DOI: 10.48305/jhsr.v20i3.1557 Published by Vesnu Publications

Journal of Health System Research Vol. 20, No. 3, Autumn

Received: 28.06.2023 Accepted: 14.01.2024 Published: 06.10.2024

The Effect of Tube Settlers on the Removal of Suspended Solid and the Filters Backwash Energy Saving in the Isfahan Water Treatment Plant, Iran

Mohsen Memarzadeh[1], Mozhgan Ahmadi-Nadoushan[2], Payam Najafi[3], Mehran Hoodaji[4]

Original Article

Abstract

Background: The purpose of this study was to investigate the effect of using tubular settlers on the energy required for backwashing filters and the frequency of backwashing.

Methods: In this experimental study, two accelerator clarifiers connected to the raw water transfer channel No. 1 of the Isfahan Water Treatment Plant (WPT), Iran, were equipped with approximately 350 tubular settlers at an installation angle of 60 degrees.

Findings: The results of sampling the outlets showed that the average concentration of suspended solids in the clarifiers with tubular settlers was 3.20 ± 16.00 mg/l, while in clarifiers without tubular settlers, it was 4.41 ± 20.00 mg/l. The average removal efficiency of suspended solids in clarifiers equipped with tubular settlers was 64.86 ± 34.00%, compared to 52.10 ± 46.00% in other clarifiers. Additionally, the number of backwashing cycles of filters decreased by 25%, and energy consumption was reduced by 50%-60%.

Conclusion: The use of tube settlers to improve the quality of water entering filters reduces the number of backwashing cycles per day and ultimately saves energy for backwashing filters, which is very effective.

Keywords: Energy efficiency; Tube settlers; Water purification; Solid waste; Filter

Citation: Memarzadeh M, Ahmadi-Nadoushan M, Najafi P, Hoodaji M. **The Effect of Tube Settlers on the Removal of Suspended Solid and the Filters Backwash Energy Saving in the Isfahan Water Treatment Plant, Iran.** J Health Syst Res 2024; 20(3): 288-94.

1- PhD Student, Department of Environmental Sciences, School of Agriculture and Natural Resources, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
2- Associate Professor, Waste and Wastewater Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
3- Associate Professor, Department of Water Engineering, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
4- Professor, Department of Soil Science, School of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
Corresponding Author: Mozhgan Ahmadi-Nadoushan; Associate Professor, Waste and Wastewater Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran; Email: m.ahmadi@khuisf.ac.ir

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.48305/jhsr.v20i3.1557]

DOI: 10.48305/jhsr.v20i3.1557 Published by Vesnu Publications

تأثیر به کارگیری ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای بر حذف مواد معلق و کاهش انرژی مورد نیاز شستشوی صافی‌های تصفیه‌خانه آب اصفهان

محسن معمارزاده[۱]، مژگان احمدی ندوشن[۲]، پیام نجفی[۳]، مهران هودجی[۴]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی اثر کاربرد ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای بر انرژی مورد نیاز برای شستشوی معکوس صافی‌ها و تعداد دفعات شستشوی معکوس آن‌ها بود.

روش‌ها: در این مطالعه تجربی، دو کلاریفایر آکسیلاتور (Accelerator Clarifier) مربوط به ته کانال انتقال آب خام شماره ۱، به حدود ۳۵۰ عدد ته‌نشین‌کننده لوله‌ای با زاویه نصب ۶۰ درجه مجهز گردید.

یافته‌ها: نمونه‌برداری از خروجی‌ها نشان داد که میانگین غلظت جامدات معلق خروجی در کلاریفایرهای با ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای، ۱۶/۰۰ ± ۳/۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و در کلاریفایرهای بدون ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای، ۲۰/۰۰ ± ۴/۴۱ میلی‌گرم بر لیتر بود. میانگین راندمان حذف جامدات معلق در کلاریفایرهای مجهز به ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای، ۳۴/۰۰ ± ۶۴/۸۶ درصد و در کلاریفایرهای دیگر، ۴۶/۰۰ ± ۵۲/۱۰ درصد بود. همچنین، تعداد دفعات شستشوی معکوس صافی‌ها، ۲۵ درصد و انرژی مصرفی ۶۰-۵۰ درصد کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای به منظور افزایش کیفیت آب ورودی به صافی‌ها، کاهش تعداد دفعات شستشوی معکوس فیلترها در روز و در نهایت، صرفه‌جویی در انرژی مصرفی برای شستشوی معکوس صافی‌ها بسیار مؤثر است.

واژه‌های کلیدی: راندمان انرژی؛ ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای؛ تصفیه آب؛ مواد معلق زاید؛ فیلتر

ارجاع: معمارزاده محسن، احمدی ندوشن مژگان، نجفی پیام، هودجی مهران. **تأثیر به کارگیری ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای بر حذف مواد معلق و کاهش انرژی مورد نیاز شستشوی صافی‌های تصفیه‌خانه آب اصفهان.** مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۴۰۳؛ ۲۰ (۳): ۲۹۴-۲۸۸

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۴/۷ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۲۴ تاریخ چاپ: ۱۴۰۳/۷/۱۵

مقدمه

هر ساله میزان آب موجود در جهان کاهش می‌یابد و خشکسالی‌های پیاپی، مناطق بیشتری را در معرض خطر کمبود آب قرار داده است؛ به طوری که در بسیاری از کشورهای جهان، سرانه منابع آبی به سطح ۱۶۰۰ مترمکعب یعنی تنش آبی رسیده است (۱). کشورهایی که دارای سرانه منابع آب تجدیدپذیر بین ۱۰۰۰ تا ۱۷۰۰ مترمکعب هستند، جزء کشورهای با تنش آبی محسوب می‌گردند (۲). کاهش مصرف آب برای نیازهای داخلی تأسیسات تصفیه آب با بهینه‌سازی روش‌های تصفیه آب، یکی از رویکردهای استفاده منطقی از منابع آب است (۳). در بیشتر تصفیه‌خانه‌های آب دنیا، انواع صافی‌ها با بسترهای ماسه یا کربن فعال به طور معمول مورد استفاده قرار می‌گیرند که بسته به نوع و عملکرد صافی‌ها، ۲ تا ۱۳ درصد آب تولیدی صرف شستشوی معکوس (Backwash) آن‌ها می‌گردد (۵، ۴).

با توجه به نوع ماده منعقدکننده مورد استفاده، مواد آلی، میکروارگانیسم‌ها و ترکیبات آهن یا آلومینیوم به عنوان عوامل محدودکننده مؤثر بر کیفیت آب برگشتی از شستشوی معکوس، تکنولوژی‌های مختلفی جهت تصفیه آب ناشی از شستشوی معکوس آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (۶). ششستشوی معکوس صافی‌ها مطابق با راهنمای اصول بهره‌برداری و نگهداری تصفیه‌خانه‌های آب انجام می‌گیرد. به عبارت دیگر، با گرفتگی سطح صافی و افزایش افت فشار، فشار معکوس (مکش) در صافی اتفاق می‌افتد که باید صافی را قبل از این که مکش در آن اتفاق بیفتد و سرریز کند، از مدار خارج نمود و آن را شستشو داد (۳). با این که آلاینده‌های مشخصی در آب ناشی از شستشوی معکوس صافی‌ها وجود دارد که عامل محدودکننده جهت استفاده مجدد از آن‌ها نیز است، اما تاکنون پژوهشی در مورد نوسانات کمی و کیفی این ترکیبات در طول زمان بهره‌برداری صافی‌ها انجام نشده است. علاوه بر این، هیچ‌گونه شاخصی برای بازگرداندن پساب شستشوی معکوس صافی‌ها به فرایندهای تصفیه‌خانه وجود ندارد. البته برخی از مطالعات گزارش کرده‌اند که پساب ناشی از شستشوی معکوس صافی‌ها، باید به نسبت معینی (۴۰ به ۶۰) با آب خام ورودی ترکیب و وارد فرایندهای تصفیه آب گردد (۷). نتایج تحقیقات نشان داده است که یک

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
۲- دانشیار، مرکز تحقیقات پسماند و پساب، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
۳- دانشیار، گروه مهندسی آب، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
۴- استاد، گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
نویسنده مسؤول: مژگان احمدی ندوشن؛ دانشیار، مرکز تحقیقات پسماند و پساب، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
Email: m.ahmadi@khuisf.ac.ir

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: 10.48305/jhsr.v20i3.1557]

تصفیه‌خانه آب شهری در شمال اروپا با ظرفیت حدود ۲۵ هزار مترمکعب در روز، می‌تواند سالانه حدود ۸/۵ درصد از حجم کل آب تولیدی تأسیسات تصفیه آب را از طریق بازیافت آب ناشی از شستشوی معکوس صافی‌ها بازیابی نماید و با کاهش مصرف انرژی، به صرفه‌جویی در هزینه‌های عملیاتی کمک کند (۸).

در تمام تصفیه‌خانه‌های آب سطحی، عملیات صاف‌سازی، تکمیل‌کننده فرایندهای انعقاد و ته‌نشینی است و باقی‌مانده آلاینده‌هایی که از عملیات ته‌نشینی وارد صافی‌ها می‌گردد، ضرورت استفاده از شستشوی معکوس صافی‌ها را اجتناب‌ناپذیر می‌کند (۹). بنابراین، یکی دیگر از اصلی‌ترین و رایج‌ترین واحدهای عملیاتی مورد استفاده در تصفیه‌خانه‌های آب، مخازن ته‌نشینی است که در آن‌ها مواد معلق با چگالی بالاتر از آب بدون استفاده از هرگونه ترکیبات شیمیایی، ته‌نشین و از آب جدا می‌شود (۱۰). این فرایند در تصفیه آب‌های سطحی برای حذف ذرات ایجادکننده جامدات معلق پس از انعقاد و لخته‌سازی، بازیابی آب شستشوی معکوس صافی‌ها، تغلیظ لجن و به عنوان پیش ته‌نشینی به منظور حذف مواد جامد قابل ته‌نشینی مانند شن و ماسه از آب رودخانه قبل از پمپاژ آن به تصفیه‌خانه استفاده می‌شود (۱۱). بنابراین، لجن ته‌نشین شده در حوض ته‌نشینی و پساب ناشی از شستشوی معکوس، دو نوع باقی‌مانده در بیشتر فرایندهای تصفیه آب به شمار می‌روند (۱۲).

تاکنون تکنیک‌های ته‌نشینی متعددی برای کاهش زمان ماند و افزایش تولید آب به کار گرفته شده است. یکی از این تکنیک‌ها، کاربرد صفحات یا لوله‌هایی (لاملا) است که به صورت ته‌نشین‌کننده‌های صفحه‌ای و یا لوله‌ای می‌باشد و تئوری کاربرد آن‌ها بر اساس رسوب‌گذاری با سرعت بالا است (۱۰). ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای تکنیک جدیدی است که عمق ته‌نشینی کوتاه‌تری را فراهم می‌کند. بنابراین، مسیر ذرات را در مقایسه با حوضچه‌های ته‌نشینی سنتی کاهش می‌دهد (۱۳). این نوع لاملا از لوله‌های فشرده کوچک با مقطع مربع، دایره یا شش ضلعی تشکیل شده‌اند که با زاویه ۴۵ تا ۶۰ درجه با افق نصب می‌شوند تا ته‌نشینی مؤثر افزایش یابد و عمل خود تمیز کردن لجن از لوله‌ها نیز اتفاق بیفتد (۱۴). مطالعات متعددی کاربرد ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای را در افزایش راندمان ته‌نشینی در تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب بررسی نموده‌اند. Gurjar و Bhorkar عملکرد نسبی ته‌نشین‌کننده‌های لوله معمولی و اصلاح شده برای چهار پیکربندی لوله‌ها یعنی دایره‌ای، مربعی، شش ضلعی و V شکل را بررسی نمودند. راندمان درصد حذف ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای معمولی از ۷۵ تا ۸۹ درصد پس از شش ساعت مشاهده بسته به کدورت و زاویه شیب متغیر بود؛ در حالی که درصد راندمان حذف ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای اصلاح شده برای شرایط یکسان، از ۸۲ تا ۹۷ درصد گزارش شد (۱۵).

تحقیقات بسیاری نیز اثرات عوامل شیمیایی و بیولوژیکی آب را بر سلامت مصرف‌کنندگان نشان داده‌اند (۱۶). بنابراین، تصفیه‌خانه‌های آب مطابق با استانداردهای مربوطه طراحی و بهره‌برداری می‌شوند تا آب سالمی را برای جوامع فراهم کنند (۱۷). بهبود واحدهای عملیاتی و فرایندی تصفیه‌خانه آب به منظور تولید آب با کیفیت بالاتر بسیار ضروری است. اصلی‌ترین و رایج‌ترین واحد عملیاتی تصفیه‌خانه‌های آب، مخزن ته‌نشینی می‌باشد که عملکرد آن می‌تواند توسط ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای بهبود یابد (۱۸). ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای، محیط‌های تماسی هستند که به دلیل دارا بودن سطح بالایی نسبت به سایر لاملاها و نگهداری ساده و آسان (۱۹)، در پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفتند. تصفیه‌خانه آب باباشیخعلی اصفهان از کلاریفایر آکسیلاتور (Accelerator Clarifier) برای حذف جامدات معلق استفاده می‌کند. با افزایش جمعیت و گسترش شبکه‌های آب‌رسانی به شهرها و روستاها، نیاز به افزایش تولید آب و بهبود عملکرد مخازن ته‌نشینی بسیار ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین، هدف از انجام مطالعه حاضر، توسعه و تأیید تجربی کاربرد ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای بود که برای کاهش تعداد دفعات شستشوی معکوس صافی‌های تصفیه‌خانه و حداقل‌سازی انرژی مورد نیاز جهت شستشوی معکوس صافی‌ها مورد استفاده قرار گرفته بود.

روش‌ها

این تحقیق به صورت تجربی و در مقیاس کامل، بر روی فاز ۱ تصفیه‌خانه آب اصفهان در ایران که بزرگ‌ترین تصفیه‌خانه آب در ایران است، انجام گردید. در پژوهش حاضر دو کلاریفایر آکسیلاتور مربوط به کانال شماره ۱ انتقال آب خام با دبی ۲/۵ متر مکعب بر ثانیه، به ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای مجهز شدند. مشخصات کلاریفایر آکسیلاتورهای مورد بررسی در جدول ۱ ارایه شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های کلاریفایر آکسیلاتورهای مورد بررسی

نوع ویژگی	اندازه	واحد
سطح	۱۶۸۳	مترمربع
حجم	۹۱۷۲	مترمکعب
بار سطحی	۲/۸-۲/۴	مترمکعب بر مترمربع در ساعت
زمان ماند	۹۱/۷۵-۱/۲	ساعت
متوسط ارتفاع	۵/۴۵	متر
ارتفاع جانبی	۴/۷۵	متر
ارتفاع مرکز	۶/۱۵	متر
قطر اسمی	۴۸	متر

درون هر کلاریفایر، ۳۰۰ لوله ته‌نشینی مستطیلی به ابعاد ۹۰ × ۷۰ سانتی‌متر، طول ۱۴۵ سانتی‌متر، حجم ۰/۷ مترمکعب و ۵۰ لوله ذوزنقه‌ای شکل با ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر، قاعده‌های کوچک و بزرگ به ترتیب ۱۷۴ و ۶۰ سانتی متر، طول ۹۰ سانتی‌متر و حجم ۰/۸۷ مترمکعب با شیب ۶۰ درجه نسبت به افق قرار داده شد (۱۲). شکل ۱ نحوه نصب ته‌نشین‌کننده لوله‌ای (الف) و زاویه نصب آن‌ها (ب) در کلاریفایرهای مورد بررسی را نشان می‌دهد.

در این لوله‌ها جریان تصفیه شده به سمت بالا با جهتی مخالف جهت لجن حرکت می‌کند که برای تخلیه به سمت قیف حرکت می‌کند. کلاریفایرها از پایین تغذیه می‌شوند. به منظور سهولت در نصب ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای، ابتدا آکسیلاتور کلاریفایرها به بخش‌های مساوی تقسیم شدند. ته‌نشین‌کننده‌های لوله پلی‌پروپیلن با گرید غذایی در هر دو آکسیلاتور کلاریفایرها به صورت متقاطع نسبت به جریان، بین ورودی و خروجی در دیواره‌های کلاریفایر نزدیک کانال جمع‌آوری آب خروجی نصب شدند.

در مطالعه حاضر، در دو آکسیلاتور کلاریفایر مجهز شده به پلی‌پروپیلن لوله‌ای و دو آکسیلاتور کلاریفایر معمولی و بدون ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای، جامدات معلق ورودی به آن‌ها و خروجی از آن‌ها (ورودی به صافی‌ها) به صورت روزانه اندازه‌گیری گردید.

https://hsr.mui.ac.ir
[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: 10.48305/jhsr.v20i3.1557]

شکل ۱. نمای ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای در کلاریفایرهای مورد بررسی

الف. نمای ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای و ب. موقعیت قرارگیری ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای

در هر هفته سه نمونه از ورودی و خروجی آن‌ها برداشت و مجموع جامدات معلق (Total suspended solids یا TSS) مطابق با روش ارایه شده در کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب (۱۸) اندازه‌گیری گردید. راندمان حذف TSS با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید که در آن، C_i جامدات معلق ورودی و C_f جامدات معلق خروجی می‌باشد.

$$\text{Removal}(\%) = \frac{(Ci - Cf)}{Ci} \times 100 \qquad \text{رابطه ۱}$$

تعداد شستشوی معکوس صافی‌های دریافت‌کننده آب خروجی از کلاریفایرهای مجهز به ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای و صافی‌های دریافت‌کننده آب از کلاریفایرهای بدون ته‌نشین‌کننده لوله‌ای به صورت روزانه ثبت گردید. میزان انرژی الکتریکی مصرفی بر حسب کیلووات ساعت نیز برای شستشوی یک صافی اندازه‌گیری و در تعداد صافی‌ها ضرب و انرژی مصرفی آن‌ها محاسبه شد.

یافته‌ها

مقایسه عملکرد صافی‌ها و راندمان حذف TSS در دو نوع کلاریفایر در جدول ۲ ارایه شده است. با توجه به کیفیت آب خام ورودی به تصفیه‌خانه آب مورد بررسی، غلظت TSS ورودی به کلاریفایرهای مجهز به ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای و کلاریفایرهای بدون استفاده از ته‌نشین‌کننده‌ها با هم برابر بود. میانگین غلظت TSS خروجی در کلاریفایرهای مجهز به ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای، ۳/۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و درکلاریفایرهای بدون ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای، ۴/۴۱ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد. میانگین راندمان حذف TSS در کلاریفایرهای مجهز به ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای، ۶۴/۸۶ درصد و در کلاریفایرهای دیگر، ۵۲/۱۰ درصد بود. همچنین، تعداد دفعات شستشوی معکوس ده صافی دریافت‌کننده خروجی کلاریفایرهای مجهز به ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای، ۱۲ بار در روز و در ده صافی مرتبط با کلاریفایرهای دیگر، ۱۶ بار در روز گزارش گردید. میانگین انرژی مصرفی روزانه شستشوی صافی‌های دریافت‌کننده خروجی کلاریفایرهای مجهز به ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای، ۱۸۸ کیلووات ساعت در روز و در سایر کلاریفایرها، ۳۹۳ کیلووات ساعت در روز بود.

شکل ۲ روند تغییرات TSS در خروجی کلاریفایر بدون ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای و کلاریفایر مجهز شده به ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای را نشان می‌دهد. بر این اساس، مقدار TSS در خروجی کلاریفایرها نسبت به آب خام به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت و در کلاریفایر مجهز به ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای، کاهش بیشتری نسبت به کلاریفایر بدون ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای مشاهده گردید.

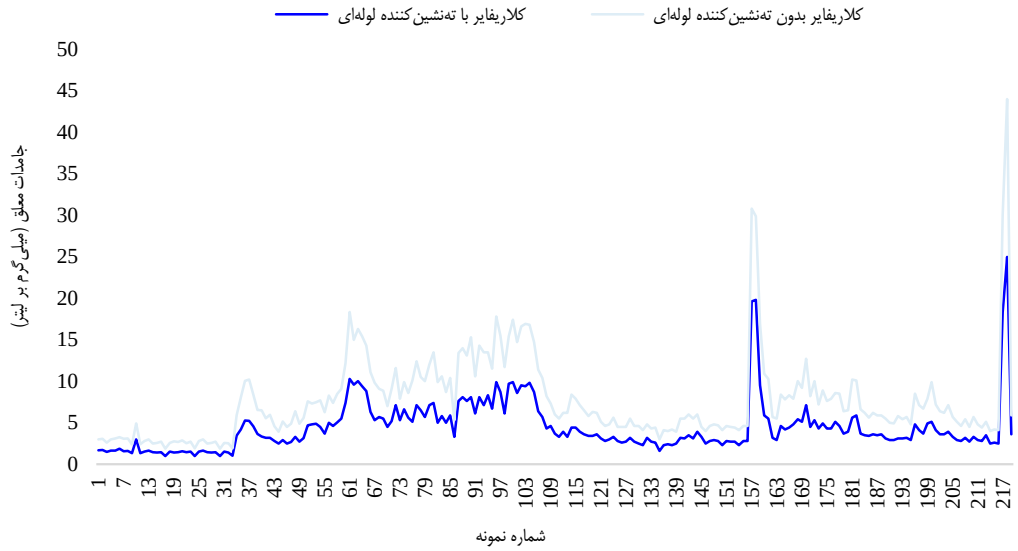
نتایج آزمون همبستگی Pearson نشان داد که غلظت TSS آب ورودی با راندمان حذف آن‌ها در هر دو نوع کلاریفایر مورد بررسی ارتباط معنی‌داری داشت ($P = ۰/۰۰۱$) (جدول ۳).

جدول ۲. مقایسه عملکرد کلاریفایرهای مورد بررسی

شاخص	کلاریفایر							
	بدون ته‌نشین‌کننده لوله‌ای				با ته‌نشین‌کننده لوله‌ای			
	حداقل	متوسط	حداکثر	انحراف معیار	حداقل	متوسط	حداکثر	انحراف معیار
TSS ورودی (میلی‌گرم بر لیتر)	۲/۵۷	۱۴/۳۱	۱۳۵/۴۰	۱۸/۷۰	۲/۵۷	۱۴/۳۱	۱۳۵/۴۰	۱۸/۷۰
TSS خروجی (میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۹۸	۴/۴۱	۲۵/۰۰	۳/۱۰	۰/۸۹	۳/۲۰	۱۹/۰۰	۲/۱۰
راندمان حذف (درصد)	۰/۵۷	۵۲/۱۰	۹۸/۱۰	۲۱/۹۰	۲۴/۴۹	۶۴/۸۶	۹۸/۸۰	۱۵/۸۰
شستشوی معکوس (تعداد در روز ده صافی)	۱۲	۱۶	۲۰	۲/۶۰	۱۰	۱۲	۱۴	۱/۳۵
میانگین انرژی مصرفی روزانه شستشوی فیلترها (کیلووات ساعت)	۲۴۰	۳۹۳	۶۰۰	۷۵/۶	۱۲۰	۱۸۸	۲۸۰	۳۸/۸۰

TSS: Total suspended solid

https://hsr.mui.ac.ir
[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: 10.48305/jhsr.v20i3.1557]



شکل ۲. روند تغییرات Total suspended solids (TSS) در خروجی کلاریفایر بدون ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای و کلاریفایر با ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای

بر اساس آزمون همبستگی Pearson، غلظت TSS در کلاریفایرهای بدون ته‌نشین‌کننده لوله‌ای با تعداد دفعات شستشوی معکوس صافی‌ها و همچنین، انرژی مصرفی جهت عملیات شستشوی معکوس ارتباط معنی‌داری را نشان نداد، اما در کلاریفایرهای مجهز به ته‌نشین‌کننده لوله‌ای تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید ($P < ۰/۰۰۱$).

همبستگی بین مقادیر TSS ورودی و درصد حذف آن‌ها در کلاریفایرهای با ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای و بدون ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای در شکل ۳ نشان داده شده است. این رابطه حاکی از آن است که شیب خط همبستگی در کلاریفایرهای با ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای، ۱/۶ و در کلاریفایرهای بدون ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای، ۰/۴ است. همچنین، ضریب همبستگی در کلاریفایرهای با ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای، ۰/۶۱۲ و در کلاریفایرهای بدون ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای، ۰/۸۸۶ به دست آمد. این همبستگی نشان می‌دهد که با افزایش TSS آب خام ورودی، حذف آن‌ها در کلاریفایرهای با ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای بیشتر از کلاریفایرهای بدون ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای اتفاق می‌افتد.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، اثر استفاده از ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای در ته‌نشینی TSS و تعداد دفعات شستشوی معکوس صافی‌ها و همچنین، مقدار انرژی الکتریکی مصرف شده در تصفیه‌خانه آب اصفهان بررسی گردید و نتایج نشان داد که حداکثر TSS آب خام ورودی به کلاریفایرها ۱۳۵/۴ میلی‌گرم بر لیتر بود. حداکثر TSS آب خروجی کلاریفایرهای بدون استفاده از ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای، ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر و در کلاریفایرهای مجهز به ته‌نشین‌کننده های لوله‌ای، ۱۹ میلی‌گرم بر لیتر بود. حداکثر راندمان حذف TSS درکلاریفایرهای مجهز به ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای، ۹۸/۸۰ درصد و در کلاریفایرهای بدون استفاده از ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای، ۹۸/۱۲ درصد به دست آمد.

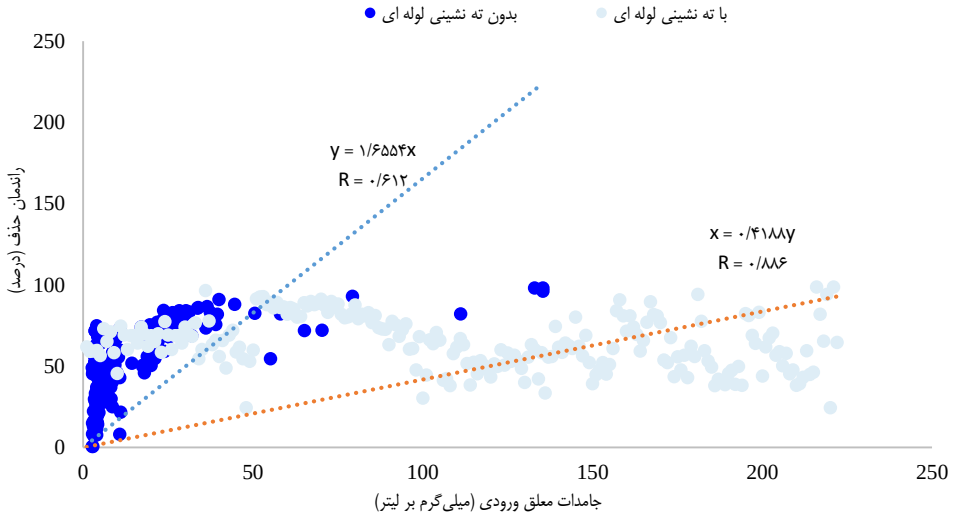
جدول ۳. همبستگی آماری شاخص‌های مورد بررسی

شاخص	آزمون آماری	TSS (میلی‌گرم بر لیتر)		
		آب خام	کلاریفایر بدون لوله ته‌نشین‌کننده	کلاریفایر با لوله ته‌نشین‌کننده
راندمان حذف TSS (درصد)	همبستگی Pearson	۰/٦٤٢	۰/۳۲۲	۰/۲۵۹
	مقدار P	۰/۰۰۱	۰/۱۲۱	۰/۰۰۱
انرژی مصرفی (کیلووات ساعت در روز)	همبستگی Pearson	۰/۰۵۸	۰/۰۲٤	۰/۰۰٦
	مقدار P	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
شستشوی معکوس (تعداد در روز)	همبستگی Pearson	۰/۰۰٤	۰/۰۲۰	۰/۰۲۰
	مقدار P	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۷٦٤

TSS: Total suspended solids

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.48305/jhsr.v20i3.1557]



شکل ۳. همبستگی بین مقادیر Total suspended solids (TSS) ورودی و درصد حذف آن‌ها در کلاریفایرهای با ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای و بدون ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای

Baird و همکاران تحقیقی را با هدف مقایسه مکانیسم حذف TSS در ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای در بارهای سطحی متفاوت انجام دادند و حداکثر راندمان حذف کدورت ناشی از TSS را در بار سطحی ۰/۲۸ متر بر ساعت، ۵۰/۸ درصد اعلام نمودند (۱۹). در مطالعه حاضر حداکثر راندمان حذف TSS در کلاریفایرهای مجهز به ته نشین‌کننده‌های لوله‌ای با بار سطحی ۲/۸–۲/۴ متر بر ساعت، ۹۸/۸۰ درصد به دست آمد که نسبت به مطالعه Baird و همکاران (۱۹) بسیار بالاتر است. این امر احتمالاً به دلیل تفاوت در بار سطحی و غلظت TSS در آب خام ورودی می‌باشد. Zelina و Dąbrowski تحقیقی را با هدف صرفه جویی در انرژی مصرفی شستشوی معکوس تصفیه‌خانه‌های دارای صافی شنی تند انجام دادند و مقادیر میانگین ماهانه آب جمع‌آوری و مقدار آب و انرژی مورد نیاز شستشوی معکوس محاسبه گردید. به طور متوسط، صرفه جویی سالانه در انرژی مصرفی حدود ۱۳/۶درصد گزارش شد (۴). در بررسی حاضر نیز افزایش صرفه‌جویی در انرژی با استفاده از ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای بیش از ۵۰ درصد گزارش گردید که به دلیل کارایی بهتر آکسیلاتور کلاریفایرهای مورد بررسی می‌باشد.

Chu و Ng در پژوهشی که به منظور زلال‌سازی سریع آب توسط ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای V شکل انجام دادند، عملکرد عملیات ته‌نشینی مواد معلق طی سه مرحله مختلف را بررسی نمودند و دریافتند که بالاترین راندمان ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای در حذف TSS ورودی در کدورت، ۳۰۰ Nephelometric turbidity unit (NTU) بوده است و در نهایت، نتایج آن‌ها نشان داد که کارایی ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای در حذف TSS نسبت به حالتی که از آن‌ها استفاده نشده است، بسیار بالاتر بود (۲۰). در مطالعه حاضر نیز از منعقدکننده استفاده گردید و راندمان حذف TSS در کلاریفایرهای تصفیه‌خانه، مشابه نتایج تحقیق Chu و Ng (۲۰) بود و به نظر می‌رسد که کاربرد ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای پنج ضلعی راندمان بیشتری نسبت به V شکل دارد. Hanifa و همکاران نیز در پژوهشی که با هدف بهینه‌سازی عملکرد فرایند تصفیه‌خانه آب انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که کیفیت آب خام تحت تأثیر فصول سال است و راندمان حذف TSS، ۹۴/۶ درصد به دست آمد که نشان می‌دهد تغییرات دیگر به غیر از ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای نیز می‌تواند راندمان حذف TSS را به میزان بیشتری حذف نماید (۲۱). Al-Dulaimi و Racoviteanu در مطالعه‌ای با هدف بررسی عملکرد زلال‌سازهای مجهز به ته‌نشین‌کننده لوله‌ای در زوایای شیب مختلف و نرخ جریان‌های متغیر، گزارش کردند که ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای در حذف ذرات لخته شونده در تمام زوایای شیب بسیار کارامد بود (۱۱). نتایج تحقیق حاضر نیز حاکی از آن است که استفاده از ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای در ته‌نشینی TSS بسیار مؤثر است و هم‌راستا با پژوهش Al-Dulaimi و Racoviteanu (۱۱) می‌باشد. Bhatta و Amatya کارایی ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای در زوایای مختلف شیب و دبی‌های کنترل شده جهت حذف TSS را بررسی و گزارش کردند که تغییر دادن شیب ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای از ۷۷ به ۶۰ درصد، باعث افزایش راندمان از ۲۱/۰۸ به ۴۴/۳۸ درصد گردید (۲۲) که با توجه به برابری با شیب (۶۰ درصد) در پژوهش حاضر، افزایش حذف TSS شبیه بررسی حاضر می‌باشد، اما در مطالعه حاضر به دلیل راهبری دقیق‌تر کلاریفایرها، راندمان حذف بیشتر بود.

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که با استفاده از ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای، راندمان حذف TSS در کلاریفایرها در مقایسه با واحد ته‌نشینی معمولی بالاتر است. راندمان ته‌نشینی ذرات در ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای به دلیل کاهش ارتفاع ته‌نشینی، افزایش می‌یابد. متوسط راندمان حذف TSS در کلاریفایر مجهز به ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای در مقایسه با کلاریفایر معمولی ۹۹–۹۸ درصد می‌باشد. بنابراین، کاربرد ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای جهت افزایش کیفیت آب ورودی به صافی‌ها، کاهش تعداد دفعات شستشوی معکوس فیلترها در روز و در نهایت، صرفه جویی در انرژی مصرفی برای شستشوی معکوس صافی‌ها بسیار مؤثر است.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: 10.48305/jhsr.v20i3.1557]

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر برگرفته از رساله مقطع دکتری تخصصی محیط زیست با شماره ۱۷۵۴۸۱۲۹۰۸۱۳۰۷۸۱۴۰۰۱۶۲۴۱۹۸۲۱، مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) می‌باشد. بدین وسیله از شرکت آبفای استان اصفهان و همچنین، مجموعه کارکنان شاغل در تصفیه‌خانه آب اصفهان که در انجام این مطالعه همکاری و مشارکت نمودند، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

1. Thier A, Tyli I, Zmija K. Management of water resources and their consumption within the circular economy. Restructuring Management: Models–Changes–Development. Kraków, Poland: Cracow University of Economics; 2020.
2. Karzar R, Shokri M. Water resource management is an undeniable necessity in Iran. Proceedings of the International Conference of Management Elites. 2016 May 31; Tehran, Iran. [In Persian].
3. U.S.Environmental Protection Agency. Drinking water treatment plant residuals management: Technical report: Summary of residuals generation, treatment, and disposal at large community water systems. Washington, DC: US EPA; 2011.
4. Zielina M, Dąbrowski W. Energy and water savings during backwashing of rapid filter plants. Energies 2021; 14(13): 3782.
5. Wolska M, Urbańska-Kozłowska H. Assessing the possibilities of backwash water reuse filters in the water treatment system-case analysis. Water 2023; 15(13): 2452.
6. Crittenden JC, Trussell RR, Hand DW, Howe KJ, Tchobanoglous G. MWH's water treatment: Principles and design. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2012.
7. Fouad HA, El-Hefny RM, Mohamed MA. Reuse of spent filter backwash water. Int J Civ Eng Technol 2016; 7: 176-87.
8. Doménech-Sánchez A, Laso E, Berrocal CI. Water loss in swimming pool filter backwashing processes in the Balearic Islands (Spain). Water Policy 2021; 23(5): 1314-28.
9. Kawamura S. Integrated design and operation of water treatment facilities. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2000.
10. Suman S, Singh NP, Sulekh C. Effect of filter backwash water when blends with raw water on total organic carbon and dissolve organic carbon removal. Res J Chem Sci 2012; 2(10): 38-42.
11. Al-Dulaimi SM, Racoviteanu G. Performance of the tube settler clarification at different inclination angles and variable flow rate. Modelling in Civil Environmental Engineering 2018; 14(2): 13-25.
12. Balwan K, Mujawar A, Bhabuje D, Karake M. Study of the effect of length and inclination of tube settler on the effluent quality. International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering 2016; 3(1): 36-40.
13. Zhang D, Xu H, Wang X, Wang D, Duan J, Men B. Influence of coagulation process on the ultrafiltration performance. The roles of Al species and characteristics of algae-laden water. Separation and Purification Technology 2017; 183: 32-42.
14. Fraji A, Asadollahfardi G, Shevidi A. A pilot study for the application of one- and two-stage tube settlers as a secondary clarifier for wastewater treatment. International Journal of Civil Engineering 2013; 11(4): 272-80.
15. Gurjar A, Bhorkar M. Performance Study of Tube Settlers Module. Int Journal of Engineering Research and Applications 2017; 7(3): 52-5.
16. Kumar N, Balasundaram N. Efficiency of PAC in water treatment plant & disposal of its sludge. International Journal of Applied Engineering Research 2017; 12(12): 3253-62.
17. Wang K, Li Y, Ren S, Yang P. A case study on settling process in inclined-tube gravity sedimentation tank for drip irrigation with the yellow river water. Water 2020; 12(6): 1685.
18. Fujisaki K, Terashi M. Tube settlers for the enhancement of settling tank capability. Filtration 2007; 7(2): 168-72.
19. Baird R, Rice E, Eaton A. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd ed. Washington DC: American Public Health Association. 2017.
20. Chu W, Ng FL. Upgrading the conventional grease trap using a tube settler. Environ Int 2000; 26(1-2): 17-22.
21. Hanifa R, Adityosulindro S, Wahyuningsih NPS. Optimization of water treatment process performance of Duren Seribu Water Treatment Plant in Depok City: Water quality and design parameters. IOP Conf Ser: Earth Environ Sci 2021: 896 012039.
22. Bhatta P, Amatya IM. Efficiency of tube settler at various angle of inclinations in controlled discharges. Journal of Innovations in Engineering Education 2022; 5(1): 25-9.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.48305/jhsr.v20i3.1557]