



## بررسی کارایی فرآیند انعقاد در حذف رنگزای راکتیو آبی ۱۹ از فاضلاب صنایع نساجی

رویا ناطقی<sup>۱</sup>، علی اسدی<sup>۲\*</sup>، غلامرضا بنیادی نژاد<sup>۳</sup>، سرور صفا<sup>۱</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی زنجان، زنجان، ایران، صندوق پستی: ۴۵۱۵۷-۸۶۳۴۹

۲- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی زنجان، زنجان، ایران، صندوق پستی: ۴۵۱۵۷-۸۶۳۴۹

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران، صندوق پستی: ۸۱۷۴۶۷۳۴۶۱

تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۸۹/۷/۲۱ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۰/۹/۲۰

### چکیده

در این تحقیق، کارایی فرآیند انعقاد با استفاده از سه منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید (PACl)، آلوم و کلرید آهن (III) در حضور کمک منعقدکننده‌های پلی الکترولیت آنیونی و کائولین بر روی پساب سنتتیک حاوی رنگزای راکتیو آبی ۱۹ در مقیاس آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفت. تأثیر عوامل مؤثر بر بازده فرآیند تصفیه مانند pH غلظت ماده منعقدکننده، غلظت اولیه رنگ و حضور کمک منعقدکننده‌ها بررسی گردید. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که محدوده pH بهینه برای حذف رنگزا توسط سه منعقدکننده برابر pH خنثی می‌باشد. تحت این شرایط غلظت بهینه برای PACl، آلوم و کلرید آهن (III) به ترتیب برابر ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم در لیتر با بازده‌های حذف به ترتیب ۹۱، ۹۲ و ۸۱ درصد کسب گردیده است. افزودن پلی الکترولیت به عنوان کمک منعقدکننده به همراه کلرید آهن (III) بازدهی فرآیند را به مقدار ناچیزی افزایش داده است. در صورتی که افزودن پلی الکترولیت به همراه آلوم و PACl به مقدار جزئی بازدهی را کاهش داده است. اضافه کردن کائولین به عنوان کمک منعقدکننده به همراه PACl حدود ۵٪ بازدهی فرآیند را افزایش داده است. در حالیکه اضافه کردن کائولین به همراه آلوم بازدهی حذف را به شکل ناچیز کاهش داده است. در مورد کلرید آهن (III) نیز افزودن کائولین نقش مؤثری در بازدهی فرآیند ندارد. در نهایت، با توجه به نتایج فوق الذکر، انعقاد می‌تواند به عنوان یک روش جایگزین برای تصفیه فاضلاب‌های حاوی رنگزای راکتیو باشد. واژه‌های کلیدی: انعقاد و لخته‌سازی، پلی آلومینیوم کلراید، آلوم، کلرید آهن (III)، رنگزای راکتیو.

## Effectiveness of Coagulation Process in Removing Reactive Blue 19 Dye from Textile Industry Wastewater

R. Nateghi<sup>1</sup>, A. Assadi<sup>1\*</sup>, Gh. R. Bonyadinejad<sup>2</sup>, S. Safa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Environmental Health Engineering, Zanjan University of Medical Sciences, P.O.Box: 45157-86349, Zanjan, Iran

<sup>2</sup> Department of Environmental Health Engineering, Esfahan University of Medical Sciences, P.O.Box: 8174673461, Esfahan, Iran

Received: 03-05-2010

Accepted: 13-10-2010

Available online: 11-12-2011

### Abstract

In this research, coagulation process efficiency using three coagulants poly aluminum chloride (PACl), alum and ferric chloride in the presence of coagulants aid anionic polyelectrolyte and kaolin were studied for removal of synthetic wastewater containing reactive blue 19 dye in lab scale. The effect of main parameters such as pH, coagulant concentration, initial dye concentration and presence of coagulants aid has been investigation. The results showed that the best efficiency for dye removal using three coagulants was achieved in neutral pH. Under this condition optimum concentrations of poly aluminum chloride, alum and ferric chloride was 200mg/L, 300mg/L and 400mg/L and their related removal efficiency was 91%, 92% and 81% respectively. Addition of polyelectrolyte as a coagulant aid with ferric chloride slightly increased process efficiency, whereas adding polyelectrolyte with alum and poly aluminum chloride slightly decreased efficiency. Adding kaolin as a coagulant aid with PACl increased process efficiency about 5%, whereas adding kaolin with alum slightly decreased process efficiency and can be ignored also, in the case of ferric chloride no significant effect on process efficiency observed in the presence of kaolin. Finally regarding above mentioned results, coagulation can be a robust alternative method for the treatment of reactive dye containing wastewaters. *J. Color Sci. Tech.* 5(2011), 235-242 © Institute for Color Science and Technology.

**Keywords:** Coagulation, Poly aluminum chloride, Alum, Ferric chloride, Reactive dye.

## ۱- مقدمه

کلراید است که افزایش مصرف آن در آب و پساب را به دنبال داشته است [۹]. رنگ‌های راکتیو، آنیونیک و قابل حل در آب می‌باشند که با روش‌های نسبتاً ساده رنگ‌رزی تهیه می‌گردند. این رنگ‌ها بیشتر جهت رنگ‌رزی الیاف سلولزی مانند کتان و ابریشم مصنوعی و علاوه بر آن برای پارچه ابریشمی، پشمی، نایلونی و چرم نیز کاربرد دارند. رنگ‌های راکتیو با وسعت زیادی در صنایع نساجی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اساساً به علت ظرفیت گروه‌های واکنش‌پذیرشان از طریق تشکیل پیوندهای کووالانسی به الیاف نساجی پیوند می‌شوند. مشکل اصلی زیست‌محیطی استفاده از رنگ‌های راکتیو، اتلاف آنها در فرآیند رنگ‌رزی می‌باشد. همچنین رنگ راکتیو آبی ۱۹، به علت ساختار آنترآکینونی حلقوی به وسیله رزونانس به شدت پایدار شده است و نسبت به اکسیداسیون شیمیایی بسیار مقاوم است [۱۰]. نظر به ویژگی سرطان‌زایی یا جهش‌زایی برخی از رنگ‌های راکتیو، اثرات زیان‌آور رنگ در آب‌های پذیرنده و مقاومت مشخص پساب‌ها به تجزیه بیولوژیکی ضرورت بررسی گزینه‌های جدید برای تصفیه مناسب این نوع آلودگی مشهود است [۱۱].

طبق بررسی‌های به عمل آمده از پایگاه‌های اطلاع‌رسانی معتبر نتایج مشابه با این کار در مورد حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ (RB19) در حضور پلی‌الکترولیت‌های آنیونی و کاتولین به عنوان کمک منعقدکننده به دست نیامده است. در مطالعه حاضر با توجه به برتری‌های ذکر شده و کاربرد وسیع سه منعقدکننده آلوم، PACI و کلرید آهن (III) به بررسی میزان کارایی و شرایط به کارگیری این سه منعقدکننده جهت حذف رنگ‌زای RB19 پرداخته شده است.

## ۲- بخش تجربی

## ۲-۱- مواد

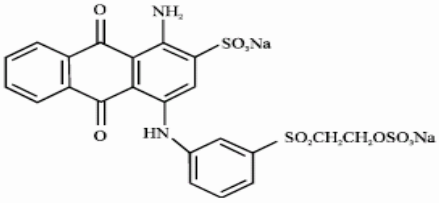
رنگ‌زای راکتیو آبی ۱۹ از شرکت سیگما-آلدردیج خریداری گردید (جدول ۱). سایر ترکیبات شیمیایی از شرکت مرک آلمان خریداری شدند.

## ۲-۲- روش کار

برای انجام این طرح سه مرحله کار آزمایشگاهی در حضور منعقدکننده‌های آلوم، پلی‌آلومینیم کلراید (PACI) و کلرید آهن (III) و همچنین کمک منعقدکننده‌های پلی‌الکترولیت آنیونی (NALCO 8172 PULU) و کاتولین برنامه‌ریزی شد. ابتدا مطالعات انعقاد و لخته‌سازی در یک غلظت ثابت رنگ (۱۰۰ mg/l) و غلظت ثابت منعقدکننده (۳۰۰ mg/l) برای pHهای مختلف در محدوده ۵ تا ۱۰ انجام گردید تا بدین وسیله pH بهینه برای ماده منعقدکننده مزبور تعیین گردد.

فاضلاب صنایع نساجی از عمده‌ترین آلاینده‌های محیط زیست محسوب می‌شوند که به‌طور معمول حاوی رنگ، دمای بالا، جامدات محلول بالا، اکسیژن شیمیایی مورد نیاز (COD)، اکسیژن بیوشیمیایی مورد نیاز (BOD) و در مواقعی دارای خاصیت قلیایی زیاد می‌باشند [۱، ۲]. تخلیه پساب‌های حاوی مواد رنگی به آب‌های پذیرنده از قبیل دریاچه‌ها و رودخانه‌ها موجب کاهش انتقال نور، کاهش میزان اکسیژن محلول (DO) و افزایش COD می‌شود و از این طریق زندگی آبزیان را مختل می‌نماید. به علاوه محققان دریافته‌اند که برخی از رنگ‌زها می‌توانند در طی فرآیند تجزیه احیایی، آمین‌های آروماتیک سرطان‌زا تولید کنند [۳]. بدون تصفیه کافی و مناسب این ترکیبات قادرند برای مدت زمان بسیار طولانی و به صورت پایدار در محیط باقی بمانند [۴]. در سال‌های اخیر قوانین مرتبط با آلاینده‌های رنگی در سراسر دنیا روز به روز سختگیرانه‌تر شده‌اند. بنابراین باید این ترکیبات قبل از تخلیه به محیط‌های طبیعی از پساب‌های صنعتی حذف شوند [۳]. برای رنگ‌زدایی فاضلاب صنایع نساجی روش‌های متفاوتی وجود دارد که از جمله می‌توان به روش‌های انعقاد و لخته‌سازی، کاربرد بیوتکنولوژی، اکسیداسیون شیمیایی، فناوری الکتروشیمیایی، تعویض یون، فرآیندهای جذب سطحی و نیز فرآیندهای ترکیبی شامل ازن‌زنی و لخته‌سازی و ترکیبی از الکتروشیمی لخته‌سازی و تعویض یونی اشاره نمود [۵، ۶]. بیشتر این روش‌ها هزینه بهره‌برداری و نگهداری بالایی دارند و به همین دلیل استفاده از آنها برای تصفیه پساب‌های رنگی برای بسیاری از کشورها مناسب و مقرون به صرفه نمی‌باشد. انعقاد و لخته‌سازی یکی از مهم‌ترین و مؤثرترین فرآیندهایی است که برای تصفیه آب‌های رنگی به کار می‌رود [۷، ۳، ۲]. از مهم‌ترین مزایای رنگبری با استفاده از فرآیند انعقاد و لخته‌سازی عدم تولید محصولات میانی سمی و مضر است که دلیل آن تجزیه نشدن ترکیبات رنگی در این روش می‌باشد. به علاوه این روش از صرفه اقتصادی و قابلیت اجرایی نسبتاً بالایی برخوردار است [۷، ۸]. آلوم در حال حاضر به‌طور وسیعی به عنوان یک منعقدکننده، به خاطر هزینه پایین و کاربری بالا در تصفیه آب و فاضلاب با مشخصات مختلف استفاده می‌شود [۵]. ترکیب پلی‌آلومینیم کلراید یا آلومینیم کلراید هیدراته (PACI) با فرمول شیمیایی  $Al_2(OH)_nCl_{6-n}$  نیز منعقدکننده پیش‌پلیمریزه‌شده‌ای است که در سال‌های اخیر به‌طور وسیعی مورد استفاده قرار گرفته به نحوی که امروزه در کشورهای نظیر آمریکا، کانادا، چین، ایتالیا، فرانسه و انگلستان به یکی از رایج‌ترین منعقدکننده‌های مورد استفاده در تصفیه آب تبدیل شده است. محدوده عمل وسیع pH، حساسیت کمتر نسبت به حرارت، باقی‌گذاشتن باقی‌مانده کمتر نسبت به منعقدکننده‌های فلزی دیگر، کاهش لجن تولیدی و سهولت آبدگیری لجن از جمله مزایای پلی‌آلومینیم

جدول ۱: مشخصات رنگزای مصرفی.

Reactive blue 19	نام علمی رنگزا
Remazol brilliant blue	نام تجاری رنگزا
	ساختار مولکولی
$C_{22}H_{16}O_{11}N_2S_3Na_2$	فرمول شیمیایی
۶۲۶٫۵ g/mol	وزن مولکولی
۵۹۲ nm	طول موج بیشینه جذب

منعقدکننده و نیز تأثیر غلظت رنگزا بر بازدهی فرآیند انعقاد و لخته‌سازی می‌باشد.

### ۳-۱- تعیین pH بهینه

در شکل ۱ کارایی هر سه منعقدکننده در pH مختلف جهت تعیین pH بهینه نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که آلوم و کلرید آهن (III) در pH برابر ۷ بالاترین بازده حذف را دارند و در بهترین شرایط یعنی در pH برابر ۷ آلوم حدود ۸۹٪ و کلرید آهن (III) حدود ۹۰٪ از رنگزای موجود در محلول را حذف می‌نماید. پلی‌آلومینیوم کلراید نیز در محدوده pH برابر ۸-۶ بالاترین بازده حذف را دارد که در بهترین شرایط یعنی در pH برابر ۷ حدود ۹۳٪ از رنگزای موجود در محلول را حذف می‌نماید. از آنجایی که رنگ‌های راکتیو در دسته رنگ‌های آنیونیک قرار دارند و گروه‌های عاملی در این رنگ‌ها شامل گروه‌های آنیونی از قبیل سولفونیک، هیدروکسیل و آمینو می‌باشند. وجود گروه‌های آنیونی بر روی این رنگ‌ها موجب می‌گردند تا هنگام حل شدن در آب، این رنگ‌ها دارای بارهای منفی شوند. بنابراین برای انعقاد می‌بایست بارهای منفی این رنگ‌ها خنثی گردند. بدین ترتیب انتظار می‌رود که با کاهش pH، خنثی‌سازی بارهای منفی با شدت بیشتری رخ دهد [۱۲].

با توجه به شکل ۱، مشاهده می‌شود که در مورد آلوم و کلرید آهن (III)، بیشترین مقدار حذف در pH خنثی می‌باشد و در pH اسیدی (<6) به میزان قابل توجهی از مقدار حذف رنگزا کاسته شده است. به همین دلیل نمی‌توان خنثی‌سازی بار را تنها و یا مؤثرترین عامل تشکیل لخته‌ها دانست. بنابراین می‌توان گفت تشکیل لخته‌ها توسط آلوم در pH خنثی بیشتر از طریق ساز و کار جاروب لخته‌ای و به دام افتادن مولکول‌های رنگزا در رسوبات ماده منعقدکننده صورت گرفته است. همچنین در مورد کلرید آهن (III)، بیشترین مقدار حذف

سپس در pH بهینه با غلظت ثابت رنگزا و مقادیر متفاوت منعقدکننده (۷۰۰-۵۰۰-۴۰۰-۳۰۰-۲۰۰-۱۰۰ mg/l) مقدار بهینه منعقدکننده به دست آمد. در نهایت، با داشتن شرایط بهینه انعقاد یعنی pH و غلظت بهینه منعقدکننده به دست آمده از مرحله قبل اثرات کاربرد پلی‌الکترولیت و کائولین به عنوان کمک منعقدکننده‌های فرآیند انعقاد مورد بررسی قرار گرفت.

در این تحقیق از دستگاه‌های pH متر (WTW)، جارتست (HACH) برای شبیه‌سازی فرآیند انعقاد در سیستم‌های تصفیه فاضلاب صنعتی که مجهز به هم‌زن با دورهای متغیر قابل تنظیم با شش پدال می‌باشد و اسپکتروفوتومتر DR5000 استفاده شده است. ابتدا محلول مادر رنگ راکتیو آبی ۱۹ (RB19) با غلظت ۱۰۰۰ mg/l تهیه گردید. سپس از این محلول، با استفاده از آب مقطر محلول‌های استاندارد با غلظت‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ mg/l ساخته شد. جذب رنگ‌های استاندارد با غلظت‌های معلوم توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شد. برای این منظور بعد از اسکن نمودن دامنه جذب رنگ بیشترین طول موج ( $\lambda_{max}$ ) برای رنگ راکتیو آبی ۱۹ انتخاب گردید. این طول موج برای رنگ راکتیو آبی ۱۹ برابر با  $\lambda_{max}=592$  nm می‌باشد. در مرحله بعد، منحنی کالیبراسیون با کمک دستگاه اسپکتروفوتومتر تهیه شد و با استفاده از معادله به دست آمده از منحنی کالیبراسیون غلظت رنگ نمونه مجهول تعیین گردید. شرایط کار با دستگاه جارتست در دمای محیط به ترتیب در مراحل: اختلاط سریع با ۱۲۰ rpm به مدت ۹۰ ثانیه و فلوکولاسیون با ۳۰ rpm به مدت ۲۰ دقیقه و ته‌نشینی ۳۰ دقیقه صورت گرفت.

### ۳-۲ نتایج و بحث

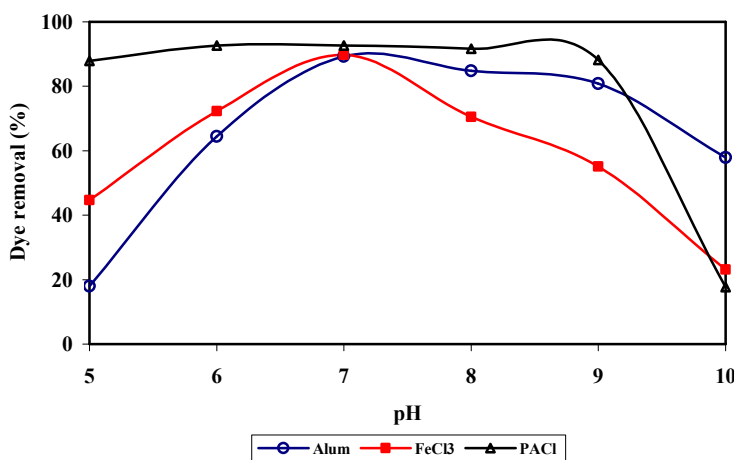
نتایج حاصل از این مطالعه در رابطه با تعیین pH بهینه، تأثیر غلظت مواد منعقدکننده، تأثیر پلی‌الکترولیت و کائولین به عنوان کمک

صورتیکه با افزایش غلظت آن به  $200 \text{ mg/l}$ ، میزان حذف به  $81\%$  رسیده است. بعد از این مرحله با افزایش آلوم، میزان حذف رنگزا به کندی افزایش یافته است. از آنجایی که در تعیین غلظت بهینه هر ماده منعقدکننده، عوامل مختلفی نظیر استانداردهای محیط زیست و عوامل اقتصادی (قیمت ماده) بسیار تأثیرگذار هستند، در رابطه با حذف رنگزای RB19 غلظت بهینه آلوم  $300 \text{ mg/l}$  با بازده حذف  $88\%$  انتخاب گردید. همچنین با توجه به شکل ۲، برای منعقدکننده‌های پلی آلومینیوم کلراید و کلرید آهن (III) به ترتیب، غلظت‌های بهینه  $200 \text{ mg/l}$  و  $400 \text{ mg/l}$  با درصد حذف  $91\%$  و  $92\%$  به ترتیب کسب گردیده است. نکته حائز اهمیت این است که با افزایش غلظت پلی آلومینیوم کلراید و کلرید آهن (III) بیش از  $500 \text{ mg/l}$ ، از میزان حذف رنگزای RB19 کاسته شده است که علت آن را پایداری مجدد ذرات می‌باشد که توسط مطالعات دیگران ثابت شده است [۱۲].

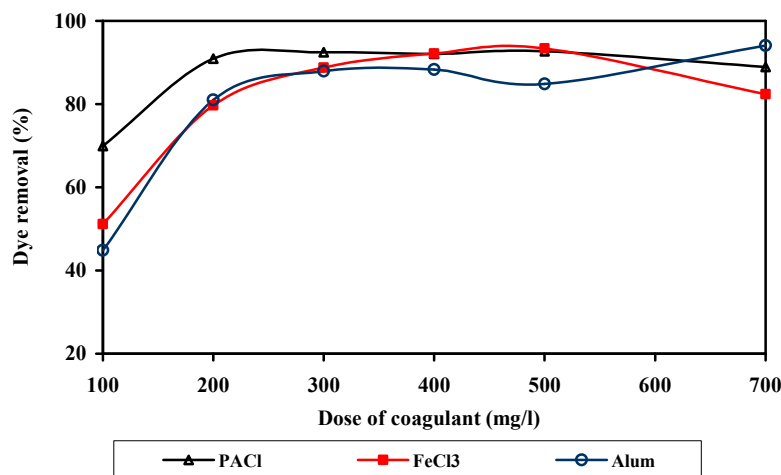
در pH خنثی می‌باشد ولی در مورد PACI، در pH اسیدی ( $< 6$ ) نیز رنگزا به میزان قابل توجهی حذف شده است، بنابراین می‌توان خنثی‌سازی بار را نیز یکی از عوامل مؤثر در تشکیل لخته‌ها دانست [۱۲]. اما جدول ۲ نشان می‌دهد که مقادیر مختلفی به عنوان pH بهینه برای رنگزاهای مختلف در مطالعات دیگران ارایه شده است. زیرا عوامل مختلفی نظیر نوع منعقدکننده، نوع و ساختار شیمیایی رنگزا نقش بسیار مهمی در تعیین pH بهینه دارند [۱۳].

### ۲-۳- تأثیر غلظت اولیه مواد منعقدکننده بر میزان حذف رنگزا

شکل ۲ تأثیر غلظت اولیه مواد منعقدکننده بر میزان حذف رنگزا در pH بهینه به دست آمده از مرحله اول را نشان می‌دهد. به طور کلی با افزایش غلظت مواد منعقدکننده، میزان حذف رنگزای RB19 نیز افزایش یافته است. افزودن  $100 \text{ mg/l}$  آلوم، حدود  $44\%$  رنگزا را حذف نموده، در



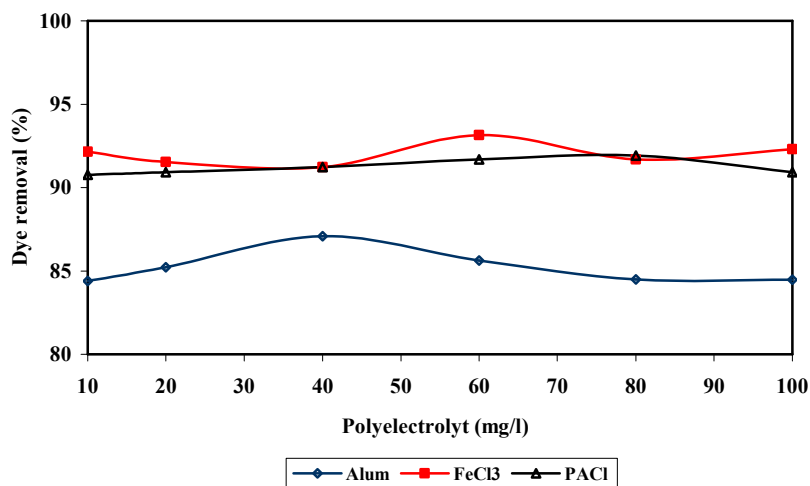
شکل ۱: تأثیر pH بر میزان حذف رنگزای راکتیو آبی ۱۹ توسط پلی آلومینیوم کلراید، آلوم و کلرید آهن (III) (آلوم، PACI و کلرید آهن (III) هر کدام  $300 \text{ mg/l}$  و رنگزا  $100 \text{ mg/l}$ ).



شکل ۲: تأثیر غلظت مواد منعقدکننده بر میزان حذف رنگزای RB19 در pH بهینه (رنگزا  $100 \text{ mg/l}$ ).

جدول ۲: مقایسه نتایج به دست آمده در این تحقیق با نتایج ارائه شده توسط سایر محققین در خصوص حذف رنگزاهای مختلف با استفاده از PACI، آلوم و کلرید آهن (III).

مرجع	درصد حذف رنگ	pH بهینه	غلظت بهینه منعقدکننده mg/l	ماده منعقدکننده	غلظت رنگزا mg/l	نوع رنگزا
[۲]	%۱۰۰	۸/۲	۲۰۰	آلوم	...	Sulfur Colorants
[۲]	%۱۰۰	۸/۳	۲۰۰	کلرید آهن (III)	...	Sulfur Colorants
[۱۵]	%۸۳	۶-۸	۴۰	PACI	۱۰۰	Acid Blue 292
[۵]	%۹۷	۹,۵ و ۴,۵	۴۰۰۰	مخلوط آلوم و کلرومنیزیم	۱۰۰۰	Reactive Blue
[۱۶]	%۸۸	۹,۱۳	۷۵	آلوم	۱۲,۵	Dianix BLue
[۱۶]	%۵۵	۸,۸۷	۷۵	آلوم	۱۲۵	YeLLow P-6GS
تحقیق حاضر	%۹۱	۷	۲۰۰	PACI	۱۰۰	Reactive Blue 19
تحقیق حاضر	%۹۲	۷	۳۰۰	آلوم	۱۰۰	Reactive Blue 19
تحقیق حاضر	%۸۸	۷	۴۰۰	کلرید آهن (III)	۱۰۰	Reactive Blue 19



شکل ۳: تأثیر پلی الکترولیت به عنوان ماده کمک منعقدکننده بر میزان حذف رنگزا در pH بهینه (رنگزا ۱۰۰ mg/l، PACI ۲۰۰ mg/l، آلوم ۳۰۰ mg/l و کلرید آهن (III) ۴۰۰ mg/l).

انعقاد و لخته‌سازی مؤثر باشد [۱۴]. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، افزودن پلی‌الکترولیت به عنوان کمک منعقدکننده به همراه کلرید آهن (III) بازدهی فرآیند را به مقدار ناچیزی افزایش داده است. اما افزودن پلی‌الکترولیت به همراه آلوم و PACI نه تنها باعث افزایش بازدهی فرآیند نشده است بلکه به مقدار جزئی بازدهی را کاهش داده است. این شرایط با نتایج سایر مطالعات همخوانی دارد [۱۴]. اما نکته قابل توجه در این فرآیند این است که در هر سه مورد با افزایش کمک منعقدکننده پلی‌الکترولیت، فرآیند انعقاد و لخته‌سازی در زمان کوتاه‌تری نسبت به کاربرد مواد منعقدکننده به تنهایی صورت گرفت و

### ۳-۳- تأثیر پلی‌الکترولیت آنیونی و کاتولین به عنوان ماده کمک منعقدکننده بر میزان حذف رنگزا

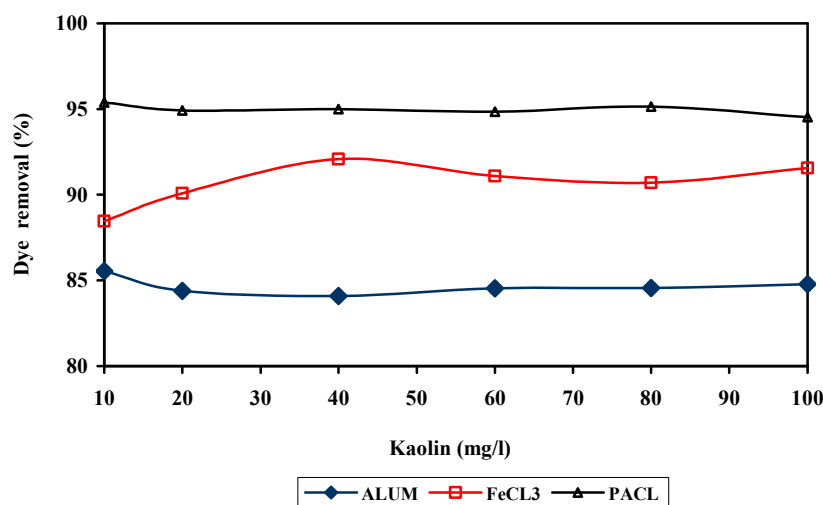
معمولاً به منظور دستیابی به بازدهی بالاتر فرآیند انعقاد و لخته‌سازی، کاهش مقدار ماده منعقدکننده مورد نیاز و تشکیل لخته‌های قوی‌تر و با قابلیت ته‌نشینی بیشتر، مواد کمک منعقدکننده مانند سیلیس فعال، خاک رس و پلی‌الکترولیت‌ها مورد استفاده قرار گیرند [۱۳]. عوامل مختلفی از جمله نوع ماده منعقدکننده و کمک منعقدکننده، نوع ساختار شیمیایی رنگزا و همچنین ویژگی‌های دیگر محلول مانند pH می‌تواند بر عملکرد ماده منعقدکننده در فرآیند

غلظت‌های برابر و کمتر از  $100 \text{ mg/l}$  رنگزا، PACI و کلرید آهن (III) کارایی بهتری نسبت به آلوم دارند، اما در غلظت‌های بالای رنگزا، آلوم مؤثرتر است. نتایج حاصل از این مرحله نشان می‌دهد که در غلظت اولیه بالای  $100 \text{ mg/l}$  ماده رنگزا بازده حذف با شدت بیشتری کاهش می‌یابد. زیرا در غلظت‌های کمتر از  $100 \text{ mg/l}$  بازده حذف برای منعقدکننده‌ها بالای ۹۰ درصد می‌باشد ولی با افزایش آن تا  $150 \text{ mg/l}$  بازده حذف به حدود ۷۰ درصد به ویژه در مورد کاربرد PACI رسیده است. نتایج مشابهی نیز توسط مراجع دیگر گزارش شده است [۱۵-۲]. نوسانات و اثرات غلظت اولیه ماده رنگزا بر کارایی فرآیند، اطلاعات مهمی در مورد نحوه بهره‌برداری واحدهای تصفیه فاضلاب صنعتی ارائه می‌دهد تا در مورد نوع ماده منعقدکننده یا اجرای تغییرات فرآیند تصفیه انتخاب بهتری صورت گیرد. مقایسه نتایج به دست آمده در این تحقیق با نتایج ارائه شده توسط سایر مراجع در خصوص حذف رنگزاهای مختلف با استفاده از PACI، آلوم و کلرید آهن (III) در جدول ۲ گردآوری شده است. در بین منعقدکننده‌های مختلف PACI با کمترین غلظت مورد نیاز و بالاترین بازده حذف رنگ گزینه مناسبی برای تصفیه شیمیایی پساب‌های صنعتی با کمک فرآیند انعقاد می‌باشد.

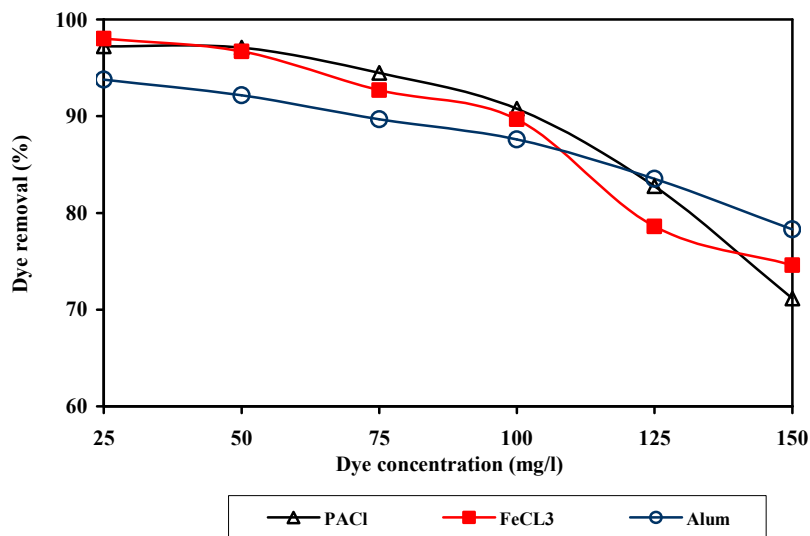
علاوه بر آن لخته‌های بسیار بزرگ‌تر و پایدارتری تشکیل شد. شکل ۴ نشان می‌دهد که افزودن کائولین به عنوان کمک منعقدکننده به همراه PACI حدود ۵٪ بازدهی فرآیند را افزایش داده است. در حالی که افزودن کائولین به همراه آلوم نه تنها باعث افزایش بازدهی فرآیند نشده بلکه بازدهی را حدود ۳٪ کاهش داده است. در مورد کلرید آهن (III)، افزودن کائولین نقش مؤثری در بازدهی فرآیند ندارد. نتایج مطالعات دیگر نشان می‌دهد که کاربرد پلی‌الکترولیت آنیونی در حضور آلوم و کلرید منیزیم تأثیر مثبتی در حذف ماده رنگزا نداشته است [۲]. در مطالعه دیگر، در حضور غلظت  $40 \text{ mg/l}$  پلی‌آلومینیم کلراید برای حذف رنگ اسید آبی ۲۹۲ (AB292) افزایش کائولین تا  $30 \text{ mg/l}$  باعث افزایش ناچیز بازده حذف تا حداکثر ۷ درصد شده است و با افزایش غلظت‌های بالا تر بازده حذف کاهش یافته است [۱۵].

### ۳-۴- تأثیر غلظت اولیه رنگزا بر میزان حذف رنگزا

در این مرحله تأثیر غلظت اولیه رنگزا بر میزان حذف رنگزا در pH بهینه و غلظت‌های ثابتی از سه منعقدکننده مورد بررسی قرار گرفت. همان گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت رنگزا بازده حذف کاهش می‌یابد. اما نکته قابل توجه این است که در



شکل ۴: تأثیر کائولین به عنوان ماده کمک منعقدکننده بر میزان حذف رنگزا در pH بهینه (رنگزا  $100 \text{ mg/l}$ ، PACI  $200 \text{ mg/l}$ ، آلوم  $300 \text{ mg/l}$  و کلرید آهن (III)  $400 \text{ mg/l}$ ).



شکل ۵: تأثیر غلظت اولیه رنگزا بر میزان حذف رنگزا در pH بهینه (PACI ۲۰۰ mg/l، آلوم ۳۰۰ mg/l و کلرید آهن (III) ۴۰۰ mg/l).

همراه کلرید آهن (III) بازدهی فرآیند را به مقدار ناچیزی افزایش داده است. در صورتی که افزودن پلی الکترولیت به همراه آلوم و PACI نه تنها باعث افزایش بازدهی فرآیند نشده است بلکه به مقدار جزئی بازدهی را کاهش داده است. اما نکته قابل توجه این است که افزودن پلی الکترولیت در هر دو مورد موجب کاهش زمان انجام فرآیند و همچنین تشکیل لخته‌های بزرگتر و پایدارتر گردید. افزودن کاتولین به عنوان کمک منعقدکننده به همراه PACI حدود ۵٪ بازدهی فرآیند را افزایش داده است. در حالی که افزودن کاتولین به همراه آلوم نه تنها باعث افزایش بازدهی فرآیند نشده بلکه بازدهی را حدود ۳٪ کاهش داده است. در مورد کلرید آهن (III) نیز افزودن کاتولین نقش مؤثری در بازدهی فرآیند ندارد. با افزایش غلظت رنگزا، میزان حذف کاهش می‌یابد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

نتایج آزمایشات نشان دادند که هر سه منعقدکننده آلوم، پلی‌آلومینیوم کلراید و کلرید آهن (III) گزینه‌های مناسبی جهت انجام فرآیند انعقاد و لخته‌سازی برای حذف رنگزای RB19 می‌باشند. بر اساس نتایج به دست آمده در این تحقیق، pH عامل بسیار مؤثری در حذف رنگزای RB19 می‌باشد، که می‌بایست برای استفاده بهینه از مواد منعقدکننده تنظیم گردد. برای هر سه منعقدکننده آلوم، PACI و کلرید آهن (III) محدوده pH بهینه جهت حذف رنگزای RB19 برابر pH خنثی می‌باشد. در این تحقیق غلظت بهینه PACI برای حذف رنگزای RB19 برابر ۲۰۰ mg/l، آلوم برابر ۳۰۰ mg/l و کلرید آهن (III) برابر ۴۰۰ mg/l به دست آمده است. افزودن پلی‌الکترولیت به عنوان کمک منعقدکننده به

#### ۵- مراجع

1. A. Lopes, S. Martins, A. Morao, M. Magrinho, I. Goncalves, Degradation of a textile dye C. I. Direct Red 80 by electrochemical processes. *Portugaliae Electrochimica Acta*. 22(2004), 279-294.
2. Gh. R. Nabi Bihendi, A. Torabian, H. Ehsani, N. Razmkhah, Evaluation of industrial dyeing wastewater treatment with coagulants and polyelectrolyte as a coagulant aid. *Iranian J. Environ. Health. Sci. Eng.* 4(2007), 29-36.
3. B. Shi, G. Li, D. Wang, C. Feng, H. Tang, Removal of direct dyes by coagulation: The performance of performed polymeric aluminum species. *J. Hazard. Mater.* 143(2007), 567-574.
4. B. D. Santos, F. J. Cervantes, J. B. Vanlier, Review paper on current technologies for decolourization of textile wastewaters: Perspectives for anaerobic biotechnology. *Bioresource Technol.* 98(2007), 2369-2385.
5. B. Bina, Gh. Asgari, Survey of dye removal by mixed magnesium chloride and alum in textile industry wastewater. *J. Water Wastewater.* 20(2009), 39-41.
6. M. Parvinzadeh, Improving colorant absorption from pistachio hulls on wool fiber using protease enzyme. *Prog. Color Colorants Coat.* 2(2009), 1-6.
7. V. Golob, A. Vinder, M. Simonic, Efficiency of the coagulation/flocculation method for the treatment of dyebath effluents. *Dyes Pigm.* 67(2005), 93-97.
8. D. Wang, W. Sun, Y. Xu, H. Tang, J. Gregory, Speciation stability of inorganic polymer flocculant-PACI. *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects.* 243(2004), 1-10.

9. F. Kord Mostafapoor, E. Bazrafshan, H. Kamani, Effectiveness of three coagulants of polyaluminum chloride, aluminum sulfat and ferric chloride in turbidity removal from drinking water. *Tabib-E- Shaegh*. 10(2008), 17-24.
10. A. Rezaee, M. T. Ghaneian, A. Khavanin, S. J. Hashemian, Gh. Moussavi, Gh. Ghanizadeh, E. Hajizadeh, Photochemical oxidation of reactive blue 19 dye (RB19) in textile wastewater by UV/K2S2O8 process. *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.* 5(2008), 95-100.
11. C. A. K. Gouvea, F. Wypycha, S. G. Moraes, N. Durn, P. Peralta-zamora, Semiconductor-assisted photocatalytic degradation of reactivedyes in aqueous solution. *Chemosphere*. 40(2000), 433-440.
12. B. Shi, G. Li, D. Wang, C. Feng, H. Tang, Removal of direct dyes by coagulation: The performance of preformed polymeric aluminum species. *J. Hazard. Mater.* 143(2007), 567-574.
13. R. Sanghi, B. Bhattacharya, A. Dixit, V. Singh, Ipomoea dasysperma seed gum: An effective natural coagulant for the decolorization of textile dye solutions. *J. Environ. Manage.* 81(2006), 36-41.
14. AWWA, Principles and practices of water supply operations: Water treatment. american water works association. Third Edition, 2003.
15. M. Hasani Zonoozi, M. R. Alavimoghaddam, M. Arami, Removal of C. I. acid Blue 292 using polyaluminum chloride. *J. Color Sci. Tech.* 2(2008), 87-94.
16. W. Chu, Dye removal from textile dye wastewater using recycled alum sludge. *Wat. Res.* 35(2001), 3147-3152.