

## تأثیر کیفیت پساب مزارع پرورش ماهی بر عملکرد هیدرولیکی قطره‌چکان‌های تنظیم‌شونده نتافیم و میکروفلاپر

ارسلان فاریابی<sup>۱\*</sup>، بهزاد قربانی، عیسی معروف‌پور و برزان بهرامی کمانگر

دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد.

faryabi.arsalan@stu.sku.ac.ir

دانشیار آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد.

behg1955@yahoo.com

دانشیار آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه کردستان.

isamarofpoor@yahoo.com

استادیار شیلات، گروه مهندسی شیلات، دانشگاه کردستان.

bbkamangar@uok.ac.ir

### چکیده

گرفتگی قطره‌چکان‌ها اصلی‌ترین مشکل هنگام کاربرد پساب در سیستم آبیاری قطره‌ای است که موجب کاهش دبی، یکنواختی پخش آب، راندمان آبیاری و افزایش هزینه‌های بهره‌برداری می‌شود. پساب مزارع پرورش ماهی حاوی مقادیر قابل قبولی مواد مغذی نیتروژن و فسفر است که می‌تواند مورد استفاده گیاهان قرار گیرد. از این رو، هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر پساب مزارع پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بر عملکرد هیدرولیکی قطره‌چکان‌های نتافیم و میکروفلاپر با دبی‌های متفاوت است. برای این منظور، دو سیستم آبیاری قطره‌ای جهت استفاده از آب ورودی و پساب یک مزرعه پرورش ماهی در استان کردستان طراحی و اجرا شد. همچنین، با اضافه کردن یک تیمار مدیریتی، اثر تخلیه لوله‌های فرعی و نیمه اصلی در خاتمه هر آبیاری با پساب بررسی گردید. از مشخصه‌های دبی نسبی، یکنواختی پخش، ضریب یکنواختی کریستیانسن، یکنواختی آماری و نرخ گرفتگی برای مقایسه عملکرد هیدرولیکی قطره‌چکان‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که در هر دو حالت استفاده از پساب و آب متعارف، عملکرد قطره‌چکان‌های نتافیم ۴ l/h و نتافیم ۸ l/h به ترتیب نسبت به قطره‌چکان‌های میکروفلاپر ۴ l/h، میکروفلاپر ۸ l/h و نتافیم ۱۲ l/h بهتر بوده است. همچنین عملکرد قطره‌چکان نتافیم ۴ l/h نسبت به سایر قطره‌چکان‌های مورد مطالعه کمترین وابستگی و حساسیت را به کیفیت آب موجود و نحوه مدیریت آبیاری دارد. علاوه بر این، اعمال مدیریت تخلیه انتهایی لوله‌ها تأثیر زیادی بر بهبود عملکرد قطره‌چکان‌های نتافیم ۱۲ l/h و میکروفلاپر ۸ l/h داشته است.

واژه‌های کلیدی: آب نامتعارف، آبیاری قطره‌ای، ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان، گرفتگی قطره‌چکان.

۱- آدرس نویسنده مسئول: شهرکرد، گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد.

\*- دریافت: آبان ۱۳۹۴ و پذیرش: اسفند ۱۳۹۴

## مقدمه

درصد کمتر از نوع عادی آن بود. زرداری و فتحی (۱۳۹۱) با بررسی تأثیر برنامه‌های متفاوت شستشوی لترال‌های آبیاری گزارش کردند که تیمار مدیریتی شستشو باعث افزایش آبدهی (به دلیل تخلیه رسوبات از لوله‌ها و برطرف شدن گرفتگی‌های موقتی قطره‌چکان‌ها)، یکنواختی پخش، یکنواختی پخش مطلق، ضریب یکنواختی کریستیانسن و کاهش ضریب تغییرات دبی تمامی قطره‌چکان‌ها در شرایط آبیاری با پساب می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که در شرایط استفاده از پساب، قطره‌چکان‌های نتافیم و میکروفلاپر با ۸/۵ و ۲۷/۸ درصد کاهش دبی، به ترتیب کمترین و بیشترین کاهش دبی را داشتند. عسگری و همکاران (۱۳۹۳) نیز گزارش کردند که در شرایط کاربرد پساب تصفیه شده و اعمال شستشو، شستشوی لترال‌های آبیاری قطره‌ای یکی از روش‌های مناسب برای کنترل گرفتگی قطره‌چکان‌هاست. ابراهیمی و همکاران (۲۰۱۲) طی پژوهشی گزارش کردند که پساب تصفیه شده و تعداد دفعات آبیاری بر میزان گرفتگی قطره‌چکان‌ها مؤثر است. در پژوهش نام برده، قطره‌چکان‌های نتافیم و داخل خط به ترتیب بیشترین کمترین یکنواختی پخش را داشتند. همچنین بیشترین درصد کاهش دبی مربوط به قطره‌چکان داخل خط بود.

در سال‌های اخیر، پژوهشگران زیادی گرفتگی قطره‌چکان‌ها بر اثر کیفیت آب و استفاده از پساب برای آبیاری را در ایران و جهان مورد مطالعه قرار داده‌اند. اما اکثر این پژوهش‌ها از پساب‌ها و فاضلاب‌های تصفیه‌شده شهری و صنعتی استفاده کرده‌اند که از لحاظ خصوصیات کیفی، ماهیتی متفاوت نسبت به پساب آبری پروری دارند. با توجه به کیفیت‌های گوناگون آب و نوع پساب‌ها و همچنین تفاوت در نوع قطره‌چکان‌های مورد استفاده، پژوهش‌های بیشتر و تخصصی‌تر در این زمینه مورد نیاز است. زیرا آبیاری قطره‌ای روشی پرهزینه است و هرچه طول عمر سیستم بیشتر باشد منافع حاصله از آن، هزینه‌ها را بیشتر جبران می‌کند. تحقیقات اندکی در خصوص

آبیاری قطره‌ای به دلیل پتانسیل بالایی که در توزیع آب با راندمان بالا می‌تواند داشته باشد، یکی از راه‌حل‌های مناسب برای استفاده بهینه از منابع آب در کشاورزی است. قطره‌چکان‌ها مهم‌ترین بخش سیستم آبیاری قطره‌ای به شمار می‌روند. بخشی از طراحی سیستم آبیاری قطره‌ای را بررسی خصوصیات قطره‌چکان‌ها، عوامل مؤثر بر جریان آب در آن‌ها و در نهایت انتخاب مناسب‌ترین نوع قطره‌چکان تشکیل می‌دهد. در ایران نیز همانند سایر مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، بحران آب یکی از مسائل اساسی است و بسیاری از بخش‌های کشور از مسئله کمبود آب رنج می‌برند (مکاری قهرودی و همکاران، ۲۰۱۵). علاوه بر این، توسعه منابع آب جدید در چنین مناطقی بسیار هزینه‌بر است (طالب‌نژاد و سپاسخواه، ۲۰۱۵). با توجه به محدودیت منابع آب، استفاده مجدد از پساب‌ها از یک طرف بخشی از کمبود آب را برطرف می‌سازد و از طرف دیگر از آلودگی منابع آب جلوگیری می‌نماید.

سیستم آبیاری قطره‌ای به دلیل عدم پخش پاتوژن‌ها در هوا، عدم وجود رواناب و امکان کنترل نفوذ عمقی، مناسب‌ترین و مطمئن‌ترین سیستم برای کاربرد پساب است. با این وجود گرفتگی قطره‌چکان‌ها اصلی‌ترین مشکل هنگام کاربرد پساب در سیستم آبیاری قطره‌ای است که موجب کاهش دبی، یکنواختی پخش آب و راندمان آبیاری و افزایش هزینه‌های بهره‌برداری سیستم می‌شود (کاپرا و سیکولون، ۲۰۰۴). پیگ باراگوئس و همکاران (۲۰۱۰) طی پژوهشی تأثیر سه تیمار شستشوی متناوب (بدون شستشو، شستشوی ماهانه و شستشو در انتهای فصل آبیاری) را بر سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در حال کار با پساب تصفیه‌خانه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که گرفتگی قطره‌چکان‌ها در درجه اول به اثر متقابل بین موقعیت و نوع قطره‌چکان و فرکانس شستشو بستگی دارد. به‌طوری که گرفتگی قطره‌چکان‌های تنظیم‌کننده فشار به میزان ۳/۷

دریاچه سد قشلاق، رودخانه سیروان و چاه تأمین می‌شد. به‌منظور انجام پژوهش حاضر، سه تیمار اجرا شد. در تیمار ۱، از آب متعارف ورودی به مزرعه پرورش ماهی به‌عنوان شاهد استفاده گردید (شکل ۱). در تیمارهای ۲ و ۳ که دقیقاً مشابه با همان تیمار اول هستند، از پساب موجود مزرعه پرورش ماهی استفاده شد. با این تفاوت که در تیمار ۳، پس از هر نوبت آبیاری با پساب، انتهای لوله‌های فرعی و نیمه‌اصلی باز شده و لوله‌ها تخلیه شدند. اما در تیمار ۲، این عمل مدیریتی انجام نشد (شکل ۲). در هر کدام از سه تیمار مورد استفاده، چنانکه در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است، آب پس از پمپاژ، به یک سیستم کنترل مرکزی وارد می‌شد و سپس از طریق یک لوله رابط پلی‌اتیلن به قطر ۵۰ میلی‌متر وارد پنج لوله فرعی پلی‌اتیلن به قطر ۱۶ میلی‌متر می‌گردید.

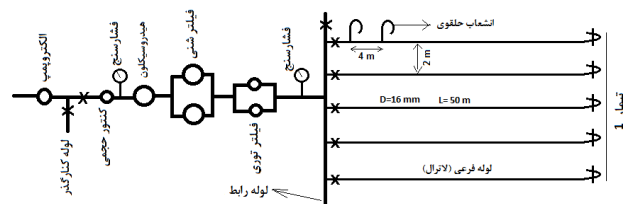
طول هر کدام از لوله‌های فرعی ۵۰ متر بود که در فواصل چهار متری دارای انشعاب‌های حلقوی بودند. از آنجا که قطره‌چکان‌های تنظیم‌کننده فشار نسبت به سایر قطره‌چکان‌ها در مناطق شیب‌دار و با توپوگرافی نامناسب برتری دارند (عابدی کویایی و بختیاری فر)، از قطره‌چکان نتافیم با دبی‌های ۴، ۸ و ۱۲ لیتر بر ساعت و از قطره‌چکان میکروفلاپر با دبی‌های چهار و هشت لیتر بر ساعت در تیمارهای نام‌برده استفاده شد (جمعاً ۷۲۰ قطره‌چکان). جدول ۱ مشخصات قطره‌چکان‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد. در هر تیمار، هرکدام از لوله‌های فرعی دارای تنها یک نوع از قطره‌چکان‌های نام‌برده بودند. فشار کار سیستم‌ها در کل دوره آزمایش ثابت و برابر با ۱/۵ اتمسفر بود. تنظیم فشار به وسیله لوله کنارگذر انشعاب گرفته از لوله اصلی انجام می‌شد. فشار در نقاط مختلف سیستم‌ها و انتهای لوله‌های فرعی در هر آبیاری اندازه‌گیری می‌شد. افت فشار هیچ‌گاه به کمتر از حداقل فشار کاری مورد نیاز قطره‌چکان‌ها نمی‌رسید.

استفاده از پساب مزارع پرورش ماهی در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای انجام شده و یا کمتر گزارش شده است. پساب پرورش ماهی حاوی مقادیر قابل قبولی مواد مغذی نیتروژن و فسفر است که می‌تواند مورد استفاده گیاهان قرار گیرد. از طرفی، تلفیق آبی‌پروری با سیستم‌های کشاورزی به‌عنوان روشی برای افزایش تولید غذا، محافظت از محیط‌زیست و بالا بردن امنیت غذایی شناخته شده است. در استان کردستان به دلیل مساعد بودن آب و هوا، مزارع پرورش ماهی زیادی وجود دارد که از پساب آنها استفاده مجددی برای آبیاری باغ‌ها و مزارع صورت نمی‌گیرد.

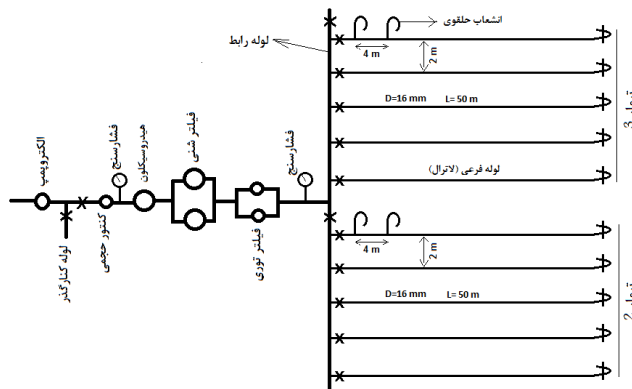
از طرفی کاهش بارندگی و خشکسالی‌های اخیر (مانند سایر نقاط کشور) به تنهایی می‌تواند دلیل قانع‌کننده‌ای برای رویکرد استفاده مجدد از پساب‌های تصفیه شده در این استان باشد. به عنوان نمونه طرح آبیاری باغ‌های منطقه سیروان با هدف امکان استفاده از پساب مجتمع پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان دیوزناو ارائه شده است. در این طرح امکان استفاده از ۱۵۰۰ لیتر در ثانیه پساب مجتمع پرورش ماهی جهت استفاده در سیستم آبیاری قطره‌ای برای باغ‌های منطقه سیروان در نظر گرفته شده است. از این رو، هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر پساب مزارع پرورش ماهی بر عملکرد هیدرولیکی قطره‌چکان‌های خودتنظیم نتافیم و میکروفلاپر با دبی‌های متفاوت است.

## مواد و روش‌ها

عملیات مزرعه‌ای پژوهش حاضر، در ماه‌های اردیبهشت تا آبان سال ۱۳۹۳ در مزرعه پرورش ماهی آبیدر واقع در سه کیلومتری شهر سنندج انجام شد. نوع ماهی پرورشی در این مزرعه، قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) بود و آب ورودی به آن، از



شکل ۱- شمای کلی سامانه آبیاری قطره‌ای تیمار استفاده از آب متعارف (آب ورودی به مزرعه پرورش ماهی)



شکل ۲- شمای کلی سامانه آبیاری قطره‌ای دو تیمار استفاده از پساب مزرعه پرورش ماهی (تیمار ۲، بدون تخلیه و تیمار ۳ با تخلیه)

جدول ۱- مشخصات قطره‌چکان‌ها

نام تجاری قطره‌چکان	نوع اتصال	دامنه کاری فشار (متر)	دبی اسمی (لیتر بر ساعت)	رنگ	سایر مشخصات
میکروفلاپر	روی خط	۱۰ - ۳۵	۴	سیاه	جبران کننده فشار و خود شوینده
میکروفلاپر	روی خط	۱۰ - ۳۵	۸	سبز	جبران کننده فشار و خود شوینده
نتافیم	روی خط	۷ - ۴۰	۴	خاکستری	جبران کننده فشار و خود شوینده
نتافیم	روی خط	۷ - ۴۰	۸	سبز	جبران کننده فشار و خود شوینده
نتافیم	روی خط	۷ - ۴۰	۱۲	صورتی	جبران کننده فشار و خود شوینده

در هر نوبت آبیاری، سیستم‌ها هشت ساعت روشن می‌شدند و در اواخر هر آبیاری، دبی خروجی هر انشعاب حلقوی، به روش حجمی اندازه‌گیری می‌شد. پس از پایان هر آبیاری، انتهای لوله‌های فرعی موجود در تیمار ۳، باز شده و لوله‌ها تخلیه می‌گردید. سپس، سیستم‌ها به مدت دو شبانه‌روز خاموش می‌شد و در روز چهارم این روند همچنان تا پایان فصل زراعی تکرار می‌گردید. این برنامه آبیاری، بین کشاورزان استان کردستان برای سیستم‌های آبیاری قطره‌ای باغ‌ها مرسوم بوده و به همین دلیل در پژوهش حاضر نیز از آن استفاده شد. پس از جمع‌آوری میدانی داده‌های مربوط به دبی قطره‌چکان‌ها طی ۴۲ رخدادهای آبیاری، برخی از مهم‌ترین خصوصیات قطره‌چکان‌ها از جمله درصد دبی نسبی (کاپرا و سیکولون، ۱۹۹۸)، یکنواختی پخش (کلر و کارملی،

۱۹۷۴)، ضریب یکنواختی کریستیانسن (۱۹۴۱)، ضریب یکنواختی آماری و نرخ گرفتگی قطره‌چکان‌ها (وی و همکاران، ۲۰۰۸) از روابط ۱ تا ۵ تعیین شد. شاخص دبی نسبی (Dra) بیانگر تغییرات دبی نسبت به شرایط اولیه است. طبق تعریف دبی نسبی (فرمول ۱)، هر چه درصد دبی نسبی کمتر باشد، گرفتگی قطره‌چکان شدیدتر است. این شاخص، میزان گرفتگی قطره‌چکان‌ها را نسبت به شرایط اولیه به خوبی نشان می‌دهد و از این رو دارای اهمیت زیادی است. یکنواختی پخش (EU) نیز پارامتری مهم در طراحی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای است که برای تعیین عمق آب آبیاری، دور آبیاری و ظرفیت سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد. اساساً یکنواختی پخش قطره‌چکان‌ها، نسبت کمترین دبی به متوسط دبی آن‌هاست و برحسب درصد بیان می‌شود. این پارامتر همچنین برای

متوسط اولیه (لیتر در ساعت)، EU یکنواختی پخش (درصد)،  $q_n$  متوسط یک چهارم کمترین دبی قطره چکانها (لیتر در ساعت)،  $q_{ave}$  متوسط دبی قطره چکانها (لیتر در ساعت)، UC ضریب یکنواختی کریستیانسن، US ضریب یکنواختی آماری قطره چکانها (درصد)،  $S_q$  انحراف معیار دبی قطره چکانها،  $C_r$  نرخ گرفتگی قطره چکانها (درصد) و  $q_v$  دبی اسمی قطره چکان (لیتر در ساعت) می باشد.

در این پژوهش همچنین کیفیت آب ورودی و پساب خروجی از مزرعه پرورش ماهی از نظر برخی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک که مهم ترین معیارهای طبقه بندی کیفیت آب آبیاری از نظر تأثیر بر پتانسیل گرفتگی قطره چکانهاست، به روش های استاندارد برای آزمون آب و پساب (۲۰۰۵) مورد آزمایش قرار گرفت (جدول ۲). در ارتباط با فعالیت باکتریها، لازم به توضیح است که با توجه به آب و هوای منطقه و ساعات انجام آبیاری (هشت صبح تا چهار عصر)، دمای آب ورودی و پساب خروجی از مزرعه پرورش ماهی مورد مطالعه، در تمام فصل، بین ۱۳ تا ۱۸ درجه سانتی گراد بود. همچنین لازم به ذکر است که طول دوره آزمایش، ۴۲ نوبت آبیاری با دور سه روزه بود که برای روندیابی بهتر عملکرد هیدرولیکی قطره چکانها، نتایج در چهار بازه زمانی (سه بازه ۱۰ روزه و یک بازه ۱۲ روزه) گزارش می گردد.

تعیین عملکرد سیستم آبیاری قطره ای توصیه شده است (ASAE Standard, 2003). ضریب یکنواختی کریستیانسن (UC) متداول ترین معادله جهت برآورد یکنواختی توزیع آب در مزرعه است که در بین معادلات پیشنهاد شده توسط محققین مختلف، دقیق ترین آنهاست و کمترین وابستگی را به شرایط مختلف مزرعه ای دارد (فاریابی و قربانی، ۱۳۹۴). شاخص نرخ گرفتگی در قطره چکانها ( $C_r$ ) بیانگر تغییرات دبی نسبت به دبی اسمی قطره چکانها است. این شاخص، میزان گرفتگی قطره چکانها را نسبت به دبی مشخص شده توسط کارخانه نشان می دهد. طبق استاندارد ایزو ۲۰۰۳، قطره چکانهایی که دبی آنها کمتر از ۷۵ درصد دبی اسمی گردد، قطره چکان مسدود نامیده می شوند. همچنین اگر نرخ گرفتگی در آنها بیشتر از ۲۵ درصد شود، نرخ گرفتگی در آنها بحرانی خواهد بود (وی و همکاران، ۲۰۰۸).

$$Dra = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n q_{new}} \quad (1)$$

$$EU = 100 \frac{q_n}{q_{ave}} \quad (2)$$

$$UC = 100 \times \left( 1 - \frac{1}{n q_{ave}} \sum_{i=1}^n |q_i - q_{ave}| \right) \quad (3)$$

$$US = 100 \times \left( 1 - \frac{S_q}{q_{ave}} \right) \quad (4)$$

$$C_r = 100 \left| 1 - \frac{q_{ave}}{q_v} \right| \quad (5)$$

که در آن:

$Dra$  دبی نسبی (درصد)،  $q_i$  دبی امین قطره چکان (لیتر در ساعت)،  $n$  تعداد مشاهدات (قطره چکانها)،  $q_{new}$  دبی

جدول ۲- متوسط کیفیت آب ورودی و پساب مزرعه پرورش ماهی مورد مطالعه طی ۴۲ رخداده آبیاری

عامل انسداد	آب متعارف مورد استفاده		پساب مورد استفاده طی فصل آبیاری			
	بازه ۱	بازه ۲	بازه ۳	بازه ۴	متوسط	خطر گرفتگی (علی زاده، ۱۳۸۹)
مواد جامد معلق (ppm)	۱۱۰	۱۹۳	۲۴۷	۲۲۳	۱۸۲	<۵۰
اسیدیته	۸/۰۳	۸/۰۰	۸/۱۳	۷/۹۱	۷/۸۸	<۷
مواد محلول (ppm)	۲۰۴	۲۰۹	۲۹۳	۲۰۲	۱۹۰	<۵۰۰
منگنز (ppm)	۰/۰۶۴	۰/۰۵۸	۰/۰۷۳	۰/۰۳۲	۰/۰۵۹	<۰/۱
آهن (ppm)	۰/۰۱۵	۰/۰۱۲	۰/۰۳۸	۰/۰۲۴	۰/۰۲۷	<۰/۱
سولفید هیدروژن (ppm)	۰	۰	۰	۰	۰	<۰/۵
باکتریها (حداکثر تعداد در هر میلی لیتر)	۳۳۲۰	۹۲۳۰	۶۹۰۰	۶۹۰۰	۴۲۱۰	<۱۰۰۰۰

در پژوهش حاضر به منظور تعیین دانه بندی و تشخیص اندازه ذرات موجود در پساب و مقایسه آنها با

## نتایج و بحث

### عملکرد سیستم تصفیه آب

آب متعارف، مواد و ذرات فیلتر شده توسط فیلترهای شنی و توری سیستم‌های کنترل مرکزی جمع‌آوری شد و توسط دستگاه Master Sizer آنالیز گردید. تقریباً تمامی ذرات فیلتر شده در سیستم شاهد از اجزای معدنی تشکیل دهنده خاک بود. با توجه به طبقه‌بندی وزرات کشاورزی آمریکا (USDA) که تقریباً مورد قبول اکثر متخصصان فیزیک خاک می‌باشد، حدود ۶/۵ درصد از ذرات فیلتر شده در سیستم شاهد را رس، ۷۸/۵ درصد را سیلت و مابقی را شن ریز تا متوسط تشکیل می‌داد. اما ذرات فیلتر شده در سیستم پساب از اجزای معدنی خاک تشکیل نشده بودند. با توجه به فرصت کافی جهت ته نشینی ذرات معدنی در حوضچه‌های پرورش ماهی، این موضوع معقول و منطقی به نظر می‌رسد. ذرات فیلتر شده توسط فیلتر توری پساب، عمدتاً از نوع جلبک‌ها و لجن‌های موجود در حوضچه‌ها، بقایای مواد غذایی که به ماهی‌ها داده می‌شد، مدفوع ماهی‌ها و مواد مترشح از بدن آنها بود. به دلیل وجود ذرات کلوئیدی و بسیار کوچک با وزن مخصوص خیلی کم در پساب، نقش فیلتر توری در پژوهش حاضر بسیار پر رنگ‌تر از نقش هیدروسیکلون و فیلتر شنی بود. به طوری که در طی فصل آبیاری، تنها یک بار نیاز به شستشوی معکوس فیلتر شنی پساب گردید. حال آنکه فیلترهای توری در هر سه یا نهایتاً چهار آبیاری، نیاز به شستشوی معکوس داشتند که این عمل در طی فصل انجام می‌شد.

آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های آب ورودی و پساب پرورش ماهی در این پژوهش نشان داد که به جز محدودیت موجود از نظر غلظت مواد جامد معلق، استفاده از پساب طرح‌های پرورش ماهی در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای محدودیت دیگری ایجاد نمی‌کند. این مورد نیز با به کارگیری فیلترهای توری مناسب‌تر و مدیریت بیشتر در زمینه تخلیه یا شستشوی لوله‌های فرعی می‌تواند قابل رفع باشد. همچنین می‌توان با انتخاب قطره‌چکان‌های مناسب و بهره‌برداری صحیح نظیر شستشوی مداوم فیلترهای توری یا دیسکی مورد

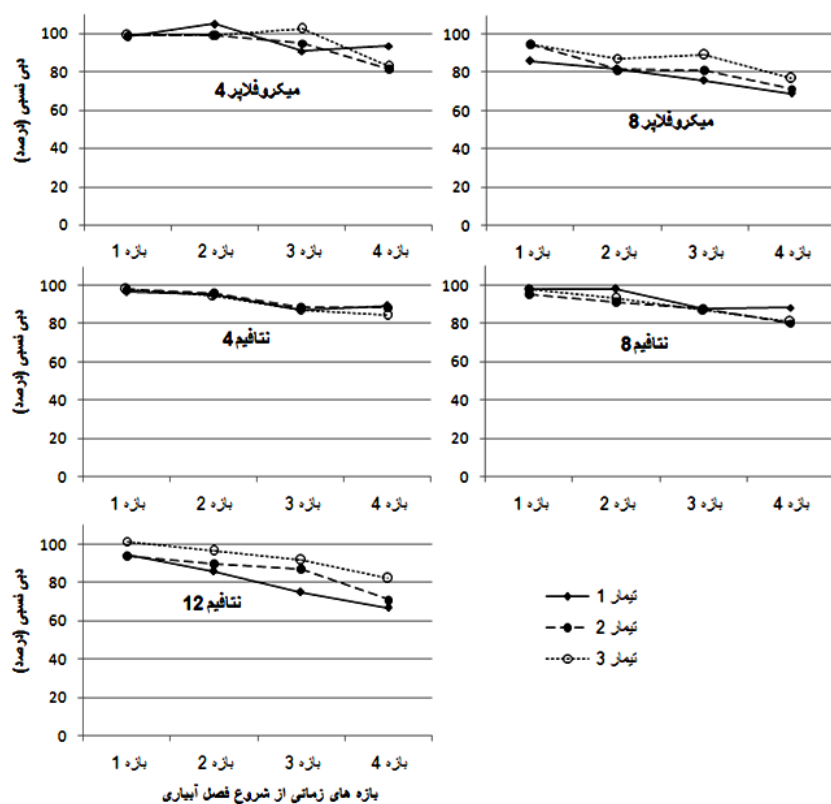
استفاده، تخلیه انتهایی یا شستشوی لوله‌های فرعی، عدم انجام آبیاری در زمان شستشوی حوضچه‌های پرورش ماهی و مواردی از این قبیل به بهبود شرایط هیدرولیکی سیستم و عملکرد بهتر قطره‌چکان‌ها کمک بسیاری نمود.

#### بررسی و مقایسه دبی نسبی قطره‌چکان‌ها

شکل ۳ روند تغییرات دبی نسبی (Dra) را برای قطره‌چکان‌های مورد مطالعه در طول دوره آزمایش نشان می‌دهد. طبق معیار طبقه‌بندی عملکرد سیستم‌های آبیاری قطره‌ای، بر اساس شاخص دبی نسبی (کاپرا و سیکولون، ۱۹۹۸)، عملکرد قطره‌چکان‌های مورد مطالعه در هر سه تیمار در ردیف عالی و خوب قرار دارد. همچنین شکل ۳ نشان می‌دهد که در بسیاری از مواقع، دبی نسبی در تیمارهای استفاده از پساب مزرعه پرورش ماهی در مورد یک قطره‌چکان خاص، بیشتر از مقدار آن در تیمار شاهد بوده است. این بدان معنی است که در موارد زیادی روند کاهش دبی در قطره‌چکان‌هایی که از پساب استفاده می‌نموده‌اند کمتر از قطره‌چکان‌هایی بوده است که از آب متعارف استفاده می‌نموده‌اند. شکل ۳ نشان می‌دهد که هر کدام از قطره‌چکان‌های نتافیم ۴ l/h و نتافیم ۸ l/h در هر سه تیمار نتایج نسبتاً نزدیک به هم را داشته‌اند. این موضوع بیانگر این مطلب است که قطره‌چکان‌های نام‌برده از نظر شاخص دبی نسبی، کمترین وابستگی را به کیفیت آب مورد استفاده و مدیریت تخلیه انتهایی لوله‌ها دارند. دلیل این امر احتمالاً به ساختار هندسی و چگونگی ساخت مشابه این قطره‌چکان‌ها مربوط می‌شود. علاوه بر این، تأثیر تخلیه انتهایی بر کاهش تغییرات نزولی دبی نسبی در دو قطره‌چکان میکروفلاپر ۸ l/h و نتافیم ۱۲ l/h در شکل ۳ کاملاً مشهود است. اما در سایر قطره‌چکان‌ها این تأثیر چندان روند منظم و مورد انتظار را نداشته است. عسگری و همکاران (۱۳۹۳)، راوینا و همکاران (۱۹۹۲) و پیگ باراگونس و همکاران (۲۰۱۰) نیز تأثیر اعمال مدیریت شستشوی لاترال‌ها را بر کاهش تغییرات دبی نسبی گزارش نمودند. شکل ۳ همچنین نشان می‌دهد که

ناگهانی دبی قطره‌چکان‌ها را به هنگام کاربرد پساب، وجود کلونی‌های میکروبی در قطره‌چکان‌ها دانستند که قادرند توده‌های مسدود کننده قطره‌چکان‌ها را تجزیه نمایند. یکی دیگر از دلایل نوسانات دبی قطره‌چکان‌ها، شاید رفع و یا تشدید مقطعی گرفتگی به علت ساختار هندسی و مکانیکی آن‌ها باشد (زررداری و فتحی، ۱۳۹۱). در پژوهش حاضر، گاهی انسداد موقتی در بعضی قطره‌چکان‌ها باعث کاهش دبی نسبی می‌شد که پس از مدتی با باز شدن مجدد دهانه قطره‌چکان دبی نسبی افزایش می‌یافت. احتمالاً رفع و یا تشدید مقطعی گرفتگی به علت ساختار هندسی و مکانیکی قطره‌چکان‌ها باعث شده که متوسط دبی قطره‌چکان‌ها در بعضی اندازه‌گیری‌های انجام شده در طول دوره آبیاری، نسبت به دبی متوسط در ابتدای دوره افزایش یابد.

متوسط دبی قطره‌چکان‌های مورد مطالعه در بعضی اندازه‌گیری‌های انجام شده در طول دوره آبیاری نسبت به دبی متوسط در ابتدای دوره افزایش یافته است (و گاهی بیشتر از ۱۰۰ درصد شده است). سایر محققین نیز در نتایج خود ضمن اشاره به افزایش دبی قطره‌چکان‌های تنظیم‌کننده فشار در شرایط کاربرد پساب، گزارش کردند که در این قطره‌چکان‌ها گاهی اوقات به دلیل خوردگی غشا الاستیک، چسبیدن ذرات به غشا و یا به دام افتادن این ذرات در بین قسمت‌های الاستیک، دبی افزایش می‌یابد (راوینا و همکاران، ۱۹۹۲؛ پیگ باراگوتس و همکاران، ۲۰۱۰). این نتیجه مشابه نتایجی است که در پژوهش‌های برالتز و همکاران (۱۹۸۱)، بومان (۱۹۹۵) و وی و همکاران (۲۰۰۸) گزارش شده است. پیگ باراگوتس و همکاران (۲۰۰۵) یکی از دلایل افزایش



شکل ۳- روند تغییرات دبی نسبی در تیمارهای شاهد (تیمار ۱)، پساب (تیمار ۲) و پساب با تخلیه انتهایی (تیمار ۳) در قطره‌چکان‌های مختلف

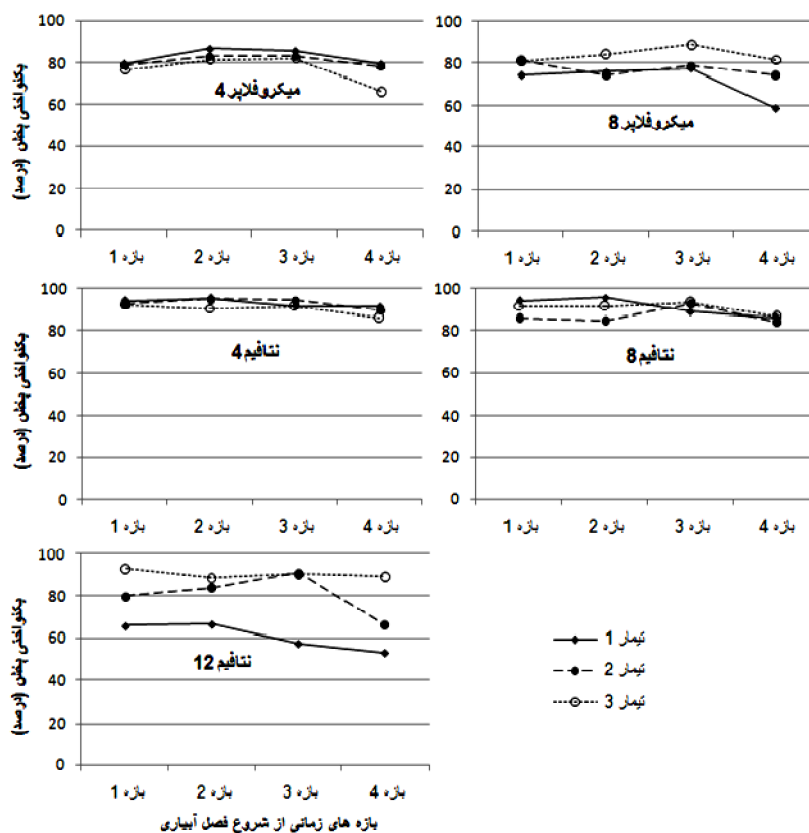
می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، قطره‌چکان‌های نتافیم ۴ l/h و ۸ l/h بیشترین میزان یکنواختی پخش را نسبت به سایر قطره‌چکان‌ها دارند (هم

بررسی و مقایسه یکنواختی پخش آب در قطره‌چکان‌ها شکل ۴ روند تغییرات یکنواختی پخش را برای قطره‌چکان‌های مورد مطالعه در طول دوره آزمایش نشان

تیمار تغییرات یکنواختی پخش دو قطره‌چکان ذکر شده، از روند تقریباً مشابهی برخوردار است. افزایش دبی نسبی، سبب افزایش یکنواختی پخش خواهد شد. زیرا با توجه به فرمول ۱، افزایش دبی نسبی یعنی کمتر شدن تغییرات دبی نسبت به دبی اولیه و این موضوع یعنی افزایش یکنواختی پخش. نکته دیگری که در خصوص دلایل افزایش دبی نسبی قطره‌چکان‌های تیمارهای پساب حائز اهمیت است، نقش حوضچه‌های پرورش ماهی در ترسیب مواد جامد معلق در آب است اما در تیمار شاهد، آب ورودی به طور مستقیم وارد سامانه آبیاری قطره‌ای می‌گردد. در تیمارهای پساب، در حوضچه‌های پرورش ماهی فرصت کافی برای ترسیب ذرات شن یا مواد معلق که وزن مخصوص آنها بیشتر از وزن مخصوص آب بود، وجود داشت.

در تیمار شاهد و هم در تیمارهای پساب). علت این موضوع احتمالاً به ساختار هندسی و فیزیکی این قطره‌چکان‌ها مربوط می‌شود. ابراهیمی و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش کردند که در شرایط استفاده از فاضلاب، قطره‌چکان‌های نتافیم بیشترین یکنواختی پخش را در بین قطره‌چکان‌های مورد مطالعه داشته‌اند.

شکل ۴ همچنین نشان می‌دهد که در قطره‌چکان‌های میکروفلاپر ۸ l/h و نتافیم ۱۲ l/h، برخلاف آنچه که توسط نویسندگان انتظار می‌رفت، میزان یکنواختی پخش در تیمار پساب بیشتر از تیمار شاهد بوده است. روند تغییرات دبی نسبی قطره‌چکان‌ها در شکل ۳ نشان می‌دهد که در هر دو قطره‌چکان میکروفلاپر ۸ l/h و نتافیم ۱۲ l/h، متوسط دبی قطره‌چکان‌های تیمارهای پساب از همان بازه اول نسبت به تیمار شاهد افزایش پیدا کرده است و در شکل ۴ ملاحظه می‌شود که در هر سه



شکل ۴- روند تغییرات یکنواختی پخش در تیمارهای شاهد (تیمار ۱)، پساب (تیمار ۲) و پساب با تخلیه انتهایی (تیمار ۳) در قطره‌چکان‌های مختلف





پخش آب کاربردی خواهد داشت (مریام و کلر، ۱۹۷۸). شکل ۵ روند تغییرات ضریب یکنواختی کریستیانسن را برای قطره‌چکان‌های مورد مطالعه در طول دوره آزمایش نشان می‌دهد. با نگاهی به این شکل و مقایسه آن با شکل ۴، ملاحظه می‌شود که روند تغییرات ضریب یکنواختی کریستیانسن در هرکدام از سه تیمار و برای هرکدام از قطره‌چکان‌ها بسیار مشابه با روند تغییرات یکنواختی توزیع در آنها بوده است. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، ضریب یکنواختی تمام قطره‌چکان‌ها در همه تیمارها بیشتر از ۷۰ درصد است که می‌توان گفت یکنواختی آنها از توزیع نرمال تبعیت می‌کند. با این وجود، قطره‌چکان‌های نتافیم ۴ l/h و ۸ l/h بیشترین مقدار ضریب یکنواختی کریستیانسن را نسبت به سایر قطره‌چکان‌ها دارند (هم در تیمار شاهد و هم در تیمارهای پساب).

همچنین این شکل نشان می‌دهد که در قطره‌چکان‌های میکروفلاپر ۸ l/h و نتافیم ۱۲ l/h، برخلاف آنچه که پیش‌بینی می‌شد، ضریب یکنواختی کریستیانسن در تیمار پساب بیشتر از تیمار شاهد بوده است. علت این موضوع در بخش قبل شرح داده شد (بحث مربوط به یکنواختی پخش). در شکل ۵، تأثیر مثبت تیمار مدیریتی تخلیه انتهایی پساب در مورد قطره‌چکان‌های میکروفلاپر ۸ l/h و نتافیم ۱۲ l/h ملاحظه می‌شود. در این قطره‌چکان‌ها، تخلیه انتهایی لوله‌های فرعی در پایان هر آبیاری (تیمار ۳) به طور میانگین به ترتیب پنج و شش درصد باعث افزایش ضریب یکنواختی کریستیانسن نسبت به استفاده پساب بدون تخلیه انتهایی (تیمار ۲) شده است.

مقدار ضریب یکنواختی کریستیانسن تقریباً در تمام قطره‌چکان‌ها و تیمارها در محدوده توصیه شده مریام و کلر (۱۹۷۸) قرار داشت، بجز تیمار شاهد قطره‌چکان نتافیم ۱۲ l/h. علت این اتفاق را شاید بتوان به این موضوع ارتباط داد که در تیمار شاهد، آب ورودی به طور مستقیم وارد سامانه آبیاری قطره‌ای می‌گردید اما در

شکل ۴ نشان می‌دهد که یکنواختی پخش در قطره‌چکان‌های نتافیم و به خصوص در تیمارهای پساب، بیشتر از قطره‌چکان‌های میکروفلاپر بود که احتمالاً به ساختار این قطره‌چکان‌ها مربوط می‌شود. زرداری و فتحی (۱۳۹۱) نیز گزارش کردند که در هنگام استفاده از پساب تصفیه شده شهری، قطره‌چکان‌های نتافیم در هر دو تیمار با شستشو و بدون شستشوی لوله‌های فرعی، یکنواختی پخش بالایی دارند. علاوه بر این، گرفتگی قطره‌چکان‌های میکروفلاپر و آنتیلکو، یکنواختی پخش را در این قطره‌چکان‌ها به شدت کاهش داده است که دلیل آن می‌تواند ساختار این نوع قطره‌چکان‌ها باشد.

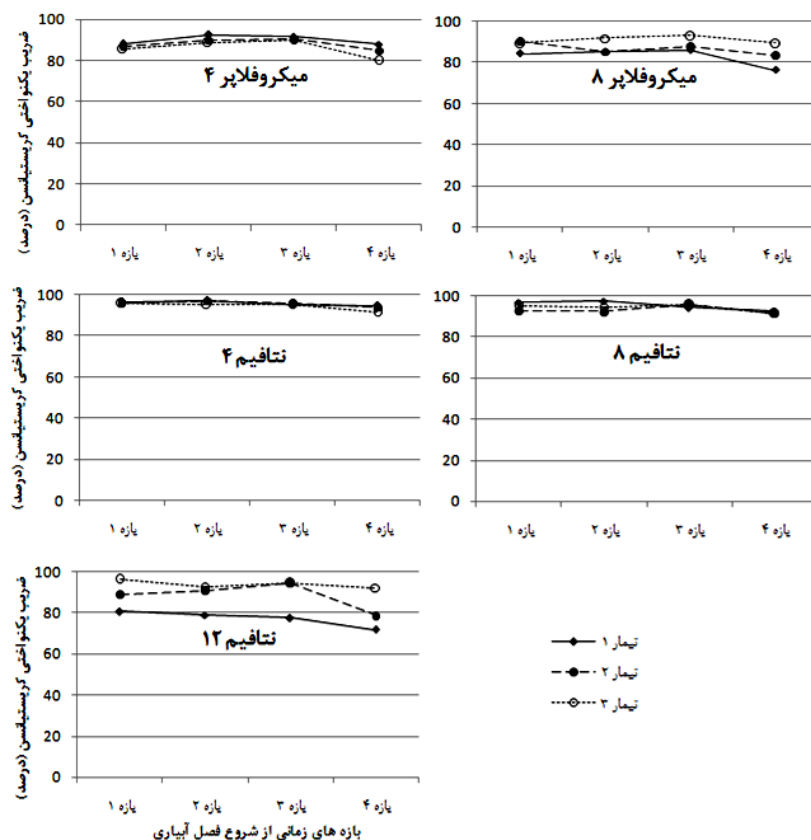
در شکل ۴، تأثیر مثبت تیمار مدیریتی تخلیه انتهایی پساب در مورد قطره‌چکان‌های میکروفلاپر ۸ l/h و نتافیم ۸ l/h و نتافیم ۱۲ l/h ملاحظه می‌شود. در این قطره‌چکان‌ها، تخلیه انتهایی لوله‌های فرعی در پایان هر آبیاری (تیمار ۳) به میزان قابل توجهی (به طور میانگین به ترتیب ۷، ۴ و ۱۰ درصد) باعث افزایش یکنواختی پخش آب نسبت به استفاده پساب بدون تخلیه انتهایی (تیمار ۲) شده است. طبق معیار طبقه‌بندی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای متناسب با یکنواختی پخش (مریام و کلر، ۱۹۷۸) عملکرد قطره‌چکان‌های نتافیم ۴ l/h و نتافیم ۸ l/h در ردیف عالی و خوب قرار دارد. همچنین عملکرد قطره‌چکان‌های میکروفلاپر ۴ l/h و میکروفلاپر ۸ l/h در ردیف خوب تا متوسط بوده است. عملکرد قطره‌چکان نتافیم ۱۲ l/h در تیمارهای پساب در ردیف عالی تا متوسط قرار گرفت.

#### بررسی و مقایسه ضریب یکنواختی کریستیانسن برای قطره‌چکان‌ها

براساس مطالعات انجام شده، قطره‌چکان‌هایی که از UC بیش از ۷۰ درصد برخوردار باشند، تغییرات دبی آنها از توزیع نرمال پیروی می‌کند. به عبارتی در چنین شرایطی تغییرات دبی قطره‌چکان‌ها تقریباً با یکدیگر قرینه می‌باشند. این موضوع تأثیر زیادی در افزایش یکنواختی

آنها در این قطره‌چکان‌ها در واحد زمان، نسبت به سایر قطره‌چکان‌ها بیشتر است. در نتیجه پتانسیل گرفتگی و به تبع آن، کاهش ضریب یکنواختی کریستیانسن به خصوص در زمانی که آب ورودی از رودخانه و با بار معلق زیاد تأمین می‌شد، زیاد بود.

تیمارهای پساب، آب پس از فرصت کافی برای ترسیب در حوضچه‌های پرورش ماهی، وارد سیستم آبیاری می‌شد. همچنین به دلیل بیشتر بودن دبی خروجی این قطره‌چکان نسبت به قطره‌چکان‌های با دبی چهار و هشت لیتر بر ساعت، پتانسیل عبور ذرات معلق و گرفتگی بر اثر



شکل ۵- روند تغییرات ضریب یکنواختی کریستیانسن در تیمارهای شاهد (تیمار ۱)، پساب (تیمار ۲) و پساب با تخلیه انتهایی (تیمار ۳) در قطره‌چکان‌های مختلف

نوع فاضلاب تصفیه شده شهری بوده که مواد معلق کمتر و تعداد باکتری بیشتری نسبت به پژوهش حاضر داشته است. عبدی و فتحی (۱۳۹۳) نیز گزارش کردند که در قطره‌چکان‌های میکروفلاپر، ضریب یکنواختی کریستیانسن از فاز چهارم آزمایش به بعد سریعاً کاهش پیدا کرده است. در پژوهش حاضر اگرچه این کاهش سریع در مورد قطره‌چکان‌های میکروفلاپر اتفاق نیفتاده است، اما با مقایسه روند تغییرات ضریب یکنواختی کریستیانسن مربوط به قطره‌چکان‌های میکروفلاپر و نتافیم در شکل ۵، مشخص می‌شود که کاهش اتفاق افتاده در بازه چهارم برای قطره‌چکان‌های میکروفلاپر، محسوس‌تر

زرداری و فتحی (۱۳۹۱) نیز گزارش کردند که مقادیر ضریب یکنواختی کریستیانسن در دو تیمار پساب شهری و پساب با شستشوی لوله‌های فرعی، در تمامی قطره‌چکان‌های مورد مطالعه، بجز قطره‌چکان میکروفلاپر، بیش از ۷۰ درصد بوده است. ایشان همچنین گزارش کردند که قطره‌چکان نتافیم و میکروفلاپر به ترتیب بیشترین و کمترین ضریب یکنواختی کریستیانسن را داشته‌اند. در این پژوهش، همچنین تأثیر مثبت مدیریت اعمال شده (شستشوی هفتگی لوله‌های فرعی) بر افزایش ضریب یکنواختی کریستیانسن گزارش شده است. لازم به ذکر است که پساب استفاده شده در پژوهش نام‌برده، از

مربوط به ضریب یکنواختی کریستیانسن شرح داده شد. زرداری و فتیحی (۱۳۹۱) گزارش کردند که بیشترین و کمترین درصد کاهش ضریب یکنواختی آماری هنگام کاربرد پساب تصفیه شده شهری در پژوهش خود در بین چهار نوع قطره‌چکان مورد استفاده به ترتیب مربوط به قطره‌چکان‌های میکروفلاپر و نتافیم می‌باشد. اگرچه همانطور که قبلاً ذکر شد، کیفیت و ماهیت پساب مورد استفاده در پژوهش‌های نام برده تا حدی با پژوهش حاضر متفاوت بود؛ اما نتایج ایشان با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

### بررسی و مقایسه نرخ گرفتگی قطره‌چکان‌ها

اگر نرخ گرفتگی در قطره‌چکان‌ها بیشتر از ۲۵ درصد شود، گرفتگی در آن‌ها بحرانی خواهد بود (وی و همکاران، ۲۰۰۸). گیلبرت و همکاران (۱۹۷۷) نیز گزارش کردند هنگامی که دبی قطره‌چکان به ۵۱ درصد دبی طراحی برسد در این حالت، قطره‌چکان "مسدود شده" اطلاق می‌گردد. شکل ۷ روند تغییرات نرخ گرفتگی قطره‌چکان‌ها ( $C_r$ ) را در طول دوره آزمایش به همراه حد بحرانی آن نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که روند کلی تغییرات نرخ گرفتگی در طی فصل آبیاری برای همه قطره‌چکان‌ها و در هر سه تیمار افزایشی است. قطره‌چکان‌های نتافیم  $4 \text{ l/h}$  و  $8 \text{ l/h}$  کمترین میزان نرخ گرفتگی را نسبت به سایر قطره‌چکان‌ها دارند (هم در تیمار شاهد و هم در تیمارهای پساب) و در طی فصل آبیاری هیچ‌گاه نرخ گرفتگی در آن‌ها از حد بحرانی عبور نکرده است. همچنین، قطره‌چکان نتافیم  $4 \text{ l/h}$ ، در هر سه تیمار و در هر چهار بازه زمانی نتایج نسبتاً نزدیک به هم را داشته است. این موضوع بیانگر این مطلب است که این قطره‌چکان از نظر پارامتر نرخ گرفتگی، کمترین وابستگی را به کیفیت آب مورد استفاده و مدیریت تخلیه انتهایی لوله‌ها دارد. تأثیر مثبت تیمار مدیریتی تخلیه انتهایی بر کاهش میزان نرخ گرفتگی در دو قطره‌چکان میکروفلاپر  $8 \text{ l/h}$  و نتافیم  $12 \text{ l/h}$  نیز در شکل ۷ به‌وضوح

از قطره‌چکان‌های نتافیم بوده است. یادآوری این نکته نیز ضروری است که در پژوهش نام برده، از آب متعارف مخلوط شده با درصدهای مختلف ذرات شن در سیستم آبیاری قطره‌ای استفاده شده که با ماهیت پساب پرورش ماهی استفاده شده در پژوهش حاضر بسیار متفاوت است.

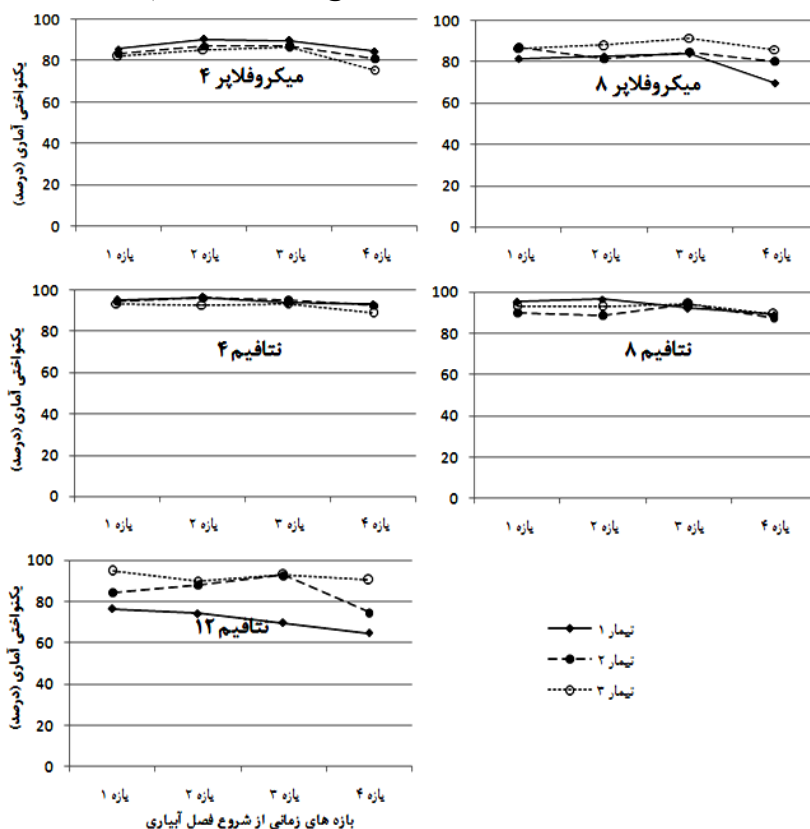
### بررسی و مقایسه یکنواختی آماری برای قطره‌چکان‌ها

شکل ۶ روند تغییرات ضریب یکنواختی آماری (US) را برای قطره‌چکان‌های مورد مطالعه در طول دوره آزمایش نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۶ و مقایسه آن با شکل‌های ۴ و ۵، مشاهده می‌شود که روند تغییرات یکنواختی آماری در هر کدام از سه تیمار و برای هر کدام از قطره‌چکان‌ها بسیار مشابه با روند تغییرات یکنواختی توزیع و ضریب یکنواختی کریستیانسن در آنها بوده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، قطره‌چکان‌های نتافیم  $4 \text{ l/h}$  و  $8 \text{ l/h}$  بیشترین مقدار یکنواختی آماری را نسبت به سایر قطره‌چکان‌ها دارند (هم در تیمار شاهد و هم در تیمارهای پساب). در شکل ۶، تأثیر مثبت تیمار مدیریتی تخلیه انتهایی پساب در مورد قطره‌چکان‌های میکروفلاپر  $8 \text{ l/h}$ ، نتافیم  $8 \text{ l/h}$  و نتافیم  $12 \text{ l/h}$  ملاحظه می‌شود. در این قطره‌چکان‌ها، تخلیه انتهایی لوله‌های فرعی در پایان هر آبیاری (تیمار ۳) به طور میانگین به ترتیب  $4/4$ ،  $2/1$  و  $7/1$  درصد باعث افزایش یکنواختی آماری نسبت به استفاده پساب بدون تخلیه انتهایی (تیمار ۲) شده است. طبق معیار طبقه‌بندی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای از نظر یکنواختی آماری (کاپرا و سیکولون، ۱۹۹۸) عملکرد قطره‌چکان‌های نتافیم  $4 \text{ l/h}$ ، نتافیم  $8 \text{ l/h}$ ، میکروفلاپر  $4 \text{ l/h}$  (بجز بازه زمانی چهارم در تیمار ۳) و میکروفلاپر  $8 \text{ l/h}$  (بجز بازه زمانی چهارم در تیمار ۱) در ردیف خوب و متوسط قرار دارد. همچنین، عملکرد قطره‌چکان نتافیم  $12 \text{ l/h}$  در تیمار ۳ (پساب با تخلیه انتهایی) در ردیف خوب، در تیمار ۲ (پساب) در ردیف خوب تا متوسط و در تیمار ۱ (شاهد) در ردیف متوسط تا ضعیف قرار گرفت که علت این موضوع در بخش

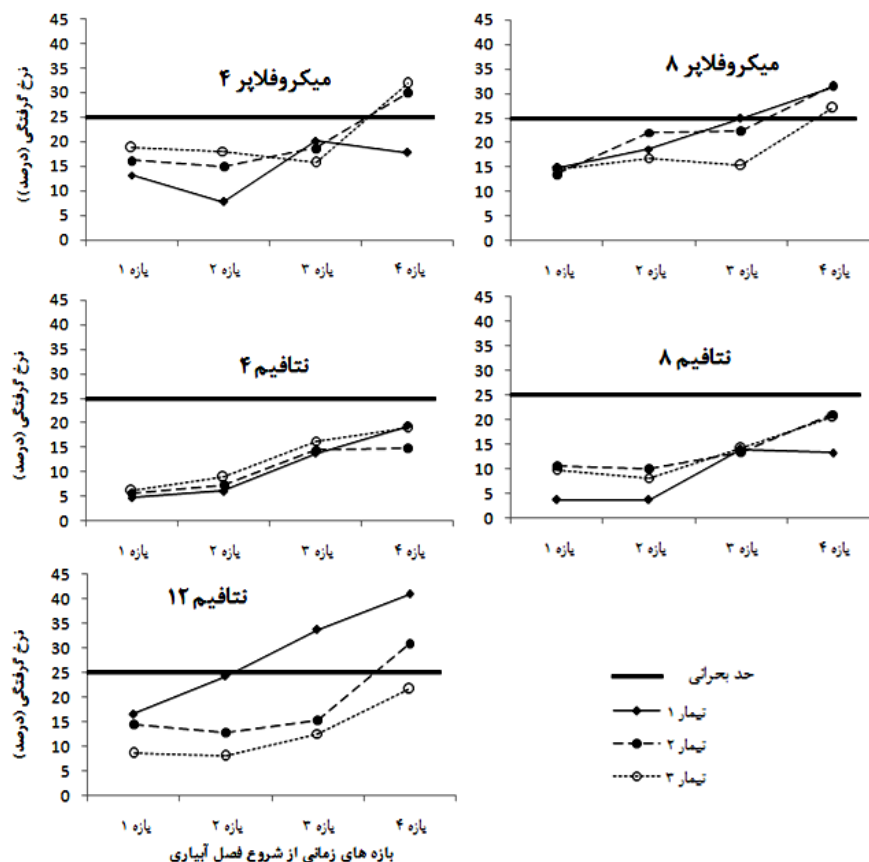
لاترال‌ها را بر کاهش میزان گرفتگی قطره‌چکان‌ها گزارش نمودند. عبدی و فتحی (۱۳۹۳) نرخ گرفتگی قطره‌چکان میکروفلاپر را در انتهای دوره زمانی پژوهش خود ۳۴ درصد گزارش کردند که تقریباً با نتیجه پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد (شکل ۷). غلامی سفید کوهی و برزگر آخته‌خانه (۱۳۹۳) نیز در پژوهش خود، بیش‌ترین و کم‌ترین گرفتگی قطره‌چکان‌ها را به ترتیب در قطره‌چکان‌های میکروفلاپر و نتافیم عنوان کردند که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

دیده می‌شود. در این قطره‌چکان‌ها، تخلیه انتهایی لوله‌های فرعی در پایان هر آبیاری (تیمار ۳) به طور میانگین به ترتیب ۴ و ۵/۷ درصد باعث کاهش نرخ گرفتگی نسبت به استفاده پساب بدون تخلیه انتهایی (تیمار ۲) شده است. اما در سایر قطره‌چکان‌ها این تأثیر چندان روند منظم و مورد انتظار را نداشته است.

زرداری و فتحی (۱۳۹۱)، عسگری و همکاران (۱۳۹۳)، راوینا و همکاران (۱۹۹۲) و پیگ باراکوئس و همکاران (۲۰۱۰) نیز تأثیر اعمال مدیریت شستشوی



شکل ۶- روند تغییرات یکنواختی آماری در تیمارهای شاهد (تیمار ۱)، پساب (تیمار ۲) و پساب با تخلیه انتهایی (تیمار ۳) در قطره‌چکان‌های مختلف



شکل ۷- روند تغییرات نرخ گرفتگی در تیمارهای شاهد (تیمار ۱)، پساب (تیمار ۲) و پساب با تخلیه انتهایی (تیمار ۳) در قطره‌چکان‌های مختلف

### نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که در بسیاری از موارد عملکرد هیدرولیکی قطره‌چکان‌های مورد مطالعه مناسب و در برخی موارد نامناسب بوده است. به‌طور کلی، بررسی روند تغییرات شاخص‌های هیدرولیکی قطره‌چکان‌های مورد مطالعه در شرایط کاربرد پساب پرورش ماهی در آبیاری قطره‌ای نشان داد که عملکرد قطره‌چکان‌های نتافیم ۴ l/h و نتافیم ۸ l/h به ترتیب نسبت به قطره‌چکان‌های میکروفلاپر ۴ l/h، میکروفلاپر ۸ l/h و نتافیم ۱۲ l/h بهتر است. علاوه بر این، نتایج بسیار نزدیک تمامی پارامترهای هیدرولیکی قطره‌چکان نتافیم ۴ l/h در هر سه تیمار مورد استفاده، به این موضوع مهم دلالت دارد که این قطره‌چکان نسبت به سایر قطره‌چکان‌های مورد مطالعه کمترین وابستگی و حساسیت را به کیفیت آب موجود و نحوه مدیریت آبیاری دارد. این موضوع می‌تواند یکی از نقاط قوت این قطره‌چکان

محسوب شود. همچنین، اعمال مدیریت تخلیه انتهایی لوله‌ها نشان داد که اگرچه تخلیه انتهایی لوله‌ها در بعضی موارد تأثیر چندانی بر شاخص‌های هیدرولیکی مورد مطالعه نداشته، اما این مدیریت تأثیر بسیار زیادی بر بهبود عملکرد قطره‌چکان‌های نتافیم ۱۲ l/h و میکروفلاپر ۸ l/h داشته است. به‌گونه‌ای که باعث شده عملکرد هیدرولیکی قطره‌چکان نتافیم ۱۲ l/h از نظر دبی نسبی، یکنواختی پخش، ضریب یکنواختی کریستیانسن، یکنواختی آماری و نرخ کاهش دبی به حد کاملاً مطلوب برسد و عملکردی مشابه با نتافیم ۴ l/h از خود نشان دهد. در نهایت، با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، توصیه می‌شود که در صورت استفاده از پساب مزارع پرورش ماهی در آبیاری قطره‌ای به ترتیب از قطره‌چکان‌های نتافیم با دبی ۴ l/h و ۸ l/h لیتر در ساعت به‌جای قطره‌چکان‌های میکروفلاپر استفاده گردد و در صورت امکان خطوط لوله فرعی با اندکی انحراف نسبت به

منحنی‌های تراز منطقه، تا حدی در جهت شیب قرار داده  
شوند و در خاتمه هر آبیاری، انتهای لوله‌ها جهت تخلیه  
لوله باز گردند.

### فهرست منابع

۱. زرداری، م.، و فتحی، پ. ۱۳۹۱. تأثیر شستشوی هفتگی بر عملکرد هیدرولیکی قطره‌چکان‌ها در شرایط استفاده از پساب تصفیه شده. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۲(۱): ۶۰-۴۹.
۲. عابدی کوپایی، ج.، و بختیاری فر، ع. ۱۳۸۳. تأثیر پساب تصفیه شده بر خصوصیات هیدرولیکی انواع قطره‌چکان‌ها در سیستم آبیاری قطره‌ای. نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۸(۳): ۴۲-۳۳.
۳. عبدی، ج.، و فتحی، پ. ۱۳۹۳. بررسی آزمایشگاهی عملکرد عدم گرفتگی فیزیکی قطره‌چکان‌های میکروفلاپر، کرونا و ادن در آبیاری قطره‌ای. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۳(۴): ۷۱-۶۳.
۴. سگری، ع.، قیصری، م.، و صفریان، ف. ۱۳۹۳. تأثیر شستشوی لترال‌های آبیاری بر گرفتگی قطره‌چکان‌های PCJ و UniRam هنگام کاربرد پساب تصفیه شده. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۴(۲): ۳۵-۲۳.
۵. علیزاده، الف. ۱۳۸۹. اصول و عملیات آبیاری قطره‌ای. انتشارات آستان قدس رضوی. ۴۵۰ صفحه.
۶. غلامی سفیدکوهی، م.ع.، و برزگر آخته خانه، ع. ۱۳۹۳. تأثیر مدیریت آبیاری و نوع قطره‌چکان بر گرفتگی قطره‌چکان در منطقه ساری. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۲۸(۲): ۳۹۴-۳۸۵.
۷. فاریابی، الف.، و قربانی، ب. ۱۳۹۴. ارزیابی معادلات یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی و امکان استفاده آنها در شرایط مختلف مزرعه‌ای. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹(۴): ۵۳۶-۵۲۵.
8. Anonymous. 2003. Design and installation of micro irrigation system. ASAE standards, St. Joseph, Mich, 900-905.
9. Boman, B.J. 1995. Effects of orifice size on micro sprinkler clogging rates. Applied Engineering in Agriculture. 11: 839-843.
10. Bralts, V.F., J.P. Wu., and H.M. Gitlin. 1981. Manufacturing variation and drip irrigation uniformity. Transactions of the ASABE, American Society of Agricultural and Biological Engineers. 24: 0113-0119.
11. Capra, A., and B. Scicolone. 1998. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. Journal of Agricultural Engineering Research. 70: 355-365.
12. Capra, A., and B. Scicolone. 2004. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. Agricultural Water Management. 68: 135-149.
13. Christiansen, J.E. 1941. The uniformity of application of water by sprinkler systems. Agricultural Engineering. 22: 89-92.
14. Ebrahimi, H., H. Golkarhamzee., A. Tavasoli Farsheh., and M. Nazarjani. 2012. Evaluation of emitter clogging in trickle irrigation with wastewater. Journal of Basic and Applied Scientific Research. 2: 5288-5291.
15. Gilbert, R.G., F.S. Nakayama., and D.A. Bucks. 1977. Trickle irrigation: prevention of clogging. Transactions of the ASABE. 22: 514-519.
16. Keller, J., and D. Karmeli. 1974. Trickle irrigation design parameters. Transactions of the ASABE. 17: 678-684.
17. Merriam, J. L., and J. Keller. 1978. Farm Irrigation System Evaluation: A Guide for Management. Utah State University, Logan, Utah, 271 p.
18. Mokari Ghahroodi, E., H. Noory, and A.M. Liaghat. 2015. Performance evaluation study and hydrologic and productive analysis of irrigation systems at

- the Qazvin irrigation network (Iran). *Agricultural Water Management*. 148: 189-195.
19. Puig-Bargués, J., G. Arbat, J. Barragán, and F. Ramírez de Cartagena. 2005. Hydraulic performance of drip irrigation subunits using WWTP effluents. *Agricultural Water Management*. 77: 249-262.
  20. Puig-Bargués, J., G. Arbat, M. Elbana, M. Duran-Ros, J. Barragán, F.R. de Cartagena, and F.R. Lamm. 2010. Effect of flushing frequency on emitter clogging in microirrigation with effluents. *Agricultural Water Management*. 97: 883-891.
  21. Ravina, I., E. Paz, Z. Sofer, A. Marcu, A. Shisha, and G. Sagi. 1992. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater. *Irrigation Science*. 13: 129-139.
  22. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 2005. American Public Health Association. 21th Edition. American Public Health Association, New York.
  23. Talebnejad, R., and A.R. Sepaskhah. 2015. Effect of different saline groundwater depths and irrigation water salinities on yield and water use of quinoa in lysimeter. *Agricultural Water Management*. 148: 177-188.
  24. Wei, Q., Y. Shi, G. Lu, W. Dong, and S. Huang. 2008. Rapid evaluations of anticlogging performance of drip emitters by laboratorial short-cycle tests. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 134: 298-304.