



Managing water wastage, wasting time and increasing the efficiency of the filters using tube settlers

Mohsen Memarzadeh¹, Mozhgan Ahmadi Nadoushan^{2*}, Payam Najafi³, Mehran Hoodaji⁴

¹ Ph.D. Student of Environmental Pollution, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

² Department of Environment, Waste and Wastewater Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

³ Department of Water Engineering, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

⁴ Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

*Corresponding Author email: m.ahmadi1984@gmail.com

© The Author(s) 2023

Received: 09 July 2023

Accepted: 30 Aug 2023

Published: 04 Sept 2023

Abstract

The Isfahan water treatment plant, with a final capacity of 12.5 cubic meters per second, is one of the largest water treatment plants in the Middle East. It has 10 sedimentation basins with a retention time ranging from 1.91 to 2.75 hours; each basin has a volume of 9172 cubic meters and a surface load of 14.2 to 2.85 cubic meters per square meter per hour. This research was conducted to investigate the efficiency of the combined use of accelerator sedimentation basins equipped with tube settlers on a full and field scale. The goal was to achieve greater efficiency in improving the quality of output water and managing the reduction of water wastage, backwashing time wastage, as well as reducing the need for repairs and maintenance of treatment plant equipment. In this study, the accelerator sedimentation ponds related to two stream 1 clarifiers from the first phase of the treatment plant were equipped with rapid tubular settlers made of food-grade polypropylene. These settlers are hexagonal in shape with a hydraulic diameter of 50 to 80 mm; placed at a 60-degree angle to the surface, and have a length of 90 cm. Stream 2 was operated without the simultaneous use of rapid tube settlers in the circuit. The amount of backwashing's of filters, the number of times the aerators and backwashing pumps are engaged in the circuit, the amount of water wastage, and the time required for each wash in streams 1 and 2 were compared with each other. The results of this study showed that the number of times of reverse washing of filters was reduced by an average of 25% compared to stream 2. This action also reduced the amount of water used for backwashing the filters and consequently reduced the number of working hours of the electrical and mechanical equipment of the water treatment plant.

Keywords: Backwashing, Electromechanical equipment, Time wastage, Tube settlers, Water wastage



مدیریت هدررفت آب، اتلاف زمان و افزایش بهره‌وری صافی‌ها، توسط ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای

محسن معمارزاده^۱، مژگان احمدی ندوشن^{۲*}، پیام نجفی^۳، مهران هودجی^۴

۱. دانشجوی دکتری تخصصی آلودگی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.

۲. گروه محیط‌زیست، مرکز تحقیقات پسماند و پساب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.

۳. گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.

۴. گروه خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.

*ایمیل نویسنده مسئول: m.ahmadi@khuif.ac.ir

© The Author(s) 2023

چاپ: ۱۴۰۲/۰۶/۱۳

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۸

دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۸

چکیده

تصفیه‌خانه آب اصفهان با ظرفیت نهایی ۱۲/۵ متر مکعب در ثانیه، یکی از بزرگترین تصفیه‌خانه‌های آب خاور میانه است؛ که دارای ۱۰ حوض ته‌نشینی با زمان ماند ۱/۹۱ تا ۲/۷۵ ساعت که حجم هر کدام ۹۱۷۲ متر مکعب و بار سطحی ۲/۱۴ تا ۲/۸۵ متر مکعب بر متر مربع در ساعت هستند. این تحقیق با هدف بررسی میدانی کارایی استفاده ترکیبی از حوض‌های ته‌نشینی اکسیلاتور مجهز به ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای در مقیاس کامل و میدانی با هدف دستیابی به کارایی بیشتر در افزایش کیفیت آب خروجی و مدیریت کاهش هدررفت آب، اتلاف زمان شستشوی معکوس و کاهش تعمیرات و نگهداری تجهیزات تصفیه‌خانه انجام گردید. در این مطالعه، حوض‌های ته‌نشینی اکسیلاتور مربوط به دو زلال ساز استریم ۱ از فاز اول تصفیه‌خانه، به ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای از جنس پلی‌پروپیلن با درجه خوراکی و شکل شش‌گوشه با قطر هیدرولیکی ۵۰ تا ۸۰ میلی‌متر با زاویه ۶۰ درجه نسبت به سطح و طول ۹۰ سانتی‌متر نصب گردیدند. استریم ۲ بدون استفاده از همزمان از ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای در مدار بهره‌برداری بود. تعداد شستشوی معکوس صافی‌ها، تعداد دفعات در مدار قرارگرفتن هوادها و پمپ‌های شستشوی معکوس و میزان هدررفت آب و زمان مورد نیاز هر شستشو در دو استریم ۱ و ۲ با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که تعداد دفعات شستشوی معکوس فیلترها نسبت به استریم ۲، به‌طور میانگین ۲۵٪ کاهش یافت. این عمل همچنین باعث کاهش مقدار آب مصرفی شستشوی معکوس فیلترها و همچنین کاهش در تعداد ساعت کاری تجهیزات الکتریکی و مکانیکی تصفیه‌خانه آب گردید.

واژه‌های کلیدی: اتلاف زمان، تجهیزات الکترو مکانیکال، ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای، شستشوی معکوس، هدررفت آب

هنگامی که میزان آلودگی آب خام ورودی به‌طور منظم از آستانه طراحی واحدهای تصفیه‌خانه فراتر می‌رود، مدیران تصفیه‌خانه‌های آب، به‌منظور جلوگیری از کاهش کیفیت آب خروجی از تصفیه‌خانه بایستی منابع آبی جدیدی را جایگزین و یا تجهیزات جدیدی نصب و استفاده نمایند (Price & Heberling, 2018). فرآیندهای تصفیه آب معمولاً باعث تولید لجن در فرایندهای ته‌نشینی در حوض‌های ته‌نشینی^۱ و شستشوی معکوس صافی‌های شنی می‌شوند (Kim et al., 2010). علیرغم اینکه حجم و خصوصیات آب شستشوی معکوس ارتباط تنگاتنگی با فرآیند تصفیه آب دارد، تأسیسات تصفیه مورد نیاز به نوعی به عنوان موضوعی متفاوت با فرآیند تصفیه آب در نظر گرفته می‌شود (Cornwell, 1999). با این حال، طی سال‌های اخیر، تصفیه آب شستشوی معکوس به تدریج به عنوان بخش مهمی از فرآیند تصفیه آب مورد نظر قرار گرفته است؛ زیرا با توجه به حجم بالای آن، هزینه‌های بسیار سنگینی را به تصفیه‌خانه آب وارد می‌نماید (Kim et al., 2010). در برخی از کشورها، اکثر تصفیه‌خانه‌های آب دارای حوض متعادل‌سازی برای بازگشت آب شستشوی معکوس و ترکیب آن با آب خام هستند (Cho et al., 2001). برای جلوگیری از رسوب زیستی صافی‌های ماسه‌ای، بر اساس یک برنامه از پیش تعریف شده یا زمانی که افت فشار عملیاتی موجود (۱/۸ تا ۳ متر) بیشتر شود، عملیات شستشوی معکوس باید انجام شود. آب شستشوی معکوس حاوی آلاینده‌های کلوئیدی، ارگانیک‌های زنده، مواد آلی طبیعی^۲ (NOM)، فلزات (خصوصاً آهن و آلومینیوم) است (Bukhary et al., 2019). نسبت حجم آب مصرفی در شستشوی معکوس به آب تولید شده توسط صافی‌ها تحت شرایط نرمال زیر ۳٪ است. اگر این نسبت به ۲٪ کاهش پیدا نماید، بسیار خوب و اگر به بیش از ۵٪ برسد، عملکرد بد یا ضعیف صافی‌ها را نشان می‌دهد (Reißmann et al., 2005). نگرانی‌هایی که در رابطه با کیفیت آب بازیافت شده وجود دارد شامل وجود مواد آلی طبیعی به عنوان پیش ساز برای محصولات جانبی گندزدایی و میکروارگانیک هستند (Baruth & Edward, 2005)؛ لذا آب شستشوی معکوس عمدتاً برای آبیاری یا برای تخلیه به منابع آب سطحی و زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین، چرخش مجدد آن در ابتدای سیستم تصفیه آب منطقی و قابل توجه است؛ زیرا می‌تواند منجر به کاهش هزینه آب مصرفی شود (Wolska & Urbańska-Kozłowska, 2023). معمولاً بستر صافی‌ها در طول یک دوره بهره‌برداری، دچار گرفتگی با مواد آلی، ذرات معلق و کلوئیدی و باکتری و میکروارگانیک‌ها خواهند شد؛ لذا برای نگه داشتن عملکرد مناسب آنها لازم است هر از گاهی شستشوی معکوس انجام گردد. فیلتراسیون یکی از قدیمی‌ترین سیستم‌های تصفیه آب بوده که در حقیقت یک سیستم تصفیه طبیعی آب به شمار می‌رود در طی عمل فیلتراسیون آب از بین خلل و فرج بستر فیلتر (بستر دانه‌ای مثل شن آنتراسیت، کربن فعال و ...) ذرات معلق آن به دام افتاده و عمل تصفیه بر روی آن انجام می‌شود (AWWA, 1999). تفاوت بین این دو گروه مربوط به فشار لازم برای عبور آب از بین بستر فیلتر و نوع و ساختمان فیلتر می‌شود. صافی‌های تحت فشار به صورت سیستم‌های سربسته و تحت فشار ساخته می‌شوند. به دلیل بالا بودن هزینه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری، فیلترهای تحت فشار در مقیاس خیلی بزرگ، محدود به تصفیه‌خانه‌های کوچک هستند. اما سیستم‌های ثقلی برای هر دو نوع تصفیه‌خانه‌های کوچک و بزرگ استفاده می‌شوند (Walsh et al., 2008). در حال حاضر

¹ Clarifiers² Natural Organic Materials

مطالعات متعددی در خصوص تصفیه و بازچرخانی آب شستشوی معکوس در حال انجام است. در تصفیه‌خانه‌هایی که از فرآیندهای فیلتراسیون غشایی استفاده می‌کنند، نسبت بازیافت را در تصفیه‌خانه آب افزایش می‌دهد و لجن غلیظ را با چگالی ثابت تر تخلیه می‌کنند (Denver, 1996). معمولاً فیلترها را بر اساس نیروهای فیلترکننده به دو دسته فیلترهای ثقلی و فیلترهای تحت فشار تقسیم‌بندی می‌کنند (Kim et al., 2010). تکنیک‌ها و پیشرفت‌های خاصی برای کاهش هزینه و اندازه واحدهای ته‌نشینی و فشار بار کمتر به صافی‌های تصفیه‌خانه آب توسعه یافته است. یک تکنیک پیشرفته جدید ته‌نشینی با سرعت بالا است که با کاهش فاصله ذرات لخته، زمان ته‌نشینی را کاهش می‌دهد (BRENTWOOD, 2011). ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای سریع از کانال‌های لوله‌ای متعدد با زاویه شیب مشخص و مرتبط با یکدیگر استفاده باعث ترکیب و افزایش سطح ته‌نشینی مؤثر می‌شوند (Gurjar et al., 2017). شکل (۱)، نمای این نوع ته‌نشین‌کننده‌ها را بر روی کلاریفایرهای تصفیه‌خانه نشان می‌دهد. ظرفیت تصفیه‌خانه آب اصفهان ۱۲/۵ متر مکعب در ثانیه است و از دو فاز مجزا تشکیل شده که فاز اول با ظرفیت ۵ متر مکعب در سال ۱۳۶۸ به بهره‌برداری رسید. فاز دوم نیز با ظرفیت ۷/۵ متر مکعب در سال ۱۳۸۶ به ظرفیت نهائی رسید و مورد بهره‌برداری قرار گرفت. شکل (۲)، نمای کلی تصفیه‌خانه را نشان می‌دهد. پس از ورود آب از سد چم‌آسمان که در فاصله ۸ کیلومتری تصفیه‌خانه آب قرار دارد، عملیات آشغالگیری توسط دستگاه آشغالگیر اتوماتیک در ابتدای ورود آب به تأسیسات تصفیه‌خانه انجام شده و اجسام شناور شاخ و برگ درختان و سایر مواد معلق از آب خام خارج می‌شود؛ سپس در واحدهای تقسیم‌کننده آب ماده منعقدکننده پلی‌آلومینیم کلراید (PAC) به آب اضافه و ازن‌زنی اولیه شده و توسط میکسرهای موجود به‌طور کامل مخلوط و وارد حوض‌های ته‌نشینی می‌شوند (BRENTWOOD, 2011). تعداد حوض‌های ته‌نشینی ۱۰ عدد با زمان ماند ۱/۹۱ تا ۲/۷۵ ساعت، حجم هر کدام ۹۱۷۲ متر مکعب و بار سطحی ۲/۱۴ تا ۲/۸۵ متر مکعب بر متر مربع در ساعت است. بعد از خروج آب از صافی‌های فاز اول ازن‌زنی نهایی صورت و سپس آب وارد صافی‌ها و در نهایت کلرزنی شده و وارد مخزن آب خروجی و به شبکه آبرسانی اصفهان بزرگ وارد می‌شود. مشخصات صافی‌های تصفیه‌خانه نیز در جدول (۱) نشان داده شده است.

شکل ۱. محل نصب ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای بر روی کلاریفایر

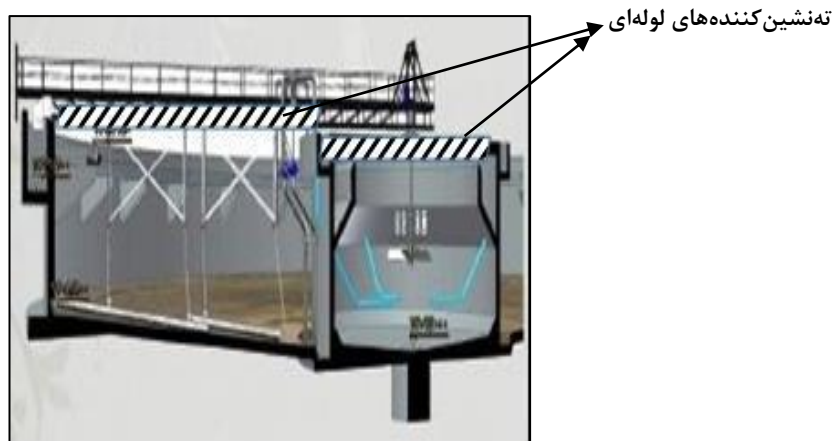


Fig 1. Location of installation of pipe settlers on clarifiers

شکل ۲. نمای واحدهای تصفیه‌خانه آب اصفهان

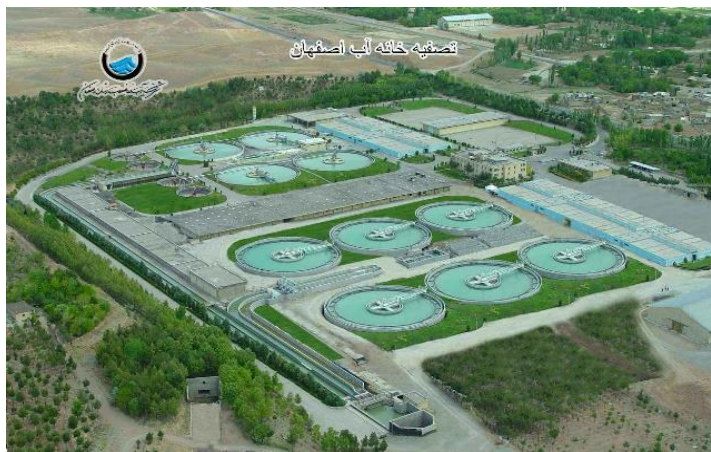


Fig 2. Views of water treatment plant units in Isfahan

جدول ۱. مشخصات صافی‌های شنی فاز اول تصفیه‌خانه آب اصفهان

Table 1. Specifications of sand filters in the first phase of Isfahan water treatment plant

پارامتر	اندازه	مقیاس	پارامتر	اندازه	مقیاس
تعداد	۴۸	عدد	ضخامت لایه کوارتز	۶۰	سانتی‌متر
ظرفیت	۷۲۰ - ۹۰۰	متر مکعب در ساعت	دانه‌بندی کوارتز	۰/۷ - ۱/۲	میلی‌متر
سطح کل	۵۵۹۲	متر مربع	ضخامت لایه آنتراسیت	۵۰	سانتی‌متر
سرعت آب	۶/۱۸ - ۷/۷۳	متر بر ساعت	دانه‌بندی آنتراسیت	۱/۴ - ۲/۵	میلی‌متر
ابعاد	۱۶/۶۴ × ۷	متر مربع	ضخامت لایه گارنت	۷/۵	سانتی‌متر
سطح	۱۱۶/۵	متر مربع	دانه‌بندی گارنت	۰/۲ - ۰/۷	میلی‌متر

۲- مواد و روش‌ها

این مطالعه به صورت تجربی و در مقیاس کامل بر روی فاز ۱ تصفیه‌خانه اصفهان که یکی از بزرگترین تصفیه‌خانه در ایران است، انجام شده است. دو زلال‌کننده دایره‌ای استریم ۱ (هر کدام ۲/۵ متر مکعب بر ثانیه) از فاز ۱ تصفیه‌خانه به دسته‌های ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای مجهز شدند. مشخصات کلاریفایر-آکسیلاتورهای مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲. ویژگی‌های کلاریفایر-آکسیلاتورهای تصفیه‌خانه اصفهان

Table 2. Characteristics of clarifiers and accelerators in Isfahan water treatment plant

واحد	اندازه	نوع ویژگی
متر مربع	۱۶۸۳	سطح
متر مکعب	۹۱۷۲	حجم
منر مکعب بر متر مربع در ساعت	۲/۸۵-۲/۴	بار سطحی ^۳
ساعت	۱/۲-۹۱/۷۵	زمان ماند
متر	۵/۴۵	متوسط ارتفاع
متر	۴/۷۵	ارتفاع جانبی
متر	۶/۱۵	ارتفاع مرکز
متر	۴۸	قطر اسمی

۳: Surface Overload Rate

برای بهره‌برداری ایمن از صافی‌ها، در ابتدا کلکتورهای خروجی آب شستشو مربوط به استریم‌های هر فاز از طریق یک شیر پروانه‌ای به یکدیگر متصل گردیدند؛ به نحوی که در صورت خارج از سرویس بودن پمپ‌های آب شستشو یکی از استریم‌ها، قابلیت انجام شستشوی معکوس با پمپ‌های استریم مجاور امکان‌پذیر گردید. بر روی حلزونی این پمپ‌ها یک فشارسنج و یک شیر هواگیری نصب شده است. از آنجایی که کانال انتقال آب تصفیه شده از صافی‌ها بالاتر از حلزونی پمپ‌های آب شستشو قرار دارد، هواگیری این پمپ‌ها از طریق باز کردن شیر تخلیه هوای نصب شده بر روی حلزونی این پمپ‌ها به طور خود به خودی انجام می‌گردد. برای اطمینان از آماده به‌کار بودن بلوئر‌ها، به صورت روزانه باید از نظر ارتفاع روغن، ظرفیت، گرید روغن، برنامه تعمیر و نگهداری، آچارکشی اتصالات مکانیکی و الکتریکی و چک کردن تسمه‌های انتقال قدرت و ارتعاش‌سنجی کنترل می‌شدند. مراحل انجام شستشوی معکوس در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳. مراحل انجام شستشوی معکوس در تصفیه‌خانه آب اصفهان

Table 3. Steps of backwashing process in Isfahan water treatment plant

زمان (دقیقه)	انرژی مصرفی (کیلووات ساعت)	اقدام	مراحل
۲	۲۰۰	روشن کردن بلوئر	مرحله اول
۲	۷۵	روشن کردن پمپ اول	
۱	۷۵	روشن کردن پمپ دوم	
۱	۷۵	روشن کردن پمپ اول	مرحله دوم
۱	۷۵	روشن کردن پمپ دوم	
۱	۷۵	روشن کردن پمپ دوم	
۱	۷۵	روشن کردن پمپ اول	مرحله سوم
۱	۷۵	روشن کردن پمپ دوم	
۱	۷۵	روشن کردن پمپ دوم	

با توجه به استفاده از نصب ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای در استریم اول از فاز اول تصفیه‌خانه و مقایسه پارامترهای هدررفت آب، تعداد عملیات شستشوی معکوس و تجهیزات الکتریکی و مکانیکی مورد استفاده در دو استریم فاز اول تصفیه‌خانه آب اصفهان با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

۳- نتایج

با در نظر گرفتن تعداد ۴۸ صافی و دبی ۱۲/۵ متر مکعب در ثانیه، مقدار پساب تولیدی ناشی از هر بار شستشوی معکوس حجم آب مصرفی برای شستشوی هر بار یک صافی ۶۳۰/۷۲ متر مکعب محاسبه گردید.

مساحت صافی‌ها (متر مربع) با توجه به ابعاد آن:

$$7 \times 16.64 = 116.48 \quad (1)$$

با توجه به ارتفاع آب بر روی سطح صافی از سرریز که ۱/۸ متر است. حجم صافی‌ها (متر مکعب) برابر است با:

$$1/8 \times 116.48 = 20.9/7 \quad (2)$$

برای هر شستشوی معکوس سه بار صافی پر و خالی می‌شود بنابراین:

$$20.9/7 \times 3 = 63.0/72 \quad (3)$$

مقدار کل آب تصفیه شده مصرفی برای حداقل یک شستشوی معکوس در شبانه روز برای مجموع ۴۸ صافی:

$$63.0/72 \times 48 = 30.27/6 \quad (4)$$

میزان هدررفت آب مصرفی برای شستشوی یک فیلتر در طول یکسال (متر مکعب):

$$30.27/6 \times 365 = 11050.214 \quad (5)$$

این عدد با این فرض است که هر صافی در طول سال تنها یک بار در روز شستشوی معکوس گردد. همانطور که در جدول (۴) نشان داده شده است، مقدار آب هدر رفته و تعداد شستشوی معکوس در صافی‌های بعد از کلاریفایر مجهز به ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای (S₁) و صافی‌های بعد از کلاریفایر بدون ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای (S₂) باهم مقایسه گردیدند. میزان هدررفت آب به ترتیب ۱۶۶۰۸۲ و ۲۲۰۱۸۵ متر مکعب در شش ماه محاسبه گردیده است.

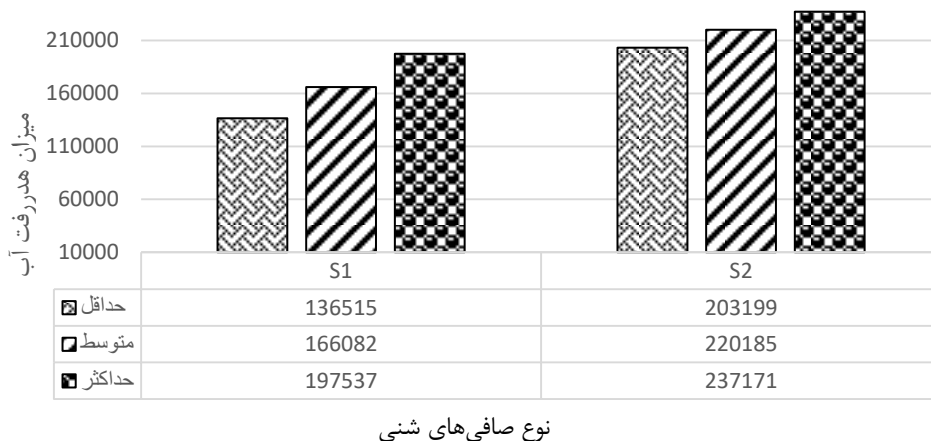
به ازای هر شستشوی معکوس برای یک صافی در طول عملیات از سه پمپ ۷۵ کیلو وات ساعتی و جمعاً ۸ بار پمپ و برای ۴۸ صافی جمعاً ۳۸۴ بار برای هر شستشو درگیر بوده است. جدول (۵)، تعداد موارد استفاده از پمپ و بلوئر در طول شستشوی معکوس را نشان می‌دهد. همچنین به ازای هر شستشوی معکوس برای یک صافی در طول عملیات از یک بلوئر ۲۰۰ کیلووات ساعتی و جمعاً ۴۸ بار برای هر شستشو مورد استفاده قرار گرفته است. شکل (۳) میزان هدررفت آب و شکل (۴) تعداد شستشوی معکوس در دو فیلتر S₁ و S₂ نشان می‌دهد.

جدول ۴. حداقل، میانگین و حداکثر هدررفت آب و تعداد موارد شستشوی معکوس صافی‌ها

Table 4. Minimum, mean, and maximum water loss and the number of backwashing cases for filters

صافی شنی	هدررفت آب (متر مکعب)			شستشوی معکوس (تعداد در شش‌ماه)		شستشوی معکوس (تعداد در روز)
	حداقل	متوسط	حداکثر	حداقل	متوسط	متوسط
S ₁	۱۳۶۵۱۵	۱۶۶۰۸۲	۱۹۷۵۳۷	۲۱۷	۲۶۴	۱/۴۲
S ₂	۲۰۳۱۹۹	۲۲۰۱۸۵	۲۳۷۱۷۱	۳۲۳	۳۵۰	۱/۸۸
راندمان نهایی ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای	۲۴/۶	۲۴/۶	۲۴/۵			

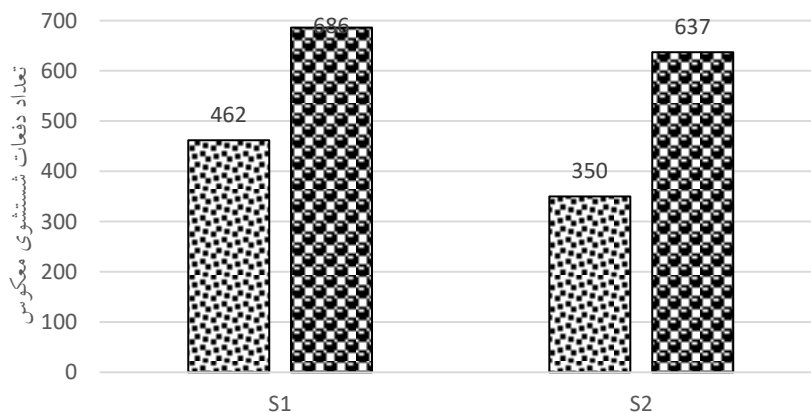
شکل ۳. مقایسه میزان حداقل و متوسط و حداکثر هدررفت در عملیات شستشوی معکوس در صافی‌های S₁ و S₂



نوع صافی‌های شنی

Fig 3. Comparison of minimum, average, and maximum effluent loss in backwashing operation for S₁ and S₂ filters

شکل ۴. تعداد شستشوی معکوس صافی‌های S₁ و S₂



تعداد دفعات شستشوی صافی‌ها در یک سال □ تعداد دفعات شستشوی صافی‌ها در شش‌ماه □

Fig 4. Number of backwashing cycles for S₁ and S₂ filters

جدول ۵. تعداد موارد استفاده از پمپ و بلوئر در طول شستشوی معکوس

Table 5. Number of pump and blower utilizations during backwashing process

تعداد موارد استفاده از بلوئر در سال	تعداد موارد استفاده از پمپ در سال	متوسط تعداد شستشوی معکوس در سال	نوع صافی شنی
۳۵۳۲۸	۲۶۳۴۲۴	۶۸۶	S ₁
۴۱۶۶۴	۵۰۴۸۹۶	۷۳۶	S ₂

طبق برنامه تنظیم شده و اتوماسیون انجام شده زمان شستشوی معکوس هر صافی ۲۱ دقیقه است. با توجه به ۸۴۰ ساعت هدررفت زمان شستشوی معکوس در طول سال برابر ۳۵ ساعت بر روز است. با توجه به اینکه هر شیفت کاری در تصفیه‌خانه ۱۲ ساعت است، ۷۵ شیفت کاری یک نفر از بهره‌برداران تصفیه‌خانه بدون هیچ‌گونه توقیفی بایستی صرفاً مشغول عملیات شستشوی معکوس باشد که عملاً امکان‌پذیر هم نیست.

۴- بحث

ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای، جداکننده‌های جامدات از جریان آب هستند که دارای عناصر محصورکننده نزدیک و شیب‌دار هستند که در مقایسه با مخازن عمودی امکان افزایش ته‌نشینی قابل توجهی را فراهم می‌کنند (BRENTWOOD, 2011). تجزیه و تحلیل‌های مختلف نشان داده است که برای افزایش راندمان صافی‌ها و حداکثر ناخالصی‌ها کاربرد تیوب ستلرها بسیار کمک‌کننده است (Gurjar et al., 2017). داده‌های محدودی در مورد مصرف انرژی و متغیرهایی که بر مصرف انرژی تأسیسات تصفیه آب تأثیر می‌گذارند، در دسترس است (Tam et al., 2007). این مطالعه مقطعی با ترکیب داده‌های موجود و تجربیات کسب شده در تصفیه‌خانه آب اصفهان با هدف تأثیر استفاده از تیوب ستلرها در کلاریفایرهای تصفیه‌خانه بر عملکرد صافی‌های شنی و تعداد موارد شستشوی معکوس آنها و همچنین انرژی مصرفی جهت عملیات شستشوی معکوس صافی‌ها انجام گردید. برای هر عملیات بک‌واش صافی‌ها در شبانه روز که سه‌بار صافی پر و خالی می‌شود حدود ۳۰۲۷۵ متر مکعب آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. این حجم آب مصرفی برای یکسال صافی‌ها حدود ۱۱ میلیون متر مکعب است. با دستیابی به راندمان ۲۴ درصدی کاهش هدررفت آب، ۷۲۶۶ متر مکعب آب در شبانه روز و ۲۶۴۰۰۰۰ متر مکعب در سال از هدررفت آب جلوگیری به عمل آمد. متوسط تعداد دفعات شستشوی معکوس صافی‌ها در سال از ۷۳۶ به ۶۸۶ بار کاهش پیدا کرد. تعداد موارد استفاده از پمپ در سال از ۵۰۴۸۹۶ به ۲۶۳۴۲۴ و تعداد موارد استفاده از بلوئر در سال از ۴۱۶۶۴ به ۳۵۳۲۸ کاهش پیدا کرد. در دنیا نیز تغییرات زیادی در مخزن ته‌نشینی برای کاهش هزینه و زمان ماند انجام گرفته است. Lekhak et al. (2021) در مطالعه‌ای با عنوان "مقایسه مکانیسم حذف جامدات معلق در ته‌نشین‌کننده لوله‌ای" دریافتند که استفاده از ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای سریع در مخازن ته‌نشینی آب مطابق یک مدل ریاضی باعث کاهش کدورت آب و رودی به فیلترها می‌گردد. Zielina et al. (2021) در مطالعه‌ای که با عنوان "صرفه‌جویی در انرژی و آب در هنگام شستشوی معکوس کارخانه‌های صافی سریع" در یک تصفیه‌خانه آب با اندازه متوسط واقع در قسمت شمالی اروپا انجام دادند، تقریباً

۱۰٪ صرفه‌جویی در آب را در سال برای شستشوی معکوس صافی‌های سریع و همچنین صافی‌های کربنی گرانول یا دانه‌ای^۳ (GAC) از طریق استفاده از کنترل شدت شستشو نشان به‌دست آوردند. میزان آب صرفه‌جویی شده در این روش با استفاده از صافی‌های سریع ۸۳۶۳۱۰ مترمکعب در سال و بسته به نوع GAC از ۴۵۷۰ تا ۷۵۱۱ مترمکعب بوده است. Bukhary et al. (2020) در مطالعه‌ای با عنوان "جنبه‌های طراحی، ارزیابی مصرف انرژی برای عملیات تصفیه آب آشامیدنی"، کل مصرف انرژی عملیاتی برای تصفیه‌خانه آب از جمله پمپ‌های توزیع آب ۵۶/۳ مگاوات‌ساعت در روز برآورد شد. در حالی که مصرف انرژی برای تصفیه‌خانه آب به استثنای پمپ‌های توزیع آب ۲۶۶۱ کیلووات‌ساعت در روز بود. نتایج مطالعه آنها نشان داد که بزرگترین مصرف‌کننده انرژی بعد از پمپ‌های توزیع آب (۱۵۸) فرآیندهای انعقاد (۱/۹۵) و لخته‌سازی (۱/۹۳) کیلووات‌ساعت بودند. Molinos-Senante & Guzmán (2018) طی مطالعه‌ای با عنوان "معیار سنجش بهره‌وری انرژی در تصفیه‌خانه‌های آب آشامیدنی، کمی‌سازی صرفه‌جویی‌های بالقوه" نشان دادند که برخی از متغیرهای ساختاری و مدیریتی موثر بر کارایی انرژی مورد بررسی قرار می‌گیرند. نتایج نشان داد که اکثر تصفیه‌خانه‌های آب مورد تجزیه و تحلیل اندازه مناسبی دارند؛ اما می‌توانند از نظر صرفه‌جویی در انرژی بهبود زیادی داشته باشند. مشخص شد که سن تصفیه‌خانه به‌طور قابل توجهی بر مصرف انرژی آنها تأثیر می‌گذارد. Gurjar et al. (2017) در مطالعه‌ای با عنوان بررسی عملکرد ماژول‌های ته‌نشین‌کننده لوله‌ای دریافتند که استفاده از ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای زمان ماند آب در حوض ته‌نشینی را ۱۵-۱۰ دقیقه کاهش می‌دهد که در مقایسه با مخزن ته‌نشینی معمولی بسیار کمتر است. همچنین متوسط راندمان حذف کدورت در حوض مجهز به ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای در مقایسه با واحد ته‌نشینی معمولی ۷۰ تا ۸۰ درصد بیشتر است. نتایج مطالعات بالا نشان می‌دهند که استفاده از ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای و سایر ته‌نشین‌کننده‌ها در حوض ته‌نشینی تصفیه‌خانه‌های آب، باعث کاهش کدورت، مواد معلق و سایر عوامل آلاینده در آب خام ورودی به تصفیه‌خانه می‌گردد و به تبع آن آب ورودی به فیلترها دارای کدورت و مواد جامد معلق کمتری است. این عمل باعث کاهش تعداد دفعات شستشوی معکوس و نهایتاً کاهش در کلیه اقدامات وابسته به شستشوی معکوس فیلترها می‌گردد که نتایج آنها با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد.

۵- نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین فرآیندهای مهم در طراحی و بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌های آب، استفاده از حوض‌های ته‌نشینی است. متداول‌ترین این حوض‌ها پولساتورها، اکسیلاتورها و استفاده از ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای و یا صفحات شیب‌دار لاملا است. طراحی اولیه حوض‌های ته‌نشین‌کننده از نوع اکسیلاتورها بوده که با توجه به هدف طرح استفاده همزمان و ترکیبی از حوض‌های ته‌نشین‌کننده‌ی اکسیلاتور و سریع لوله‌ای و مقایسه پارامترهای مورد نظر با ته‌نشین‌کننده اکسیلاتور به‌کار گرفته شده در طراحی اولیه است. در این مطالعه، استفاده از ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای در استریم اول از فاز اول تصفیه‌خانه و مقایسه پارامترهای هدررفت آب، اتلاف زمان مورد نیاز و تعداد عملیات شستشوی معکوس و کاهش در سرویس قرارگرفتن تجهیزات الکتریکی و مکانیکی مورد استفاده در دو استریم فاز اول تصفیه‌خانه آب اصفهان با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده همزمان و ترکیبی از ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای در حوض ته‌نشینی اکسیلاتور تصفیه‌خانه آب

³ Granola Activated Carbon

اصفهان، باعث کاهش آلاینده‌ها و در نتیجه افزایش کیفیت آب ورودی به صافی‌ها و در نتیجه باعث کاهش تعداد دفعات شستشوی معکوس به میزان حدود ۲۵ درصد و نهایتاً کاهش در کلیه مراحل فنی مهندسی و کیفی وابسته به شستشوی معکوس صافی‌ها گردیده است. با توجه به نتایج به دست آمده طراحی، اجرا و بهره‌برداری ترکیبی و همزمان از دو مدول اکسیلاتور و تهنشین‌کننده‌های بالا (لوله‌ای) به کلیه شرکت‌های مهندسی مشاور، آب و فاضلاب، بهره‌برداران و سایر صنایع مرتبط پیشنهاد می‌گردد.

۶- تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

۷- مراجع

- Baruth, E. E. (2004). Water treatment plant design. ASCE.
- BRENTWOOD industries www.brentwood.com (August 2011) comparison between the tube settler and conventional settling
- Bukhary, S., Batista, J., & Ahmad, S. (2020). Design aspects, energy consumption evaluation, and offset for drinking water treatment operation. *Water*, 12(6), 1772.
- Bukhary, S., Batista, J., & Ahmad, S. (2019). An analysis of energy consumption and the use of renewables for a small drinking water treatment plant. *Water*, 12(1), 28.
- Cornwell, D. A., & Roth, D. K. (2011). Water treatment plant residuals management. *Water Quality & Treatment. A Handbook on Drinking Water*.
- Gurjar, A., Bhorkar, M., Bhole, A. G., & Baitule, P. (2017). Performance study of tube settler's module. *International Journal of Engineering Research and Application*, 7(3), 52-55.
- Kang, C. H., Ryu, J. O., & Lee, H. D. (2001). The improvement of flocculation basin in water treatment process. *Journal of Korea Water Resources Association*, 34.
- Kim, Y. H., Eom, J. Y., Kim, K. Y., Lee, Y. S., Kim, H. S., & Hwang, S. J. (2010). Applicability study of backwash water treatment using tubular membrane system with dead-end filtration operation mode. *Desalination*, 261(1-2), 104-110.
- Lekhakh, B., & Amatya, I. M. (2021). Suspended Solids Removal Mechanism Comparison in Tube Settler. *Proceedings of 10th IOE Graduate Conference*, 10, 220-224.
- Letterman, R. D. (1999). Water quality and treatment: a handbook of community water supplies, (AWWA).
- Molinos-Senante, M., & Guzmán, C. (2018). Benchmarking energy efficiency in drinking water treatment plants: Quantification of potential savings. *Journal of cleaner production*, 176, 417-425.
- Pizzi, N. G. (2011). Water Treatment Plant Residuals Pocket Field Guide. American Water Works Association.
- Price, J. I., & Heberling, M. T. (2018). The effects of source water quality on drinking water treatment costs: A review and synthesis of empirical literature. *Ecological Economics*, 151, 195-209.
- Reißmann, F. G., Schulze, E., & Albrecht, V. (2005). Application of a combined UF/RO system for the reuse of filter backwash water from treated swimming pool water. *Desalination*, 178(1-3), 41-49.
- Syed, R. Q., Edward, M. M. G. Z., & Zhu, G. (2000). Water works engineering planning, design and operation. PHI edition, New Delhi.

- Tam, L. S., Tang, T. W., Lau, G. N., Sharma, K. R., & Chen, G. H. (2007). A pilot study for wastewater reclamation and reuse with MBR/RO and MF/RO systems. *Desalination*, 202(1-3), 106-113.
- Walsh, M. E., Gagnon, G. A., Alam, Z., & Andrews, R. C. (2008). Biostability and disinfectant by-product formation in drinking water blended with UF-treated filter backwash water. *Water Research*, 42(8-9), 2135-2145.
- Wolska, M., & Urbańska-Kozłowska, H. (2023). Assessing the Possibilities of Backwash Water Reuse Filters in the Water Treatment System—Case Analysis. *Water*, 15(13), 2452.
- Zielina, M., & Dabrowski, W. (2021). Energy and Water Savings during Backwashing of Rapid Filter Plants. *Energies* 2021, 14, 3782.