عملکرد سیستم زلال‌ساز اکسیلاتور در حذف کدورت*

حسین فرخ‌زاده[۱]، حسن هاشمی[۲]، مهدی حاجیان‌نژاد[۳]

چکیده

مقدمه: سیستم اکسیلاتور به دلیل داشتن مزایای زیادی از جمله تلفیق فرایندهای اختلاط، لخته‌سازی و ته‌نشینی در یک واحد، امکان انجام همزمان سختی‌زدایی و زلال‌سازی و راندمان نسبتاً قابل قبول، امروزه مورد توجه طراحان تصفیه‌خانه آب می‌باشد که علی‌رغم به کارگیری آن در تعدادی از مناطق کشور، تحقیقات کافی در خصوص عملکرد این واحد در مقیاس واقعی و پایلوت انجام نشده‌است.

روش‌ها: در این مطالعه تجربی به منظور بررسی عملکرد سیستم اکسیلاتور در حذف کدورت با استفاده از منعقدکننده‌های شیمیایی (PACL و $FeCl_3$)، سیستمی در مقیاس پایلوت طراحی و در شرایط کنترل شده (دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و pH=۷/۲) و شرایط متفاوت از نظر کدورت، دوز منعقدکننده و زمان ماند، بهره‌برداری شد.

یافته‌ها: کارایی $FeCl_3$ در حذف کدورت در اکسیلاتور بیشتر از PACL بوده است. ضمن این که حداکثر کارایی سیستم اکسیلاتور در حذف کدورت، ۹۵ درصد بوده که با تزریق ۱۰ میلی‌گرم بر لیتراز ماده منعقدکننده $FeCl_3$ پس از مدت زمان ۲۴۰ دقیقه ته‌نشینی حاصل شده است به طوری که کدورت NTU ۱۰۰ در آب خروجی به NTU ۵ کاهش یافته‌است.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین زمان ماند و کدورت آب خروجی از پایلوت با ضریب همبستگی (r = - ۰/۹۸) وجود دارد(p-value<۰/۰۵).

واژه‌های کلیدی: زلال‌ساز اکسیلاتور، کدورت، منعقدکننده‌های شیمیایی، تصفیه آب.

نوع مقاله: *تحقیقی*

دریافت مقاله: ۸۹/۱۰/۲۵ *پذیرش مقاله: ۸۹/۱۱/۲۳*

مقدمه

حوض زلال‌ساز اکسیلاتور ترکیبی از اولین طرح‌های موفق زلال‌سازها است که طراحی آن حدود نیم قرن پیش صورت گرفته و در زمان خود از پیشرفته‌ترین زلال‌سازها بوده است (۱). این حوض به دلایل مختلفی از جمله عدم نیاز به لجن روب، الکتروپمپ برگشت لجن از منطقه ته‌نشینی به منطقه لخته‌سازی اولیه و همین طور عدم نیاز به وجود مرحله اختلاط سریع (flash mixing) و راندمان نسبتاً قابل قبول، حتی امروزه هم طرفدارانی در بین طراحان داشته و در برخی شرایط، به خصوص در مواردی که هر دو فرایند حذف سختی با آهک و زلال‌سازی هم‌زمان مورد نظر است پیشنهاد می‌گردد (۲).

این حوض اگر به درستی طراحی و اجرا گردد، علی‌رغم بهره‌برداری مشکل و نیاز به نگهداری و تنظمیات مکرر، می‌تواند به طور مؤثری مورد بهره‌برداری قرار گرفته و آب زلالی با کیفیت مطلوب فراهم آورد. نظر به این که در تعدادی از تصفیه‌خانه‌های کشور (تصفیه‌خانه جلالیه تهران) از این نوع زلال‌ساز استفاده شده، به لحاظ پیچیدگی نسبی، راهبری

*این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی مصوب به شماره ۲۸۸۲۵۸ در دانشگاه علوم پزشکی اصفهان می‌باشد.

۱- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲- دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان ،اصفهان، ایران (نویسنده مسؤول)

Email: hashemi@hlth.mui.ac.ir

۳- دانشیار، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]

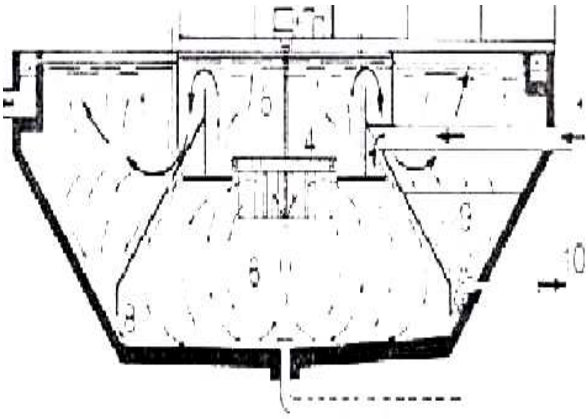
www.mui.ac.ir

آن‌ها با مشکلاتی روبه‌رو است (۳). اگر چه اخیراً پیشرفت‌هایی درشناخت مکانیزم فرآیند انعقاد حاصل شده اما هنوز از آن به عنوان یک دانش دقیق و جامع نام برده نمی‌شود. از این رو انتخاب و تعیین مقادیر بهینه از منعقدکننده‌ها به جای آن که از طریق کمی و فرمول محاسبه شود، به روش تجربی و با آزمایش جار تعیین می‌گردد (۴). آزمون جار بر روی هر آبی که قرار است عملیات انعقاد بر روی آن انجام شود باید صورت گیرد و با هر تغییر قابل ملاحظه‌ای درکیفیت آب مورد نظر تکرار شود (۵، ۶). هدف از انجام این طرح تعیین غلظت و زمان ماند بهینه درحذف کدورت آب با استفاده از مواد منعقدکننده شیمیایی درسیستم اکسیلاتور در مقیاس پایلوت بوده است. هدف از انجام این مطالعه، بررسی عملکرد سیستم زلال‌ساز اکسیلاتور در حذف کدورت با استفاده از منعقدکننده‌های شیمیایی درمقیاس پایلوت بوده است.

روش‌ها

این مطالعه از نوع تجربی بوده و به منظور بررسی عملکرد سیستم اکسیلاتور در حذف کدورت با منعقدکننده‌های شیمیایی، یک سیستم زلال‌ساز اکسیلاتور در مقیاس پایلوت طراحی ساخته شد. طرح شماتیک پایلوت طراحی شده در شکل (۱) نشان داده شده است. بهره‌برداری از پایلوت در دما و pH ثابت و شرایط متغیر از نظر کدورت ورودی، دوز منعقدکننده و زمان ماند انجام می‌شد. در هر بار تغییر شرایط، به صورت لحظه‌ای (Grab Sampling) از آب خروجی پایلوت نمونه‌برداری می‌شد. برای کنترل بهتر شرایط و مقایسه عملکرد منعقدکننده‌های FeCl و PACL در شرایط مشابه، کدورت ورودی به سیستم به طور سنتتیک در غلظت‌های مختلف ساخته شد. بدین منظور، دریک مخزن ۱۵۰۰ لیتری با استفاده از ماده شیمیایی کائولن (سیلیکات هیدراته آلومینیم با فرمول $H_2Al_2Si_2O,8.8H_2O$) و آب، کدروت‌هایی در ۴ محدوده (۲۰ – ۱۵ و ۵۰ –۳۰ و ۸۰ –۵۰ و ۱۰۰ – ۸۰) تهیه و سپس به سیستم اکسیلاتور پمپاژ می‌شد. در ابتدا اثر زمان ماند بتنهایی و سپس اثر زمان ماند و مواد منعقدکننده با ۳ غلظت مختلف (که میانگین آن‌ها براساس آزمایش جار تعیین می‌شد) در حذف کدورت بررسی می‌شد. کائولن استفاده شده از نوع سبک به صورت پودر سفید رنگ و ساخت کشور آلمان بود. نتایج به دست آمده ازآزمایش برای تعیین نوع و دوز ماده منعقدکننده مصرفی در واحد مورد مطالعه مورد استفاده قرار می‌گرفت. ابتدا با کمک دستگاه کدورت سنج پرتابل مدل Utech Tubidimeter مقدار کدورت آب ورودی به زلال‌ساز مشخص می‌شد. پس از تزریق ماده منعقدکننده توسط پمپ تزریقی و طی زمان ماند مشخصی جهت ته‌نشینی لخته‌های تشکیل شده، از شیرخروجی پایلوت مقدار کدورت آب تصفیه شده خروجی اندازه‌گیری می‌شد. محدوده زمان ماند بین۲۴۰–۹۰ دقیقه و دوز منعقدکننده مورد استفاده بین ۲۰–۵ میلی‌گرم در لیتر بود.

تمام آزمایش‌ها مطابق کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب (استاندارد متد– ۲۰۰۵) انجام شده و داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزارهای excelو SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌است (۷، ۸).



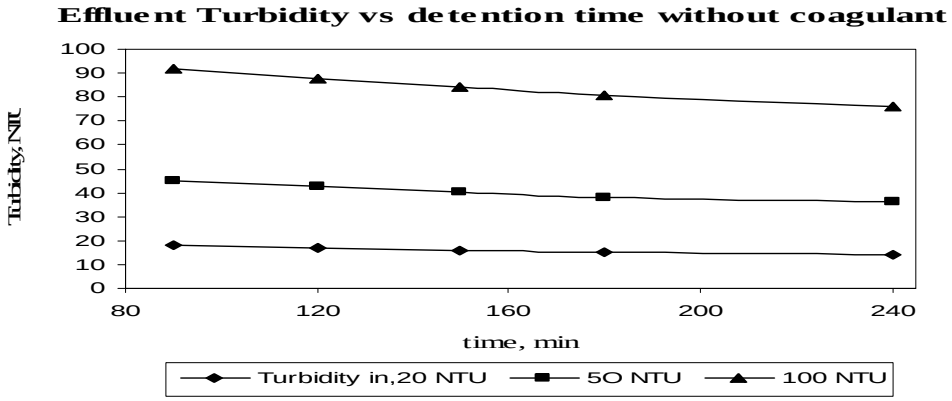
شکل ۱– طرح شماتیک پایلوت اکسیلاتور مورد استفاده، شامل: ۱ و ۲– ورودی آب، ۳و۴– تزریق منعقد کننده، ۵و۶– ناحیه اختلاط، ۷ و۸– بافل‌ها، ۹– لجن، ۱۰– خروجی لجن

یافته‌ها

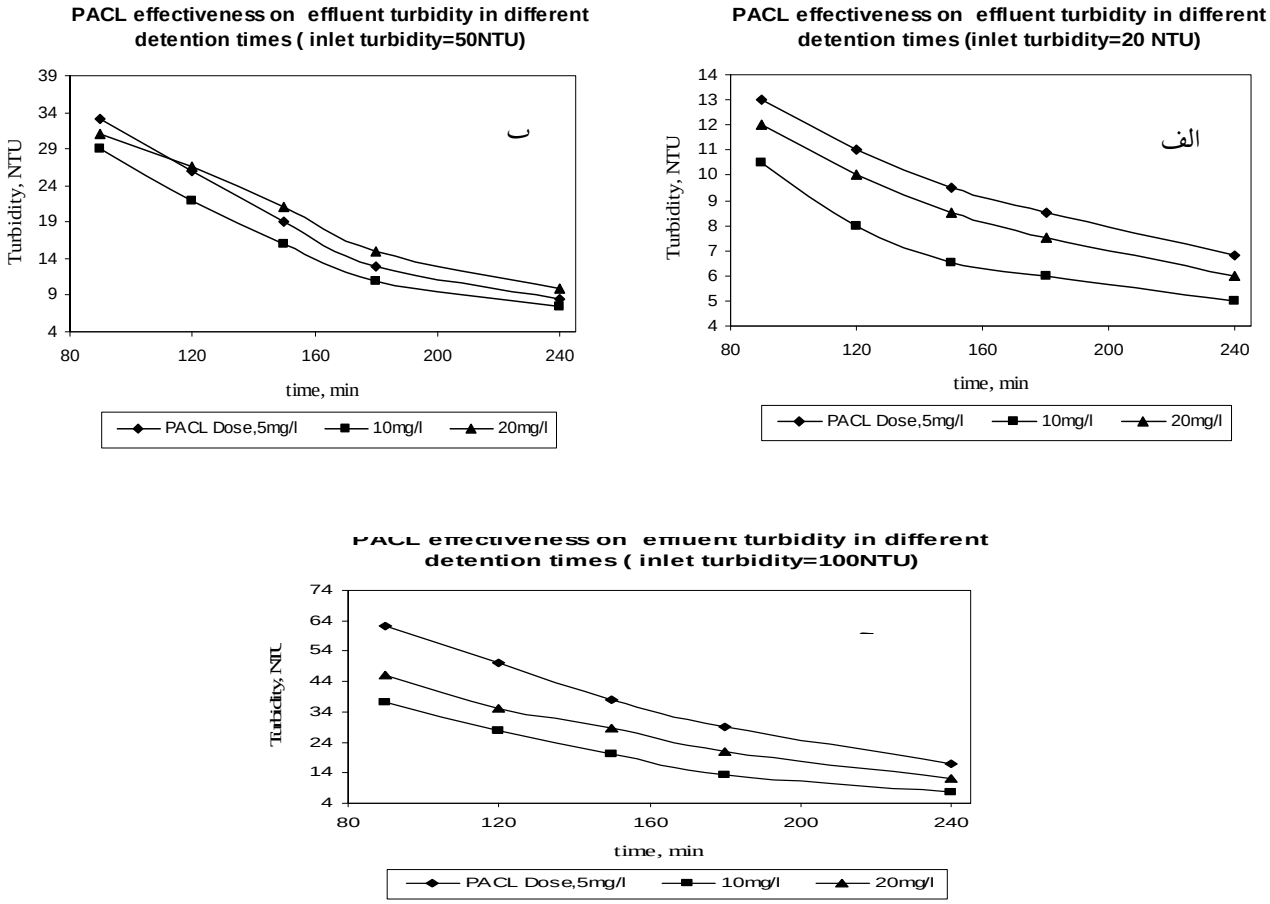
یافته‌های حاصل از این مطالعه در قالب نمودار در شکل‌های (۲،۳، ۴) آورده شده است.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]

www.mui.ac.ir

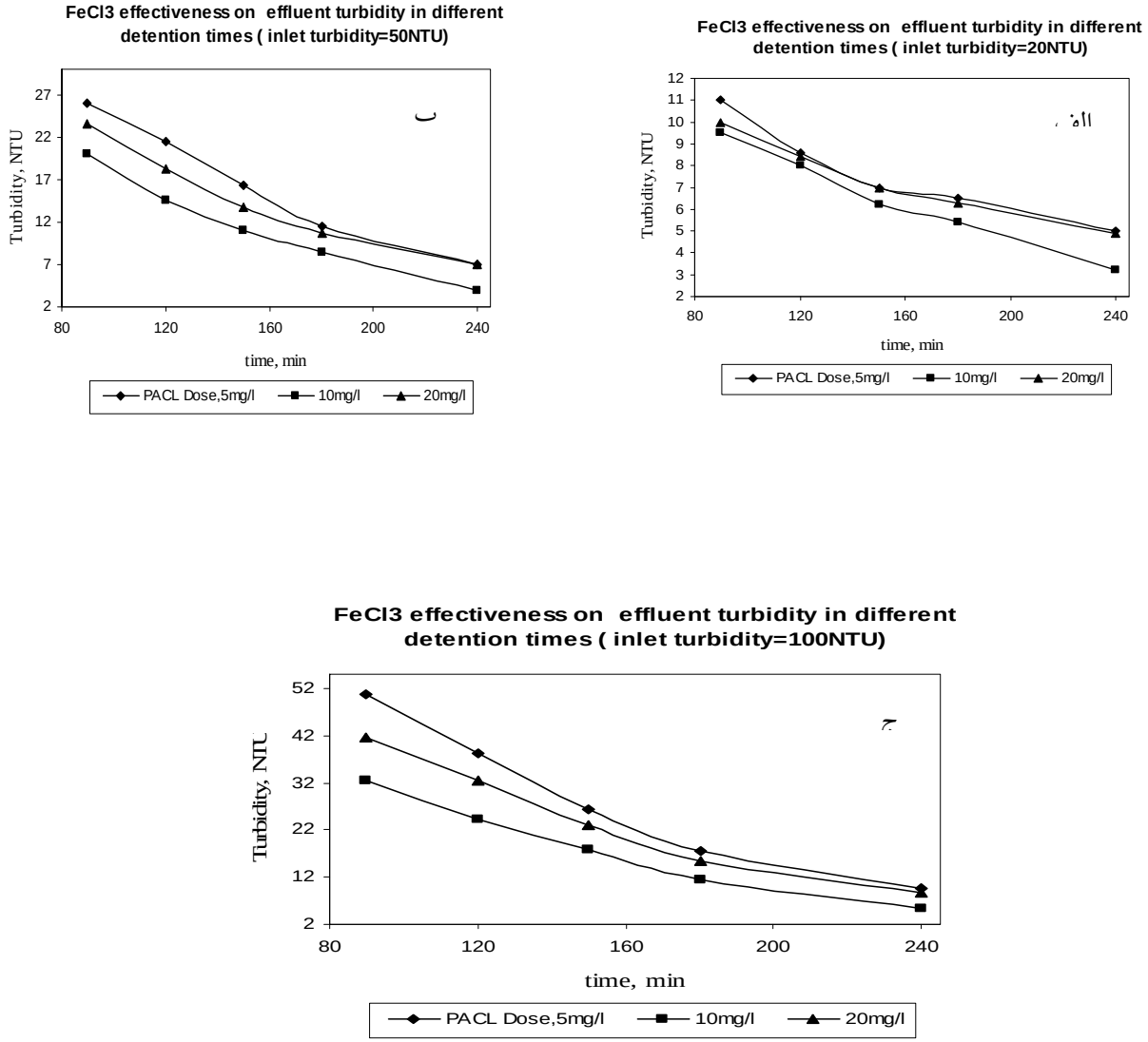


شکل۲: کدورت خروجی در زمان‌های ماند مختلف بدون افزودن ماده منعقدکننده



شکل۳: کدورت خروجی در زمان‌های ماند مختلف با افزودن دوزهای مختلفPACl با کدورت ورودی: الف) ۲۰، ب) ۵۰، ج) ۱۰۰mg/l

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]
www.mui.ac.ir



شکل۴: کدورت خروجی در زمان‌های ماند مختلف با افزودن دوزهای مختلف Fe Cl3 با کدورت ورودی: الف) ۲۰، ب) ۵۰، ج)۱۰۰ میلی‌گرم

بحث

بر اساس نمودار شکل (۲)، بدون استفاده از ماده منعقدکننده حذف کدورت در سیستم چندان مؤثر نبوده‌است. به طوری که حداکثر کارایی حذف کدورت بدون افزودن ماده منعقدکننده ۳۰ درصد بوده که در این حالت کدورت ورودی ۲۰NTU پس از ۲۴۰ دقیقه به ۱۴NTU کاهش یافته است. کم‌ترین کارایی نیز ۸درصد بوده که کدورت ورودی ۱۰۰NTU پس از ۹۰ دقیقه ته‌نشینی به ۹۲NTU رسیده‌است. بر اساس نمودارهای شکل ۳، بیشترین مقدار حذف کدورت با استفاده از PACL در کدورت ورودی NTU

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]
www.mui.ac.ir

۱۰۰ و تزریق ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر از این ماده مشاهده شد که در این شرایط پس از ۲۴۰ دقیقه ته‌نشینی، کدورت به ۷/۵NTU کاهش یافت. بنابراین حداکثر کارایی PACL در حذف کدورت تقریبا ۹۲ درصد بوده که اندکی کمتر از کارایی $FeCl_3$ در شرایط مشابه (کدورت، دوز منعقدکننده و زمان‌ماند) می‌باشد. کم‌ترین کارایی PACL، در کدورت ورودی ۵۰ NTU با افزودن دوز ۵ میلی‌گرم بر لیتر از منعقدکننده پس از ۹۰ دقیقه ته‌نشینی مشاهده شد که در این شرایط کدورت آب خروجی به ۳۳ NTU رسید. همان طور که در نمودارهای شکل (۴) نشان داده شده، حداکثر کارایی سیستم اکسیلاتور در حذف کدورت با تزریق ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر از ماده منعقدکننده $FeCl_3$ پس از مدت زمان ۲۴۰دقیقه ته‌نشینی ۹۵ درصد حاصل شده است. به طوری که کدورت ۱۰۰NTU در آب خروجی به ۵ NTU کاهش یافته است. در بدترین شرایط استفاده از $FeCl_3$، با کدورت ورودی NTU ۲۰ و دوز ۵ میلی‌گرم بر لیتر از ماده منعقدکننده پس از ۹۰ دقیقه ته‌نشینی،کدورت در آب خروجی ۱۱ NTU اندازه‌گیری شد. یعنی کم‌ترین کارایی حذف کدورت با استفاده از $FeCl_3$ ۴۵ درصد بوده است.

بر اساس آزمون آماری One Way ANOVA در کدورت‌های مختلف آب ورودی به پایلوت، بین کدورت‌های آب خروجی از پایلوت بدون تزریق منعقدکننده، پس از تزریق PACL و پس از تزریق $FeCl_3$ تفاوت معنی‌داری وجود داشته است (p-value<0.001). بدین معنی که افزودن مواد منعقدکننده به سیستم اکسیلاتور در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و pH=۷/۲ در حذف کدورت خیلی مؤثر بوده‌است. همچنین بین کدورت‌های آب خروجی از پایلوت بدون تزریق منعقدکننده و پس از تزریق دوزهای PACL تفاوت معنی‌داری مشاهده شده است (p-value<0.001).

بین کدورت‌های آب خروجی از پایلوت بدون تزریق منعقدکننده و پس از تزریق دوزهای $FeCl_3$ نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (p-value<0.001). که طبق تحلیل Duncan، بیشترین تفاوت در حالتی بود که منعقدکننده‌ای به سیستم اضافه نشد. یعنی با افزایش دوز $FeCl_3$ کارایی حذف کدورت بیشتر شده‌است. بنابراین کارایی $FeCl_3$ در حذف کدورت در سیستم اکسیلاتور بیشتر از PACL بوده است.

بر اساس آزمون همبستگی پیرسون، ارتباط معنی‌داری بین زمان ماند و کدورت آب خروجی از پایلوت با ضریب همبستگی (r = − ۰/۹۸) مشاهده شد (p-value<۰/۰۵). بدین معنی که با افزایش زمان ماند، کدورت آب خروجی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است.

References

1. Clescerl LS, Greenberg AE, Eaton AD, editors. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. Washington, D.C: American Public Health Association; 1999.
2. Adams VD. Water & wastewater examination manual. Chelsea, MI: Lewis Publishers; 1990.
3. Tebbutt THY. Principles of water quality control. Oxford: ButterWorth-Heinemann; 1998.
4. American Water Works Association. Water quality and treatment: a handbook of public water supplies. 3rd ed. New York: McGraw-Hill; 1971.
5. Degrémont SA. Water treatment handbook. 5th ed. New York: Halsted Press; 1979.
6. Corbitt RA. Standard handbook of environmental engineering. New York: McGraw-Hill; 1990.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]

www.mui.ac.ir

7. Kawamura S. Integrated design and operation of water treatment facilities. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons; 2000.
8. Sawyer CN, McCarty PL, Parkin GF. Chemistry for environmental engineering and science. 5th ed. New York: McGraw-Hill; 2003.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]
www.mui.ac.ir

Performance of accelerator system for turbidity removal*

Hossein Farrokhzadeh[1], Hassan Hashemi[2], Mehdi Hajian Nejad[3]

Abstract

Background: Ocsillator system is recognized by many water plant treatment designers for having many advantages, such as combination of mixing processes, flocculation and sedimentation processes in the same unit, the possibility of softening and lucidity simultaneously, and relatively acceptable efficiency. Despite using this process in number of the regions in the country, enough researches have not been under taken on the actual performance and the pilot-scale.

Methods: In this study, to investigate the ocsillator system performance in turbidity removal a system was designed in pilot scale and operated in controlled condition (25°C and pH=7.2) using chemical coagulants (PACL and FeCl3) and different conditions of turbidity, coagulant dose and detention time.

Findings: The results indicated that there was significant deference between the detention time and turbidity of outlet water (r=0.98 and P<0.05). Maximum efficiency of the system in turbidity removal was 95% while the injected coagulant dose (FeCl3) was 10 mg / l after detention time of 240 minutes. So the inlet turbidity of 100NTU decreased to 5NTU.

Conclusion: FeCl3 efficiency in the turbidity removal is more than PACL.

Key words: Ocsillator Lucidity, Turbidity, Chemical Coagulants, Water Treatment

*This article was extracted from research project No. 288258 by Isfahan University of Medical Sciences.

1- MSc of Environmental Health Engineering, Environment Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran.

2- PhD Student of Environmental Health Engineering, Environment Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran (Corresponding Author)
Email: hashemi@hlth.mui.ac.ir

3- Associate Professor, Environment Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]

www.mui.ac.ir