



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات خاک و آب

ملاحظات در بهره‌برداری سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیر سطحی در محصولات زراعی

افشین یوسف گمرکچی

عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین

نشریه فنی: 617

1401

مشخصات اثر

عنوان: ملاحظات در بهره‌برداری سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در محصولات زراعی

نگارنده: افشین یوسف گمرکچی

ناشر: موسسه تحقیقات خاک و آب

لینتوگرافی، چاپ و صحافی: انتشارات سنا

کارشناس انتشارات: سمانه پورمنصور

ویراستار: زهرا محمدی

طراح جلد: راضیه محمدی

سال انتشار: 1401

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

این اثر با شماره 62368 در تاریخ 1401/8/1 در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

نشانی: کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین‌دشت، بلوار امام خمینی (ره)، موسسه تحقیقات خاک و آب

صندوق پستی: 311-31785

کد پستی: 3177993545

تلفن: 026-36201900

نمابر: 02636210121

پست الکترونیکی: info@swri.ir

وبسایت: http://www.swri.ir

مسئولیت صحت مطالب به عهده نگارنده است.

فهرست مندرجات

صفحه

عنوان

1	مقدمه
2	سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی
3	روش‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی
5	طول عمر مفید سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی
5	مزایای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در محصولات زراعی
11	محدودیت‌ها و معایب سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی
22	ملاحظات فنی و اجرائی در اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی
40	نتیجه‌گیری و توصیه‌ها
42	فهرست منابع

پیشگفتار

اهمیت استفاده بهینه از منابع آب با توجه به وضعیت اقلیمی کشور بر کسی پوشیده نیست. به همین دلیل، افزایش بهره‌وری مصرف آب یکی از اهداف اساسی در رسیدن به کشاورزی پایدار محسوب شده و در این میان یکی از راهکارهای مهم و تأثیرگذار، بهره‌گیری از روش‌های نوین آبیاری و جایگزینی آن با روش‌های سنتی آبیاری است. در این راستا گفتمان استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای زیر سطحی در چند سال اخیر در سطح کشور به شدت رشد یافته است. به گونه‌ای که به پیاده‌سازی و بهره‌برداری از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی افزون‌بر محصولات باغی، در محصولات زراعی نیز به آن توجه شده است. شاید عواملی همچون فراهم آمدن کود آبیاری گیاه به‌طور مستقیم، کاهش تبخیر از سطح خاک و بیشتر بودن بازده آبیاری نسبت به دیگر روش‌های آبیاری باعث شده به این روش آبیاری در محصولات پر آب‌بری همچون یونجه و ذرت گرایش پیدا شود.

به دلیل عمر کوتاه پروژه‌های اجرا شده آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در سطح کشور (به‌ویژه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی اجراء شده در محصولات زراعی)، لازم است قابلیت‌ها و محدودیت‌های این روش آبیاری به خوبی برای مهندسين، مروجين و بهره‌برداران تشریح شده تا پیش از توسعه فراگیر سامانه‌های یاد شده در سطح کشور، بهره‌برداران شناخت کافی از علل اجرا و یا عدم اجرای این نوع سامانه‌ها داشته باشند و بر اساس یک شناخت جامع، بهره‌بردار تصمیم‌گیری نهایی را انجام دهد. از این‌رو در نگارش این نشریه فنی سعی بر آن بوده تا توانایی‌ها، محدودیت‌ها و ملاحظات فنی در اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برای کارشناسان، مروجان، مهندسان ناظر و کشاورزان پیشرو بررسی شود.

مقدمه

قرار گرفتن ایران در اقلیم خشک و نیمه خشک و رویدادهای خشکسالی‌های شدید در سال‌های اخیر، کشور ما را بیش از پیش نیازمند توسعه روش‌های آبیاری با بهره‌وری زیاد نموده است. چرا که نتیجه اعمال روش‌های آبیاری سنتی در وضعیت بحرانی منابع آب کشور، به دلیل راندمان کم و هدر رفت تبخیر زیاد، چیزی به جز کاهش بیشتر کمی و کیفی منابع آب‌های سطحی و زیر زمینی را در پی نخواهد داشت. به نظر می‌رسد در صورت کنترل سطوح زیر کشت و گرایش به سامانه‌های آبیاری بهره‌ور، می‌توان کاهش شدید منابع آب در سطح کشور را تا حدودی کنترل و مدیریت نمود. در چند دهه اخیر با هدف مدیریت بهینه آب آبیاری، سطوح تحت پوشش سامانه‌های آبیاری تحت فشار (قطره‌ای سطحی و بارانی) در سطح کشور با رشد قابل توجهی روبرو بوده است. در این راستا سامانه‌های آبیاری بارانی (به دلیل قابلیت‌های ذاتی خود) برای آبیاری محصولات زراعی به بهره‌برداران توصیه می‌شد. اما در مناطق بادخیز یا مزارع با آب شور، اساساً استقرار سامانه آبیاری بارانی با محدودیت اجرایی روبرو خواهد شد. از این‌رو در طی سال‌های اخیر به دلیل کاهش کیفی منابع آب و یا شرایط محدود کننده اقلیمی در برخی نقاط کشور (همانند شدت تبخیر بالا)، گرایش به سامانه‌های آبیاری موضعی در کشت محصولات زراعی افزایش یافته است. پس از توسعه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی برای محصولات زراعی، در برخی موارد همچون کشت محصول یونجه بدلیل محدودیت‌های عبور ماشین آلات برداشت، امکان استفاده از لوله آبدار روی زمین فراهم نبوده و بکارگیری سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی برای آبیاری این محصول امکان پذیر نیست. از سوی دیگر تعویض سالانه لوله‌های تیپ در آبیاری قطره‌ای موضعی محصولات زراعی مانند ذرت، گندم، جو، کلزا و ... هزینه‌های زیادی خواهد داشت از این‌رو به دلایل یاد شده استفاده از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در برخی محصولات زراعی همچون ذرت و یونجه در چند سال اخیر در سطح کشور رشد داشته است. در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به دلیل انجام آبیاری مستقیم در ناحیه توسعه ریشه، تبخیر از سطح خاک و رواناب به کمترین اندازه می‌رسد. این روش آبیاری با توجه به کاهش تبخیر از سطح خاک، هدر رفت آبی کم و بالا بودن بازده آبیاری نسبت به دیگر روش‌های آبیاری، می‌تواند جایگاه ویژه‌ای را در سال‌های آتی (آینده) به خود اختصاص

دهد. اما به دلیل عمر کوتاه اجرا و بهره‌برداری سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (به‌ویژه در کشت محصولات زراعی)، بهره‌برداران، محققین و مروجین باید در کنار توجه به برتری‌های سامانه، به محدودیت‌های فنی و اجرایی و مشکلات بهره‌برداری آن نیز آگاه بوده و بر اساس یک شناخت جامع، برای اجرا و یا عدم اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی تصمیم‌گیری نمایند. هدف این نشریه ارائه ملاحظات کاربردی درباره مزایا، کاستی‌ها و محدودیت‌های اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در کشت محصولات زراعی است. در کنار این موارد برخی نکات فنی مهم در اجرای موفق سامانه آبیاری قطره‌ای زیر سطحی نیز در این نشریه اشاره شده است.

سامانه آبیاری قطره‌ای زیر سطحی در محصولات زراعی

در سامانه آبیاری قطره‌ای زیر سطحی تحویل آب به منطقه توسعه ریشه از راه یک شبکه مدفون در خاک با خطوط لوله پلی‌اتیلن دارای قطره‌چکان، به‌طور مستقیم و به آرامی انجام می‌گیرد (لام و کمپ، 2007). در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به دلیل انجام آبیاری مستقیم در ناحیه توسعه ریشه، تبخیر از سطح خاک و رواناب به کمترین اندازه می‌رسد. از این‌رو هنگامی که اصول مدیریت آبیاری مؤثر اعمال شود، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی امکان تحویل مستقیم آب و کود به منطقه ریشه را فراهم می‌کند. این روش آبیاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند موجب افزایش راندمان کاربرد آب آبیاری شود (سوارز و همکاران، 2006).

در ابتدای توسعه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در سطح دنیا بیشتر برای محصولات باغی همچون مرکبات، درختان میوه، تاکستان‌ها، پسته، زیتون، آناناس، آووکادو، خرما و ... استفاده شده بود. پس از توسعه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیر سطحی در محصولات باغی، این سامانه‌ها به صورت گسترده برای آبیاری باریک برگان چمنی به‌ویژه در کالیفرنیا، هاوایی و تگزاس استفاده شد. در حال حاضر این روش آبیاری برای بیش از 30 نوع محصول مختلف زراعی همچون نیشکر، ذرت، کلزا، جو، سیب‌زمینی، سویا، پنبه، یونجه و گندم استفاده می‌شود (ناصری، 1395). آنچه که مشخص است تمایل به استفاده از این روش برای آبیاری درختان چندساله، تاکستان‌ها، گیاهان زراعی و علوفه (به‌ویژه یونجه) به دلیل کاهش تبخیر از سطح خاک و قابلیت ارتقاء راندمان سامانه آبیاری، رو به افزایش

است. در بیشتر مقایسه‌های صورت گرفته بین سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با دیگر روش‌های آبیاری، میزان عملکرد محصول برابر یا بیشتر بوده است (آیراس و همکاران، 1999) و در شرایطی که میزان عملکرد محصول برابر بوده، مقدار قابل توجهی کاهش در میزان آب مصرفی گزارش شده است (کائو و همکاران، 2021).

روش‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

روش‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی از نظر شیوه آبدی لوله‌های آبدی متفاوت است. آبدی لوله‌ها در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ممکن است به صورت نقطه‌ای یا خطی باشد (شکل‌های 1 و 2). اصولاً در این روش از قطره‌چکان‌های با دبی بسیار پایین که در روش آبیاری قطره‌ای سطحی عملاً در بسیاری شرایط کاربرد چندانی ندارد، استفاده می‌شود. مشکل توزیع غیریکنواخت رطوبت و افزایش احتمال نفوذ ریشه در محل خروجی آب از مشکلات عمده این نوع لوله‌های آبدی است. یک روش دیگر با هدف رفع نقاط ضعف آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی کاپیلاری نام دارد. در این روش از یک غلاف پارچه‌ای از جنس پلی‌استر برای لوله استفاده می‌شود. وظیفه این غلاف جلوگیری از نفوذ ریشه و توزیع بهتر رطوبت در خاک و نزدیک کردن آبدی لوله آبدی از حالت نقطه‌ای به حالت خطی است (شکل 2). در رابطه با ریشه اگرچه نفوذ به داخل پلی‌استر ممکن است اما احتمال مسدود شدن قطره‌چکان نسبت به حالت نقطه‌ای کمتر است (باستانی، 1396).

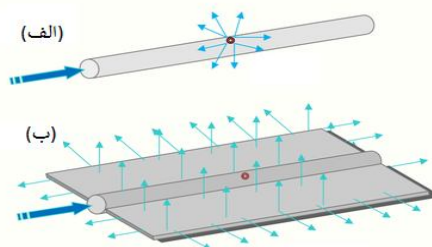


شکل 1- نمونه‌ای از لوله آبدی در سامانه آبیاری قطره‌ای زیر سطحی با آبدی به صورت قطره‌ای (وایت، 2017)



شکل 2- نمونه‌ای از لوله آبدۀ در سامانه آبیاری قطره‌ای زیر سطحی با آبدهی به صورت خطی (یوسف گمرکچی، 1398)

در شکل‌های 3 و 4 به ترتیب طرح شماتیک و شیوه آبدهی دو نوع لوله آبدۀ در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نشان داده شده است.



شکل 3- طرح شماتیک الف: لوله آبدۀ با آبدهی به صورت قطره‌ای ب: لوله آبدۀ با آبدهی به صورت نواری (حسن پور اصطهباناتی، 1399)



شکل 4- سامانه آبیاری قطره‌ای زیر سطحی الف: لوله آبدۀ با آبدهی به صورت قطره‌ای ب: لوله آبدۀ با آبدهی به صورت نواری (منبع، بی نام)

طول عمر مفید سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

در سطح دنیا سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی افزون‌بر آبیاری باغات و تاکستان‌ها، برای آبیاری محصولات زراعی همانند یونجه، پنبه، ذرت، گندم، کلزا، سویا، چغندر، گوجه‌فرنگی و سبزیجات نیز استفاده شده است (کائو و همکاران، 2021؛ استایلز و همکاران، 1997؛ لام و ایکین، 2005؛ گائو و همکاران، 2014؛ کمپ، 1998؛ باتارای و همکاران، 2008؛ ماکرانتوناکي و کالفونتوز، 2004؛ هنسون و می، 2004؛ لام و همکاران، 2012). بر این اساس سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیر سطحی براساس طول دوره عمر به دو بخش تقسیم شده‌اند. سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی کوتاه‌مدت دارای بیشترین عمر مفید در دامنه 3 تا 10 سال هستند (لام و همکاران، 2012). این سامانه‌ها به‌طور معمول برای محصولات با ارزش متوسط (یونجه، گندم، گوجه‌فرنگی و دیگر سبزیجات) استفاده شده و براساس تأمین حداکثر نیاز آبی محصول، طراحی شده‌اند. عمق نصب لوله‌های آبد به‌طور متوسط بین 7 تا 45 سانتی‌متر از سطح زمین است (لام و همکاران، 2012). هر چند مواردی مانند نوع خاک، عمق توسعه ریشه، عمق یخ‌زدگی خاک، توان جوانه‌زنی بذر، شوری آب آبیاری، تناوب کشت و ماشین‌آلات کشاورزی از جمله عوامل محدود کننده در عمق کارگذاری لوله آبد در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی خواهند بود. سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بلندمدت دارای عمر مفیدی کم و بیش 20 سال و یا بیشتر هستند (لام و همکاران، 2012). این سامانه‌ها به‌طور معمول برای محصولات باغی (پسته، فندق و...) استفاده شده و بر اساس ظرفیت نگهداری آب در خاک و زمان آبیاری برای حداکثر نیاز آبی در طول دوره رشد طراحی شده‌اند. عمق نصب لوله‌ها بسته به نوع درخت به‌طور متوسط بیش از 45 سانتی‌متر از سطح زمین است.

مزایای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در محصولات زراعی

- تسهیل در عملیات داشت و برداشت محصول: یکی از مهمترین برتری سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی آسانی در عملیات داشت و برداشت محصول است (این برتری) در سامانه‌های آبیاری متحرک همانند لینیئر و سنتر پیوت هم وجود دارد). این برتری از سه دیدگاه قابل بررسی است.

الف) یکی از نقاط قوت اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، انجام ساده‌تر و با سرعت کار بیشتر ماشین‌آلات کشاورزی به دلیل محدودیت کمتر موانع در سطح مزرعه است. در روش آبیاری سطحی به دلیل وجود کانال‌های خاکی در سطح مزرعه و در سامانه آبیاری بارانی به دلیل وجود هیدرانت‌ها در نقاط مختلف مزرعه، انجام عملیات مکانیزه با مشکلات بیشتری نسبت به آبیاری قطره‌ای زیرسطحی روبرو خواهد بود (یوسف‌گمرکچی، 1397). در شکل (5) نمایی از سطح یک مزرعه تجهیز شده با سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نشان داده شده است.



شکل 5- نمایی از یک مزرعه یونجه با سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در منطقه بوئین زهرا (یوسف‌گمرکچی، 1397)

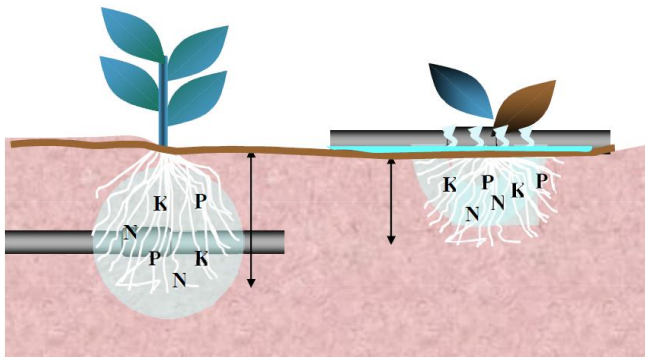
ب) انجام آبیاری هم‌زمان با برداشت محصول و یا بلافاصله پس از آن، امکان‌پذیر است. این مساله در محصولی همانند یونجه که شرایط بحرانی تنش وارد به گیاه پس از هر برداشت به وقوع می‌پیوندد، بسیار اهمیت دارد. به عبارتی هم‌زمانی برداشت محصول و انجام آبیاری، کمک شایانی در کاهش تنش وارده به محصول یونجه خواهد داشت (منتظر و همکاران، 2017). همچنین در دیگر عملیات مکانیزه به دلیل کنترل رطوبت سطحی خاک، رفت و آمد ماشین‌آلات در سطح مزرعه با محدودیت کمتری روبرو خواهد بود.

ج) به دلیل قرارگیری لوله‌های آبد در زیر زمین خسارات وارد به آن‌ها بر اثر عملیات داشت و برداشت به کمترین میزان خواهد رسید.

- **افزایش کارایی مصرف آب:** در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی لوله‌های آبد در زیر سطح خاک مدفون می‌شوند، از این‌رو هنگام آبیاری سطح خاک (در صورت طراحی دقیق سامانه)، به صورت محدودی مرطوب می‌شود. افزون‌بر آن چنانچه سامانه صحیح مدیریت شود هدر رفت ناشی از نفوذ عمقی آب نیز حذف می‌شود. در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به دلیل انجام آبیاری مستقیم در ناحیه توسعه ریشه، تبخیر از سطح خاک به کمترین اندازه می‌رسد. همچنین از آنجا که آب و مواد غذایی مستقیم به محل ریشه وارد می‌شود، گیاه رشد بیشتر و در پایان کارایی مصرف آب بالاتری در مقایسه با دیگر روش‌های آبیاری خواهد داشت (مالک و بینگام، 1993). به عنوان نمونه نتایج کاربرد سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر روی بیش از 30 گیاه در برزیل، افزایش محصول را نسبت به دیگر روش‌های آبیاری از جمله روش آبیاری قطره‌ای سطحی به همراه داشته است (کمپ، 1998). نتایج تحقیقات انجام شده با محوریت تأثیر سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر عملکرد محصول ذرت در مقایسه با دیگر سامانه‌های آبیاری، نشان‌دهنده افزایش میانگین عملکرد در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به آبیاری ثقلی 19/14 درصد، افزایش میانگین عملکرد در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به سامانه آبیاری بارانی، 7/5 درصد و افزایش میانگین عملکرد در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی، 10/24 درصد بوده است (دهقانی‌سانچ و همکاران، 1395). نتایج یک پژوهش در مزارع تحقیقاتی شهر کرج نشان داد که آبیاری قطره‌ای زیرسطحی اثر بسیار معنی‌داری در کاهش آب مصرفی (40 درصد) و افزایش عملکرد محصول (46 درصد عملکرد دانه‌ای، 50 درصد عملکرد علوفه‌ای و 12 درصد وزن هزار دانه ذرت) نسبت به سامانه آبیاری سطحی داشت (لیاقت و همکاران، 1397). از سوی دیگر بررسی تبخیر - تعرق و اجزای عملکرد ذرت در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، بارانی و سطحی در یک منطقه نیمه خشک (البنسته در جنوب اسپانیا) نشان داد در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، بهره‌وری آب آبیاری به طور میانگین 20 درصد افزایش داشته است. همچنین سامانه آبیاری زیرسطحی در مقایسه با آبیاری بارانی توانست 39 درصد از تبخیر - تعرق فصلی گیاه را کاهش دهد (ولنتین و همکاران، 2020). کاربرد روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در محصول لوبیا، سبب کاهش 55 درصدی آب مصرفی در قیاس با روش آبیاری جویچه‌ای

شد (سپاسخواه و همکاران، 1976). مقایسه دو سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و سطحی بر روی محصول چغندر قند نشان داد افزون بر کاهش 20 درصدی مصرف آب در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، میزان محصول و درصد قند آن نیز نسبت به روش قطره‌ای سطحی به شکل معنی‌دار افزایش داشت (ساکلریو، 2002). نتایج تحقیق انجام شده بر روی محصول پنبه در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نشان داد که در این روش آبیاری مقدار عملکرد پنبه 8 درصد و کارایی مصرف آب، 15 درصد بیشتر از روش آبیاری بارانی بوده است (وایتاکر و همکاران، 2008). بر این اساس می‌توان عنوان نمود در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با محدودیت‌های اقلیمی و کمبود منابع آب و تنش آبی روبرو هستند، کاربرد سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در برخی محصولات زراعی، باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد محصول و همچنین بالا بردن بهره‌وری آب آبیاری خواهد شد.

- آماده نمودن محیط مناسب برای جذب عناصر غذایی: در بسیاری از موارد سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی شرایط بهتری را برای جذب عناصر غذایی را در قلمرو رشد ریشه (به دلیل میزان رطوبت موجود در ناحیه توسعه ریشه)، پدید می‌آورند. چنین وضعیتی از برتری‌های مهم سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بوده و از نظر کاربران آن دارای اهمیت است (شاهین رخسار، 1385). محصولی همانند یونجه، نسبت به این شرایط واکنش مثبتی از خود نشان داده و باعث بهبود کیفیت محصول یونجه (ترد تر شدن محصول) نسبت به روش آبیاری سطحی خواهد شد (یوسف‌گمرکچی، 1397). مقایسه کیفیت محصول چغندر قند در دو سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و سطحی نشان داد که درصد قند محصول چغندر نسبت به روش قطره‌ای سطحی به طور معنی‌دار افزایش داشته است (ساکلریو، 2002). از سوی دیگر بکارگیری سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در محصولات زراعی، منجر به توسعه عمق نفوذ ریشه سطحی در پروفیل خاک خواهد شد. در شکل (6) الگوی شیوه توسعه ریشه در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و سطحی در محصولات زراعی نشان داده شده است.



شکل 6- الگوی شیوه توسعه ریشه در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و سطحی در محصولات زراعی (اویتال، 2014)

- کنترل آفات و کاهش میزان مصرف سموم کشاورزی: کنترل آفات و بیماری‌ها از سه دیدگاه قابل بررسی است.

الف) کنترل آفات: در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به دلیل ترک‌خوردگی و شکاف کمتر سطح خاک، امکان زمستان‌گذرانی سخت‌تری را برای برخی آفات، همانند آفت سرخرطومی بوجود می‌آورند (زمستان‌گذرانی این آفت معمولاً به شکل حشره کامل در پناهگاه‌های خارج از مزرعه و یا زیست‌گاه‌های محفوظ داخل شکاف‌ها است) و از این‌رو جمعیت آفت در فصل بهار به مراتب کمتر و میزان مصرف سموم برای کنترل اینگونه آفات که نیاز به زمستان‌گذرانی در سطح مزارع دارند نیز کاهش خواهد یافت (یوسف گمرکچی، 1397). در شکل 7 نمونه‌ای از خسارت آفت سرخرطومی یونجه نشان داده شده است.



شکل 7- نمونه‌ای از خسارت آفت سرخرطومی برگ یونجه

ب) کنترل بیماری‌های ناشی از رطوبت: در سامانه‌های آبیاری بارانی به دلیل افزایش میزان رطوبت در محیط رشد گیاه، امکان آشکار شدن بیماری‌های گیاهی بیشتر خواهد بود. این پدیده حتی در برخی موارد مانند کشت ذرت و یونجه منجر به آشکار شدن مشکلات جانبی در تغذیه و بیماری‌های دام خواهد شد. همچنین کیفیت نامناسب آب آبیاری و بالا بودن میزان سدیم و کلراید، در سامانه آبیاری بارانی می‌تواند منجر به مسمومیت گیاه و کاهش عملکرد مرتبط با کیفیت آب آبیاری شود. از این‌رو روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با محدودیت کمتری روبرو خواهد بود.

ج) کاهش مصرف علف‌کش‌ها: تجمع شوری و سدیم در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در لایه سطحی خاک که بالای قطره‌چکان قرار گرفته، می‌تواند باعث کاهش میزان رشد رستنی‌های سطحی در پای درخت شود. در نتیجه توصیه می‌شود که از این عامل به‌عنوان راهکاری در کنترل علف‌های هرز استفاده شود. هر چند این پدیده در محصولات زراعی به دلیل نوع رقابت بین دو گونه علفی، مزیت محسوب نمی‌شود. ولی به دلیل کاهش رطوبت سطحی خاک، جوانه‌زنی علف‌های هرز در سامانه آبیاری زیرسطحی محدودتر می‌شود.

- رفع محدودیت‌های بهره‌برداری سامانه در شرایط باد خیز: در مناطق بادخیز یا مزارع با آب شور استقرار سامانه آبیاری بارانی با شکست مواجه خواهد شد. سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی از این نظر مشکلات کمتری در مقایسه با دیگر روش‌های مرسوم آبیاری خواهند داشت.

- کاهش مصارف انرژی: در این روش موردنیاز برای بهره‌برداری سامانه کمتر از روش آبیاری بارانی است. از این‌رو کارکرد سامانه با فشار به نسبت کم، موجب کاهش هزینه‌های مرتبط با انرژی خواهد شد.

- مشکلات و محدودیت کمتر در استفاده از پساب‌های تصفیه شده: آبیاری قطره‌ای و به‌ویژه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، از جمله روش‌هایی است که می‌توان با استفاده از آن مخاطرات زیست‌محیطی کاربرد پساب را به کمترین رساند. زیرا در این روش خاک همچون فیلتر عمل خواهد نمود و بین خاک، گیاه و انسان کمترین تماس حاصل می‌شود (ملکیان و همکاران، 1387). از سوی دیگر نتایج تحقیقات انجام شده

نشان‌دهنده آن است که بکارگیری سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در محصولاتی همانند پنبه، گندم، ذرت و نخودفرنگی باعث افزایش عملکرد در شرایط کاربرد پساب فاضلاب شهری شده است (برار و همکاران، 2021).

محدودیت‌ها و معایب سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

- خطر نفوذ گل به داخل لوله‌ها: ایجاد مکش معکوس در لوله‌های آبدۀ زمانی که از آب تخلیه می‌شود، موجب مکش گل به داخل لوله آبدۀ و سرانجام گرفتگی قطره‌چکان‌ها خواهد شد. در شکل 8 نمونه‌ای از آشکار شدن مشکل مکش ذرات خاک به درون لوله آبدۀ در یک سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نشان داده شده است. برای رفع این مشکل در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، نصب شیر خلاشکن در اندازه مناسب و در نقاط مورد نیاز از الزامات اجرایی است (شکل 9). این شیر به منظور ورود هوا به داخل لوله (به صورت خودکار) در زمانی که خط لوله در حال تخلیه است، بکار گرفته شده تا از پیدایش فشار منفی (خلاء) در داخل لوله جلوگیری نماید. شیوه عملکرد شیر خلاشکن بدین صورت است که در شرایط عادی هنگامی که فشار مثبت در خط لوله آبدۀ وجود دارد، شیر کاملاً بسته و زمانی که فشار خط به فشار منفی ($0/1$ - بار) برسد، شیر شروع به باز شدن نموده و در فشار منفی بیشتر ایجاد شده در لوله آبدۀ، شیر کاملاً در حالت باز قرار گرفته و هوا با بیشترین شدت وارد خط لوله خواهد شد.



شکل 8- نمونه‌ای از مکش ذرات خاک به درون لوله آبدۀ در یک سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در منطقه بوئین‌زهر (یوسف گمرکچی، 1397)



شکل 9- بکار گیری شیر خلأ شکن در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (منبع، بی نام)

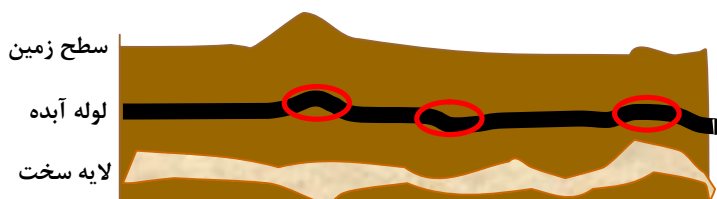
- **تجمع نمک:** یکی از مشکلات قابل پیش‌بینی در روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی، زیرسطحی و یا بارانی، احتمال تجمع نمک در خاک است که خطر پنهانی را برای گیاه به وجود می‌آورد. زیرا باران‌های سبک املاح را به ناحیه ریشه گیاه منتقل می‌سازد. معمولاً در مناطق خشک و نیمه خشک کیفیت منابع آب از لحاظ وجود املاح معدنی بنا به دلایل مختلف، متغیر است. در صورت استفاده از آب‌هایی با کیفیت پایین (بیش از حدود آستانه‌های توصیه شده کارشناسی و علمی)، به دلیل جذب آب به نسبت خالص توسط گیاه و تجمع به مرور زمان املاح در خاک، ممکن است تجمع املاح به اندازه‌ای برسد که به گیاه آسیب برساند و به همین دلیل آبیاری قطره‌ای زیرسطحی معمولاً در این نواحی توصیه نمی‌شود. اما در نواحی که مشکلات کیفیت آب آبیاری نزدیک به آستانه مرزی توصیه‌هاست، در صورت اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نمک‌ها در بالای محل نصب قطره‌چکان‌ها انباشته می‌شوند (پوتنام و همکاران، 2015). تجمع این نمک‌ها در خاک در صورتی که تنها از سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی استفاده شود و یا آب باران به میزان مورد نیاز آبیاری نمک‌ها نباشد، در کشت‌های پس از آن مزرعه مشکل‌زا خواهد بود. آبیاری می‌تواند سبب شسته شدن املاح از محیط ریشه و ایجاد شرایط مناسبی برای رشد گیاهان شود. برآورد زمان و میزان آب مصرفی برای آبیاری می‌تواند در کاهش خطرات تجمع نمک‌های مضر در افق سطحی خاک مؤثر باشد و ضروری است در بازه‌های زمانی خاص در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، اقدام به انجام عملیات آبیاری نمک از محدوده ریشه، بر اساس توصیه‌های کارشناسی شود. میزان تجمع نمک در نزدیکی سطح

خاک به عواملی همچون کیفیت آب آبیاری، عمق نصب لوله‌های آبد، کیفیت خاک، نوع محصول و میزان تبخیر و تعرق سالانه مرتبط است اما انجام حداقل سالی یکبار آبشویی در کشت انواع محصولات زراعی توصیه شده است (لام و همکاران، 2012). چنانچه شوری آب آبیاری بیش از 5 دسی زیمنس بر متر و بافت خاک هم سنگین بود، در صورت امکان حداقل دو نوبت آبشویی توصیه شده است (کرمان نژاد و قنبری عدیوی، 1398). تجمع نمک در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر روی زراعت‌های ردیفی و در عمق‌های نصب 30، 40 و 60 سانتی‌متری نشان داد که تجمع شوری در لایه سطحی خاک در عمق‌های 30 و 40 سانتی‌متری بیشتر از مقدار آن در عمق نصب 60 سانتی‌متری است (سینگ، 2021). افزون‌بر انجام دقیق و زمان‌بندی شده فرآیند آبشویی در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، اعمال روش‌های خاک‌ورزی، کاشت گیاهان مقاوم به شوری و نشاکاری در کم کردن مشکلات شوری سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیز مؤثر خواهد بود. به‌طور نمونه در روش‌های خاک‌ورزی به دلیل نگه‌داشتن بقایای کشت پیشین در سطح خاک، تبخیر سطحی خاک و انتقال نمک طی پدیده موبینگی از لایه‌های زیرین خاک به منطقه حساس رشد ریشه، کاهش خواهد داشت. همچنین در خاک‌های شور و قلیا می‌توان به کشت گیاهان زراعی مقاوم به شوری مانند چغندرقد، ذرت خوشه‌ای، جو، یونجه، پنبه اقدام نمود و یا با انجام نشاکاری در برخی محصولات زراعی همانند چغندرقد، می‌توان یکی از موانع جوانه‌زنی بذر که شوری خاک است را تا اندازه‌ای کنترل نمود.

- مشکلات مرتبط با تأمین ماشین‌آلات مناسب نصب لوله‌های آبد؛ نصب لوله‌های

زیر سطحی در بیشتر موارد به‌صورت مکانیزه و با استفاده از تراکتورهای پر قدرت و یا بولدوزر با ابزارهای ویژه صورت می‌گیرد. بر این اساس در صورت موجود نبودن ماشین‌آلات مناسب، یکنواختی عمق نصب لوله‌های آبد به دلیل برخورد به لایه‌های مختلف خاک به هم خورده که این مساله باعث ایجاد سیفون معکوس در طول نوار آبد خواهد شد. با توجه به آنکه هوا بصورت محلول امولسیون یا حباب در آب آبیاری موجود است، در نقاطی که لوله آبد به صورت مرتفع و یا پست قرار گرفته (نقاطی که لوله در عمق غیر یکنواخت نصب شده)، هوا از آب آزاد شده و به مرور به علت کاهش فشار ناشی از کاهش بار، انباشته می‌شود. سرانجام توده سیالی که از این روش در این نقاط تشکیل می‌شود باعث کاهش آبدی قطره‌چکان‌ها در بخشی از لوله آبد خواهد شد. در شکل (10) طرح واره نقاط ایجاد سیفون معکوس در

طول نوار آبدۀ در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نشان داده شده است.



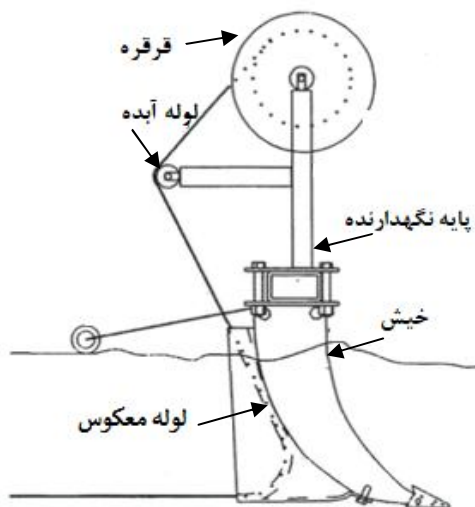
شکل 10- طرح‌واره نقاط ایجاد سیفون معکوس در لوله‌های آبدۀ به دلیل عدم یکنواختی عمق نصب لوله آبدۀ

به همین دلیل یکنواخت نبودن عمق نصب لوله‌های آبدۀ و ایجاد سیفون معکوس در طول لوله آبدۀ پس از بهره‌برداری سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی محصولات زراعی، بسیار مهم و اثرگذار خواهد بود. شکل (11) نمونه‌ای از مشکلات سیفون معکوس ایجاد شده به دلیل استفاده نکردن از ماشین‌آلات مناسب برای جایگذاری لوله‌های آبدۀ را نشان داده است. در این مزرعه به دلیل نبود ماشین‌آلات مناسب، عمق نصب لوله آبدۀ به صورت یکنواخت نبوده و مشکل کاهش آبدۀ و خشک شدن موضعی محصول در طول خط لوله آبدۀ بوجود آمده است. از این‌رو انتخاب ماشین‌آلات متناسب با بافت خاک و لایه‌بندی عمقی آن، برای کاهش مشکلات بهره‌برداری سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی امری ضروری است.



شکل 11- مشکلات ناشی از سیفون معکوس در طول لوله آبدۀ به صورت گسترده در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی محصول ذرت در منطقه بوئین زهرا (یوسف گمرکچی، 1398)

با توجه به آنکه لوله‌های آبدۀ معمولاً به صورت رول هستند مهمترین مولفه در نصب مکانیزه لوله آبدۀ در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، خیش نصب لوله (نوار) است (شکل 12). از خیش برای حفر ترانشه و قرار دادن دقیق لوله آبدۀ در عمق نصب طراحی شده، استفاده می‌شود (گودرزی، 1400). ساخت خیش‌های نصب معمولی (مانند خیش نصب لوله آبدۀ) آسان است اما بایستی توجه زیادی داشت که سطوح تیز و برنده از روی آن‌ها حذف شود. به‌طور کلی لوله نصب نوار بایستی بدون هرگونه لبه‌های تیز، باقیمانده جوشکاری و هر عارضه دیگری که ممکن است به لوله آبدۀ آسیب وارد کند، باشد.



شکل 12- طرح شماتیک خیش نصب لوله آبدۀ در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

برای نصب لوله آبدۀ در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (بسته به قدرت تراکتور) ممکن است یک یا چند قرقره و خیش برای نصب بر روی یک دستگاه سوار شوند. در شکل (13) نمونه‌ای از نصب لوله آبدۀ در پیاده‌سازی سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نشان داده شده است.



شکل 13- نمونه‌ای از نصب لوله آبدۀ در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (منبع، بی نام)

- آبیاری نخستین برای جوانه‌زنی بذر: در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی تنها بخش اندکی از سطح خاک مرطوب خواهد شد و این وضعیت انتقال رطوبت به سطح خاک، باعث آشکار شدن مشکلی جدی در سبز کردن اولیه بذر پس از کاشت محسوب می‌شود. این مساله در سبز کردن بذر برخی محصولات زراعی همانند یونجه و کلزا به دلیل محدودیت عمق کاشت بذر، بسیار مهم‌تر از دیگر محصولات همانند گندم و ذرت خواهد بود. برای جوانه‌زدن بذرهای می‌بایست تمام سطح مزرعه مرطوب شود که این کار را می‌توان با افزایش میزان آبیاری تا حد ایجاد همپوشانی بین جبهه رطوبتی قطره‌چکان‌ها انجام داد، اما این روش در بسیاری از موارد به‌ویژه در خاک‌های سبک و شنی امکان‌پذیر نبوده و می‌بایست از آبیاری بارانی و یا سطحی استفاده کرد. در شکل (14) نمونه‌ای از مشکل جوانه‌زنی بذر گندم در پیاده‌سازی یک سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در خاک سبک نشان داده شده است. در این مزرعه به دلیل بافت سبک خاک در نقاطی از مزرعه، میزان رطوبت کافی برای جوانه‌زنی بذر در آبیاری نخستین مزرعه بطور کامل تامین نشده و مشکل جوانه‌زنی بذر در نقاطی از مزرعه بوجود آمده است.



شکل 14- مشکل جوانه زنی بذر گندم به دلیل نبودن تامین رطوبت کافی در آبیاری اولیه در یک سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در منطقه بوئین زهرا (یوسف گمرکچی، 1398)

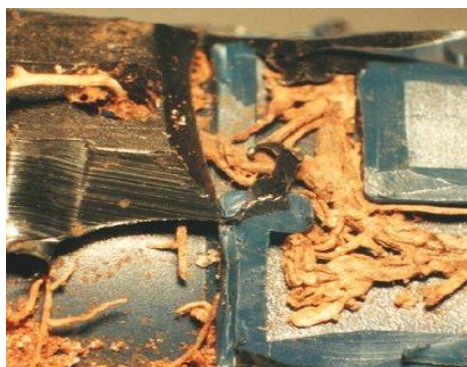
همانگونه که اشاره شد برای کاهش مشکلات جوانه‌زنی بذر اقداماتی همچون افزایش زمان آبیاری اولیه (افزایش جبهه رطوبتی در سطح خاک)، اصلاح بافت خاک و در برخی موارد اعمال یک نوبت آبیاری سطحی و یا استفاده از دستگاه‌های مینی لینیر در مزارع زیر کشت کلزا و یونجه که با مشکل سبز شدن اولیه بذر روبرو هستند، توصیه شده است (یوسف گمرکچی، 1397). نکته مهم آن که همزمانی کشت محصول و شروع بارندگی - های موثر فصلی، در کاهش مشکل جوانه‌زنی بذر بسیار موثر خواهد بود.

- مشکلات مرتبط با گرفتگی لوله آبدۀ توسط ریشه‌ها: یکی از چالش‌های مهم در بهره‌برداری بلندمدت سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، گرفتگی قطره‌چکان‌ها توسط ریشه گیاهان است که از حرکت ریشه به محل خروج آب از لوله‌ها ناشی می‌شود (کمپ، 1998). حرکت ریشه به سمت قطره‌چکان‌ها ناشی از فراوانی نسبی و قابلیت دسترسی آسان به آب و مواد غذایی بیشتر در ناحیه اطراف نازل‌ها است (وانگ و همکاران، 2005). اگرچه تجمع ریشه در این ناحیه می‌تواند موجب بهبود کارایی مصرف آب گیاه شود، ولی تراکم ریشه در این ناحیه می‌تواند منجر به کاهش آبدهی قطره‌چکان‌ها و حتی گرفتگی کامل آن‌ها شود. ریشه‌ها در محدوده مرطوب رشد می‌کنند و توسعه می‌یابند. از این‌رو در صورت آشکار شدن تنش در آبیاری، ریشه‌ها وارد قطره‌چکان خواهند شد. در شکل‌های (15) و (16) نمونه‌هایی از تجمع ریشه گیاه در

محل قطره‌چکان سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نشان داده شده است.



شکل 15- نمونه‌ای از تجمع ریشه در محل قطره چکان سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی
(منبع، بی نام)



شکل 16- نمونه‌ای از تجمع ریشه در محل قطره چکان سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی
(منبع، بی نام)

مدیریت آبیاری می‌تواند با کنترل رطوبت محیط مجاور قطره‌چکان در خاک، از جمع شدن ریشه به پیرامون قطره‌چکان جلوگیری کند. افزایش تعداد دفعات آبیاری و بالا نگه‌داشتن رطوبت خاک در محیط اطراف ریشه می‌تواند در جلوگیری از خطر گرفتگی قطره‌چکان‌ها مؤثر باشد. ریشه در محیط مرطوب با توجه به نبودن محرک (تنش آبی) گرایشی به حرکت به‌سوی محیط اشباع مجاور قطره‌چکان را نخواهد داشت (در مدیریت مناسب یک سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، مقدار آب مصرفی کمتر از روش آبیاری قطره‌ای سطحی خواهد بود). در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی کاپیلاری به دلیل

وجود غلاف در روی لوله، توزیع بهتر رطوبت در ناحیه توسعه ریشه انجام می‌شود. در رابطه با ریشه اگرچه امکان نفوذ به داخل پلی‌استر وجود دارد اما احتمال مسدود شدن قطره‌چکان نسبت به حالت نقطه‌ای کمتر است (باستانی، 1396).

- مشکلات زیست‌محیطی: روش رایج برای جلوگیری از ورود ریشه به داخل قطره‌چکان، تزریق مواد شیمیایی مانند اسیدسولفوریک، اسید فسفریک و ترفلان به داخل سامانه آبیاری همراه با آب آبیاری است. ترفلان معمولاً برای کنترل علف‌های هرز یک‌ساله در مزارع استفاده می‌شود. از آنجائی که این ماده شیمیایی، دارای نیمه‌عمر به نسبت طولانی است، از این‌رو به‌عنوان جایگزین مناسبی به‌جای اسیدسولفوریک و اسید فسفریک برای جلوگیری از گرفتگی قطره‌چکان پیشنهاد شده است. به تأثیر ترفلان به‌عنوان علف‌کش مضر در محیط خاک و آب جدی توجه شده است. حرکت ترفلان در خاک کاملاً به بافت خاک بستگی دارد و ترفلان تزریق شده در قطره‌چکان‌های زیرسطحی، معمولاً در خاک مجاور قطره‌چکان باقی می‌ماند (راسکین و همکاران، 1997). برای جلوگیری از ورود ریشه به داخل لوله‌های آبد، تزریق ترفلان در آب آبیاری و یا استفاده از قطره‌چکان‌های دارای گاز ترفلان توصیه می‌شود (دستورالعمل تزریق ترفلان با عنوان "تزریق علف‌کش در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی" در متن نشریه فنی اشاره شده است). هرچند استفاده از قطره‌چکان‌های دارای گاز ترفلان از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست، ولی مشکلات آلودگی کمتری در خاک و گیاه به‌جا می‌گذارد.

- مشکلات مرتبط با جوندگان: به دلیل قرارگیری لوله‌های آبد در زیر سطح خاک، اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی همواره با خطر حمله و آسیب جوندگان روبرو خواهد بود. از این‌رو مبارزه و کنترل جوندگان در سطح مزرعه ضروری است. کنترل جوندگان بیشتر به روش فیزیکی قابل انجام خواهد بود و دیگر روش‌های مبارزه مشکلات بسیاری به همراه خواهد داشت. در شکل‌های (17) و (18) نمونه‌ای از مشکلات بوجود آمده بر اثر آسیب جوندگان به سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نشان داده شده است.



شکل 17- مشکلات ناشی از جوندگان در مزارع آبیاری قطره‌ای زیرسطحی یونجه در منطقه بوئین‌زهر (یوسف گمرکچی، 1397)



شکل 18- نمونه‌ای از آسیب جوندگان به لوله‌های آبد در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (ایرماک، 2010)

- هزینه‌های اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی: هزینه‌های اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی از دو دیدگاه قابل بررسی است.

الف) هزینه‌های نخست اجرای سامانه: در آغاز نوآوری سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به شکل امروزی، اختلاف هزینه در سامانه قطره‌ای زیرسطحی با روش آبیاری قطره‌ای معمول (سطحی) بسیار زیاد بود، اما پیشرفت فناوری در فرآیند تولید موجب شده تا اختلاف سرمایه‌گذاری اولیه دو سامانه کمتر شود. اما همچنان هزینه تمام شده دو سامانه به دلیل اختلاف قیمت لوله‌های آبد، هزینه‌های نصب لوله‌های آبد در سطح مزرعه، تجهیزات جانبی مورد نیاز سامانه معنی‌دار خواهد بود. این در حالی است که

سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (به‌ویژه در مزارع کلزا و یونجه) بیشتر به یک روش آبیاری مکمل (شیر و تجهیزات آبیاری غرقابی و یا سامانه آبیاری مینی لنینر)، برای سبز کردن اولیه بذر نیاز دارند. به‌طور میانگین و با توجه به نوسانات قیمت ارز، هزینه‌های اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی حدود 80 تا 120 درصد بیشتر از روش آبیاری بارانی کلاسیک برآورد شده است (یوسف گمرکچی، 1397). همچنین هزینه اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بسته به نوع لوله‌های آبد، بافت خاک و غیره، حدود 25 تا 50 درصد بیشتر از روش آبیاری قطره‌ای سطحی برآورد می‌شود.

ب) هزینه‌های مرتبط با نگهداری سامانه: هرچند لوله آبد و قطره‌چکان‌ها در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به دلیل قرار نداشتن در معرض تابش آفتاب و صدمات مکانیکی، در مقایسه با روش آبیاری قطره‌ای سطحی دارای عمر بیشتری است. ولی همانگونه که اشاره شد مواردی همچون مشکل گرفتگی توسط ریشه، مشکلات ناشی از جوندگان و سوراخ شدن لوله آبد باعث می‌شود همواره نیاز به ترمیم و در برخی موارد نیاز به لوله‌گذاری دوباره در سطح مزرعه وجود داشته باشد. از این‌رو یکی از مشکلات مرتبط با سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، عمر مفید لوله‌های آبد است که در صورت بهره‌برداری نامناسب سامانه و یا مشکلات مرتبط با جوندگان و ... نیاز به تعویض لوله‌های آبد در مدت زمانی کمتر از 5 سال نیز متصور خواهد بود. هرچند به‌طور متوسط برای تعویض لوله‌های آبد بازه زمانی 7 تا 10 پیشنهاد شده است (لام و کمپ، 2007). دیگر هزینه‌های بهره‌برداری به دلیل تزریق ترفلان مقداری بیشتر از دیگر روش‌های معمول آبیاری خواهد بود.

نیاز به نیروی کارگری ماهر: به دلیل قرارگیری لوله‌های آبد در زیر سطح زمین، کنترل، پایش و تعمیرات سامانه نقش بسزایی در کسب منافع بیشتر از مزرعه خواهد داشت. از این‌رو یکی از بایسته‌های به‌کارگیری سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌ویژه در محصولات زراعی که با مشکلات بیشتری نسبت به محصولات باغی روبرو هستند، وجود نیروی کارگری ماهر در مزرعه است.

محدودیت‌های مرتبط با بافت خاک: مشخصات فیزیکی خاک همانند بافت خاک تأثیر زیادی در شکل پروفیل رطوبتی خواهد داشت. از این‌رو در خاک‌هایی با بافت درشت

و سبک اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در محصولات زراعی توصیه نشده و در صورت اجرا، به دلیل کم بودن فاصله بین لوله‌های آبد، هزینه‌های طرح به شدت افزایش خواهد یافت. در این نوع خاک‌ها، در اثر نیروی ثقل آب و مواد غذایی به سرعت به سمت پائین جا به جا شده و در صورت نصب قطره‌چکان در عمق زیاد، جذب رطوبت و مواد غذایی در نزدیکی ریشه دچار مشکل می‌شود. همچنین وجود ذرات درشت و نوک نیز در عمق نصب لوله‌های آبد، باعث سوراخ شدن لوله‌های آبد خواهد شد.

ملاحظات فنی و اجرائی در اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

1- کیفیت آب آبیاری

پایین بودن کیفیت آب مهمترین عامل در گرفتگی قطره‌چکان‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی است. نخستین گام در اجرای یک سامانه، اطلاع از نتایج کیفیت آب است. اطلاع از کیفیت آب در برآورد تجهیزات لازم برای سامانه کنترل مرکزی و انتخاب قطره‌چکان مناسب کمک می‌کند. از آنجا که سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برای بهره‌برداری حدود 10 سال برنامه‌ریزی شده‌اند، از این‌رو کیفیت آب عامل تأثیرگذاری در این میان است. پیشگیری از گرفتگی قطره‌چکان‌ها، برای دوام یک سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بسیار مهم بوده و نیاز به درک مشکلات و محدودیت‌های احتمالی مرتبط با منبع آب استفاده شده دارد. با توجه به ویژگی‌های خاص سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (قرارگیری لوله‌های آبد در زیر سطح زمین)، محدودیت‌های مرتبط با کیفیت آب آبیاری در این نوع سامانه‌ها بسیار بیشتر از روش‌های آبیاری قطره‌ای مرسوم است. از این‌رو با توجه به حساسیت سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به گرفتگی قطره‌چکان‌ها، لازم است انتخاب فیلترها و فشار کارکرد آن، متناسب با کیفیت آب آبیاری و مشخصات قطره‌چکان‌ها باشد. از سوی دیگر باید توجه داشت اصلاح سامانه کنترل مرکزی یا جایگزینی لوله‌های آبیاری مسدود شده در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، بسیار گران، دشوار و وقت‌گیر است. در این راستا تفسیر نتایج آزمون کیفیت آب آبیاری بر اساس محدودیت‌های سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، می‌تواند اطلاعات مفیدی را در اختیار طراحان سامانه‌های آبیاری، کشاورزان و باغداران قرار دهد. در جدول (1) مقادیر مجاز پارامترهای کیفیت آب برای جلوگیری یا

کاهش گرفتگی قطره‌چکان در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نشان داده شده است.

جدول 1- مقادیر مجاز پارامترهای کیفیت آب آبیاری در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی
(روگزر و همکاران، 2003)

درجه محدودیت آب آبیاری			پارامتر	
زیاد	متوسط	کم		
8<	8-7	<7	اسیدیته	pH
0<	0	<0	شاخص اشباع لانژیلر	LSI
9<	9-3	<3	نسبت جذب سدیم اصلاح شده	Adj SAR
3<	0/75-3	<0/75	هدایت الکتریکی	EC (mmho/cm)
2000<	2000-500	<500	کل مواد جامد محلول	TDS (mg/L)
3<	2-3	<2	کلسیم	Ca ²⁺ (meq/L)
1/5<	0/2-1/5	<0/2	آهن	Fe(mg/L)
2/5<	2/5	<2	منیزیم	Mg ²⁺ (meq/L)
1/5<	0/1-1/5	<0/1	منگنز	Mn ²⁺ (mg/L)
2<	0/2-2	<0/2	سولفید هیدروژن	H ₂ S(mg/L)
2000<	50-2000	<50	کل مواد جامد معلق	TSS (mg/L)
3<	0/7-3	<0/7	بور	B(mg/L)
30<	5-30	<5	نیتрат	NO ₃ (mg/L)
10<	4-10	<4	کلر	cl (meq/L)
50000<	10000-50000	<10000	تعداد باکتری (تعداد در میلی لیتر)	

در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی یکنواختی پخش آب می‌تواند با گرفتگی خروجی‌ها به آسانی از دست برود. سطح مقطع نازل خروجی‌ها در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی معمولاً بین 0/5 تا 1 میلی‌متر مربع است از این‌رو قطره‌چکان‌ها به گرفتگی فیزیکی (شن، ماسه و سیلت)، ریزجانداران و رسوبات شیمیایی حساس است. ذرات رس، سیلت و باکتری‌ها قابلیت عبور از سیستم صافی‌ها و حتی قطره‌چکان‌ها را دارند. ضمن اینکه ترکیبی از ذرات نیز توانایی گرفتگی قطره‌چکان‌ها را افزایش می‌دهد. در جدول (2) اندازه ذرات موجود در منابع آبی نشان داده شده است.

جدول 2- محدوده اندازه ذرات موجود در منابع آبی (صدرقاین، 1394)

نوع ذرات	قطر (میلیمتر)
شن درشت	0/5-1
شن ریز	0/1-0/25
سیلت	0/002-0/05
رس	<0/002
باکتری	0/0004-0/002
ویروس	<0/0004

چسبیدن ذرات در اثر فعالیت‌های بیولوژی باعث افزایش قطر آن‌ها و در نتیجه عامل تشدید گرفتگی می‌شود. باکتری‌ها در شرایط معمولی در آب زیرزمینی زنده نیستند اما با فعالیت پمپاژ چاه‌ها و کود دهی، امکان رشد و نمو آن‌ها وجود دارد. باکتری‌ها می‌توانند بر روی آهن، منگنز و یا سولفور زندگی کنند و رشد نمایند. فرآیند رشد آن‌ها در اثر فعالیت‌های بیولوژی موجب تولید یک مایع لزج شده و با نفوذ به بدنه چاه ضمن کاهش راندمان چاه موجب انتقال و تولید باکتری در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌شود که سرانجام امکان گرفتگی را افزایش می‌دهد. در این شرایط نیاز است تا کلر زنی چاه برای از بین بردن باکتری‌ها حداقل به صورت سالانه، با غلظت 500 تا 2000 میلی گرم در لیتر انجام گیرد (صدرقاین، 1394). در جدول (3) نشانه‌های ظاهری رسوبات مختلف و روش‌های کنترل آن در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی اشاره شده است.

با توجه به حساسیت سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به گرفتگی قطره‌چکان‌ها، سیستم کنترل مرکزی به طور متناوب نیاز به شستشو دارد (صدرقاین، 1394). از این رو با توجه به اهمیت فیلتراسیون در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی توصیه می‌شود از واحد کنترل مرکزی خودکار استفاده شده تا عمل شستشوی فیلترها به صورت دوره‌ای و بسته به کیفیت آب انجام شود و نیازی به دخالت کارگر نداشته باشد (اسلامی، 1398). در واحدهای کنترل مرکزی خودکار، تغییرات فشار پیش و پس از فیلترها به صورت خودکار پایش می‌شود و هنگامی که فیلترها تمیز باشند اختلاف فشار می‌تواند 0/2 تا 0/3 بار باشد. اگر این اختلاف بیشتر از 0/5 بار شد می‌بایست نسبت به شستشوی فیلترها یا رفع

نقص اقدام کرد (فرزام نیا و همکاران، 1399). در شکل 19 نمونه‌ای از یک واحد کنترل مرکزی خودکار در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نشان داده شده است.

جدول 3- نشانه‌های آشکار رسوبات مختلف و روش‌های مقابله با گرفتگی (روگزر و همکاران، 2003)

مشکل/ نشانه‌های ظاهری	راهکارهای اجرایی
ترسیب کربنات (رسوب سفید رنگ)	1- تزریق پیوسته اسید یا کلر: برای حفظ pH بین 5 تا 7 2- تزریق متناوب اسید یا کلر: برای حفظ pH پایین‌تر از 4 به مدت 30 تا 60 دقیقه در روز
رسوب آهن (رسوب قرمز)	1- هوادهی و حوضچه آرامش برای اکسیداسیون آهن، بهترین راه حل برای غلظت آهن بیش از 10ppm 2- کلرزنی (تزریق کلر به رسوب آهن): استفاده از نرخ تزریق 1 ppm کلر به ازای هر 0/7 ppm آهن 3- کاهش pH به 4 یا کمتر به مدت 30 تا 60 دقیق در روز
رسوب منگنز (رسوب سیاه)	تزریق 1 ppm کلر به ازای هر 1/3 ppm منگنز
باکتری‌های آهن (لجن قرمز)	تزریق کلر با نرخ 1 ppm به طور پیوسته و یا 10 ppm تا 20 به مدت 30 تا 60 دقیقه در هر روز
باکتری‌های سولفور (لجن نرم سفید)	1- تزریق پیوسته کلر با نرخ 1 ppm به ازای هر 4 تا 8 سولفید هیدروژن 2- تزریق متناوب کلر با نرخ 1 ppm کلر آزاد به مدت 30 تا 60 دقیقه روزانه
لجن باکتری و جلبک	تزریق کلر با نرخ 0/5 ppm تا 1 به طور پیوسته و یا 20 ppm به مدت 20 دقیقه در انتهای هر آبیاری
سولفید آهن (سیاه شبیه شن)	حل کردن آهن با تزریق پیوسته اسید برای حفظ pH بین 5 تا 7



شکل 19- نمونه‌ای از یک واحد کنترل مرکزی خودکار سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در منطقه بوئین زهرا (یوسف گمرکچی، 1398)

در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی افزون بر کیفیت آب آبیاری، نفوذ ریشه و گرفتگی قطره‌چکان‌ها نیز موجب کاهش یکنواختی توزیع آب و میزان آبدهی قطره‌چکان‌ها خواهد شد. در سال‌های اخیر با پیشرفت تکنولوژی قطره‌چکان‌های محافظ ریشه¹ به علت مکانیزم خاص این نوع قطره‌چکان، از وضعیت بهتری برای کاهش مشکل نفوذ ریشه برخوردار هستند (صدر قاین، 1394). از سوی دیگر هنگامی که سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی خاموش می‌شود به واسطه مکش منفی ایجاد شده در محل خروجی آب از قطره‌چکان‌ها، ذرات خاک به داخل قطره‌چکان‌ها مکیده شده و این عمل باعث گرفتگی قطره‌چکان‌ها خواهد شد. از این‌رو انتخاب نوع قطره‌چکان مناسب در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی از اهمیت بسیاری برخوردار است.

2- انتخاب لوله‌های آبد

در انتخاب لوله‌های آبد در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی باید به قطر لوله آبد، ضخامت جدار لوله، نوع، دبی و فواصل قطره‌چکان توجه نمود.

¹ Root Guard

2-1- قطر لوله آبدۀ: قطر بزرگتر لوله آبدۀ به بهره‌بردار اجازه خواهد داد با حفظ یکنواختی توزیع آب، قطعات وسیع‌تری را تحت پوشش قرار دهد. اگرچه قطر بزرگتر لوله‌های آبدۀ هزینه بیشتری در واحد طول لوله دارد، اما در کل سطح مزرعه باعث کاهش هزینه حفر ترانشه خواهد شد. قطر لوله‌های آبدۀ تابعی از دبی لوله، طول لوله و کاهش مجاز فشار در طول لوله آبدۀ است. با این وجود در طراحی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی سعی می‌شود قطر لوله آبدۀ (به‌دلیل مسائل فنی و اقتصادی)، در محدوده 16 تا 20 میلی‌متر انتخاب شود و کاهش مجاز فشار با تغییر طول لوله کنترل شود.

2-2- ضخامت جدار لوله آبدۀ: ضخامت جدار لوله آبدۀ در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بیشتر از ضخامت لوله‌های بکار گرفته شده در سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی است (ناصری، 1395). دلیل این امر امکان صدمه دیدن لوله آبدۀ در هنگام نصب در سطح مزرعه و عمر بیشتر در نظر گرفته شده برای سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی است. از سوی دیگر فشردگی زیاد خاک و یا بار دینامیک بیش از حد (به‌طور مثال عبور تجهیزات برداشت محصول)، ممکن است باعث تغییر شکل لوله‌های آبدۀ شود، از این‌رو توصیه می‌شود لوله‌های پلی‌اتیلن با دیواره ضخیم انتخاب شود. همچنین لوله‌های ضخیم در برابر جوندگان همانند موش صحرایی آسیب کمتری خواهند دید. هر چند انتخاب این نوع لوله‌ها باعث افزایش هزینه طرح خواهد شد. در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی از انواع مختلف لوله‌ها برای انتقال آب استفاده می‌شود. از لوله‌های جدار نازک (0/15 تا 0/30 میلیمتر) قابل ارتجاع، برای استفاده کوتاه مدت و در عمق کم و از لوله‌های جدار ضخیم (0/38 تا 0/50 میلیمتر) قابل ارتجاع برای استفاده در چندین سال و در عمق‌های به نسبت زیاد استفاده می‌شود (ناصری، 1395). در شکل‌های (20) و (21) نمونه‌هایی از صدمات وارد شده به لوله‌های آبدۀ در هنگام بهره‌برداری سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نشان داده شده است.



شکل 20- نمونه‌ای از مشکل صدمه دیدگی لوله آبدۀ در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی
(یوسف گمرکچی، 1399)



شکل 21- نمونه‌ای از مشکل صدمه دیدگی لوله آبدۀ در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی
(یوسف گمرکچی، 1399)

3-2- عمق و فاصله کارگذاری لوله‌های آبدۀ

اصولاً در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در بالای عمق کارگذاری لوله‌های آبدۀ و در نزدیکی قطره‌چکان‌ها تجمع نمک وجود دارد. در جدول (4) استاندارد اولیه عمق کارگذاری لوله آبدۀ در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نشان داده شده است. این نکته مهم است که مقادیر اشاره شده فقط برآورد اولیه برای تعیین عمق و فاصله لوله‌های آبدۀ در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در محصولات زراعی است و این فواصل بسته به بافت خاک مزرعه تغییر خواهد داشت. در خاک‌های با بافت درشت، لوله‌های جانبی در عمق کم و در

خاک‌های با بافت‌های ریز، لوله‌های جانبی در عمق زیاد قرار داده می‌شوند. عمق‌های عمیق‌تر لوله‌های قطره‌چکان‌دار می‌تواند از آسیب‌های مکانیکی به علت خاک‌ورزی پیشگیری کند (لام و کمپ، 2007). از سوی دیگر انتخاب ناصحیح عمق نصب لوله در محصولات زراعی می‌تواند باعث کاهش محصول شود. برای نمونه عملکرد ذرت دانه‌ای با عمق لوله‌های قطره‌چکان‌دار در محدوده 0/2 تا 0/4 متری بی‌تاثیر بوده و کاهش عملکرد در عمق نصب 0/5 و 0/6 متر در یک خاک سیلتی لوم مشاهده شد (لام و ایکین، 2005).

جدول 4- استاندارد اولیه عمق و فاصله کارگذاری لوله آبد در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (لام و کمپ، 2007)

نوع محصول	عمق کارگذاری لوله (سانتی‌متر)	فاصل لوله‌های آبد (سانتی‌متر)
یونجه و گندم	35	60
گیاهان ردیفی نشائی	30	70 تا 120
گیاهان ردیفی بذری	30	100

نکته مهم در انتخاب عمق کارگذاری لوله‌های آبد، گیاه کشت شده است. در پیاده‌سازی سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در محصولاتی همانند یونجه و کلزا که بذریز و عمق کاشت کم دارند می‌بایست عمق کارگذاری لوله‌های آبد به روشی انتخاب شود تا رطوبت صعود یافته به سطح خاک باعث جوانه‌زنی بذریز شده و یا زمینه‌سازی ویژه‌ای (افزایش ساعت نخستین آبیاری پس از کشت، تطبیق زمان کشت با شرایط بارندگی مناسب در منطقه و یا انجام آبیاری سطحی در مرحله اولیه جوانه‌زنی بذریز...) برای جوانه‌زنی بذریز پیش‌بینی شود. در پیاده‌سازی سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در محصولاتی همانند گندم، جو و ذرت، مشکلات مرتبط با جوانه‌زنی بذریز کمتر است. فاصله لوله‌های آبد تا حد زیادی بر هزینه‌های سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی را تاثیر گذار است. به‌عنوان یک قاعده کلی فاصله لوله‌های آبد در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مضرب صحیحی از فاصله ردیف گیاه است. فاصله بیشتر لوله‌های آبد به نفوذ عمقی بیشتر در زیر منطقه ریشه منجر شده و کاهش عملکرد بیشتری را در ردیف‌هایی که دورتر از لوله‌های آبد هستند به دنبال خواهد داشت (دهقانی‌سانیچ و همکاران، 1395).

3- آبیاری اولیه سامانه

در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی که در آن از نوارهای آبیاری استفاده شده، نحوه نخستین آبیاری سامانه بسیار مهم است. در نخستین آبیاری سامانه با توجه به وجود فشار جانبی خاک به محل قرارگیری نوارهای آبیاری در زیر زمین و وجود سنگ، کلوخ، ذرات درشت و لبه تیز در اطراف نوار آبیاری لازم است نخستین آبیاری سامانه با فشار بسیار پائین شروع شده تا نوار آبیاری به تدریج در عمق خاک باز شده و به تدریج فشار بهره‌برداری سامانه تا فشار کارکرد سامانه افزایش یابد. افزایش تدریجی فشار بهره‌برداری سامانه، امکان آسیب به نوارهای آبدۀ را کاهش خواهد داد. در صورت تنظیم نبودن فشار کارکرد و آبیاری اولیه سامانه با فشار بالا، ممکن است به دلیل وجود ذرات نوک تیز سنگ و کلوخ در اطراف لوله‌های آبدۀ، صدمات جدی به نوارهای آبیاری وارد شود. در شکل 22 نمونه‌ای از مشکل حادث شده در یک واحد آبیاری زیرسطحی به دلیل نخستین آبیاری آغازین با فشار کارکرد بالا نشان داده شده است.



شکل 22- نمونه‌ای از مشکل پدید آمده در یک واحد آبیاری زیرسطحی به دلیل آبیاری اولیه با فشار کارکرد بالا (رودریگوئز سینوباس، 2015)

4- پایش رطوبت خاک

به علت امکان ندیدن لوله‌های آبدۀ، سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیازمند کنترل پیاپی و دوره‌ای رطوبت خاک در سطح مزرعه بوده تا بتوان از کارکرد صحیح سامانه اطمینان حاصل نمود. با توجه به آنکه آشکار شدن هرگونه تنش آبی و مدیریت ناصحیح

آبیاری در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی منجر به تجمع هرچه بیشتر ریشه‌ها در اطراف قطره‌چکان و افزایش خطر گرفتگی قطره‌چکان توسط ریشه‌ها می‌شود، از این رو پایش پیوسته رطوبت خاک در این سامانه‌ها دارای اهمیت زیادی دارد. همچنین با پایش رطوبت خاک سطحی می‌توان به برخی از مشکلات هیدرولیکی حادث شده در سامانه آبیاری آگاهی یافت. به طوری که خشک شدن خاک سطحی در طول یک نوار آبیاری، بیشتر مرتبط با مسائل هیدرولیکی و سوراخ شدن لوله‌های آبدۀ است (شکل 23). در حالی که خشک شدن لکه‌ای به صورت عرضی در سطح مزرعه، بیشتر مرتبط با مشکلات ناشی از تجمع نمک و بد سبزی بذر است (شکل‌های 24 و 25).



شکل 23- نمونه‌ای از خشک شدن خاک سطحی در طول یک نوار آبیاری سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در منطقه بوئین زهرا (یوسف گمرکچی، 1398)



شکل 24- نمونه‌ای از خشک شدن خاک سطحی به صورت لکه‌ای و از بین رفتن محصول در یک سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در منطقه بوئین زهرا (یوسف گمرکچی، 1398)



شکل 25- نمونه‌ای از خشک شدن خاک سطحی به صورت لکه‌ای و از بین رفتن محصول در یک سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در منطقه بوئین زهرا (یوسف گمرکچی، 1398)

نخستین راهکار عملی برای پایش رطوبت خاک در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی آن است که بهره‌بردار در نقاط مختلف مزرعه به صورت دوره‌ای با حفر خاک سطحی، رطوبت خاک را بررسی نماید (شکل 26). در مزارع تحقیقاتی و یا در مواردی که امکان نصب ادوات پایش رطوبت توسط بهره‌بردار وجود داشته باشد، پایش رطوبت خاک با استفاده از ابزارهای مختلفی همچون تانسومتر، بلوک گچی و TDR به صورت دقیق‌تر قابل انجام است (شکل 27).



شکل 26- نمونه‌ای از پایش رطوبت خاک سطحی به صورت نقطه‌ای در یک سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (یوسف گمرکچی، 1398)



شکل 27- نمونه‌ای از نصب تانسایومتر برای پایش رطوبت خاک در یک مزرعه تحقیقاتی
سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (منبع، بی نام)

5- پایش فشار کارکرد سامانه

پایش و ثبت فشار نقش مؤثری در شناخت مشکلات در زمان دوره بهره‌برداری سامانه خواهد داشت. به عنوان نمونه گرفتگی قطره‌چکان‌ها، یا سوراخ شدن لوله‌های آبدۀ با پایش فشار کارکرد سامانه قابل تشخیص خواهد بود. از این‌رو نصب ادوات خودکارسازی و سامانه‌های پایش فشار در محل ایستگاه کنترل مرکزی دارای اهمیت زیادی دارد (شکل 28).



شکل 28- ادوات پایش و کنترل فشار در ایستگاه کنترل مرکزی یک سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در منطقه بوئین زهرا (یوسف گمرکچی، 1398)

افزون‌بر نصب تجهیزات کنترل فشار در محل ایستگاه کنترل مرکزی لازم است برای کنترل عملکرد هیدرولیکی سامانه آبیاری، در ابتدای واحدهای آبیاری نیز تجهیزات پایش و کنترل فشار نصب شود. در شکل (29) نمونه‌ای از نصب این تجهیزات در محل واحد آبیاری یک مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نشان داده شده است. در محل ورودی این واحد آبیاری برای کنترل فشار کارکرد سامانه، یک شیر کنترلی خودکار هیدرولیکی قرار گرفته است. نیروی مورد نیاز برای کنترل این شیر خودکار، از نیروی هیدرولیک جریان عبوری از شیر تامین می‌شود. این شیرها از خرابی سامانه در برابر تغییرات از پیش تعیین نشده فشار، جلوگیری می‌کنند. افزون‌بر شیر کنترلی خودکار هیدرولیکی، یک فشارسنج پیش از و یک فشارسنج پس از فیلترهای جاسازی تعبیه شده است. کارکرد اصلی این فشارسنج‌ها، آگاهی از وضعیت گرفتگی فیلترهای توری نصب شده در ابتدای واحدهای آبیاری است.



شکل 29- پایش فشار کارکرد سامانه در محل واحد آبیاری یک سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی گندم در منطقه بوئین زهرا (یوسف گمرکچی، 1398)

به طور کلی عملکرد مناسب فشارسنج در مدیریت سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نقش مهمی دارد و کنترل عملکرد سامانه آبیاری از نظر هماهنگی با ضوابط طراحی با استفاده از فشارسنج انجام می‌گیرد.

6- استفاده مستمر از کود حیوانی

با توجه به آنکه ترک خوردگی خاک سطحی در اثر تخریب خاکدانه‌ها ایجاد می‌شود، از این‌رو مواد آلی نقش بسیار مهمی در تثبیت ساختمان و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک خواهد داشت. وجود مواد هیومیکی در مواد آلی، مقاومت و پایداری خاکدانه‌ها را افزایش داده و خطر متلاشی شدن آن‌ها را کاهش می‌دهد. به همین دلیل وجود مواد آلی در خاک‌های سنگین و رسی باعث افزایش نفوذپذیری خاک، کاهش سله و ترک، تهویه و به طور کلی باعث اصلاح این خاک‌ها می‌شود و در خاک‌های سبک شنی نیز باعث بالا بردن ظرفیت نگهداری آب در خاک خواهد شد (پوشش شیرازی و همکاران، 1390). از این‌رو استفاده از مواد آلی یک ابزار مهم مدیریتی برای اصلاح ساختار خاک است. در پیاده‌سازی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برای محصولات زراعی، با توجه به قرارگیری لوله‌های آبدۀ نزدیک سطح زمین، در صورت وجود ترک‌خوردگی و شکاف در سطح خاک ممکن است به لوله‌های آبدۀ در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی فشار و آسیب جدی وارد شود. از این‌رو استفاده از کود حیوانی پیش از اجرای سامانه، در جلوگیری از این مشکل بسیار مؤثر خواهد بود. در شکل (30) نمونه‌ای از ترک‌های خاک سطحی که منجر به افزایش فشار به لوله آبدۀ و عدم توزیع یکنواخت آب در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی شده نشان داده شده است.



شکل 30- نمونه‌ای از شکاف خاک سطحی در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مزرعه یونجه (یوسف گمرکچی، 1397)

7- برنامه‌ریزی روش‌های تعمیر و نگهداری سامانه

با توجه آنکه لوله‌های آبدۀ در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در زیر سطح زمین قرار گرفته‌اند مسائل و مشکلات ایجاد شده در دوره بهره‌برداری این سامانه با روش آبیاری قطره‌ای سطحی متفاوت خواهد بود. در بهره‌برداری این سامانه‌ها همانگونه که اشاره شد ممکن است به دلایل مختلفی لوله‌های آبدۀ در زیر سطح زمین آسیب دیده و یا آبدهی کافی نداشته باشند. مواردی همچون سوراخ شدن لوله‌های آبدۀ توسط اجسام نوک تیز و یا سنگ و کلوخ، خطر جوندگان، آسیب ادوات کشاورزی به لوله‌های آبدۀ و مشکل گرفتگی قطره‌چکان‌ها توسط ریشه گیاهان، از جمله مشکلاتی است که یک بهره‌بردار سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ممکن است با آن روبرو شود. در شکل‌های (31) و (32) نمونه‌هایی از مشکلات ایجاد شده در بهره‌برداری یک سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نشان داده شده است. لازم است بهره‌بردار افزون‌بر پایش مستمر در سطح مزرعه، برنامه‌ریزی لازم برای تعمیر و نگهداری سامانه همانند لوله‌های آبدۀ، رابط اتصال لوله‌های آبدۀ و چراغ‌قوه برای تعمیر و نگهداری سامانه را فراهم داشته باشد. در این نوع سامانه‌های آبیاری تعمیرات لوله‌های آبدۀ و تعویض آن، زمان بر و به مراتب نسبت به سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی مشکل‌تر خواهد بود.



شکل 31- نمونه‌ای از آشکار شدن مشکلات در هنگام بهره‌برداری سامانه آبیاری قطره‌ای

زیرسطحی (یوسف گمرکچی، 1399)



شکل 32- نمونه‌ای از آشکار شدن مشکلات در هنگام بهره‌برداری سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (یوسف گمرکچی، 1399)

8- تزریق علف کش در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

همان‌گونه که اشاره شد در شرایط کم‌آبیاری و وجود تنش آبی در محدوده توسعه ریشه و با گذشت زمان، نفوذ ریشه به داخل قطره‌چکان تشدید می‌شود. برای جلوگیری از وقوع این مساله در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی راهکارهایی همچون اختلاط علف‌کش‌ها در مواد پلاستیکی قطره‌چکان، تزریق سموم علف‌کش (ترفلان، استامپ و پراول) به آب آبیاری بکار گرفته شده است (محمدیان و همکاران، 1395). در شکل 33 نمونه‌ای از قطره‌چکان برای محدود کردن نفوذ ریشه در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نشان داده شده است. در این نوع قطره‌چکانها، ماده ترفلان در فرآیند ساخت به قطره‌چکان تزریق شده تا ریشه به قطره‌چکان وارد نشود. این ماده پس از مدفون شدن لوله در خاک به یکنواختی در محیط خاک اطراف ریشه آزاد شده و مانع ورود ریشه به ناحیه مجاور قطره‌چکان می‌شود. به عبارتی وجود ترفلان در داخل قطره‌چکان، جلوی رشد ریشه را می‌گیرد.



شکل 33- طرح واره‌ای یک قطره چکان برای محدود کردن نفوذ ریشه در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

در حالتی که تزریق دوره‌ای مواد بازدارنده ورود ریشه به آب آبیاری (تزریق سموم علف‌کش)، در اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی انتخاب شود، مقدار سم علف‌کش مورد نیاز بر اساس هر قطره‌چکان محاسبه شده و پس از محاسبه سم مورد نیاز هر قطره‌چکان، مقدار سم لازم سامانه با توجه به تعداد قطره چکان‌ها تعیین می‌شود. نکته مهم و عامل تاثیرگذار در مقدار سم مورد نیاز، درصد ماده موثر (درصد خلوص سم) است. درصد خلوص سم معمولاً در بازه 33 تا 48 درصد است که از روی مشخصات قوطی سم تشخیص داده می‌شود. بر این اساس حجم سم علف‌کش مورد نیاز برای هر واحد قطره چکان بر اساس رابطه (1) تعریف می‌شود (کمپ، 1988):

$$v=0.06/P \quad (1)$$

که در آن، V : حجم سم علف‌کش مورد نیاز برای هر واحد قطره چکان برحسب سانتی متر مکعب یا سی سی و P : درصد خلوص سم علف‌کش مصرفی است. میزان سم مورد نیاز (برحسب لیتر) از حاصل ضرب سم مورد نیاز برای هر واحد قطره چکان در تعداد کل آن‌ها بدست می‌آید (رابطه 2):

$$V=(v*n)/1000 \quad (2)$$

که در آن، V : حجم علف‌کش مورد نیاز (بر حسب لیتر)، v : حجم علف‌کش مورد نیاز برحسب سانتی متر مکعب برای هر واحد قطره چکان و n : تعداد قطره چکان‌ها در سطح تحت تزریق است (اگر فاصله قطره‌چکان‌ها در روی لترال بیش از 3 عدد در هر متر طولی باشد تعداد قطره چکان‌ها در هر متر سه عدد گرفته می‌شود).

مثال: در یک هکتار مزرعه تجهیز شده به سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با 6500 متر لوله لترال که فواصل قطره چکان روی لوله لترال 20 سانتی متر است میزان سم مصرفی ترفلان (با درجه خلوص 48 درصد) برای تزریق به سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

- با توجه به آنکه تعداد قطره چکان‌ها در واحد طول لترال (هرمتر)، 5 عدد بوده (بیش از 3 در هر متر) از این‌رو تعداد قطره چکان‌ها در رابطه 2، در هر متر 3 عدد فرض می‌شود.

- تعداد کل قطره چکان‌های فرضی: $19500=6500*3$ عدد

- سم مورد نیاز بر هر واحد قطره چکان: $(0/48) / (0/06) = 0/125$ میلی‌متر

- سم مورد نیاز برای یک هکتار: $(19500 * 0/125) / 1000 = 2/4375$ لیتر

بهترین زمان تزریق آخر فصل رشد است که در آن میزان آب آبیاری رو به کاهش می‌رود. معمولاً طول مدت تزریق برای مقدار سم محاسبه شده 20 دقیقه است که در خاک‌های شنی بدون توجه به نوع گیاه، دز علف‌کش محاسبه شده به دو قسمت تقسیم و در دو مرحله به فاصله دو هفته مصرف می‌شود. برای تزریق سم در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌بایست در نظر داشت وقتی که خاک در اثر بارندگی یا آبیاری از آب اشباع شده باشد از سم علف‌کش برای تزریق به سامانه استفاده نشود. به عبارتی خاک در موقع تزریق نباید زیاد مرطوب باشد. همچنین تانک کود پیش و پس از عملیات تزریق سم به داخل سامانه کاملاً شستشو و تمیز شود و پس از اتمام تزریق سم، حداقل تا 24 ساعت آبیاری انجام نگیرد.

9- الزامات اجرایی

افزون بر موارد اشاره شده که می‌بایست در بهره‌برداری سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به آن توجه شود برخی الزامات اولیه در پیاده سازی سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی عبارتند از:

- طراحی و مدیریت کارآمد سامانه آبیاری قطره‌ای زیر سطحی به‌شدت نیازمند شناخت الگوی توزیع آب و املاح در خاک و به عبارتی پیش‌بینی دقیقی از هندسه پروفیل رطوبتی و روش توزیع آب در خاک و تعیین مقادیر و نحوه آبیاری از الزامات اولیه اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، به‌ویژه در کشت محصولات زراعی است. در این راستا نوع خاک، عمق خاک زراعی، لایه‌بندی خاک، وجود لایه غیرقابل نفوذ و عمق یخ‌زدگی خاک می‌بایست پیش از اجرای سامانه بررسی شود.

- انجام یک آزمون دقیق کیفیت آب و انتخاب تجهیزات مناسب در ایستگاه کنترل مرکزی متناسب با نوع قطره‌چکان‌ها، ضروری است.

- قطر، ضخامت جدار لوله، فاصله قطره‌چکان‌ها، سرعت جریان و الزامات فیلتراسیون

متناسب با شرایط آب و خاک مزرعه ضروری است.

- شناخت و استفاده از ابزار نصب مناسب لوله‌های آبدۀ در مزرعه.
- نظارت دقیق بر یکنواختی عمق نصب لوله آبدۀ در سطح مزرعه.
- تدوین برنامه دقیق آبیاری و الزام به رعایت دقیق برنامه آبیاری توسط بهره‌بردار
- با توجه به مقاومت سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مقابل جریان ورودی به مزرعه، لازم است تحلیل هیدرولیکی جامعی بر روی منحنی مقاومت جریان انجام گیرد (یوسف‌گمرکچی و پرورش‌ریزی، 1396).
- رعایت دقیق برنامه تزریق ترفلان و اسید سولفوریک در بازه‌های زمانی توصیه شده.
- شناخت نوع ماشین‌آلات، شیوه‌های خاک‌ورزی و برداشت متناسب با محدودیت‌های سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در سطح مزرعه.

نتیجه‌گیری و توصیه‌ها

آبیاری قطره‌ای زیرسطحی یکی از روش‌های آبیاری تحت فشار برای افزایش تولید محصولات زراعی با هدف استفاده کارا از هر واحد آب در دسترس است. هدف از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، رساندن رطوبت کافی به منطقه ریشه گیاه بدون خیس شدن سطح خاک و هدر رفت عمقی است؛ به گونه‌ای که دستیابی به بالاترین میزان کارایی مصرف آب آبیاری در این نوع سامانه‌های آبیاری امکان‌پذیر باشد. در آغاز ابداع سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به شکل امروزی، اختلاف هزینه این نوع سامانه با روش آبیاری قطره‌ای سطحی بسیار زیاد بود، اما امروزه با پیشرفت تکنولوژی اختلاف هزینه سرمایه‌گذاری نخستین سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی رو به کاهش نهاده و ممکن است در سال‌های آینده بکارگیری این روش آبیاری برای محصولات زراعی و باغی، جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص دهد. ولی به دلیل عمر کوتاه اجرا و بهره‌برداری سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (به‌ویژه در کشت محصولات زراعی)، باید در کنار توجه به مزایای سامانه، به محدودیت‌های فنی و اجرایی و مشکلات بهره‌برداری آن نیز آگاه بوده و بر اساس یک شناخت جامع، برای اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای

زیرسطحی تصمیم‌گیری نمود. این رویکرد نه به معنای توسعه فراگیر و نه به معنای محدودیت و یا حذف سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در محصولات زراعی خواهد بود. در این راستا استقرار موفق یک سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی الزامات و نکات فنی خاص خود را دارد همچون: بازدید مقدماتی کارشناسان خبره برای امکان‌سنجی پیاده‌سازی سامانه، شناخت دقیق ویژگی‌های آب و خاک، سطح مدیریت بهره‌بردار، وضعیت مکانیزاسیون، نوع محصول و ترکیب کشت، از این‌رو در صورتی که ملاحظات مرتبط با آب آبیاری (کمیت و کیفیت)، خاکی (کیفیت)، فنی، اقلیمی، اجتماعی و اقتصادی در نظر گرفته شود، استفاده از سامانه‌های آبیاری زیرسطحی منجر به کاهش قابل توجه مصرف آب و افزایش بهره‌وری آب کشاورزی خواهد شد.

فهرست منابع

- اسلامی، ا. 1398. آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در باغات پسته. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت آموزش و ترویج کشاورزی، نشر آموزش کشاورزی.
- باستانی، ش. 1396. مروری بر تاریخچه ابداعات و نوآوری‌ها در زمینه آبیاری زیرسطحی. نشریه آب و توسعه پایدار. سال چهارم، شماره 2، صفحه 69-80.
- پوزش شیرازی، م، سماوات، س، زلفی باوریانی، م، فخری، ف. و مرادی، ق. 1390. بررسی تاثیر مواد آلی از منابع مختلف بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد گیاه در استان بوشهر. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). 25 شماره 4. صفحه 285-293.
- حسنپور اصطهباناتی، ا. 1399. آبیاری زیر سطحی نمدی. سازمان نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی جمهوری اسلامی ایران.
- دهقانی‌سانیچ، ح، کنعانی، ا. و حمامی، م. 1395. کاربرد سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و پارامترهای مدیریت آن در زراعت ذرت. نشریه مدیریت آب در کشاورزی. جلد 3، شماره 2. صفحه 52-39.
- شاهین رخسار، پ. 1385. افزایش کارایی مصرف آب با استفاده از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی. اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز. ایران.
- صدرقاین، ح. 1394. بررسی کارایی قطره‌چکان‌ها در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر روی درختان فندق. گزارش نهایی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.
- فرزام نیا، م، قدمی فیروزآبادی، ع، توکلی، ع. و میران‌زاده، م. 1399. دستورالعمل نحوه نگهداری و بهره‌برداری از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای. معاونت ترویج سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
- کرمان نژاد، ج. و قنبری عیدویی، ا. 1398. توزیع رطوبت و شوری در خاک تحت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیشکر. پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب). جلد 33، شماره 3. صفحه 413-429.

گودرزی، م. 1400. نصب، بهره‌برداری و نگهداری از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای نواری. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت آموزش و ترویج کشاورزی، نشر آموزش کشاورزی.

لیاقت، ع، پورغلام‌امیجی، م. و مشهوری‌نژاد، پ. 1397. اثر آبیاری سطحی و زیرسطحی با آب شور و مالچ بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت و توزیع املاح در خاک. آب و خاک. جلد 32، شماره 4. صفحه 661-674.

محمدیان، م.، قیصری، م.، فاضل، ف. و اعتمادی، ن. 1395. مقایسه گرفتگی چند نوع قطره‌چکان داخل خط در اثر نفوذ ریشه تحت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی. تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران). 47 شماره 3. صفحه 529-537.

ملکیان، ر.، حیدرپور، م.، مصطفی‌زاده‌فرد، ب. و عابدی کوپایی، ج. 1387. تاثیر آبیاری سطحی و زیرسطحی با پساب تصفیه شده بر خصوصیات چمن برموداگراس. علوم کشاورزی و منابع طبیعی. جلد 15، شماره 4. صفحه 248-257.

ناصری، ا. 1395. قابلیت‌ها و کاربردهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی. معاونت ترویج سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

یوسف گمرکچی، ا. 1397. قابلیت‌ها و محدودیت‌های سامانه‌های آبیاری زیرسطحی در یک مزرعه یونجه. نشریه مدیریت آب در کشاورزی. جلد 5، شماره 1. صفحه 1-10.

یوسف گمرکچی، ا. و پرورش ریزی، ع. 1396. مدل‌سازی دینامیک پمپ‌های دور متغیر در سامانه‌های آبیاری تحت فشار با رویکرد به تحلیل مصرف انرژی (مطالعه موردی: سامانه آبیاری کشت و صنعت اشرفیه). نشریه تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی. دوره 18، شماره 68. صفحه 143-160.

Ayars, J.E., Phene, C.J. and Hutmacher, B. 1999. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. Agricultural Water Management. 42(1):1-27.

Bhattarai, S.P., Midmore, D.J. and Pendergast, L. 2008. Yield, water-use efficiencies and root distribution of soybean, chickpea and pumpkin under different subsurface drip irrigation depths and oxygation treatments in vertisols. Irrig Sci 26, 439.

Brar, A.S., Kaur, K., Sindhu, V.K., Tsolakis, N. and Srail, J.S. 2021.

- Sustainable water use through multiple cropping systems and precision irrigation. *J. Clean. Prod.* 333:117-130.
- Camp, C.R. 1998. Subsurface drip irrigation: A Review. *Transactions of the ASAE*, vol. 41(5): 1353-1367.
- Cao, X., Feng, Y., Li, H., Zheng, H., Wang, J. and Tong, C. 2021. Effects of Subsurface Drip Irrigation on Water Consumption and Yields of Alfalfa under Different Water and Fertilizer Conditions. *Journal of Sensors*. Article ID 6617437.
- Gao, Y., Yang, L., Shen, X., Li, X., Sun, J., Duan, A. and et al. 2014. Winter wheat with subsurface drip irrigation (SDI): crop coefficients, water-use estimates, and effects of SDI on grain yield and water use efficiency. *Agric. Water Manag.* 146: 1–10.
- Hanson, B., and May, D. 2004. Effect of subsurface drip irrigation on processing tomato yield, water table depth, soil salinity, and profitability. *Agricultural Water Management*. 68 (1): 1-17.
- Lamm, F.R. and Aiken, R.M. 2005. Effect of irrigation frequency for limited subsurface drip irrigation of corn. In *Proc. Intl. Tech. Conf.* November (pp. 6-8).
- Lamm, F.R. and Camp, C.R. 2007. Subsurface drip irrigation. Chapter 13 in *Microirrigation for Crop Production - Design, Operation and Management*. Nakayama (Eds.). Elsevier Publications: 473-551.
- Lamm, F.R., Bordovsky, J.P., Schwankl, L.J., Grabow, G., Enciso-Medina, J., Peters, R.T., Colaizzi, P.D., Trooien, T. and Porter, D.O. 2012. Subsurface Drip Irrigation: Status of the Technology in 2010. *Transactions of the ASABE*. 55. 483-491.
- Makrantonaki, M.A. and Kalfountzos, D. 2004. Water saving and yield increase of sugar beet with subsurface drip irrigation. *Global Nest: The Int. J.* 4 (2):85 -91.
- Malek, E. and Bingham, G.E. 1993. Comparison of the Bowen ratio-energy balance and the water balance methods for the measurement of evapotranspiration. *J. Hydrol.* 146:209-220.
- Montazar, A., Zaccaria, D., Bali, K.H. and Putnam, D. 2017. A Model to Assess the Economic Viability of Alfalfa Production. *J. Irrig. and Drain.* 66: 90–102.
- Putnam, D., Montazar, A., Bali, K. and Zaccaria, D. 2015. Subsurface irrigation of alfalfa: benefits and pitfalls. Paper presented at American Society of Agronomy Conference, 4–5 February, Fresno, Calif.
- Rogers, D.H., Lamm, F.R. and Alam, M. 2003. Subsurface drip

- irrigation systems (SDI) water quality assessment guidelines. Publ. MF2575. Irrig. Manage. Series. Manhattan, Kans. Kansas State University Agric. Expt. Sta. and Coop. Ext. Serv.
- Ruskin, R., Van, P.V. and Cataldo, D.A. 1997. Technical analysis of the movement of TFN in the soil when applied through a subsurface drip irrigation system. In: Proceedings of ASAE Annual International Meeting, August 10–14, 1997 at Minneapolis, MN, USA, pp. 121–127.
- Sakellariou, M., Kalfountzos, D. and Vyrlas, P. 2002. Water Saving and Yield Increase of Sugar Beet with Subsurface Drip Irrigation. *Global Nest: The Int. J.* Vol. 4(2-3): 85-91.
- Sepaskhah, A.R., Sichani, S.A. and Bahrani, B. 1976. Subsurface and Furrow irrigation evaluation for bean production. *Transactions of the ASAE.* 19, 1089 – 1097.
- Singh, S. 2021. Characterization of Spatial and Temporal Variability of Soil Salinity in Relationship to Alfalfa Productivity (Doctoral dissertation, California State University, Fresno).
- Styles, S., Oster, J.D., Bernaxconi, P., Fulton, A. and Phene, C. 1997. Demonstration of emerging technologies. In: Guitjens, J., Dudley, L. (Eds.), *Agroecosystems: Sources, Control and Remediation.* Pacific Division. Am. Assoc. Adv. Sci., San Francisco, pp. 183-206.
- Suarez-Rey, E.M., Choi, C.Y., William, B. and McCloskey David, M.K. 2006. Effects of chemicals on root intrusion into subsurface drip emitters. *Irrig. Drain.* 55, 501–509.
- Valentín, F., Nortes, P.A., Domínguez, A., Sánchez, J.M., Intrigliolo, D.S., Alarcón, J.J. and López-Urrea, R. 2020. Comparing evapotranspiration and yield performance of maize under sprinkler, superficial and subsurface drip irrigation in a semi-arid environment. *Irrigation Science*, 38(1), 105-115.
- Wang, R.L., Gong, S.H. and Li, G.Y. 2005. The methods and measures of root intrusion protection in subsurface drip irrigation. *Water Sav. Irrig.* 22, 205–211.
- Whitaker, R.J., Ritchie, L.G., Bednarzand, W.C. and Mills, I.C. 2008. Cotton subsurface drip and overhead irrigation efficiency, maturity, yield, and quality. *Am. Soc. Agron.* 100: 1763–1768.
- White, P. 2017. Subsurface drip irrigation. University of Guelph.