌فلورالین با نام تجاری ترفلان استفاده می‌شود. ترفلان مانع رشد و تکثیر سلول‌های مریستمی ریشه می‌گردد (کوهی، ۱۳۹۴). روسو و همکاران (۲۰۰۱) حرکت ترفلان مورد استفاده در سامانه آبیاری زیرسطحی را با استفاده از روش‌های عددی بررسی نمودند. نتایج شبیه‌سازی کامپیوتر نشان داد که حرکت و انتشار ترفلان در خاک به‌خاطر جذب قوی توسط ذرات خاک، به‌کندی انجام می‌شود و وجود ترفلان در خاک اطراف قطره‌چکان از ورود ریشه به قطره‌چکان جلوگیری می‌کند. لازم به ذکر است که استفاده از ترفلان (تری فلورالین) به دلیل سمیت بالا برای آبزیان و سرطانزایی در اتحادیه اروپا ممنوع شده است (کاراسالی و همکاران، ۲۰۱۷؛ لی و همکاران، ۲۰۲۱). کمپ و همکاران (۲۰۰۰) نتیجه گرفتند افزایش تعداد آبیاری‌ها و بالا نگه‌داشتن رطوبت خاک در اطراف قطره‌چکان‌ها می‌تواند در جلوگیری از گرفتگی آن‌ها توسط ریشه مؤثر باشد زیرا زمانی که ریشه در محیط مرطوب قرار گرفته و در معرض تنش آبی نباشد رغبتی برای حرکت به سمت محیط مرطوب مجاور قطره‌چکان نخواهد داشت. اسلامی و نقوی (۱۳۹۶) نتیجه گرفتند که بیشترین ریشه‌های مویین پسته که وظیفه جذب آب و مواد غذایی را بر عهده دارند، در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتیمتری از سطح خاک قرار دارند.

شریعتی (۱۳۷۵) به جمع‌بندی نتایج تحقیقات انجام‌شده در خصوص پسته از سال ۱۳۵۰ تا سال ۱۳۷۲ پرداخت و نتیجه گرفت میزان آب مصرفی پسته در آبیاری سنتی بین ۸۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار و دور آبیاری در بهار و پاییز ۳۰ روز و در تابستان ۲۵ روز بوده است. نقوی (۱۳۹۵) در کشکوئیه رفسنجان نیاز آبی پسته در روش آبیاری زیرسطحی را ۴۰۱۰ مترمکعب در هکتار بیان نمود. با توجه به اینکه منابع آب سطحی نظیر رودخانه ها در مناطق خشک بسیار محدود است لذا برای آبیاری از منابع آب زیرزمینی استفاده می‌شود که آب این منابع معمولاً شور است. لذا اگر مدیریت آبیاری بر اساس اصول علمی و رعایت نکات فنی نباشد اراضی در حد غیر قابل استفاده ای شور خواهند شد (ولی پور و همکاران، ۱۳۸۷). مقادیر بالای هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک نشان‌دهنده شوری زیاد خاک است و افزایش نمک باعث کاهش توانایی جذب آب توسط گیاه می‌گردد. اگر هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک بیش از هشت دسی زیمنس بر متر باشد به‌منظور آبشویی و پایین آوردن شوری خاک توصیه می شود در زمستان از آبیاری سنگین غرقابی استفاده شود. در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌طور طبیعی نمک‌ها در حاشیه خارجی پیاز رطوبتی در خاک تجمع می‌یابد در نتیجه غلظت نمک‌ها در سطح خاک بین ردیف‌های لوله-های آبده بیشتر است (سیاری و همکاران، ۱۳۸۶). صداقتی و همکاران (۱۳۹۱) ضمن بررسی توزیع شوری در پروفیل خاک در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برای عمق‌های مختلف نصب لترال نتیجه گرفتند به‌دلیل اینکه بیشترین تراکم ریشه-های فعال درختان پسته در عمق ۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر قرار دارد بهترین وضعیت توزیع شوری در خاک با عمق نصب لترال‌ها برابر ۳۰ سانتیمتر به‌دست آمد. در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی کمترین مقدار شوری در عمق‌های زیر قطره-چکان مشاهده شد و با فاصله گرفتن از قطره‌چکان‌ها به-صورت شعاعی شوری خاک افزایش یافت. سجادی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش کردند که خصوصیات شیمیایی خاک‌ها تحت تأثیر کیفیت آب آبیاری است و با افزایش شوری آب آبیاری به بیش از ۱۰ دسی زیمنس بر متر در شهر رباط کرمان عملکرد پسته کاهش یافت و مدیریت شوری خاک و انجام آبشویی را ضروری دانستند. بر اساس مطالعات انجام‌شده توسط پژوهشکده پسته، شوری آب آبیاری تا مرز هشت دسی زیمنس بر متر، تأثیر منفی بر تولید پسته نداشته ولی از این مقدار به بالا باعث کاهش عملکرد این محصول می‌شود (زارع و خالدیان، ۱۳۹۶). در مطالعه دیگر مؤثر بودن دور آبیاری و پوشش مالچ بر توزیع املاح و رطوبت در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در باغ‌های پسته گزارش شد. تأثیر دور آبیاری بر توزیع رطوبت و شوری در باغ‌های پسته تحت شرایط آبیاری

قطره‌ای زیرسطحی نشان داد که دور آبیاری کوتاه‌تر در مقایسه با دور آبیاری طولانی‌تر باعث ذخیره رطوبتی بیشتر و تجمع کمتر نمک در منطقه توسعه ریشه می‌شود (دهقانی سانیج و همکاران، ۱۳۹۸).

با توجه به اینکه سامانه آبیاری زیرسطحی در چند سال اخیر در تعدادی از باغات پسته استان سمنان اجرا شده است و هنوز پژوهشی مدون در زمینه بررسی عملکرد فنی آن‌ها و شوری خاک در سطح استان صورت نگرفته است لذا این پژوهش با هدف بررسی عملکرد فنی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی اجراشده در استان سمنان و ارزیابی پروفیل رطوبت و شوری خاک در باغات موردنظر به‌منظور بهبود عملکرد و مدیریت سامانه‌های مورد بررسی انجام شد. بدین‌منظور یکنواختی توزیع و خصوصیات هیدرولیکی سامانه، پروفیل رطوبت و شوری در خاک و عمق نصب لترال‌ها بررسی و تعیین شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش کارایی پنج سامانه آبیاری قطره ای زیر سطحی اجرا شده در باغات پسته استان سمنان در شهرستان‌های سمنان، شاهرود و دامغان بررسی شد. مشخصات باغ‌ها و سامانه‌های مورد ارزیابی در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است. شوری آب آبیاری در باغات مورد برر سی از ۰/۸۳ تا ۷/۷ د سی زیمنس بر متر متغیر بود. در تمام باغ‌های مورد بررسی از لوله‌های قطره‌چکان‌دار یورو دریپ استفاده شده بود (جدول ۲). با خارج کردن خاک از روی تعدادی از قطره‌چکان‌ها آبدهی آن‌ها اندازه‌گیری شد. آبدهی قطره‌چکان‌ها از ۱/۳۴ تا ۲/۲۶ لیتر بر ساعت بود؛ و سامانه تصفیه آب در این باغات به‌صورت خودکار شستشو می‌شد.

جدول ۱- مشخصات باغ‌های پسته انتخابی

ردیف	شهرستان	سطح باغ (هکتار)	هدایت الکتریکی آب آبیاری (دسی زیمنس بر متر)	بافت خاک	متوسط هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک تا عمق ۹۰ سانتیمتری (دسی زیمنس بر متر)
1	شاهرود	46	7.7	شنی لومی	8.5
2	شاهرود	105	0.83	شنی لومی	2.0
3	دامغان	150	2.1	سیلتی لوم	2.8
4	دامغان	132	2.4	رسی لومی	12.5
5	سمنان	80	7.7	لومی شنی	8.1

جدول ۲- مشخصات سامانه‌های آبیاری مورد ارزیابی

ردیف	نام لوله قطره‌چکان دار	دبی قطره‌چکان (لیتر بر ساعت)	عمق کارگذاری لوله‌ها (سانتی‌متر)	فاصله قطره‌چکان (سانتی‌متر)	آرایش لترال‌ها	نوع شستشوی صافی‌ها
1	PC2 یورو دریپ	2.26	20-40	60	دو خطه	اتوماتیک
2	PC2 یورو دریپ	1.34	20-40	60	دو خطه	اتوماتیک
3	PC2 یورو دریپ	2.26	15-20	70	دو خطه	اتوماتیک
4	PC2 یورو دریپ	1.34	30	50	دو خطه	اتوماتیک
5	PC2 یورو دریپ	2.26	40	80	دو خطه	اتوماتیک

برای ارزیابی عملکرد هیدرولیکی سامانه آبیاری با توجه به استانداردASAE یک مانیفولد به‌طور تصادفی انتخاب‌شده و روی آن چهار لوله فرعی (ابتدایی، یک‌سوم، دو سوم و انتهایی) را انتخاب و روی هر لوله فرعی، چهار قسمت (ابتدایی، یک‌سوم، دو سوم و انتهایی) را تعیین کرده، آنگاه به‌مدت پنج دقیقه حجم آب خروجی هر قطره چکان (qi) اندازه‌گیری شد. فشارها در ابتدا و انتهای لوله های جانبی نیز با مانومتر اندازه‌گیری شد (ای اس ای ای، ۲۰۰۳). سپس دبی متوسط و انحراف از معیار (Sq) با استفاده از معادله‌های ۱ و ۲ محاسبه شد. برای بررسی عملکرد سامانه، شاخص‌های ارزیابی شامل ضریب تغییرات دبی (Vqs)، ضریب یکنواختی آماری (Uqs) و

عملکرد کلی قطره‌چکان (Vpf) با استفاده از معادلات زیر محاسبه شد.

$$\bar{q} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} q_i \quad (۱)$$

$$S_q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} q_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} q_i\right)^2}{n-1}} \quad (۲)$$

$$V_{qs} = \frac{S_q}{\bar{q}} \quad (۳)$$

$$U_{qs} = 100\left(1 - V_{qs}\right) \quad (۴)$$

در معادله‌های بالا، با جایگزینی فشار (hi) با دبی (qi) شود، فشار هیدرولیکی متوسط و ضریب تغییرات فشار (Vhs) محاسبه شد. برای محاسبه ضریب تغییرات دبی با در نظر گرفتن هیدرولیک جریان(Vqh) ، از معادله (۵) استفاده شد:

$$V_{qh} = xV_{hs} \quad (۵)$$

در معادله بالا x توان معادله دبی قطره‌چکان است. یکنواختی آماری دبی قطره‌چکان‌ها با در نظر گرفتن هیدرولیک جریان از معادله (۶) محاسبه شد:

$$U_{sh} = 100(1 - V_{qh}) \quad (۶)$$

عملکرد کلی قطره‌چکان (Vpf) بستگی به تغییرات دبی آن دارد و عوامل مختلف مانند تغییرات فشار و دما در داخل شبکه لوله، شکل قطره‌چکان، گرفتگی و همچنین فرسودگی قطره‌چکان بر روی تغییرات دبی قطره‌چکان مؤثر است. این شاخص از معادله ۷ محاسبه شد:

$$V_{pf} = \sqrt{V_{qs}^2 - V_{qh}^2} \quad (۷)$$

عملکرد هیدرولیکی سامانه بر اساس شاخص‌های ذکرشده و مطابق استاندارد انجمن مهندسان کشاورزی آمریکا (جدول ۳) بررسی شد (ای اس ای ای، ۲۰۰۳).

جدول ۳ - درجه‌بندی کیفی شاخص‌های عملکرد سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر اساس استاندارد انجمن مهندسان کشاورزی

U_{qs}	عالی بیشتر از 90%	خوب %80-90	قابل‌قبول %70-80	ضعیف %60-70	غیر قابل‌قبول کم‌تر از 60%
V_{qs}	عالی کم‌تر از 0.05	خوب 0.05 – 0.07	قابل‌قبول 0.07 – 0.11	ضعیف 0.11 – 0.15	غیرقابل‌قبول بیشتر از 0.15
V_{pf}	عالی کم‌تر از 0.05	خوب 0.05-0.1	قابل‌قبول 0.10 – 0.15	ضعیف 0.15 – 0.20	غیرقابل‌قبول بیشتر از 0.20

نتایج و بحث

ارزیابی هیدرولیکی

نتایج ارزیابی هیدرولیکی باغ‌ها در جدول ۴ ارائه شده‌است. در باغ شماره ۱ نتایج نشان داد ضریب تغییرات دبی (Vqs) برای قطعات مورد بررسی برابر چهار و شش درصد و به‌ترتیب در حد عالی و خوب بود. ضریب یکنواختی آماری (Uqs) مربوط به این قطعات در محدوده خوب تا عالی قرار گرفت. عملکرد کلی قطره‌چکان‌ها (Vpf) نیز برابر ۰/۱۱ و ۰/۱۲ بود و در محدوده قابل‌قبول قرار گرفت. بر اساس آنچه که هنگام اندازه‌گیری‌ها مشاهده شد در یکی از قطعات مورد ارزیابی فشار در انتهای لاترال‌ها کمتر از فشار موردنیاز طراحی بود با این وجود استفاده از قطره‌چکان‌های جبران‌کننده فشار باعث شده بود که یکنواختی پخش آب در حد مناسبی باشد که با رفع آن عملکرد هیدرولیکی بهبود خواهد یافت. طبق نتایج موجود در جدول ۴، در باغ شماره دو مقدار Vqs در قطعات مورد ارزیابی چهار و پنج درصد بود که در محدوده عالی تقسیم‌بندی شد. همچنین Uqs در این قطعات به‌ترتیب ۸۸/۸ و ۹۰/۷ درصد بود و به‌ترتیب در محدوده خوب و عالی قرار گرفت. Vpf در محدوده قابل قبول تا خوب قرار گرفت. با توجه به کیفیت خوب آب در این باغ قطره‌چکان‌ها از عملکرد مناسبی برخوردار بودند. در باغ شماره سه مقدار Vqs در قطعات مورد ارزیابی شش و پنج درصد به دست آمد و در محدوده خوب تا عالی قرار گرفت (جدول

۴). همچنین Uqs در این قطعات به‌ترتیب ۸۷/۸ و ۸۹/۰ بود و در وضعیت خوب قرار داشت. Vpf نیز در این قطعات در حد قابل‌قبول بود. بر اساس آنچه در هنگام نمونه‌برداری در باغ مشاهده گردید فشار در لوله‌های مانیفولد کمتر از فشار طراحی بود، نتایج ارائه‌شده برای باغ شماره چهار در جدول ۴ نشان داد که قطعات مورد ارزیابی دارای Vqs برابر پنج و هشت درصد بودند که در محدوده عالی و قابل‌قبول قرار داشتند. همچنین Uqs در این قطعات به‌ترتیب ۸۵ و ۸۸/۲ بود. Vpf در محدوده قابل‌قبول قرار گرفت. در قطعات مورد ارزیابی در باغ شماره ۵ مقدار Vqs برابر چهار و هفت درصد بود و در محدوده خوب قرار گرفت (جدول ۴). همچنین Uqs در این قطعات به‌ترتیب ۸۶ و ۸۹/۴ درصد بود. در این باغ Vpf در قطعات مورد بررسی به‌ترتیب قابل‌قبول و خوب بود. درصورتی‌که در قطعات مورد بررسی فشار موردنیاز طراحی تأمین و در تنظیم فشار کارکرد سامانه دقت بیشتری صورت گیرد، عملکرد هیدرولیکی سامانه بهبود خواهد یافت. باقری و همکاران (۱۳۹۵) عملکرد سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی را در استان گلستان مورد ارزیابی قرار دادند. پارامترهای Vqs، Us و Vpf در سامانه به‌ترتیب ۲۵، ۷۴ و ۲۰ درصد محاسبه گردید که نشان داد سامانه مورد ارزیابی وضعیت ضعیفی داشت. یکنواختی پخش پایین ناشی از عدم تنظیم فشار و نوسانات غیرمجاز فشار در سامانه تشخیص داده شد.

جدول ۴- نتایج ارزیابی هیدرولیکی باغ‌های مورد بررسی

شماره باغ	شماره قطعه	V_{qs}	طبقه	U_s	طبقه	V_{pf}	طبقه
1	1	0.06	خوب	88.8	خوب	0.12	قابل‌قبول
	2	0.04	عالی	90.7	عالی	0.11	قابل‌قبول
2	1	0.05	عالی	88.2	خوب	0.12	قابل‌قبول
	2	0.04	عالی	90.0	عالی	0.09	خوب
3	1	0.06	خوب	87.8	خوب	0.13	قابل‌قبول
	2	0.05	عالی	89.0	خوب	0.12	قابل‌قبول
4	1	0.08	قابل‌قبول	85.0	خوب	0.15	قابل‌قبول
	2	0.05	عالی	88.2	خوب	0.11	قابل‌قبول
5	1	0.07	خوب	86.0	خوب	0.14	قابل‌قبول
	2	0.04	عالی	89.4	خوب	0.09	خوب

در مجموع نتایج ارزیابی هیدرولیکی سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی باغات پسته نشان داد عملکرد هیدرولیکی سامانه در باغ‌های مورد ارزیابی از وضعیت نسبتاً مطلوبی برخوردار بود. در برخی از باغ‌ها فشار در انتهای لترال‌ها در حد پایینی بود لکن استفاده از قطره‌چکان-های جبران‌کننده فشار باعث شده بود که یکنواختی پخش آب در حد مناسبی باشد. توجه به تصفیه آب و استفاده درست و به‌موقع از فیلترها در عملکرد مناسب سامانه‌ها مؤثر بوده است.

رطوبت و شوری

اندازه‌گیری نمونه‌های رطوبتی ۴۸ ساعت پس از آبیاری به‌ازای اعماق و فاصله‌های مختلف از لترال انجام شده‌است. برای این منظور از خاک منطقه ریشه به‌طور مستقیم نمونه‌برداری شد. در جدول ۵ نتایج اندازه‌گیری‌ها ارائه شده‌است. در باغات مورد بررسی نمونه‌برداری‌ها در فواصل افقی ۰، ۳۰ و ۶۰ سانتیمتر از لترال و در سه عمق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتیمتری انجام شد. همان‌طور که در نتایج موجود در جدول ۵ ملاحظه می‌شود با فاصله

گرفتن از لترال مقدار رطوبت کاهش پیدا می‌کند. علت آن را می‌توان به این صورت توضیح داد که با فاصله گرفتن از لترال و گسترش پیاز رطوبتی، آب در حجم بیشتری پخش می‌شود و طبیعتاً رطوبت کمتری به نقاط دورتر می‌رسد به‌عبارتی نقاط نزدیک‌تر به قطره‌چکان‌ها و لترال آب بیشتری دریافت می‌نمایند در نتیجه مقدار رطوبت در آن‌ها بیشتر است. همچنین می‌توان گفت با نزدیک‌تر شدن از سمت لترال به‌طرف درخت جذب آب توسط درختان بیشتر می‌شود و این عامل نیز باعث می‌شود رطوبت در فواصل دورتر از لترال (نزدیک‌تر به درخت) کاهش پیدا کند سیاری و همکاران (۱۳۸۶) نیز طی انجام پژوهشی به نتایج مشابهی رسیدند. همچنین نتایج نشان داد که توزیع رطوبت به‌ازای عمق‌های مختلف متفاوت است (جدول ۵). به این صورت که در باغ‌های یک، دو، چهار و پنج از سطح تا عمق ۹۰-۶۰ سانتیمتری خاک مقادیر رطوبت روندی افزایشی داشته، ولی در باغ شماره سه رطوبت از سطح خاک تا عمق ۶۰-۳۰ سانتیمتر افزایش یافت و پس از آن روند کاهشی پیدا کرد. با توجه به اینکه در این باغ لترال‌ها در عمق ۲۰ سانتی-متری قرار گرفته‌بودند و نسبت به سایر باغ‌ها عمق نصب لترال‌ها کمتر بود لذا حداکثر رطوبت در عمق ۶۰-۳۰ اتفاق افتاده‌بود. وانگ و همکاران (۲۰۱۸) توزیع رطوبت حداکثر در عمق نصب لترال ۲۰ سانتیمتر در عمق ۶۰-۰ سانتیمتر و در عمق نصب لترال ۱۰ سانتیمتری را در عمق ۳۰-۰ سانتیمتر گزارش کردند. با مقایسه مقادیر رطوبت اندازه-گیری شده در اعماق مختلف خاک ملاحظه شد که با افزایش عمق نصب لترال، پیاز رطوبتی به‌سمت عمق‌های پایین‌تر منتقل شده‌است. به‌عبارتی در باغ‌های یک، دو، چهار و پنج رطوبت در لایه ۹۰-۶۰ نسبت به لایه‌های ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ بیشتر بوده است زیرا لترال در عمق بیشتر و در نتیجه در فاصله نزدیک‌تری نسبت به لایه ۹۰-۶۰ سانتیمتری خاک قرار گرفته و مقدار رطوبت بیشتری در این لایه توزیع شده‌است.

برای بررسی وضعیت شوری خاک، نمونه‌برداری از خاک در تابستان و یک ماه قبل از برداشت محصول انجام شد. برای این منظور نمونه‌ها در فواصل افقی ۰، ۳۰ و ۶۰ سانتیمتر از لترال و در سه عمق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتیمتری تهیه شدند. شوری اولیه خاک (قبل از استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی) در باغ‌های مورد بررسی به‌جز باغ شماره چهار در وضعیت مناسبی (کمتر از نه دسی زیمنس بر متر) قرار داشت (جدول ۱). هنگام استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در فصل تابستان شوری خاک در باغ‌های شماره سه و چهار از وضعیت نامناسبی برخوردار بود. عدم آبشویی خاک هنگام آبیاری و بافت سنگین خاک این باغ‌ها موجب افزایش شوری خاک شده بود. بنابراین لازم است در فصل زمستان با انجام آبیاری غرقابی نسبت به آبشویی خاک اقدام نمود که متأسفانه بدلیل کمبود آب این کار انجام نمی‌شد.

همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، میزان شوری در عمق ۳۰-۰ سانتیمتری نسبت به شوری در اعماق پایین‌تر بیشتر بوده است. در واقع صعود مویینه رطوبت و تبخیر آن از سطح خاک باعث افزایش شوری در این قسمت از خاک شده‌است. علت این پدیده را می‌توان به این صورت بیان نمود که جریان آب از سمت قطره‌چکان در جهت‌های مختلف به‌طور عرضی و عمودی وجود داشته که حرکت عرضی جریان موجب گسترش رطوبت در فواصل افقی تا ۶۰ سانتیمتری گردیده‌است. در حرکت عمودی، بخشی از این رطوبت در جهت عمق نفوذ کرده و بخشی دیگر به‌صورت موئینه به‌سمت سطح خاک رفته که پس از تبخیر در سطح خاک موجب ایجاد شوری بیشتر در لایه سطحی خاک شده‌است.

جدول ۵ - مقادیر رطوبت و شوری در اطراف قطره‌چکان‌ها

شماره باغ	عمق خاک (cm)	فاصله از قطره‌چکان (cm)					
		0	30	60	0	30	60
		رطوبت حجمی (٪)			شوری عصاره اشباع خاک (dS/m)		
1	0-30	6.4	5.2	2.8	8.4	9.8	11.8
	30-60	7.4	5.8	3.1	6.2	7.4	9.0
	60-90	8.1	6.2	3.2	5.4	6.2	7.7
2	0-30	8.6	7.1	4.3	2.1	2.5	3.2
	30-60	10.2	8.3	5.3	1.0	1.2	1.8
	60-90	11.2	9.1	5.8	0.6	0.9	1.2
3	0-30	11.7	9.9	6.5	9.5	10.4	12.1
	30-60	12.8	10.7	7.0	7.9	8.6	9.8
	60-90	8.6	6.9	4.0	11.5	12.0	12.6
4	0-30	17.0	15.9	13.6	11.2	12.1	13.3
	30-60	18.8	17.4	14.8	10.1	10.8	11.9
	60-90	19.9	18.3	15.4۴	9.8	10.3	10.9
5	0-30	10.1	8.4	4.9	6.7	7.2	7.9
	30-60	11.8	9.8	5.9	5.2	5.6	6.1
	60-90	12.6	10.4	6.2	4.1	4.3	4.8

هر چه میزان رطوبت در این ناحیه (۰ تا ۳۰ سانتیمتری) کمتر باشد نسبت صعود موئینه‌ای به نفوذ عمقی بیشتر شده و موجب افزایش شوری در این ناحیه می‌گردد (سیاری و همکاران، ۱۳۸۶). به همین علت است که با فاصله گرفتن از لترال میزان شوری در لایه سطحی خاک روندی افزایشی داشته است که با نتایج سیفی و همکاران (۱۳۹۳) در یک راستا است.

مورد دیگری که تقریباً در تمام باغ‌ها مشاهده می‌گردد کاهش شوری در عمق‌های ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ است. علت این موضوع را می‌توان به این صورت بیان نمود که در عمق‌های ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ به‌علت وجود رطوبت بیشتر، حرکت جریان آب بیشتر به‌سمت پایین بوده لذا موجب انتقال املاح به لایه‌های پایین‌تر گردیده که این موضوع موجب می‌گردد که شوری خاک به‌مرور کاهش یابد که با نتایج سیاری و همکاران (۱۳۸۶) مشابهت دارد.

نفوذ ریشه

در باغ‌های مورد بررسی هیچ‌گونه ریشه‌ای در داخل قطره‌چکان‌ها مشاهده نشد و ریشه‌ها به داخل قطره‌چکان‌ها نفوذ نکرده بودند در نتیجه باعث ایجاد انسداد در قطره‌چکان‌ها نیز نشده بودند. در باغ‌های مورد ارزیابی افزودن ترفلان به‌طور سالانه به آب آبیاری جهت تزریق به خاک اطراف قطره‌چکان‌ها باعث جلوگیری از ورود ریشه‌ها به داخل قطره‌چکان‌ها شده بود. همچنین ریشه‌ها در محیط مرطوب رشد کرده و توسعه می‌یابند بنابراین در صورتی‌که محیط اطراف قطره‌چکان مرطوب باشد ریشه‌ها وارد قطره‌چکان نمی‌شوند. با توجه به سرطانزا بودن ترفلان، با مدیریت صحیح آبیاری و مرطوب نگه‌داشتن محیط ریشه هم می‌توان از ورود ریشه‌ها به داخل قطره‌چکان‌ها جلوگیری کرد. کوهی چله کران (۱۳۹۴) گزارش نمود در باغات پسته‌ای که به‌طور منظم از ترفلان در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی استفاده می‌شد هیچ ریشه‌ای در اطراف قطره‌چکان‌ها مشاهده نشد. در برخی باغات که از ترفلان در سامانه آبیاری استفاده نشده بود ریشه‌های کمی در اطراف قطره‌چکان‌ها وجود داشت اما هیچ ریشه‌ای به داخل قطره‌چکان نفوذ نکرده بود و مشکل مهمی وجود نداشت، زیرا از قطره‌چکان‌هایی استفاده شده بود که در آن‌ها ترفلان تزریق‌شده بود و بنا به کاتالوگ تا پنج سال این ماده در قطره‌چکان باقی می‌ماند (روسو و همکاران، ۲۰۰۱). در یک باغ نیز از تزریق ترفلان در سامانه آبیاری در طول سه سال استفاده نشده بود و ماده ترفلان در قطره‌چکان نیز وجود نداشت در این باغ تجمع و گسترش ریشه بسیار زیاد بوده اما بااین‌حال نفوذ ریشه به داخل قطره‌چکان‌ها مشاهده

نگردید. صداقتی و همکاران (۱۳۹۱) نیز با استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با عمق ۳۰ سانتیمتر برای لترال‌ها در یک باغ پسته در کرمان نشان دادند که با استفاده از این روش ضمن توزیع بهتر رطوبت و شوری در خاک، رشد علف‌های هرز کاهش‌یافته و نفوذ ریشه به داخل لوله‌ها و قطره‌چکان‌ها نیز مشاهده نشد. همچنین بررسی شاخص اشباع لانژیلر، احتمال رسوب کربنات کلسیم را نشان می‌داد به‌طوری‌که حتی فیلتراسیون مناسب نیز نمی‌توانست جلوی ایجاد این رسوب شیمیایی را بگیرد لکن هیچ‌گونه گرفتگی شیمیایی در قطره‌چکان‌ها مشاهده نشد؛ زیرا بر خلاف سامانه قطره‌ای سطحی به‌علت عدم وجود تبخیر آب از سطح قطره‌چکان‌ها رسوب املاح نیز در آن‌ها وجود نداشت.

نتیجه‌گیری

نتایج ارزیابی هیدرولیکی سامانه‌ها نشان داد که ضریب تغییرات دبی (Vqs) برای قطعات مورد بررسی بین چهار تا هشت درصد متغیر و در محدوده قابل‌قبول تا عالی بود. ضریب یکنواختی آماری (Uqs) در این قطعات نیز به طور متوسط برابر ۸۸ درصد بود. همچنین عملکرد کلی قطره‌چکان‌ها (Vpf) در محدوده قابل‌قبول تا خوب قرار گرفت. بر اساس آنچه هنگام ارزیابی مشاهده شد در برخی قطعات، فشار در لوله‌های مانیفولد و در برخی دیگر فشار در انتهای لترال‌ها کمتر از فشار طراحی بود. کاربرد منظم علف‌کش ترفلان و تزریق آن به داخل سامانه از ورود ریشه به قطره‌چکان‌ها جلوگیری کرده بود. در باغ‌های مورد بررسی عمق نصب لاترال‌ها غیریکنواخت و بین ۱۵ تا ۴۵ سانتی‌متر بود در نتیجه در نقاطی که عمق نصب کم بود آب به سطح خاک رسیده و سطح خاک مرطوب شده بود. لازم به ذکر است قسمت بیشتر لترال‌ها در عمق ۴۰ سانتیمتری و قسمت‌های محدودی در طول برخی لترال‌ها در عمق کمتری قرار گرفته بود، بنابراین تغییر عمق لترال‌ها در سطح باغات بسیار محدود بود. بررسی وضعیت رطوبت در اطراف لترال نشان داد بیشترین مقدار رطوبت در نزدیکی لترال وجود داشت و با فاصله گرفتن از لترال رطوبت کاهش یافت. همچنین مقدار رطوبت در اعماق بیشتر افزایش می‌یافت. مقدار شوری عصاره اشباع خاک با افزایش عمق روندی کاهشی داشت. فقط در باغ شماره سه با توجه به عمق نصب کمتر لترال‌ها نسبت به سایر باغ‌ها و نرسیدن آب به اعماق پایین، شوری در عمق ۹۰-۶۰ سانتیمتری بیشتر از سایر اعماق بوده است. در فواصل افقی دورتر از لوله لترال مقدار شوری خاک بیشتر بود. مقدار شوری در عمق‌های ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری بیشترین مقدار را داشت. علت افزایش شوری در این ناحیه کاهش رطوبت خاک در اثر صعود مویینه رطوبت و تبخیر آن از سطح خاک و جذب سریع‌تر رطوبت توسط ریشه بوده است. نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که با توجه به یکنواختی توزیع رطوبت و برای کمینه کردن نفوذ عمقی، بهترین عمق نصب قطره‌چکان‌ها در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برای خاک‌های رسی، لومی و شنی ۳۰ سانتی‌متر است. اجرای صحیح سامانه‌ها و تأمین فشار لازم در مانیفولدها و لترال‌ها، آبشویی خاک در فصل زمستان با آبیاری سنگین غرقاب، اندازه‌گیری عمق و عرض خاک خیس شده پس از آبیاری به‌منظور حصول اطمینان از مرطوب شدن منطقه ریشه، کارگذاری لترال‌ها در عمق مناسب به‌طور یکنواخت، توجه بیشتر به آموزش بهره‌برداران در زمینه بهره‌برداری صحیح از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی از جمله مدیریت آبیاری و سرویس و نگهداری صحیح سامانه به‌عنوان مهم‌ترین عوامل بهبود عملکرد سامانه‌های مورد بررسی تشخیص داده شدند.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافعی وجود ندارد و این مسئله مورد تأیید نویسندگان مقاله است.

فهرست منابع

۱. اسلامی، امیر و نقوی، هرمزد، ۱۳۹۶. الگوی توزیع رطوبت در خاک لومی شنی از یک منبع نقطه‌ای زیرسطحی. *مدیریت آب در کشاورزی*، ۴(۱)، صص. ۸۰-۶۷.

۲. باستانی، شهریار، ۱۳۹۶. مروری بر تاریخچه ابداعات و نوآوری‌ها در زمینه آبیاری زیرسطحی. *آب و توسعه پایدار*، ۴(۲)، صص. ۸۰-۶۹. **doi: 10.22067/jwsd.v4i2.60669**

۳. باقری، رقیه، حسام، موسی، کیانی، علیرضا، و هزارجریبی، ابوطالب، ۱۳۹۵. تعیین کارایی سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (مطالعه موردی: باغ هلو و مرکبات شهرستان کردکوی). *پژوهش آب ایران*، ۱۰(۱)، صص. ۷۶-۶۹.

۴. دهقانی سانیج، حسین، حاجی‌آقا بزرگی، حمید رضا، و قائمی، علی‌اصغر، ۱۳۹۸. تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر توزیع رطوبت خاک در باغات پسته در یک خاک لوم شنی (مطالعه موردی: سمنان). *آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۳۳(۳)، صص ۴۰۴-۳۹۱.
doi: 10.22067/jsw.v0i0.78773

۵. زارع، حمید و خالدیان، محمدرضا، ۱۳۹۶. بررسی تغییرات مکانی و زمانی شوری آب‌های زیرزمینی استان کرمان به‌منظور استفاده در آبیاری قطره‌ای پسته. *آبیاری و زهکشی ایران*. ۱۱(۵)، صص. ۸۲۱-۸۱۰.

۶. سجادی، مهری، زین‌الدینی، علی، و محمودی، شهلا، ۱۳۹۱. تأثیر کیفیت آب آبیاری بر خصوصیات خاک و عملکرد پسته در دشت رباط شهربابک. *مهندسی آبیاری و آب*، ۷(۲)، صص. ۴۵-۳۶.

۷. سرچشمه‌پور، مهدی و ملکوتی، محمدجعفر، ۱۳۸۴ .کوددهی باغات پسته با استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای و مقایسه آن با روش سنتی. *نهمین کنگره علوم خاک ایران*، تهران، پژوهشکده تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور.

۸. سیاری، نسرین، قهرمان، بیژن، و داوری، کامران، ۱۳۸۶. بررسی توزیع رطوبت خاک تحت سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) در باغ‌های پسته (مطالعه موردی: اراضی رفسنجان با آب‌های شور). *کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی*، ۷(۳)، صص. ۷۲-۶۵.

۹. سیاری، نسرین، قهرمان، بیژن، و داوری، کامران، ۱۳۸۶. بررسی کاتیون‌های خاک تحت سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) در باغات پسته رفسنجان با آب‌های شور. *علوم و صنایع کشاورزی (ویژه‌نامه آب‌وخاک)*، ۱(۲۱)، صص. ۵۲-۴۲.

۱۰. سیفی، اکرم، میرلطیفی، سید مجید، دهقانی سانیج، حسین، و ترابی، منوچهر، ۱۳۹۳. تأثیر دور آبیاری بر توزیع رطوبت و شوری در باغ‌های پسته تحت شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (مطالعه موردی: شهرستان سیرجان استان کرمان). *آبیاری و زهکشی ایران*، ۸(۴)، صص. ۷۹۹-۷۸۶.

۱۱. شریعتی، محمدرضا، ۱۳۷۵. مروری بر تحقیقات پسته در مرکز تحقیقات کشاورزی کرمان. *چکیده مقالات سمینار بررسی مسائل پسته*. کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

۱۲. صداقتی، ناصر، حسینی فرد، سیدجواد، و محمدی محمدآبادی، اکبر، ۱۳۹۱. مقایسه اثرات دو سامانه آبیاری سطحی و زیرسطحی بر رشد و عملکرد درختان بارور پسته. *آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۳(۲۶)، صص. ۵۸۵ -۵۷۵. **doi: 10.22067/jsw.v0i0.14890**

۱۳. عبداللهی، حمیده و فکری، مجید، ۱۳۸۸. بررسی پیاز رطوبتی در آبیاری زیرسطحی در مقایسه با آبیاری غرقاب و قطره‌ای در مناطق پسته‌کاری رفسنجان. *دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر*، کرمان، دانشگاه شهید باهنر.

۱۴. عطایی، علی، نیشابوری، محمدرضا، اکبری، مهدی، زارع حقی، داود، و عنابی میلانی، اژدر، ۱۳۹۷. ارزیابی مدل هایدروس دو بعدی برای تعیین توزیع رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی درختان پسته. *پژوهش آب در کشاورزی*، ۴(۳۲)، صص. ۵۹۵-۵۸۱. **doi: 10.22092/jwra.2019.118528**

۱۵. کوهی چله کران، نادر، ۱۳۹۴. ارزیابی سامانه‌های اجرا شده آبیاری زیرسطحی در باغات پسته استان کرمان و تعیین مناسب‌ترین سطح اتوماسیون و آرایش محل قرارگیری قطره‌چکان در خاک. *گزارش پژوهشی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی*.

۱۶. کوهی چله کران، نادر و دهقانی، حسین، ۱۳۹۱. بررسی مدیریت بهره‌برداری در سامانه‌های اجرا شده آبیاری زیرسطحی در باغات پسته استان کرمان. *چهارمین سمینار ملی توسعه پایدار روش‌های آبیاری تحت‌فشار*، ۱۷ مهرماه، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

۱۷. نقوی، هرمزد، ۱۳۹۵. بررسی تأثیر عمق کارگذاری و میزان آب آبیاری به روش قطره‌ای زیرسطحی بر عملکرد و غلظت عناصر ماکرو در برگ درختان پسته. *فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب*، ۲۶، صص.۱۵۸-۱۴۲.

۱۸. ولی پور، مژگان، کریمیان، مصطفی، ملکوتی، محمدجعفر، و خوش‌گفتار منش، امیرحسین، ۱۳۸۷. روند توسعه شوری و تخریب اراضی کشاورزی در منطقه شمس‌آباد قم. *علوم آب‌وخاک، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۲(۴۶)، صص. ۶۹۳-۶۸۱.

19. Acar, B., Topak, R. and Direk, M., 2010. Impacts of pressurized irrigation technologies on efficient water resources uses in semi-arid climate of konya of turkey. *International Journal of Sustainable Water and Environmental Systems, 1(1)*, pp.1-4. **doi:10.5383/swes.0101.001**
20. ASAE, 2003. Field evaluation of micro irrigation systems. *American Society of Agricultural Engineers*, pp. 760-765.
21. Camp, C.R., Lamm, F.R., Evans, R.G. and Phene, C.J., 2000. Subsurface drip irrigation-Past, present and future. *In 'Proceedings of the 4th Decennial Symposium'*. pp. 363-371.
22. Karasalia, H., Pavlidisa, G., Marousopouloua, A. and Ambrusb, A., 2017. Occurrence and distribution of trifluralin, ethalfluralin, and pendimethalin in soils used for long-term intensive cotton cultivation in central Greece. *Journal of Environmental Science and Health, Part B, 52(10)*, pp. 719-728. **doi: 10.1080/03601234.2017.1356678**
23. Li, Y., Li, C., Li, B. and Ma, Z., 2021. Trifluralin residues in soils from main cotton fields of China and associated ecological risk. *Chemosphere, 284*, pp. 1-7. **doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.131300**
24. Russo, D.J., Zaidel, A., Laufer, Z. and Gerstl, G., 2001. Numerical analysis of transport of trifluralin from a subsurface dripper. *Soil Science Society of America Journal, 65*, pp. 1648–1658. **doi: 10.2136/sssaj2001.1648**
25. Wang, S., Jiao, X., Guo, W., Lu, J., Bai, Y., and Wang, L., 2018. Adaptability of shallow subsurface drip irrigation of alfalfa in an arid desert area of Northern Xinjiang. *Plos one. 13(4)*, e0195965. **doi: 10.1371/journal.pone.0195965**