

## بررسی کارایی فرآیند ترکیبی ترسیب شیمیایی-احیاء جهت حذف رنگ و کروم از فاضلاب صنایع تولید لوازم خانگی

مهدی مختاری<sup>۱</sup>، اصغر ابراهیمی<sup>۱</sup>، محمدتقی قانعیان<sup>۲</sup>، حمید جعفری<sup>۳</sup>، پروانه طالبی<sup>۳</sup>

علیرضا شهریاری فارفانی<sup>۳</sup>

### چکیده

**مقدمه:** فاضلاب‌های صنعتی از مهم‌ترین آلاینده‌های محیط محسوب می‌شوند. این تحقیق به منظور بررسی کارایی فرآیند ترکیبی ترسیب شیمیایی-احیاء جهت حذف رنگ و کروم از فاضلاب کارخانجات تولید لوازم خانگی انجام شده است. **روش‌ها:** این تحقیق از نوع تجربی بوده و در مقیاس آزمایشگاهی بر روی فاضلاب واحد رنگ‌کاری کارخانه تولید لوازم خانگی انجام پذیرفت. فرآیندهای مورد استفاده فرآیند ترکیبی ترسیب شیمیایی-احیاء می‌باشد. نمونه‌برداری به صورت مرکب انجام پذیرفت و در مجموع ۲۱۴ نمونه مورد آزمایش قرار گرفت. پارامترهای COD، رنگ و کروم در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. جهت انجام مرحله انعقاد شیمیایی از منیزیم کلراید، پلی آلومینیوم کلراید و آهن کلرید III، پلیمر کاتیونی و بنتونیت استفاده شد و جهت انجام مرحله احیاء شیمیایی از متابی سولفیت سدیم بهره گرفته شد. داده‌های به دست آمده با استفاده از آزمون‌های ANOVA و Tukey توسط نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ تجزیه تحلیل شد

**نتایج:** نتایج مطالعه حاضر نشان داد که پلی آلومینیوم کلراید با ۹۰/۹۲٪ بالاترین راندمان حذف رنگ را حاصل نمود. همچنین بالاترین راندمان حذف COD مربوط به ترکیب منعقد کننده‌های منیزیم کلراید (۱/۴ mg/l)، پلی آلومینیوم کلراید (۰/۶ mg/l) و کمک منعقد کننده پلیمرهای کاتیونی (۰/۴ mg/l) با راندمان ۸۹/۱۱٪ بود. همچنین راندمان کلی فرآیند ترکیبی ترسیب شیمیایی-احیاء به منظور حذف کروم از فاضلاب رنگی ۹۴٪ به دست آمد.

**بحث و نتیجه‌گیری:** فرآیند ترسیب شیمیایی-احیاء به عنوان پیش تصفیه دارای قابلیت بسیار بالایی در حذف COD، رنگ و کروم از فاضلاب کارخانجات لوازم خانگی می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** تصفیه فاضلاب صنعتی، انعقاد شیمیایی، احیاء شیمیایی، کروم، رنگ

### مقدمه

فلزات سنگین، آلاینده‌های آلی و غیره در این فاضلاب‌ها وجود دارند (۱) که با توجه به آن‌ها، تاکنون فرآیندهای مختلفی در زمینه تصفیه فاضلاب‌های صنعتی مورد استفاده قرار گرفته است. انتخاب نوع روش تصفیه این فاضلاب‌ها نیز، به عوامل محیطی نظیر ترکیبات آلاینده موجود، کیفیت

توسعه صنایع در سال‌های اخیر باعث مشکلات زیادی مخصوصاً آلودگی محیط زیست شده است (۱). ورود پساب این صنایع به محیط زیست باعث اختلال شدید در محیط زیست مخصوصاً محیط‌های آبی می‌گردد (۲). آلاینده‌های متعددی از قبیل رنگ،

۱- استادیار، مرکز تحقیقات علوم و فناوری‌های محیط زیست، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

۲- دانشیار، مرکز تحقیقات علوم و فناوری‌های محیط زیست، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

۳- کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

Email: ali88shahriyari@gmail.com

نویسنده‌ی مسئول: علیرضا شهریاری فارفانی

آدرس: یزد، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط

تلفن: ۰۳۵۳۲۲۰۹۱۰۰ فاکس: ۰۳۵۳۲۲۰۹۱۱۹

رنگ‌ها از فاضلاب‌ها استفاده شده است (۸-۶). در این بین روش‌های فیزیکی-شیمیایی مانند منعقدسازی - شناورسازی و ته‌نشینی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. البته روش‌های تصفیه بیولوژیکی و تصفیه پیشرفته (مانند فیلترهای زیستی یا لجن فعال) نیز در برخی مطالعات استفاده شده است (۹).

در مطالعه‌ای که توسط حسنی زنوزی و همکاران بر حذف رنگ‌زای اسید آبی ۲۹۲ با استفاده از منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید صورت گرفت نتایج نشان داد که میزان حذف رنگ‌زای مورد نظر بیش از ۸۳٪ بوده است که کارایی بالای فرآیند انعقاد شیمیایی بر روی حذف رنگ را نشان می‌دهد (۱۰).

یکی دیگر از آلاینده‌های اصلی فاضلاب‌های صنعتی، فلزات سنگین می‌باشد. به طور کلی فلزات سنگین دسته‌ای از فلزات هستند که چگالی سطحی آن‌ها بیش از  $5\text{g/cm}^3$  باشد. حضور فلزات سنگین بیش از استانداردهای تعریف‌شده در محیط باعث بروز مشکلات و عوارض زیست‌محیطی می‌گردد (۱۱). فلزات سنگین از جمله کروم رایج‌ترین آلاینده‌های موجود در فاضلاب برخی صنایع مانند صنایع لوازم خانگی و آب‌کاری هستند که غلظت قابل توجه آن‌ها در فاضلاب تولیدی، ایجاب می‌کند تا روش مناسبی برای تصفیه آن‌ها در نظر گرفته شود (۱۲).

برای جداسازی فلزات سنگین از آب یا فاضلاب روش‌های متفاوتی وجود دارد که از این میان می‌توان به روش‌های احیاء شیمیایی، تبادل یونی و جذب اشاره کرد (۱۲). روش‌های متعددی که در جهت حذف فلزات سنگین ارائه و مورد استفاده قرار می‌گیرند، اکثراً پرهزینه و به مواد شیمیایی خاص نیاز دارند. مثلاً تشکیل هیدروکسید قابل ترسیب فلزات سنگین در مجاورت ترکیباتی نظیر هیدروکسید کلسیم

تصفیه مورد نیاز و تا حد زیادی به جنبه اقتصادی فرآیند بستگی دارد (۳). یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های صنعتی، رنگ است که به علت ساختارهای مولکولی پیچیده و مقاومت در برابر تجزیه زیستی، فرآیندهای تصفیه متداول بیولوژیکی در تصفیه فاضلاب‌های رنگی بازده حذف کمی دارند (۴). صورت راه‌یابی رنگ‌ها به سیستم‌های تصفیه فاضلاب، روی میکروارگانیسم‌ها و سینتیک واکنش‌های تصفیه تأثیر گذاشته و باعث کاهش بازده سیستم می‌شود و این امر سبب می‌شود که غلظت این ترکیبات در پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های مذکور، با استانداردهای تعیین شده از سوی مراجع داخلی و بین‌المللی مطابقت ننماید (۲).

در صنایع لوازم خانگی برای سطوح فلزی بیشتر از رنگ‌های اپوکسی استفاده می‌شود که مصرف روز افزونی دارد. رنگ‌های اپوکسی به علت ویژگی‌هایی چون انعطاف‌پذیری، مقاومت مناسب در برابر فشار و ضربه و خوردگی و طول عمر بالا کاربرد گسترده‌ای در صنایع مختلف پیدا کرده‌اند. این رنگ‌ها بر اساس نوع سخت کننده به دو دسته پلی‌آمید و پلی‌آمین تقسیم می‌گردند. رنگ‌های اپوکسی با هاردنر پلی‌آمید عمده‌تاً دارای مقاومت مناسب در برابر شرایط جوی و رنگ‌های اپوکسی با هاردنر پلی‌آمین به طور اخص در مقابل عوامل شیمیایی مقاومت بهتری از خود به نمایش می‌گذارند (۵). به طور کلی مولکول‌های رنگ، ساختارهای مولکولی پیچیده‌ای دارند و به تجزیه زیستی بسیار مقاوم‌اند (۴). به علت مشکلات متعددی که در بالا ذکر شد حذف رنگ‌های مصنوعی از فاضلاب قبل از تخلیه به محیط‌زیست، نسبتاً سخت به نظر می‌رسد. تا به حال روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی جهت حذف

$\text{Ca(OH)}_2$  یا هیدروکسید سدیم  $\text{NaOH}$  یکی از معمول‌ترین این روش‌ها است و یا تبادل کننده‌های یونی از نوع آنیونی که می‌تواند این ترکیبات را از محیط واکنش جداسازی نماید. همچنین در روش احیاء ترکیبی کروم شش ظرفیتی را ابتدا به سه ظرفیتی و در مرحله بعد به صورت هیدروکسید رسوب می‌دهد (۱۳).

مطالعات متعددی در زمینه حذف فلزات سنگین از جمله کروم از فاضلاب‌های صنعتی انجام شده است که در آن‌ها از روش‌های متعددی استفاده گردیده است. به عنوان مثال اسدی و همکاران حذف کروم را با استفاده از  $\text{UV/TiO}_2$ ،  $\text{UV/ZnO}$  و  $\text{UV/H}_2\text{O}_2$  مورد بررسی قرار دادند (۱۴).

صنایع در سال‌های اخیر تحت فشار شدید مسئولین و افکار عمومی قرار دارند تا پساب‌های خود را قبل از تخلیه به محیط‌های طبیعی، به نحو مطلوبی تصفیه نمایند. از این رو یافتن روش‌های مؤثر تصفیه امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است (۱۵). به همین دلیل استانداردهای بین‌المللی زیست‌محیطی (ایزو ۱۴۰۰۰، ۱۹۹۶) در مورد تخلیه فاضلاب‌های صنعتی از نظر قانونی بسیار شدیدتر و سخت‌تر شده است (۱۶).

در این تحقیق، کارایی روش ترکیبی ترسیب شیمیایی-احیاء در تصفیه فاضلاب تولیدی از کارخانجات تولید لوازم خانگی که حاوی مقادیر بالای رنگ و فلزات سنگین بوده و تا به حال مطالعه خاصی در مورد تصفیه فاضلاب آن‌ها انجام نگرفته است، مورد بررسی قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

مطالعه مقطعی حاضر بر روی فاضلاب ناشی از واحد رنگ‌کاری کارخانه تولید لوازم خانگی (تولید یخچال،

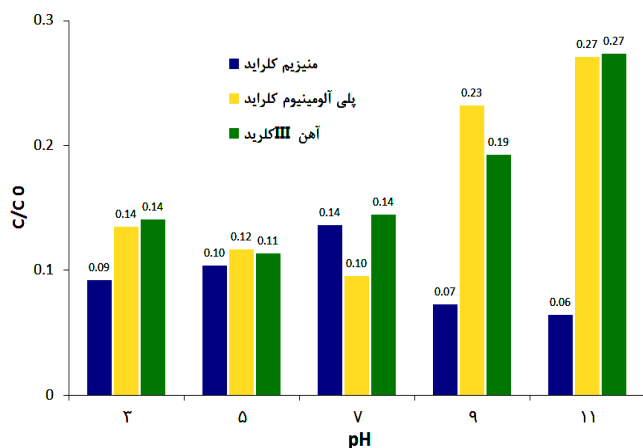
اجاق‌گاز و دیگر لوازم خانگی) انجام پذیرفت. از آنجایی که این فاضلاب حالت سوسپانسیونی دارد می‌بایستی در ابتدا جامدات محلول در فاضلاب حذف شده و سپس فرآیندهای تکمیلی به منظور تصفیه بهتر انجام پذیرد. فاضلاب رنگی کارخانجات لوازم خانگی حاوی مقادیر بالای رنگ و رزین می‌باشد. حذف رنگ در این مطالعه به صورت چند مرحله‌ای به صورت متوالی و نمونه‌برداری به شیوه مرکب (انتخاب چند نمونه و ترکیب آن‌ها و نمونه‌برداری از ترکیب این نمونه‌ها) از حوضچه یکنواخت ساز انجام پذیرفت. با توجه به روند کار که شامل ۳ مرتبه نمونه‌برداری، ۳ نوع ماده منعقد کننده، ۴ غلظت برای هر منعقد کننده، ۲ نوع کمک منعقد کننده، ۳ غلظت برای هر کدام از کمک منعقد کننده‌ها، ۶ غلظت برای متا بی‌سولفیت سدیم و انجام آزمایش‌هایی از قبیل  $\text{COD}$  (Chemical Oxygen Demand)، رنگ و کدورت بود، تعداد ۲۱۴ نمونه مورد آنالیز قرار گرفت.

در ابتدا مشخصات اولیه نمونه از قبیل  $\text{COD}$ ، کروم و رنگ فاضلاب واقعی مشخص گردید. این فاضلاب به طور متوسط دارای  $\text{COD}$  حدود  $30000 \text{ mg/l}$ ، رنگ  $650 \text{ TCU}$  (True Color Unit) و کدورت  $13000 \text{ NTU}$  (Nephelometric Turbidity Unit) بود. از فرآیند انعقاد شیمیایی جهت کاهش  $\text{COD}$  فاضلاب رنگی استفاده شد. برای مرحله اول آزمایش فرآیند انعقاد شیمیایی،  $\text{pH}$  بهینه برای هر کدام از مواد منعقد کننده مورد استفاده به دست آمد. برای تعیین  $\text{pH}$  بهینه تمامی منعقد کننده‌ها با غلظت یکسان و در  $\text{pH}$ های ۳، ۵، ۷، ۹ و ۱۱ مورد آزمایش قرار گرفتند. از آنجایی که هر منعقد کننده‌ای دارای دامنه  $\text{pH}$  مشخص می‌باشد، این مرحله صرفاً جهت

آمدن مناسب‌ترین میزان حذف غلظت بهینه متا بی سولفیت سدیم تعیین گردید. در پایان تمامی مراحل به طور همزمان جهت درستی سنجی نتایج به دست آمده از مراحل فوق انجام پذیرفت. برای مشخص شدن نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد و با توجه به  $P > 0.05$  از آزمون نرمال (ANOVA) و برای تشخیص تفاوت بین میانگین‌ها از آزمون Tukey بهره گرفته شد. داده‌های به دست آمده توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ تجزیه تحلیل شد.

### نتایج

در اولین مرحله از فرآیند انعقاد شیمیایی، برای مشخص شدن تأثیر pH نتایج نشان داد که بهترین pH برای منیزیم کلراید، pH برابر ۱۱، برای پلی آلومینیوم کلراید، pH برابر ۷ و برای آهن کلراید (III)، pH برابر ۵ است که در نمودار ۱ نشان داده شده است.



نمودار ۱: تأثیر pHهای مختلف بر روی کاهش COD برای هر یک از منعقد کننده‌ها در غلظت ثابت (۲mg/l) بر حسب غلظت نهایی به غلظت اولیه COD (اولیه: ۳۰۹۰۰ mg/l)

در ادامه غلظت‌های بهینه مواد منعقد کننده در pH بهینه مربوط به هر منعقد کننده به دست آمد. به صورتی که بعد از عمل انعقاد، لخته‌سازی و ته‌نشینی

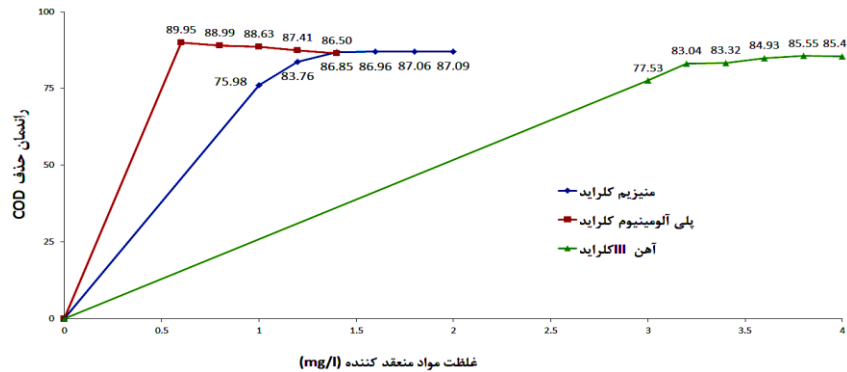
بررسی عملکرد منعقدکننده‌ها در این نوع فاضلاب می‌باشد. با مشخص شدن میزان بهینه pH در مرحله بعد غلظت بهینه ماده منعقد کننده در pH بهینه به دست آمد. برای هر ماده منعقد کننده در ابتدا، غلظت (۱، ۲، ۳ و ۴ mg/l) مورد بررسی قرار گرفت تا بهترین غلظت ماده منعقد کننده تعیین شود. با استفاده از آزمایش جار غلظت بهینه مواد منعقد کننده و کمک منعقد کننده تعیین شد. مواد منعقد کننده استفاده شده در این بررسی کلرور منیزیم، آهن III کلرید و پلی آلومینیوم کلراید بودند. از بتونیت و پلیمرهای کاتیونی نیز به عنوان کمک منعقد کننده استفاده شد.

برای پی بردن به بهترین غلظت منعقد کننده مصرفی بر روی نمونه‌های خروجی از مرحله جارتست، آزمایش‌های COD و رنگ انجام پذیرفت. بالاترین درصد حذف، مشخص کننده غلظت بهینه مواد منعقد کننده و کمک منعقد کننده بود. در این مطالعه جهت سنجش غلظت رنگ از اسپکتروفتومتر DR 2000 در طول موج ۴۵۵ نانومتر و جهت تعیین COD از روش رفلکس برگشتی با روش ارائه شده در کتاب روش‌های استاندارد آزمایش آب و فاضلاب استفاده شد (۱۷).

درصد حذف کروم VI به وسیله منعقد کننده‌ها توسط دستگاه اتمیک ابزوربشن اندازه‌گیری شد و در ادامه به منظور حذف کروم VI باقی مانده در فاضلاب از روش احیاء به وسیله متا بی سولفیت سدیم (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) بهره گرفته شد. در این مرحله مقادیر (۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۱) میلی‌گرم از متا بی سولفیت سدیم به نمونه اضافه شد و پس از ته نشینی مقدار باقی مانده کروم VI در نمونه به وسیله دستگاه اتمیک ابزوربشن اندازه‌گیری شد. با به دست

مورد بررسی توانستند به ترتیب  $۸۶/۸۵\%$ ،  $۸۸/۴۷\%$  و  $۸۵/۴۱\%$  در حذف COD تأثیرگذار باشند که در نمودار ۲ نشان داده شده است.

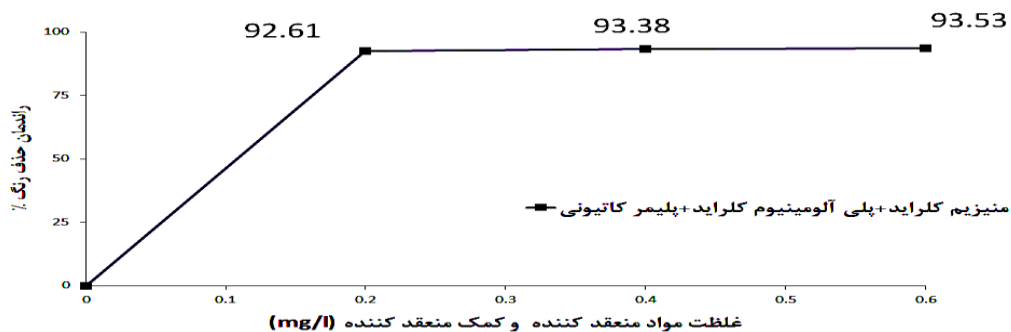
غلظت بهینه برای منیزیم کلراید  $۱/۴\text{mg/l}$ ، پلی آلومینیوم کلراید  $۰/۶\text{mg/l}$  و کلرید آهن (III)  $۳/۸\text{mg/l}$  به دست آمد که هر یک از منعقد کننده‌های



نمودار ۲: تأثیر غلظت‌های مختلف منعقدکننده‌ها در راندمان حذف COD در pH بهینه هر منعقد کننده

تأثیرگذاری را ترکیب منیزیم کلراید ( $۱/۴\text{mg/l}$ )، پلی آلومینیوم کلراید ( $۰/۶\text{mg/l}$ ) و پلیمرهای کاتیونی ( $۰/۴\text{mg/l}$ ) در حذف COD با راندمان  $۸۹/۱۱\%$  دارا بودند که COD را از  $۳۰۹۰۰\text{mg/l}$  به  $۳۳۷۰\text{mg/l}$  کاهش دادند. همچنین بیشترین راندمان حذف رنگ را نیز از خود نشان دادند که برابر با  $۹۳/۳۸\%$  می‌باشد و میزان رنگ را تا  $۴۳\text{TCU}$  کاهش دادند که در نمودار ۳ نشان داده شده است.

در نمودار ۳ راندمان حذف رنگ مربوط به منعقد کننده‌ها و بهترین راندمان ترکیبی منعقد کننده و کمک منعقد کننده نشان داده شده است. آن چنان که مشخص است بهترین راندمان حذف رنگ مربوط به پلی آلومینیوم کلراید برابر با  $۹۰/۹۲\%$  بوده است که میزان رنگ را از  $۶۵۰\text{TCU}$  به  $۵۹\text{TCU}$  کاهش داد. در ادامه ترکیبی از دو ماده منعقد کننده با یک کمک منعقد کننده مورد بررسی قرار گرفت که بیشترین



نمودار ۳: راندمان حذف رنگ توسط بهترین منعقد کننده و کمک منعقد کننده ترکیبی (pH=7)

تا این مقدار می‌باشد. تفاوت غلظت‌های COD برای پلیمر کاتیونی در کل معنی دار نبوده و ( $P=0/25$ ) می‌باشد؛ اما به دلیل نیاز به تشکیل لخته‌های قابل ته‌نشینی مناسب‌ترین غلظت انتخاب گردید. نتایج این مرحله در جدول ۱ ارائه شده است.

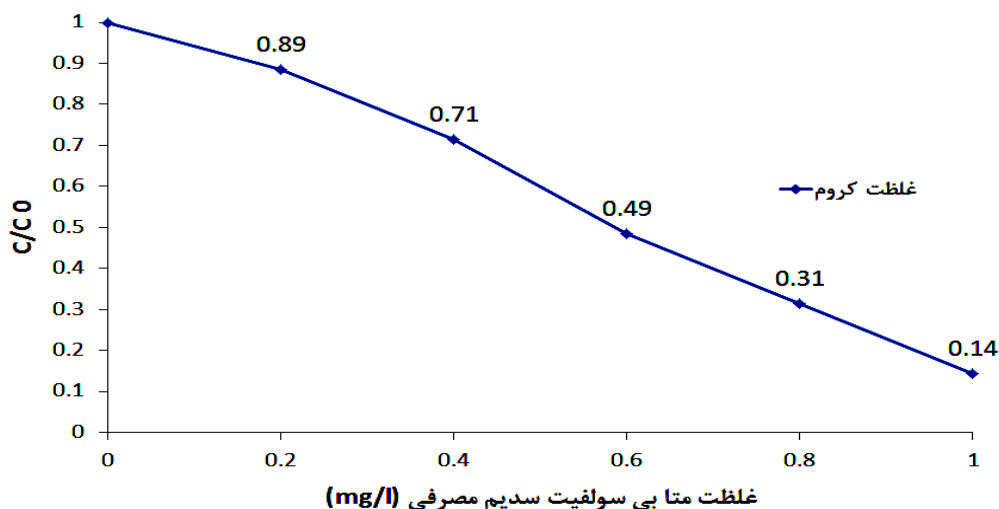
آزمون آماری Tukey در غلظت‌های مختلف ماده کمک منعقد کننده بیانگر آن است که میانگین غلظت‌های باقی‌مانده COD، رنگ و کدورت در سطوح مختلف غلظت منعقد کننده مصرفی تا غلظت  $0/4 \text{ mg/l}$  دارای تفاوت معنی‌داری با یکدیگر می‌باشند ( $P < 0/001$ ) که نشان دهنده لزوم افزایش

جدول ۱: مقایسه میانگین تغییرات COD و رنگ در دُزهای مختلف پلیمر کاتیونی

رنگ (TCU)		COD (mg/L)		پارامتر
P-Value	Mean±SD	P-Value	Mean±SD	سطوح مختلف مقدار کمک منعقد کننده
0/000	35/5±0/7	0/397	3418±76/36	0 mg/l
	47/5±0/7		3615±28/99	0/2 mg/l
	42/5±0/7		3361±26/87	0/4 mg/l
	42±0/00		3360±31/11	0/6 mg/l

مرحله نهایی محسوب می‌شود استاندارد خروجی به منظور تخلیه در محیط برای ما ملاک می‌باشد ( $< 0/1$ ) غلظت باقی‌مانده کروم در فاضلاب، لذا می‌بایستی فرآیند اضافه‌سازی متا بی‌سولفیت تا مقدار  $1 \text{ mg/l}$  ادامه یابد. راندمان کلی فرآیند ترکیبی ترسیب شیمیایی- احیاء به منظور حذف کروم از فاضلاب رنگی  $94\%$  می‌باشد. نتایج این مرحله در نمودار ۴ نشان داده شده است.

در ادامه جهت فرآیند احیاء شیمیایی مقدار کل کروم VI موجود در فاضلاب رنگی اندازه‌گیری شد که مقدار کروم VI کل  $0/9 \text{ mg/l}$  بود و پس از انجام فرآیند انعقاد شیمیایی به  $0/35$  تقلیل یافت و راندمان حذف کروم در این مرحله به  $61\%$  رسید. جهت فرآیند احیاء شیمیایی از متا بی‌سولفیت سدیم استفاده گردید که با استفاده از این روش مقدار کروم از  $0/35 \text{ mg/l}$  به  $0/05 \text{ mg/l}$  رسید. راندمان حذف کروم در این مرحله  $85\%$  بود. از آن جایی که این مرحله،



نمودار ۴: تأثیر غلظت متا بی‌سولفیت سدیم بر کاهش غلظت کروم (VI) در فرآیند احیاء شیمیایی بر حسب نسبت غلظت نهایی به غلظت اولیه (pH=7)

## بحث

در این مطالعه که بر روی فاضلاب صنایع لوازم خانگی با COD برابر  $30900 \text{ mg/l}$  انجام پذیرفت، میزان راندمان حذف COD برای هر یک از منعقد کننده‌ها به استثنای پلی‌آلومینیوم کلراید با افزایش غلظت افزایش یافت. کاهش راندمان پلی‌آلومینیوم کلراید با افزایش غلظت منعقد کننده، pH محلول رو به اسیدی شدن می‌رود و این عامل pH محلول را از حالت بهینه خارج نموده و در کاهش راندمان مؤثر واقع می‌شود. در مطالعه حاضر دامنه pH برابر ۳ تا ۱۱ برای هر یک از منعقد کننده‌ها به منظور تعیین pH بهینه مورد بررسی قرار گرفت و بهترین pH برای عملکرد بهینه هر یک از منعقد کننده‌ها در قسمت یافته‌ها بیان شد. چنانچه در نمودار ۱ نشان داده شده است بهترین راندمان حذف را پلی‌آلومینیوم کلراید در pH خنثی داشته است. شاید دلیل این امر را بتوان این‌گونه توجیه نمود که پلی‌آلومینیوم کلراید بعد از هیدرولیز شدن در آب بار مثبت بیشتری نسبت به منعقد کننده‌های دیگر مورد استفاده تولید می‌کند. بنابراین انتظار می‌رود در خنثی‌سازی بار منفی ذرات کلوئیدی و مواد آلی موجود در آب مؤثر باشد. تحقیقات انجام شده توسط سایر محققان نیز محدوده pH خنثی را تأیید می‌نماید که با یافته‌های به دست آمده در این تحقیق تطابق دارد (۱۸، ۱۹) و از این رو پلی‌آلومینیوم کلراید با توجه به راندمان بالایی که دارد جزء منعقد کننده‌های نوپایی است که از آن در اکثر نقاط دنیا استفاده می‌شود (۲۰).

همچنین راندمان حذف COD با استفاده از ترکیب پلی‌آلومینیوم کلراید، منیزیم کلراید و پلیمرهای کاتیونی افزایش یافت که می‌تواند به دلیل افزایش

بارهای مثبت تولیدی و کمک‌گیری از قدرت ناپایدار سازی توسط پلیمرها باشد که در این جا حذف COD با نتایج مطالعات Barredo-Damas و همکاران و Li و همکاران در مورد حذف COD فاضلاب با استفاده از مواد منعقد کننده ترکیبی، مطابقت دارد (۲۱، ۲۲).

نکته قابل توجه این است که فرآیند انعقاد، تأثیر خوبی بر حذف رنگ دارد و در نتیجه سبب می‌گردد تا فاضلابی با COD بسیار کمتر از فرآیند خارج شود.

در مطالعه‌ای که بر روی کارایی تکنولوژی ترکیبی انعقاد و لخته‌سازی و نانو فیلتراسیون برای حذف رنگ و بازیابی آب کارخانجات نساجی انجام پذیرفت، نتایج نشان داد که نانو فیلتراسیون ۴۰ تا ۸۰ درصد از رنگ (برای ۵ رنگ راکتیو مورد آزمایش) را حذف کرد در صورتی که روش انعقاد و لخته‌سازی ۸۵ تا ۹۵ درصد از رنگ (برای ۴ نوع از رنگ‌های مورد آزمایش) و ۹۰ درصد از رنگ راکتیو آنیونی سیاه (RB5) را حذف کرد (۲۳) و نتایج حاصله از این پژوهش روش کار و نتایج مطالعه حاضر را مورد تأیید قرار می‌دهد.

همچنین در مطالعه‌ای دیگر که بر روی رنگ‌زدایی و کاهش COD فاضلاب حاوی رنگ‌های دیسپرس و راکتیو با استفاده از انعقاد شیمیایی به دنبال سیستم SBR (Sequencing batch reactor) انجام پذیرفت، نتایج نشان داد که استفاده از ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر آلوم بدون تعدیل pH، ۷۸/۹ درصد از رنگ را حذف کرد. بهبود تأثیرگذاری آلوم به وسیله استفاده از پلیمرهای کاتیونی میزان حذف رنگ را از ۷۸/۹ به ۹۴ افزایش داد و همچنین ۴۴ درصد از COD را حذف کرد که میزان تأثیر بالای این منعقد کننده‌ها را نشان

فاضلاب خروجی از مرحله انعقاد شیمیایی ( $\text{pH}=7$ ) می‌باشد. علت انتخاب این  $\text{pH}$  آن است که دیگر به تنظیم  $\text{pH}$  برای دفع نیازی نباشد.

با همه این تفاسیر در عمل انتخاب یک طرح مناسب به منظور تصفیه فاضلاب یک فرآیند پیچیده است که توجه به بسیاری از عوامل وابسته نظیر بازدهی تصفیه، دفع نهایی، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری و پیچیدگی عملیاتی را می‌طلبد.

### نتیجه‌گیری

فرآیند انعقاد شیمیایی در این مطالعه با راندمان کلی ۸۹/۱۱٪ توانست COD فاضلاب مورد مطالعه را تصفیه نماید. از طرفی راندمان کلی فرآیند ترکیبی ترسیب شیمیایی - احیاء به منظور حذف کروم از فاضلاب رنگی ۹۴٪ به دست آمد. با توجه به مقاومت زیاد COD این فاضلاب و همچنین نبود مواد آلی قابل تجزیه و همچنین کارایی بسیار بالای این فرآیند در حذف COD، فرآیند ترکیبی ترسیب شیمیایی - احیاء می‌تواند به طور مؤثری جهت تصفیه فاضلاب رنگی کارخانجات لوازم خانگی و فاضلاب‌های با ویژگی‌های مشابه، به کار رود.

### تشکر و قدردانی

بدین وسیله از کلیه کسانی که ما را در امر اجرای این تحقیق یاری نموده‌اند، به خصوص مسئولین آزمایشگاه شیمی گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد تقدیر و قدردانی می‌نماییم، لازم به ذکر است که مطالعه حاضر حاصل کار طرح پژوهشی می‌باشد.

### References

1. Santhi T, Manonmani S, Vasantha VS, Chang YT. A new alternative adsorbent for the removal of

داده و نتایج این مطالعه را تأیید می‌نماید (۲۴). استفاده کم مواد منعقد کننده در این پژوهش به دلیل ماهیت سوسپانسیونی این فاضلاب می‌باشد که به علت وجود رزین (برای پایداری بیشتر رنگ بر روی سطوح مورد استفاده قرار می‌گیرد) در این فاضلاب حذف رنگ با مقادیر کم مواد منعقد کننده انجام می‌پذیرد.

چنانچه در این مطالعه نشان داده شده است با افزایش مقدار متا بی‌سولفیت سدیم به فاضلاب مقدار حذف کروم نیز افزایش یافته است و این عمل راندمان حذف کروم را تا ۹۴٪ افزایش داده است.

در مطالعه‌ای که بر روی حذف کروم (VI) از محلول‌های آبی با استفاده از فرآیندهای UV/ZnO، UV/TiO<sub>2</sub> و UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> انجام پذیرفت نتایج نشان داد که با افزایش غلظت نانو ذرات TiO<sub>2</sub> و ZnO و H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> و همچنین کاهش  $\text{pH}$  راندمان احیای کروم افزایش پیدا می‌کند. بیشترین احیای کروم با ZnO در  $\text{pH}$  بین ۸-۴ حاصل شد. همچنین با افزایش  $\text{pH}$  راندمان حذف توسط TiO<sub>2</sub> و H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> کاهش یافت (۱۴). این مطالعه نتایج پژوهش حاضر را مبنی بر استفاده از روش احیاء برای حذف کروم VI را تأیید می‌کند.

در مطالعه‌ای که تحت عنوان بهینه‌سازی پتانسیل جذب کروم VI با استفاده از کربن فعال تفاله نیشکر اصلاح شده توسط کلرید روی انجام پذیرفت، نتایج نشان داد که تحت شرایط بهینه پارامترهای فرآیند، بالاترین میزان حذف کروم VI، ۸۷٪ به دست آمد (۲۵).

$\text{pH}$  مورد استفاده در این مرحله همان  $\text{pH}$  نهایی

cationic dyes from aqueous solution. Arabian Journal of Chemistry. 2016;9(1): 466-74.



2. Lourenco ND, Novais JM, Pinheiro HM. Effect of some operational parameters on textile dye biodegradation in a sequential batch reactor. *J Biotechnol.* 2001 Aug 23;89(2-3):163-74.
3. Benefield LD. *Biological Process Design for Wastewater Treatment.* Prentice Hall; 1980.
4. Cengiz S, Tanrikulu F, Aksu S. An alternative source of adsorbent for the removal of dyes from textile waters: *Posidonia oceanica* (L.). *Chemical Engineering Journal.* 2012;189–190:32-40.
5. Khlyna M. *Epoxy resins - epoxy blend morphology and properties of microstructures [dissertation].* Tehran: Iran Polymer and Petrochemical Institute; 2013.
6. Ghodbanan S, Chalkesh Amiri M, Moayedi Khosroshahi H. Investigation of metal coagulants in coagulation-flocculation pollutant of effluent from sulfate papermill. 7th National Iranian Chemical Engineering Congress; 2002 Oct 28 – 31; Tehran: University of Tehran; 2002. p. 659-64.
7. Gomez V, Larrechi MS, Callao MP. Kinetic and adsorption study of acid dye removal using activated carbon. *Chemosphere.* 2007 Oct;69(7):1151-8.
8. Amin NK. Removal of reactive dye from aqueous solutions by adsorption onto activated carbons prepared from sugarcane bagasse pith. *Desalination.* 2008;223(1–3):152-61.
9. Mansour LB, Kesentini I. Treatment of effluents from cardboard industry by coagulation-electroflotation. *J Hazard Mater.* 2008 May 30;153(3):1067-70.
10. Hasani Zonoozi M, Alavimoghaddam MR, Arami M. Removal of C.I. Acid Blue 292 using Polyaluminum Chloride. *Journal of Color Science and Technology* 2008;2(2):87-94.
11. Bioremediation of heavy metals. [cited 2002 Nov 13]. Available from: <http://www.fm398.blogfa.com/post-28.aspx>.
12. Frouzandeh S. Heavy metal removal from wastewater. Available from: <http://ssf.blogfa.com/cat-7.aspx>.
13. American water works Association, *Standard Methods for the Examination of water and wastewater;* 1996.
14. Asadi A, Dehghani M, Zare M, Rahmani A, Golestanifar H. Removal of chromium (VI) using UV/ZnO, UV/TiO<sub>2</sub> and UV/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> processes from aqueous solutions. *Journal of North Khorasan University of Medical Sciences.* 2012; 3 (4):7-13. Persian.
15. Mahmoudi NM, Arami M, Gharanjig KA, Nourmohammadian F. Decolorization and mineralization of basic dye using nanophotocatalysis: pilot scale study. *Journal of Color Science and Technology.* 2007;1(1):1-6 Persian.
16. Caliman AF, Cojocaru C, Antoniadis A, Poullos I. Optimized photocatalytic degradation of Alcian Blue 8 GX in the presence of TiO<sub>2</sub> suspensions. *J Hazard Mater.* 2007 Jun 1;144(1-2):265-73.
17. Andrew D, Arnold E, Lenore S. *Standard methods for the examination of water and wastewater.* 2th ed. USA: American Public Health Association; 2005.
18. Carballa M, Omil F, Lema JM. Removal of cosmetic ingredients and pharmaceuticals in sewage primary treatment. *Water Res.* 2005 Nov;39(19):4790-6.
19. Choi KJ, Kim SG, Kim SH. Removal of antibiotics by coagulation and granular activated carbon filtration. *J Hazard Mater.* 2008 Feb 28;151(1):38-43.
20. Wang D, Sun W, Xu Y, Tang H, Gregory J. Speciation stability of inorganic polymer flocculant–PACl. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects.* 2004;243(1–3):1-10.
21. Barredo-Damas S, Iborra-Clar MI, Bes-Pia A, Alcaina-Miranda MI, Mendoza-Roca JA, Iborra-Clar A. Study of preozonation influence on the physical-chemical treatment of textile wastewater. *Desalination.* 2005; 182(1–3):267-74.
22. Li T, Yan X, Wang D, Wang F. Impact of preozonation on the performance of coagulated flocs. *Chemosphere.* 2009 Apr;75(2):187-92.
23. 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.
24. El-Gohary F, Tawfik A. Decolorization and COD reduction of disperse and reactive dyes wastewater using chemical-coagulation followed by sequential batch reactor (SBR) process. *Desalination.* 2009; 249(3):1159-64.
25. Cronje KJ, Chetty K, Carsky M, Sahu JN, Meikap BC. Optimization of chromium (VI) sorption potential using developed activated carbon from sugarcane bagasse with chemical activation by zinc chloride. *Desalination.* 2011; 275(1–3):276-84.

## Efficiency of the Combined Chemical Precipitation -Reduction Process to Remove Dye and Chromium from Industry Wastewater of Home Appliance

Mehdi Mokhtari<sup>1</sup>, Asghar Ebrahimi<sup>1</sup>, Mohammad Taghi Ghaneian<sup>2</sup>, Hamid Jafari<sup>3</sup>,  
Parvaneh Talebi<sup>3</sup>, Alireza Shahriyari Farfani<sup>3</sup>

### Abstract

**Background:** Industrial wastewater is one the most important pollutants of environment. This study aimed to evaluate the efficiency of the combined chemical precipitation-reduction process for removal of dye and chromium from wastewater of home appliance factories.

**Methods:** This experimental study was performed in laboratory scale on wastewater from the dyeing unit of the home appliance factory. The process used was a combination of the chemical precipitation-reduction process. Combine sampling was done and 214 samples were analyzed. COD, dye, and chromium were measured in samples. MgCl<sub>2</sub>, Polyaluminium Chloride (PAC), and FeCl<sub>3</sub>, cationic polymer and bentonite were used for chemical precipitation; and sodium meta bi sulfite was used for chemical reduction. Data were analysed by ANOVA and Tukey tests and by SPSS 16 software.

**Results:** The results show that PAC had the highest color removal efficiency (90.92%). Also, the highest COD removal was related to the combination of magnesium chloride (1.4 mg/l), poly aluminum chloride (0.6 mg/l), and the coagulant aid cationic polymer (0.4 mg/l) with an efficiency of 89.11%. Moreover, total efficiency of the combined chemical precipitation and reduction process in chromium removal was 94%.

**Conclusion:** The chemical precipitation- reduction process as a pre-treatment method has high efficiency in removal of COD, dye and chrome from wastewater of home appliance factories.

**Keywords:** Industrial Wastewater Treatment, Chemical Coagulation, Chemical Reduction, Chromium, Dye

1- Assistant Professor, Environmental Sciences and Technologies Research Center, Department of Environmental Health Engineering, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

2- Associate Professor, Environmental Sciences and Technologies Research Center, Department of Environment Health Engineering, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

3- MSc, Department of Environment Health Engineering, School of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

**Corresponding Author:** Alireza Shahriyari Farfani **Email:** ali88shahriyari@gmail.com

**Address:** Department of Environment Health Engineering, School of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical, Yazd, Iran

**Tel:** 03538209100 **Fax:** 03538209119