



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۳

صفحه‌های ۲۵۴-۲۴۳

تأثیر تنظیم pH و کلرزنی بر خصوصیات آب و پساب به‌منظور جلوگیری از گرفتگی قطره‌چکان‌ها

عظیمه عسگری^۱، مهدی قیصری^{۲*}، فاطمه صفریان^۳، مهران شیروانی^۴ و سیدحسین سقائیان‌نژاد^۵

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
۲. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
۴. دانشیار گروه مهندسی خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
۵. مربی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۹۳/۶/۲۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۹/۲

چکیده

هدف از این تحقیق، تعیین غلظت کلر باقی‌مانده آزاد در پساب، تحت تأثیر تزریق غلظت‌های متفاوت کلر، ۵۰ تا ۳۵۰ ppm، در سه سطح pH برابر ۶، ۶/۵ و ۷ و بررسی تأثیر کلرزنی بر pH، هدایت الکتریکی و غلظت مواد جامد محلول در آب شرب و پساب بود. نتایج نشان داد با تغییر غلظت کلر اضافه‌شده به نمونه پساب، غلظت کلر باقی‌مانده آزاد تغییر می‌کند. برای رسیدن به غلظت کلر باقی‌مانده آزاد بیش از ۱ ppm به ترتیب ۱، ۱۵۰ و ۲۰۰ ppm کلر در آب شرب، نمونه پساب با pH برابر ۶ و ۶/۵ و نمونه پساب با pH برابر ۷، مصرف شد. کاهش pH نمونه پساب از ۷ به ۶ تا ۶/۵ مقدار کلر مصرفی برای دستیابی به غلظت کلر باقی‌مانده آزاد ppm ۱ را ۲۵ درصد کاهش داد. افزودن کلر به فرم سدیم هیپوکلریت به آب شرب و پساب در تمامی سطوح pH، موجب افزایش هدایت الکتریکی، غلظت مواد جامد محلول و pH شد. بنابراین اگرچه استفاده از سدیم هیپوکلریت مایع به‌منظور کلرزنی سیستم آبیاری قطره‌ای خطر گرفتگی بیولوژیکی قطره‌چکان‌ها را کاهش می‌دهد، با افزایش غلظت مواد جامد محلول، شوری و اسیدیته آب آبیاری خطر گرفتگی شیمیایی قطره‌چکان‌ها را افزایش می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: آبیاری قطره‌ای، پساب، غلظت کلر باقی‌مانده آزاد، کلرزنی، گرفتگی بیولوژیکی.

۱. مقدمه

در وضعیت کمبود آب و خشکسالی تنها منبع پایدار آب، پساب است (۳۰). گسترش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی برای تأمین مواد غذایی، همگام با روند رو به رشد جمعیت جهان و وقوع خشکسالی‌های پی‌درپی در سال‌های اخیر، موجب افزایش بهره‌برداری از منابع موجود آب و ایجاد بحران آب به‌ویژه در اکثر کشورهای واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان و همچنین وارد آمدن فشار بیش از اندازه به منابع آب شده است (۱-۳). علاوه بر این، توسعه شهرنشینی، تغییر الگوی مصرف آب، افزایش مصارف آب شهری و صنعتی شدن، سبب تولید حجم زیادی فاضلاب شده است. مشکل اصلی در این زمینه، چگونگی دفع فاضلاب به شیوه‌ای است که مخاطرات زیست‌محیطی و بهداشتی را به‌دنبال نداشته باشد. کاربرد فاضلاب‌ها و پساب‌ها در کشاورزی به‌عنوان راه حلی برای رفع هر دو مشکل یادشده پیشنهاد شده است (۹). افزایش کارایی استفاده از منابع آب از طریق کاربرد سیستم‌های آبیاری مدرن و استفاده از منابع آب غیرمتعارف، از جمله پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، از مؤثرترین راهکارهای مدیریتی در استفاده بهینه از منابع آب در بخش کشاورزی و حفاظت از محیط زیست در برابر دفع فاضلاب، محسوب می‌شود (۱۲، ۱۳). استفاده از پساب در آبیاری محصولات کشاورزی، صرف‌نظر از نوع سیستم آبیاری، دارای مزایای بسیاری شامل کاهش فشار بر منابع آبی، صرفه‌جویی در مصرف آب با کیفیت خوب، کاهش هزینه آب، کاهش مصرف کودهای شیمیایی، افزایش حاصلخیزی خاک و افزایش عملکرد محصولات کشاورزی است (۴، ۳۶).

سیستم آبیاری قطره‌ای به دلیل عدم پخش در هوا، نبود رواناب و امکان کنترل نفوذ عمقی و ازاین‌رو کاهش خطر آلودگی میکروبی هوا، خاک و گیاه، مناسب‌ترین سیستم برای کاربرد پساب است (۵، ۸، ۱۲). اما گرفتگی قطره‌چکان‌ها، یکی از جدی‌ترین مشکلات هنگام استفاده

از سیستم آبیاری قطره‌ای و عامل اصلی عملکرد نامناسب سیستم است، که موجب کاهش جریان خروجی از قطره‌چکان‌ها، کاهش یکنواختی توزیع آب و در نتیجه کاهش بازده آبیاری می‌شود (۱۱، ۱۳، ۳۴). از مهم‌ترین عوامل گرفتگی قطره‌چکان‌ها در شرایط کارکرد سیستم با پساب، مواد جامد معلق و میکروارگانیسم‌ها، به‌ویژه باکتری‌ها و لجن‌ها (۶) و مواد چسبنده‌ای که از تعامل موسیلاژ باکتری^۱، جلبک و پلانکتون ایجاد می‌شوند، است (۱۶). رشد سریع بیوفیلم^۲ و تجمع رسوبات در مسیر قطره‌چکان‌ها نیز از دیگر عوامل تحریک‌کننده گرفتگی است (۳۷). کلرزنی برای جلوگیری از رشد لجن‌های باکتریایی^۳ و جلبک درون سیستم آبیاری قطره‌ای هنگام کاربرد پساب الزامی است (۳۴). اگرچه کلرزنی در جلوگیری از گرفتگی قطره‌چکان‌ها مؤثر است، روش‌های کلرزنی توصیه‌شده توسط محققان مختلف از نظر غلظت کلر باقی‌مانده آزاد و فواصل کلرزنی متفاوت است.

کاربرد پیوسته کلر، با غلظت کلر باقی‌مانده آزاد ۱ تا ۲ ppm در انتهای خطوط توزیع برای گندزدایی فاضلاب و کنترل رشد باکتری‌ها توصیه شده است (۲۰). نتایج تحقیق دیگری نشان داد که کلرزنی هر دو هفته یکبار، با زمان تماس شش ساعت و با غلظت کلر باقی‌مانده آزاد ۲ ppm در انتهای لترال‌ها به‌ویژه مواقعی که pH آب آبیاری کمتر از ۷ باشد، در جلوگیری از انسداد قطره‌چکان‌ها مؤثر است (۱۷). کلرزنی در غلظت کمتر و در تعداد دفعات بیشتر نسبت به کلرزنی در تعداد دفعات کمتر و با غلظت بیشتر در حفظ عملکرد مناسب سیستم مؤثرتر است (۲۶). گرفتگی قطره‌چکان‌ها در هنگام کاربرد پساب باید به‌صورت جدی بررسی شود، چراکه رسوب مواد آلی، رشد مواد میکروبی، اکسیداسیون یون‌ها و pH بالای پساب

1. Bacterial mucilage
2. Biofilm
3. Bacterial slime

مدیریت آب و آبیاری

به صورت گسترده برای از بین بردن جلبک‌ها استفاده کرد. اکرویلین‌ها بیشتر در کالیفرنیا و فلوریدا به کار رفته‌اند، اما دسترسی به آنها دشوار است و تأثیر این مواد شیمیایی بر عملکرد گیاه مشخص نیست. گزارش‌هایی مبنی بر استفاده از دیگر مواد دارای خاصیت ضد باکتریایی، همچون هیدروژن پروکسید، بروم و ید وجود دارد، اما این مواد در شرایط مزرعه‌ای برای اطمینان از عملکرد مناسب و رضایت‌بخش امتحان نشده‌اند (۱۱).

سدیم هیپوکلریت فرم مایع کلر است که نسبت به سایر منابع کلر دسترسی به آن ساده‌تر است و اغلب برای کنترل عوامل گرفتگی بیولوژیکی در سیستم آبیاری قطره‌ای استفاده می‌شود. ترکیب سدیم هیپوکلریت مایع در آب تولید اسید هیپوکلریت^۶ و یون هیدروکسیل^۷ می‌کند، این واکنش سبب افزایش pH آب می‌شود. اسید هیپوکلریت عاملی مؤثر در کنترل رشد باکتری‌ها است که در سطوح کم pH مؤثرتر است (۱۴، ۲۵، ۲۹). چندین فاکتور تأثیر کلی افزودن کلر را تعیین می‌کند، از جمله آنها موقعیت و شرایط آب (دما، pH، خصوصیات شیمیایی و مواد جامد معلق)، زمان تماس بین کلر و جلبک‌ها، نوع و مقدار جلبک‌ها و مشخصات قطره‌چکان‌ها است (۳۳، ۳۴).

۲.۲. شیوه کلرزی

در این مطالعه، از پساب ثانویه^۸ تصفیه‌خانه واقع در دانشگاه صنعتی اصفهان استفاده شد. نمونه پساب از قسمت خروجی حوضچه ته‌نشینی ثانویه^۹ و به فاصله ۱/۵ متر از دیواره حوضچه و از عمق ۱ متر زیر سطح پساب موجود در حوضچه جمع‌آوری شد. خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی پساب شامل pH، غلظت مواد جامد

ممکن است رشد بیوفیلم را تشدید کند و بنابراین موجب انسداد قطره‌چکان‌ها شود (۲۸، ۳۱). با وجود این، اطلاعات اندکی در مورد استفاده از کلر در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای به منظور کنترل یا کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها، ناشی از عوامل گرفتگی بیولوژیکی، مانند جلبک و تک‌یاخته^۱ و به منظور افزایش عملکرد سیستم آبیاری قطره‌ای و تأثیر سطح pH بر کارایی مصرف کلر وجود دارد. هدف از این مطالعه بررسی اثر سطح pH پساب بر کارایی مصرف کلر و همچنین اثر تزریق غلظت‌های مختلف کلر بر غلظت کلر باقی‌مانده آزاد، غلظت مواد جامد محلول، هدایت الکتریکی و pH پساب بود.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. منابع و شیمی کلر

کلرزی ارزان‌ترین و به صرفه‌ترین شیوه کنترل فعالیت‌های میکروبی است (۱۸). کلسیم هیپوکلریت^۲، سدیم هیپوکلریت^۳ و گاز کلر^۴ معمول‌ترین و به صرفه‌ترین مواد برای جلوگیری از رشد و توسعه عوامل گرفتگی بیولوژیکی در سیستم آبیاری قطره‌ای به شمار می‌روند (۷، ۱۹، ۲۳). برخی از مواد شیمیایی مناسب در کنترل رشد باکتری و جلبک عبارتند از: پرمنگنات، ازن، نمک‌های آمونیوم، نمک‌های مس، اکرویلین، هیدروژن پراکسید، بروم و ید. هیچ‌یک از این مواد برای کاربرد در مصارف عملی مناسب نیستند. زایلن^۵ و پرمنگنات بسیار گران‌اند و ممکن است برای گیاهان سمی و زیانبار باشند. ازن ماده ضد باکتریایی مناسبی است، اما باقی‌مانده‌ای برای تأثیر در خطوط لوله تولید نمی‌کند. نمک‌های آمونیوم نیز باکتری‌ها را از بین می‌برند، اما گران‌اند. از نمک‌های مس می‌توان

6. Hypochlorous acid(HOCl)
7. Hydroxyl ions(OH)
8. Secondary Sewerage
9. Secondary Sedimentation

1. Protozoa
2. Powdered calcium hypochlorite (CaOCl₂)
3. Liquid sodium hypochlorite (NaOCl)
4. Chlorine gas
5. Xylene

فواصل تزریق ۵۰ ppm و با هدف رساندن غلظت کلر باقی مانده آزاد به مقدار ۱ تا ۲ ppm (۲۰ و ۲۹) بود. مقدار کلر اضافه شده به آب شرب با مقدار کلر مصرفی در نمونه پساب تفاوت داشت و شامل هفت سطح غلظت کلر بین ۱ تا ۱۵ ppm بود.

محلول، هدایت الکتریکی، غلظت مواد جامد معلق و غلظت کربن آلی محلول در مدت کوتاهی پس از انتقال نمونه به آزمایشگاه تعیین و مقدار این شاخص‌ها از نظر پتانسیل ایجاد گرفتگی در قطره‌چکان‌ها با استاندارد ارائه شده در جدول ۱ (۱۱) مقایسه شد.

تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح pH برابر ۶، ۶/۵ و ۷، و هفت سطح غلظت کلر بین ۵۰ تا ۳۵۰ ppm با

جدول ۱. طبقه‌بندی کیفیت آب در ارتباط با پتانسیل گرفتگی قطره‌چکان‌ها (۱۱)

پتانسیل گرفتگی			عامل مؤثر در گرفتگی
شدید	متوسط	کم	
>۱۰۰	۵۰-۱۰۰	<۵۰	فیزیکی غلظت مواد جامد معلق (mg/l)
>۸	۷-۸	<۷	شیمیایی pH
>۳/۱	۰/۸-۳/۱	<۰/۸	هدایت الکتریکی (mS/cm)
>۲۰۰۰	۵۰۰-۲۰۰۰	<۵۰۰	غلظت مواد جامد محلول (mg/l)
>۱/۵	۰/۱-۱/۵	<۰/۱	منگنز (mg/l)
>۱/۵	۰/۲-۱/۵	<۰/۲	آهن (mg/l)
>۲	۰/۲-۲	<۰/۲	هیدروژن سولفید (mg/l)
>۵۰۰۰۰	۱۰۰۰۰-۵۰۰۰۰	<۱۰۰۰۰	بیولوژیکی جمعیت باکتریایی (No/ml)

زمان تماس ۱ ساعت برای تمامی تیمارها در نظر گرفته شد؛ چراکه به منظور کلرزنی مؤثر سیستم آبیاری، محلول کلر باید دست کم ۳۰ دقیقه با جلبک‌ها و باکتری‌ها در تماس باشد (۲۱). پس از گذشت ۱ ساعت زمان تماس، غلظت کلر باقی مانده آزاد در نمونه با استفاده از دستگاه طیف‌سنج و کیت تست DPD (PHotometer-System) MD 200, Lovebond Water Testing, Tintometer (Group, made in Germany) تعیین شد.

سطح pH نمونه پساب (۸/۳۷±۰/۳۹) با افزودن سولفوریک اسید ۹۸ درصد، به سه سطح pH برابر ۶، ۶/۵ و ۷ کاهش داده شد. برای اندازه‌گیری و کنترل pH در نمونه مورد نظر از دستگاه اندازه‌گیری (pH/Mv Hand Held pH/Mv meter, Az-instrument, model 8601 AZ-complete) استفاده شد. پس از تصحیح pH نمونه پساب، غلظت‌های مختلف کلر، ۵۰ تا ۳۵۰ ppm، با افزودن سدیم هیپوکلریت مایع، حاوی ۱۵ درصد کلر فعال، به نمونه مورد نظر اضافه شد. از آنجا که زمان تماس بین کلر و جلبک‌ها عاملی مؤثر در تعیین شیوه بهینه کلرزنی است،

1. N, N Diethyl-P-Phenylenediamine

تأثیر تنظیم pH و کلر زنی بر خصوصیات آب و پساب به منظور جلوگیری از گرفتگی قطره‌چکان‌ها

محلول و معلق در گرفتگی قطره‌چکان‌ها پتانسیل متوسط دارند.

۲.۳. غلظت کلر باقی‌مانده آزاد

غلظت کلر باقی‌مانده آزاد با تغییر غلظت کلر اضافه‌شده به نمونه پساب تغییر می‌کند. در نمونه‌های پساب با pH برابر ۶ و ۶/۵، با افزودن ۱۵۰ ppm کلر به نمونه، پس از گذشت ۱ ساعت زمان تماس، غلظت کلر باقی‌مانده آزاد به بیش از ۱ ppm و به ترتیب به مقدار ۱/۰۵ و ۱/۱۶ ppm رسید، در حالی که در نمونه پساب با pH برابر ۷، با افزودن این مقدار کلر، غلظت کلر باقی‌مانده آزاد، ۰/۷۴ ppm بود. در نمونه پساب با pH برابر ۷، با افزودن ۲۰۰ ppm کلر، غلظت کلر باقی‌مانده آزاد به مقدار ۱/۱ ppm رسید. در حالی که در نمونه آب شرب، با اضافه کردن تنها حدود ۱ ppm کلر، غلظت کلر باقی‌مانده آزاد به مقدار ۱/۳۵ ppm رسید. در شکل ۱ روند تغییرات غلظت کلر باقی‌مانده آزاد در سه سطح pH مورد مطالعه در نمونه پساب و آب شرب نشان داده شده است.

همچنین تأثیر افزودن ۵۰ تا ۱۰۰۰ ppm کلر به پساب و ۱۰ تا ۱۱۷ ppm کلر به آب، با افزودن سدیم هیپوکلریت مایع، بر هدایت الکتریکی، غلظت مواد جامد محلول و pH با اندازه‌گیری این پارامترها پس از کلر زنی نمونه، تعیین شد. برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و غلظت مواد جامد محلول در نمونه مورد نظر از دستگاه هدایت‌سنج (Hand Held ConductivityMeter, Az-instrument, model 8306) استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. بررسی کیفیت پساب

برخی خصوصیات شیمیایی (pH، غلظت مواد جامد محلول، هدایت الکتریکی)، فیزیکی (دما، غلظت مواد جامد معلق) و بیولوژیکی (غلظت کربن آلی محلول) نمونه پساب در جدول ۲ ارائه شده است. براساس طبقه‌بندی کیفیت آب (۱۱) در ارتباط با پتانسیل گرفتگی در قطره‌چکان‌ها (جدول ۱)، pH اولیه پساب مورد استفاده در این تحقیق، دارای پتانسیل زیادی از نظر ایجاد گرفتگی در قطره‌چکان‌ها است. هدایت الکتریکی، غلظت مواد جامد

جدول ۲. متوسط مقدار شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی پساب مورد آزمایش و آب شرب

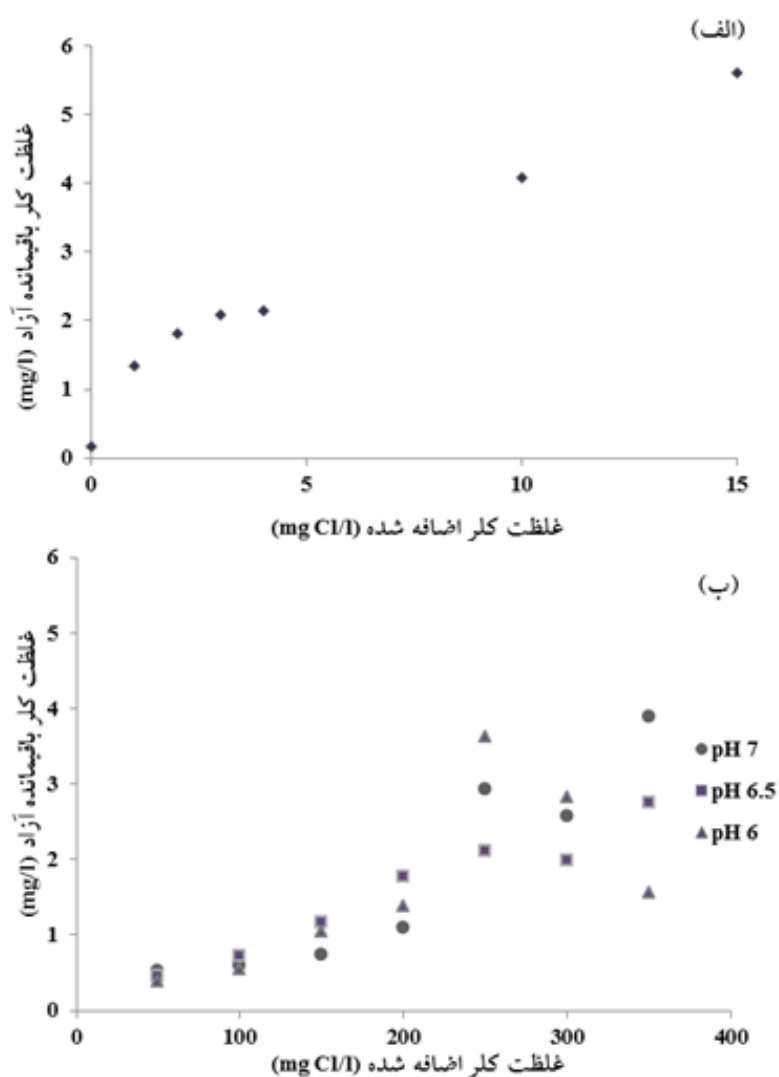
آب شرب		پساب		واحد	پارامترهای اندازه‌گیری شده
پتانسیل گرفتگی	مقدار	پتانسیل گرفتگی	مقدار		
کم	۰/۴۸±۰/۰۰۶	متوسط	۱/۱۲±۰/۰۰۶	dS/m	هدایت الکتریکی
کم	۲۵۱±۳	متوسط	۵۶۰/۷±۲/۰۸	mg/l	غلظت مواد جامد محلول
		متوسط	۵۵	mg/l	غلظت مواد جامد معلق
متوسط	۷/۸۲±۰/۱۷	شدید	۸/۳۷±۰/۳۹		pH
			۴۸	mg/l	غلظت کربن آلی محلول
	۲۶/۱۲±۰/۸۳		۱۶/۱۷±۲/۲۷	°C	دما

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۳

باقی مانده آزاد تا ۲/۱۱ و ۲/۹۳ ppm شد. افزودن ppm ۳۰۰ کلر به نمونه پساب در این دو سطح pH، غلظت کلر باقی مانده آزاد را تا ۱/۹۹ و ۲/۵۷ ppm کاهش داد و اعمال غلظت کلر بیشتر بر غلظت کلر باقی مانده آزاد افزود و آن را به ۲/۷۶ و ۳/۹ ppm رساند. در صورتی که با افزایش غلظت کلر اضافه شده به آب شرب، روند تغییرات غلظت کلر باقی مانده آزاد همواره صعودی است (شکل ۱).

در نمونه پساب با pH برابر ۶، افزایش غلظت کلر اضافه شده تا ۲۵۰ ppm، موجب افزایش غلظت کلر باقی مانده آزاد تا ۳/۶۳ ppm شد و پس از آن با ادامه یافتن روند افزایش غلظت کلر اضافه شده به نمونه تا ۳۵۰ ppm غلظت کلر باقی مانده آزاد کاهش یافت، اما غلظت کلر باقی مانده آزاد همچنان بیش از ۱ ppm بود. در نمونه پساب با سطح pH ۶/۵ و ۷، افزایش غلظت کلر اضافه شده به نمونه تا ۲۵۰ ppm، موجب افزایش غلظت کلر



شکل ۱. غلظت کلر باقی مانده آزاد تحت تأثیر غلظت های مختلف کلر اضافه شده در (الف) آب شرب و (ب) پساب؛ به تفاوت مقیاس محور افقی توجه شود.

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۳

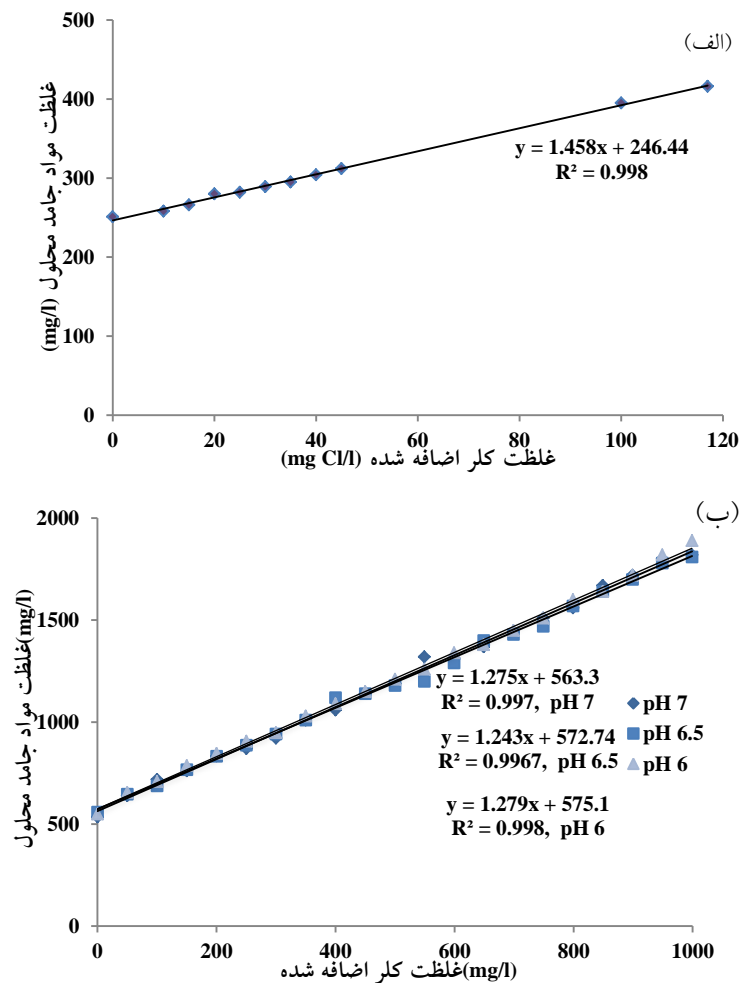
تأثیر تنظیم pH و کلر زنی بر خصوصیات آب و پساب به منظور جلوگیری از گرفتگی قطره‌چکان‌ها

مقدار کلر مورد نیاز برای افزایش غلظت کلر باقی‌مانده آزاد به بیش از ۱ ppm را کاهش می‌دهد.

۳.۳. هدایت الکتریکی و غلظت مواد جامد محلول

افزودن کلر به آب شرب و نمونه‌های پساب در تمامی سطوح pH موجب افزایش غلظت مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی شد (شکل‌های ۲ و ۳). با افزایش غلظت کلر اضافه‌شده به نمونه‌های پساب و آب، هدایت الکتریکی و غلظت مواد جامد محلول در نمونه به صورت خطی افزایش یافت.

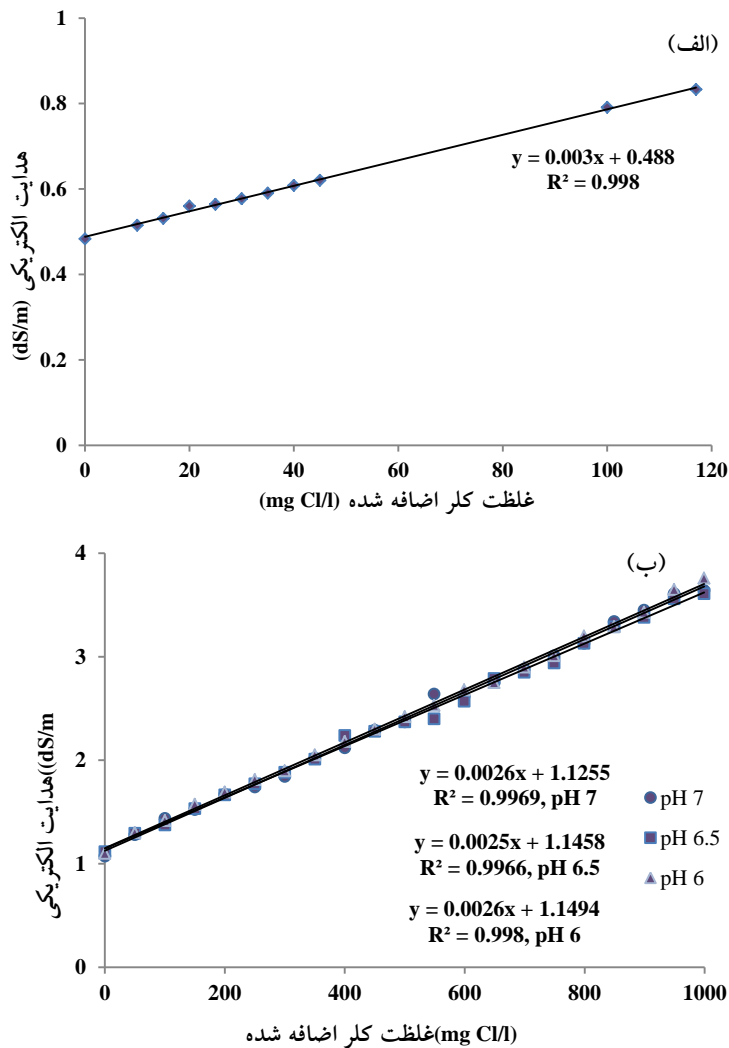
در تحقیق مشابه دیگری، تأثیر افزودن کلر در غلظت ۱۰ تا ۱۲۰ ppm، در سه سطح متفاوت pH برابر ۷، ۷/۵ و ۸، بر غلظت کلر باقی‌مانده آزاد و جمعیت باکتری، در هشت نمونه پساب بررسی شد. نتایج نشان داد که تغییرات غلظت کلر باقی‌مانده آزاد و جمعیت باکتری در نمونه‌ها متفاوت است. در نمونه‌هایی که کاربرد این مقدار کلر سبب ایجاد غلظت کلر باقی‌مانده آزاد قابل اندازه‌گیری در نمونه شده است، همواره در سطح pH برابر ۷، نسبت به سطح pH برابر ۷/۵ و ۸ کاربرد مقدار کمتری کلر، غلظت کلر باقی‌مانده آزاد را به بیش از ۱ ppm رسانده است (۳۵). نتایج این تحقیق نشان داد کاهش سطح pH نمونه پساب،



شکل ۲. تأثیر افزودن کلر بر غلظت مواد جامد محلول (الف) آب شرب و (ب) پساب، به تفاوت مقیاس محور افقی توجه شود.

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۳



شکل ۳. تأثیر افزودن کلر بر هدایت الکتریکی (الف) آب شرب و (ب) پساب؛ به تفاوت مقیاس محور افقی توجه شود.

شرب و پساب در شکل ۳ ارائه شده است. سطح pH نمونه پساب تأثیری بر شیب خط هدایت الکتریکی در برابر غلظت کلر اضافه شده نداشت و شدت افزایش هدایت الکتریکی در صورت کاربرد کلر برای کلر زنی نمونه پساب در هر سه سطح pH یکسان بود. با وجود این، شیب خط هدایت الکتریکی در برابر غلظت کلر در آب شرب (۰/۰۰۳) بیش از نمونه پساب (۰/۰۰۲۵)، و شدت افزایش هدایت الکتریکی در آب شرب بیش از نمونه پساب بود. به عبارت دیگر در صورت افزودن مقدار مشخص کلر به

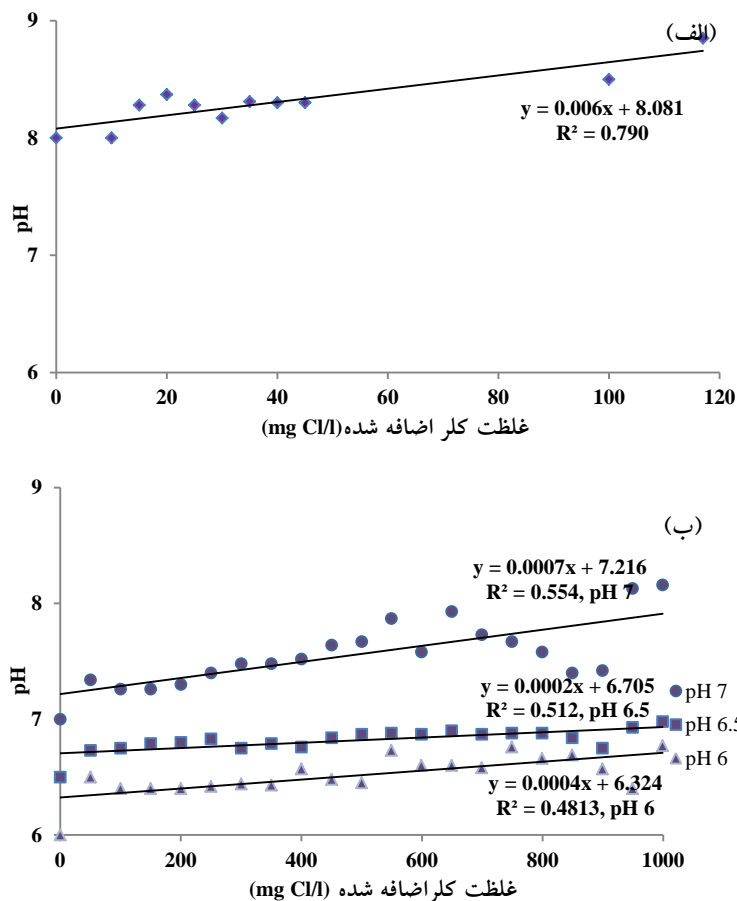
در نمونه پساب سطح pH تأثیری بر شیب خط غلظت مواد جامد محلول- غلظت کلر اضافه شده نداشت و شدت افزایش غلظت مواد جامد محلول در نمونه های پساب با pH متفاوت، تقریباً یکسان بود. اما شیب خط در آب شرب (۱/۴۵۸) بیشتر از نمونه پساب (۱/۲۶۵) بود. به عبارت دیگر به ازای افزودن مقدار مشخص کلر به نمونه آب شرب و پساب شدت افزایش غلظت مواد جامد محلول در آب شرب بیش از نمونه پساب است. تأثیر غلظت کلر اضافه شده بر هدایت الکتریکی آب

۳.۴. pH

افزودن کلر به فرم سدیم هیپوکلریت مایع همان‌طور که پیش از این نیز اشاره شد، موجب افزایش pH آب شرب و نمونه‌های پساب شد (شکل ۴). شدت افزایش pH در آب شرب (۰/۰۰۵۷) بیش از شدت افزایش pH در نمونه پساب (۰/۰۰۰۴۳) بود، به عبارت دیگر به ازای افزودن مقدار مشخصی کلر به نمونه آب شرب و پساب مقدار pH در نمونه آب شرب افزایش بیشتری داشت و شدت افزایش pH در زمان کلرنی آب شرب بیش از نمونه پساب بود. نتایج این تحقیق با نتایج سایر مطالعات مبنی بر افزایش pH هنگام کاربرد سدیم هیپوکلریت مایع به منظور کلرنی، مطابقت دارد (۱۴، ۲۵، ۲۷، ۲۹).

نمونه آب شرب و پساب میزان افزایش هدایت الکتریکی و در نتیجه افزایش شوری در آب شرب بیشتر است. افزودن کلر با غلظت بیش از ۸۰۰ ppm به نمونه پساب در تمامی سطوح pH، هدایت الکتریکی را به بیش از ۳/۱ dS/m افزایش داد که موجب افزایش پتانسیل گرفتگی شیمیایی قطره‌چکان‌ها از سطح متوسط به شدید می‌شود.

نتیجه به دست آمده در این تحقیق مبنی بر افزایش هدایت الکتریکی و غلظت مواد جامد محلول هنگام کلرنی با نتایج تحقیق دیگری که نشان داد کلرنی، غلظت مواد جامد محلول در آب آبیاری را افزایش می‌دهد و سبب افزایش شوری خاک می‌شود، مطابقت دارد (۲۲).



شکل ۴. تأثیر افزودن کلر بر pH (الف) آب شرب و (ب) پساب؛ به تفاوت مقیاس محور افقی توجه شود.

مدیریت آب و آبیاری

موجب بهبود عملکرد کلر در ضدعفونی کردن پساب و کنترل رشد جلبک و باکتری و در نتیجه کاهش مقدار کلر مصرفی به این منظور می‌شود. کلر زنی موجب افزایش هدایت الکتریکی و غلظت مواد جامد محلول در آب شرب و نمونه پساب خواهد شد و ممکن است سبب شوری خاک و آسیب دیدگی گیاه شود. کاربرد سدیم هیپوکلریت به منظور کلر زنی سیستم آبیاری pH نمونه پساب و آب شرب را افزایش می‌دهد، از این رو خطر رسوب ترکیبات شیمیایی از جمله کربنات کلسیم و منیزیم و خطر گرفتگی شیمیایی قطره‌چکان‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین به منظور جلوگیری از تشدید خطر گرفتگی شیمیایی، باید پیش از تزریق کلر در سیستم آبیاری، pH آب آبیاری در سطح مناسبی تنظیم شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از یافته‌های طرح تحقیقاتی شماره ۵۰۰/۹۲/۶۰۷ معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان است. نویسندگان از حمایت‌های معاونت پژوهشی دانشگاه سپاسگزارند.

منابع

۱. حسن اقلی ع ر.، لیاقت ع. و میرابزاده م (۱۳۸۱) تغییرات میزان مواد آلی خاک در نتیجه آبیاری با فاضلاب‌های خانگی و خود پالایی آن. مجله آب و فاضلاب. ۴۲: ۲-۱۱.
۲. عابدی م ج. و نجفی پ (۱۳۸۰) استفاده از فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران، ۲۴۸ صفحه.
۳. فرزانه ع (۱۳۷۵) فعل و انفعالات شیمیایی آب و معضل گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سیستم آبیاری قطره‌ای. مجله آب و ماشین. ۲۲: ۵۱-۵۴.

بنابراین هنگام استفاده از سدیم هیپوکلریت مایع به منظور کلر زنی سیستم آبیاری قطره‌ای اگرچه خطر گرفتگی بیولوژیکی قطره‌چکان‌ها کاهش می‌یابد (۱۰، ۱۶، ۳۳، ۳۴)، به دلیل افزایش pH آب آبیاری خطر رسوب کربنات کلسیم و گرفتگی شیمیایی افزایش می‌یابد (۲۱). از این رو هنگام کلر زنی سیستم با استفاده از سدیم هیپوکلریت مایع لازم است پیش از کلر زنی اسیدیته آب آبیاری در محدوده مناسب تنظیم شود.

کلر می‌تواند به هر دو صورت پیوسته یا متناوب و در غلظت‌های نسبتاً کم (۱ تا ۲۰ ppm) و با هدف جلوگیری از توسعه بیوفیلم مورد استفاده قرار گیرد (۱۸، ۳۲). طرح‌های کلر زنی متفاوت با غلظت کلر باقی‌مانده آزاد ۰/۴ ppm هر سه روز یکبار (۱۰)، ۲ تا ۱۰ ppm با فاصله زمانی ۴ تا ۸ هفته (۲۴) و ۱/۵ یا ۲/۵ ppm به صورت هفتگی یا ۵ ppm هر دو هفته یکبار (۲۶) به منظور کاهش گرفتگی و یکنواختی بیشتر توزیع آب توصیه شده‌اند. بر اساس مطالعات انجام گرفته، کاربرد غلظت کم کلر (< ۲۰ ppm) در کاهش گرفتگی بیولوژیکی در قطره‌چکان‌ها و کنترل توسعه بیوفیلم مؤثر بوده است، در حالی که کاربرد غلظت زیاد کلر (> ۳۰۰ ppm) به دلیل جدا کردن ذراتی که تا پیش از این به دیواره لوله چسبیده‌اند، ممکن است گرفتگی قطره‌چکان‌ها را تشدید کند (۱۵)؛ همچنین به دلیل افزایش شوری آب آبیاری موجب آسیب به گیاه شود. بنابراین کلر زنی با غلظت کم، در فواصل زمانی کوتاه‌تر و با تواتر بیشتر نسبت به کاربرد کلر در غلظت‌های زیاد و فواصل زمانی طولانی‌تر به علت تأثیر کمتر بر شوری آب آبیاری، آثار زیست‌محیطی کمتر و آسیب کمتر به گیاه بهترین مدیریت است.

نتیجه‌گیری

کاهش سطح pH نمونه پساب پیش از اعمال مدیریت کلر زنی به منظور کنترل گرفتگی بیولوژیکی قطره‌چکان‌ها،

مدیریت آب و آبیاری

13. Capra A and Scicolone B (2004) Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. *Agricultural Water Management*. 68(2): 135-149.
14. Clark G A and Smajstrla A G (1999) Treating irrigation systems with chlorine. Circular No. 1039. Gainesville, Fla: University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences.
15. Coelho R D and Resende R S (2001) Biological clogging of Netafim's drippers and recovering process through chlorination impact treatment. ASAE Paper No 012231. St. Joseph, Michigan, ASAE.
16. Dazhuang Y, Zihui B, Rowan M, Likun G, Shumei R, Peiling Y (2009) Biofilm structure and its influence on clogging in drip irrigation emitters distributing reclaimed wastewater. *Journal of Environmental Sciences*. 21(6): 834-841.
17. Dehghanisanij H, Yamamoto T, Ahmad B O, Fujiyama H and Miyamoto K (2005) The effects of chlorine on emitter clogging induced by algae and protozoa and the performance of drip irrigation. *Transactions of the ASAE*. 48(2): 519-527.
18. English S D (1985) Filtration and water treatment for microirrigation: Drip/trickle irrigation in action. In: Proc 3rd Int. Drip/Trickle Irrigation Congress. St. Joseph, Michigane, ASAE.
19. Evans R G (2000) Microirrigation. Washington State University, Irrigated Agriculture Research and Extension Center, USA.
20. Feigin A, Ravina I and Shalhevet J (1991) Irrigation with treated sewage for invironmental protection. *Advanced series in Agricultural Sciences* 17. Springer, Berlin, Germany.
21. Granberry D, Harrison K A and Kelley W T (2011) Drip Chemigation: injecting fertilizer, acid and chlorine. Bulletin 1130. University of Georgia.
۴. کاراندیش ف. شاهنظری ع. و ابراهیمی ک (۱۳۸۹) استفاده مجدد از پساب به عنوان منبعی مطمئن و قابل ملاحظه در کشاورزی. اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی، دانشگاه ساری، ایران.
5. Abedi koupai J and Bakhtiarifar A (2004) Effect of treated wastewater on hydraulic characteristics of emitters in trickle irrigation systems. *Journal of Agricultural and Natural Source*. 8(3): 33-43.
6. Adin A and Sacks M (1991) Dripper clogging factors in wastewater irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 117(6): 813-826.
7. ASAE Standards (2001) Design and Installation of Microirrigation Systems. ASAE EP405.1. St Joseph, Michigan, ASAE.
8. Ayers R S and Westcot D W (1994) Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage. Paper No. 29. Rev. 1. Rome, Italy.
9. Bahri A (1999) Agriculture reuse of wastewater and global water management. *Water Science and Technology*. 40(4-5): 339-346.
10. Batista R O, Santos D B d, Neto M F, Santos O d O and Barreto H B F (2012) Efficiency of chemical treatment on drip irrigation systems with sanitary sewage. *Water Resources and Irrigation Management*. 1(1): 25-29.
11. Bucks D A, Nakayama F S and Gilbert R G (1979) Trickle irrigation water quality and prevention maintance. *Agricultural Water Management*. 2(2): 149-162.
12. Capra A and Scicolone B (2007) Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems. *Journal of Cleaner Production*. 15(16): 1529-1534.

22. Hills D J, Tajrishy M A and Tchobanoglous G (2000) The influence of filtration on ultraviolet disinfection of secondary effluent for microirrigation. *Transactions of the ASAE*. 43(6): 1499-1505.
23. Howell T A, Stevenson D S, Aljibury F K, Gitlin H M, Wu I P, Warrick A W and Raats P A C (1983) Design and operation of trickle (drip) systems. In: Jensen, M.E. (Ed.), *Design and Operation of Farm Irrigation Systems*. St Joseph, Michigan, ASAE.
24. Jiu-sheng L, Yan-feng L and Hang Z (2012) Tomato yield and quality and emitter clogging as affected by chlorination schemes of drip irrigation systems applying sewage effluent. *Journal of Integrative Agriculture*. 11(10): 1744-1754.
25. Keller J and Bliesner R D (1990) *Sprinkle and Trickle Irrigation*. New York, N. Y: Van Nostrand Reinhold.
26. Li J S, Chen L, Li Y F, Yin J F and Zhang H (2010) Effects of chlorination schemes on clogging in drip emitters during applications of sewage effluent. *Applied Engineering in Agriculture*. 26(4): 565-578.
27. Nakayama F S, Boman B J and Pitts D J (2007) Chapter 11: Maintenance. In: *Microirrigation for Crop Production: Design, Operation and Management*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier. 389-430.
28. Nakayama F S and Bucks D A (1991) Water quality in drip/trickle irrigation: A review. *Irrigation Science*. 12(4): 187-192.
29. Nakayama F S and Bucks D A (1986) *Trickle Irrigation for Crop Production: Design, Operation and Management*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier. 9(3-2): 164-187.
30. Pereira L S, Oweis T and Zairi A (2002) Irrigation management under water scarcity. *Agricultural Water Management*. 57(1): 175-206.
31. Pitts D J, Haman D Z and Smajstrla A G (2003) Causes and prevention of emitter plugging in microirrigation systems. *Bulletin 258*. The Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
32. Rav-Acha C H, Kummel M, Salamon I and Adin A (1995) The effect of chemical oxidants on effluent constituent for drip irrigation. *Water Research*. 25(1): 119-129.
33. Ravina I, Paz E, Sofer Z, Marcu A, Schischa A, Sagi G, Yechialy Z and Lev Y (1997) Control of emitter clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent. *Agricultural Water Management*. 33(2-3): 127-137.
34. Tajrishy M A, Hills D J and Tchobanoglous G (1994) Pretreatment of secondary effluent for drip irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 120(4): 716-731.
35. Trooien T P, Anderson R and Deboer D E (2003) Chlorination dose and response for biological effluent used for drip irrigation. *Irrigation Association*. 392-403.
36. Trooien T P, Hills D J and Lamm F R (2002) Drip irrigation with biological effluent. In: *Proc. Irrigation Assn. Int'l. Irrigation Technical Conference*. New Orleans, LA.
37. Yan D, Yang P, Rowan M, Ren S and Pitts D (2010) Biofilm structure and accumulation in the flow path of drip emitters using reclaimed wastewater. *Transactions of the ASAE*. 53(3): 751-758.