بهینه سازی فرآیند انعقاد با آلوم و کلرور فریک برای تصفیه آب‌های سطحی

حسن اصلانی[1]، محمود علی‌محمدی[1*]، بابک محمودی[1]، بهاره قریشی[2]، محمد خزائی[3]، مریم غنی[1]، معصومه عسکری[4]

۱. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

۲. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز

۳. مرکز تحقیقات آلاینده‌های محیطی – دانشگاه علوم پزشکی قم

٤. پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۵/۲۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۹/۱۱

چکیده

زمینه و هدف: کمبود منابع آبی کشور و افزایش تقاضا برای مصارف مختلف در سال‌های اخیر سبب شده تا تصفیه و استفاده از منابع بالقوه، مورد توجه ویژه‌ای قرار گیرد. آب‌های سطحی یکی از منابع تامین آب جوامع است. در این مطالعه، کارایی دو منعقد کننده آلوم و کلرور فریک در کاهش کدورت، رنگ، COD و عوامل میکروبی از آب‌های سطحی اطراف شهر تهران مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: نمونه‌برداری در سه فصل تابستان، پاییز و زمستان از دو آب سطحی سرخصه حصار و صالح آباد صورت گرفت. پس از تعیین دوز و pH بهینه مواد منعقد کننده، آزمایش جارتست بر روی نمونه‌ها صورت گرفته و میزان تغییر کدورت، COD، رنگ و عومل میکروبی مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: میزان کدورت آب رودخانه سرخه حصار، در محدوده ۹۱ تا NTU ۵۰۰ و کدورت رودخانه صالح آباد در محدوده ۳۵ الی NTU ٤۰۰ قرار داشت. دوز بهینه آلوم برای سه فصل تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب برابر ٤۵، ۱۰۰ و mg/L ۳۵ بوده، در حالی که دوز بهینه کلرور فریک برابر ۵، ۷۰ و mg/L ۱۰ به دست آمد. دوز بهینه آلوم و کلرور فریک در رودخانه صالح آباد برای سه فصل به ترتیب برابر ۲۸، ۱۱۵، ۲ و ۳۰، ٦۵ و mg/L ۵ تعیین گردید. راندمان حذف کدورت توسط هر دو منعقد کننده در اغلب موارد، بالاتر از ٪۹۵ و راندمان حذف رنگ در همه شرایط ۱۰۰ بوده است.

نتیجه گیری: از نظر حذف کدورت، رنگ و COD هر دو منعقد کننده کارایی مشابهی نشان دادند، با این حال دوز مصرفی کلرور فریک نسبت به آلوم کمتر بوده است. برای حذف کدورت آلوم بعنوان منعقد کننده نتایج بهتری را نشان داد، در حالی که برای حذف COD بسته به شرایط موجود (تغییرات شرایط فصلی) کارایی آلوم و کلرور فریک یکسان نبوده و تغییر پیدا می‌کرد.

کلمات کلیدی: انعقاد، آلوم، کلرورفریک، جارتست، کدورت، کلیفرم

* گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

ایمیل: M_alimohammadi@tums.ac.ir - **شماره تماس:** ۰۲۱-۸۸۹۵۱۵۸۲

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.2.141]

مقدمه

تقاضا برای منابع آب در قرن اخیر، به علت رشد جمعیت و افزایش روزافزون استفاده از آب، رشد چشم‌گیری داشته است. از طرف دیگر، مردم آبی با کیفیت بالا و مطمئن را نیاز دارند[1]. پیشرفت بشر و صنعتی شدن جوامع سبب تولید آلاینده‌های مختلفی گردیده که با ورود به محیط زیست (به ویژه در منابع آبی) باعث کاهش کیفیت آنها شده است. وجود ترکیبات شیمیایی، حتی در مقادیر کم، در صورتی که بیش از مقادیر تعیین شده در استانداردهای جهانی باشد، موجب مسمومیت و حتی مرگ انسان‌ها و تمام موجودات خواهد شد.[2]

وجود ناخالصی‌های معلق و کلوئیدی در آب که باعث ایجاد رنگ، بو و طعم نامطبوع آب می‌شوند، لزوم تصفیه آب را مطرح می‌کند. این ناخالصی‌ها به کمک عمل صاف کردن قابل رفع نبوده، لذا استفاده از روش‌های دیگر تصفیه نظیر انعقاد و لخته سازی برای حذف آنها الزامی است. افزودن یک منعقد کننده به آب باعث خنثی شدن بار ذرات کلوئیدی شده، این ذرات با نزدیک شدن به هم ذرات درشت و سنگین‌تری را ایجاد می‌کنند. لذا استفاده از این مواد می‌تواند کارایی بالایی در حذف مواد معلق و کدورت از محلول‌های آبی داشته باشد.[3]

انعقاد و لخته سازی، یکی از تکنولوژی‌های پر کاربردی است که به صورت وسیعی در تصفیه آب و فاضلاب بکار می‌رود.[4] مکانیسم حذف در این پروسه ناشی از خنثی سازی بار منفی ذرات کلوئیدی با فراورده‌های هیدرولیز کاتیونی است تا با کاهش اثر الکترواستاتیکی، نیروی واندروالس غالب شده و ذرات را به هم نزدیک کند؛ در نتیجه زمینه تشکیل لخته‌های ریز فراهم شود.[5] راندمان انعقاد و لخته سازی، به فاکتورهایی از قبیل نوع و دوز ماده منعقد کننده، میزان pH، دما، قدرت یونی، غلظت و ویژگی‌های مواد آلی، TDS، اندازه و نحوه توزیع ذرات کلوئیدی در سوسپانسیون بستگی دارد.[6,7]

انعقاد آب خام یک بخش مهم و لازم برای تصفیه در جهت رسیدن به اهداف کیفیت آب بوده و هرگونه نقص در این مرحله تأثیر به سزایی بر روی پروسه‌های بعدی تصفیه شامل: ته نشینی، فیلتراسیون و گندزدایی دارد[8]. دز بهینه ماده منعقد کننده به درشتی ذره و خصوصیات فیزیکوشیمیایی ذره نظیر قدرت یونی، pH، وزن مخصوص سوبسترا و ماده منعقد کننده، غلظت و سطح مخصوص سوبسترا بستگی دارد.[9]

طی فرآیند انعقاد، از مواد منعقد کننده و کمک منعقد کننده مختلفی استفاده می‌شود. مواد منعقد کننده شامل موادی هستند که جهت ناپایدارسازی ذرات و چسباندن آنها به یکدیگر استفاده می‌شوند. درحالی که هدف از اضافه کردن مواد منعقد کننده افزایش دانسیته ذرات به هم چسبیده و کمک به ته‌نشینی سریع آنهاست. در طی سال‌های اخیر، تحقیقات وسیعی پیرامون فرآیند انعقاد صورت پذیرفته و مواد منعقد کننده مختلفی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. درحال حاضر، سولفات آلومینیوم و کلرور فریک از جمله رایج ترین منعقد کننده‌های مورد استفاده در تصفیه آب به منظور حذف کدورت می‌باشند.[10,11]

فرآیند انعقاد و لخته سازی بطور موفقیت آمیزی در تصفیه پساب دباغی[12]، فاضلاب مخمرسازی[13]، فاضلاب نساجی[14,15]، پساب پالایشگاه نفت[16]، پساب رنگرزی[17]، فاضلاب شهری[18,19]، شیرابه محل دفن زباله[20]، پساب صنایع نیشکر[21,22]، فاضلاب کارخانه روغن زیتون[23] و بسیاری دیگر کاربرد دارد.

هدف این مطالعه، بررسی مقایسه‌ای منعقد کننده‌های آلوم و کلرور فریک در کاهش کدورت، رنگ، COD و باکتری‌های کلی‌فرم از آب‌های سطحی جنوب تهران بوده است. همچنین تعیین دوز بهینه و pH بهینه برای مواد منعقد کننده، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق، آزمایش جار با استفاده از آب‌های سطحی جنوب تهران در سه فصل تابستان، پاییز و زمستان با نمونه‌برداری از عمق ۳۰ cm از سطح آب و در ظروف ۲۰

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.2.141]

لیتری صورت پذیرفت. آزمایش جار با استفاده از دستگاه به این صورت بود که به هر ٦ ظرف دستگاه جار، یک لیتر نمونه مورد آزمایش را ریخته و سپس منعقد کننده‌های آلوم و کلرور فریک در دوزهای مشخص شده به نمونه‌ها افزوده شد. در ابتدا، با غلظت‌های مختلف هر یک از مواد منعقد کننده، غلظت بهینه تعیین گردید. بعد از به دست آمدن غلظت بهینه ماده منعقد کننده، آزمایش با غلظت بهینه و در pHهای مختلف در بازه ۵ تا ۹ انجام گرفت تا pH بهینه برای هریک از مواد منعقد کننده به دست آید. برنامه‌ریزی دستگاه جار بدین صورت بود که ابتدا به مدت ۱ دقیقه اختلاط سریع با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه انجام شده و سپس اختلاط کند به مدت ۲۰ دقیقه و با سرعت ۳۰ دور در دقیقه انجام شد. پس از این مرحله ۳۰ دقیقه زمان به منظور انجام فرآیند ته‌نشینی در نظر گرفته شده بود. بعد از اتمام زمان ته نشینی نمونه‌ها بلافاصله از نظر COD، pH، رنگ، کدورت و باکتری‌های کلیفرم مورد آنالیز قرارگرفتند.

در این تحقیق، جهت تأمین نمونه آب لازم برای انجام آزمایشات، نمونه برداری از آب‌های سطحی در محل انجام گرفت. آزمایش‌های pH، کلر آزاد باقی‌مانده و EC به روش دستگاهی در محل اندازه‌گیری شدند. پارامترهای میکروبی مورد مطالعه در این تحقیق شامل کلیفرم و کلیفرم گرماپای بود. روش آزمایش باکتری‌های کلیفرم و کلیفرم‌های گرماپای، به روش تخمیر چند لوله‌ای و به ترتیب مطابق روش‌های ۹۲۲۱ و ۹۲۲۲ استاندارد متد چاپ سال ۲۰۰۵ بوده است.

آزمایش جار توسط دستگاه جارتست مدل ET720 شرکت ovibond آلمان انجام گرفت. کدورت، مطابق استاندارد متد و با استفاده از روش نفلومتری با دستگاه 2100AN شرکت HACH آمریکا اندازه گیری شد. pH با استفاده از دستگاه Metrohm سوئیس مدل 827 که روزانه توسط محلول‌های بافر استاندارد کالیبره می‌شد، اندازه گیری شد.

یافته‌ها

مشخصات فیزیکو شیمیایی آب‌های سطحی مورد مطالعه

جدول ۱، مشخصات فیزیکو شیمیایی آب‌های سطحی سرخه حصار و صالح آباد را نشان می‌دهد. بر اساس داده‌های نشان داده شده در جدول بیشترین مقدار COD در آب‌های سطحی سرخه حصار و صالح آباد مربوط به فصل پاییز بوده و مقدار آن به ترتیب برابر ۱۹۵ و ۷٦۵ اندازه‌گیری شده است.

جدول ۱: مشخصات فیزیکوشیمیایی آب‌های سطحی سرخه حصار و صالح آباد

پارامتر	COD mg/L	BOD mg/L	TOC mg/L	DOC mg/L	pH	قلیائیت mg/L $CaCO_3$	کدورت NTU	EC µs/cm	دما °C	رنگ ADMI	TDS mg/L
سرخه حصار											
تابستان	٦۵	٤۷	۲۵	۱۵	۷/۸	۲۲۵	۹۱	۸۰۸	۲۱	۱۹	٤۵٤
پاییز	۱۹۵	۱۱۷	٦۵	۳۹	۷/٤۸	۲۰۰	۵۰۰	۷۳۰	۱٦/۸	۵٤	٤٦۱
زمستان	۸۲	۵۹	۳۱	۱۸	۷/۷٦	۲۰۰	۱۱۰	۸٤٦	۱۵	۱۳	٤٦۱
صالح آباد											
تابستان	۱٤۵	۹۹	۵۵	۳۸	۷/۵٦	۱۷۹	۳۵	۸۱۷	۲۱/۹	۳۵	٤۲۱
پاییز	۷٦۵	۵۳۰	۲۹٤	۱۷۰	۷/۳٤	۱۵۳	٤۰۰	٦۲۳	۱۹	۸٤	٤۳۹
زمستان	۳۵۰	۲٤۰	۱۳۵	٦۷	۷/٦٦	۱۷۵	۱۰۳	۷۸۸	۱۷/۲	۱۱	٤۳۰

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.2.141]

تعیین دوز و pH بهینه برای آلوم و کلرور فریک

با توجه به اینکه، عوامل مختلفی از جمله pH و دما بر روی کارایی مواد منعقد کننده موثر می‌باشد، لذا در این مطالعه در ابتدای نمونه برداری در هر فصل مقادیر بهینه مواد منعقد کننده و همچنین pH بهینه تعیین گردید (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). در مورد آب سطحی سرخه حصار دوز بهینه آلوم و کلرور فریک به ترتیب ٤٥ و ٥ mg/L برای فصل تابستان، ١٠٠ و ٧٠ mg/L برای فصل پائیز و ٣٥ و ١٠ mg/L برای فصل زمستان تعیین گردید. همچنین pH بهینه فرآیند انعقاد و لخته سازی برای هر دو ماده منعقد کننده برابر ٧/٥ به دست آمد.

نتایج به دست آمده از تعیین مقادیر بهینه برای آب سطحی صالح آباد، با مقادیر به دست برای سرخه حصار متفاوت بود. مطالعه اولیه برای تعیین مقادیر بهینه ماده منعقد کننده و pH نشان داد که دوز بهینه آلوم برای سه فصل تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب برابر ٢٨، ١١٥ و ٢ mg/L و برای کلرور فریک ٣٠، ٦٥ و ٥ mg/L بوده است. pH بهینه به دست آمده برای منعقد کننده‌های آلوم و کلرور فریک به ترتیب برابر با ٦ و ٨/٥ بود.

تعیین راندمان حذف کدورت

نتایج کارایی آلوم و کلرور فریک در حذف کدورت در فصول مختلف نمونه برداری از آب سطحی منطقه سرخه حصار و صالح آباد، در جدول ٢ آورده شده است. کدورت ورودی در هر سه فصل نمونه برداری در محدوده ٩١ تا NTU ٥٠٠ بوده است. میانگین کدورت خروجی در هر سه فصل برای منعقدکننده آلوم و کلرور فریک به ترتیب ١/٦ و NTU ٤/١ به دست آمد. همچنین، میانگین دوز مصرفی منعقدکننده آلوم ٦٠ mg/L و کلرور فریک ٢٨/٣ mg/L در هر سه فصل تابستان، پائیز و زمستان به دست آمد. همانطور که در جدول ٢ ملاحظه می‌شود، برای آب سطحی سرخه حصار در فصل تابستان، پاییز و زمستان راندمان حذف کدورت در هنگام استفاده از منعقدکننده‌های آلوم و کلرور فریک در بازه ٩٧/٦ الی ٩٩/٦٪ به دست آمده است.

جدول ٢: راندمان حذف کدورت آب سطحی سرخه حصار

محل نمونه‌برداری	فصل نمونه‌برداری	کدورت ورودی (NTU)	آلوم			کلرور فریک		
			دوز منعقدکننده (mg/L)	کدورت خروجی (NTU)	راندمان حذف ٪	دوز منعقد کننده (mg/L)	کدورت خروجی (NTU)	راندمان حذف ٪
سرخه حصار	تابستان	٩١	٤٥	١/٨٩	٩٧/٩	٥	٢/١٣	٩٧/٦
	پاییز	٥٠٠	١٠٠	١/٧	٩٩/٦	٧٠	٧/٣٤	٩٨/٥
	زمستان	١١٠	٣٥	١/٢٦	٩٨/٩	١٠	٣/١	٩٨/٨
صالح آباد	تابستان	٣٥	٢٨	١٠/٥	٧٠	٣٠	٦/٤٢	٨١/٧
	پاییز	٤٠٠	١١٥	١٧/٨٥	٩٥/٥	٦٥	٢٠/٢	٩٤/٩
	زمستان	١٠٣	٢	٠/٨٤	٩٩/١	٥	٠/٨٧	٩٩/١

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-14]

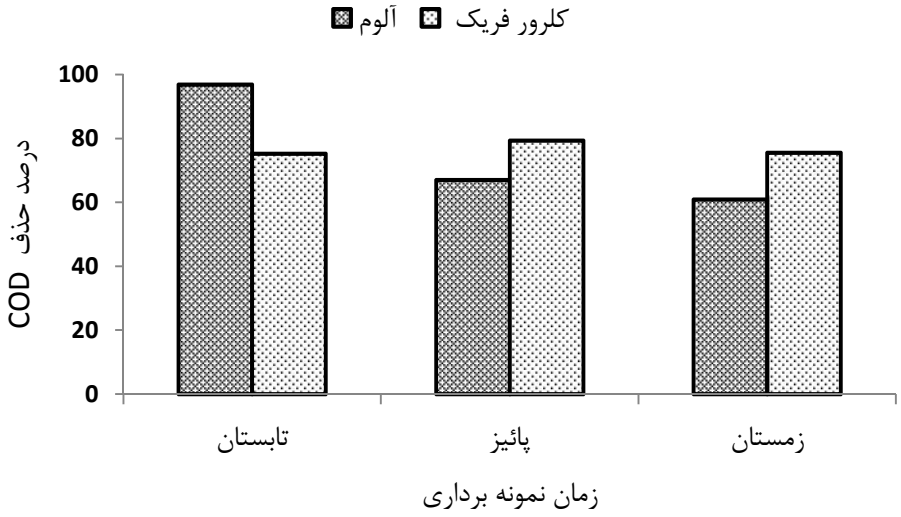
[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.2.141]

در خصوص نمونه‌های برداشت شده از آب‌های سطحی صالح آباد، کدورت ورودی در هر سه فصل نمونه برداری در محدوده ۳۵ تا NTU ٤۰۰ بوده است. میانگین کدورت خروجی در هر سه فصل برای منعقدکننده آلوم و کلرور فریک به ترتیب ۹/۷ و NTU ۹/۱ به دست آمد. همچنین میانگین دوز منعقدکننده آلوم mg/L ٤۸/۳ و کلرور فریک mg/L ۳۳/۳ در هر سه فصل تابستان ، پائیز و زمستان حاصل شد. همان طور که در جدول ۲ ملاحظه می شود، راندمان حذف کدورت در هنگام استفاده از منعقدکننده‌های آلوم و کلرور فریک در هر سه فصل نمونه برداری در محدوده ۷۰ تا ٪۹۹/۱ بوده است، که کمترین آن مربوط به منعقد کننده آلوم با میزان ٪۷۰ در فصل تابستان به دست آمد.

تعیین راندمان حذف COD و رنگ در شرایط بهینه عملکرد آلوم و کلرور فریک

شکل ۱، راندمان حذف COD از آب سطحی سرخه حصار را در شرایط بهینه عملکرد آلوم و کلرور فریک در سه فصل نمونه برداری تابستان، پائیز و زمستان نشان می‌دهد. راندمان حذف COD در شرایط بهینه عملکرد آلوم (mg/L ٤۵) در فصل تابستان بیشترین میزان و تقریبا ٪۹۷ بوده است؛ در حالی که این میزان در دو فصل پائیز و زمستان که دوز بهینه آلوم به ترتیب ۱۰۰ و mg/L ۳۵ به دست آمد، حدود ٦۷ و ٪٦۰ بوده است. در شرایط بهینه عملکرد کلرور فریک، با وجود تفاوت در میزان دوز بهینه در فصول تابستان (mg/L ۵)، پائیز(mg/L ۷۰) و زمستان(mg/L ۱۰)، راندمان حذف COD در هر دو فصل تابستان و زمستان مشابه هم بوده و تقریبا ٪۷۵ به دست آمده، در حالی‌که میزان حذف اکسیژن خواهی شیمیایی در فصل پاییز ٪۸۰ بوده است. در هر سه فصل نمونه‌برداری، راندمان حذف رنگ در هنگام کاربرد دوز بهینه منعقدکننده‌های آلوم و کلرور فریک ٪۱۰۰ بوده است.

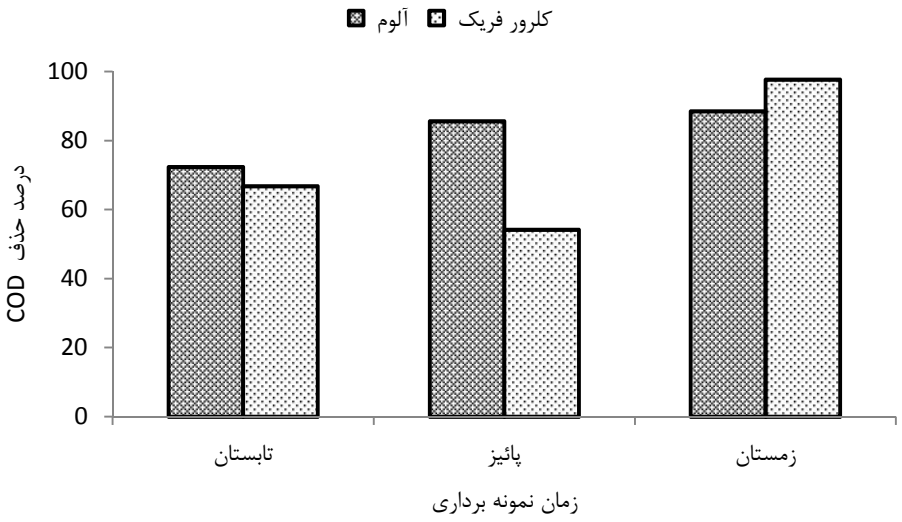
شکل ۲، راندمان حذف COD از آب سطحی صالح آباد را در شرایط بهینه عملکرد آلوم و کلرور فریک در سه فصل نمونه برداری تابستان، پائیز و زمستان نشان می‌دهد. راندمان حذف COD در شرایط بهینه عملکرد آلوم (mg/L ۲۸) در فصل تابستان حدود ٪۷۰ بود، در حالی که این میزان در دو فصل پائیز و زمستان که دوز بهینه آلوم به ترتیب ۱۱۵ و mg/L ۲ بوده در حدود ٪۸۵ حاصل شده است.



شکل ۱: راندمان حذف COD از آب سطحی سرخه حصار در شرایط بهینه عملکرد آلوم و کلرور فریک

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.2.141]



شکل ۲: راندمان حذف COD از آب سطحی صالح آباد در شرایط بهینه عملکرد آلوم و کلرور فریک

در شرایط بهینه عملکرد کلرور فریک، بالاترین راندمان حذف COD در فصل زمستان و دوز بهینه ۵ mg/L و میزان ٪۹۷ به دست آمده است که این میزان در فصل تابستان با دوز بهینه ۳۰ mg/L برابر ٪٦٦ و در فصل پائیز با دوز بهینه ٦٥ mg/L برابر ٪٥٤ بوده است. در اینجا نیز در هر سه فصل نمونه برداری راندمان حذف رنگ در هنگام کاربرد دوز بهینه منعقدکننده‌های آلوم و کلرور فریک ٪۱۰۰ بوده است.

تعیین راندمان حذف کلیفرم کل و کلیفرم‌های گرماپای در شرایط بهینه عملکرد آلوم و کلرور فریک

برای آب سطحی سرخه حصار، میانگین کل کلیفرم ورودی در طول سه مرحله نمونه برداری برابر MPN/100 mL $۱/۵\times۱۰^{۷}$ و میانگین خروجی برابر MPN/100 mL ۱×۱۰^{٦} در شرایط بهینه آلوم و کلرورفریک به دست آمده است. همچنین میانگین کلیفرم گرماپای ورودی در طول سه مرحله نمونه برداری برابر MPN/100mL ۸×۱۰^{٦} و میانگین خروجی آن برابر $۵/۸\times۱۰^{۵}$ عدد در ۱۰۰ mL بوده است. شکل ۳ راندمان حذف کلیفرم کل و کلیفرم گرماپای آب سطحی سرخه حصار در شرایط بهینه عملکرد آلوم را نشان می‌دهد. در هنگام استفاده از دوز بهینه آلوم در فصل تابستان (٤٥ mg/L)، میزان حذف کلیفرم کل ٪۹٤، در فصل پائیز (۱۰۰ mg/L) ٪۸۵ و در فصل زمستان (۳۵ mg/L) ٪۹۰ بوده است. میزان حذف کلیفرم گرماپای در هنگام استفاده از دوز بهینه آلوم به ترتیب ۹٤، ۸۰ و ٪۹٤ برای فصل تابستان، پائیز و زمستان حاصل شده است.

در هنگام استفاده از دوز بهینه کلرورفریک در فصل تابستان (۵ mg/L)، میزان حذف کلیفرم کل ٪۹٤، در فصل پائیز (۷۰ mg/L) ٪۸٦ و در فصل زمستان (۱۰ mg/L) ٪۹۲ حاصل شده است. درصد حذف کلیفرم گرماپای در هنگام استفاده از دوز بهینه کلرور فریک به ترتیب ۹٤، ۷۳ و ٪۹۵ در فصل تابستان،

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.2.141]

پائیز و زمستان حاصل شده است.

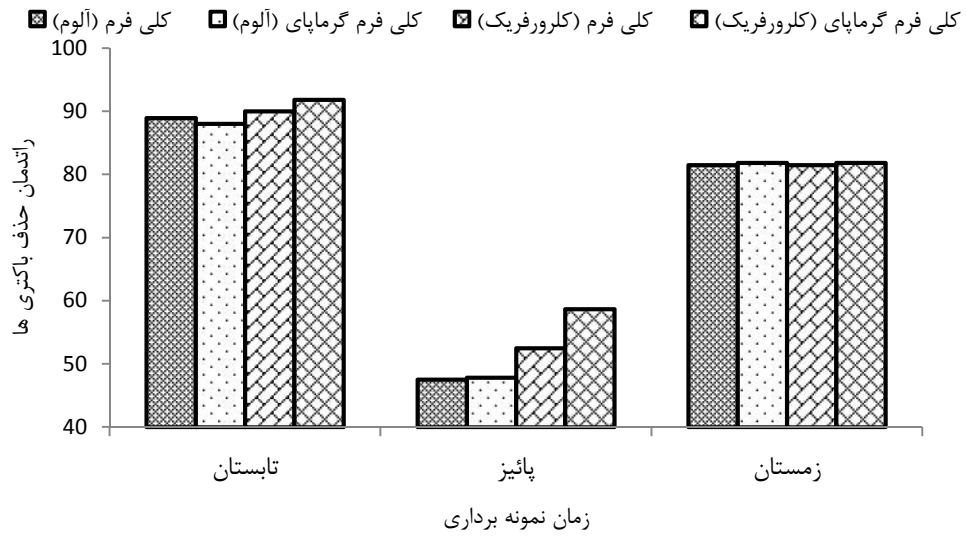


شکل ۳: راندمان حذف کلیفرم و کلیفرم گرماپای آب سطحی سرخه حصار در شرایط بهینه عملکرد آلوم و کلرور فریک

در خصوص آب سطحی صالح آباد، میانگین کلیفرم کل ورودی در طول سه مرحله نمونه برداری حدود $8/5\times10^{6}$ MPN/100mL و نیز میانگین کلیفرم کل خروجی حدود $1/4\times10^{6}$ MPN/100mL در شرایط بهینه عملکرد آلوم و کلرورفریک به دست آمده است. همچنین میانگین کلیفرم گرماپای ورودی در طول سه مرحله نمونه برداری حدود $4/3\times10^{6}$ MPN/100mL و میانگین خروجی حدود 8×10^{5} MPN/100mL بوده است.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.2.141]



شکل ٤: راندمان حذف کلی‌فرم کل و گرماپای در آب سطحی صالح آباد در شرایط بهینه عملکرد آلوم و کلرور فریک

شکل ٤ راندمان حذف کلیفرم کل و کلیفرم گرماپای در آب سطحی صالح آباد در شرایط بهینه عملکرد آلوم و کلرور فریک را نشان می‌دهد. در هنگام استفاده از دوز بهینه آلوم در فصل تابستان (٢٨ mg/L) میزان حذف کلیفرم کل و گرماپای ٪ ٨٨ ، در فصل پائیز (١١٥ mg/L) ٤٧٪ و در فصل زمستان (٢ mg/L) ٨١٪ بوده است. در صورتی که در استفاده از دوز بهینه کلرور فریک در فصل تابستان (٣٠mg/L) میزان حذف کلیفرم کل و گرماپای٩٠٪، در فصل پائیز (٦٥ mg/L) به ترتیب ٥٢ و ٥٨ و در فصل زمستان (٥ mg/L) ٨١٪ بوده است.

بحث

تعیین دوز و pH بهینه برای آلوم و کلرور فریک

ارزیابی کارایی انعقاد و لخته سازی منعقد کننده‌های آلوم و کلرور فریک در تصفیه آب‌های سطحی سرخه حصار و صالح آباد، به صورت مقایسه‌ای، از نقطه نظر حذف COD، کدورت، رنگ و کلی‌فرم گرماپای مورد مطالعه قرار گرفت. برای آب سطحی سرخه حصار در فصل تابستان آلوم در دوزهای ١٠، ٢٠، ٣٠، ٤٠، ٥٠ و ٦٠ mg/L به آب اضافه گردید. میزان کدورت در ابتدا با افزایش دوز آلوم از ١٠ تا ٥٠ mg/L کاهش، اما با افزایش دوز آلوم به ٦٠ mg/L مقدار آن افزایش پیدا نمود. بررسی کاهش کدورت نشان داد که شیب این کاهش در ابتدا (دوز ١٠ mg/L) اما با افزایش دوز آلوم تا ٢٠ mg/L کاهش قابل ملاحظه‌ای در میزان کدورت حاصل نشد. با افزایش دوز از ٢٠ تا ٥٠ mg/L، شیب کاهش دوباره افزایش پیدا کرده و بنابراین مقدار ٤٥ mg/L بعنوان دوز بهینه انتخاب گردید. در خصوص آب سطحی صالح آباد، آلوم در غلظت‌های ٥ تا ٥٠ mg/L مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت غلظت ٢٨ mg/L بعنوان دوز بهینه انتخاب گردید.

در خصوص کلرور فریک در ابتدا مقادیر ١٠، ٢٠، ٣٠ و ٤٠ mg/L از آن به آب اضافه شده و مشخص گردید که با افزایش دوز از ١٠ mg/L به بالا میزان حذف کدورت تقریبا ثابت می‌ماند، لذا در این مرحله با تغییر رنج غلظت کلرور فریک اضافه شده غلظت‌های ٢، ٥، ٨، ١٠، ١٥ و ٢٠ mg/L مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی نتایج نشان داد که افزایش دوزهای بیشتر از ٥ mg/L تاثیر چندانی در حذف کدورت نداشته است، بنابراین مقدار ٥ mg/L بعنوان دوز بهینه این منعقد کننده تعیین گردید.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.2.141]

برای تعیین pH بهینه نیز پس از مشخص شدن دوزهای بهینه مواد منعقد کننده، با استفاده از این دوزها pH های مختلف از محدوده اسیدی تا محدوده قلیایی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بهترین pH برای هر دو منعقد کننده برابر ۷/۵ بوده است. pH نهایی پس از فرآیند انعقاد و لخته سازی با هر دو منعقد کننده، اندکی کاهش نشان داد.

راندمان حذف کدورت

کدورت اولیه آب سطحی سرخه حصار در جدول ۱ نشان داده شده است. پس از تصفیه با غلظت بهینه آلوم کدورت نهایی آن در فصول تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب برابر با ۱/۸۹، ۱/۷ و ۱/۲٦ NTU به دست آمد، در حالی‌که در مورد غلظت بهینه کلرور فریک کدورت نهایی برابر با ۲/۱۳، ۷/۳٤ و ۳/۱ NTU بود. در مورد آب سطحی صالح آباد با کدورت اولیه ۳۵ NTU، ٤۰۰ و ۱۰۳ برای فصول تابستان، پاییز و زمستان پس از انعقاد و لخته سازی با دوزهای بهینه آلوم، مقادیر کدورت نهایی به ترتیب برابر ۱۰/۵، ۱۷/۸۵ و ۰/۸٤ NTU بوده است، در حالی‌که در مورد کلرور فریک مقادیر کدورت نهایی برابر با ٦/٤۲، ۲۰/۲ و ۰/۸۷ NTU به دست آمد. نتایج نشان می‌دهند که هم برای آب سرخه حصار و هم صالح آباد آلوم در مقایسه با کلرور فریک از نظر انعقاد و لخته سازی نتایج نسبتا بهتری را به دست می‌دهد.

مشخص شده است که کارایی منعقد کننده‌های آلومینیومی، به طور عمده به نوع آلومینیوم (Al_a, Al_b, Al_c) موجود در ترکیب بستگی دارد. آلومینیوم موجود در ترکیب آلوم از نوع مونومریک (Al_a) بوده که ناپایدارترین گونه آلومینیوم می‌باشد. در شرایط آب خام، Al_a بلافاصله پس از افزایش به آب هیدرولیز شده و اغلب نمک‌های آلومینیوم قبل از واکنش با مواد آلی به شکل هیدروکسیدی در می‌آیند[۲٤]، بنابراین به نظر می‌رسد جاروب لخته‌ای، به دام افتادن ذرات و جذب نقش عمده‌ای در فرآیند لخته سازی آب‌های سطحی سرخه حصار و صالح آباد داشته است.

همانند مطالعات گزارش شده [۲٤] pH اولیه اثر چشم‌گیری بر روی کارایی منعقد کننده‌های آلوم و کلرور فریک نشان داد. با افزایش pH تا ٦، افزایش قابل ملاحظه‌ای در کارایی هر دو منعقد کننده ملاحظه گردید (داده‌ها نشان داده نشده‌اند)، به طوری که در مورد آلوم، راندمان از ٦۲٪ به ۹۷٪ و در خصوص کلرور فریک از ۷۹٪ به ۹٦٪ افزایش پیدا نمود. در pH بین ٦ تا ۸، افزایش قابل ملاحظه‌ای در کارایی هیچ یک از منعقد کننده‌ها مشاهده نگردید، در حالی‌که با افزایش pH از ۸ تا ۹ راندمان حذف کدورت توسط هر دو منعقد کننده کاهش یافت که البته میزان کاهش راندمان برای آلوم بیشتر از کلرور فریک بود.

راندمان حذف COD و رنگ

همان‌گونه که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود، ترتیب مقدار COD در دوره مطالعه برای هر دو رودخانه سرخه حصار و صالح آباد به صورت پاییز> زمستان> تابستان بوده است. در خصوص آب سطحی سرخه حصار، آلوم با دوز ٤۵ mg/L در فصل تابستان و کلرور فریک (۷۰ mg/L) در فصل پاییز بیشترین راندمان حذف COD را داشته‌اند. در مورد آب سطحی صالح آباد، راندمان حذف COD توسط آلوم (۲ mg/L، pH برابر ٦) و کلرور فریک (۵ mg/L، pH برابر ۸/۵) در فصل زمستان به ترتیب ۸۸/۵ و ۹۷٪ به دست آمد، که بالاتر از سایر فصول بوده است. نتایج نشان داد که راندمان حذف COD توسط آلوم برای آب سطحی سرخه حصار در فصل تابستان بالاتر از کلرور فریک بوده، در حالی‌که در دو فصل پاییز و زمستان راندمان کلرور فریک بالاتر بوده است. در خصوص آب سطحی صالح آباد، در دو فصل تابستان و پاییز کارایی آلوم در کاهش COD بیش از کلرور فریک بوده، در حالی‌که در فصل زمستان این کلرور فریک بوده که میزان کاهش بالاتری داشته است. بنابراین، می‌توان این‌گونه بیان کرد

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.2.141]

که کلرور فریک برای کاهش COD در فصول سرد منعقد کننده ارجح‌تر است؛ در حالی‌که برای فصول گرم انتخاب آلوم به عنوان منعقد کننده نتایج بهتری را به دست می‌دهد. میزان کاهش رنگ در همه دوزهای استفاده شده ٪۱۰۰ بوده است. بر اساس مطالعه Song و همکاران، حذف COD با آلوم در رنج pH ٦/٥ الی ٧/٥ و با کلرور فریک در محدوده pH ٦/٥ تا ٨/٥ بیشترین مقدار بوده است، همچنین آنان نشان دادند که راندمان حذف COD در pHهای کمتر از ٦/٥ و بالاتر ٨/٥ به شدت کاهش پیدا می‌کند. این مطالعه نشان داد که دوز بهینه آلوم و کلرور فریک در حذف COD تقریبا مشابه بوده اما استفاده از کلرور فریک نتایج بهتری را ارائه‌می‌دهد.[٢٥]

در مطالعه Zhou و همکاران که بر روی تاثیر آلوم در کاهش COD و رنگ از فاضلاب صنایع مخمر صورت گرفت، نشان داده شد که بهترین pH برای فرآیند انعقاد در محدوده pH خنثی می‌باشد؛ هر چند که مقدار منعقد کننده مورد نیاز در pH پایین‌تر از محدوده خنثی کمتر بود، اما راندمان کاهش COD و رنگ در این حالت کاهش چشم‌گیری نشان داد. در این مطالعه مقدار کاهش COD و رنگ در pH خنثی با افزایش دوز منعقد کننده افزایش نشان داد، اما میزان کاهش رنگ بیشتر از میزان کاهش COD بوده است که با یافته‌های مطالعه حاضر همسو می‌باشد[١٣].

حذف کلی‌فرم کل و گرماپای

حذف عوامل میکروبی، یکی از نگرانی‌های اساسی در فرآیندهای تصفیه آب و فاضلاب می‌باشد. با توجه به اینکه وجود عوامل باکتریایی و ویروسی در منابع آب یکی از عوامل بالقوه ایجاد بیماری و تهدید سلامت مردم به شمار می‌رود، بنابراین تعداد باکتری‌های شاخص بیماری در آب باید کمتر از استانداردهای تعیین شده باشد. در تصفیه خانه‌های آب و فاضلاب از بین بردن عوامل میکروبی در واحد گندزدایی صورت می‌گیرد. اما با این حال سایر فرآیندهای تصفیه آب و فاضلاب از جمله فیلترها، فرآیند انعقاد و لخته سازی و... نیز قادر به حذف بخشی از آلودگی‌های میکروبی هستند. به عنوان مثال حذف درصد بالایی از عوامل میکروبی در فرآیند انعقاد با فرات پتاسیم در مطالعات متعددی گزارش شده است. آگاهی از میزان حذف عوامل میکروبی و تعداد باکتری‌های خروجی از واحدهای انعقاد و لخته سازی می‌تواند نقش مهمی در تصمیم گیری برای انتخاب گندزدای مناسب ایفا نماید. در این مطالعه، با توجه به اشکال ٣ و ٤ ملاحظه می‌شود که هم آلوم و هم کلرور فریک قادر به حذف باکتری‌های کلیفرم کل و کلی‌فرم گرماپای بوده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در نمونه آب سطحی سرخه حصار (شکل ٣) هم در فصل تابستان و هم در زمستان آلوم و کلرور فریک تعداد باکتری‌های کلیفرم کل و کلیفرم گرماپای را تا بیش از ١ لگاریتم کاهش داده‌اند. اما میزان حذف به دست آمده در فصل پاییز کمتر از ١ لگاریتم بوده است. در مورد آب سطحی، صالح آباد تنها کلرور فریک و آن هم در فصل تابستان تعداد باکتری‌های کلی‌فرم کل و گرماپای را بیش از ١ لگاریتم کاهش داده در حالی‌که در سایر فصول مقادیر کاهش کمتری مشاهده گردید. بررسی درصد حذف باکتری‌ها در فصول مختلف در این رودخانه نشان داد که کارایی آلوم و کلرور فریک در غیرفعال سازی باکتری‌ها در اغلب مواد مشابه هم بوده‌اند، به جز در فصل پاییز که کلرور فریک راندمان بهتری نسبت به آلوم از خود نشان داده است. البته توجه به این نکته ضروری است که در فرآیند انعقاد با آلوم و کلرور فریک باکتری‌ها فقط در بین لخته‌های ته‌نشین شده به دام افتاده و حذف می‌شوند، اما همچنان زنده بوده و قادرند در شرایط مناسب عامل بیماری‌زایی باشند. لذا به هنگام دفع لجن تولید شده از چنین فرآیندی، ملاحظات خاص باید مورد توجه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.2.141]

در این مطالعه کارایی منعقد کننده‌های آلوم و کلرور فریک در تصفیه دو نمونه از آبهای سطحی شهر تهران (سرخه حصار، صالح آباد)، مورد بررسی قرار گرفت. دوز و pH بهینه برای آلوم و کلرور فریک در سه فصل تابستان، پاییز و زمستان تعیین گردید. دوز بهینه آلوم در آب رودخانه سرخه حصار برای این فصول به ترتیب برابر ٤٥، ١٠٠ و mg/L ٣٥ و pH بهینه آن برابر ٧/٥ تعیین شد. دوز بهینه کلرور فریک در سه فصل مورد بررسی به ترتیب ٥، ٧٠ و mg/L ١٠ و pH بهینه آن نیز برابر ٧/٥ گردید. برای آب سرخه حصار شرایط متفاوتی به دست آمد، به گونه‌ای که دوز بهینه در سه فصل تابستان، پاییز و زمستان برای آلوم ٢٨، ١١٥و mg/L ٢ و برای کلرور فریک برابر ٣٠، ٦٥ و mg/L ٥ تعیین گردید. pH بهینه کلرور فریک در رودخانه صاح آباد برابر ٨/٥ ولی برای آلوم برابر ٦ به دست آمد. به طور کلی مشخص شد از نظر حذف کدورت، رنگ و COD هر دو منعقد کننده کارایی مشابهی داشته‌اند، با این حال دوز مصرفی کلرور فریک نسبت به آلوم کمتر بوده است.

منابع

1. Terence J. McGhee EWS. Water Supply and Sewerage. McGraw-Hill 1991: 351-68. 2-1-5)
2. Wachinski A. Water Quality (Principles and Practices of Water Supply Operations), 3rd ed. AWWA 2003: 81-110. 2-1-4).
3. Wang Z-p, Zhang Z, Lin Y-j, et al. Landfill leachate treatment by a coagulation–photooxidation process. J Hazard Mater 2002;95(1):153-9.
4. Ghafari S, Aziz HA, Isa MH, et al. Application of response surface methodology (RSM) to optimize coagulation–flocculation treatment of leachate using poly-aluminum chloride (PAC) and alum. J Hazard Mater 2009;163(2): 650-6.
5. Ebeling JM, Sibrell PL, Ogden SR, et al. Evaluation of chemical coagulation–flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorus from intensive recirculating aquaculture effluent discharge. Aquacult Eng 2003;29(1): 23-42.
6. Golob V, Vinder A, Simonič M. Efficiency of the coagulation/flocculation method for the treatment of dyebath effluents. Dyes Pigments 2005;67(2): 93-7.
7. Zhu G, Zheng H, Zhang Z, et al. Characterization and coagulation–flocculation behavior of polymeric aluminum ferric sulfate (PAFS). Chem Eng J 2011;178: 50-9.
8. Atherholt TB, LeChevallier MW, Norton WD, et al. Effect of rainfall on Giardia and Crypto. J Am Water Works Ass 1998; 90(9): 66-80.
9. Eisenlauer J, Horn D. Fibre-optic on-line flocculant dose control in water treatment operations. Colloid surface 1987; 25(2): 111-29.
10. Nonod J, Brault J. Water treatment handbook, Principles and practices of water supply operations, water treatment (Degremont) USA, AWWA 2003; 180-240. 2-4-4).
11. Engineers JMMC. Water treatment principles and design: Wiley; 1985; 245-300. 4-4-2).
12. Garrote JI, Bao M, Castro P, et al. Treatment of tannery effluents by a two step coagulation/flocculation process. Water Res 1995;29(11): 2605-8.
13. Zhou Y, Liang Z, Wang Y. Decolorization and COD removal of secondary yeast wastewater effluents by coagulation using aluminum sulfate. Desalination 2008;225(1): 301-11.
14. Khouni I, Marrot B, Moulin P, et al. Decolourization of the reconstituted textile effluent by different process treatments: Enzymatic catalysis, coagulation/flocculation and nanofiltration processes. Desalination 2011;268(1): 27-37.
15. Riera-Torres M, Gutiérrez-Bouzán C, Crespi M. Combination of coagulation–flocculation and nanofiltration techniques for dye removal and water reuse in textile effluents. Desalination 2010;252(1): 53-9.
16. Santo CE, Vilar VJ, Botelho C, et al. Optimization of coagulation–flocculation and flotation parameters for

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.2.141]

the treatment of a petroleum refinery effluent from a Portuguese plant. Chem Eng J 2012;183: 117-23.

17. Allegre C, Maisseu M, Charbit F, et al. Coagulation–flocculation–decantation of dye house effluents: concentrated effluents. J Hazard Mater 2004; 116(1):57-64.

18. Petala M, Samaras P, Kungolos A, et al. The effect of coagulation on the toxicity and mutagenicity of reclaimed municipal effluents. Chemosphere 2006;65(6): 1007-18.

19. Dwyer J, Griffiths P, Lant P. Simultaneous colour and DON removal from sewage treatment plant effluent: alum coagulation of melanoidin. Water Res 2009;43(2): 553-61.

20. Tatsi A, Zouboulis A, Matis K, et al. Coagulation–flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates. Chemosphere 2003;53(7): 737-44.

21. Wang J-P, Chen Y-Z, Wang Y, et al. Optimization of the coagulation-flocculation process for pulp mill wastewater treatment using a combination of uniform design and response surface methodology. Water Res 2011;45(17): 5633-40.

22. Liu T, He Z, Hu H, et al. Treatment of APMP pulping effluent based on aerobic fermentation with Aspergillus niger and post-coagulation/flocculation. Bioresource technol 2011;102(7): 4712-7.

23. Papaphilippou PC, Yiannapas C, Politi M, et al. Sequential coagulation-flocculation, solvent extraction and photo-Fenton oxidation for the valorization and treatment of olive mill effluent. Chem Eng J 2013;224(2): 82-8.

24. Zhonglian Y, Baoyu G, Qinyan Y. Coagulation performance and residual aluminum speciation of Al2 (SO4) 3 and polyaluminum chloride (PAC) in Yellow River water treatment. Chem Eng J 2010;165(1): 122-32.

25. Song Z, Williams C, Edyvean R. Treatment of tannery wastewater by chemical coagulation. Desalination 2004;164(3):249-59.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.2.141]

Optimization of Coagulation Process Using Alum and Ferric Chloride for Surface Water Treatment

Hassan Aslani[1], Mahmood Alimohammadi[1*], Babak Mahmoodi[1], Bahareh Ghoreishi[2], Mohammad Khazaei[3], Maryam Ghani[1], Masoomeh Askari[4]

1. Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2. Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran

3. Research Center for Environmental Pollutants, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran

4. Institute for Environmental Research, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

***E-mail:** M_alimohammadi@tums.ac.ir*

Received: 16 Aug 2014 ; Accepted: 2 Dec 2014

ABSTRACT

Background: Water scarcity and increasing demand for various applications has led to more attention to the treatment and using potential resources. Surface water is one of water resources in the societies. In the present study, the performance of two coagulants, Alum and Ferric chloride, was considered to determine turbidity, color, COD, and microbial reduction in the surface waters in Tehran.

Methods: Sampling was carried out from two surface waters named Sorkhehesar and Salehabad, during summer, fall, and winter. After optimization of coagulant dosage and pH, jar test experiments were conducted, and turbidity, COD, color, and microbial changes were considered.

Results: Turbidity range in Sorkhehesar and Salehabad was between 91 and 500 NTU, and 35 to 400 NTU, respectively. Optimized dose of alum for summer, fall, and winter was 45, 100, and 35 mg/L, respectively, while in case of ferric chloride the optimized dose for three studied seasons was 5, 70, and 10 mg/L. Optimized dose of alum and ferric chloride in Salehabad, was determined as 28, 115, 2 and 30, 65, and 5 mg/L. Turbidity removal efficiency using both coagulants was higher than 95 percent, and color was totally removed in all experimented conditions.

Conclusion: From the stand point of turbidity, color, and COD removal both alum and ferric chloride showed the same results, however, ferric chloride dose was lower than alum. In case of turbidity removal alum showed higher removal efficiency, while for COD reduction upon the conditions, e.g. seasonal variation, alum and ferric chloride performance was not the same and was varied accordingly.

Keywords: Coagulation, Alum, Ferric chloride, jar test, turbidity, coliform.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.2.141]