Iranian Journal of Biosystem Engineering ISNN: 2423-7841
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

# Performance evaluation of intelligent filters designed for water treatment in the irrigation systems

**Nayeb Aabdollrahmani Razkeh [1] | Arash Mohebbi [2]✉ | Aref Mardani Karani [3]**

1. Biosystems Engineering Department, Faculty of agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: Nayeb.arahmani@yahoo.com
2. Biosystems Engineering Department, Faculty of agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: arash.mech@gmail.com
3. Biosystems Engineering Department, Faculty of agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: aaref.mardani@gmail.com

## Article Info

**Article type:** Research Article

**Article history:**

**Received:** July. 25, 2022

**Revised:** July. 29, 2023

**Accepted:** Sep. 2, 2023

**Published online:** Spring, 2023

**Keywords**:
***Consumption Management, Filter, Irrigation, Purification, Smart System***

## ABSTRACT

In line with the optimal management to water consumption, the usage of irrigation systems equipped with water cleanup systems increased the acceptance of these systems. In this research, a smart filter equipped with automatic self-cleaning technology was constructed. The experimental of this research in the form of a factorial test based on a completely randomized design with three factors working pressure, water quality and the diameter of filter openings with three repetitions in controlled laboratory conditions. The amount of water consumed will be higher for samples containing large amounts of impurities and filters with larger aperture diameters, and using filters with smaller aperture diameters and considering low operating pressure can reduce the amount of water consumed for washing. The results showed that the best quality of purified water (96.3%) and the lowest amount of water used for washing occurred (21.2 L) at a working pressure of 100 kPa, although this has increased the number of filter washing times. Setting the washing process at the beginning of the first point of pressure deviation causes a high amount of water to be purified in each cycle. Setting up the working pressure unit of the smart filter control unit within 100 kPa and using a net with an opening diameter of 0.1 mm reduces the amount of water used to wash (79%) and increases the quality of the treated water (90%), which will allow the use of waters containing large amounts of suspended soluble solid materials.

Cite this article: Abdollrahmani Rakeh, N., Mohebbi, A., Mardani Karani, A., (2023) Performance evaluation of intelligent filters designed for water treatment in the irrigation systems, *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 54 (1), 1-16. https://doi.org/10.22059/ijbse.2023.346018.665491

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijbse.2023.346018.665491

مجله مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۵۴، شماره ۱ شاپا: ۷۸۴۱-۲۴۲۳
Homepage: http://ijbse.ut.ac.ir

# ارزیابی عملکرد فیلتر هوشمند طراحی شده برای تصفیه آب در سامانه‌های آبیاری

**نایب عبدالرحمانی رزکه[۱]، آرش محبی[۲]✉، عارف مردانی کرانی[۳]**

۱. گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، رایانامه: Nayeb.arahmani@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، رایانامه: Arash.mech@gmail.com

۳. گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، رایانامه: aaref.mardani@gmail.com

**اطلاعات مقاله**

**نوع مقاله:** مقالهٔ پژوهشی

**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۱/۵/۳

**تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۲/۵/۷

**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۶/۱۱

**تاریخ انتشار:** بهار ۱۴۰۲

**واژه‌های کلیدی:**
***آبیاری، تصفیه، سامانه هوشمند، فیلتر، مدیریت مصرف.***

**چکیده**

در راستای مدیریت بهینه مصرف آب، استفاده از سامانه‌های آبیاری مجهز به واحد تصفیه آب، باعث افزایش مقبولیت این سامانه‌ها گردیده است. در این پژوهش اقدام به ساخت فیلتر هوشمند مجهز به فناوری خودشوینده خودکار گردید. آزمایش‌های این تحقیق در قالب آزمایش چند عاملی بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه عامل فشار کاری، کیفیت آب و قطر روزنه‌های صافی با سه تکرار در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی انجام گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده، میزان آب مصرفی برای نمونه حاوی مقادیر زیاد ناخالصی و فیلترهایی با قطر روزنه بزرگ‌تر، بیشتر خواهد بود و استفاده از فیلترهای با قطر روزنه‌های کوچکتر و همچنین در نظر گرفتن فشار کارکرد پایین می‌تواند میزان آب مصرفی جهت شستشو را کاهش دهد. بهترین کیفیت آب تصفیه شده (۹۶/۳ درصد) و کم‌ترین میزان آب مصرفی (۲۱/۲ لیتر) برای شستشو در فشار کاری ۱۰۰ کیلوپاسکال رخ داده است هرچند این کار باعث افزایش تعداد دفعات شستشو گردیده است. تنظیم فرآیند شستشو در شروع اولین نقطه انحراف فشار، باعث تصفیه ۹۰ درصد آب دارای ناخالصی در هر دوره می‌گردد. تنظیم فشار کارکرد سامانه شستشوی فیلتر هوشمند در محدوده ۱۰۰ کیلوپاسکال و استفاده از توری با شماره مش توری فیلتر ۰/۱ میلی‌متر باعث کاهش میزان ۷۹ درصد آب مصرفی جهت شستشو و افزایش کیفیت آب تصفیه شده به میزان۹۰ درصد شد که بدین ترتیب، امکان استفاده از آب‌های حاوی مقادیر زیاد مواد جامد معلق را نیز فراهم خواهد نمود.

استناد: عبدالرحمانی رزکه؛ نایب، محبی؛ آرش، مردانی کرانی؛ عارف، (۱۴۰۲) ارزیابی عملکرد فیلتر هوشمند طراحی شده برای تصفیه آب در سامانه‌های آبیاری، *مجله مهندسی بیوسیستم ایران*، ۵۴ (۱)، ۱۶-۱. https://doi.org/10.22059/ijbse.2023.346018.665491

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijbse.2023.346018.665491

## مقدمه

خشکسالی و کم آبی در ایران واقعیتی اقلیمی است و با توجه به روند روز افزون نیاز بخش‌های مختلف به آب، در سال‌های آینده حادتر نیز خواهد شد. براساس گزارش موسسه بین‌المللی مدیریت آب[1]، کشور ایران برای حفظ وضع فعلی باید تا سال ۲۰۲۵، ۱۱۲ درصد به منابع آب قابل استحصال خود اضافه نماید. نیاز روز افزون بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی، شرب، صنعت و غیره، دستیابی به این امر را مشکل و حتی ناممکن نموده است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵).

امروزه با افزایش جمعیت و رشد صنعت، آب‌های غیرمتعارف و کیفیت پایین به عنوان منبع کمکی در بخش کشاورزی و صنعت، برای کاهش مصرف آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از سامانه‌های آبیاری مجهز به سامانه تصفیه، کاربرد این آب‌ها و مشکلات بهداشتی و آلودگی گیاه را کاهش می‌دهد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵؛ تافته و همکاران ۱۳۹۶). در سامانه‌های آبیاری مشکل عمده در نگه‌داری سامانه، گرفتگی گسیلنده‌ها[2] به‌دلیل عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب بوده که شناسایی گسیلنده‌هایی که دچار گرفتگی شده‌اند را با مشکل روبرو می‌نماید (Lopes Muniz *et al.*, 2023; Bove *et al.*, 2015). یکی از دلایل گرفتگی گسیلنده‌ها در آبیاری، مواد جامد معلق با اجزای آلی و غیرآلی در آب هستند (Yavuz *et al.*, 2010; Lopes Muniz *et al.*, 2023). آب قبل از استفاده در سامانه‌های آبیاری باید تصفیه شود تا مشکلات ناشی از گرفتگی در گسیلنده‌ها کاهش یابد (Ramachandrula. & Kasa, 2022). در سامانه‌های آبیاری معمولاً از فیلترهای هیدروسیلکون، فیلتر توری، فیلتر دیسکی و فیلتر شنی استفاده می‌شود (علیزاده، ۱۳۹۴). تصفیه آب از مواد جامد معلق قبل از ورود به سامانه آبیاری باعث انباشته شدن توده زیستی و مواد در سطوح فیلتراسیون گردیده که منجر به گرفتگی فیلترها خواهد شد. شستشوی فیلترها توسط شیرهای تعبیه شده بر روی آن‌ها از اصول نگه‌داری می‌باشد (Zong *et al.*, 2015; Bounoua *et al.*, 2016). عدم آگاهی از زمان دقیق شستشو، هدر رفت آب، اعمال تنش آبی به گیاه و مشکلات گرفتگی گسیلنده‌ها را در پی خواهد داشت.

فیلتراسیون یکی از اجزای کلیدی سامانه‌های آبیاری بوده که مطالعات تجربی در خصوص عملکرد آن‌ها صورت گرفته است (Zong *et al.*, 2015). خصوصیات عملکردی یک فیلتر توسط افت فشار، سرعت افت فشار، اختلاف فشار شستشو، زمان شستشو، مسائل هیدرولیکی و مکانیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد (Dziubak & Boruta, 2021). ویرا[3] و همکاران در سال ۲۰۱۳ ارزیابی فیلتراسیون برای تصفیه آب باران و زمان و کیفیت شستشوی فیلتر را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که فیلتر قابلیت تصفیه آب باران با کیفیت بالا را دارا بوده و بین زمان شستشوی فیلتر در فشارهای مختلف، اختلاف معنی‌داری وجود دارد (Vieira *et al.*, 2013).

در رابطه با بررسی عملکرد فیلترها در سامانه‌های آبیاری و ارائه مدل‌های پیشنهادی در مورد افت فشار فیلترها در زمان کارکرد، نتایج مختلفی بیان شده است که البته در بیشتر این پژوهش‌ها، بررسی فشار زمان شستشوی فیلترها و تأثیر آن بر روند تصفیه آب صورت نگرفته است (Mesquite *et al.*, 2012; Sahin *et al.*, 2012). طی تحقیقی، نتایج نشان داد افزایش فشار در زمان شستشوی فیلتر به نحوی که باعث ایجاد تغییر در فشار کل سامانه آبیاری نگردد، منجر به افزایش عملکرد فیلتر در جهت حذف کامل مواد بر روی غشاء فیلتر خواهد شد (Saparuddin and Eisenring, 2019; Cescon and Jiang, 2020).

بررسی رفتار غیرخطی فیلترهای مورد استفاده در تصفیه آب تحت شرایط واقعی نشان داد که میانگین سن رسوبات تشکیل شده در فیلترها به صورت مستقیم بر فرآیند تصفیه و جداسازی مواد معلق در آب تأثیر می‌گذارد که حذف آن‌ها بسیار مشکل می‌باشد. در طراحی و ساخت فیلترها، فرآیند جداسازی مواد جامد معلق چسبیده به دیواره‌های فیلتر مهم بوده زیرا این مواد باعث افزایش فشار کل سامانه خواهد شد و زمان شستشو را افزایش خواهد داد که مصرف بی‌رویه آب را در پی خواهد داشت (Liu *et al.*, 2022). بررسی کارایی و عملکرد سامانه خودشوینده اتوماتیک در فیلترهای دیسکی برای فشارهای ورودی ۳۰۰ و ۵۰۰ کیلوپاسکال نشان داد گرفتگی فیلتر باعث افزایش فشار سر پمپ گردیده و متناسب با آن دبی خروجی نیز کاهش یافته است. با افزایش فشار، فیلتر به صورت اتوماتیک شستشو گردیده که باعث کارایی مناسب سامانه در تصفیه آب می‌گردد (Vieira *et al.*, 2013). نتایج بررسی افت فشار و زمان شستشوی فیلتر در فیلترهای توری مجهز به سامانه خودتمیزکننده[4] در حین فیلتراسیون آب زلال و آلوده بر روی صفحه توری مشبک براساس آزمون مدل‌های تجربی و تئوری نشان داد که در حالت تصفیه برای آب زلال، حالت کلی افت فشار از طریق رابطه برنولی بین ورودی و خروجی فیلتر به دست می‌آید. زمان شستشو براساس اختلاف فشار و دبی نشان داد که غلظت رسوبات با زمان شستشو در ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد.

---

1. International Water Management Institute (IWMI)
2. Emitter
3. Vieira
4. Backwash

با توجه به تاثیر تغییرات دبی در زمان تصفیه آب توسط فیلتر، زمان بهینه شستشوی فیلتر براساس تغییرات دبی در نظر گرفته شده است. براساس آزمایش‌ها و تجزیه وتحلیل‌های صورت گرفته نتایج نشان داد که مقادیر آزمون تئوری و تجربی به خوبی با هم انطباق داشته‌اند (Qiangqiang *et al.*, 2014). تجهیز فیلترهای توری به سامانه شستشوی خودکار و بررسی آن بر روی افت سامانه نشان داد وقتی فشار به یک آستانه ثابت می‌رسد فیلتر به صورت خودکار عمل شستشو را انجام می‌دهد. خودکارسازی فیلترهای توری، فرآیند شستشوی آن‌ها را آسان نموده ولی مجهز نمودن آن به سامانه خودکار، نیازمند فشار مناسب و بهینه بوده که باید توسط پمپ در زمان کارکرد تامین شود. تأمین فشارهای بالاتر از فشار کارکرد برای شستشو باعث تغییرات در میزان دبی خروجی و نوسانات توزیع آب در سامانه آبیاری خواهد شد. هم‌چنین مدت زمان شستشو نیز مهم بوده چرا که فیلتر در این مدت باید به خوبی تمیز شده باشد و مصرف آب برای عمل شستشو در حداقل میزان ممکن باشد. اختلاف فشار حداقل و حداکثر در انتخاب زمان شستشو، برای جلوگیری از تغییر شکل توری فیلتر و کیفیت تصفیه مهم می‌باشد (Qiangqiang *et al.*, 2014).

تجزیه و تحلیل دو پارامتر موثر بر عملکرد شستشوی خودکار (اختلاف فشار و زمان شستشو) در دو فیلتر توری با یک هندسه و دو صفحه تمیزکننده متفاوت (قطر روزنه‌ها ۱۷۸ و ۱۲۴ میکرومتر) برای دو کیفیت آب (آب لوله‌کشی و مخلوط ماسه)، توسط ژانگ[1] و همکاران مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است که نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد اختلاف معنی‌داری بین دو صفحه تمیزکننده از نظر اختلاف فشار و زمان شستشو وجود دارد. صفحات تمیزکننده دارای روزنه‌های کوچک نسبت به روزنه بزرگ‌تر، زودتر دچار گرفتگی شده که موجب تسریع افزایش فشار گردیده است. همچنین مدت زمان شستشوی فیلترها در روزنه بزرگ‌تر، کم‌تر از روزنه کوچک‌تر بوده است. بر این اساس در این تحقیق قطر روزنه‌های صفحه تمیز کننده فیلترها پارامتر مهمی در خودکار نمودن سامانه شستشو فیلترها می‌باشد (Zong *et al.*, 2019).

نتایج بررسی خصوصیات هیدرولیکی آب برای سه نوع صفحه پخش کننده[2] فیلتر (F1: صفحه استوانه‌ای مشبک، F2: صفحه استوانه مخروطی و F3: صفحات انگشتی‌دار) و اثر آن بر فرآیند خودشویندگی در فیلترهای شنی نشان داد که در هر سه نوع صفحه پخش کننده، افت فشار در سامانه آبیاری با توجه به زمان کارکرد فیلتر صورت گرفته است. وجود صفحات پخش کننده در جهت تسریع فرآیند شستشوی معکوس فیلترها مناسب ارزیابی شده است هرچند که در فیلتر دارای صفحات انگشتی‌دار (F3) بدلیل وجود انگشتی عملکرد بهتری نسبت به دو نوع صفحه دیگر داشته است. از مشکلات موجود در سامانه مورد ارزیابی وجود شن در مخزن فیلتر بوده که در شستشوی بهتر فیلتر و کیفیت آب تصفیه شده اختلال ایجاد می‌کند. طراحی فیلتر هوشمند که قابلیت تصفیه آب بدون نیاز به استفاده از شن در مخزن تصفیه، مشکل فرآیند کامل شستشو و کیفیت آب تصفیه شده در فیلترهای فوق را برطرف خواهد نمود (De Deus *et al.*, 2020a).

در تحقیقی که توسط غفاری[3] و همکاران انجام شده است، ارزیابی عملکرد فیلترهای دیسکی مجهز به سامانه شستشوی خودکار بررسی گردیده و نقاط ضعف و قوت آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش راندمان کاربرد آب و بهبود مدیریت مصرف آب، دو شاخص مهم در این نوع از فیلترها می‌باشند. همچنین بررسی‌ها نشان داد که بهترین حالت شستشوی فیلترهای خودکار، ترکیبی از روش شستشوی با فواصل زمانی منظم و اختلاف فشار ایجاد شده در اثر گرفتگی می‌باشد (غفاری و همکاران، ۱۳۹۴).

مطالعه‌ی میلستین و فلیدلیته[4] (۲۰۱۵) به بررسی اثرات خودشویندگی و عملکرد تصفیه آب در فیلترهای توری پرداخته است. در این تحقیق، برای بهینه نمودن آب، آب برگشتی از شستشوی فیلترها دوباره به مسیر تصفیه انتقال داده می‌شود. نتایج این تحقیق نشان داد استفاده مجدد از آب برگشتی جهت شستشوی فیلترها و انتقال آن به مخزن تصفیه آب باعث بهینه شدن مصرف آب می‌گردد، اما مشکل گرفتگی صفحات فیلتر را افزایش می‌دهد. همچنین چنانچه قبل از انتقال، آب برگشتی شستشوی فیلترها به مخزن فیلتراسیون در مخزن حرارت‌دهی ذخیره گردد باعث تصفیه آب به میزان ۱۰ درصد از ناخالصی‌های بزرگ خواهد گردید. علاوه بر این، در مخزن حرارت‌دهی تعبیه شده برای ذخیره آب برگشتی، غلظت ذرات آب کاهش و باعث تبخیر قطرات آب گردیده که باعث ایجاد پدیده خوردگی در فیلتراسیون و سامانه آبیاری شده است. حرارت دادن آب ضمن افزایش هدر رفت انرژی باعث ایجاد تغییرات در کیفیت آب آبیاری خواهد شد و حذف مواد معلق از طریق ته‌نشین شدن، مستلزم راکد کردن آب حداقل نیم ساعت قبل از بازگشت آب به مخزن است که برای انتقال این آب به سامانه فیلتراسیون باید حجم مخزن را افزایش داد و همچنین نیاز به مکانیسمی جهت انتقال آب به سامانه می‌باشد چرا که برگشت

1. Zong
2. Diffuser Plate
3. Ghaffari
4. Milstein & Feldlite

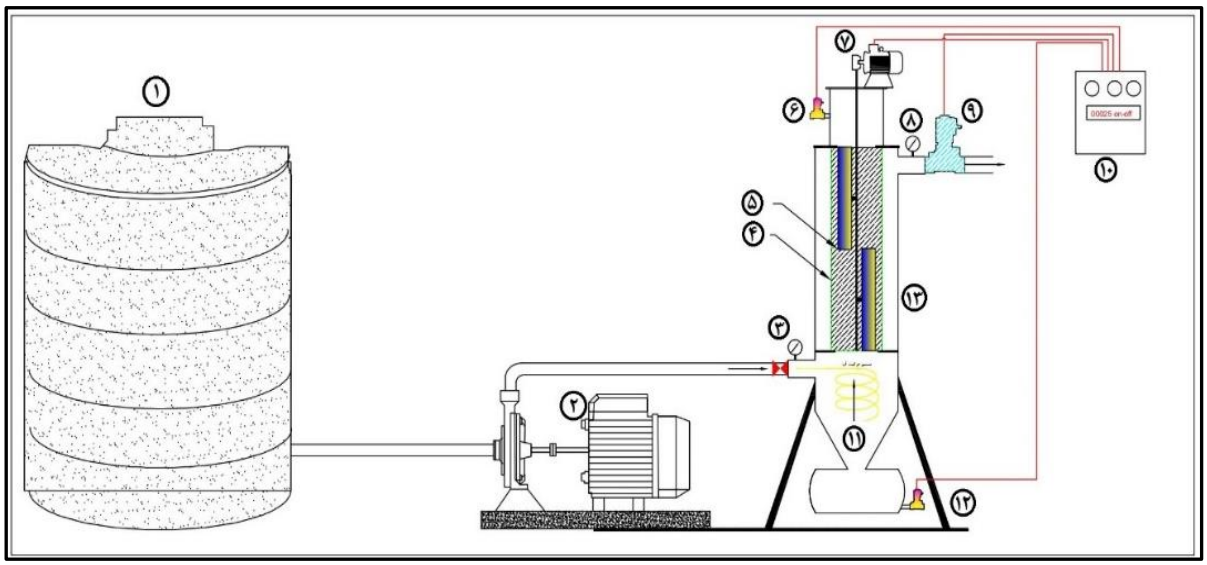
آب به سامانه، گامی موثر در مدیریت مصرف و بهینه نمودن انتقال آب است (Milstein & Feldlite, 2015).

با عنایت به بررسی‌های فوق، مشخص می‌شود عمده مطالعاتی که در بخش ارزیابی فیلترها در کشور صورت گرفته، پیرامون کاربرد فیلترهای مرسوم در بازار بوده و کم‌تر به بررسی فیلترهای نوین و هوشمند پرداخته شده است. با توجه به توسعه سامانه‌های آبیاری و با هدف کاهش مصرف آب، مشکلاتی نظیر گرفتگی گسیلنده‌ها از یک سو و کمبود مطالعات مرتبط از سوی دیگر اهمیت مطالعه در این بخش را دو چندان نموده است. بنابراین هدف از انجام این پژوهش، ساخت سامانه فیلتراسیون هوشمند بوده تا از طریق آن، گرفتگی گسیلنده‌ها به حداقل رسیده و همچنین هزینه‌های تمام شده سامانه و مصرف آب در هنگام شستشو بهینه گردد.

## مواد و روش‌ها

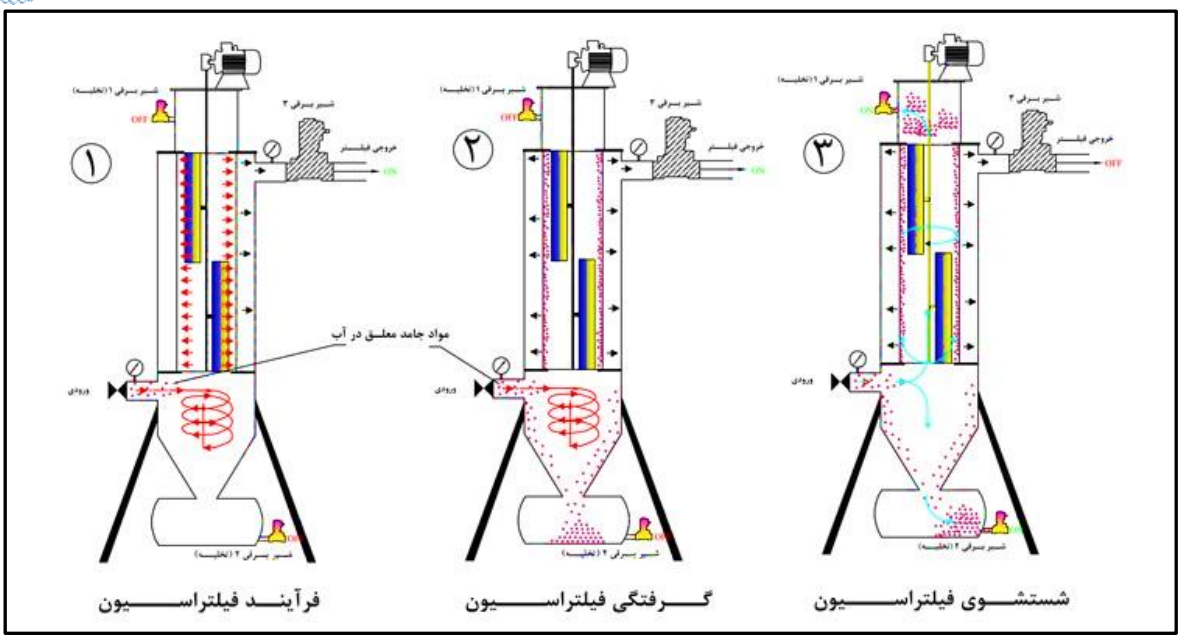
### ساختار فیلتر و اصول کارکرد آن

اجزای تشکیل دهنده فیلتر هوشمند از هیدروسیکلون، محفظه فیلتراسیون، ورودی و خروجی، جاروبک‌های تمیز کننده، توری فیلتر، شیرهای برقی، سوئیچ فشار[1] و الکتروموتور تشکیل شده است (شکل ۱). اصول کار سامانه بدین ترتیب است که آب حاوی مواد جامد معلق از طریق پمپ به داخل فیلتر پمپاژ می‌شود. با برخورد آب حاوی مواد معلق به سطح توری، ذرات بزرگ‌تر از منافذ توری، در محفظه فیلتر توری باقی‌مانده و آب بدون مواد معلق از طریق خروجی به بیرون انتقال داده می‌شود (شکل ۲(۱)). در حالت اولیه که سطح توری مسدود نشده است و اختلاف فشاری توسط سوئیچ فشار نشان داده نمی‌شود شیر برقی شماره یک نصب شده بر روی خروجی فیلتراسیون در حالت باز قرار دارد (شکل ۲(۲)). گرفتگی فیلتر توری باعث اختلاف فشار بین ورودی و خروجی فیلتر خواهد شد که این اختلاف فشار آستانه شروع شستشوی فیلتر می‌باشد. با رسیدن اختلاف فشار به محدوده تنظیم شده توسط سوئیچ فشار، شیر برقی نصب شده بر روی خروجی فیلتراسیون در حالت بسته قرار خواهد گرفت و در همین زمان دو عدد شیر برقی نصب شده برای خروج رسوبات باز خواهند شد و آب با نرخ جریان بالا (چهار لیتر در ثانیه) ضمن شستشوی فیلتر، مواد معلق را به خارج از محفظه فیلتر هدایت خواهد نمود. برای آن دسته از موادی که بر روی سطح توری گرفتار شده‌اند الکتروموتور نصب شده بر روی فیلتر با اعمال حرکت دورانی به جاروبک‌ها و چرخاندن آن‌ها باعث شستشوی فیلتر خواهد شد (شکل ۲(۳)). با کاهش اختلاف فشار، شیرهای تخلیه (شیر برقی شماره ۲ و ۳) بسته و شیر خروجی (شیر برقی شماره ۱) باز خواهد شد و چرخه فیلتراسیون بعدی شروع خواهد شد (شکل ۲(۱)). آب حاوی مواد معلق، به منابع رسوب‌گیر انتقال داده خواهد شد تا در چرخه آبیاری، بدون هدر رفت آب و عمل توقف سامانه مورد استفاده قرار گیرد.




**شکل ۱. نمای کلی از سامانه فیلتر هوشمند طراحی شده و جزئیات آن (۱- مخزن آب، ۲- الکتروپمپ، ۳- سوئیچ فشار ورودی، ۴- توری فیلتر، ۵- جاروبک‌ها، ۶- شیربرقی شماره ۲ تخلیه، ۷- الکتروموتور، ۸- سوئیچ فشار خروجی، ۹- شیربرقی شماره ۱ (خروجی)، ۱۰- واحد کنترل، ۱۱- محفظه هیدروسیکلون، ۱۲- شیر برقی شماره ۳ تخلیه**

1. Pressure switch




**شکل ۲. نحوه کار فیلتر هوشمند و عمل تصفیه آب**

### طراحی و ساخت فیلتراسیون

در سامانه‌های آبیاری تحت فشار، برای تعیین ابعاد فیلتراسیون، فشار کارکرد و دبی لازم برای کل سامانه آبیاری نیاز است که این مقادیر با استفاده از روابط طراحی سامانه‌های آبیاری محاسبه می‌شوند، بنابراین با نیل به اینکه فشار کارکرد در طراحی یک سامانه آبیاری قطره‌ای با قطره‌چکان تا محدوده چهار اتمسفر و دبی چهار لیتر در ثانیه لازم است اقدام به طراحی ابعاد فیلتراسیون گردید (علیزاده، ۱۳۹۴). هم چنین بر اساس فرضیات اولیه، آب دارای دمای ۲۰ درجه سلسیوس در محیط، چگالی ۹۹۹/۷ کیلوگرم بر مترمکعب و ویسکوزیته معین می‌باشد.

سامانه‌های فیلتراسیون مرسوم در بازار برای تصفیه آب در سامانه‌های آبیاری تحت فشار از چندین قسمت (هیدروسیکلون، فیلتر شن، فیلتر دیسکی و فیلتر توری) تشکیل شده است. برای دست‌یابی به عملکرد بالای تصفیه آب و ادغام نمودن اصول تصفیه هر یک از فیلترهای مرسوم، طراحی و ساخت فیلتراسیون هوشمند صورت گرفت.

هدف از طراحی فیلتراسیون، در وهله اول اعمال حرکت گریز از مرکز به سیال بوده که باعث برخورد ذرات معلق به دیواره و جدا سازی آن از سیال می‌گردد. بررسی الگوی جریان مایع، افت فشار و قدرت جداسازی ذرات از سیال که در نهایت منتج به ارائه ابعاد مربوطه می‌گردد مهم است. هم چنین فیلتر برای عملکرد مناسب نیاز به افت فشار مشخصی دارد که وابسته به ساختار و ظرفیت آن است. بر اساس قانون بقای ممنتوم زاویه‌ای، سرعت مماسی با کاهش شعاع افزایش می‌یابد. برای جداسازی ذرات جامد از سیال، به سرعت مماسی بالا نیاز است. بنابراین سطح داخل محفظه فیلتر باید بسیار صاف و هموار باشد تا از اتلاف ناشی از اصطکاک و آشفتگی جلوگیری شود. برای بررسی رفتار هیدرودینامیکی سیال و الگوی جریان آن از معادلات ناویر استوکس استفاده می‌شود (Yinnian & Yanren, 2011). برای حل معادله ناویر استوکس از آن معادله میانگین زمانی گرفته می‌شود که در نتیجه آن نوسانات آشفتگی جریان با فرض مستقل بودن V از z، حذف می‌شود (Yinnian & Yanren, 2011) (رابطه ۱).

رابطهٔ ۱)

$$\lambda = \frac{U}{U_0}\frac{1}{\sigma}\frac{d\phi}{d\sigma} + \left[\frac{d}{d\sigma}\left(\frac{1}{\sigma}\frac{d\phi}{d\sigma}\right)\right] = 0$$

که در آن λ: عدد رینولدز، U: سرعت شعاعی سیال (m/s)، ϕ: رفتار هیدرودینامیکی سیال، σ: تنش برشی (نیوتن بر مترمربع) می‌باشد. با در نظر گرفتن سه شرط مرزی به شرح: ۱) در دیواره محفظه (σ = ۱ و ϕ = ۱)، ۲) در هسته محفظه (σ = σ ۱=0) و ۳) ثابت درنظر گرفتن سرعت شعاعی در تمام حجم داخل هیدروسیکلون (U=U1=0) ، معادله نهایی به شرح رابطه (۲) برای محاسبه ابعاد محفظه فیلتراسیون به دست می‌آید (Ferrer Willden, 2011).

رابطهٔ ۲)
$$\phi = C_1 - C_2 e^{-\sigma\lambda} + \left(\frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\lambda^2}\right)$$

اساس محاسبه افت فشار در فیلتر، اندازه‌گیری سرعت مماسی است. با توجه به تغییر عدد رینولدز و شعاع هسته گازی ایجاد شده در مرکز فیلتراسیون، محاسبه این سرعت غیرممکن است. افت فشار در محفظه فیلتر از رابطه (۳) قابل محاسبه است (Graciano-Uribe *et al.*, 2021).

رابطهٔ ۳)
$$G = \frac{(\Delta P)_t}{\frac{1}{2}V_0^2} - G\left(\frac{b}{D}, \frac{e}{D}, \frac{u}{D}, \frac{L_1}{D}, \frac{L_2}{D}, \frac{l}{D}, \mathrm{Re}_{inlet}, C, a, \frac{gD}{\frac{1}{2}V_0^2}\right)$$

که در آن G: افت فشار (متر)، D: قطر محفظه فیلتر (متر)، b: قطر ورودی فیلتر (متر)، e: قطر خروجی (متر)، u: قطر نازل خروجی (متر)، L1: طول قسمت استوانه‌ای محفظه فیلتر (متر)، L2: طول قسمت مخروطی (متر)، l: طول قسمت گرادبه (متر)، Reinlet: عدد رینولدز، C: غلظت ذرات جامد در سیال (گرم بر لیتر)، α: شیب محور (درصد) و g: شتاب گرانش (متر بر مجذور ثانیه) می‌باشد. در عمل همواره افت فشار استاتیکی درون محفظه فیلتراسیون در مقایسه با افت فشار استاتیکی در اثر گرانش مقدار بسیار بیشتری می‌باشد. بنابراین از وابستگی افت فشار کل ($\frac{gD}{\frac{1}{2}V_0^2}$) صرف‌نظر خواهد شد (Graciano-Uribe *et al.*, 2021).

جداسازی در قسمت تحتانی فیلتراسیون در اثر نیروی گریز از مرکز ناشی از سرعت مماسی جریان ورودی صورت می‌پذیرد، به‌دلیل تفاوت چگالی ذرات جامد با آب، این ذرات دارای سرعت شعاعی متفاوتی نسبت به سرعت شعاعی آب می‌باشند. برای محاسبه سرعت شعاعی ذرات نسبت به سرعت شعاعی آب از رابطه (۴) استفاده می‌شود (Tafarojnoruz & Lauria, 2020).

رابطهٔ ۴)
$$G = \left(\frac{d_{50}^2 \Delta P V^2}{18\eta r}\right)$$

که در آن ΔP: اختلاف چگالی ذرات جامد و آب ($kg/m^3$)، V: سرعت مماسی (m/s)، η: ویسکوزیته دینامیکی آب (kg/m.s) و r: ضخامت شعاعی (متر) فیلتراسیون می‌باشد. کوتاه در نظر گرفتن ارتفاع گردابه محفظه فیلتر باعث افزایش قطر محفظه و ارتفاع فیلتراسیون خواهد شد. با مشخص شدن ابعاد فیلتراسیون ( قطر گردابه و ارتفاع فیلتر)، سایر ابعاد فیلتر از طریق جداول ارائه شده در پژوهش‌های صورت گرفته قابل محاسبه است (Graciano-Uribe et al., 2021). بر این اساس، ارتفاع فیلتر ۷۴۰ میلی‌متر و ورودی و خروجی فیلتراسیون به ترتیب ۹۰ و ۶۳ میلی‌متر به دست آمد. تمامی مراحل طراحی و ساخت فیلتر و در نظر گرفتن پارامترهای موثر بر طراحی براساس استاندارد (ISO 18471:2020) صورت گرفته است که شکل ۳ سامانه ساخته شده را نشان می‌دهد. برای ذخیره آب و مهیا نمودن نمونه‌های آبیاری از یک منبع ۷۰۰ لیتری استفاده شد. برای تأمین دبی مورد نیاز (۴ لیتر در ثانیه) از یک الکتروپمپ ۲ اینچ با دبی ۱۴ مترمکعب بر ساعت استفاده گردید.

**شکل ۳. سامانه فیلتراسیون ساخته شده برای ارزیابی عملکرد آن در خصوص تصفیه آب**

**تهیه مواد جامد معلق در آب**

مطالعات نشان می‌دهد عمده گرفتگی در سامانه‌های آبیاری، ذرات سیلت و ماسه بوده که تأثیر منفی بر عملکرد فیلتراسیون دارند. بنابراین برای تهیه مواد جامد معلق در آب اقدام به نمونه برداری ماسه از بستر رودخانه نازلو چای در فروردین ماه ۱۴۰۱ در منطقه ارومیه گردید. نمونه‌های جمع‌آوری شده به آزمایشگاه انتقال و سپس با عمل غربالگری توسط الک شماره ۰/۳۵ میلی‌متر مشخص شد ذرات با اندازه کوچک‌تر از ۰/۳۵ میلی‌متر از جنس سیلت و ماسه، ۷۰ درصد از کل مواد را تشکیل می‌دهند. برای تهیه مواد جامد معلق، از ذرات با قطر کم‌تر از ۰/۳۵ میلی‌متر جهت استفاده در تهیه نمونه آب استفاده گردید.

**توری فیلتراسیون**

با توجه به اندازه ذرات ماسه تهیه شده از بستر رودخانه، برای انجام آزمایش از سه عدد توری با شماره مش ۰/۱، ۰/۲، و ۰/۳ میلی‌متر استفاده شد. در هر سری آزمایش، توری موردنظر بر روی استوانه مشبک به قطر ۲۴ سانتی‌متر و ارتفاع ۷۴ سانتی‌متر نصب شده است.

**تهیه نمونه‌های آب**

برای تهیه نمونه آب حاوی مواد جامد معلق (ذرات سیلت و ماسه) از یک مخزن ۷۰۰ لیتری استفاده گردید. با توجه به این که برای آزمایش به سه نمونه ۴ درصد، ۸ درصد و ۱۲ درصد مواد معلق نیاز بود بنابراین با در دسترس بودن وزن آب داخل مخزن، به نسبت آن، مواد آماده شده از جنس سیلت و ماسه، توزین و به مخزن آب اضافه می‌گردید. هم چنین برای عمل همزنی داخل مخزن، لوله برگشت آب از فیلتراسیون به کف مخزن انتقال داده شد که در زمان شروع پمپاژ، آب با فشار بالا به کف مخزن وارد شده و باعث تلاطم آبی می‌گردید (همزنی هیدرولیکی). یکی از نکات اصلی در زمان تهیه آب با ناخالصی موردنظر، باقی‌مانده مواد جامد معلق از چرخه فیلتراسیون قبلی خواهد بود که با اندازه‌گیری رسوبات تخلیه شده از سامانه، از وزن کلی رسوبات اضافه شده کسر و در نمونه بعدی لحاظ می‌گردد.

**اندازه‌گیری مواد جامد معلق (TSS)[1] در آب تصفیه شده و مقدار آب مصرفی برای شستشو**

مقدار مواد جامد معلق در آب بر اساس وزن خشک ذرات باقیمانده در آب تصفیه شده اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری مواد جامد معلق در آب یک پارامتر کیفیت آب بوده که برای ارزیابی کیفیت آب‌های مورد استفاده در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد و بر حسب درصدی از مواد جامد باقیمانده در آب بیان می‌گردد (Tyagi *et al.*, 2013). در پژوهش حاضر کیفیت آب تصفیه شده تابعی از مقدار مواد باقیمانده در آب است. برای اندازه‌گیری مواد جامد معلق باقیمانده در آب تصفیه شده، اقدام به نمونه برداری آب خروجی از فیلتر و ذخیره آن در ظروف آزمایشگاهی با حجم معین و در فواصل زمانی معین گردید. نمونه‌های تهیه شده به مدت یک ساعت در محیط قرار داده شد تا مواد معلق ته‌نشین گردند. پس از ته‌نشین شدن مواد معلق، قسمت بالایی آب که دارای حداقل ناخالصی است با عبور دادن از صافی، جدا گردید. سپس باقی‌مانده آب که دارای حداکثر ناخالصی بود از صافی عبور داده شد. ناخالصی به همراه صافی موردنظر در محیط قرارداده شد تا خشک شوند. بعد از خشک شدن، مقدار ناخالصی به دست آمده توزین گردید و با نسبت دادن آن به حجم آب نمونه‌برداری شده، درصد ناخالصی موجود در آب محاسبه و از طریق آن، کیفیت آب تصفیه شده بر حسب درصدی از مواد جامد باقیمانده در آب تصفیه شده تعیین گردید. هم چنین برای اندازه‌گیری مقدار آب مصرف شده در هر دوره فرآیند شستشوی فیلتراسیون، از دو عدد کنتور حجمی آب در قسمت‌های تخلیه استفاده شد که در هر تکرار، اقدام به قرائت و ثبت داده‌های آن خواهد شد.

**مراحل آزمایش و نمونه برداری**

مطابق شکل ۳ فیلتر طراحی شده، نصب و راه‌اندازی گردید. سپس توری شماره یک در داخل محفظه فیلتراسیون قرار داده شد. آزمایش‌های این تحقیق مطابق با پژوهش شی[2] و همکاران (۲۰۲۱) در قالب یک آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح ساده کاملاً تصادفی در قالب سه فاکتور فشار کاری در سه سطح (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوپاسکال)، نمونه آب در سه سطح (میزان رسوبات در آب در سه سطح ۴ درصد، ۸ درصد و ۱۲درصد) و در سه سطح شماره مش توری فیلتر (۰/۱ و ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌متر) با سه تکرار در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی انجام شد و صفات حجم کل آب مصرف شده برای شستشو و کیفیت آب تصفیه شده اندازه‌گیری شد. اندازه مش‌های استفاده شده در این آزمایش بر مبنای اندازه مش‌های فیلترهای نصب شده برای اکثر سیستم‌های فیلتراسیون انتخاب شده است. بنابراین تعداد کل تیمارهای آزمایشی۲۷ و تعداد کل آزمایشات، ۸۱ آزمایش بوده است. آنالیز واریانس داده‌ها و سپس مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی در سطوح معنی‌دار ۱ و ۵

1.Total Suspended Solids
2. Shi

درصد در نرم‌افزار SAS انجام گردید.

## نتایج و بحث

### بررسی کیفیت آب تصفیه شده

نتایج تجزیه واریانس کیفیت آب تصفیه شده تحت تأثیر عوامل فشار کاری، نمونه آب و شماره مش توری فیلتر در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد اختلاف معنی‌داری بین فشار کارکرد، نمونه آب و شماره مش توری فیلتر در سطح ۵ درصد بر روی کیفیت آب تصفیه شده وجود دارد. همچنین اثرات متقابل هر سه پارامتر بر روی کیفیت آب تصفیه شده، معنی‌دار بوده است.

**جدول ۱. تجزیه واریانس کیفیت آب تصفیه شده تحت تأثیرعوامل فشار کارکرد، نمونه آب و شماره مش توری فیلتر**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | $F_t$ | P value |
|---|---|---|---|---|
| فشار کارکرد | ۲ | ۵۹۸/۴۵ | ۹۰/۱ | <۰۰۰۱/ |
| شماره مش توری فیلتر | ۲ | ۵۵۵/۴۱ | ۸۳/۶۲ | <۰۰۰۱/ |
| نمونه آب | ۲ | ۲۷/۹۳ | ۴/۲۱ | ۰/۰۲۰۱ |
| فشارکارکرد * شماره مش توری فیلتر | ۴ | ۸۷/۵۱ | ۱۳/۸ | <۰۰۰۱/ |
| فشارکارکرد * نمونه آب | ۴ | ۷۶/۴۷ | ۱۱/۵۱ | <۰۰۰۱/ |
| شماره مش فیلتر * نمونه آب | ۴ | ۱۲۱/۸ | ۱۸/۳۴ | <۰۰۰۱/ |
| فشارکارکرد * شماره مش توری فیلتر * نمونه آب | ۸ | ۲۷/۳۰ | ۴/۱۱ | ۰/۰۰۰۷ |
| خطا | ۵۴ | | | |
| کل | ۸۰ | | | |

### بررسی تأثیر فشار کارکرد بر کیفیت آب تصفیه شده

نتایج تجزیه واریانس نشان داد مقدار فشار کارکرد برای شروع عملیات شستشوی هوشمند فیلتراسیون بر کیفیت آب تصفیه شده معنی‌دار است. همچنین مقایسه میانگین داده‌های به دست آمده نشان داد که بین فشار کارکرد ۳۰۰ و ۲۰۰ کیلوپاسکال با فشار کارکرد ۱۰۰ کیلوپاسکال اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بیشترین کیفیت آب تصفیه شده به فشار کارکرد ۱۰۰ کیلوپاسکال با ۸۹/۷۰ درصد و کم‌ترین کیفیت آب تصفیه شده به فشار کارکرد ۲۰۰ کیلوپاسکال با مقدار ۸۱/۳۷ درصد تعلق دارد. هم چنین حد میانه کیفیت آب تصفیه شده متعلق به فشار کارکرد ۳۰۰ کیلوپاسکال با مقدار ۸۱/۷۴ درصد است. تنظیم نمودن شروع زمان شستشو در محدوده‌های پایین فشار کارکرد باعث تسریع زمان شروع شستشوی فیلتر خواهد شد و به‌خاطر عدم عبور ناخالصی‌ها از توری فیلتر باعث افزایش کیفیت آب تصفیه گردیده است (De Deus *et al.*, 2020(a); Broukaert, 2004).

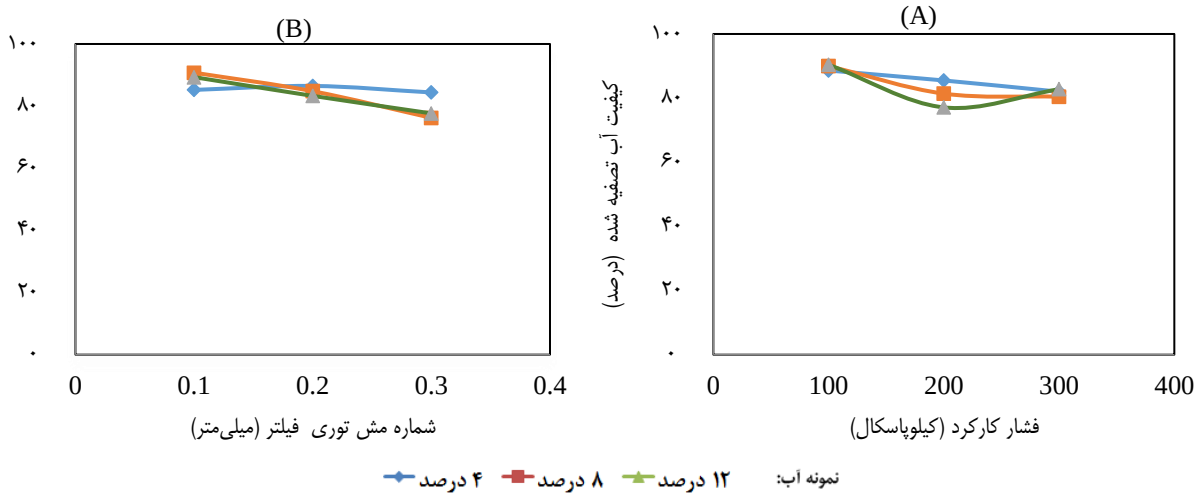
### بررسی تأثیر شماره مش توری فیلتر بر کیفیت آب تصفیه شده از فیلتراسیون

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اندازه مش توری فیلتر بر کیفیت آب تصفیه شده از فیلتراسیون معنی‌دار است. مقایسه میانگین داده‌های به دست آمده نشان داد که هرچه مش‌بندی توری فیلتر فیلتراسیون کوچک‌تر باشند میزان آب تصفیه شده از فیلتر نیز دارای کیفیت بالاتری خواهد بود. بیشترین کیفیت آب تصفیه شده، مربوط به توری با روزنه ۰/۱ میلی‌متر با مقدار ۸۸/۴۴ درصد و کم‌ترین مقدار مربوط به روزنه ۰/۳ میلی‌متر با مقدار ۷۹/۴۴ درصد تعلق دارد. طبق نتایج محققین، منافذ کوچک فیلتر نسبت به منافذ بزرگ، زودتر دچار گرفتگی خواهند شد. گرفتگی زودتر منافذ فیلتر باعث تسریع در فرآیند شستشو خواهد شد که باعث افزایش کیفیت تصفیه آب خروجی گردیده است (Zong *et al.*, 2019).

### بررسی اثرات متقابل فشار کارکرد، نمونه آب و شماره مش توری فیلتر بر کیفیت آب تصفیه شده

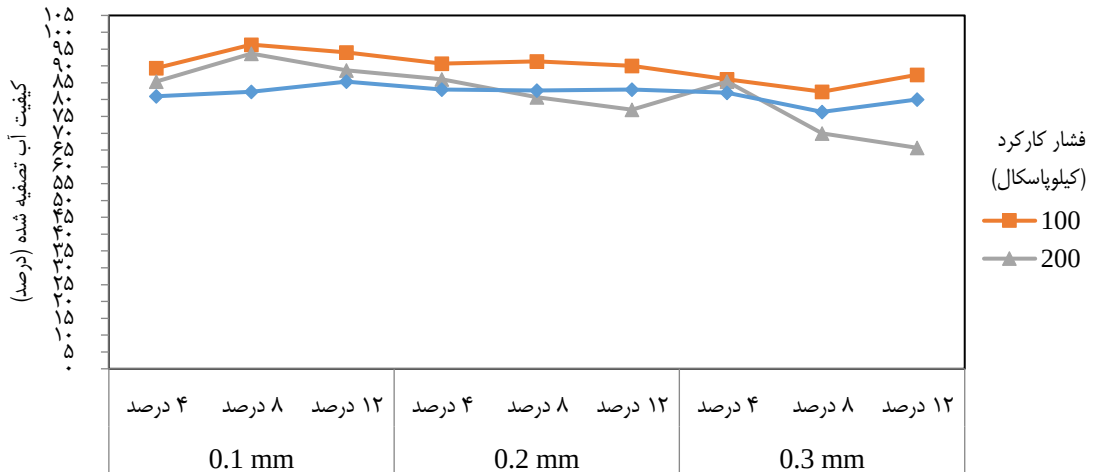
با استفاده از نتایج تجزیه واریانس، اثرات فشار کارکرد و مقدار ناخالصی بر کیفیت آب تصفیه شده معنی‌دار مشاهده گردیده است. مقایسه میانگین داده‌های به دست آمده طبق نمودار شکل ۴ (A) نشان می‌دهد کم‌ترین فشار کارکرد شروع فرآیند شستشو باعث افزایش کیفیت آب تصفیه شده خواهد شد. بیشترین کیفیت آب تصفیه شده در فشار ۱۰۰ کیلوپاسکال برای هر سه نمونه آب مشاهده گردیده و کم‌ترین مقدار کیفیت آب تصفیه شده در فشار کارکرد ۲۰۰ کیلوپاسکال برای نمونه ۸ درصد مواد جامد معلق با مقدار ۷۷/۱۱ درصد تعلق دارد.

استفاده از آستانه افت فشار جهت هوشمند سازی فیلتر بر کیفیت آب تصفیه شده مؤثر خواهد بود زیرا پایین بودن آستانه فشار برای شروع فرآیند شستشو و کم بودن میزان رسوبات آبی باعث افزایش کیفیت آب تصفیه شده خواهد شد (Qiangqiang *et al.*, 2014). در بررسی نتایج مشاهده شد که تأثیرات اندازه منافذ توری فیلتر و مقدار مواد معلق در آب بر روی کیفیت آب تصفیه شده معنی‌دار گردیده است. همان طور که از شکل ۴ (B) قابل مشاهده است بهترین کیفیت آب تصفیه شده مربوط به قطر روزنه ۰/۱ میلی‌متر و نمونه آب با ۸ درصد ناخالصی با مقدار ۹۲/۱ درصد می‌باشد و کم‌ترین میزان کیفیت به نمونه آب با ۸ درصد ناخالصی با مقدار ۷۶/۲ درصد تعلق دارد.




**شکل ۴. اثر متقابل فشار کارکرد (A)، شماره مش توری فیلتر (B) و نمونه آب بر کیفیت آب تصفیه شده**

اثرات متقابل روزنه‌های فیلتر، فشار کارکرد و میزان رسوبات آبی بر کیفیت آب تصفیه شده در شکل ۵ نشان داده شده است. همان طور که قابل مشاهده است بیشترین کیفیت آب تصفیه شده مربوط به نمونه آب با ناخالصی ۸ درصد برای روزنه ۰/۱ میلی‌متر در فشار کارکرد ۱۰۰ کیلوپاسکال تعلق دارد و کم‌ترین کیفیت آب تصفیه شده به نمونه آب با ناخالصی ۱۲ درصد برای روزنه ۰/۳ میلی‌متر در فشار کارکرد ۲۰۰ کیلوپاسکال تعلق دارد. نتایج نشان می‌دهد افزایش روزنه‌های فیلتر و فشار کارکرد، باعث کاهش کیفیت آب تصفیه شده خواهد شد زیرا در طی مدت شستشو چنان‌چه آستانه شروع فرآیند در فشار کارکرد بالا صورت گیرد، مواد وارد شده به ورودی فیلتر، در سطح داخلی فیلتر انباشته شده و ناخالصی‌هایی با اندازه ذرات کوچک‌تر از اندازه منافذ فیلتر، از فیلتر عبور می‌کنند که باعث رد شدن رسوبات از فیلتر و کاهش کیفیت آب تصفیه شده خواهد شد (De Vito *et al.*, 2019). میزان رسوبات آبی نمی‌تواند بر کیفیت آب تصفیه شده در فیلترهای هوشمند موثر باشد زیرا گرفتگی منافذ توری فیلتر هوشمند سبب شروع فرآیند شستشو خواهد شد (Kulmatov, 2020). برخلاف فیلترهای هوشمند، در فیلترهای مرسوم در بازار که به شیوه دستی شستشو می‌گردند، میزان رسوبات آب بر کیفیت آب تصفیه شده مؤثر است. افزایش رسوبات معلق در آب باعث افزایش تعداد شستشو گردیده و به تبع آن، افزایش مصرف انرژی را در پی خواهد داشت.




**شکل ۵. اثر متقابل شماره مش توری فیلتر، فشار کارکرد و نمونه آب بر کیفیت آب تصفیه شده**

**بررسی میزان آب مصرفی برای شستشوی فیلتراسیون**

تجزیه واریانس نتایج مربوط به میزان آب مصرفی برای شستشوی فیلتراسیون در زمان کارکرد، تحت تأثیر عوامل فشار کارکرد، روزنه‌های توری فیلتر و مقدار رسوبات آب و اثرات متقابل آنها در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین فشار کارکرد و نمونه آب در سطح ۱ و ۵ درصد و اثرات متقابل فشار کارکرد و نمونه آب بر روی مقدار آب مصرف شده و نیز اثر متقابل فشار کارکرد با شماره مش توری فیلتر جهت شستشوی فیلتراسیون وجود دارد.

**جدول ۲. تجزیه واریانس میزان آب مصرف برای شستشوی فیلتراسیون تحت تأثیر عوامل فشار کارکرد، نمونه آب و شماره مش توری فیلتر**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | $F_t$ | P value |
|---|---|---|---|---|
| فشار کارکرد | ۲ | ۳۲۴۹/۶ | ۱۱۹/۲ | <۰۰۰۱/ |
| شماره مش فیلتر | ۲ | ۱۱۴/۷۸ | ۴/۲۱ | ۰/۰۲۰۰ |
| نمونه آب | ۲ | ۷۷۵۴/۱ | ۲۸۴/۴۲ | <۰۰۰۱/ |
| فشارکارکرد * شماره مش فیلتر | ۴ | ۸۳/۷۶ | ۳/۰۷ | ۰/۰۲۳۷ |
| فشارکارکرد * نمونه آب | ۴ | ۱۰۱۴/۴ | ۳۷/۲۱ | <۰۰۰۱/ |
| شماره مش فیلتر * نمونه آب | ۴ | ۳۱/۷ | ۱/۱۵ | ۰/۳۳۷۲ |
| فشارکارکرد * شماره مش فیلتر * نمونه آب | ۸ | ۳۲/۱ | ۱/۱۶ | ۰/۰۱۸۹ |
| خطا | ۵۴ | | | |
| کل | ۸۰ | | | |

**بررسی تأثیر فشار کارکرد بر میزان آب مصرف شده جهت شستشوی فیلتراسیون**

نتایج تجزیه واریانس نشان داد فشار کارکرد جهت شروع فرایند شستشو بر روی میزان آب مصرفی معنی‌دار است. مقایسه میانگین داده‌های به دست آمده نشان داد که در بین سه فشار کارکرد ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوپاسکال، اختلاف معنی‌داری وجود دارد. از روی داده‌های بررسی شده مشخص شد که کم‌ترین آب مصرف شده مربوط به فشار کارکرد ۱۰۰ کیلوپاسکال و به مقدار ۲۷/۰۵ لیتر است و بیشترین مقدار آب مصرفی نیز به فشار کارکرد ۳۰۰ کیلوپاسکال با مقدار ۴۸/۰۷ لیتر تعلق دارد. نتایج نشان می‌دهد هرچند پایین بودن فشار سبب تعدد فرآیند شستشو خواهد شد اما فشارهای بالا، زمان‌های شستشو را افزایش خواهند داد و باعث افزایش میزان آب مصرفی خواهد شد. این یافته‌ها با نتایج شی و همکاران (۲۰۲۱) و دِدئوس[1] و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت داشته است به گونه‌ای که شروع اولین نقطه عطف اختلاف فشار برای شروع فرآیند شستشو، باعث افزایش تعداد دفعات شستشو گردیده اما مصرف کل آب برای شستشو با توجه به زمان کم شستشو کاهش یافته است.

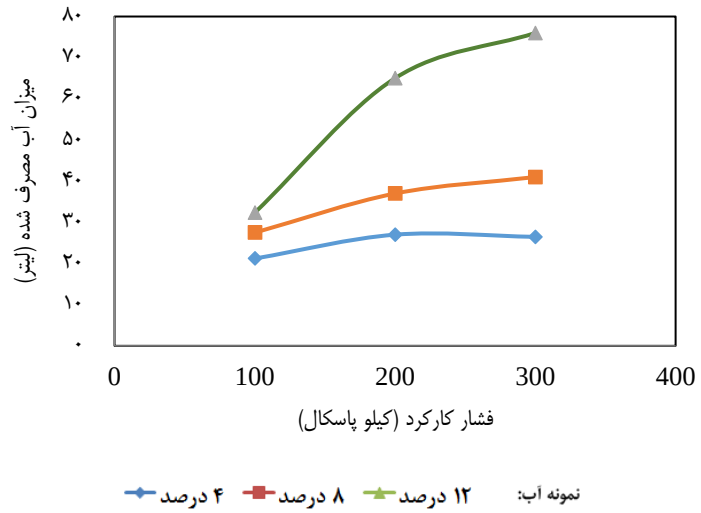
**بررسی نمونه آب بر میزان آب مصرف شده جهت شستشوی فیلتراسیون**

نتایج تجزیه واریانس نشان داد نمونه آب بر روی میزان مصرف آب جهت شستشوی فیلتراسیون معنی‌دار است. مقایسه میانگین داده‌های به دست آمده نشان داد که با افزایش رسوبات در آب میزان آب مصرفی برای شستشوی فیلتر نیز افزایش می‌یابد. کم‌ترین میزان مصرف آب مربوط به نمونه ۴ درصد با مقدار ۲۴/۹ لیتر و بیشترین مقدار مربوط به نمونه ۱۲ درصد با مقدار ۵۸/۰۲ لیتر می‌باشد.

**بررسی اثرات متقابل نمونه آب و فشار کارکرد بر میزان آب مصرفی جهت شستشوی فیلتراسیون**

مقایسه میانگین داده‌های به دست آمده از نتایج تجزیه واریانس تأثیرات فشار کارکرد و نمونه آب بر میزان آب مصرفی طبق نمودار شکل ۶ نشان می‌دهد کم‌ترین مقدار آب مصرفی برای شستشو، مربوط به فشار کاری ۱۰۰ کیلوپاسکال برای نمونه حاوی ۴ درصد مواد جامد معلق از جنس سیلت و ماسه است. بیشترین میزان آب مصرفی در فشار کاری ۳۰۰ کیلوپاسکال، برای نمونه آب حاوی ۱۲ درصد مواد جامد معلق است. از نتایج فوق این‌گونه استنباط می‌شود که فشارهای کاری بالا و نمونه حاوی مقداری زیاد ناخالصی، بر میزان آب مصرفی موثر خواهد بود و باعث افزایش مصرف آب خواهد شد.

1. De Deus




**شکل ۶. اثر متقابل فشار کارکرد و نمونه آب بر میزان آب مصرف شده جهت شستشو**

نتایج نشان می‌دهد میزان آب مصرفی برای نمونه حاوی مقادیر زیاد ناخالصی و فیلترهای با قطر روزنه بزرگ‌تر بیشتر خواهد بود. لزوم استفاده از فیلترهای با قطر روزنه‌های کوچکتر و در نظر گرفتن فشار کارکرد پایین، میزان آب مصرفی جهت شستشو را کاهش خواهد داد. در مطالعه روشنی و همکاران (۲۰۱۸)، استفاده از سطح فشارهای مختلف باعث قوت گرفتن این فرضیه شد که مصرف آب در شستشوی فیلترهای خودشوینده بیشتر از دستی است. در حالیکه مطالعه حاضر نشان داد که استفاده از فیلترهای با قطر روزنه‌های کوچکتر و در نظر گرفتن فشار کارکرد پایین می‌تواند میزان آب مصرفی جهت شستشو در فیلترهای خودشوینده را کاهش دهد.

نتایج نشان داد اختلاف فشار بین ورودی و خروجی فیلتر عمدتاً به دلیل گرفتگی منافذ و سطح داخلی فیلتر است. با ادامه گرفتگی منافذ فیلتر، اختلاف فشار بین داخل و خارج توری فیلتر به تدریج افزایش می‌یابد. هنگامی که درصد بالایی از منافذ توری فیلتر مسدود می‌شوند، اختلاف فشار بین ورودی و خروجی صفحه فیلتر به حداکثر مقدار خود رسیده (بالای ۳۰۰ کیلوپاسکال) که روند تصفیه آب را با مشکل مواجه خواهد نمود. در مطالعه‌ای، شی و همکاران (۲۰۲۱) اولین نقطه انحراف اختلاف فشار را به عنوان فشار کارکرد جهت شروع فرآیند شستشو معرفی نموده‌اند. معیار قرار دادن اختلاف فشار بالا باعث کاهش کیفیت آب تصفیه شده خواهد شد و موجب ورود خسارت به سامانه آبیاری خواهد شد. در این پژوهش، از مقدار اختلاف فشار ورودی و خروجی در هنگام تصفیه آب برای کنترل زمان شستشوی فیلتر استفاده گردید. زمان و تعداد دفعات شستشو در سه نقطه انحراف اختلاف فشار (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلو پاسکال) اندازه‌گیری و صفات کیفیت آب تصفیه شده و مقدار آب مصرفی برای شستشو اندازه‌گیری گردید. وجود ناخالصی موجود در آب حین فرآیند فیلتراسیون باعث مسدود شدن منافذ توری فیلتر می‌گردد. ناخالصی‌های رسوبی بزرگ‌تر از منافذ توری، از فیلتر رد نشده و بر روی صفحه فیلتر جمع می‌شوند که به نوبه خود باعث افزایش اختلاف فشار بین ورودی و خروجی می‌گردد. چنان‌چه عمل شستشو در ابتدای شروع اختلاف فشار صورت نگیرد، فشار آب باعث عبور ناخالصی از منافذ فیلتر خواهد گشت و باعث کاهش کیفیت آب تصفیه شده خواهد شد. بنابراین با فرآیند شستشو، ناخالصی‌ها به خارج از محفظه فیلتر منتقل می‌گردد تا در مدت زمان کوتاهی، عملیات تصفیه آب بدون تأثیر بر روند کیفیت تصفیه انجام گیرد.

کم‌ترین کیفیت آب تصفیه شده به نقطه انحراف اختلاف فشار ۲۰۰ کیلوپاسکال و روزنه ۰/۳ میلی‌متر تعلق دارد زیرا سطح داخلی صفحه فیلتر، در طول اولین نقطه عطف تغییر فشار مسدود شده است. در طی این مدت، رسوبات وارد شده به ورودی فیلتر در سطح داخلی فیلتر انباشته شده و ناخالصی‌هایی با اندازه ذرات کوچکتر از اندازه منافذ فیلتر، از فیلتر عبور می‌کنند. همچنین به دلیل تجمع ذرات کوچکتر در داخل صفحه فیلتر، چسبندگی ناخالصی‌ها در محفظه فیلتر افزایش خواهد یافت. اگر شروع فرآیند شستشو بعد از چسبندگی ذرات ریز صورت گیرد، شستشو و انتقال ناخالصی‌ها به بیرون از محفظه فیلتر، زمان بیشتری را صرف خواهد نمود (Shi *et al.*, 2021; De Deus *et al.*, 2020(b)).

میزان مصرف آب برای شستشوی توری فیلتر، تابعی از مقدار آب مصرفی برای شستشوی فیلتر، زمان کارکرد و تعداد دفعات شستشو است (Shi *et al.*, 2021). چنانچه شروع فرآیند شستشوی فیلتر در اولین نقطه انحراف اختلاف فشار صورت گیرد باعث صرفه‌جویی در

مصرف آب خواهد شد که در چنین شرایطی، فیلتر تحت شرایط بهینه کار خواهد نمود.

## نتیجه‌گیری

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که فشار کارکرد، نمونه آب و شماره مش توری فیلتر در سطح ۵ درصد، اثر معنی داری بر کیفیت آب تصفیه شده دارد.

مشاهدات عینی فشارسنج‌های نصب شده بر روی سامانه ساخته شده نشان داد که اختلاف فشار بین ورودی و خروجی در فیلتر هوشمند، در یک لحظه اتفاق نمی‌افتد بلکه دارای یک روند پیوسته بوده که به تدریج در حال افزایش می‌باشد. بر اساس روند تدریجی افزایش اختلاف فشار در طول فرآیند فیلتراسیون، وضعیت فشارهای کاری تنظیم شده برای فرآیند فیلتراسیون به سه مرحله تقسیم شده است، مرحله اول، شروع فرآیند فیلتراسیون تا اولین نقطه عطف اختلاف فشار، مرحله دوم، اولین نقطه عطف اختلاف فشار تا نقطه عطف دوم اختلاف فشار و مرحله سوم، نقطه عطف دوم اختلاف فشار تا انتهای فشار کارکرد فیلتر. براساس منحنی فشار و نتایج به‌دست آمده از عملکرد سامانه ساخته شده، بهترین کیفیت آب تصفیه شده به اولین نقطه اختلاف فشار اختصاص دارد بنابراین در واحد کنترل فیلتراسیون هوشمند، شروع فرآیند شستشو در اولین نقطه اختلاف فشار (۱۰۰ کیلوپاسکال) پیشنهاد می‌گردد.

افزایش قطر روزنه‌های فیلتر و فشار کارکرد، باعث کاهش کیفیت آب تصفیه شده خواهد شد. در طول فرآیند فیلتراسیون چنانچه آستانه شروع شستشوی فیلتر در فشار کارکرد بالا صورت گیرد، رسوبات وارد شده به ورودی فیلتر، در سطح داخلی فیلتر انباشته شده و ناخالصی‌هایی با اندازه ذرات کوچکتر از اندازه منافذ فیلتر، از فیلتر عبور می‌کنند موجب رد شدن رسوبات از فیلتر و کاهش کیفیت آب تصفیه شده خواهد شد. همچنین شستشو و خارج نمودن مواد جامد انباشته شده در بین روزنه‌های توری فیلتر، نیاز به مقدار آب زیادی خواهد داشت که این امر باعث افزایش میزان آب مصرفی خواهد شد.

طبق نتایج به دست آمده، بهترین کیفیت آب تصفیه شده در شرایط شستشو، در شروع اولین نقطه عطف اختلاف فشار (۱۰۰ کیلوپاسکال) اتفاق افتاده است، هرچند انتخاب فشار کاری پایین، باعث افزایش تعداد دفعات شستشو خواهد شد اما در نهایت، کاهش آب مصرفی جهت شستشو و فیلتراسیون را در پی خواهد داشت. طی فرآیند شروع شستشو، در شروع اولین نقطه انحراف فشار، فیلتر مقدار بالایی از آب را در هر سیکل تصفیه نموده است. به منظور کاهش مصرف آب، بهترین زمان برای آغاز فرایند شستشو، اولین نقطه عطف فشار است.

نتایج نشان داد وجود مواد جامد معلق در آب، بر میزان کیفیت آب تصفیه شده و میزان آب مصرفی جهت شستشو موثر خواهد بود. بررسی عملکرد سامانه ساخته شده حاکی از آن است که در صورت تنظیم واحد کنترل در فشار کاری حداقل (۱۰۰ کیلوپاسکال) و استفاده از توری با قطر روزنه حداقل، ضمن کاهش میزان آب مصرفی جهت شستشو و افزایش کیفیت آب تصفیه شده، امکان فیلتراسیون و استفاده از آب‌های حاوی مقادیر زیاد مواد جامد معلق را نیز فراهم خواهد نمود.

## منابع


تافته، آرش؛ امداد، محمدرضا و غالبی، سعید (۱۳۹۶). تعیین مناسبترین شرایط آبیاری به منظور افزایش راندمان کاربرد آب با استفاده از مدل SRER. *فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب*، ۸(۳۰)، ۲۱۰-۲۰۰.

شریعتی‌فر، مینا. (۱۳۸۱). فهرست استانداردهای ملی ایران ۱۳۸۱، چاپ اول، تهران، مرکز آموزش و تحقیقات صنعتی ایران.

روشنی، امین؛ سرایی تبریزی، مهدی و محمدیان خراسانی شیوا (۱۳۹۶). ارزیابی عملکرد فیلترهای خودشوینده در فیلتراسیون آبیاری قطره ای در جهت بهبود مدیریت آبیاری در مزارع. *سومین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه (تقاضا محوری آب)*، ۸-۷ اسفندماه، کرج، ایران.

عباسی، فریبرز؛ سهراب، فرحناز و عباسی، نادر (۱۳۹۵). ارزیابی وضعیت راندمات آب آبیاری در ایران. *تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی*، ۱۷(۶۷)، ۱۲۸-۱۱۳.

علیزاده، امین (۱۳۹۴). طراحی سامانه‌های آبیاری، چاپ ششم، مشهد، انتشارات دانشگاه امام رضا.

غفاری، مسعود؛ سلطانی، جابر؛ اکبری، مهدی و رحیمی خوب، علی (۱۳۹۴). ارزیابی فنی بهره‌برداری فیلترهای دیسکی تجهیزات فیلتراسیون در سامانه‌های آبیاری میکرو. *مدیریت آب و آبیاری*، ۵(۱)، ۹-۱.


**REFERENCES**


Bounoua, S., Tomas, S., Labille, J., Molle, B., Granier, J., Haldenwang, P. & Izzati, S. N. (2016). Understanding physical clogging in drip irrigation: in situ, in-lab and numerical approaches. *Irrigation*

*Science*, 34 (4), 327–342.
Bové, J., Arbat, G., Duran-Ros, M., Pujol, T., Velayos, J., de Cartagena, F. R. & Puig-Bargués, J. (2015). Pressure drop across sand and recycled glass media used in micro irrigation filters. *Biosystems Engineering*, 137, 55–63.
Brouckaert, M.B. (2004). Hydrodynamic detachment of deposited particles in fluidized bed filter backwashing. In Dissertation degree. Ph. D: *Georgia Institute of Technology*, School of Civil and Environmental Engineering Theses and Dissertations.
Cescon, A. & Jiang, J.Q. (2020). Filtration Process and Alternative Filter Media Material in Water Treatment. *Water*, 12, 1-30.
De Deus, F.P., Mesquita, M., Ramirez, J. C. S., Testezlaf, R. & Almeida, R.C.d. (2020a). Hydraulic characterisation of the backwash process in sand filters used in micro irrigation. *Biosystem Engineering*, (192), 188-198.
De Deus, F.P., Mesquitab, M., Testezlaf, R., Almeida, R.C., Fonseca, H. & Oliveira, E. (2020b). Methodology for hydraulic characterization of the sand filter backwashing processes used in micro irrigation. *MethodsX*, Vol (7), 1-10.
De Vito, R., Pagano, A, Portoghese, I., Giordano, R., Vurro, M. & Fratino, U., (2019). Integrated approach for supporting sustainable water resources management of irrigation based on the WEFN framework. *Water Resources Management*, 33(4), 1281–1295.
Dziubak, T. & Boruta, G. (2021). Experimental and Theoretical Research on Pressure Drop Changes in a Two-Stage Air Filter Used in Tracked Vehicle Engine. *Separations*, 8(71), 3-26.
Ferrer, E. & Willden, R.H.J. (2011). A high order Discontinuous Galerkin Finite Element solver for the incompressible Navier–Stokes equations, *Computers & Fluids*, 46, 224–230.
ISO 18471:2020, Agricultural irrigation equipment Filters Verification of filtration grade.
Graciano-Uribe, J., Pujol, T., Puig-Bargués, J., Duran-Ros, M., Arbat, G. & Ramírez de Cartagena, F. (2021). Assessment of Different Pressure Drop-Flow Rate Equations in a Pressurized Porous Media Filter for Irrigation Systems. *Water*, 13(16), 2719.
Kulmatov, R., Mirzaev, J., Abuduwaili, J. & Karimov, B. (2020). Challenges for the sustainable use of water and land resources under a changing climate and increasing salinization in the Jizzakh irrigation zone of Uzbekistan. *Journal of Arid Land*, 12 (1), 90–103.
Liu, C., Wang, R., Wang, W., Hu, X., Wu, W. & Liu F. (2022). Different Irrigation Pressure and Filter on Emitter Clogging in Drip Phosphate Fertigation Systems. *Water*, 14(6), 2-18.
Lopes Muniz, G., Loureiro Gonçalves Oliveira, A., Geralda Benedito, M., Duarte Cano, N., Pires de Camargo, A., & José da Silva, A. (2023). Risk Evaluation of Chemical Clogging of Irrigation Emitters via Geostatistics and Multivariate Analysis in the Northern Region of Minas Gerais, Brazil. *Water*, 15(4), 1-21.
Mesquita, M., Testezlaf, R. & Ramirez, J.C.S. (2012). The effect of media bed characteristics and internal auxiliary elements on sand filter head loss. *Agricultural Water Management*, Vol (115), 178– 185.
Milstein, A. & Feldlite, M. (2015). Particle circulation in irrigation reservoirs: The role of filter backwash reject on filter clogging. *Agricultural Water Management*, Vol (158), 139–144.
Qiangqiang, L., Quanli, Z., Zhenji, L. & Jun, L. (2014). Experiment and calculation of discharge time for horizontal type self-cleaning screen filter. *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 32(12), 1098– 1104.
Ramachandrula, V.R. & Kasa, R. R. (2022). Prevention and treatment of drip emitter clogging: a review of various innovative methods. *Water Practice & Technology*, Vol 17(10), 2059-2070.
Saparuddin, S. & Eisenring, M.P. (2019). Experiments determining the height of the pressure and the time required to clean the water purification filter. *MATEC Web of Conferences*, 276: 1-7.
Sahin, U.; Tunc, T.; Ero glu, S. (2012). Evaluation of CaCO3 Clogging in Emitters with Magnetized Saline Waters. *Desalin. Water Treat*. 40, 168–173
Shi, K., Liu, Z., Xie Y. & Li, M. (2021). Study on optimal start-up time and water usage volume of blowdown residue discharge of mesh filter. *Water Supply*, Vol (21.6), 2904-2915.
Tafarojnoruz, A. & Lauria, A. (2020). Large eddy simulation of the turbulent flow field around a submerged pile within a scour hole under current condition. *Coast. Eng. J*, 62, 489–503.
Tyagi, Sh., Sharma, B., Singh, P., Dobha, R. (2013). Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index. *American Journal of Water Resources*, Vol. 1, No. 3, 34-38.
Vieira, A. S., Weeber M. & Ghisi, E. (2013). Self-cleaning filtration: A novel concept for rainwater harvesting

systems. Resources. *Conservation and Recycling*, 78(2013), 67–73.

Yinnian, H. & Yanren, H. (2011). Galerkin and subspace decomposition methods in space and time for the Navier–Stokes equations, *Nonlinear Analysis*, vol. 74, 3218–3231.

Yavuz, M.Y., Demırel, K., Erken, O., Bahar, E. & Devecıler, M. (2010). Emitter clogging and effects on drip irrigation systems performances. *African Journal of Agricultural Research*, 5 (7), 532-538.

Zong, Q. L., Zheng, T. G., Liu, H. F. & Li, C.J. (2015). Development of head loss equations for self-cleaning screen fil- ters in drip irrigation systems using dimensional analysis. *Biosystems Engineering*, 133, 116–127.

Zong, Q., Liu, Z., Liu, H. & Yang, H. (2019). Backwashing performance of self-cleaning screen filters in drip irrigation systems. *PLos ONE*, 14(12), 1-18.

Abbasi, F., Sohrab, F. & Abbasi, N. (2017). Evaluation of Irrigation Efficiencies in Iran. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 17(67), 113-128. (In Persian)

Alizadeh, A. (2017) Design of pressurized irrigation systems (6nd Ed.). Iran: Imam Reza University Publications. (In Persian)

Ghaffari, M., Soltani, J., Akbari, M. & Rahimikhobe, A. (2015). Evaluation technical and operation of disc filters of filtration equipment on the micro irrigation systems. *Journal of Water and Irrigation Management*, 5(1), 1, 1-9. (In Persian)

Roshani, A., saraei Tabrizi, M. & mohamadian khorasani, SH. (2018). Evaluation of the performance of self-cleaning filters in drip irrigation filtration to improve irrigation management in farms. In: Proceedings of *The third national conference on farm water management*, 26-27 Feb., Soil & water research institute. Karaj. Iran, pp. 1-8. (In Persian)

ShariaatiFar, m. (2003). Iran National Standards Organization. *Industrial Research and Training Center of Iran* (In Persian)

Tafteh, A., Emdad, M.R & Ghalebi, S. (2018). Determination of the best situation of border irrigation for increasing application Efficiency using SRFR model. *Irrigation & Water Engineering*, 30(8), 200-210. (In Persian)

# Performance evaluation of intelligent filters designed for water treatment in the irrigation systems

## EXTENDED ABSTRACT


**Introduction**

Today, the limitation of water resources and the need to increase the efficiency of irrigation water consumption increased the importance of management and planning. In irrigation systems, the main problem in maintaining the system is the clogging of emitters due to the physical, chemical, and biological factors of water, which makes it challenging to identify the emitters that are blocked. One reason for clogging emitters in irrigation is suspended solids with organic and inorganic components in the water. In line with water consumption management, the usage of irrigation systems equipped with water cleanup systems increased the acceptance of these systems. In this research, a smart filter equipped with automatic self-cleaning technology was constructed.

**Material and methods**

After designing the filter and considering the parameters affecting its design, the filter was manufactured based on the standard (ISO 18471:2020). The designed filter was installed and the initial problems were solved by starting it up. Then mesh number one was placed inside the filtration chamber. The experimental of this research in the form of a factorial test based on a completely randomized design with three factors working pressure at 3 levels (100, 200, and 300 kPa), water quality at 3 levels (4%, 8%, and 12%) and the diameter of filter openings at three levels (0.1, 0.2, and 0.25 mm) with three repetitions in controlled laboratory conditions. The characteristics of the total volume of water used for washing and the quality of filtered water were measured.

**Results and discussion**

The pressure difference between the inlet and outlet in the constructed filter has a continuous trend that is gradually increasing. According to the gradual process of increasing the pressure difference during the filtration process, the state of the working pressures set for the filtration process is divided into three stages (the first stage: the start of the filtration process until the first milestone of the pressure difference, the second stage: the first milestone of the pressure difference until the second milestone The pressure difference and the third stage: the second turning point of the pressure difference to the end of the filter operation pressure) is divided. Based on the pressure curve during the filtration process, in the control unit of the system, the first point of pressure difference (100 kPa) was used to start the washing process. The amount of water consumed will be higher for samples containing large amounts of impurities and filters with larger aperture diameters, and using filters with smaller aperture diameters and considering low operating pressure can reduce the amount of water consumed for washing. The results showed that the best quality of purified water (96.3%) and the lowest amount of water used for washing occurred (21.2 L) at a working pressure of 100 kPa, although this has increased the number of filter washing times. Setting the washing process at the beginning of the first point of pressure deviation causes a high amount of water to be purified in each cycle. According to the results, the number of suspended solids in the water will be effective on the quality of purified water and the amount of water used for washing.

**Conclusions**

Setting up the working pressure unit of the smart filter control unit within 100 kPa and using a net with an opening diameter of 0.1 mm reduces the amount of water used to wash (79%) and increases the quality of the treated water (90%), which will allow the use of waters containing large amounts of suspended soluble solid materials.