

## بررسی انسداد نسبی قطره‌چکان‌ها در آبیاری قطره‌ای در شرایط استفاده از پساب حوضچه‌های پرورش ماهی

ارسلان فاریابی<sup>۱\*</sup>، بهزاد قربانی<sup>۲</sup>، عیسی معروف‌پور<sup>۳</sup> و برزان بهرامی کمانگر<sup>۴</sup>

### چکیده

زمان و مکان انسداد نسبی قطره‌چکان‌ها، در شرایط استفاده از پساب، در آبیاری قطره‌ای، موضوع مهمی است که در این پژوهش، به طور خاص در مورد پساب مزارع پرورش ماهی بررسی شد. برای این منظور، سه تیمار آبیاری قطره‌ای اجرا و در هر تیمار، از قطره‌چکان‌های نتافیم و میکروفلاپر با دی‌های ۴ و ۸ لیتر بر ساعت استفاده شد. طی یک فصل، ۴۲ نوبت آبیاری با استفاده از آب متعارف (به‌عنوان شاهد) و پساب پرورش ماهی (با تخلیه و بدون تخلیه انتهایی لوله‌ها) صورت گرفت. نرم افزار آماري SAS برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. در هیچ کدام از بازه‌های زمانی از ابتدا تا انتهای فصل آبیاری، میزان گرفتگی قطره‌چکان‌های نتافیم به حد بحرانی نرسید؛ اما گرفتگی قطره‌چکان‌های میکروفلاپر تیمارهای پساب، در اواخر فصل آبیاری بیشتر از حد بحرانی شد. بیشترین گرفتگی قطره‌چکان‌ها نیز در یک‌سوم انتهایی لوله‌ها رخ داد که این موضوع در قطره‌چکان‌های ۸ لیتر بر ساعت و به‌خصوص قطره‌چکان‌های میکروفلاپر شدیدتر بود. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که در هر دو تیمار استفاده از پساب، عملکرد قطره‌چکان‌های نتافیم به‌طور معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) بهتر از قطره‌چکان‌های میکروفلاپر بوده است. همچنین قطره‌چکان نتافیم ۴ لیتر بر ساعت، نسبت به سایر قطره‌چکان‌ها، کمترین وابستگی را به کیفیت آب و شیوه مدیریت آبیاری داشت.

**واژه‌های کلیدی:** آب نامتعارف، آبی‌پروری، قطره‌چکان میکروفلاپر، قطره‌چکان نتافیم، ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان.

ارجاع: فاریابی ا.، قربانی ب.، معروف‌پور ع. و بهرامی کمانگر ب. ۱۳۹۶. بررسی انسداد نسبی قطره‌چکان‌ها در آبیاری قطره‌ای در شرایط استفاده از پساب حوضچه‌های پرورش ماهی. مجله پژوهش آب ایران. ۲۷: ۴۵-۵۴.

۱- دانشجوی سابق دکتری تخصصی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج.

۴- استادیار گروه مهندسی شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج.

\* نویسنده مسئول: [arsalan.farvabi@yahoo.com](mailto:arsalan.farvabi@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۰۸

## مقدمه

گذشته از هر گونه تأثیر بالقوه منفی صنعت پرورش ماهی بر محیط‌زیست و آلودگی رودخانه‌ها، دانش بشری باید به تأثیر بالقوه مثبت آن نیز توجه کند (مصطفی و همکاران، ۲۰۱۴). در حال حاضر پساب‌های تصفیه‌شده به‌طور رایج به‌عنوان یک منبع آب آبیاری جایگزین، برای بقای منابع آب شیرین استفاده می‌شوند (ناداو و همکاران، ۲۰۱۳). یکی از مغذی‌ترین پساب‌ها برای درختان و گیاهان، پساب مزارع پرورش ماهی است که دارای مقادیر قابل‌توجهی فسفر و ازت است و برخلاف پساب‌های صنعتی و شهری، دارای عناصر سنگین و سمی نیست. در صنعت آبی‌پروری، پساب مزارع پرورش ماهی معمولاً به داخل رودخانه‌ها تخلیه می‌شود که هم یک مشکل زیست‌محیطی و هم یک فرصت کشاورزی است. تلفیق آبی‌پروری با سیستم‌های کشاورزی به‌عنوان روشی برای افزایش تولید غذا، محافظت از محیط‌زیست و بالا بردن امنیت غذایی شناخته شده است (زاجبند، ۲۰۱۱). از طرفی گرفتگی قطره‌چکان‌ها، اصلی‌ترین مشکل، هنگام کاربرد پساب در آبیاری قطره‌ای است. در این سیستم‌ها در زمینه پیش‌بینی دقیق زمان انسداد ناشی از مصرف آبی با کیفیت خاص، تجربه کافی در دسترس نیست؛ با وجود این، تجربه‌های اندک اجازه می‌دهد تا مقیاس نسبی برای تعیین امکان گرفتگی ناشی از کیفیت آب به دست آید. برای این منظور، بعضی پژوهش‌گران با ارائه جدول‌هایی، امکان گرفتگی ناشی از کیفیت آب کاربردی را ارائه کرده‌اند (پیتس و همکاران، ۱۹۹۰؛ آیزر و وسکات، ۱۹۹۴؛ کویچر، ۲۰۰۴). از طرفی، تیلور (۱۹۹۲) طی پژوهشی گزارش کرد که نوع قطره‌چکان نسبت به کیفیت آب، تأثیر بیشتری بر کارایی قطره‌چکان‌ها در شرایط استفاده از پساب‌های تصفیه‌شده دارد. علاوه بر این، در ارتباط با موقعیت مکانی قطره‌چکان‌های مسدود شده در آبیاری قطره‌ای نیز پژوهش‌های زیادی در داخل و خارج از کشور انجام شده است. قائمی (۱۳۷۸) با استفاده از یک مدل کامپیوتری و مزرعه‌ای، تأثیر گرفتگی قطره‌چکان‌ها در موقعیت‌های مختلف روی لوله فرعی را بر ویژگی‌های هیدرولیکی سیستم و یکنواختی توزیع آب، بررسی کرد و گزارش داد که تأثیر منفی قطره‌چکان‌هایی که دچار گرفتگی شده‌اند و به‌طور تصادفی روی لوله فرعی پخش می‌شوند، بیشتر از قطره‌چکان‌های گرفته شده در یک‌سوم اول و یا آخر

لوله‌های فرعی است. کپرا و سیکولون (۱۹۹۸) دریافتند که در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای یک همبستگی خطی معکوس بین میزان گرفتگی با موقعیت قطره‌چکان روی لوله فرعی (نسبت به ابتدای لوله) وجود دارد. این موضوع نشان می‌دهد که گرفتگی بر قطره‌چکان‌هایی که در انتهای لوله فرعی قرار دارند، اثر بیشتری می‌گذارد که شاید به دلیل تجمع ذرات معلق به‌خاطر سرعت کم آب در انتهای لوله باشد. ساختار فیزیکی قطره‌چکان‌ها نیز از موارد مهم است. شاید برای قطره‌چکان‌های جدید چنین مشکلی کمتر پیش آید. وی و همکاران (۲۰۰۸) از سرعت حرکت ذرات معلق، قطر ذرات و غلظت آن‌ها به‌عنوان عوامل اصلی مؤثر بر گرفتگی فیزیکی قطره‌چکان‌ها نام بردند. نتایج پژوهش دوران- رزا و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد نوع فیلتر، نوع قطره‌چکان، کیفیت آب و موقعیت قطره‌چکان روی لوله فرعی، تأثیر معنی‌داری بر گرفتگی قطره‌چکان‌ها دارد. آن‌ها همچنین گزارش کردند که گرفتگی‌ها عمدتاً بستگی به نوع و موقعیت قطره‌چکان‌ها روی خطوط فرعی و همچنین تعامل بین این دو عامل دارد. پیگ باراگوئس و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که گرفتگی در درجه اول متأثر از تعامل بین موقعیت و نوع قطره‌چکان و تناوب شست‌وشو است. لی و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی اثر متوسط سرعت آب بر رشد و نحوه شکل‌گیری بیوفیلم‌ها پرداختند. بررسی‌ها نشان داد که بیوفیلم در شرایط استفاده از فاضلاب‌های تصفیه‌شده در سرعت بحرانی ۰/۴۵ متر بر ثانیه به حداکثر مقدار خود می‌رسد. از طرفی تشکیل بیوفیلم هنگامی که متوسط سرعت پایین‌تر از سرعت بحرانی است، وابسته به مواد مغذی و ذرات معلق موجود در لوله‌های فرعی است. زرداری و فتحی (۱۳۹۱)، عسگری و همکاران (۱۳۹۳)، آدین و ساکس (۱۹۹۱)، راوینا و همکاران (۱۹۹۲) و پیگ باراگوئس و همکاران (۲۰۱۰) از تأثیر مثبت شست‌وشوی لوله‌های فرعی در آبیاری قطره‌ای بر کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها و حذف رسوبات و ذراتی که در خطوط لوله جمع شده‌اند، نام بردند.

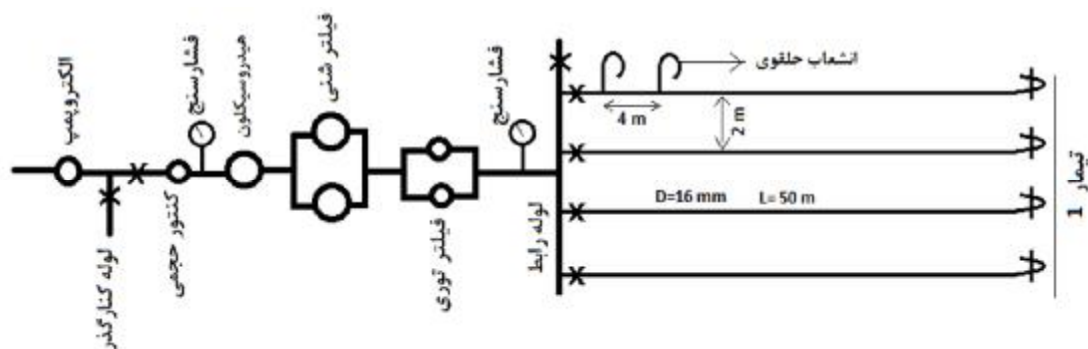
در ایران نیز مانند سایر مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، بحران آب از مسایل بزرگ و اساسی است و در بسیاری از بخش‌های کشور کمبود آب دیده می‌شود (مکاری قهرودی و همکاران، ۲۰۱۵). این وضعیت در سال‌های اخیر به‌دلیل وقوع پدیده خشکسالی حادتر شده است. همچنین،

پژوهش‌های علمی و دقیق در زمینه‌های مختلف هیدرولیکی، اجرایی و زیست‌محیطی است. هدف از این پژوهش نیز بررسی موقعیت مکانی و زمان انسداد قطره‌چکان‌های تنظیم‌شونده فشار هنگام استفاده از پساب مزارع پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین کمان در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای است که می‌تواند در جهت انتخاب قطره‌چکان یا شیوه مدیریت مناسب آبیاری با استفاده از این نوع پساب‌ها راهگشا باشد.

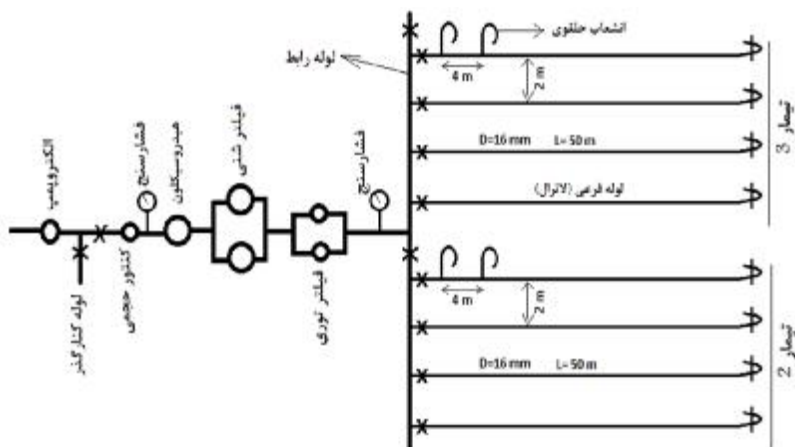
### مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در ماه‌های اردیبهشت تا آبان سال ۱۳۹۳ در مزرعه پرورش ماهی آبی‌در در ۳ کیلومتری شهر سنندج انجام شد. نوع ماهی پرورشی، قزل‌آلای رنگین کمان بود و آب ورودی به مزرعه، از سد قشلاق، رودخانه سیروان و چاه تأمین می‌شد. به‌منظور انجام پژوهش حاضر، سه تیمار اجرا شد (شکل‌های ۱ و ۲).

پرورش ماهیان سردآبی در کشور ما از شتاب و روند رو به رشدی برخوردار بوده است و هنوز هم تقاضا برای احداث مزارع پرورش ماهیان سردآبی وجود دارد. از طرفی از آنجاکه بخش کشاورزی بیشترین سهم مصرف آب کشور را به خود اختصاص داده است، اجرای برنامه‌های مدیریتی مفید در این بخش، اهمیت بسیاری در کاهش تأثیرات بحران آب دارد. استفاده مجدد از آب‌های نامتعارف، از مهم‌ترین این راه‌هاست. از طرفی میزان تولید ماهی قزل‌آلای در کشور از ۴۴۰ تن در سال ۱۹۹۰ به حدود هفتاد و سه هزار ۶۲۴ تن در سال ۲۰۱۰ رسیده است (فائو، ۲۰۱۲). به تبع این افزایش تولید، بدون شک حجم پساب تولید شده نیز افزایش چشمگیری داشته است. با توجه به مطالب انجام شده و با توجه به کیفیت مناسب‌تر این نوع پساب‌ها نسبت به فاضلاب‌های صنعتی و شهری، می‌توان استفاده از پساب مزارع پرورش ماهی را به‌عنوان روشی نوین و منبع مناسبی برای استفاده در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای پیشنهاد کرد که کاربرد صحیح و مؤثر آن نیازمند



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



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

لوله فرعی موجود در هر تیمار، دارای تنها یک نوع از قطره‌چکان‌های نام برده در جدول ۱ بود و دبی تمامی انشعاب‌های حلقوی یکسان و ۲۴ لیتر بر ساعت در نظر گرفته شد که مضرب صحیحی از دبی قطره‌چکان‌های موجود باشد. از آنجا که دبی تمام انشعاب‌های حلقوی ثابت و قطر تمامی لوله‌های فرعی یکسان (۱۶ میلی‌متر) بود، سرعت جریان آب در نقاط مختلف تمامی لوله‌های فرعی در ابتدای آزمایش‌ها، نظیر به نظیر یکسان بود. طراحی خطوط لوله و سیستم‌های کنترل مرکزی بر اساس استانداردهای ضوابط و معیارهای فنی آبیاری تحت فشار (نشریه ۲۸۶ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور) انجام شد. در هر نوبت آبیاری، سیستم‌ها ۸ ساعت روشن و در پایان، دبی خروجی هر یک از انشعاب‌های حلقوی، به روش حجمی اندازه‌گیری می‌شد. در نهایت، درصد گرفتگی قطره‌چکان‌ها به صورت زیر محاسبه شد:

$$(1) \quad \text{دبی موجود} - \text{دبی اولیه} \times 100 = \frac{\text{دبی اولیه}}{\text{دبی اولیه}} \text{ درصد گرفتگی}$$

در تیمار ۱ از آب متعارف ورودی مزرعه پرورش ماهی به‌عنوان شاهد و در تیمارهای ۲ و ۳ که دقیقاً مشابه با 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 و لوله‌ها تخلیه می‌شدند؛ اما در تیمار ۲، این عمل مدیریتی انجام نشد. در هر کدام از تیمارها، آب پس از پمپاژ، به یک سیستم کنترل مرکزی وارد می‌شد (انتخاب سیستم کنترل مرکزی با توجه به آزمایش‌های اولیه کیفیت آب و پساب صورت گرفت) و سپس از طریق یک لوله رابط پلی‌اتیلن به قطر ۵۰ میلی‌متر وارد چهار لوله فرعی پلی‌اتیلن به قطرهای ۱۶ میلی‌متر می‌گردید. طول هر کدام از لوله‌های فرعی ۵۰ متر بود که در فواصل ۴ متری دارای انشعاب‌های حلقوی بودند. با توجه به اینکه در بیشتر مناطق با توپوگرافی تند در ایران از قطره‌چکان‌های تنظیم‌کننده فشار نتافیم و میکروفلاپر استفاده می‌شود، از این قطره‌چکان‌ها با دبی‌های ۴ و ۸ لیتر بر ساعت در تیمارهای نام‌برده استفاده شد (جدول ۱). هر کدام از ۴

جدول ۱- مشخصات قطره‌چکان‌های مورد استفاده در پژوهش

نام تجاری قطره‌چکان	نوع اتصال	دامنه کاری فشار (m)	دبی اسمی (lit.h <sup>-1</sup> )	رنگ	سایر مشخصات
میکروفلاپر	روی خط	۱۰ - ۳۵	۴	سیاه	جبران‌کننده فشار و خود شوینده
میکروفلاپر	روی خط	۱۰ - ۳۵	۸	سبز	جبران‌کننده فشار و خود شوینده
نتافیم	روی خط	۷ - ۴۰	۴	خاکستری	جبران‌کننده فشار و خود شوینده
نتافیم	روی خط	۷ - ۴۰	۸	سبز	جبران‌کننده فشار و خود شوینده

انتهایی تقسیم شد. هر بخش، چهار انشعاب حلقوی (تکرار) از لوله فرعی را شامل می‌شد. بنابراین عامل موقعیت قطره‌چکان روی لوله فرعی، در کنار عوامل دیگر (نوع آب، نوع و دبی قطره‌چکان‌ها) در تحلیل‌ها وارد شد. تجزیه داده‌های مربوط به درصد گرفتگی قطره‌چکان‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و MSTAT-C و در قالب طرح تجزیه مرکب انجام شد. این طرح بر اساس زمان‌های بررسی متغیرها (نوع آب، نوع و دبی قطره‌چکان‌ها و موقعیت قطره‌چکان‌ها روی لوله فرعی) در چهار بازه زمانی بود. در هر بازه زمانی، آزمایش فاکتوریل (۴\*۴) با عوامل نامبرده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. از نرم‌افزار Excel 2013 نیز برای انجام محاسبات مورد نیاز و ترسیم نمودارها استفاده شد. در این پژوهش همچنین

در هر تیمار با نصب فشارسنج‌هایی در نقاط مختلف سیستم کنترل مرکزی، افت فشار در هر کدام از فیلترها مشاهده شد و در صورت بیشتر شدن افت فشار از حد مجاز، فیلترها شست‌وشو می‌شد. در خاتمه هر آبیاری انتهای لوله‌های فرعی تیمار ۳، باز و تخلیه می‌گردید. پس از آن سیستم‌های آبیاری اجرا شده به مدت ۲ شبانه‌روز خاموش می‌شد (دور آبیاری قطره‌ای مرسوم در استان). سپس در روز بعد، سیستم‌ها دوباره روشن و این روند همچنان تا پایان فصل زراعی تکرار می‌شد. به این ترتیب ۴۲ نوبت آبیاری با دور سه روزه و دوره ۸ ساعته در سه تیمار موجود (آب متعارف، پساب و پساب با تخلیه انتهایی لوله‌ها) انجام شد. به منظور انجام تحلیل‌های آماری، تمام لوله‌های فرعی به سه بخش یک‌سوم ابتدایی، میانی و

گفتنی است که طول دوره آزمایش ۴۲ نوبت آبیاری با دور سه روزه بود که برای روندیابی بهتر گرفتگی قطره‌چکان‌ها، نتایج در چهار بازه زمانی (سه بازه ۱۰ روزه و یک بازه ۱۲ روزه) گزارش می‌شود.

برخی ویژگی‌های کیفی آب ورودی و پساب مزرعه پرورش ماهی، به روش استاندارد برای آزمون آب و پساب (APHA, ۲۰۰۵) مورد آزمایش شد (جدول ۲).

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

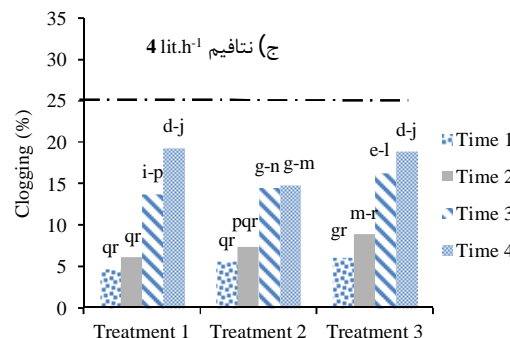
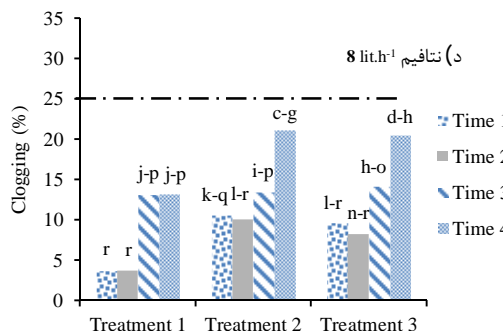
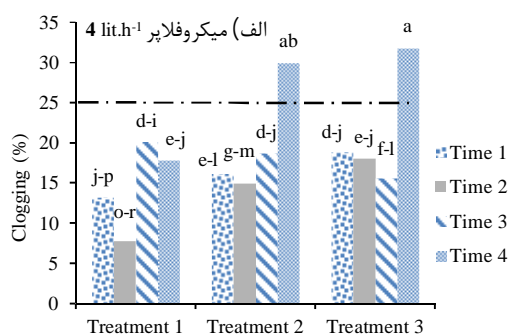
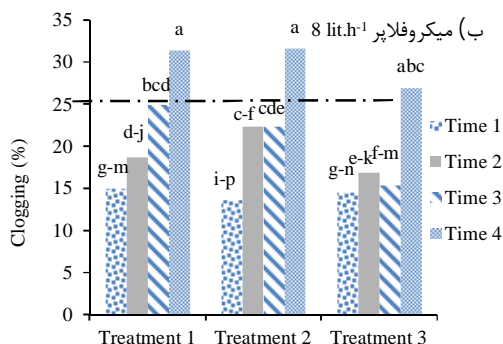
عامل انسداد	آب متعارف مورد استفاده		پساب مورد استفاده طی فصل آبیاری			
	بازه ۱	بازه ۲	بازه ۳	بازه ۴	بازه ۳	بازه ۴
مواد جامد معلق (ppm)	۱۱۰	۲۴۷	۲۲۳	۱۸۲	۲۲۳	۱۸۲
pH	۸/۰۳	۸/۱۳	۷/۹۱	۷/۸۸	۷/۹۱	۷/۸۸
TDS (mg.L <sup>-1</sup> )	۲۰۴	۲۹۳	۲۰۲	۱۹۰	۲۰۲	۱۹۰
منگنز (ppm)	< ۰/۱	< ۰/۱	< ۰/۱	< ۰/۱	< ۰/۱	< ۰/۱
آهن (ppm)	۰/۰۱۵	۰/۰۳۸	۰/۰۲۴	۰/۰۲۷	۰/۰۲۴	۰/۰۲۷
سولفید هیدروژن (ppm)	< ۰/۵	< ۰/۵	< ۰/۵	< ۰/۵	< ۰/۵	< ۰/۵
باکتری‌ها (حد اکثر تعداد در هر میلی لیتر)	< ۵۰۰۰	۹۲۳۰	۶۹۰۰	۴۲۱۰	۶۹۰۰	۴۲۱۰
خطر گرفتگی				کم	متوسط	زیاد

## نتایج و بحث

### بررسی زمان انسداد نسبی قطره‌چکان‌ها

در شکل ۳ تغییرات درصد گرفتگی قطره‌چکان‌های مورد مطالعه طی فصل آبیاری در هر کدام از تیمارهای پژوهش

به همراه حد بحرانی (وی و همکاران، ۲۰۰۸) نشان داده شده است. در واقع در این شکل می‌توان تأثیر متقابل زمان، نوع آب، نوع قطره‌چکان و دبی قطره‌چکان‌ها را مشاهده کرد.



شکل ۳- تغییرات درصد گرفتگی نسبت به زمان در تیمارهای مختلف برای قطره‌چکان‌های میکروفلاپر ۴ (الف)، میکروفلاپر ۸ (ب)، نتافیم ۴ (ج) و نتافیم ۸ (د) (ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح ۵% اختلاف معنی‌داری ندارند).

فصل آبیاری، چه در حالت استفاده از آب متعارف و چه در حالت استفاده از پساب، هیچ‌گاه به حد بحرانی نرسید. از طرف دیگر، درصد گرفتگی این قطره‌چکان‌ها بین سه تیمار موجود در هیچ‌کدام از بازه‌های زمانی اختلاف معنی‌داری نداشت. این موضوع بیانگر این مطلب مهم است که این قطره‌چکان‌ها نسبت به سایر قطره‌چکان‌های مورد مطالعه، کمترین وابستگی را به کیفیت آب و شیوه مدیریت آبیاری دارند. بنابراین می‌توان گفت عملکرد این قطره‌چکان‌ها هنگام استفاده از پساب مزرعه پرورش ماهی کاملاً مناسب است.

#### قطره‌چکان نتافیم ۸ لیتر بر ساعت

عملکرد هیدرولیکی این قطره‌چکان نیز همانند قطره‌چکان نتافیم ۴ لیتر بر ساعت است، با این تفاوت که درصد گرفتگی این قطره‌چکان‌ها در بازه زمانی چهارم در تیمارهای ۲ و ۳ نسبت به تیمار ۱ اختلاف معنی‌دار داشته ( $P < 0.05$ ) و افزایشی است؛ اما این مقادیر نیز کمتر از حد بحرانی است. به‌طور کلی می‌توان گفت قطره‌چکان‌های نتافیم ۸ لیتر بر ساعت هنگام استفاده از پساب مزرعه پرورش ماهی عملکرد به نسبت مناسبی دارند، در این شرایط، محدودیت خاصی ایجاد نمی‌کنند و بعد از قطره‌چکان‌های نتافیم ۴ لیتر بر ساعت در اولویت بعدی قرار می‌گیرند.

به‌طور کلی روند تغییرات درصد گرفتگی قطره‌چکان‌های میکروفلاپر و نتافیم در سه تیمار آب متعارف، پساب و پساب با تخلیه انتهایی لوله‌ها در طی فصل آبیاری (شکل ۳) نشان داد که استفاده از قطره‌چکان‌های میکروفلاپر در کاربرد پساب پرورش ماهی باعث می‌شود که میزان گرفتگی قطره‌چکان‌ها در اواخر فصل آبیاری بیشتر از حد بحرانی شود که این موضوع می‌تواند منجر به بروز آثار منفی کاهش یکنواختی پخش آب، بازده آبیاری و در نهایت کاهش محصول شود (کپرا و سیکولون، ۱۹۹۸). درصد گرفتگی قطره‌چکان‌های نتافیم در هیچ بازه زمانی به حد بحرانی (وی و همکاران، ۲۰۰۸) نرسید و در هر دو تیمار استفاده از پساب، عملکردشان از نظر درصد گرفتگی به‌طور معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) بهتر از قطره‌چکان‌های میکروفلاپر بود (شکل ۳). علاوه بر این، تخلیه انتهایی لوله‌های فرعی اگرچه در پاره‌ای از موارد باعث کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها شد، تأثیر آن بر عملکرد

چنان‌که در شکل ۳ دیده می‌شود، روند کلی تغییرات درصد گرفتگی قطره‌چکان‌ها با گذشت زمان در هر سه تیمار، افزایشی است. شیب این افزایش در تیمارها و قطره‌چکان‌های مختلف، متفاوت است. گفتنی است که روندهای کاهش جزئی که در برخی از نمودارهای شکل ۳ وجود دارد، به این دلیل است که گاهی انسداد موقتی در بعضی قطره‌چکان‌ها باعث افزایش موقت درصد گرفتگی می‌شد که پس از مدتی با باز شدن مجدد دهانه قطره‌چکان درصد گرفتگی کاهش می‌یافت.

#### قطره‌چکان میکروفلاپر ۴ لیتر بر ساعت

درصد گرفتگی این قطره‌چکان‌ها با گذشت زمان در هیچ‌یک از سه تیمار موجود روند چندان منظمی نداشت. چنان‌که در شکل ۳ (الف) ملاحظه می‌شود مقادیر گرفتگی در هر دو تیمار پساب (با تخلیه انتهایی و بدون تخلیه) در بازه زمانی چهارم به‌شدت افزایش یافت و حتی از حد بحرانی عبور کرد. این مقدار افزایش، هم نسبت به بازه‌های زمانی قبل و هم نسبت به تیمار شاهد، اختلاف معنی‌داری دارد ( $P < 0.05$ ). می‌توان گفت استفاده از این قطره‌چکان‌ها در آبیاری با پساب پرورش ماهی مناسب نیست.

#### قطره‌چکان میکروفلاپر ۸ لیتر بر ساعت

به‌طور کلی درصد گرفتگی این قطره‌چکان‌ها با گذشت زمان در هر سه تیمار افزایشی بوده حتی در بازه زمانی چهارم از حد بحرانی عبور کرد. با توجه به شکل ۳ (ب)، در بازه‌های زمانی سوم و چهارم نقش تخلیه انتهایی لوله‌های فرعی کاملاً مشهود و مثبت است (به ترتیب ۷ و ۴/۷٪ کاهش گرفتگی نسبت به تیمار بدون تخلیه). اگرچه استفاده از این قطره‌چکان‌ها در آبیاری با پساب پرورش ماهی چندان رضایت‌بخش نیست، کاربرد آنها در صورت مدیریت مناسب نظیر تخلیه انتهایی و یا شست‌وشوی کامل لوله‌های فرعی، نسبت به قطره‌چکان‌های میکروفلاپر ۴ لیتر بر ساعت مناسب‌تر خواهد بود.

#### قطره‌چکان نتافیم ۴ لیتر بر ساعت

درصد گرفتگی قطره‌چکان‌های نتافیم ۴ لیتر بر ساعت با گذشت زمان در هر سه تیمار افزایشی بود. با توجه به شکل ۳ (ج)، درصد گرفتگی این قطره‌چکان‌ها در طی

قطره‌چکان‌ها معنی‌دار نبود (به جز بازه زمانی سوم در قطره‌چکان‌های میکروفلاپر ۸ لیتر بر ساعت). با توجه به شکل ۳، مقایسه میزان گرفتگی قطره‌چکان‌های نتافیم و میکروفلاپر در تیمارهای مختلف، نشان می‌دهد که نوع قطره‌چکان نسبت به کیفیت آب تأثیر بیشتری بر کارایی قطره‌چکان‌ها دارد. این نتیجه در پژوهش تیلور (۱۹۹۲) نیز گزارش شده است. زرداری و فتحی (۱۳۹۱) و غلامی سفیدکوهی و برزگر آخته‌خانه (۱۳۹۳) در شرایط استفاده از پساب تصفیه شده، اسید شویی و کود آبیاری، بیش‌ترین و کم‌ترین گرفتگی قطره‌چکان‌ها را به ترتیب در قطره‌چکان‌های میکروفلاپر و نتافیم گزارش کردند که با پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. عبدی و فتحی (۱۳۹۳) نرخ گرفتگی قطره‌چکان میکروفلاپر را در شرایط استفاده از آب مخلوط شده با ذرات ریز شن را ۳۴٪ گزارش کردند که تقریباً با نتیجه پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد (شکل ۳ الف و ب). زرداری و فتحی (۱۳۹۱) از تأثیر زیاد شست‌وشوی هفتگی لوله‌های فرعی هنگام استفاده از پساب تصفیه‌شده شهری به‌خصوص در قطره‌چکان‌های میکروفلاپر نام بردند. در پژوهش حاضر نیز نقش تخلیه انتهایی لوله‌های فرعی بر کاهش گرفتگی در قطره‌چکان‌های میکروفلاپر بیشتر از قطره‌چکان‌های نتافیم بود که احتمالاً به تفاوت ساختار فیزیکی و هندسی این قطره‌چکان‌ها بستگی دارد.

پژوهش نشان می‌دهد. در قطره‌چکان‌های با دبی ۴ لیتر بر ساعت، اگرچه هیچ اختلاف معنی‌داری بین میزان گرفتگی قسمت‌های مختلف لوله‌ها در هر تیمار وجود ندارد، بیش‌ترین میزان در تیمارهای ۱، ۲ و ۳ به ترتیب در یک‌سوم میانی، یک‌سوم انتهایی و یک‌سوم ابتدایی لوله‌های فرعی رخ داده است. در این قطره‌چکان‌ها چنان‌که انتظار می‌رفت، در حالت استفاده از پساب (تیمار ۲)، در یک‌سوم انتهایی لوله‌ها گرفتگی قطره‌چکان‌ها تا حدی بیشتر از قسمت‌های ابتدایی و میانی بود. در تیمار استفاده از پساب با تخلیه انتهایی لوله‌ها (تیمار ۳)، گرفتگی قطره‌چکان‌ها بیشتر در یک‌سوم ابتدایی لوله‌ها اتفاق افتاد. اگرچه در این تیمار نیز اختلاف بین گرفتگی در قسمت‌های مختلف لوله‌ها معنی‌دار نبود، می‌توان تأثیر مثبت تخلیه انتهایی لوله‌ها بر کاهش میزان گرفتگی را دید (شکل ۴). در مورد قطره‌چکان‌های با دبی ۸ لیتر بر ساعت، در هرکدام از تیمارهای ۱ و ۳، هیچ اختلاف معنی‌داری بین میزان گرفتگی در قسمت‌های مختلف لوله‌ها وجود نداشت. اما در تیمار ۲، میزان گرفتگی‌ها در یک‌سوم انتهایی لوله‌ها بسیار بیشتر از یک‌سوم ابتدایی و میانی بود و با آن‌ها اختلاف معنی‌دار داشت ( $P < 0.05$ ). با اعمال تیمار مدیریتی سوم (پساب با تخلیه انتهایی) این مشکل به‌طور قابل قبولی رفع شد و میزان گرفتگی‌ها در یک‌سوم انتهایی تیمار ۳، به‌طور معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) نسبت به یک‌سوم انتهایی لوله‌های تیمار ۲ کاهش یافت (بیش از ۷٪).

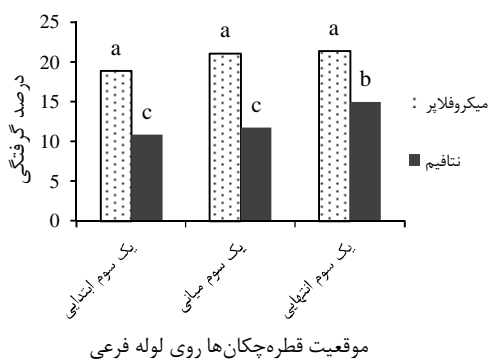
### بررسی موقعیت مکانی گرفتگی نسبی قطره‌چکان‌ها (بر اساس دبی قطره‌چکان‌ها)

شکل ۴، تغییرات درصد گرفتگی قطره‌چکان‌های با دبی ۴ و ۸ لیتر بر ساعت را در طول لوله‌های فرعی در سه تیمار



شکل ۴- تغییرات درصد گرفتگی قطره‌چکان‌های با دبی ۴ و ۸ لیتر بر ساعت مورد مطالعه در طول لوله‌های فرعی در سه تیمار ۱ (آب متعارف)، تیمار ۲ (پساب پرورش ماهی) و تیمار ۳ (پساب پرورش ماهی با تخلیه انتهایی لوله‌ها)

همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند گرفتگی‌ها عمدتاً بستگی به نوع و موقعیت قطره‌چکان‌ها روی خطوط لوله فرعی و همچنین تعامل بین این دو عامل دارد. لی و چن (۲۰۰۹) نیز گزارش دادند که توزیع قطره‌چکان‌های مسدود شده در طول لوله فرعی بستگی به نوع قطره‌چکان و کیفیت آب دارد. در پژوهش حاضر نیز توزیع گرفتگی نسبی قطره‌چکان‌ها در طول لوله‌های فرعی، به نوع و دبی قطره‌چکان‌ها، کیفیت آب مورد استفاده و آثار متقابل آن‌ها وابسته بود.



شکل ۵- تغییرات درصد گرفتگی قطره‌چکان‌های میکروفلاپر و نتافیم در طول لوله‌های فرعی تیمارهای پساب (تیمارهای ۲ و ۳)

### نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که استفاده از قطره‌چکان‌های میکروفلاپر در کاربرد پساب مزارع پرورش ماهی باعث می‌شود که میزان گرفتگی قطره‌چکان‌ها در اواخر فصل آبیاری بیشتر از حد بحرانی شود. میزان گرفتگی قطره‌چکان‌های نتافیم در هیچ بازه زمانی به حد بحرانی ارائه شده توسط وی و همکاران، ۲۰۰۸ (۲۵٪) نرسید و این قطره‌چکان‌ها در سرتاسر طول لوله‌های فرعی و در تمام فصل آبیاری، عملکرد بسیار بهتری را نسبت به قطره‌چکان‌های میکروفلاپر از خود نشان دادند. علاوه بر این، قطره‌چکان‌های نتافیم ۴ لیتر بر ساعت، نسبت به سایر قطره‌چکان‌های مورد مطالعه کمترین وابستگی و حساسیت را به کیفیت آب موجود و شیوه‌ی مدیریت آبیاری داشت که می‌تواند یکی از نقاط قوت آن محسوب شود. در تمام قطره‌چکان‌های مورد مطالعه، استفاده از پساب پرورش ماهی باعث شد که بیشترین گرفتگی قطره‌چکان‌ها در یک‌سوم انتهایی لوله‌ها رخ دهد که این موضوع در قطره‌چکان‌های ۸ لیتر بر ساعت و به‌ویژه

بنابراین می‌توان گفت که در استفاده از پساب مزارع پرورش ماهی پتانسیل گرفتگی قطره‌چکان‌ها در یک‌سوم انتهایی لوله‌ها بیشتر است که این موضوع در قطره‌چکان‌های با دبی ۸ لیتر بر ساعت شدیدتر است؛ زیرا قطر روزنه قطره‌چکان‌های ۴ و ۸ لیتر بر ساعتی مورد استفاده در پژوهش حاضر تقریباً یکسان و بین ۷۰۰ تا ۸۰۰ میکرون بود، حال آن‌که قطره‌چکان‌های با دبی ۸ لیتر بر ساعت باید دو برابر قطره‌چکان‌های با دبی ۴ لیتر بر ساعت آب (با کیفیت نامناسب) را از خود عبور دهند؛ به عبارتی می‌توان گفت هنگام استفاده از آب با کیفیت نامناسب، پتانسیل بالقوه برای ایجاد گرفتگی در قطره‌چکان‌های با دبی ۸ لیتر بر ساعت بیشتر از قطره‌چکان‌های با دبی ۴ لیتر بر ساعت است. از آن‌جا که تجمع رسوبات در انتهای لوله‌ها محتمل‌تر است، تفاوت موجود در این قسمت از لوله فرعی آشکارتر است. از طرفی، اثر مثبت تخلیه انتهایی لوله‌ها نیز در قطره‌چکان‌های با دبی ۸ لیتر بر ساعت بیشتر بود. بنابراین در صورت استفاده از این قطره‌چکان‌ها هنگام کاربرد پساب پرورش ماهی در آبیاری قطره‌ای، تخلیه انتهایی و یا شست‌وشوی لوله‌های فرعی ضروری‌تر به نظر می‌رسد. شایان ذکر است که نتایج گزارش شده در پژوهش حاضر، در شرایط وجود سیستم کنترل مرکزی به دست آمد. سیستم کنترل مرکزی نیز بر اساس کیفیت پساب موجود و دبی مورد نیاز طرح انتخاب شد.

### بررسی موقعیت مکانی گرفتگی نسبی قطره‌چکان‌ها (بر اساس نوع قطره‌چکان‌ها)

در شکل ۵، تغییرات درصد گرفتگی قطره‌چکان‌های میکروفلاپر و نتافیم در طول لوله‌های فرعی تیمارهای ۲ و ۳ (پساب بدون تخلیه انتهایی و پساب با تخلیه انتهایی لوله‌ها) نشان داده شده است. چنان‌که در این شکل مشخص است، هنگام استفاده از پساب، هم در مورد قطره‌چکان‌های میکروفلاپر و هم در مورد قطره‌چکان‌های نتافیم، بیشترین گرفتگی در یک‌سوم انتهایی لوله‌ها رخ داده است. اگرچه این اختلاف در قطره‌چکان‌های نتافیم برخلاف قطره‌چکان‌های میکروفلاپر معنی‌دار بود، در تمام طول لوله‌های فرعی، قطره‌چکان‌های نتافیم عملکرد بسیار بهتری نسبت به قطره‌چکان‌های میکروفلاپر داشتند. دوران‌راس و همکاران (۲۰۰۹) و پیگ باراگوئس و



میکروفلاپر، کرونا و ادن در آبیاری قطره‌ای. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۳(۴): ۶۳-۷۱.

۴. عسگری 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): ۲۳-۳۵.

۵. 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): ۳۸۵-۳۹۴.

۶. قائمی ع. ا. ۱۳۷۸. بررسی تأثیر الگوهای مختلف گرفتگی قطره‌چکان‌ها بر خصوصیات هیدرولیکی سیستم آبیاری میکرو. انجمن هیدرولیک ایران. هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران. ۲۱ آبان ماه، دانشگاه شهید عباس‌پور تهران.

7. Adin A. and Sacks M. 1991. Dripper-clogging factors in wastewater irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 117(6): 813-826.
8. APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 2005. American Public Health Association. 21<sup>th</sup> Edition. American Public Health Association. New York. 22648 p.
9. Ayers R. S. and Westcot D. W. 1994. Water quality for agriculture. FAO. Irrigation and Drainage. Paper 29. Rome: FAO. 174 p.
10. Capra A. and Scicolone B. 1998. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 70: 355-365.
11. Couture I. 2004. Analysed'eau pour fin d'irrigation. Agri-version. MAPAQ Montérégie-Est. 7 p.
12. Duran-Rosa M. Puig-Bargués J. Arbata G. Barragán J. and Ramírez de Cartagena F. 2009. Effect of filter, emitter and location on clogging when using effluents. *Agricultural Water Management*. 96(1): 67-79.
13. FAO. 2012. The State of World Fisheries and Aquaculture; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy.
14. Li G. B. Li Y. K. Xu T. W. Liu Y. Z. Jin H. Yang P. L. Yan D. Z. Ren S. M. and Tian Z. F. 2012. Effects of average velocity on the growth and surface topography of biofilms attached to the reclaimed wastewater drip irrigation system laterals. *Irrigation Science*. 30: 103-113.

قطره‌چکان‌های میکروفلاپر شدیدتر بود. از طرفی، اثر مثبت تخلیه انتهایی لوله‌ها نیز در این قطره‌چکان‌ها بیشتر بوده است؛ بنابراین در صورت استفاده از این قطره‌چکان‌ها هنگام کاربرد پساب آبی‌پروری در آبیاری قطره‌ای، تخلیه انتهایی یا شست‌وشوی لوله‌های فرعی ضروری‌تر به نظر می‌رسد. همچنین اعمال مدیریت تخلیه انتهایی لوله‌ها نشان داد که اگرچه تخلیه انتهایی لوله‌ها در بعضی موارد، تأثیر مثبت و یا چندانی بر کاهش میزان گرفتگی قطره‌چکان‌ها نداشته، این مدیریت تأثیر به نسبت زیادی بر بهبود عملکرد قطره‌چکان‌های میکروفلاپر ۸ لیتر بر ساعت داشته است؛ به طوری که در تیمار ۳ (پساب با تخلیه انتهایی)، برخلاف تیمار ۲، عملکرد این قطره‌چکان‌ها بهتر از قطره‌چکان‌های میکروفلاپر ۴ بوده است. در نهایت با توجه به نتایج به دست 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 و ۸ لیتر بر ساعت به جای قطره‌چکان‌های میکروفلاپر استفاده شود و در صورت امکان خطوط لوله فرعی با اندکی انحراف نسبت به منحنی‌های تراز منطقه، تا حدی در جهت شیب قرار داده و در انتهای هر آبیاری، انتهای لوله‌ها برای تخلیه لوله باز شدند.

### سپاس‌گزاری

از دانشجویان محترم کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب دانشگاه کردستان، آقای ناصر منبری و خانم‌ها پگاه امیری و نسرين کریمی که در انجام عملیات میدانی، با نویسندگان همکاری نموده‌اند سپاس‌گزاری می‌شود.

### منابع

۱. بی‌نام. ۱۳۸۳. ضوابط و معیارهای فنی آبیاری تحت فشار. نشریه شماره ۲۸۶. انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. ۲۴۴ ص.
۲. زردار 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): ۴۹-۶۰.
۳. عبدی چ. و فتحی پ. ۱۳۹۳. بررسی آزمایشگاهی عملکرد عدم گرفتگی فیزیکی قطره‌چکان‌های

15. Li J. and Chen L. 2009. Assessing Emitter Clogging In Drip Irrigation Systems With Sewage Effluent. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). Paper Number: 095827.
16. MokariGhahroodi E. Noory H. and Liaghat A. M. 2015. Performance evaluation study and hydrologic and productive analysis of irrigation systems at the Qazvin irrigation network (Iran). *Agricultural Water Management*. 148: 189-195.
17. Mustapha A. Driss B. Nadia B. and Wydad N. 2014. Opportunities and potential integration of irrigation and aquaculture in morocco. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*. 5(6): 57-63.
18. Nadav I. Tarchitzky J. and Chen Y. 2013. Induction of soil water repellency following irrigation with treated wastewater: effects of irrigation water quality and soil texture. *Irrigation Science*. 31(3): 385-394.
19. Pitts D. J. Haman D. Z. and Smajstria A. 1990. Causes and prevention of emitter plugging in micro irrigation systems. *Bulletin-Florida Cooperative Extension Servic*. 1-11.
20. Puig-Bargués J. Arbat G. Elbana M. Duran-Ros M. Barragán J. de Cartagena F. R. and Lamm F. R. 2010. Effect of flushing frequency on emitter clogging in microirrigation with effluents. *Agricultural Water Management*. 97(6): 883-891.
21. Ravina I. Paz E. Sofer Z. Marcu A. Shisha A. and Sagi G. 1992. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater. *Irrigation Science*. 13: 129-139.
22. Taylor H. D. 1992. Microbial fouling of drip irrigation equipment in waste water reuse system. Ph.D. Thesis. University of Liverpool. UK. 202 p.
23. Wei Q. Shi Y. Lu G. Dong W. and Huang S. 2008. Rapid evaluations of anticlogging performance of drip emitters by laboratorial short-cycle tests. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 134(3): 298-304.
24. Zajdband A. D. 2011. Integrated Agri-Aquaculture Systems. *Genetics, Biofuels and Local Farming Systems. Sustainable Agriculture Reviews 7*. Springer Science. 87-127.