

# بررسی کارایی فرایند انعقاد و لخته‌سازی در حذف آلاینده‌ها از فاضلاب کارخانه رنگرزی پارچه

الهام عبدالله زاده شرقی\*<sup>۱</sup>، فایزه یادگاری<sup>۲</sup>، لیلا داوریپناه<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه محیط زیست، پژوهشکده انرژی، پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج، ایران  
<sup>۲</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهشکده انرژی، پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۶/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۹

## چکیده

زمینه و هدف: در این تحقیق عملکرد فرایند انعقاد و لخته‌سازی در حذف آلاینده‌ها از فاضلاب خام ورودی و پساب خروجی واحد بی‌هوازی تصفیه بیولوژیکی تصفیه‌خانه فاضلاب کارخانه رنگرزی پارچه بررسی شد. مواد و روش‌ها: از دستگاه جارتست به‌عنوان یک سیستم پایلوت متقطع، از PAC،  $FeCl_3$  و Alum به‌عنوان منعقدساز و از دو پلی‌الکترولیت Zetafloc 7563 و Megafloc 3045PWG به‌عنوان لخته‌ساز کاتیونی و آنیونی استفاده شد و تاثیر میزان و نوع منعقدساز و نوع لخته‌ساز در حذف COD، کدورت و رنگ در دو مرحله بررسی شد. یافته‌ها: نتایج آزمایشات انعقاد و لخته‌سازی روی فاضلاب خام ورودی نشان داد که Alum در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر موثرترین منعقدساز با میزان حذف COD، کدورت و رنگ به ترتیب برابر با  $53/1 \pm 1/5\%$ ،  $93/7\%$  و  $71/7\%$  بود. درحالی‌که، نتایج آزمایشات انعقاد و لخته‌سازی روی پساب خروجی تصفیه بیولوژیکی بی‌هوازی نشان داد که بیشترین درصد حذف COD و کدورت برابر با  $52/2 \pm 2/6\%$  و  $99/1\%$  به ترتیب و مربوط به PAC با غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود. همچنین درصد حذف COD منعقدساز  $FeCl_3$  با غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیز  $52/2 \pm 3/5\%$  بود. تفاوت نتایج حاصل از دو مرحله به علت تغییر ماهیت آلاینده‌ها پس از قرارگیری در معرض تصفیه بیولوژیکی و pH متفاوت فاضلاب استفاده شده در این دو مرحله بود. نتیجه گیری: بررسی‌ها نشان داد استفاده از تصفیه فیزیکوشیمیایی به روش انعقاد و لخته‌سازی به تنهایی قادر به کاهش مطلوب آلاینده‌های موجود در فاضلاب رنگرزی به‌کار برده شده جهت استفاده مجدد نبود، درحالی‌که میتوان از این روش به‌عنوان یک پیش تصفیه بیولوژیکی یا یکی از مراحل تصفیه ثانویه و تکمیلی استفاده کرد.

کلمات کلیدی: فاضلاب رنگرزی پارچه، تصفیه فیزیکوشیمیایی، انعقاد و لخته‌سازی، حذف COD، حذف رنگ

## مقدمه

ترکیبات رنگی از مهم‌ترین مواد شیمیایی مورد استفاده در صنایع گوناگون مانند نساجی، کاغذسازی، چاپ و پلاستیک هستند.<sup>۱</sup> در سال ۱۳۹۲ کل فاضلاب تولیدی صنایع نساجی استان تهران حدود ۶۸۴۹۲۲۵ مترمکعب در سال و یا ۱۸۷۶۵ مترمکعب در روز برآورد شده است.<sup>۲</sup> بر اساس تخمین بانک جهانی ۱۷-۲۰٪ آلودگی صنعتی آب مربوط به فاضلاب نساجی است. در میان رنگ‌های تجاری انواع reactive و disperse به دلیل استفاده گسترده آنها در رنگرزی پارچه پنبه و پلی‌استر نگران‌کننده‌تر هستند. رنگ‌های غیر یونی disperse در آب به شدت غیرمحلول هستند و بنابراین به آسانی می‌توانند توسط انعقاد و لخته‌سازی حذف شوند. رنگ‌های reactive به آسانی هیدرولیز می‌شوند. بنابراین بخش بزرگی از آنها (۴۰-۲۰٪) به دلیل تثبیت نشدن و هیدرولیز وارد فاضلاب میشود. سطوح کم تثبیت این رنگ‌ها در الیاف و سرعت کم تصفیه آنها، باعث مشکل‌ساز شدن وجود آنها در پساب نساجی و تصفیه دشوار آنها با سیستم‌های معمول می‌شود.<sup>۳</sup>

فاضلاب نساجی معمولاً حاوی میزان رنگ بالا، دارای تغییرات شدید pH و انواع مواد شیمیایی سمی با ماندگاری طولانی است که بدون تصفیه شدن به مدت زمان طولانی در طبیعت باقی می‌ماند و موجب ناخوشایند شدن مناظر، عدم عبور نور، کاهش اکسیژن محلول و در نتیجه از بین بردن حیات آبی میشود.<sup>۴</sup> از طرفی به دلیل وزن مولکولی بالا و ساختار پیچیده رنگ زیست‌تخریب‌پذیری کمی دارد و همچنین تخلیه مستقیم آن به سیستم‌های تصفیه بیولوژیکی باعث اختلال در عملکرد آنها میشود. همچنین مشخص شده است که برخی رنگ‌ها در مسیر تجزیه بیولوژیکی قادر به تولید ترکیبات آروماتیک سرطان‌زا و جهش‌زا هستند.<sup>۵</sup> عموماً دو نوع روش رنگ‌زدایی از فاضلاب؛ تخریب مولکول‌های رنگ توسط اکسیداسیون شیمیایی و اکسیداسیون

بیولوژیکی، و جداسازی مولکول‌های رنگ‌زا از آب توسط روش انعقاد-لخته‌سازی، فیلتراسیون شنی و جداسازی غشایی وجود دارد.<sup>۶</sup>

انعقاد و لخته‌سازی بدلیل هزینه سرمایه‌گذاری پایین و عملکرد آسان یکی از موثرترین و پرکاربردترین روش‌ها برای حذف رنگ از فاضلاب این صنایع میباشد (لیانگ و مقدم)<sup>۷</sup>. این روش می‌تواند به عنوان روش اصلی، پیش تصفیه یا تصفیه تکمیلی برای تصفیه فاضلاب نساجی و رنگرزی به کار رود.<sup>۹</sup> از جمله مزایای انعقاد و لخته‌سازی در حذف رنگ، حذف رنگ از محیط و عدم تجزیه جزیی و تولید ترکیبات سمی آروماتیک و مضر میباشد، با این وجود، عدم حذف موثر برخی از مولکول‌های رنگ کاتیونی با حلالیت بالا از جمله محدودیت‌های این روش میباشد.<sup>۱۰</sup> راندمان این نوع تصفیه وابسته به خصوصیات فاضلاب خام، pH، دما، میزان و نوع منعقدساز و شدت اختلاط است.<sup>۳</sup> Hilal و Zahrim حذف رنگ غلیظ Acid Black 210 را توسط فرایند انعقاد و لخته‌سازی - فیلتراسیون شنی و نانوفیلتراسیون مستقیم بررسی کردند. نتایج حاصل از کار آنها نشان داد هیچ روشی به تنهایی قادر به حذف کامل مولکول‌های رنگی از فاضلاب نبود.<sup>۱</sup> نتایج تحقیق Zonoozi و همکاران نشان داد حذف رنگ Acid Blue 292 از محلول آبی در فرایند انعقاد و لخته‌سازی به شدت وابسته به pH محلول است. بیشترین میزان حذف برای پلی‌آلومینیوم کلراید (PAC) و سولفات آلومینیوم  $(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3)$  یا همان Alum) به ترتیب در pH برابر با ۷ و pH برابر با ۵ به دست آمد. در این pH بهینه راندمان حذف هر دو نوع منعقدساز با غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر حدود ۸۵٪ بود.<sup>۱</sup> Rodrigues و همکاران حذف ترکیبات آلی محلول (DOC) و رنگ را توسط منعقدساز کلرید آهن  $(\text{FeCl}_3)$  از فاضلاب سنتزی رنگرزی پارچه‌های پنبه‌ای، پلی‌استری و اکریلیک بررسی کردند. در این مطالعه اثر pH، دما، میزان منعقدساز و

میتوانند بار منفی مولکول‌های رنگ را خنثی کنند. از سویی دیگر با کاهش pH و افزایش یون‌های  $H^+$  در محیط چگالی بار مولکول‌های رنگ کاهش یافته و منعقدساز کمتری برای ناپایدار ساختن آنها نیاز است.<sup>۱</sup>

با توجه به نبود اطلاعات کافی در مورد چگونگی عملکرد منعقدسازها و لخته‌سازها در پساب واقعی رنگرزی پارچه، هدف از این تحقیق بررسی تصفیه‌پذیری پساب واقعی با ترکیبات پیچیده و نامشخص شامل انواع مختلف رنگ‌های به کار برده شده برای رنگرزی الیاف پنبه‌ای و پلی‌استری (مخلوط رنگ‌های reactive و disperse) و همچنین سایر مواد شیمیایی به کار برده شده در فرایند رنگرزی پارچه، متعلق به یک کارخانه رنگرزی پارچه واقع در اطراف کرج، با استفاده از روش انعقاد و لخته‌سازی بود. برای این تحقیق ابتدا فاضلاب خام کارخانه، مستقیماً تحت تصفیه فیزیکی شیمیایی قرار گرفت و نتایج آن بررسی شد. در ادامه از سویی برای کاهش میزان مصرف مواد شیمیایی و از سویی دیگر برای دستیابی به غلظت حد مجاز آلاینده‌ها در پساب نهایی جهت استفاده مجدد، از خروجی واحد بیولوژیکی بی‌هوازی رشد چسبیده تصفیه‌خانه فاضلاب کارخانه مذکور نمونه برداری شد و مجدداً تحت تصفیه فیزیکی شیمیایی قرار گرفت و نتایج آن ارائه شد.

## مواد و روش‌ها

فاضلاب مورد استفاده در این تحقیق از یک کارخانه رنگرزی پارچه (واقع در هشتگرد، البرز) تهیه شد. برای این تحقیق در مرحله اول از فاضلاب خام ورودی به تصفیه‌خانه فاضلاب کارخانه و در مرحله دوم از خروجی واحد بی‌هوازی تصفیه بیولوژیکی تصفیه‌خانه فاضلاب کارخانه نمونه برداری شد. تمامی مواد منعقدساز و کلوخه‌ساز از شرکت رسوبگیری خریداری شدند. سایر مواد شیمیایی مورد استفاده در اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی همگی از شرکت مرک (Merck)

لخته‌ساز، شدت و زمان اختلاط بر روی حذف کربن آلی محلول بررسی شد. در شرایط بهینه عملیاتی، حذف رنگ در هر سه پساب سنتزی به صورت موثر و با راندمان ۹۱٪، ۹۴٪ و تقریباً ۱۰۰٪ به ترتیب برای فاضلاب‌های پنبه‌ای، اکریلیک و پلی‌استر صورت گرفت اما در مقابل راندمان حذف DOC ناچیز و برابر با میزان تقریبی ۳۳٪، ۴۵٪ و ۲۸٪ به ترتیب برای پلی‌استر، پنبه‌ای و اکریلیک بود.<sup>۱</sup> Wong و همکاران با استفاده از PAC، Alum و کلرید منیزیم ( $MgCl_2$ ) و لخته‌ساز آنیونی، حذف میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) و رنگ را از مخلوط سنتزی حاوی مقادیر متغیری از رنگ‌های تجاری reactive و disperse بررسی کردند. نتایج نشان داد با افزایش درصد رنگ reactive در مخلوط، میزان منعقدساز برای حذف بهینه رنگ و COD افزایش یافت. بیشترین درصد حذف رنگ و COD (بیشتر از ۹۹٪ حذف رنگ و ۹۶/۳٪ حذف COD) با میزان کمتری از PAC نسبت به دو منعقدساز دیگر به دست آمد.<sup>۳</sup> Selcuk و همکاران با استفاده از Alum (۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر) و سولفات آهن ( $FeSO_4$ ) (۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر) در تصفیه پساب سنتزی رنگرزی به راندمان حذف ۶۰٪-۵۰ COD و ۷۰-۸۰٪ سمیت دست یافتند، اگرچه استفاده از این مقادیر بالا به علت تولید زیاد لجن به صرفه نیست.<sup>۱۱</sup>

Moghaddam و همکاران امکان استفاده از لجن حاصل از تصفیه شیمیایی فاضلاب شهری (لجن  $FeCl_3$ ) که غنی از هیدروکسیدهای آهن بدون بار بود، را برای رنگزدایی با روش انعقاد و لخته‌سازی از پساب رنگی حاوی رنگ Acid Red 119 بررسی کردند. نتایج نشان داد تاثیر لجن بر حذف این رنگ به میزان زیادی به pH اولیه پساب بستگی داشت و بیشترین درصد حذف با pH اولیه برابر با ۲/۳۱ به دست آمد. بار محصولات هیدرولیز و رسوب هیدروکسیدهای فلزی هر دو توسط pH کنترل میشوند. به دلیل اینکه گروه‌های عاملی رنگ‌های اسیدی آنیونی هستند، محصولات حاصل از هیدرولیز لجن  $FeCl_3$  با مکانیسم غالب خنثی سازی بار

تهیه شدند. در فرایند رنگرزی پارچه در کارخانه رنگرزی، علاوه بر رنگ مناسب برای نوع پارچه (پلی استری یا پنبه‌ای) از هیدروکسید سدیم، اسید استیک، آب اکسیژنه، سدیم کربنات و سدیم کلراید هم در مراحل مختلف رنگرزی استفاده میشد که این ترکیبات یا محصولات حاصل از واکنش آنها هم در فاضلاب وجود دارد. مشخصات فاضلاب خام به کار برده شده در مرحله اول این مطالعه، در جدول ۱ آورده شده است. در مرحله اول این پژوهش، برای بررسی عملکرد منعقدسازها در pH خنثی، مقدار pH آن به میزان تقریبی ۷ کاهش داده شد. از سه نوع منعقدساز PAC، Alum و FeCl<sub>3</sub> در غلظت‌های ۵، ۱۵، ۴۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر به همراه دو نوع لخته‌ساز کاتیونی (Zetafloc 7563) و آنیونی (Megafloc 3045PWG) استفاده شد. میزان لخته‌ساز استفاده شده در تمام آزمایش‌های این مرحله برابر با ۱ میلی‌گرم در لیتر بود. در این مرحله ابتدا منعقدساز با غلظت مشخص به ۵۰۰ میلی‌لیتر فاضلاب اضافه شد و تحت عملیات جارتست روی تمامی نمونه‌ها به مدت ۳ دقیقه با شدت ۱۵۰ rpm اختلاط شدید انجام شد. سپس لخته‌ساز با غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر به نمونه اضافه و ۲ دقیقه اختلاط با شدت ۱۵۰ rpm انجام شد، زمان اختلاط آرام ۲۰ دقیقه با شدت ۴۰ rpm و زمان ته نشینی ۳۰ دقیقه بود. دستگاه جار تست استفاده شده در این پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است. مشخصات فاضلاب خام ورودی به مرحله بی‌هوازی تصفیه بیولوژیکی تصفیه‌خانه فاضلاب کارخانه مذکور و پساب خروجی از این واحد در جدول ۲ آورده شده است. در

مرحله دوم آزمایشات، برای افزایش تاثیر میزان منعقدساز و همچنین دستیابی به غلظت حد مجاز آلاینده‌ها، فاضلاب تحت یک مرحله تصفیه بیولوژیکی بی‌هوازی با زمان ماند ۲ روز قرار گرفت و پساب حاصل از این مرحله مجدداً به صورت فیزیکوشیمیایی تصفیه شد. در این مرحله از پژوهش، بررسی عملکرد منعقدسازها در pH پساب (pH=۹) انجام شد. غلظت سه نوع منعقدساز PAC، Alum و FeCl<sub>3</sub> در این مرحله برابر با ۵۰، ۱۰۰، ۴۰۰، ۷۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و غلظت لخته‌ساز آنیونی (Megafloc 3045PWG) ۲ میلی‌گرم در لیتر بود. در واحد بیولوژیکی بی‌هوازی با تخریب مولکول‌های رنگ، رنگبری فاضلاب انجام میشود ولی در مقابل ترکیبات آروماتیکی سرطان‌زا با ساختار و نوع COD متفاوت تولید میشود که در معرض هوا قرار گرفتن این پساب به سرعت باعث برگشت رنگ در آن میشود. بنابراین پساب خروجی از واحد بی‌هوازی ماهیتی متفاوت از فاضلاب اولیه داشت. به دلیل عدم توانایی واحد بیولوژیکی هوازی در حذف کامل رنگ (در واحدهای هوازی تنها مقدار اندکی حذف رنگ وجود دارد که به دلیل جذب سطحی توسط لجن فعال است) تا حد ممکن باید از ورود این رنگ برگشتی به واحد هوازی جلوگیری کرد. به همین دلیل میزان منعقدساز در مرحله دوم افزایش یافت. شدت و زمان اختلاط در این مرحله متفاوت از مرحله قبل و به صورت ۵ دقیقه اختلاط با شدت ۲۰۰ rpm بود، سپس لخته‌ساز به نمونه افزوده شد و ۵ دقیقه اختلاط با شدت ۲۰۰ rpm انجام شد، زمان اختلاط آرام ۲۰ دقیقه با شدت ۴۰ rpm و زمان ته نشینی ۳۰ دقیقه بود.

جدول ۱: مشخصات اولیه فاضلاب واقعی کارخانه رنگرزی پارچه در مرحله اول

کدورت (NTU)	رنگ (SU)	COD (mg/L)	pH
۲۵۹۰	۵۴۴/۲	۲۷۰۰	۹

**جدول ۲:** مشخصات فاضلاب خام واقعی و پساب خروجی از مرحله بی‌هوازی تصفیه‌خانه فاضلاب کارخانه رنگرزی پارچه در مرحله دوم

کدورت (NTU)	رنگ (SU)	COD (mg/L)	pH	
۲۹۱	۷۲۳	۱۰۶۰	۹	فاضلاب خام
۴۳۸	۲۰۶	۷۹۵	۹	پساب خروجی از واحد بی‌هوازی

## یافته‌ها

### اثر نوع و میزان منعقدساز و نوع لخته‌ساز بر روی

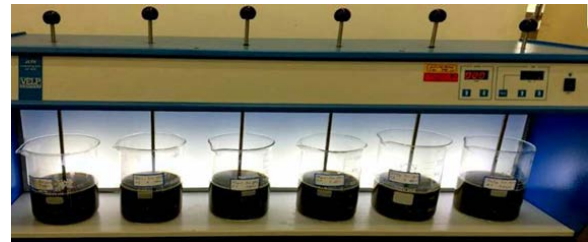
#### حذف COD

منحنی تغییرات درصد حذف COD بعد از فرایند انعقاد و لخته‌سازی با استفاده از مقادیر و انواع مختلف منعقدساز در حضور لخته‌ساز کاتیونی و آنیونی در شکل ۲ الف و ب به ترتیب ارائه شده است. بیشترین بازده حذف COD مربوط به منعقد ساز آلوم در غلظت ۴۰ میلی گرم در لیتر در حضور لخته‌ساز آنیونی (۷۳/۱±۱/۳٪) معادل با COD ۷۲۵ ±۳۵ میلی گرم در لیتر) و کمترین بازده حذف مربوط PAC در غلظت ۵ میلی گرم در لیتر در حضور لخته‌ساز کاتیونی (۱۳٪) بود.

### اثر نوع و میزان منعقدساز و نوع لخته‌ساز بر روی

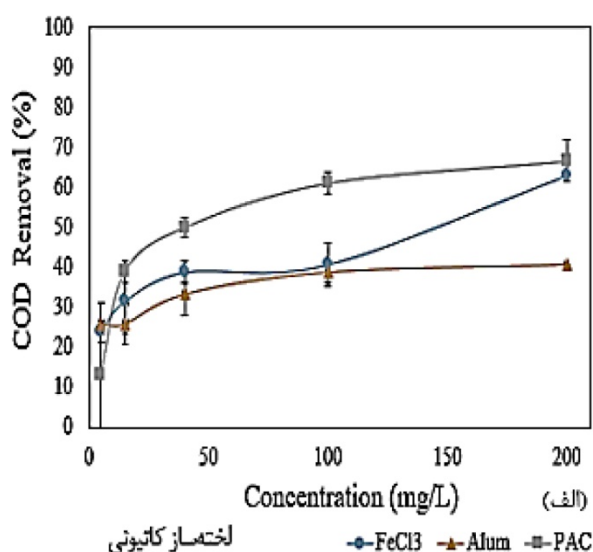
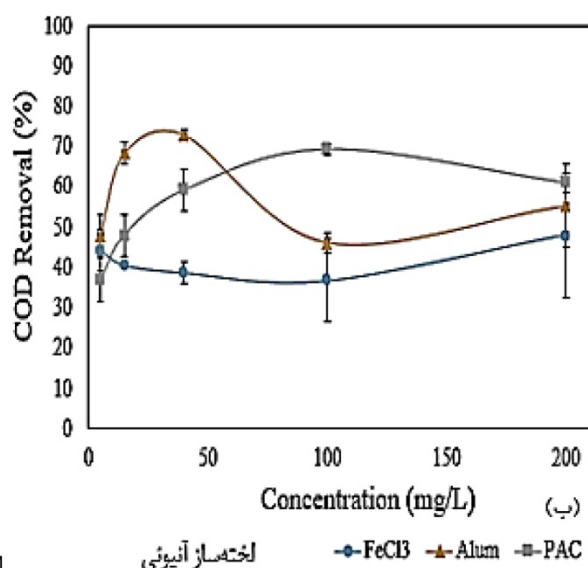
#### حذف کدورت

منحنی تغییرات درصد حذف کدورت بعد از فرایند انعقاد و لخته‌سازی با استفاده از مقادیر و انواع مختلف منعقدساز در حضور لخته‌ساز کاتیونی و آنیونی در شکل ۳ الف و ب به ترتیب ارائه شده است. همانطور که در شکل ۳ مشخص است در برخی نمونه‌ها در غلظت‌های کم منعقدساز، کدورت محلول نهایی افزایش یافته است. بیشترین بازده حذف کدورت مربوط به منعقد ساز PAC در غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر و در حضور لخته‌ساز آنیونی (۹۷/۵٪؛ کدورت نهایی=۶۳ NTU) بود.



**شکل ۱:** دستگاه جار تست استفاده شده در این پژوهش

جهت انجام آنالیز بر روی نمونه‌ها بعد از فرایند انعقاد و لخته‌سازی، پس از زمان ته‌نشینی جار تست، ۵۰ cc از مایع رویی پساب برای انجام آنالیزها برداشته شد. COD فاضلاب خام و مایع رویی (بدون فیلتر شدن) در انتهای زمان ته‌نشینی آزمون جار، توسط روش شماره D5220 استاندارد APHA با دو مرتبه تکرار اندازه‌گیری شد<sup>۱۲</sup> و در انتها مقدار میانگین دو تکرار با انحراف معیار گزارش شد. برای اندازه‌گیری COD از ترموراکتور Hach و دستگاه اسپکتروفتومتر ویال‌خوان Palintest 8000 استفاده شد. کدورت فاضلاب خام و مایع رویی در انتهای زمان ته‌نشینی آزمون جار با استفاده از دستگاه کدورت سنج Aqua Lytic مدل AL450T-IR ساخت آلمان و با دو مرتبه تکرار اندازه‌گیری شد. pH با استفاده از دستگاه مولتی پارامتر شرکت Hach مدل HQ ۴۰D اندازه‌گیری شد. رنگ فاضلاب خام و مایع رویی در انتهای زمان ته‌نشینی آزمون جار با استفاده از دستگاه UV/VIS Spectrometer مدل T80+ اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری رنگ نمونه‌ها، ابتدا جذب نور نمونه‌ها در محدوده طول موج ۴۰۰-۷۰۰ نانومتر اسکن شد و سپس سطح زیر منحنی جذب-طول موج محاسبه و برحسب واحد SU بیان شد<sup>۱۳</sup>.



۱

شکل ۲: تأثیر انواع و دوزهای منعقدکننده و انواع لخته ساز در راندمان حذف COD (COD اولیه: ۲۷۰۰ mg/L): (الف) با استفاده از لخته‌ساز کاتیونی (ب) با استفاده از لخته‌ساز آنیونی

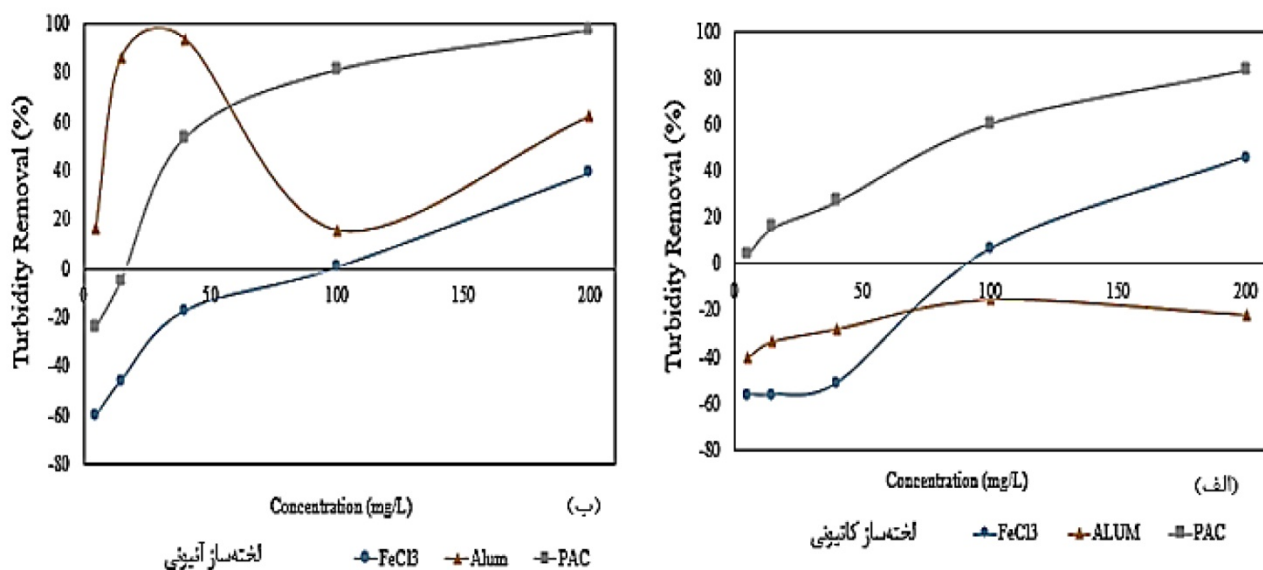
فرایند انعقاد و لخته‌سازی با استفاده از مقادیر و انواع مختلف منعقدساز در حضور لخته‌ساز آنیونی در شکل ۵ الف و ب به ترتیب ارایه شده است. همانطور که در نمودارهای شکل ۵ مشخص است با افزایش غلظت منعقدسازهای Alum و PAC از ۵۰ میلی گرم در لیتر تا ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر در حضور لخته‌ساز آنیونی درصد حذف COD و کدورت افزایش یافت و تقریباً ثابت ماند. ولی روند تغییرات حذف COD و کدورت برای FeCl<sub>3</sub> ابتدا افزایشی و سپس کاهشی بوده است. بیشترین درصد حذف COD و کدورت برابر با ۵۲/۲±۲/۶٪ (کدورت نهایی = ۳۸۰±۲۱ میلی گرم در لیتر) و ۹۹/۱٪ (کدورت نهایی = ۱۴۴ NTU) به ترتیب و مربوط به PAC با غلظت ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر بود. همچنین درصد حذف COD منعقدساز FeCl<sub>3</sub> با غلظت ۴۰۰ میلی گرم در لیتر نیز ۵۲/۲±۳/۵٪ (کدورت نهایی = ۳۸۰±۲۸ میلی گرم در لیتر) بود.

## اثر نوع و میزان منعقدساز و نوع لخته ساز بر روی حذف رنگ

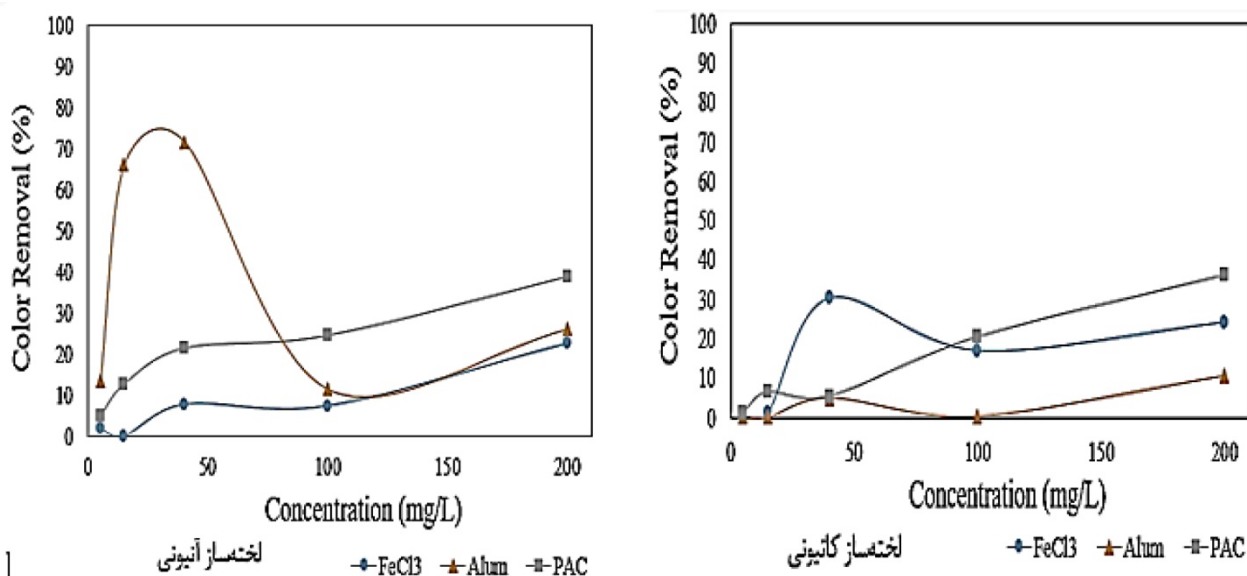
منحنی تغییرات درصد حذف رنگ بعد از فرایند انعقاد و لخته‌سازی با استفاده از مقادیر و انواع مختلف منعقدساز در حضور لخته‌ساز کاتیونی و آنیونی در شکل ۴ الف و ب به ترتیب ارایه شده است. همانگونه که در شکل دیده میشود، حذف رنگ در اکثر نمونه‌ها کمتر از ۴۰٪ بود. بیشترین بازده حذف رنگ مربوط به منعقدساز آلوم در غلظت ۴۰ میلی گرم در لیتر در حضور لخته‌ساز آنیونی (۷۱/۷٪؛ میزان رنگ نهایی = ۱۵۴/۲ SU) بود.

## عملکرد فرایند انعقاد و لخته سازی بعد از واحد بیولوژیکی بی‌هوازی رشد چسبیده

منحنی تغییرات درصد حذف COD و کدورت بعد از



**شکل ۳:** تأثیر انواع و دوزهای منعقدکننده و انواع لخته ساز در راندمان حذف کدورت (کدورت اولیه: ۲۵۹۰ NTU): (الف) با استفاده از لخته‌ساز کاتیونی (ب) با استفاده از لخته‌ساز آنیونی



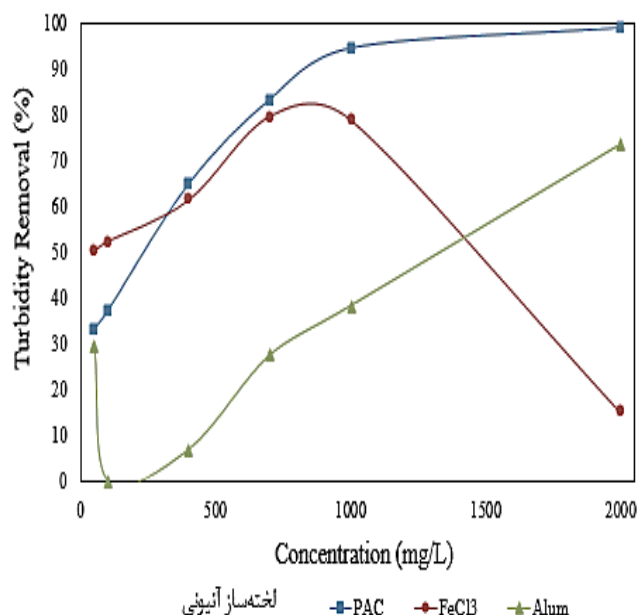
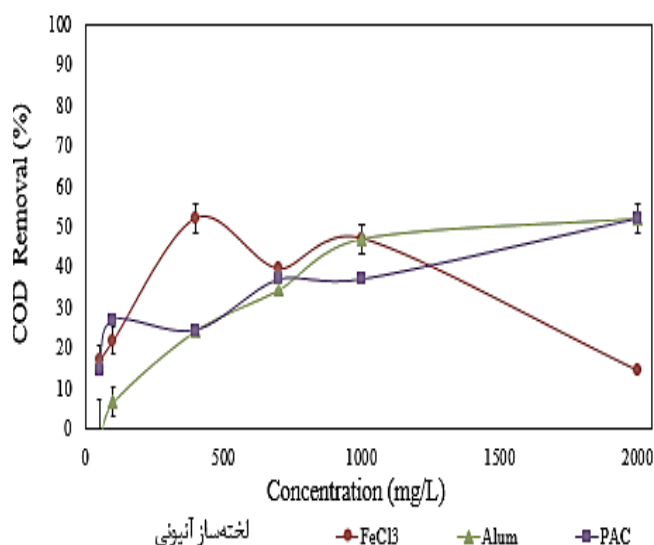
**شکل ۴:** تأثیر انواع و دوزهای منعقدکننده و انواع لخته ساز در راندمان حذف رنگ (رنگ اولیه: ۵۴۴/۲ SU): (الف) با استفاده از لخته‌ساز کاتیونی (ب) با استفاده از لخته‌ساز آنیونی

ته‌نشین کردن ذرات کلوئیدی است.

## اثر نوع و میزان منعقدساز و نوع لخته‌ساز بر روی

### حذف COD فاضلاب خام

همانطور که در شکل ۲ دیده می‌شود، با افزایش غلظت تمامی منعقدسازها (به جز آلوم به همراه لخته‌ساز آنیونی) از ۵ میلی گرم در لیتر تا ۲۰۰ میلی گرم در لیتر در حضور هر دو نوع لخته‌ساز آنیونی و کاتیونی، میزان حذف COD بیشتر شد که می‌تواند به دلیل تشکیل هیدروکسیدهای خنثی فلزی درشت و به دام افتادن ذرات کلوئیدی در آنها توسط مکانیسم جارویی باشد<sup>۴</sup>. اما روند این افزایش برای منعقدساز آلوم در حضور لخته‌ساز آنیونی یکنواخت نبود. با توجه به نمودار، با افزایش غلظت منعقدساز آلوم از ۵ میلی گرم در لیتر تا ۴۰ میلی گرم در لیتر در حضور لخته‌ساز آنیونی، درصد حذف COD از  $48.1 \pm 5.2\%$  به  $73.1 \pm 1.3\%$  افزایش یافت و سپس با افزایش بیشتر غلظت آلوم تا ۲۰۰ میلی گرم در لیتر، درصد حذف COD به  $55.6 \pm 1.0/4\%$  کاهش یافت. با افزایش غلظت منعقدساز آلوم تا ۴۰ میلی گرم در لیتر، مکانیسم غالب حذف ذرات کلوئیدی، جذب محصولات ناشی از هیدرولیز منعقدساز با بار مخالف، کاهش و خنثی سازی بار سطحی کلوئیدها بوده است. با بیشتر شدن غلظت منعقدساز آلوم و جذب بیشتر محصولات هیدرولیز، بار کلوئیدهای موجود در فاضلاب برعکس شده و کلوئیدها مجدداً ناپایدار میشوند که باعث افزایش COD مایع رویی بعد از ته‌نشینی میشود<sup>۴</sup>. با توجه به نمودارهای شکل ۲ دیده می‌شود که در غلظت‌های بالای ۱۰۰ میلی گرم در لیتر، منعقدساز PAC در حضور لخته‌ساز کاتیونی و آنیونی نسبت به دیگر منعقدسازها بازده حذف COD بیشتری را نشان داد. مشاهدات بصری همچنین نشان داد که لخته‌های حاصل از منعقدساز PAC در غلظت‌های بالای ۱۰۰ میلی گرم در لیتر نسبت به دیگر منعقدسازها



**شکل ۵:** تأثیر انواع و دوزهای منعقدکننده در حضور لخته‌ساز آنیونی بر راندمان حذف: (الف) COD (COD اولیه:  $795 \text{ mg/L}$ ) و (ب) کدورت (کدورت اولیه:  $438 \text{ NTU}$ )

## بحث

در فرایند انعقاد و لخته‌سازی، نوع منعقد کننده و لخته‌ساز به عنوان یکی از مهمترین پارامترها در حذف آلاینده‌ها و ذرات کلوئیدی می‌باشد. هدف از انعقاد بر هم زدن پایداری و



رنگ و روش انعقاد و لخته‌سازی بین ۹۵-۸۵٪ رنگ (به جز یک مورد از آنها) را حذف کرد، ترکیب این دو روش به شدت باعث افزایش راندمان حذف ترکیبات رنگی (تا ۹۸٪) شد.<sup>۱۶</sup>

### اثر نوع و میزان منعقدساز و نوع لخته‌ساز بر روی حذف کدورت فاضلاب خام

همانطور که در نمودارهای شکل ۳ مشخص است با افزایش منعقدساز در برخی نمونه‌ها کدورت نهایی افزایش یافته است، دلیل این موضوع این است که در تصفیه فیزیکوشیمیایی برای حذف یک آلاینده مواد دیگری به فاضلاب افزوده میشود، و در صورت ناکافی بودن این مواد شیمیایی برای حذف آلاینده‌ها و کلویدهای مورد نظر، این کار به نوبه خود باعث افزایش کل مواد محلول و کدورت فاضلاب میشود.<sup>۱۴</sup> با توجه به نمودار، با افزایش غلظت منعقدساز (به جز آلوم به همراه لخته‌ساز آنیونی) در حضور هر دو لخته‌ساز کاتیونی و آنیونی، به تدریج بازده حذف کدورت افزایش یافت که نشان از غلبه منعقدساز بر بار کلویدها و مواد موجود در فاضلاب و در نهایت حذف آنها است. بیشترین بازده حذف کدورت مربوط به منعقدساز PAC در غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر و در حضور آنیونی (۹۷/۵٪) بود. اما روند کاهش کدورت و یا افزایش بازده حذف آن برای منعقدساز آلوم در حضور لخته‌ساز آنیونی یکنواخت نبود. با توجه به نمودار، با افزایش غلظت منعقدساز آلوم از ۱۵ میلی گرم در لیتر تا ۴۰ میلی گرم در لیتر در حضور لخته‌ساز آنیونی، بازده حذف کدورت از ۱۶/۶٪ به ۹۳/۷٪ افزایش یافت و سپس با افزایش بیشتر غلظت آلوم تا ۲۰۰ میلی گرم در لیتر، مقدار بازده حذف به ۶۲/۱٪ کاهش یافت. با توجه به نمودارهای شکل ۳ دیده می شود که در غلظت های بالای ۱۰۰ میلی گرم در لیتر، منعقدساز PAC در حضور لخته‌ساز کاتیونی و آنیونی نسبت به دیگر منعقدسازها بازده

درشت تر و مقاوم تر بود که میتواند به دلیل از پیش پلیمری شدن آن و شاخه‌های بلند پلیمری باشد که باعث افزایش میزان حذف کلویدها توسط مکانیسم خنثی سازی بار آنها و پل زدن باشد. در این مکانیسم با افزایش میزان منعقدساز کلویدها مجدداً پایدار نخواهند شد و به جای آن لخته‌های درشت تر با قابلیت ته‌نشینی بیشتر تشکیل میشود. علاوه بر این، این نوع منعقدساز کمترین تغییر را در pH محیط ایجاد میکند.<sup>۱۴</sup> همچنین مشخص شد که منعقدسازهای پایه آلومینیومی (PAC و آلوم) در حضور لخته‌ساز آنیونی نتایج بهتری را در حذف COD ارایه کردند، در حالیکه منعقدساز  $FeCl_3$  در حضور لخته‌ساز کاتیونی نتایج بهتری را نشان داد که ممکن است به دلیل تفاوت در نوع محصولات ناشی از هیدرولیز آنها و همچنین افت pH ناشی از استفاده از منعقدسازهای پایه آهنی باشد. Harrelkas و همکاران راندمان حذف رنگ، کدورت و COD را از فاضلاب ناشی از مخلوط شدن چند رنگ reactive و فاضلاب ناشی از تمام مراحل رنگرزی، سفیدکاری و شستشو، با استفاده از منعقدساز Alum (۲۰۰-۵۰۰ میلی گرم در لیتر) و لخته‌ساز (۸-۱ میلی گرم در لیتر) در دو pH ۸ و ۵ بررسی کردند. نتایج آزمایشات نشان داد که شرایط بهینه برای واکنش برابر با pH=۵، غلظت منعقدساز ۱۰۰ میلی گرم در لیتر و لخته‌ساز برابر با ۴ میلی گرم در لیتر بود.<sup>۱۵</sup> نتایج همچنین نشان داد استفاده از انعقاد و لخته‌سازی به تنهایی قادر به تامین کیفیت مناسب برای فاضلاب نیست و در نتیجه نیاز به تصفیه تکمیلی هم وجود دارد که برای این منظور از فیلتراسیون غشایی و جذب توسط فیلتر کربن فعال استفاده شد.<sup>۱۵</sup> Riera-Torres و همکاران استفاده از روش‌های انعقاد-لخته‌سازی (با استفاده از  $FeCl_3$  به عنوان منعقدساز و لخته‌ساز آنیونی) و نانوفیلتراسیون را به صورت جداگانه و همراه با هم در حذف آلاینده‌ها از فاضلاب سنتزی رنگی حاوی ۵ رنگ reactive بررسی کردند. نتایج حاصل نشان داد درحالیکه روش نانوفیلتراسیون بین ۸۰-۴۰٪

حذف کدورت بیشتری را نشان داد.

## اثر نوع و میزان منعقدساز و نوع لخته‌ساز بر روی حذف رنگ فاضلاب خام

همانگونه که در شکل ۴ دیده میشود، بازده حذف پایین رنگ میتواند به دلیل بیشتر بودن سهم رنگ‌های آب‌دوست و محلول در آب (رنگ‌های reactive)، در فاضلاب باشد که برای رنگرزی الیاف پنبه‌ای کاربرد دارند. این رنگ‌ها به راحتی در آب حل میشوند و تصفیه شیمیایی در حذف آنها ضعیف است. به طور کلی با افزایش آبدوستی کلویدها، حذف آنها توسط منعقدسازها سخت‌تر میشود. در صورت آبدوست بودن کلویدها لایه‌ای از مولکول‌های آب اطراف آنرا فرا می‌گیرند (در برخی موارد وزن مولکول‌های آب اطراف یک ذره کلویید آبدوست تا ده برابر وزن خود کلویید هم میرسد)، این آب‌پوشی شدید باعث دشوار شدن از بین بردن بار سطحی موثر این ذرات و پایداری شدید آنها از طریق حرکات تصادفی مولکول‌های آب شده و میزان منعقدساز مورد نیاز برای تصفیه را به شدت افزایش میدهد. ضمن اینکه رنگ‌های کاتیونی حلال در آب به میزان کمی توسط تصفیه شیمیایی حذف میشوند<sup>۱</sup>. با توجه به نمودارهای شکل ۴ دیده می‌شود که در غلظت‌های بالای ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، منعقدساز PAC در حضور لخته‌ساز کاتیونی و آنیونی نسبت به دیگر منعقدسازها بازده حذف رنگ بیشتری را نشان داد. Meric و همکاران با استفاده از انعقاد (FeSO<sub>4</sub>) و لخته‌سازی (پلی‌الکترولیت آنیونی) و pH بین ۹-۹/۵ به حذف رنگ برابر با ۶۷-۹۰٪ و حذف COD برابر با ۵۹٪ رسیدند<sup>۹</sup>. Liang و همکاران با استفاده از منعقدساز PAC (۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و لخته‌ساز (۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به ۹۰٪ حذف رنگ در فاضلاب سنتزی غلیظ حاوی چند نوع رنگ دست یافتند<sup>۷</sup>. Furlan و همکاران حذف دو رنگ Black 5 و Orange 16 را با استفاده از آلومینیوم کلراید بررسی کردند. در نهایت برای

این دو رنگ میزان بهینه منعقدساز جهت دستیابی به بیشترین حذف رنگ به ترتیب برابر با ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. همچنین بیشترین میزان حذف این دو رنگ به ترتیب بیشتر از ۹۵٪ و ۷۵٪ بود<sup>۱۷</sup>. Golob و همکاران با بررسی تصفیه مخلوط فاضلاب حاصل از رنگرزی پارچه‌های پنبه‌ای و پلی‌آمیدی با استفاده از رنگ‌های reactive و اسیدی به این نتیجه رسیدند که بهترین نتیجه با استفاده از منعقدساز Alum (۲۰ میلی‌گرم در لیتر) و لخته‌ساز کاتیونی (۲/۵ میلی‌گرم در لیتر) و در pH نزدیک به خنثی به دست آمد. همچنین مشخص شد راندمان این روش و کیفیت پساب نهایی به میزان منعقدساز و pH بستگی دارد<sup>۱۸</sup>. تاثیر انواع گونه‌های مختلف آلومینیوم در انعقاد رنگ‌های Direct (Direct Black 19, Direct Red 28, Direct Blue 86)، با استفاده از نمک‌های رایج آلومینیوم، PAC و Al<sub>13</sub> خالص شده توسط Shi و همکاران بررسی شد. مشخص شد در بیشتر شرایط Al<sub>13</sub> نسبت به دو منعقدساز دیگر، راندمان حذف بهتری دارد و راندمان حذف این نوع رنگ به شدت تحت تاثیر pH است. در مقادیر بالای منعقدساز، مکانیسم غالب انعقاد در زمان استفاده از نمک‌های رایج آلومینیوم خنثی سازی بار توسط محصولات هیدرولیز Al است. پس از تشکیل محصولات هیدرولیز، این محصولات به یکدیگر نزدیک شده و بازچینش میشوند و در نهایت به رسوبات هیدروکسید آمورف هیدرولیز میشوند. این جامدات آمورف تازه تشکیل شده میتوانند مواد کلوییدی را خنثی کنند و به عنوان یک پل بین ذرات ریز عمل کنند که با نام لخته‌سازی جارویی شناخته میشود<sup>۱۹</sup>.

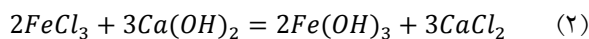
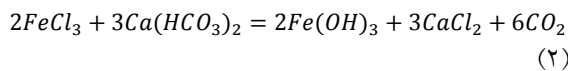
## عملکرد فرایند انعقاد و لخته‌سازی بعد از واحد

### بیولوژیکی بی‌هوازی رشد چسبیده

برای تصفیه کامل یک پساب رنگی توسط روش بیولوژیکی نیاز به دو مرحله بی‌هوازی و هوازی است.

مراجع اشاره شده است pH بهینه برای لخته‌سازهای پایه آلومینیومی بین ۷-۵ و برای  $FeCl_3$  بین ۱۰-۸ میباشد. دلیل انتخاب این مقادیر pH حلالیت کمتر رسوبات آلومینیومی و آهنی در آنها و در نتیجه ته‌نشین شدن و افزایش راندمان تصفیه در این شرایط است<sup>۱۴</sup>. با افزودن  $FeCl_3$  به محلول، مقداری از آلکالینیتی که در محیط وجود دارد یا به محیط اضافه شده است به صورت زیر مصرف میشود<sup>۱۴</sup>:

(۱)



در نتیجه این واکنش‌ها علاوه بر اینکه pH محلول افت میکند، محصولات هیدروکسید فلزی خنثی تشکیل میشوند که با مکانیسم جارویی (به دلیل بدون بار بودن) قادر به حذف کلویدهای موجود در محیط هستند. بنابراین در صورت کافی بودن آلکالینیتی محیط، راندمان حذف افزایش پیدا میکند.

نتایج حاصل از این مرحله نشان داد که تصفیه فیزیکوشیمیایی پساب خروجی از مرحله بی‌هوازی هم به تنهایی قادر به کاهش آلاینده‌ها به میزان کافی جهت استفاده مجدد نیست و در نهایت نیاز به استفاده از روش‌های تصفیه تکمیلی میباشد.

### لجن تولیدی توسط فرایند انعقاد و لخته سازی

در این مقاله در انتهای فرایند انعقاد و لخته‌سازی توسط آزمون جارتست، هیدروکسیدهای فلزی و لخته‌های تشکیل شده با ته‌نشین شدن از فاضلاب جدا شدند. در این تحقیق حدود ۵ درصد حجم فاضلاب، لجن تولید شد، که معادل ۰/۰۵ مترمکعب لجن به ازای تصفیه هر مترمکعب فاضلاب خام بود. تولید لجن یکی از نقاط ضعف فرایند تصفیه شیمیایی است و برای از بین بردن این نقطه ضعف اقدام به استفاده از تصفیه شیمیایی بعد از مرحله بی‌هوازی شد چرا که

مکانیسم رنگبری در شرایط بی‌هوازی، انتقال چهار الکترون (معادل‌های کاهنده) توسط آنزیم آزو رداکتاز (Azo Reductase) به پیوند آزو میباشد که در آن باندهای آزو (-N=N-) رنگ شکسته میشود. محصول این مرحله محلولی بی‌رنگ ولی حاوی آروماتیک آمینهای سمی و خطرناک است. بنابراین با رنگبری بیولوژیکی، ساختار مولکول رنگ و نوع COD موجود در محیط تغییر میکند. آروماتیکهای بوجود آمده را می‌توان با انجام یک مرحله واکنش هوازی حذف کرد<sup>۲۰</sup>. در مقاله حاضر، عملکرد فرایند انعقاد و لخته‌سازی بعد از واحد بیولوژیکی بی‌هوازی رشد چسبیده بجای مرحله هوازی بیولوژیکی بررسی شد.

افت شدید بازده حذف COD و کدورت مشاهده شده در نمودارهای شکل ۵ با استفاده از منعقدساز  $FeCl_3$  میتواند به دلیل تغییر شدید pH در زمان استفاده از مقادیر بالای آن باشد. در میزان منعقدساز ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر، pH برابر با ۶/۷ و در میزان منعقدساز ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر، pH برابر با ۳/۸ بود. زمانی که از  $FeCl_3$  به عنوان منعقدساز استفاده میشود، افت pH مانع از رسوب آهن و در نتیجه منجر به کاهش بازده حذف میشود، که این موضوع به دلیل حلالیت بالای آهن در pH کمتر از ۶/۵ است، بنابراین برای ترسیب آن pH محیط باید بالا و در حدود ۸-۱۰ باشد<sup>۱۶</sup>. pH علاوه بر تاثیرگذاری بر روی ظرفیت جذب، بر میزان یونیزاسیون گونه‌های موجود در محیط هم تاثیر می‌گذارد<sup>۱۷</sup>. با کاهش شدید pH به دلیل استفاده زیاد از منعقدساز  $FeCl_3$ ، میزان یون‌های  $H^+$  در محیط افزایش یافته و با تاثیر بر بار کلویدها باعث پایدار شدن مجدد کلویدها و افت راندمان حذف میشوند<sup>۵</sup>. در این مرحله بیشترین درصد حذف COD  $52/2 \pm 3$  (معادل با COD  $380 \pm 28$  میلی گرم در لیتر) و مربوط به منعقدساز  $FeCl_3$  در غلظت ۴۰۰ میلی گرم در لیتر بود. بالا بودن pH در این مرحله ( $pH=9$ ) نسبت به مرحله اول آزمایشات ( $pH=7$ ) میتواند از دلایل تاثیر بیشتر  $FeCl_3$  در این مرحله باشد. همانطور که در

فاضلاب تا حد استانداردهای زیست محیطی نیست و در ادامه نیاز به سایر روش‌های تکمیلی می‌باشد. اما این روش قابلیت کاربرد به عنوان پیش‌تصفیه برای واحدهای بیولوژیکی و یا تصفیه تکمیلی را دارد.

## سپاسگزاری

این طرح تحقیقاتی با پشتیبانی علمی و آزمایشگاهی گروه محیط زیست پژوهشکده انرژی پژوهشگاه مواد و انرژی و اعتبارات ویژه پژوهشی (گرت شماره ۹۹۳۹۲۰۰۳) پژوهشگاه مواد و انرژی انجام شد. نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند مراتب قدردانی خود را از شرکت بتون رنگ کردان (رنگرزی تکمیلیران) نیز به دلیل حمایت‌های مالی (گرت شماره ۲۷۲۲۱۹۶۰۱) اعلام کنند.

در صورت استفاده از تصفیه شیمیایی قبل از این مرحله، برای دستیابی به راندمان موردنظر مقادیر بالایی از منعقدساز نیاز است که باعث افزایش شدید حجم لجن تولیدی می‌شود. در نهایت لجن تولیدی جمع‌آوری شده و پس از عبور از فیلترپرس به واحدهای مدیریت لجن منتقل می‌شود.

## نتیجه‌گیری

در این مطالعه امکان تصفیه فاضلاب واقعی یک کارخانه رنگرزی پارچه شامل مخلوط رنگ‌های reactive و disperse و همچنین سایر مواد شیمیایی به کار برده شده در فرایند رنگرزی پارچه، با استفاده از روش انعقاد و لخته‌سازی بررسی شد. نتایج حاصل از مراحل اول و دوم با استفاده از فاضلاب خام رنگرزی و پساب خروجی واحد بیولوژیکی بی‌هوازی نشان داد که این روش به تنهایی قادر به تصفیه کامل این

## References

1. Zonoozi MH, Moghaddam MR, Arami M. Coagulation/flocculation of dye-containing solutions using polyaluminium chloride and alum. *Water Sci Technol* 2009; 59(7):1343-51.
2. Arshadi M, Shyigan J, Hamidian A. A review of the quality, quantity and methods of textile wastewater treatment. *Iran J Chem Chem Eng* 2016;5(6):197-213 [In Persian].
3. Wong PW, Teng TT, Norulaini NA. Efficiency of the coagulation-flocculation method for the treatment of dye mixtures containing disperse and reactive dye. *Water Qual Res J* 2007;42(1):54-62.
4. Jegatheesan V, Pramanik BK, Chen J, Navaratna D, Chang CY, Shu L. Treatment of textile wastewater with membrane bioreactor: a critical review. *Bioresour Technol* 2016;204:202-12.
5. Verma AK, Dash RR, Bhunia P. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. *J Environ Manage* 2012; 93(1):154-68.
6. Zahrim AY, Hilal N. Treatment of highly concentrated dye solution by coagulation/flocculation-sand filtration and nanofiltration. *Water Resour Ind* 2013;3:23-34.
7. Liang CZ, Sun SP, Li FY, Ong YK, Chung TS. Treatment of highly concentrated wastewater containing multiple synthetic dyes by a combined process of coagulation/flocculation and nanofiltration. *J Membr Sci* 2014;469:306-15.
8. Moghaddam SS, Moghaddam MA, Arami M. Coagulation/flocculation process for dye removal using sludge from water treatment plant: optimization through response surface methodology. *J Hazard Mater* 2010; 175(1-3):651-7.
9. Meriç S, Selçuk H, Belgiorno V. Acute toxicity removal in textile finishing wastewater by Fenton's oxidation, ozone and coagulation-flocculation processes. *Water Res* 2005;39(6):1147-53.
10. Rodrigues CS, Madeira LM, Boaventura RA. Treatment of textile dye wastewaters using ferrous sulphate in a chemical coagulation/flocculation process. *Environ Technol* 2013;34(6):719-29.
11. Selcuk H. Decolorization and detoxification of textile wastewater by ozonation and coagulation processes. *Dyes Pigment* 2005;64(3):217-22.
12. Abiri F, Fallah N, Bonakdarpour B. Sequential anaerobic-aerobic biological treatment of colored wastewaters: case study of a textile dyeing factory wastewater. *Water Sci Technol* 2017;75(6):1261-9.
13. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20<sup>th</sup> ed: American Water Work Association;

- 2005.
14. Bratby J. Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment. IWA publishing; 2016.
  15. Harrelkas F, Azizi A, Yaacoubi A, Benhammou A, Pons MN. Treatment of textile dye effluents using coagulation–flocculation coupled with membrane processes or adsorption on powdered activated carbon. *Desalination* 2009;235(1-3):330-9.
  16. 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(1-3):53-9.
  17. Furlan FR, da Silva LG, Morgado AF, de Souza AA. Removal of reactive dyes from aqueous solutions using combined coagulation/flocculation and adsorption on activated carbon. *Resources, Conservation and Recycling*. 2010;54(5):283-90.
  18. Golob V, Vinder A, Simonič M. Efficiency of the coagulation/flocculation method for the treatment of dyebath effluents. *Dyes Pigm* 2005;67(2):93-7.
  19. Shi B, Li G, Wang D, Feng C, Tang H. Removal of direct dyes by coagulation: The performance of preformed polymeric aluminum species. *J Hazard Mater* 2007;143(1-2):567-74.
  20. Saratale RG, Saratale GD, Chang JS, Govindwar SP. Bacterial decolorization and degradation of azo dyes: a review. *J Taiwan Inst Chem Eng* 2011;42(1):138-57.
  21. Burton, F. L., Stensel, H. D., Tchobanoglous, G. *Wastewater engineering: treatment and reuse*, McGraw Hill; 2003.

# Performance Evaluation of the Coagulation and Flocculation Process in Removing Pollutants from textile Dyeing Factory Wastewater

Elham Abdollahzadeh Sharghi<sup>1\*</sup>, Faezeh Yadegari<sup>2</sup>, Leila Davarpanah<sup>1</sup>

1. Assistant Professor, Research Department of Energy, Institute of Materials and Energy, Karaj, Iran

2. Master of Renewable Energy Engineering, Research Department of Energy, Institute of Materials and Energy, Karaj, Iran

\* E-mail: E.abdollahzadeh@merc.ac.ir

Received: 4 Sep 2018 ; Accepted: 31 Oct 2018

## ABSTRACT

**Background and Objective:** In this research, the performance of coagulation and flocculation process for the removal of pollutants from raw wastewater as well as anaerobic unit effluent of biological treatment of textile dyeing factory wastewater treatment plant was investigated.

**Methods:** For this purpose, the Jar test unit as a batch reactor, FeCl<sub>3</sub>, PAC, and Alum as coagulants, and two polyelectrolytes, namely, Zetafloc 7563 and Megafloc 3045PWG as cationic and anionic flocculants were used and the effect of coagulant dosage and type as well as flocculant type on removal of COD, turbidity and color were investigated in two stages.

**Findings:** The results of coagulation and flocculation experiments on raw wastewater showed that Alum at concentration of 40 mg/L was the most effective coagulant with COD, turbidity and color removal efficiency of  $73.1 \pm 1.5\%$ ,  $93.7\%$  and  $71.7\%$ , respectively. However, the results of coagulation and flocculation experiments on the effluent from biological anaerobic treatment unit showed that the highest percentage of COD and turbidity removal were  $52.2 \pm 2.6\%$  and  $99.1\%$ , respectively that corresponds to PAC with concentration of 2000 mg/L. Additionally, the COD removal efficiency of FeCl<sub>3</sub> coagulant at concentration of 400 mg/L was  $52.2 \pm 3.5\%$ . The difference in the results of the two stages was due to the change in the nature of the pollutants after exposure to biological treatment and different pH of the wastewater used in these stages.

**Discussion and Conclusion:** A general review of the results showed that use of physicochemical treatment applying only coagulation and flocculation process could not reduce the pollutants present in the dyeing wastewater for reuse, while this method could be considered as a pretreatment or one of the secondary treatment steps and post treatment.

**Keywords:** Textile dyeing wastewater, Physicochemical treatment, Coagulation and flocculation, COD removal, color removal