# بررسی کارایی روش توام انعقاد شیمیایی و اکسیداسیون پیشرفته (پروکسون) در تصفیه فاضلاب رنگی کارخانجات لوازم خانگی

**نویسندگان: علیرضا شهریاری فارفانی[۱]، مهدی مختاری[۲]، اصغر ابراهیمی[۳]، محمد تقی قانعیان[۴]، محمد حسن احرام پوش[۵]، علی دهقانی[۶]**

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد

۲. نویسنده مسئول: استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد

تلفن تماس: ۰۹۱۳۳۵۵۹۷۸۹ Email: mhimokhtari@gmail.com

۳. مربی گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد

۴. دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد

۵. استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد

۶. استادیار گروه آمار و اپیدمیولوژی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد

**طلوع بهداشت**

**دو ماهنامه علمی پژوهشی دانشکده بهداشت یزد**
**سال چهاردهم**
**شماره: پنجم**
**آذر و دی ۱۳۹۴**
**شماره مسلسل: ۵۳**

تاریخ وصول: ۱۳۹۲/۸/۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۲۳

## چکیده

**مقدمه:** نظر به نقش مهم صنایع در آلوده‌سازی محیط، پژوهش حاضر به منظور بررسی کارایی روش تلفیقی انعقاد شیمیایی و پروکسون ($O_3/H_2O_2$) در تصفیه فاضلاب رنگی کارخانجات لوازم خانگی طراحی شده است.

**روش‌بررسی:** این پژوهش از نوع تجربی بوده و در مقیاس آزمایشگاهی بر روی فاضلاب واحد رنگ کاری کارخانه تولید لوازم خانگی انجام پذیرفت. نمونه برداری به شیوه مرکب انجام شد. فرآیندهای مورد استفاده فرآیند انعقاد شیمیایی و اکسیداسیون پیشرفته (پروکسون) می‌باشد. در این تحقیق تعداد ۲۵۰ نمونه مورد آزمایش قرار گرفت. جهت انجام مرحله انعقاد شیمیایی از منیزیم کلراید، پلی آلومینیوم کلراید و آهن III کلرید، پلیمر کاتیونی و بنتونیت استفاده شد. در این تحقیق از دستگاه هایی نظیر اسپکتروفتومتر مدل DR 2000، جارتست و رآکتور ازن زنی استفاده گردید و بر روی نمونه‌ها آزمایشاتی نظیر COD و رنگ سنجی مطابق دستورالعمل Standard Method بر روی نمونه‌ها صورت پذیرفت.

**یافته‌ها:** نتایج مطالعه حاضر نشان داد که هر یک از منعقدکننده‌های مورد بررسی در pH بهینه خود توانستند به ترتیب ۸۶/۸۵ ٪ (منیزیم‌کلراید)، ۸۸/۴۷٪ (پلی‌آلومینیوم‌کلراید) و ۸۵/۴۱٪ (آهن III کلرید) در حذف COD تاثیرگذار باشند. پلی‌آلومینیوم کلراید با ۹۰/۹۲٪ بالاترین راندمان حذف رنگ را حاصل نمود. همچنین بالاترین راندمان حذف COD مربوط به ترکیب منیزیم کلراید (۱/۴ mg/l)، پلی آلومینیوم کلراید (۰/۶ mg/l) و پلیمرهای کاتیونی (۰/۴ mg/l) با راندمان ۸۹/۱۱٪ بود که رنگ را نیز به میزان ۹۳/۳۸٪ حذف نمود. با انجام فرآیند اکسیداسیون پیشرفته به روش پروکسون بر روی فاضلاب پیش تصفیه شده در مرحله انعقاد شیمیایی راندمان حذف COD از ۸۹/۱۱٪ به ۹۹/۶۷٪ رسید.

**نتیجه‌گیری:** به دلیل حالت سوسپانسیونی این نوع فاضلاب می‌بایستی در ابتدا جامدات محلول موجود در فاضلاب حذف شده و سپس فرآیندهای تکمیلی به منظور تصفیه بهتر انجام پذیرد. از این رو فرآیند پروکسون در ترکیب با فرآیند انعقاد شیمیایی دارای قابلیت بسیار بالایی در حذف COD و رنگ از فاضلاب کارخانجات لوازم خانگی می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** فاضلاب صنعتی، فاضلاب رنگی، انعقاد شیمیایی، پروکسون، صنایع لوازم خانگی

**مقدمه**

در سال‌های اخیر اثرات فاضلاب‌های خروجی صنایع بر اکوسیستم به طور گسترده‌ای مورد توجه قرارگرفته‌است و محدودیتی در روند توسعه صنایع به دنبال داشته است، زیرا اکثر فاضلاب‌ها حاوی یک دامنه وسیعی از آلاینده‌ها می‌باشند که اولا توسط روش‌های متداول قابل شناسایی نیست و ثانیا در صورت شناسایی و تعیین مقدار، حفظ آبزیان در آب‌های پذیرنده این نوع فاضلاب‌ها به دلیل عدم آگاهی از اثرات همزمان و تشدیدکنندگی آلاینده‌ها امکان پذیر نیست (۱).

آلاینده‌های متعددی از قبیل رنگ ، فلزات سنگین، آلاینده‌های آلی و غیره در فاضلاب‌های صنعتی وجود دارند (۲). تاکنون فرآیندهای مختلفی در زمینه تصفیه فاضلاب‌های صنعتی شناخته شده است که انتخاب هر یک از آن‌ها به آلاینده‌های عمده، کیفیت تصفیه مورد نیاز و تا حد زیادی به جنبه اقتصادی فرآیند بستگی دارد (۳). یکی از دسته‌های مهم این آلاینده‌ها، رنگ است. به علت زیست تجزیه‌پذیری پایین رنگ، فرایندهای تصفیه متداول بیولوژیکی فاضلاب در تصفیه فاضلاب‌های رنگی به مقدار کمی موثرند (۴). حذف رنگ از فاضلاب، اغلب مهمتر از مواد آلی بی رنگ است. زیرا حضور مقادیر کمی از رنگ (کمتر از ppm ۱) از نظر ظاهری قابل رؤیت می باشد (۵). رنگها در فاضلاب صنایع تحت شرایط تغییرات شیمیایی و بیو لوژیکی اکسیژن منابع آبی را مصرف نموده و به علت سمیتشان زندگی آبزیان را به خطر می‌اندازند (۶). بنابراین قبل از تخلیه به محیط زیست باید به نحو مطلوبی تصفیه شوند (۷).

در صنایع لوازم خانگی بیشتر از رنگ‌های آپوکسی برای سطوح فلزی استفاده می‌شود. از ژانویه ۲۰۰۴، تقاضای بازار اپوکسی تنها در چین به بیش از ۵۷۷۷۷۷ میلیون تُن افزایش یافت که این به دلیل رشد سریع صنایع در این کشور می‌باشد (۸). به طور کلی چون مولکول‌های رنگ، ساختارهای مولکولی پیچیده‌ای دارند، به تجزیه زیستی بسیار مقاومند(۴،۹). روش‌های مورد استفاده برای حذف رنگ‌ها از فاضلاب شامل روش‌های فیزیکوشیمیایی، شیمیایی و بیولوژیکی می‌شود مثل انعقاد، لخته سازی، ترسیب، جذب، فیلتراسیون غشایی، تکنیک‌های الکتروشیمیایی، اکسیداسیون پیشرفته و غیره. هر کدام از این روش‌ها مزایا و معایبی دارند (۱۰،۱۱). تصفیه فیزیکی- شیمیایی فاضلاب شامل تصفیه مقدماتی از قبیل منعقدسازی- شناورسازی و ته‌نشینی می‌باشد. تصفیه ثانویه و تصفیه پیشرفته از قبیل روش‌های لجن فعال و صافی چکنده نیز در مراحل بعدی می‌تواند به کار رود (۱۲).

طی فرآیند انعقاد از مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده مختلفی استفاده می‌شود. بطور معمول نمک‌های فلزی نظیر سولفات آلومینیوم (آلوم) سولفات فریک، سولفات فرو، کلرید فریک و پلی‌آلومینیوم کلراید به عنوان منعقدکننده و ترکیباتی نظیر آلومینات سدیم، بنتونیت، سیلیکات سدیم (سیلیس فعال) و انواع پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی، آنیونی و غیریونی به عنوان کمک منعقدکننده مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۳).

در مطالعه‌ای که توسط حسنی زنوزی و همکاران بر حذف رنگزای اسید آبی ۲۹۲ با استفاده از منعقدکننده پلی‌آلومینیوم‌کلراید 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 (۱۴).

یکی دیگر از روش‌های تصفیه اکسیداسیون پیشرفته می‌باشد که یک فرایند نوید بخش برای تصفیه آلاینده‌های آلی خطرناک در محلول‌های آبی است. مطالعات زیادی روی انواع مختلف پساب با استفاده از روش‌های اکسیداسیون پیشرفته انجام شده است (۱۵). نتیجه نشان می‌دهد که این روش‌ها در بیشتر موارد بازدهی بیشتری نسبت به روش‌های تصفیه سنتی داشته است.

در مطالعه‌ای که توسط Bakheet B و همکارانش بر روی تصفیه رنگ نارنجی به روش الکتروپروکسون انجام شد مشخص شد که این فرآیند می‌تواند محلول را به طور کامل بی‌رنگ کند و در ضمن در pH=۳-۱۰ هیچ آلاینده ثانویه‌ای نیز تولید نمی‌کند. محققین متذکر شدند که این روش می‌تواند به عنوان یک جایگزین موثر و دوست‌دار محیط زیست برای تصفیه فاضلاب در نظر گرفته‌شود (۱۶).

روش‌های اکسیداسیون پیشرفته بطور معمول به چند دسته تقسیم می‌شوند: روش‌های شیمیایی مانند $O_3$ و $O_3/H_2O_2$ روش‌های فتوشیمیایی و فتوکاتالیزوری مثل اکسنده/UV یا فتوکاتالیزور/UV روش‌های مکانیکی مثل فراصوت و روش‌های الکتریکی مثل تخلیه قوس (۱۷). همچنین راندمان فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته بر پایه ازن بستگی به نوع آغازگری دارد که با آن همراه است. استفاده از پراکسید هیدروژن در کنار ازن (واکنش زیر)، علاوه بر تقویت قدرت اکسندگی آن و کاهش میزان اکسنده مورد نیاز جهت تصفیه ترکیبات مقاوم، از نقطه نظر اقتصادی نیز فرایند را توجیه می‌کند (۱۸).

ازن با تولید رادیکال هیدروکسیل و بهره‌گیری از رادیکال تولیدی منجر به تخریب آلاینده‌ها می‌شود (۱۹).

$$2OH^{\cdot} + 3O_2 \longrightarrow H_2O_2 + 2O_3$$

ویژگی‌های منحصر بفرد رادیکال هیدروکسیل از جمله واکنش‌پذیری زیاد ، عدم انتخابگری و پتانسیل اکسیداسیونی ۲/۸۰ ولت آنرا از سایر اکسنده‌ها متمایز کرده و موجب شده تا تخریب ترکیبات آلی مقاوم مثل آروماتیک‌ها، فنول‌ها و ترکیبات کلردار به همراه ازن با سرعت مناسبی انجام‌گیرد (۲۰).

ازن به تنهایی قادر به معدنی‌سازی با بازدهی کافی نیست بنابراین برای بهبود قدرت اکسندگی آن از ترکیب ازناسیون با کاتالیزورهای مختلفی استفاده می‌شود که موجب تخریب سریع‌تر مواد آلی می‌شوند. چون کاتالیزور علاوه بر تقویت قدرت اکسندگی ازن باعث توجیه فرایند از نقطه نظر اقتصادی می‌شود، بنابراین کاربرد گسترده‌ای در تصفیه پساب‌ها دارد (۲۱).

در این تحقیق، فاضلاب تولیدی از کارخانجات تولید لوازم خانگی که حاوی مقادیر بالای رنگ بوده و تا به حال مطالعه خاصی در مورد تصفیه فاضلاب آن‌ها انجام نگرفته است، مورد بررسی قرار گرفت. و از آن‌جایی که این فاضلاب حالت سوسپانسیونی دارد می‌بایستی در ابتدا فاز محلول در فاضلاب حذف شده و سپس فرآیندهای تکمیلی به منظور تصفیه بهتر انجام پذیرد. فاضلاب رنگی این کارخانجات حاوی مقادیر بالای رنگ و رزین می باشد.

در این تحقیق کارایی روش توام انعقاد شیمیایی و پروکسون ($O_3/H_2O_2$) در تصفیه این نوع فاضلاب مورد ارزیابی قرار گرفته است.

## روش بررسی

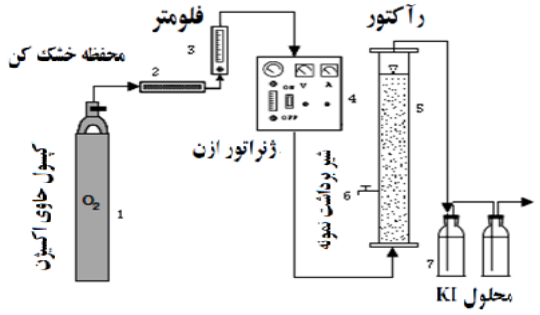
در این تحقیق که بر روی فاضلاب ناشی از واحد رنگ‌کاری کارخانه تولید لوازم خانگی(تولید یخچال، اجاق گاز و دیگر لوازم خانگی) انجام گرفت، حذف رنگ در چند مرحله متوالی انجام پذیرفت. نمونه‌برداری به شیوه مرکب (انتخاب چند نمونه و ترکیب آن‌ها و نمونه‌برداری از ترکیب این نمونه‌ها) صورت پذیرفت پذیرفت.

در ابتدا مشخصات نمونه مشخص گردید که COD برابر mg/l ۳۰۹۰۰ و رنگ آن برابر با TCU ۲۰۳۶۰ می‌باشد. و پس از آن pH بهینه برای هر کدام از مواد منعقد کننده مورد استفاده بدست آمد. برای تعیین pH بهینه تمامی منعقدکننده‌ها با غلظت یکسان و در pHهای ۳، ۵، ۷، ۹ و ۱۱ مورد ازمایش قرار گرفتند. با مشخص شدن میزان بهینه ی pH در مرحله بعد میزان دوز بهینه ماده منعقدکننده در همان pH بهینه بدست آمد. برای هر ماده منعقدکننده ۴ دوز مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از آزمایش جار دوز بهینه مواد منعقدکننده وکمک منعقدکننده تعیین شد. مواد منعقدکننده استفاده شده در این بررسی کلرور منیزیم، آهن III کلرید و پلی‌آلومینیوم کلراید بودند. از بنتونیت و پلیمرهای کاتیونی نیز به عنوان کمک منعقدکننده استفاده شد.

برای پی بردن به بهترین دوز بر روی نمونه‌های خروجی از آزمایش جار، آزمایشات COD و رنگ انجام پذیرفت. بالاترین درصد حذف، مشخص کننده دوز بهینه مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده بود. در این مطالعه جهت سنجش غلظت رنگ از اسپکتروفتومتر DR 2000 و با روش ارائه شده در کتاب روش‌های استاندارد آزمایش آب و فاضلاب استفاده شده است (۲۲).

در ادامه، مطالعه فرآیند ازن‌زنی در یک رآکتور آزمایشگاهی استوانه‌ای شکل از جنس پلکسی گلاس با ارتفاع یک متر و حجم مفید یک لیتر انجام شد (شکل ۱). ازن مورد نیاز توسط دستگاه ژنراتور ازن (MK 940 NedGas) با استفاده از اکسیژن خالص به عنوان گاز ورودی تولید شده و مقدار تولید ازن توسط دستگاه و میزان ازن خروجی از سیستم به وسیله روش KI مورد سنجش قرار گرفت (۲۳).

ازن‌زنی با شدت جریان اکسیژن ورودی ثابت ml/min ۵۰۰ که معادل gr/hr ۰/۵۵ بود که در زمان‌های مختلف و همراه با غلظت‌های (۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۳، ۵، ۷، ۹ و ۱۰) میلی لیتر بر لیتر $H_2O_2$ انجام پذیرفت. لازم به ذکر است که آب اکسیژنه ($H_2O_2$) قبل از ازن‌زنی اضافه گردید، و بدین‌صورت مقدار بهینه زمان تماس با ازن و $H_2O_2$ با بیشترین راندمان با توجه به جنبه اقتصادی به دست آمد.




شکل ۱: طرح شماتیک رآکتور مورد استفاده و متعلقات آن

لازم به ذکر است که برای انجام فرآیند پروکسون pH قلیایی انتخاب شد که دلیل آن را می‌توان اینگونه بیان کرد که در شرایط قلیایی به علت ایجاد سریع‌تر عامل هیدروکسیل، فرآیند پروکسون راندمان بیشتری را نسبت به شرایط اسیدی خواهد داشت (۲۴). Glaze نیز بیان کرد که در فرآیند پروکسون قلیائیت، بی‌کربنات و pH نقش عمده‌ای در اثر رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل بازی می‌کنند. این اثر در درجه اول به رقابت بی‌کربنات برای رادیکال هیدروکسیل در قلیائیت بالا و رقابت کربنات برای رادیکال هیدروکسیل در سطوح pH بالاتر از ۱۰/۳ مربوط می‌شود. از این رو برای ازن‌زنی و در ادامه آن فرآیند پروکسون pH قلیایی برابر ۱۰ انتخاب شد (۲۵).

توجه به اینکه pH اولیه و طبیعی این فاضلاب اسیدی است، لذا بایستی جوانب امر از لحاظ اقتصادی در نظر گرفته شود. در این مرحله نیز برای پی‌بردن به بهترین دوز بر روی نمونه‌های خروجی از فرایند پروکسون، آزمایش COD انجام پذیرفت.

## یافته‌ها

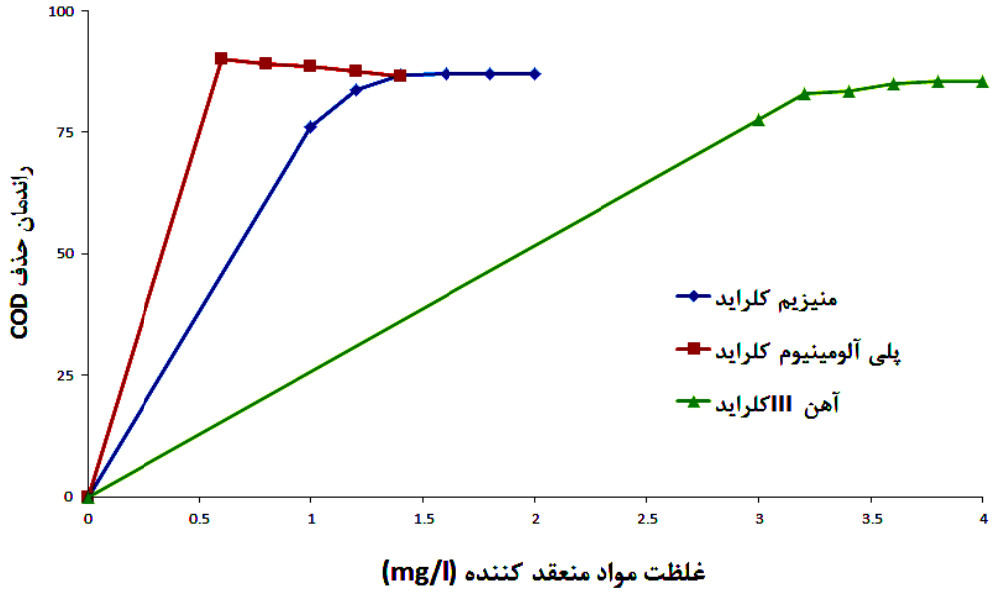
در ابتدا از فرآیند انعقاد شیمیایی جهت کاهش COD فاضلاب رنگی استفاده شد. در اولین مرحله دوز بهینه برای هر یک از منعقدکننده‌ها تعیین شد. بعد از عمل انعقاد، لخته سازی و ته‌نشینی غلظت بهینه برای منیزیم کلراید ۱/۴ mg/l ، پلی آلومینیوم کلراید ۰/۶ mg/l و آهن III کلرید ۳/۸ mg/l بدست آمد که هر یک از منعقد کننده‌های مورد بررسی توانستند به ترتیب ۸۶/۸۵ ٪، ۸۸/۴۷٪ و ۸۵/۴۱٪ در حذف COD تاثیر گذار باشند که در نمودار ۱ نشان داده شده است. در نمودار ۲ راندمان حذف رنگ مربوط به منعقدکننده‌ها و بهترین راندمان ترکیبی منعقدکننده و کمک منعقدکننده نشان داده شده است. آن‌چنان که مشخص است بهترین راندمان حذف رنگ مربوط به پلی آلومینیوم کلراید برابر با ۹۰/۹۲٪ بوده است که میزان رنگ را از ۶۵۰ TCU به ۵۹ TCU کاهش داد. همچنین بهترین pH برای منیزیم کلراید pH برابر ۱۱، برای پلی‌آلومینیوم‌کلراید pH برابر ۷ و برای آهن III کلرید pH برابر ۵ بدست آمد.

در مرحله بعدی ترکیبی از دو ماده منعقدکننده با یک کمک منعقدکننده مورد بررسی قرارگرفت که بیشترین تاثیرگذاری را ترکیب منیزیم‌کلراید (۱/۴ mg/l)، پلی آلومینیوم کلراید (۰/۶ mg/l) و پلیمرهای کاتیونی (۰/۴ mg/l) در حذف COD با راندمان ۸۹/۱۱٪ دارا بودند. همچنین بهترین راندمان حذف رنگ را نیز از خود نشان دادند که برابر با ۹۳/۳۸٪ می‌باشد و میزان رنگ را تا ۴۳ TCU کاهش دادند که در نمودار ۲ نشان داده شده است.

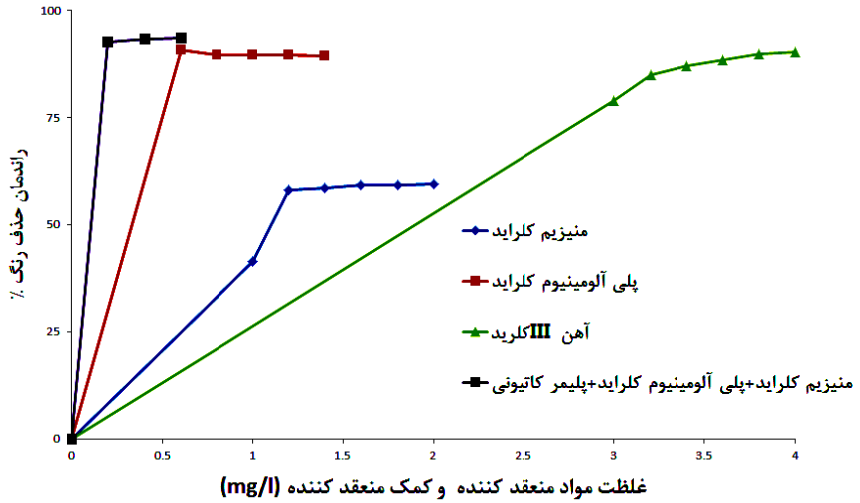
در ادامه، فاضلاب پیش تصفیه شده توسط فرآیند انعقاد شیمیایی وارد رآکتور ازناسیون جهت فرآیند پروکسون شد. جهت بهینه‌سازی مدت زمان ازن‌زنی در این مرحله یک لیتر از فاضلاب تصفیه شده با pH برابر ۱۰ درون رآکتور ازن‌زنی ریخته شد و در فواصل زمانی ۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۶۰ دقیقه ازن‌زنی انجام پذیرفت (برای هریک از زمان‌های یاد شده راکتور تخلیه و مجدد پر شد). پس از ازن زنی در هر یک از زمان‌های یاد شده COD مربوطه اندازه‌گیری شد. در این مرحله میزان حذف COD با افزایش زمان تماس افزایش یافت و بهترین زمان تماس ۶۰ دقیقه در نظر گرفته

شد (نمودار ۳). با توجه به مطالعات گذشته pH بهینه به منظور تاثیرگذاری هر چه بیشتر فرآیند ازن زنی pH برابر با ۱۰ بوده که در این مطالعه نیز از این pH به عنوان بهینه استفاده شده است.

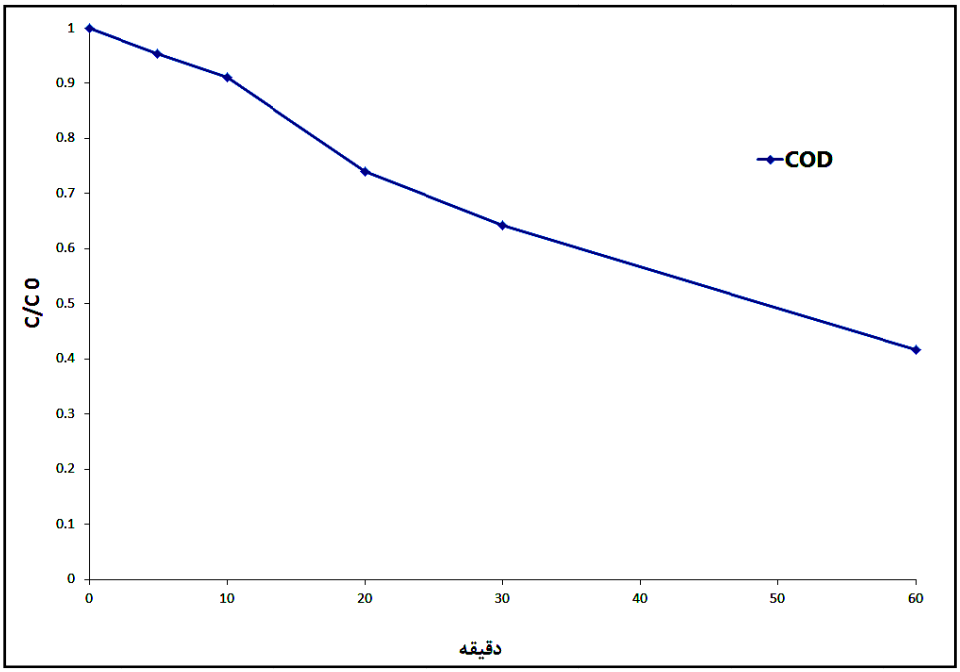
به منظور دست یابی به بهترین غلظت $H_2O_2$، فرآیند ازناسیون در حضور آب اکسیژنه در غلظت‌های (۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۳، ۵، ۷، ۹ و ۱۰) میلی لیتر بر لیتر $H_2O_2$ مورد سنجش قرار گرفت. با استفاده از COD خروجی فاضلاب مربوط به هر یک از غلظت‌های مورد استفاده آب اکسیژنه بهترین دوز انتخاب گردید. همانگونه که در نمودار ۴ نشان داده شده است با افزایش غلظت $H_2O_2$ راندمان نیز افزایش می‌یابد و این افزایش تا زمانی ادامه یافت که فاضلاب خروجی از مرحله پروکسون به استاندارد تخلیه به محیط رسید. بنابراین بهترین راندمان مربوط به $H_2O_2$ با غلظت ml/l ۱۰ که برابر ۹۹/۶۷٪ بوده است، می‌باشد. نتایج این آزمایش در جدول ۱ آمده است و همانگونه که مشخص است با افزایش غلظت $H_2O_2$ میزان حذف COD افزایش می‌یابد. و لیکن می‌توان گفت شرایط بهینه حذف COD با فرآیند پروکسون در ترکیب با فرآیند انعقاد شیمیایی در غلظت mg/l ۱/۴ منیزیم کلراید، mg/l ۰/۶ پلی آلومینیوم کلراید، mg/l ۰/۴ پلیمر کاتیونی و در pH برابر ۱۰ اتفاق می‌افتد که راندمان حذف COD را از ۸۹/۱۱٪ به ۹۹/۶۷٪ می‌رساند.



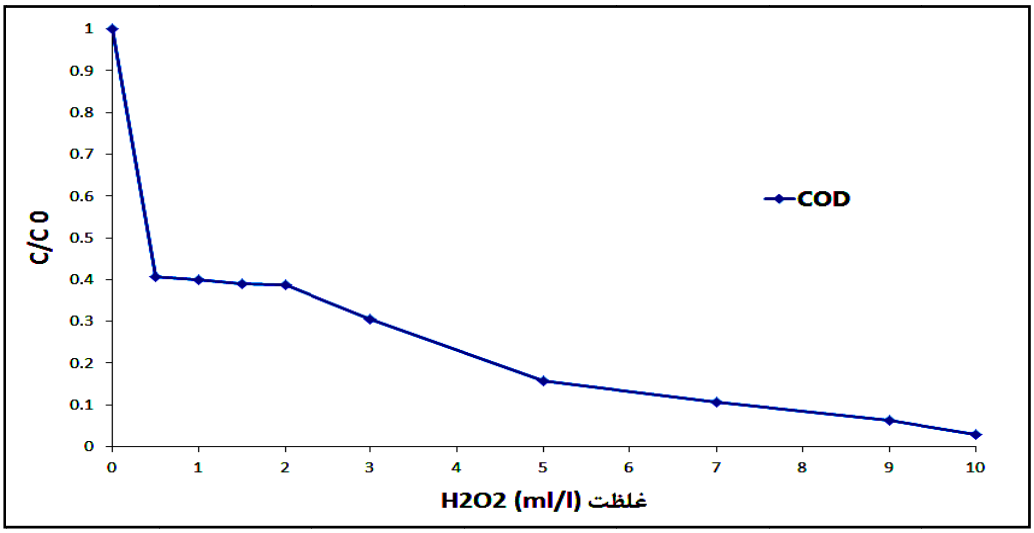

نمودار ۱: راندمان حذف COD به وسیله منعقد کننده ها




نمودار ۲: راندمان حذف رنگ توسط منعقد کننده‌ها و بهترین منعقد کننده و کمک منعقد کننده ترکیبی




نمودار۳: تغییرات COD فاضلاب پیش تصفیه شده در فرآیند ازن زنی برحسب غلظت نهایی به غلظت اولیه (pH=10)




نمودار۴: میزان تاثیر دوز بهینه $H_2O_2$ بر کاهش میزان COD در فرآیند پروکسون بر حسب نسبت غلظت نهایی به غلظت اولیه (pH=10)

جدول۱: میزان حذف کل COD فاضلاب رنگی کارخانه لوازم خانگی بعد از انجام فرآیند انعقاد/لخته‌سازی و فرآیند پروکسون

| شرایط پیش تصفیه | | | شرایط فرآیند پروکسون | | | خصوصیات فاضلاب خام | | خصوصیات فاضلاب بعد از پیش تصفیه | | خصوصیات فاضلاب بعد از فرآیند پروکسون | میزان حذف کل COD (درصد) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| غلظت منیزیم کلراید (mg/l) | غلظت پلی‌آلومینیوم کلراید (mg/l) | غلظت پلیمرهای کاتیونی (mg/l) | تنظیم pH | غلظت $H_2O_2$ (ml/l) | زمان ازن زنی | تنظیم pH | COD (mg/l) | pH اولیه | COD (mg/l) | pH خروجی | COD (mg/l) | |
| ۱/۴ | ۰/۶ | ۲ | PAC=7 $Mgcl_2$=11 | ۰/۵ | ۶۰ | ۱۰ | ۳۰۹۰۰ | ۴ | ۳۳۶۱ | ۷ | ۱۴۰۰ | ۹۵/۵۴ |
| ۱/۴ | ۰/۶ | ۲ | PAC=7 $Mgcl_2$=11 | ۱ | ۶۰ | ۱۰ | ۳۰۹۰۰ | ۴ | ۳۳۶۱ | ۷ | ۱۳۵۸ | ۹۵/۶۴ |
| ۱/۴ | ۰/۶ | ۲ | PAC=7 $Mgcl_2$=11 | ۱/۵ | ۶۰ | ۱۰ | ۳۰۹۰۰ | ۴ | ۳۳۶۱ | ۷ | ۱۳۱۸ | ۹۵/۷۴ |
| ۱/۴ | ۰/۶ | ۲ | PAC=7 $Mgcl_2$=11 | ۲ | ۶۰ | ۱۰ | ۳۰۹۰۰ | ۴ | ۳۳۶۱ | ۷ | ۱۳۰۸ | ۹۵/۷۷ |
| ۱/۴ | ۰/۶ | ۲ | PAC=7 $Mgcl_2$=11 | ۳ | ۶۰ | ۱۰ | ۳۰۹۰۰ | ۴ | ۳۳۶۱ | ۷ | ۹۶۹ | ۹۶/۶۵ |
| ۱/۴ | ۰/۶ | ۲ | PAC=7 $Mgcl_2$=11 | ۵ | ۶۰ | ۱۰ | ۳۰۹۰۰ | ۴ | ۳۳۶۱ | ۷ | ۴۲۷ | ۹۸/۲۸ |
| ۱/۴ | ۰/۶ | ۲ | PAC=7 $Mgcl_2$=11 | ۷ | ۶۰ | ۱۰ | ۳۰۹۰۰ | ۴ | ۳۳۶۱ | ۷ | ۳۴۸ | ۹۸/۸۳ |
| ۱/۴ | ۰/۶ | ۲ | PAC=7 $Mgcl_2$=11 | ۹ | ۶۰ | ۱۰ | ۳۰۹۰۰ | ۴ | ۳۳۶۱ | ۷ | ۲۱۸ | ۹۹/۳۱ |
| ۱/۴ | ۰/۶ | ۲ | PAC=7 $Mgcl_2$=11 | ۱۰ | ۶۰ | ۱۰ | ۳۰۹۰۰ | ۴ | ۳۳۶۱ | ۷ | ۹۸ | ۹۹/۶۷ |

## بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه که بر روی فاضلاب با COD برابر ۳۰۹۰۰ انجام پذیرفت، میزان راندمان حذف COD برای هر یک از منعقدکننده‌ها به استثنای پلی‌آلومینیوم‌کلراید با افزایش غلظت افزایش یافت. کاهش راندمان پلی آلومینیوم کلراید با افزایش غلظت می‌تواند به این دلیل باشد که با افزایش غلظت منعقدکننده، pH محلول رو به اسیدی شدن می‌رود و این عامل pH بهینه را به‌هم‌زده و در کاهش راندمان موثر واقع می‌شود. در مطالعه حاضر دامنه pH برابر ۳ تا ۱۱ برای هر یک از منعقدکننده‌ها 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 پلی آلومینیوم کلراید در pH خنثی داشته است. شاید دلیل این امر را بتوان این‌گونه توجیه نمود که پلی‌آلومینیوم‌کلراید بعد از هیدرولیز شدن در آب بار مثبت بیشتری نسبت به منعقدکننده‌های دیگر مورد استفاده تولید می‌کند، بنابراین انتظار می‌رود در خنثی‌سازی بار منفی ذرات کلوئیدی و مواد آلی موجود در آب مؤثر باشد. تحقیقات انجام‌شده توسط سایر محققان نیز محدوده pH خنثی را تأیید می‌نماید که با یافته های به دست آمده در این تحقیق تطابق دارد (۲۶،۲۷). و از این رو پلی آلومینیوم کلراید با توجه به راندمان بالایی که دارد جزء منعقدکننده‌های نوپایی است که از آن در اکثر نقاط دنیا استفاده می‌شود (۲۸).

همچنین راندمان حذف با استفاده از ترکیب پلی آلومینیوم 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 Barredo و همکاران و Tao و همکاران مطابقت دارد(۳۰، ۲۹).

نکته قابل توجه این است که فرایند انعقاد، تأثیر خوبی بر حذف رنگ دارد و در نتیجه سبب می‌گردد تا فاضلابی با COD بسیار کمتر، وارد فرایند اکسیداسیون پیشرفته گردد.

در مطالعه‌ای که بر روی رنگزدایی و کاهش COD فاضلاب حاوی رنگ‌های دیسپرس و رآکتیو با استفاده از انعقاد شیمیایی به دنبال سیستم SBR انجام پذیرفت ، نتایج نشان داد که تصفیه به وسیله کلرورمنیزیم و آهک در pH برابر ۱۱ تمام رنگ (۱۰۰ درصد) و ۴۰ درصد از COD را حذف کرد. استفاده از ۲۰۰ میلی گرم در لیتر آلوم بدون تعدیل pH ، ۷۸/۹ درصد از رنگ را حذف کرد. بهبود تاثیرگذاری آلوم با استفاده از پلیمرهای کاتیونی میزان حذف رنگ را از ۷۹/۸ به ۹۴ افزایش داد و همچنین ۴۴ درصد از COD را حذف کرد که میزان تاثیر بالای این منعقدکننده‌ها را نشان داده و نتایج این مطالعه را تأیید می‌نماید (۳۱).

همانگونه که در نمودار ۳ نشان داده شده است با افزایش زمان تماس ازن زنی میزان حذف COD افزایش می‌یابد لیکن مدت زمان طولانی تماس به علت هزینه‌بر بودن مقرون به صرفه نیست، لذا در این مطالعه مدت زمان ۶۰ دقیقه به عنوان بهینه انتخاب شد.

همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است با افزایش میزان $H_2O_2$ مصرفی راندمان حذف نیز افزایش می‌یابد و دلیل این امر

می‌تواند این باشد که رادیکال‌های هیدروکسیل بیشتری در اثر افزایش میزان غلظت $H_2O_2$ تولید می‌شود و اثر بخشی ازناسیون را افزایش می‌دهد. همان‌گونه که در جدول نشان داده شده فاصله بین راندمان‌های حذف بسیار به هم نزدیک است که این پدیده می‌تواند با کاهش pH و خنثی‌شدن محلول در اثر تولید محصولات میانی واسط اسیدی از قبیل اسیدهای کربوکسیلیک مرتبط باشد (۳۲).

Selena Maria و همکاران بیان کردند که تولید محصولات میانی از جمله اسید استیک، آلدئیدها و کتون‌ها که به سختی قابل اکسیدشدن هستند موجب کاهش راندمان حذف COD می‌گردد (۳۳).

عملا 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.

از این رو فرآیند انعقاد شیمیایی به همراه فرآیند پروکسون می‌تواند با راندمان کلی ۹۹/۶۷٪ توانست COD فاضلاب مورد مطالعه را تصفیه نماید. 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 حاضر بهترین فرآیند پیشنهادی برای تصفیه این نوع فاضلاب می‌باشد که می‌تواند به طور موثری جهت تصفیه فاضلاب رنگی کارخانجات لوازم خانگی، بکار رود. پساب خروجی از مرحله نهایی(پروکسون) به استاندارد تخلیه به محیط رسید که کارایی بسیار خوب این فرآیند را نشان می‌دهد. با توجه به این که فرآیند حاضر توانست فاضلاب مذکور را تا حد استاندارد تخلیه به محیط تصفیه نماید، لذا نیاز به تصفیه اضافی، وجود نخواهد داشت. از این رو کاربرد این روش می‌تواند در امر تصفیه هر چه بهتر فاضلاب‌های رنگی با COD بالا کارگشا باشد.

## تشکر و قدردانی

بدینوسیله از کلیه کسانی که ما را در امر اجرای این تحقیق یاری نموده اند به خصوص مسئولین آزمایشگاه شیمی گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پرشکی شهید صدوقی یزد تقدیر و قدردانی می‌نماییم. لازم به ذکر است که مطالعه حاضر حاصل کار پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط می‌باشد.

## References

1- Blinova I. Use of bioassay for toxicity assessment of polluted water. Proceedings of the Symposium “Environmental Impact and Water Management in a Catchment Area Perspective: Tallinn ;2001:149-54.

2-Santhi T, Manonmani S, Vasantha VS, Chang YT. A new alternative adsorbent for the removal of cationic dyes from aqueous solution. Arabian Journal of Chemistry. doi:10.1016/j.arabjc 2011; 6:4.

Benefield L, W. R. Biological process Design for wastewater Treatment, Prentice Hall Inc ;1980: 135-44.

3-Cengiz S TF, Aksu S. An alternative source of adsorbent for the removal of dyes from textile waters: Posidonia oceanica (L.). Chemic Engineer J 2012; 189: 32-40.

4-Daneshvar N, Salari D, Khataee AR. Photocatalytic degradation of azo dye acid red 14 in water: investigation of the effect of operational parameters. J Photochemistry Photobio A: Chemistry 2003; 157(1): 111-6.

5-Ahmed MN, Ram RN. Removal of basic dye from waste-water using silica as adsorbent. J Environment Pollution 1992; 77(1): 79-86.

6-Mohorčič M, Teodorovič S, Golob V, Friedrich J. Fungal and enzymatic decolourisation of artificial textile dye baths. J Chemosphere 2006; 63(10): 1709-17.

7-Khlyna M. Epoxy resins-epoxy blend morphology and properties of microstructures [Ph.D thesis]. Polymer Engineering, Polymer and Petrochemical Institute of Iran 2013. [parsian]

8-Erdem E, Çölgeçen G, Donat R. The removal of textile dyes by diatomite earth. J Coll Interf Sci 2005; 282: 314-9.

9-Amin NK. Removal of reactive dye from aqueous solutions by adsorption onto activated carbons prepared from sugarcane bagasse pith. J Desalination 2008; 223(1-3): 152-61.

10-Khadhraoui M, Trabelsi H, Ksibi M, Bouguerra S, Elleuch B. Discoloration and detoxicification of a Congo red dye solution by means of ozone treatment for a possible water reuse. J Hazard Materials 2009; 161(2–3): 974-81.

11-Mansour LB, Kesentini I. Treatment of effluents from cardboard industry by coagulation–electroflotation. J Hazard Materials 2008; 153(3): 1067-70.

12-Kent D. Water treatment plant operation, Coagulation and Flocculation: Beard publication; 2008; Chapter 4.

13-Zonoozi MH, Alavimoghaddam MR, Arami M. Removal of C.I. Acid Blue 292 using Polyaluminum Chloride. J sci dye techno 2008; 2:87-94.

14-Muthukumar M, Sargunamani D, Selvakumar N. Statistical analysis of the effect of aromatic, azo and sulphonic acid groups on decolouration of acid dye effluents using advanced oxidation processes. J Dyes Pigments 2005; 65(2): 151-8.

15-Bakheet B, Yuan S, Li Z, Wang H, Zuo J, Komarneni S, et al. Electro-peroxone treatment of Orange II dye wastewater. J Water Res 2013; 6(13): 617-9.

16-Kusic H, Koprivanac N, Bozic AL. Minimization of organic pollutant content in aqueous solution by means of AOPs: UV- and ozone-based technologies. J Chemic Engineer 2006; 123(3): 127-37.

17-Alsheyab MA, Muñoz AH. Reducing the formation of trihalomethanes (THMs) by ozone combined with hydrogen peroxide (H2O2/O3). J Desalination 2006; 194(1–3): 121-6.

18-Tehrani AR, Mahmoodi NM ,Arami M. Study of the efficiency of effective parameters on decolorization of C.I.Reactive black 5 wastewater by ozonation. J color scitech 2008; 2:67-75.

19-Al-Kdasi A, Idris A, Saed K, Guan CT. Treatment of textile wastewater by advanced oxidation processes-a review. J Global nest Int 2004; 6(3): 222-30.

20-Wu C-H, Chang C-L. Decolorization of Reactive Red 2 by advanced oxidation processes: Comparative studies of homogeneous and heterogeneous systems. J Hazard Materials 2006; 128(2-3): 72-65.

21-Andrew D, Arnold E, Lenore S. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st ed, USA: Am Public Health Association 2005: 5220-D.

22-Nawrockia J, Kasprz y, Hordern B. The efficiency and mechanisms of catalytic ozonation, Review. Journal of Applied Catalysis B: Environmental 2010; 99: 27-42.

23-Yang Y, Ma J, Qin Q, Zhai X. Degradation of nitrobenzene by nano-TiO2 catalyzed ozonation. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical 2007; 267: 41-8.

24-Glaze WH. Reaction products of ozone: a review. J Environ Health Perspect 1986; 69: 151-7.

25-Carballa M, Omil F, Lema. JM. Removal of cosmetic ingredients and pharmaceuticals in sewage primary treatment. J Water Res 2005; 39: 4790-6.

26-Choi KJ, Kim SG, Kim SH. Removal of antibiotics by coagulation and granular activated carbon filtration. J Chemosfer 2007;249: 117-29.

27-Wang D, Sun W, Xu Y, Tang H, Gregory J. Speciation stability of inorganic polymer flocculant-PACl. J Colloids Surf 2004; 243: 1-10.

28-Barredo-Damas S, Iborra–Clar M, Bes-Pia A, Alcaina-Miranda M, Iborra-Clar J. Study of preozonation influence on the physical-chemical treatment of hospital wastewater. J Desalination 2008; 182: 267-74.

29-Li T, Yan X, Wang D, Wang F. impact of preozonation on the performance of coagulated flocs. J Chemosphere 2009; 75(2): 187-92.

30-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. J Desalination 2009; 249(3): 1159-64.

31-Brltran F, Rivas F, Spinosa R. Catalytic ozonation of oxalic acid in an aqueous TiO2 slurry reactor. J Applied Catalysis B Environment 2002; 39: 221-31.

32-De Souza S, Bonilla K, De Souza A. Removal of COD and color from hydrolyzed textile azo dye by combined ozonation and biological treatment. J Hazard Materials 2010; 179: 35-42.

# Performance Assessment of Chemical Coagulation Together with Advanced Oxidation Peroxone Regarding Dye Wastewater Treatment of Appliance Factories

**Shahriyari Farfani AR (M.Sc)[1], Mokhtari M (Ph.D)[2],Ebrahimi A (M.Sc)[3], Ghaneian MT (Ph.D)[4], Ehrampoush MH (Ph.D)[5], Dehghani A (Ph.D)[6]**

1. Graduate Student in environmental health engineering, Dept. of Environmental Health, Shahid Sadoughi University of Medical sciences
2. Correspoonding Author: Assistant Professor of environmental health engineering, Dept. of Environmental Health, Shahid Sadoughi University of Medical sciences
3. M.Sc in environmental health engineering, Dept. of Environmental Health, Shahid Sadoughi University of Medical sciences
4. Associate Professor of environmental health engineering, Dept. of Environmental Health, Shahid Sadoughi University of Medical sciences
5. Professor of environmental health engineering, Dept. of Environmental Health, Shahid Sadoughi University of Medical sciences
6. Assistant Professor in statistic and epidemiology, Dept. of Environmental Health, Shahid Sadoughi University of Medical sciences

## Abstract

**Introduction:** Considering the important role of industry in polluting the environment, the present study aimed to evaluate the performance of chemical coagulation together with advanced oxidation (peroxone) regarding dye wastewater treatment of appliance factories.

**Methods**: This study was experimental, which it's pilot-scale was conducted on the wastewater of the painting appliance Factory. The sample was selected via the combined sampling procedure. The processes used in the present study consisted of chemical coagulation and advanced oxidation (peroxone) processes and 250 samples were analyzed. $MgCl_2$, PAC and $FeCl_3$, Bentonite, Cationic Polymer were used for chemical coagulation. The used equipments consisted of Spectrophotometer DR 2000, Jar taste and a ozonation reactor. COD and dye of samples were measured according to standard method.

**Results:** The results revealed that each of the coagulants in its optimal pH were able to arrange the magnesium chloride 86.85%, poly aluminum chloride 88.47% and ferric chloride 85.41% in removal of COD. Poly aluminum chloride achieved the highest dye removal 90.92%. Furthermore, the highest COD removal efficiency was related to the combination of magnesium chloride (1.4 mg/l), poly aluminum chloride (0.6 mg/l) and cationic polymers (0.4 mg/l) with an efficiency of 89.11%, which managed to remove the dye up to 93.38%. COD removal efficiency reached to 99.67% using advanced oxidation process by peroxone method on pretreated wastewater (with chemical coagulation).

**Conclusions:** For better performance of peroxone treatment, the wastewater should be pretreated for removal of dissolved solids. As a result, due to its suspension status of using peroxone method together chemical coagulation has a high capability to remove COD and dye from appliance Factore 's wastewater.

**Keywords:** Appliance Factory; Chemical Coagulation; Dye Wastewater; Industrial Wastewater; Peroxone