مدیریت آب و آبیاری

دوره ۵ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۴

صفحه‌های ۹-۱

ارزیابی فنی بهره‌برداری فیلترهای دیسکی تجهیزات فیلتراسیون در سیستم‌های آبیاری میکرو

مسعود غفاری*[۱]، جابر سلطانی،[۲] مهدی اکبری،[۳] علی رحیمی خوب[۴]

۱. کارشناس ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان- دانشگاه تهران

۲. استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان- دانشگاه تهران

۳. دانشیار مؤسسهٔ تحقیقاتی فنی و مهندسی کشاورزی

۴. استاد گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان- دانشگاه تهران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۳/۸/۱۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۲۶

چکیده

در سیستم‌های کنترل مرکزی، طرح و جانمایی نامناسب و در مواردی کارایی نامناسب فیلترهای ثانویه و تانک‌های شن، از مشکلات اساسی در سیستم‌های آبیاری میکرو است. این رویه، سبب کاهش راندمان کارکرد سیستم و افزایش هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری می‌شود. تحقیق حاضر برای بررسی تأثیر میزان جلبک موجود در آب آبیاری بر عملکرد فیلترهای دیسکی و تانک شن در مزرعهٔ تحقیقاتی معاونت آب و خاک و صنایع کشاورزی کرج انجام گرفته است. آزمایش‌ها در قالب چهار سناریو پیش رفت که عبارت‌اند از: فیلتر دیسکی معمولی به همراه تانک شن، فیلتر دیسکی اتومات خودشوینده به همراه تانک شن، فیلتر دیسکی اتومات خودشوینده بدون تانک شن و فیلتر دیسکی معمولی بدون تانک شن. این سناریوها در سه دستهٔ کیفیت فیزیکی آب آبیاری مقایسه و ارزیابی شدند. بر اساس نتایج آزمایش‌ها که سه ماه طول کشید، هم فیلترهای دیسکی معمولی و فیلترهای اتومات، در غلظت مواد آلی و معلقِ کمتر از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، عملکرد بسیار خوبی داشتند. در محدودهٔ ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، فیلترهای دیسکی اتومات عملکرد مناسبی از خود نشان دادند. در غلظت‌های بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیز عملکرد فیلترهای دیسکی به‌شدت کاهش یافت و به‌سرعت دچار گرفتگی شدند. باتوجه‌به این نتایج، قراردادن تانک شن قبل از فیلترهای دیسکی الزامی است.

کلیدواژه‌ها: اتومات، تانک شن، کنترل مرکزی، کیفیت فیزیکی، مواد آلی.

* نویسنده مسئول Email: masoud_ghaffari@alumni.ut.ac.ir

مقدمه

امروزه، در پروژه‌های آبیاری نوین، نیاز روزافزونی به تصفیهٔ آب از ذرات معلق و گیاهان احساس می‌شود. از مشکلات مربوط به سیستم‌های کنترل مرکزی، ترکیب نامناسب و در مواردی کارایی نامناسب فیلترهاست که سبب ایجاد گرفتگی قطره‌چکان‌ها و درنهایت، کاهش راندمان (کارکرد) سیستم و افزایش هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری می‌گردد. نتایج مطالعاتی در همین مورد نشان داد که در صورت ناکارآمدی سیستم کنترل مرکزی، ریسک انسداد و گرفتگی قطره‌چکان‌ها افزایش می‌یابد و طراحی و اجرای سیستم‌های آبیاری قطره‌ای را با محدودیت‌های جدی روبه‌رو می‌کند (۵).

برای بررسی علل افزایش احتمال گرفتگی اغلب خروجی‌ها و عملکرد نامناسب فیلترهای شنی و توری، سیستم‌های آبیاری قطره‌ای اجراشده در مناطق فردوس، قاین و بیرجند ارزیابی شد. در این بررسی، علت گرفتگی در اغلب خروجی‌ها، عملکرد نامطلوب آن‌ها و کاهش یکنواختی پخش آب به دلیل نداشتن عملکرد صحیح فیلترهای شنی و توری و در نتیجه، تصفیه‌نشدن آب مورد استفاده در سیستم بود (۴).

تحقیقی دیگر، به عملکرد هیدرولیکی آبیاری قطره‌ای در استفاده از آب پساب پرداخته است. این مطالعه، سه تیمار را بررسی کرده است. اولین تیمار شامل فیلتر دیسکی ۱۳۰ میکرومتر و دومین تیمار شامل فیلتر توری ۱۳۰ میکرومتر بودند که هردوی آن‌ها با آب پساب ثانویه از لجن فعال ارزیابی شدند. تیمار سوم شامل فیتلر توری ۱۳۰ میکرومتر با آب پساب تصفیه‌شده توسط ذرات شن و ماسه و ضدعفونی‌شده بود. در این بررسی، عملکرد قطره‌چکان‌ها در آب پساب ثانویه، به‌شدت کاهش یافت. در عوض، عملکرد فیلترها در تیمار سوم بهترین کارایی را داشت (۶).

در آزمایشی، عملکرد صافی‌های شنی و دیسکی در بخش کنترل مرکزی در شرایطی انجام گرفت که از آبِ با کیفیت اندک برای آبیاری استفاده شد. در این بررسی، افت فشار در دبی‌های مختلف و میزان مواد معلق آب عبوری در فشارهای مختلف در صافی دیسکی کمتر از صافی شنی بود و مشکل به‌هم‌خوردگی لایه‌ها در این صافی‌ها (دیسکی) وجود نداشت؛ بنابراین، عملکرد این صافی‌ها بهتر از صافی‌های شنی ارزیابی شد (۱).

در پژوهشی دیگر، رشد سریع بیوفیلم و تجمع رسوبات در مسیر قطره‌چکان‌ها از دیگر عوامل تحریک‌کنندهٔ گرفتگی در نظر گرفته شد (۸). مطالعه‌ای دیگر به بررسی و ارزیابی سه مدل فیلتر شن پرداخته است. آزمایش‌ها در این مطالعه، در دو بخش انجام گرفته است: ۱. بررسی اثر عناصر داخلی (فقط فیلتر شنی) روی افت هد در جهت جریان مشخص آب، هم‌زمان با فرایندهای تصفیه و شست‌وشوی معکوس؛ ۲. بررسی اثر متقابل عناصر داخلی با سه اندازهٔ مختلف دانه‌های شن؛۳. ارزیابی عمق بستر متفاوت در جهت جریان و تصفیه. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که مقادیر افت هد آب، به طور درخور توجهی توسط ذرات شن داخل تانک، عمق بستر، سرعت فیلتراسیون و اثرات متقابل بین این متغیرها ایجاد می‌شود (۷).

هدف از تحقیق حاضر عبارت است از: ارزیابی تأثیر میزان جلبک موجود در آب آبیاری بر عملکرد فیلترهای دیسکی، به همراه تانک شن و نبود تانک شن در سیستم کنترل مرکزی و انتخاب بهترین ترکیب این تجهیزات، در کیفیت‌های مختلف آب آبیاری.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی و ارزیابی سیستم کنترل مرکزی و چگونگی عملکرد فیلترها در برابر کیفیت‌های مختلف آب، سیستم کنترل مرکزی شامل یک پمپ سانتریفیوژ ۲۰۰-۵۰، یک دستگاه فیلتر شنی با سایز ۲۰ اینچ و یک دستگاه فیلتر دیسکی اتوماتیک خودشوینده با سایز ۳ اینچ، در مزرعهٔ تحقیقاتی معاونت آب و خاک و صنایع کشاورزی کرج

نصب گردید. برای نصب فیلترهای شنی، ابتدا ذرات سیلیس با استفاده از الک‌هایی با مش مناسب، از هم جدا و داخل تانک قرار داده شد. الک‌ها در دو شمارهٔ ۵ و ۷ بودند. ذرات باقی‌مانده در الک شمارهٔ ۵ ،ذرات درشت سیلیس و ذرات باقی‌مانده در الک شمارهٔ ۷، ذرات متوسط سیلیس بودند. البته، ذرات عبوری از هر دو الک، ذرات ریز سیلیس به حساب آمدند.

پس از جداشدن ذرات از یکدیگر، شن‌ها به گونه‌ای وارد تانک شدند که ابتدا لایه‌ای نازک از ذرات درشت، به‌عنوان نگهدارنده، کف تانک شن ریخته شد. سپس ذرات ریز و متوسط وارد شده و در نهایت، ذرات درشت در داخل تانک قرار داده شد. ارتفاع تمامی سیلیس‌های ریخته‌شده در فیلترهای شنی، جمعاً دوسوم ارتفاع تانک بود. در مجموع، ارتفاع تانک تصفیه ۱۵۰ سانتی‌متر بود و باتوجه‌به مطالب بالا، ارتفاع دانه‌های سیلیس داخل تانک ۱۰۰ سانتی‌متر شد و ۵۰ سانتی‌متر بالای تانک خالی ماند. فیلتر دیسکی اتومات، شامل یک واحد کنترل بود که کنترل شست‌وشوی اتوماتیک فیلترها را بر عهده داشت. همچنین دو فیلتر دیسکی آزود هلیکس[1] ۱۳۰ میکرون و به رنگ قرمز، در مسیر سیستم قرار داده شد. آب موجود در منبع مورد نظر، باتوجه‌به شرایط اقلیمی و درجهٔ حرارت هوا، دارای درصد غلظت‌های مختلفی از مواد آلی گیاهی و جلبک بود.

بنابر آنچه گفته شد، در این تحقیق آب آبیاری با غلظت‌های مختلفی از مواد آلی، جلبک‌ها و ذرات معلق که در جدول ۱ آورده شده است، از طریق سیستم پمپاژ وارد سیستم کنترل مرکزی شد. سپس چهار تیمار زیر در قسمت کنترل مرکزی به‌منظور ارزیابی عملکرد سیستم انتخاب شد: ۱. تیماری شامل تانک شن و فیلتر دیسکی معمولی؛ ۲. تانک شن به همراه فیلتر دیسکی اتومات خودشوینده؛ ۳. فیلتر دیسکی اتومات خودشوینده بدون تانک شن؛ ۴. فیلتر دیسکی معمولی بدون تانک شن.

در حین انجام آزمایش‌ها روی هریک از تیمارها، پارامترهای مختلفی اندازه‌گیری شد که عبارت‌اند از: فشار بخش‌های مختلف فیلتراسیون، دبی خروجی از سیستم فیلتراسیون، زمان گرفتگی فیلترها و مقدار ذرات عبوری از تجهیزات فیلتراسیون و تصفیه‌شده. برای محاسبهٔ مقدار ذرات گذشته از تجهیزات و تعیین درصد تصفیهٔ هریک از تیمارها، ابتدا وزن کاغذهای صافی خشک در ترازوی حساس وزن تعیین شد. سپس با نوعی بشر از آب سیستم آبیاری، قبل از ورود به سیستم فیلتراسیون، یک لیتر برداشته، کم‌کم از کاغذ صافی مذکور گذرانده شد. سپس کاغذ صافی به‌آرامی برداشته شد و چند روز در دمای آزمایشگاه (۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد) خشک گردید. سپس، دوباره وزن کاغذ صافی اندازه‌گیری شد. اختلاف وزن کاغذ صافی در دو مرحله، وزن مواد معلق در نمونهٔ آب را در یک لیتر نشان می‌داد. به همین صورت، از آب خروجی از سیستم کنترل مرکزی نمونه‌برداری و میزان مواد معلق محاسبه گردید. در آخر، درصد تصفیه در هریک از آزمایش‌ها تعیین شد.

جدول۱. تأثیر کیفیت آب بر پتانسیل انسداد در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای (۲)

	میزان محدودیت در استفاده		
مشکلات بالقوه	بدون محدودیت ($mg\ l^{-1}$)	محدودیت متوسط ($mg\ l^{-1}$)	محدودیت شدید ($mg\ l^{-1}$)
جامدات معلق	<۵۰	۵۰-۱۰۰	>۱۰۰

1. Azud Helix

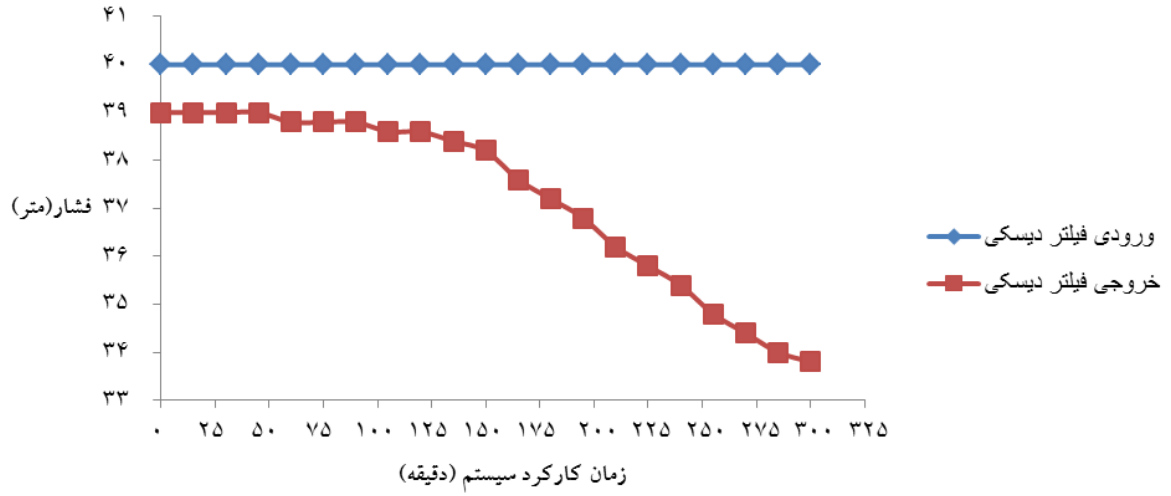
در تعیین میزان هدررفت آب در زمان عملیات شست‌وشوی فیلترها، زمان گرفتگی فیلترها در هر آزمایش یادداشت شد. کنتورهای نصب‌شده در سیستم، حجم آب عبوری از سیستم را برحسب m^3 نشان می‌دادند. بنابراین، باتوجه‌به زمان کارکرد سیستم، دبی عبوری محاسبه و اندازه‌گیری شد. همچنین در طول تمامی آزمایش‌ها، زمان گرفتگی تانک شن و فیلترهای دیسکی و میزان ایجاد افت فشار اولیه در سیستم یادداشت شد. به‌ازای ایجاد افت فشار ۳/۵ متر، عملیات شست‌وشوی تانک انجام شد و به‌ازای افت فشار هفت‌متری بر اساس استاندارد ارائه‌شده، عملیات شست‌وشوی فیلترهای دیسکی نیز انجام گرفت. سپس حجم آب استفاده‌شده یادداشت گردید (۳). همچنین میزان افت دبی عبوری از سیستم و افت توان تولیدی در محور پمپ، به دلیل گرفتگی‌های موجود در تانک شن، از طریق رابطهٔ ۱محاسبه شد.

$$Na = \frac{\rho g Q H}{\eta} \qquad (۱)$$

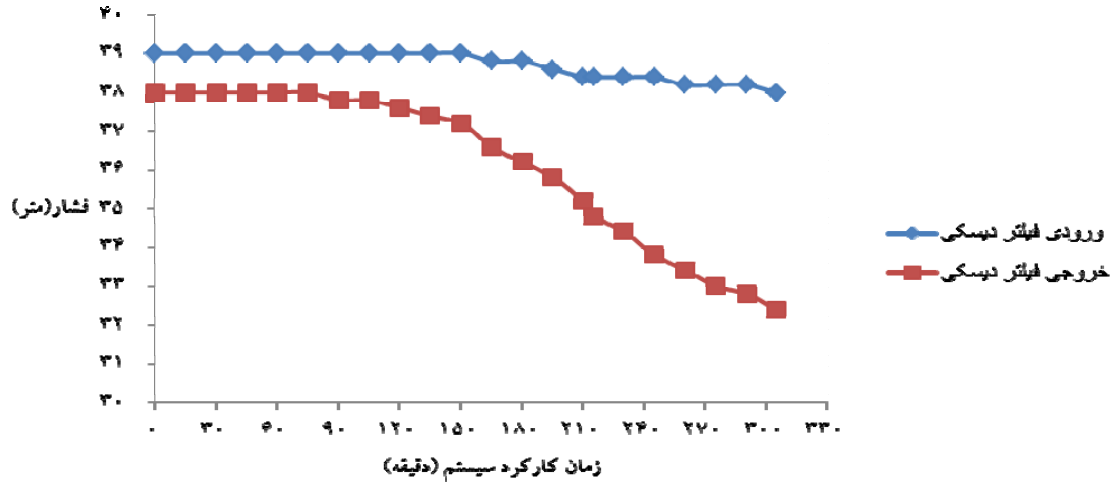
در این رابطه، ρ چگالی آب (kg/m^3)، g شتاب گرانشی زمین (m/s^2)، Q دبی عبوری از پمپ (m^3/s) و H ارتفاع معادل فشار خروجی پمپ (m) است. در این تحقیق، با تجزیه‌وتحلیل داده‌ها بر اساس ساعات گرفتگی فیلترها در کیفیت‌های مختلف آب موجود در کانال و میزان آب مصرفی برای شست‌وشو، به‌منظور تعیین امکان حذف تانک شن در زمان استفاده از فیلتر دیسکی با شست‌وشوی دستی یا اتوماتیک در کیفیت مناسب انجام شد. تجزیه‌وتحلیل‌ها به‌وسیلهٔ نمودارهای ترسیمی از طریق نرم‌افزار EXCEL انجام گرفت.

یافته‌ها

زمان گرفتگی فیلترهای دیسکی در کیفیت آب آبیاری با محدودیت کم، برای تیمارهای دارای تانک شن و بدون تانک شن، با هم مقایسه شدند. نحوهٔ مقایسه به این گونه بود که زمان گرفتگی فیلترهای دیسکی در هر دو تیمار با هم مقایسه شدند. باتوجه‌به شکل‌های ۱ و ۲، تقریباً زمان گرفتگی فیلترهای دیسکی در هر دو تیمار برابر بود و حدود ۳۰۰ تا ۳۲۰ دقیقه، افت فشار هفت‌متری به دست آمد. در آزمایش‌های مربوط، در تیمارهایی که تانک شن حضور ندارد، فشار ورودی به فیلتر دیسکی با فشار خروجی پمپ برابر و مقدار ثابت ۴۰ متر است.

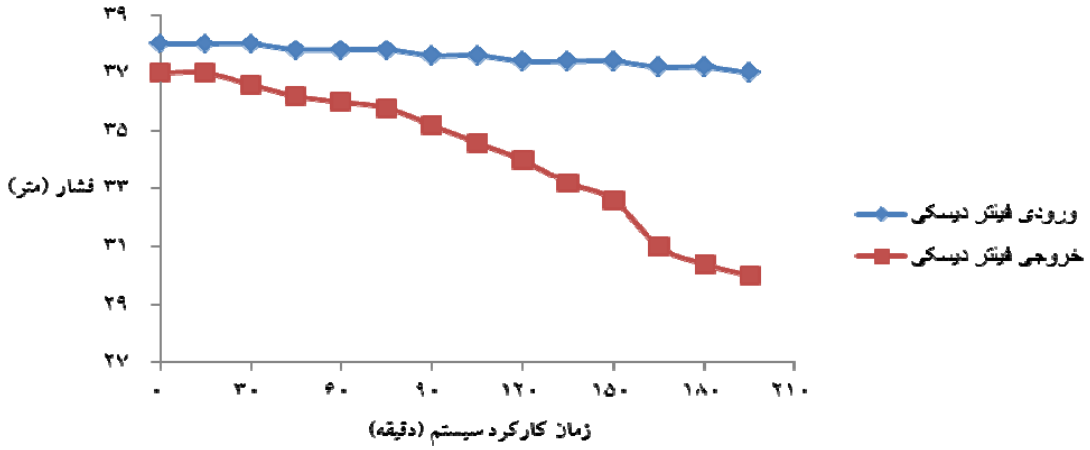


شکل ۱. زمان گرفتگی در فیلترهای دیسکی، بدون حضور تانک شن در کیفیت آب آبیاری با محدودیت کم

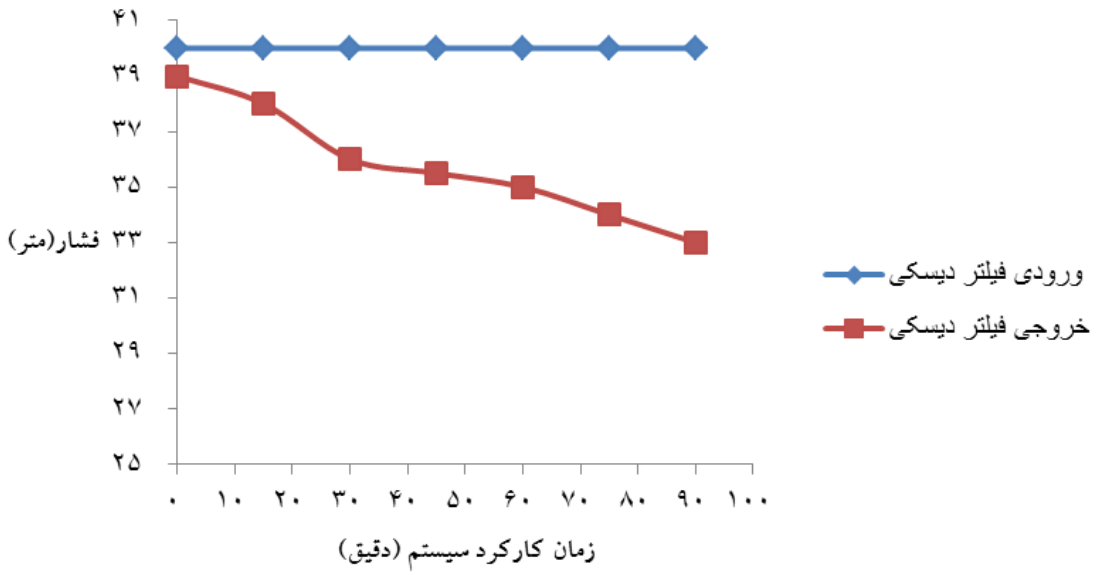


شکل ۲. زمان گرفتگی فیلترهای دیسکی، با حضور تانک شن در کیفیت آب آبیاری با محدودیت کم

نتایج آزمایش بعدی برای مقایسهٔ دو تیمار، در حالتی بود که کیفیت آب آبیاری در محدودیت متوسط قرار داشت و غلظت مواد آلی و ذرات معلق، بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود. بر اساس شکل‌های ۳ و ۴، زمان گرفتگی فیلترهای دیسکی در شرایط بدون حضور تانک شن، به‌طور متوسط حدود ۱۰۰ دقیقه بود؛ درحالی‌که متوسط زمان گرفتگی، در شرایط حضور تانک شن به حدود ۱۸۰ تا ۲۰۰ دقیقه رسید. دلیل این تفاوتِ زمانی این است که در حالت نبود تانک شن، تمامی جلبک‌ها به سمت فیلتر دیسکی حرکت کرده و فیلتر دیسکی را احاطه می‌کنند و زمان گرفتگی فیلترها را کاهش می‌دهند. اما، در حضور تانک شن، تانک شن، ذرات درشت جلبک را می‌گیرد؛ بنابراین، ذرات ریزتر وارد فیلتر دیسکی می‌شوند. این ذرات به‌راحتی به‌صورت خودکار قابل شست‌وشو خواهند بود.



شکل ۳. زمان گرفتگی فیلترهای دیسکی با حضور تانک شن در کیفیت آب آبیاری با محدودیت متوسط



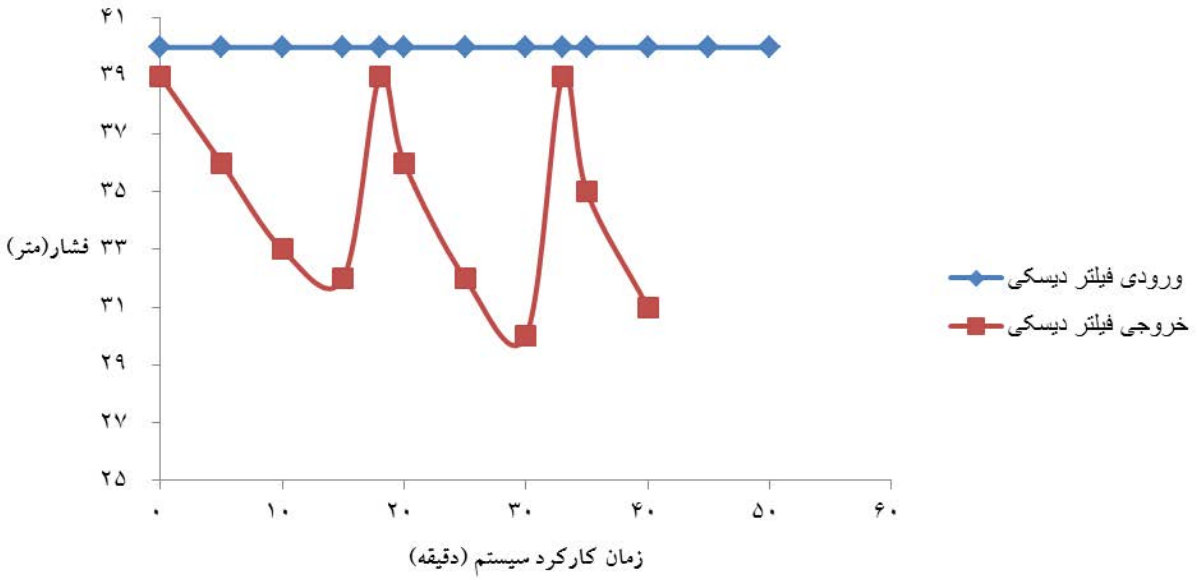
شکل ۴. زمان گرفتگی فیلترهای دیسکی بدون حضور تانک شن در کیفیت آب آبیاری با محدودیت متوسط

به همین ترتیب، پارامترهای اندازه‌گیری‌شده که برای تمامی تیمارها به‌صورت یکجا در جدول ۲ ارائه شده است، عبارت‌اند از: فشار نقطهٔ خروجی، دبی عبوری در انتهای خروجی، مقدار ذرات گذشته از تجهیزات فیلتراسیون و مانده در کاغذ صافی.

جدول ۲. نتایج فنی آزمایش‌ها در تیمارهای مختلف

سناریو	غلظت آلاینده (میلی‌گرم در لیتر)								
	بدون محدودیت (۵۰>)			محدودیت متوسط (۱۰۰-۵۰)			محدودیت زیاد (۱۰۰>)		
	زمان گرفتگی (min)	افت دبی (l/s)	درصد تصفیه	زمان گرفتگی (min)	افت دبی (l/s)	درصد تصفیه	زمان گرفتگی (min)	افت دبی (l/s)	درصد تصفیه
فیلتر دیسکی معمولی + تانک شن	۱۹۵	۰/۱۱	٪۶۸	۹۰	۰/۲۲	٪۷۲	۷۵	۰/۱۷	٪۸۲/۵
فیلتر دیسکی معمولی	۱۵۰	۰/۶	٪۶۷/۸	۹۰	۰/۴۲	٪۷۷/۷۱	۳۵	۰/۷۵	٪۷۸
فیلتر دیسکی اتومات + تانک شن	۲۵۵	۰/۶	٪۷۱	۱۵۰	۰/۶	٪۸۸	۶۰	۰/۸	٪۷۸
فیلتر دیسکی اتومات	۱۹۵	۰/۲	٪۶۹/۳	۱۳۵	۰/۲۲	٪۸۳	۲۰	۰/۳	٪۶۲/۳

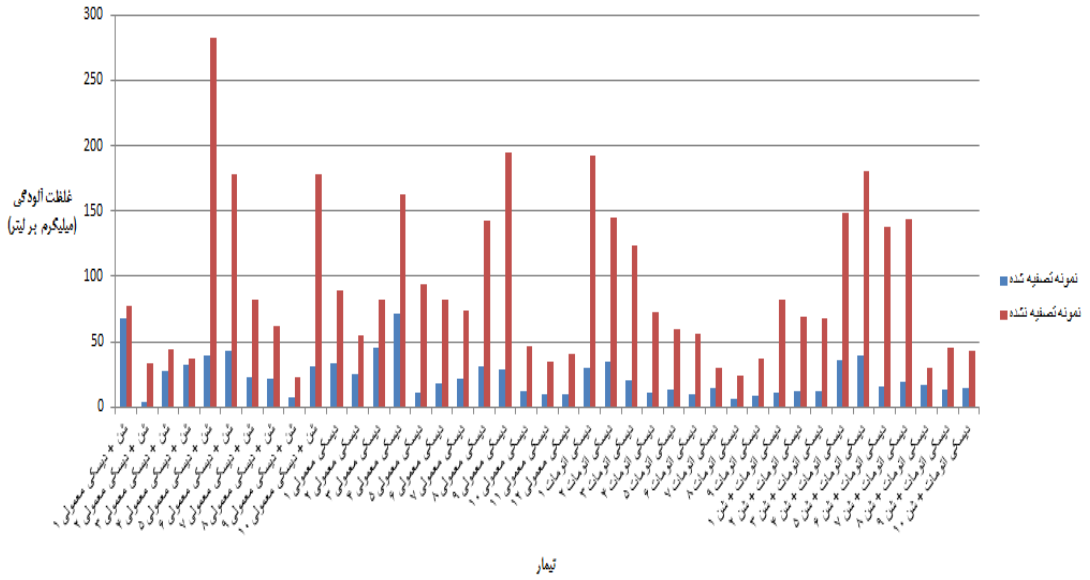
در نهایت، تیمارهایی که در کیفیت آب آبیاری با محدودیت شدید قرار داشتند و غلظت آلودگی آن‌ها، بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود، با یکدیگر مقایسه شدند. در این حالت، فیلترهای دیسکی در زمان نبود تانک شن، به‌سرعت دچار گرفتگی شدند و در زمان بسیار کمی، حدود ۱۵ تا ۲۰ دقیقه، افت فشار هفت‌متری ایجاد کردند. همچنین به دلیل فراوانی میزان جلبک وارده به اطراف فیلترهای دیسکی، سیستم شست‌وشوی اتوماتیک، توانایی شست‌وشو و جداسازی ذرات از سطح فیلتر را نداشت و همان‌گونه که در شکل ۵ آورده شده است، پس از پایان شست‌وشوی اتوماتیک، بلافاصله فیلترها دچار گرفتگی شدند. این گرفتگی نیز در سیستم، افت فشار ایجاد کرد. باتوجه‌به آنچه گفته شد، باید شست‌وشوی فیلترهای دیسکی را دستی انجام داد تا بتوان تمامی جلبک‌های چسبیده به فیلترها را جدا کرد.



شکل ۵. زمان گرفتگی فیلترهای دیسکی، بدون حضور تانک شن در کیفیت آب آبیاری با محدودیت شدید

در ادامه، تانک شن به سیستم اضافه شد. در این حالت، زمان گرفتگی فیلترهای دیسکی از ۱۵ دقیقه به ۴۵ تا ۵۰ دقیقه افزایش یافت و بخشی از مقادیر جلبک توسط تانک شن جدا شد. همین امر نیز سبب افزایش زمان گرفتگی در فیلترهای دیسکی شد.

میزان مواد معلق موجود در آب ورودی به سیستم فیلتراسیون و خروجی از سیستم در ۳۶ آزمایش اندازه‌گیری شد. نتایج این آزمایش‌ها در شکل ۶ آمده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در بیشتر موارد، میزان مواد معلق در آب تصفیه‌شده، کمتر از ۳۰ میلی‌گرم در لیتر است. همچنین میزان درصد تصفیه در هریک آزمایش‌ها، حدود ۷۵ تا ۸۵ درصد به دست آمد.



شکل ۶. میزان تصفیهٔ آب آبیاری توسط سیستم فیلتراسیون

باتوجه‌به اندازه‌گیری‌ها، به‌طور متوسط هر هشت ساعت، تانک شن دچار گرفتگی شده و ۲ تا۳ متر افت ایجاد کرده است. بنابراین، به شست‌وشو نیاز پیدا کرده است. میزان هدررفت آب برای شست‌وشوی تانک نیز حدود ۰/۵ مترمکعب برآورد شده است. همچنین در این شرایط، به علت گرفتگی و افت سه‌متری در تانک شن، میزان دبی ورودی به سیستم، حدود ۰/۷ لیتر بر ثانیه کاهش یافته و سبب افت ۱۵درصدی در توان تولیدی محور پمپ شده است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، نحوهٔ عملکرد فیلترها در هریک از تیمارها بررسی شد. نتایج چگونگی عملکرد آن‌ها نیز در جدول ۳ آمده است. در این جدول، علامت ü نشان‌دهندهٔ طرح و جانمایی مناسب و علامت û نشان‌دهندهٔ طرح و جانمایی ضعیف سیستم است.

جدول ۳. چگونگی طرح و جانمایی فیلترها در کیفیت‌های مختلف آب آبیاری

سناریو	وضعیت کیفی آب		
	محدودیت کم	محدودیت متوسط	محدودیت زیاد
فیلتر دیسکی معمولی	✓	×	×
فیلتر دیسکی معمولی + تانک شن	×	×	✓
فیلتر دیسکی اتومات	✓	✓	×
فیلتر دیسکی اتومات + تانک شن	×	✓	×

بر اساس آزمایش‌ها و مقایسهٔ تیمارها با یکدیگر، در غلظت آلودگی کمتر از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، در شرایط نبود تانک شن، فیلترهای دیسکی بهترین عملکرد را از خود نشان دادند. فیلترهای دیسکی در غلظت مواد آلی و معلق در محدودهٔ ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر عملکرد مناسبی داشتند و می‌توان با افزودن تانک شن، عملکرد آن را بهبود بخشید. در غلظت‌های بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیز عملکرد فیلترهای دیسکی به‌شدت کاهش یافت و حضور تانک شن در آن‌ها الزامی است. بنابراین، اگر میزان آلودگی در وضعیت محدودیت متوسط یا زیاد باشد، برای بهبود عملکرد فیلترهای دیسکی، آب موجود در کانال به تصفیهٔ اولیه نیاز دارد. این تصفیهٔ اولیه می‌تواند تانک شن باشد تا بتوان ذرات درشت جلبک را از آب آبیاری جدا کرد؛ به گونه‌ای که اخلالی در عملکرد فیلترهای دیسکی به وجود نیاید.

منابع

۱. علیخانیمهوار ح. و زارعی ر (۱۳۸۸) چگونگی عملکرد آبیاری قطره‌ای و تأثیر صافی‌های شنی و دیسکی بر عملکرد آن. مجموعه مقالات همایش ملی علوم آب، خاک، گیاه و مکانیزاسیون کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، ایران.

۲. قاسمی ع.، دانش ش. و علیزاده ا (۱۳۹۱) امکانسنجی استفاده از سیستم آبیاری قطره ای در کاربرد پساب تصفیه خانه‌های فاضلاب شهری مشهد. آبیاری و زهکشی ایران. ۳(۶): ۱۶۲-۱۵۲.

۳. شرکت خدمات مهندسی آب و خاک کشور (۱۳۷۷) ضوابط و معیارهای فنی روش‌های آبیاری تحت فشار. چاپ اول، انتشارات اداره کل توسعه روش‌های آبیاری تحت فشار. ۱۱۶ صفحه.

۴. نجفیمود م.، منتظر ع ا. و بهدانی م ع (۱۳۸۶) ارزیابی تعدادی از طرح‌های آبیاری تحت فشار اجرا شده در خراسان جنوبی. علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۴(۱): ۲۶-۱۲

5. Capra A and Scicolone B (1998) Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. Agricultural Engineering Research. 70(4): 355-365.

6. Puig Bargués J, Arbat G, Barragan J and Cartagena F (2005) Hydraulic performance of drip irrigation subunits using WWTP effluents. Agricultural Water Management. 77(2005): 249–262.

7. Mesquita M, Testezlaf R And Ramirez J.C.S (2012) The effect of media bed characteristics and internal auxiliary elements on sand filter head loss. Agricultural Water Management. 115(2012): 178– 185.

8. Yan D, Yang P, Rowan M, Ren S and Pitts D (2010) Biofilm accumulation and Structure in theFlow Path of drip emitter using reclaimedwastewater. American Society of Agricultural and Biological Engineers. 53(3): 751- 758.