

# عملکرد سیستم زلال‌ساز اکسیلاتور در حذف کدورت\*

حسین فرخ‌زاده<sup>۱</sup>، حسن هاشمی<sup>۲</sup>، مهدی حاجیان‌نژاد<sup>۳</sup>

## 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 نشده است.

**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  $pH=7.2$ ) 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 لیتر از ماده منعقدکننده  $FeCl_3$  پس از مدت زمان ۲۴۰ دقیقه ته‌نشینی حاصل شده است به طوری که کدورت ۱۰۰ NTU در آب خروجی به ۵ NTU کاهش یافته است.

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین زمان ماند و کدورت آب خروجی از پایلوت با ضریب همبستگی ( $r = -0.98$ ) وجود دارد ( $p\text{-value} < 0.05$ ).

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

## نوع مقاله: تحقیقی

پذیرش مقاله: ۱۹/۱۱/۲۳

دریافت مقاله: ۱۹/۱۰/۲۵

## مقدمه

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 تنظیمات 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

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

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

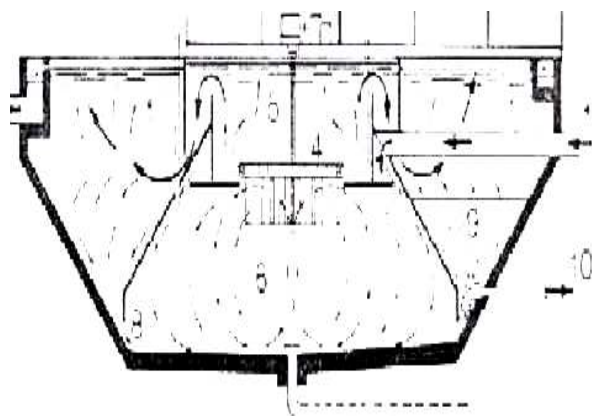
۱- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران.

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

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

Email: hashemi@hlth.mui.ac.ir

و مواد منعقدکننده با ۳ غلظت مختلف (که میانگین آن‌ها براساس آزمایش جار تعیین می‌شد) در حذف کدورت بررسی می‌شد. کاتولن استفاده شده از نوع سبک به صورت پودر سفید رنگ و ساخت کشور آلمان بود. نتایج به دست آمده از آزمایش 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 بین ۲۴۰-۹۰ 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 excel و SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌است (۷، ۸).



شکل ۱- طرح شماتیک پایلوت اکسیلاتور مورد استفاده، شامل: ۱ و ۲- ورودی آب، ۳ و ۴- تزریق منعقدکننده، ۵ و ۶- ناحیه اختلاط، ۷ و ۸- بافل‌ها، ۹- لجن، ۱۰- خروجی لجن

#### یافته‌ها

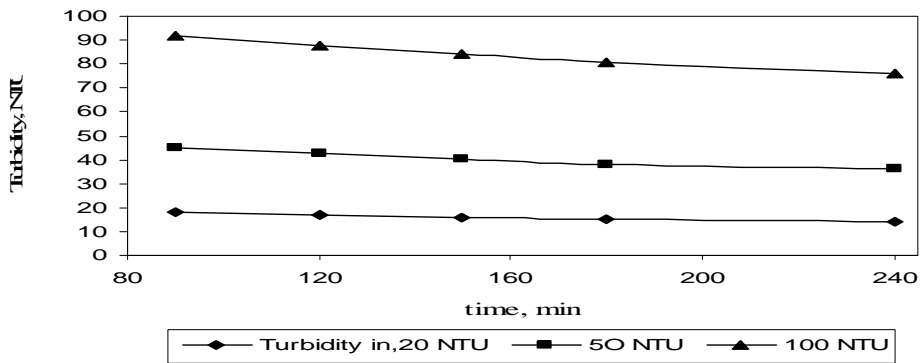
یافته‌های حاصل از این مطالعه در قالب نمودار در شکل‌های (۳، ۴) آورده شده است.

آن‌ها با مشکلاتی روبه‌رو است (۳). اگر چه اخیراً پیشرفت‌هایی در شناخت 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 در کیفیت آب مورد نظر تکرار شود (۵، ۶). هدف از انجام این طرح تعیین غلظت و زمان ماند بهینه در حذف کدورت آب با استفاده از مواد منعقدکننده شیمیایی در سیستم اکسیلاتور در مقیاس پایلوت بوده است. هدف از انجام این مطالعه، بررسی عملکرد سیستم زلال‌ساز اکسیلاتور در حذف کدورت با استفاده از منعقدکننده‌های شیمیایی در مقیاس پایلوت بوده است.

#### روش‌ها

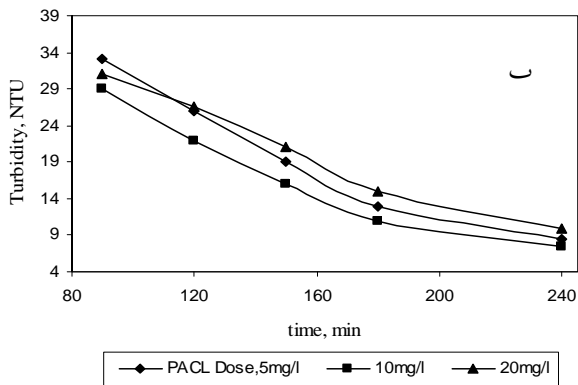
این مطالعه از نوع تجربی بوده و به منظور بررسی عملکرد سیستم اکسیلاتور در حذف کدورت با منعقدکننده‌های شیمیایی، یک سیستم زلال‌ساز اکسیلاتور در مقیاس پایلوت طراحی ساخته شد. طرح شماتیک پایلوت طراحی شده در شکل (۱) نشان داده شده است. بهره‌برداری از پایلوت در دما و pH ثابت و شرایط متغیر از نظر کدورت ورودی، دوز 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، در یک مخزن ۱۵۰۰ لیتری با استفاده از ماده شیمیایی کاتولن (سیلیکات هیدراته آلومینیم با فرمول  $(H_2Al_2Si_2O_8 \cdot 8H_2O)$  و آب، کدورت‌هایی 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

**Effluent Turbidity vs detention time without coagulant**

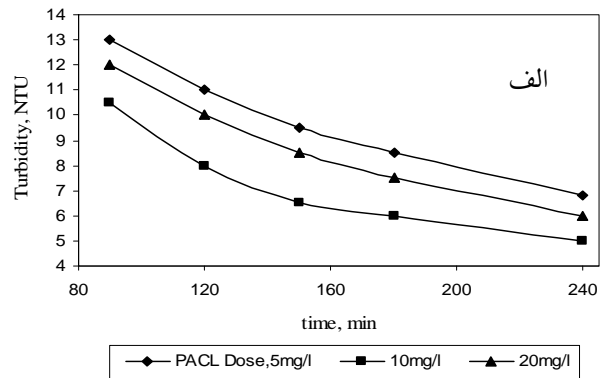


شکل ۲: کدورت خروجی در زمان‌های ماند مختلف بدون افزودن ماده منعقدکننده

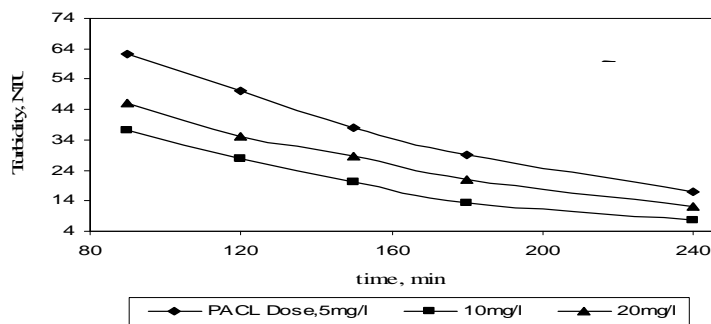
**PACL effectiveness on effluent turbidity in different detention times (inlet turbidity=50NTU)**



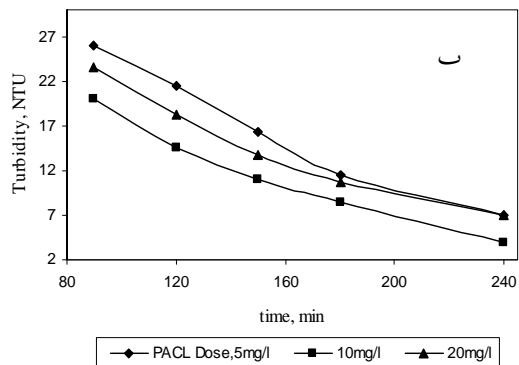
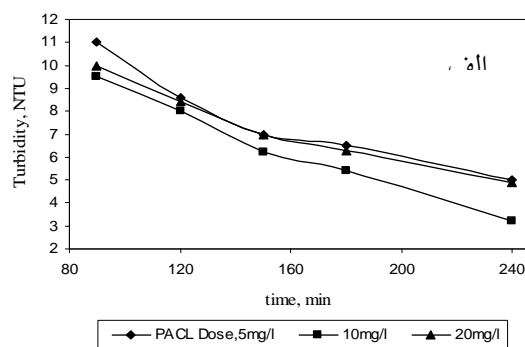
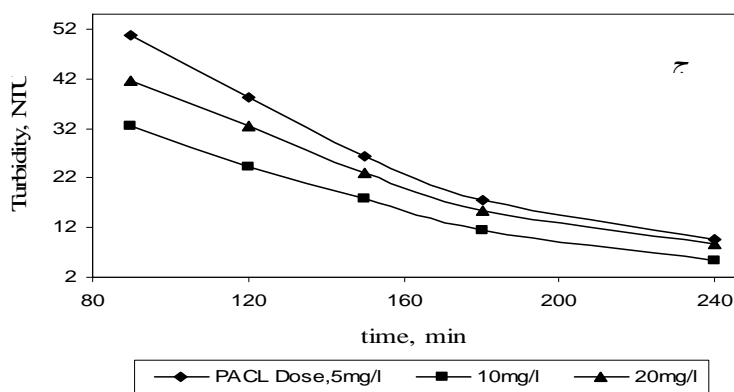
**PACL effectiveness on effluent turbidity in different detention times (inlet turbidity=20 NTU)**



**PACL effectiveness on effluent turbidity in different detention times (inlet turbidity=100NTU)**



شکل ۳: کدورت خروجی در زمان‌های ماند مختلف با افزودن دوزهای مختلف PACL با کدورت ورودی: الف) ۲۰، ب) ۵۰، ج) ۱۰۰ mg/l

FeCl<sub>3</sub> effectiveness on effluent turbidity in different detention times ( inlet turbidity=50NTU)FeCl<sub>3</sub> effectiveness on effluent turbidity in different detention times ( inlet turbidity=20NTU)FeCl<sub>3</sub> effectiveness on effluent turbidity in different detention times ( inlet turbidity=100NTU)

شکل ۴: کدورت خروجی در زمان‌های ماند مختلف با افزودن دوزهای مختلف FeCl<sub>3</sub> با کدورت ورودی: الف) ۲۰، ب) ۵۰، ج) ۱۰۰ میلی‌گرم

۲۰ NTU پس از ۲۴۰ دقیقه به ۱۴ NTU کاهش یافته است. کم‌ترین کارایی نیز ۸ درصد بوده که کدورت ورودی ۱۰۰ NTU پس از ۹۰ دقیقه ته‌نشینی به ۹۲ NTU رسیده است. بر اساس نمودارهای شکل ۳، بیشترین مقدار حذف کدورت با استفاده از PA CL در کدورت ورودی NTU

#### بحث

بر اساس نمودار شکل (۲)، بدون استفاده از ماده منعقدکننده حذف کدورت در سیستم چندان مؤثر نبوده است. به طوری که حداکثر کارایی حذف کدورت بدون افزودن ماده منعقدکننده ۳۰ درصد بوده که در این حالت کدورت ورودی

آب خروجی از پایلوت بدون تزریق منعقدکننده، پس از تزریق PACL و پس از تزریق  $\text{FeCl}_3$  تفاوت معنی‌داری وجود داشته است ( $p\text{-value} < 0.001$ ). بدین معنی که افزودن مواد منعقدکننده به سیستم اکسیلاتور در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و  $\text{pH} = 7/2$  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 ( $p\text{-value} < 0.001$ ).

بین کدورت‌های آب خروجی از پایلوت بدون تزریق منعقدکننده و پس از تزریق دوزهای  $\text{FeCl}_3$  نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده شد ( $p\text{-value} < 0.001$ ). که طبق تحلیل Duncan، بیشترین تفاوت در حالتی بود که منعقدکننده‌ای به سیستم اضافه نشد. یعنی با افزایش دوز  $\text{FeCl}_3$  کارایی حذف کدورت بیشتر شده‌است. بنابراین کارایی  $\text{FeCl}_3$  در حذف کدورت در سیستم اکسیلاتور بیشتر از PACL بوده‌است.

بر اساس آزمون همبستگی پیرسون، ارتباط معنی‌داری بین زمان ماند و کدورت آب خروجی از پایلوت با ضریب همبستگی ( $r = -0/98$ ) مشاهده شد ( $p\text{-value} < 0/05$ ). بدین معنی که با افزایش زمان ماند، کدورت آب خروجی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته‌است.

۱۰۰ و تزریق ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر از این ماده مشاهده شد که در این شرایط پس از ۲۴۰ دقیقه ته‌نشینی، کدورت به  $7/5 \text{ NTU}$  کاهش یافت. بنابراین حداکثر کارایی PACL در حذف کدورت تقریباً ۹۲ درصد بوده که اندکی کمتر از کارایی  $\text{FeCl}_3$  در شرایط مشابه (کدورت، دوز منعقدکننده و زمان ماند) می‌باشد. کم‌ترین کارایی PACL، در کدورت ورودی  $50 \text{ NTU}$  با افزودن دوز ۵ میلی‌گرم بر لیتر از منعقدکننده پس از ۹۰ دقیقه ته‌نشینی مشاهده شد که در این شرایط کدورت آب خروجی به  $33 \text{ NTU}$  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  $\text{FeCl}_3$  پس از مدت زمان ۲۴۰ دقیقه ته‌نشینی ۹۵ درصد حاصل شده‌است. به طوری که کدورت  $100 \text{ NTU}$  در آب خروجی به  $5 \text{ NTU}$  کاهش یافته‌است. در بدترین شرایط استفاده از  $\text{FeCl}_3$  با کدورت ورودی  $20 \text{ NTU}$  و دوز ۵ میلی‌گرم بر لیتر از ماده منعقدکننده پس از ۹۰ دقیقه ته‌نشینی، کدورت در آب خروجی  $11 \text{ NTU}$  اندازه‌گیری شد. یعنی کم‌ترین کارایی حذف کدورت با استفاده از  $\text{FeCl}_3$  ۴۵ درصد بوده‌است.

بر اساس آزمون آماری One Way ANOVA در کدورت‌های مختلف آب ورودی به پایلوت، بین کدورت‌های

## 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. Degremont SA. Water treatment handbook. 5th ed. New York: Halsted Press; 1979.
6. Corbitt RA. Standard handbook of environmental engineering. New York: McGraw-Hill; 1990.

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.

## Performance of accelerator system for turbidity removal\*

*Hossein Farrokhzadeh<sup>1</sup>, Hassan Hashemi<sup>2</sup>, Mehdi Hajian Nejad<sup>3</sup>*

### Abstract

**Background:** Oscillator 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 oscillator 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 FeCl<sub>3</sub>) 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 (FeCl<sub>3</sub>) was 10 mg / l after detention time of 240 minutes. So the inlet turbidity of 100NTU decreased to 5NTU.

**Conclusion:** FeCl<sub>3</sub> efficiency in the turbidity removal is more than PACL.

**Key words:** Oscillator 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.