

سامانه لخته ساز دوگانه برای حذف رنگ از آب: هیبرید پلی(آکریل آمید-کو-دی آلایل دی متیل آمونیم کلرید)/سیلیکا و پلی آکریل آمید آنیونی

حسین مهدوی^{۱*}، عفت درین^۲ و فریبا رزمی^۲

۱- دانشیار پلیمر، دانشکده شیمی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد شیمی، دانشکده شیمی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

دریافت: دی ۱۳۹۲، بازنگری: اسفند ۱۳۹۲، پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۳

چکیده: هیبرید پلی (آکریل آمید-کو-دی آلایل دی متیل آمونیم کلرید) / سیلیکا از طریق بلندسازی فیزیکی تهیه و به همراه پلی آکریل آمید آنیونی برای حذف رنگ‌های قرمز کاتیونی (Basic Red 22)، قهوه‌ای آنیونی (Brown HT) و رزبنگال خنثی (Rose Bengal) از طریق فرایند لخته‌سازی به کار گرفته شد. پلی آکریل آمید آنیونی نیز از طریق آبکافت قلیایی پلی آکریل آمید تحت شرایط ملایم تا ۳۵٪ آبکافت تهیه شد. از طیف سنجی زیر سرخ برای بیان ویژگی پلی آکریل آمید آبکافت شده، کوپلیمر و هیبرید آن با سیلیکا مورد استفاده قرار گرفت. در ضمن اثر مقدار سیلیکا، مقدار کوپلیمر و غلظت ابتدایی رنگ بر فرایند لخته‌سازی هر رنگ در غلظت ثابت از پلی آکریل آمید آنیونی با استفاده از داده‌های به دست آمده از دستگاه طیف‌سنجی بررسی شد. نتیجه‌ها نشان دادند که این سامانه می‌تواند برای حذف رنگ‌های یونی به کار رود و در مورد سرخ کاتیونی ۱۰۰٪ حذف رنگ قابل دستیابی است.

واژه‌های کلیدی: پلی (آکریل آمید-کو-دی آلایل دی متیل آمونیم کلرید)/ سیلیکا، پلی آکریل آمید آنیونی، لخته‌سازی، رنگ

مقدمه

رنگ در آب به‌طور کامل واضح و نامطلوب است. افزون بر این رنگ‌ها و فراورده‌های تخریب آن‌ها، سرطان‌زا و سمی هستند. وجود این رنگ‌ها در آب رودخانه‌ها بر زندگی آبریان نیز اثر دارد زیرا مانع از نفوذ نور به داخل آب شده و در نتیجه بر عملکرد فتوسنتز گیاهان دریایی اثر گذاشته و رشد آن‌ها را محدود می‌کند [۱ و ۲].

با توجه به توضیحات فوق نیاز به یک تصفیه مؤثر برای حذف این مواد و کاهش سمیت پساب احساس می‌شود. از جمله روش‌های فیزیکی و شیمیایی مورد استفاده لخته‌سازی، جذب، فیلتراسیون اکسایش و الکترولیز هستند [۳ تا ۵]. با این وجود هیچ روشی به تنهایی از نظر اقتصادی و فنی منجر به حذف کامل

تنها حدود ۰.۳٪ از ذخایر آب جهان برای فعالیت‌های انسانی در دسترس هستند. رشد جمعیت و رونق اقتصادی تقاضا برای آب را افزایش داده‌اند درحالی‌که عرضه ثابت باقی مانده است. افزون بر آن مدیریت نامناسب، منابع آب در دسترس را کاهش داده است [۱].

از طرف دیگر فاضلاب تولیدی به واسطه‌ی صنایع از جمله آلاینده‌های زیست محیطی مهم به شمار می‌رود که بخش بزرگی از آلودگی آن‌ها به مواد رنگی مربوط می‌شود. پساب حاصل از صنایع نساجی، پلاستیک، چرم، لاستیک، کاغذ، چاپ و مواد غذایی حاوی مقادیر زیادی ترکیب‌های رنگی است. حضور مقادیرهای بسیار کم

کرومات از شرکت مرک تهیه شد. استون و متانول صنعتی، پلی آکریل آمید (با جرم 500000 g/mol) از منابع داخلی تهیه شد. طیف‌های فروسرخ (FT-IR) با دستگاه طیف سنج IR-0044 Shimadzu FT ثبت گردیده‌اند و با استفاده از دستگاه UV-Vis مدل UV-Shimadzu 2100 کیفیت آب تصفیه شده مورد تجزیه قرار گرفت.

آبکافت قلبایی پلی آکریل آمید

پلی آکریل آمید (۴ گرم) و سدیم هیدروکسید (۱۴/۴ گرم) را در آب مقطر (۱۵۰ میلی لیتر) در یک بالن (۲۵۰ میلی لیتری) مجهز به کندانسور و همزن مغناطیسی ریخته و در یک حمام روغن با دمای ثابت 45°C به مدت ۴ ساعت قرار داده می‌شد. بعد از اتمام واکنش کوپلیمر به دست آمده در حلال متانول در حمام یخ رسوب داده و خشک می‌شد. برای تعیین درصد آبکافت از نمونه طیف IR گرفته شده و از فرمول تجربی کولیک^۴ و همکارش استفاده شد [۱۵].

$$DA = 100 - [96.87 * \exp(\frac{-0.5836A_{COO^-}}{A_{CO}})] \quad (1)$$

که در آن A_{COO^-} جذب در 1568 cm^{-1} مربوط به گروه کربوکسیل و A_{CO} جذب گروه کربونیل در 1665 cm^{-1} است.

سنتز کوپلیمر آکریل آمید و دی آلایل دی متیل آمونیم کلرید/پلی آکریل آمید کاتیونی) به روش پلیمریزاسیون محلولی

آکریل آمید (۰/۴۲ گرم) و دی آلایل دی متیل آمونیم کلرید (۳/۰ گرم) در آب مقطر (۶۰ میلی لیتر) در یک بالن چهار دهانه مجهز به مبرد، ورودی و خروجی نیتروژن، همزن مغناطیسی و قیف ایزوبار ریخته شد. سامانه در یک حمام با دمای 45°C به مدت ۳۰ دقیقه تحت جو نیتروژن به طور یکنواخت هم زده شد. در یک بالن دو دهانه دیگر آکریل آمید (۲/۵۸ گرم) به تنهایی در آب مقطر (۴۰ میلی لیتر) حل و به مدت ۲۰ دقیقه تحت جو نیتروژن قرار گرفته و سپس درون قیف ایزوبار ریخته شد. پلیمریزاسیون با تزریق آغازگر (به مقدار ۰/۸ درصد جرم دو مونومر) به سامانه آغاز

رنگ نمی‌شود و به طور معمول برای یک تصفیه‌ی مناسب دو یا چند روش با هم ترکیب می‌شوند [۶]. در حال حاضر لخته‌سازی به عنوان یکی از موفق‌ترین مراحل پیش تصفیه محسوب می‌شود. این فرایند حد واسط خطرناکی تولید نمی‌کند و در ضمن در مقیاس‌های بزرگ از لحاظ هزینه مقرون به صرفه است [۷ و ۸]. در این فرایند یک عامل لخته‌ساز^۱ به محلول رنگ افزوده و از طریق برهم کنش رنگ و پلیمر (پل‌سازی^۲ و خنثی‌سازی^۳) و تولید تجمعات قابل رسوب رنگ از سامانه حذف می‌شود. میزان حذف رنگ به طور کامل وابسته به نوع رنگ و لخته‌ساز مورد استفاده برای فرایند است. از جمله عامل‌های لخته‌ساز مورد استفاده کامپوزیت متشکل از هیبرید آلی- معدنی است. این سامانه یک ماده‌ی چند فازي شامل فاز آلی و فاز معدنی است که ذرات معدنی به دلیل اندازه‌ی ذرات ریز برهم کنش فصل مشترک رنگ و لخته ساز را افزایش می‌دهند و در ضمن حضور پلیمر میزان جذب رنگ از طریق پل‌سازی را افزایش خواهد داد [۹ تا ۱۱]. به طور معمول از پلیمرهایی مثل پلی آکریل آمید و پلی دی آلایل دی متیل آمونیم کلرید به دلیل حالیت بالا در آب به عنوان جز آلی این کامپوزیت‌ها استفاده می‌شود [۱۲ تا ۱۴].

در این پژوهش ما از هیبرید پلی (آکریل آمید-کو-دی آلایل دی متیل آمونیم کلرید)/ سیلیکا (پلی آکریل آمید کاتیونی/ سیلیکا) به همراه پلی آکریل آمید آنیونی به عنوان سامانه لخته‌ساز برای حذف سه رنگ قرمز کاتیونی (Basic Red 22)، قهوه‌ای آنیونی (Brown HT) و رزبنگال خنثی (Rose Bengal) استفاده کردیم. اثر سه فاکتور کلی مقدار سیلیکا، مقدار کوپلیمر و غلظت ابتدایی رنگ بر فرایند لخته‌سازی هر رنگ مورد بررسی قرار گرفتند.

بخش تجربی

مواد و دستگاه‌ها

آکریل آمید (AM)، دی آلایل دی متیل آمونیم کلرید (DADMAC)، آمونیم پر سولفات (APS)، سدیم هیدروکساید، نیترات نقره، پتاسیم

1. Flocculant
2. Polymer bridging
3. Charge neutralization
4. Culike

از رقیق‌سازی این محلول غلظت‌های مورد نیاز به دست آمدند. به ۵۰ میلی لیتر از هر رنگ، محلول تهیه شده در قسمت قبل (۱ میلی لیتر) را افزوده و به مدت ۵ دقیقه با همزن مغناطیسی هم زده شد تا پلیمر به طور یکنواخت در سامانه پراکنده شده و ذرات رنگ جذب پلیمر شوند برای خروج رنگ و پلیمر، پلی آکریل آمید آنیونی افزوده شد تا با تشکیل کمپلکس پلی الکترولیتی لخته‌سازی انجام شود. به مدت یک ساعت محلول را بدون حرکت گذاشته تا لخته‌ها ته‌نشین شدند. برای تعیین مقدار رنگ باقی‌مانده در محلول، جذب آب بالای رسوب را در طول موج بیشینه برای هر رنگ خوانده می‌شود و درصد حذف رنگ از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید

$$CR = \frac{A - A_0}{A} * 100 \quad (3)$$

که در آن A_0 جذب نمونه‌ی شاهد و A جذب نمونه بعد از لخته‌سازی است.

از میان رنگ‌های نساجی و خوراکی سه رنگ کاتیونی، آنیونی و خنثی استفاده شدند که در جدول ۱ مشخصات این رنگ‌ها قید شده است.

نتیجه‌ها و بحث

بررسی طیف IR پلیمرها

پلی آکریل آمید آنیونی

به منظور تهیه‌ی کوپلیمر آکریل آمید و سدیم اکریلات که تحت عنوان پلی آکریل آمید آنیونی شناخته شده است از آبکافت قلیایی هموپلیمر آکریل آمید استفاده شد. همان‌طور که در شکل زیر دیده می‌شود این واکنش منجر به ایجاد یک کوپلیمر تصادفی از آکریل آمید و سدیم اکریلات می‌شود. واکنش آبکافت پلی آکریل آمید نسبت به آمیدهای با جرم پایین با سرعت بیشتری پیش می‌رود اما رسیدن به صددرصد تبدیل گروه‌های آمید زنجیر پلیمر نیازمند دما و غلظت بالای سود است [۱۶] که این شرایط منجر به تخریب زنجیر پلیمر می‌شود به همین دلیل این واکنش تحت شرایط ملایم انجام شد تا در جرم نمونه تغییر زیادی به‌وجود نیاید (شکل ۱).

شد. چند دقیقه بعد از شروع واکنش شیر قیف به آرامی باز شده تا مونومر آکریل آمید با سرعت ثابتی در مدت زمان ۶ ساعت به سامانه افزوده شود. بعد از افزایش کل محلول آکریل آمید، برای این‌که مونومری در سامانه باقی نماند، یک ساعت دیگر نیز سامانه تحت همین شرایط نگه داشته شد. پس از اتمام واکنش، سامانه خنک شد. به بشر حاوی ۲۰۰ میلی لیتر استون به عنوان ضد حلال در حال به هم خوردن در حمام یخ، قطره قطره محلول پلیمر افزوده شد تا رسوب تشکیل شود. رسوب به‌دست آمده به مدت ۲۴ ساعت با دمای 50°C در آن معمولی و سپس به مدت ۴۸ ساعت در آن خلا تحت همین دما خشک و در نهایت آسیاب شد.

تعیین مقدار بار پلیمر کاتیونی

مقدار بار کوپلیمر بر طبق روش مور و با محاسبه‌ی مقدار کلر تعیین شد. مقدار مشخصی (۰/۲ گرم) از نمونه را در آب مقطر حل و سپس ۱ ml محلول پتاسیم کرومات (K_2CrO_4) به عنوان شناساگر به آن افزوده شد. این محلول با نقره نیترات 0.05 mol/lit تا ظهور رنگ قرمز تیترا شد.

$$DC (w/w) = 161.5 * 0.05 \frac{(V - V_0)}{1000W} * 100 \quad (2)$$

که در آن V حجم تیترا برای نمونه، V_0 حجم تیترا برای شاهد و W وزن نمونه است.

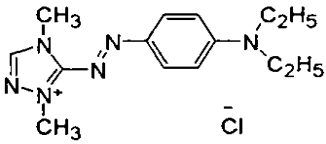
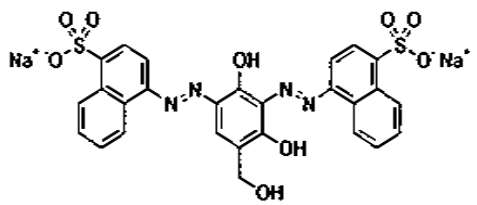
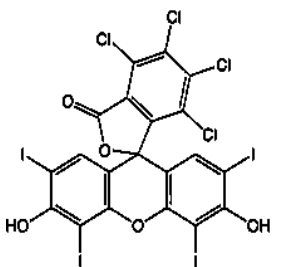
تهیه‌ی هیبرید پلی آکریل آمید کاتیونی و سیلیکا

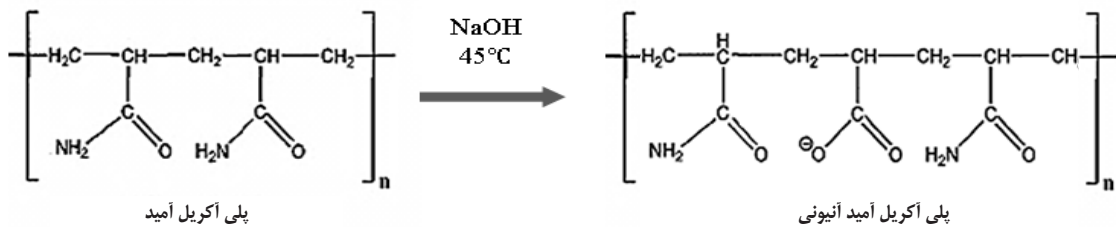
به محلول آبی کوپلیمر، مقدار معینی پودر سیلیکا (۰/۰۳، ۰/۰۵، ۰/۰۷، ۰/۰۹ یا ۰/۱ گرم) افزوده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق هم زده شد تا ذرات سیلیکا به واسطه‌ی جذب بر سطح پلیمر به طور یکنواخت در محیط پراکنده شوند. از این محلول‌ها در تصفیه‌ی رنگ استفاده شد.

لخته‌سازی رنگ‌ها

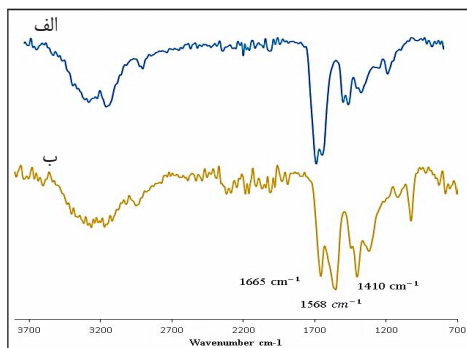
نخست ۰/۱ گرم از هر رنگ در ۱۰۰ میلی لیتر آب حل شده و

جدول ۱ ویژگی‌های رنگ‌های مورد استفاده

| نام رنگ | color index | نوع | ساختار | $\lambda_{max}(nm)$ |
|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------|--|---------------------|
| BL سرخ ماکسیلین (Maxilon Red BL) | سرخ بازی ۲۲ (Basic Red 22) | آزو کاتیونی (نساجی) |  | ۵۳۱ |
| HT قهوه ای (Brown HT) | ۲۰۲۸۵ | آزو کاتیونی (غذا) |  | ۴۶۲ |
| رز بنگال (Rose Bengal) | ۴۵۴۴۰ | (خنثی) |  | ۵۵۰ |



شکل ۱ واکنش آبکافت پلی آکریل آمید



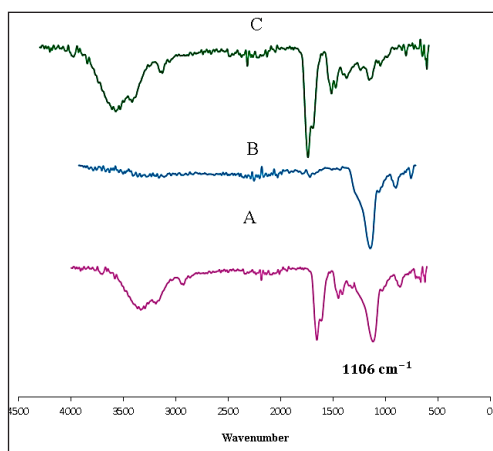
شکل ۲ طیف FT-IR (الف) پلی آکریل آمید (ب) پلی آکریل آمید آبکافت شده

ظهور پیک مربوط به گروه COO^- در 1568 cm^{-1} و 1410 cm^{-1} در طیف پلیمر آبکافت شده نسبت به قبل از آبکافت نشان دهنده‌ی انجام موفقیت آمیز واکنش است (شکل ۲).

پلی آکریل آمید کاتیونی

کوپلیمریزاسیون دی آلایل دی متیل آمونیم کلرید (DADMAC) با آکریل آمید (AM) یک واکنش شناخته شده است. این کوپلیمر

هیبرید سیلیکا و پلی آکریل آمید کاتیونی ($SiO_2/CPAM$) با توجه به این نکته که بیشتر رنگ‌های مورد استفاده در صنایع متفاوت باردارند استفاده از پلیمرهایی که بتوانند از طریق برهم‌کنش با این گروه‌های باردار و یا برقراری پیوند هیدروژنی با سایر گروه‌های موجود در رنگ آن‌ها را جذب کنند می‌تواند در تصفیه‌ی این دسته از فاضلاب‌ها مفید باشند. در این پروژه از ذرات سیلیکا برای بهبود عملکرد پلی آکریل آمید کاتیونی استفاده شد. شناسایی این هیبرید از طریق طیف‌سنجی IR صورت گرفت که وجود پیک مربوط به ارتعاش کششی $Si-O-Si$ در 1106 cm^{-1} و حاکی از جذب ذرات سیلیکا بر روی زنجیر پلیمر است (شکل ۵).



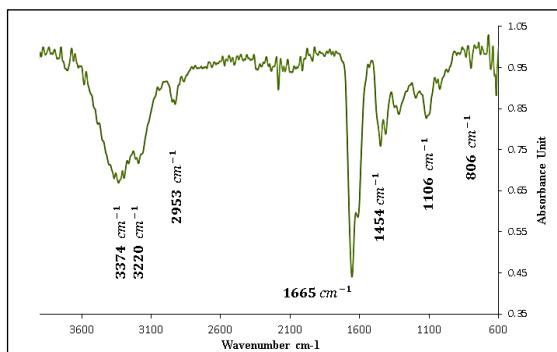
شکل ۵ طیف FT-IR مربوط به (A) هیبرید سیلیکا و پلی آکریل آمید کاتیونی، (B) سیلیکا و (C) پلی آکریل آمید کاتیونی

بررسی اثر مقدار سیلیکا بر فرایند لخته‌سازی

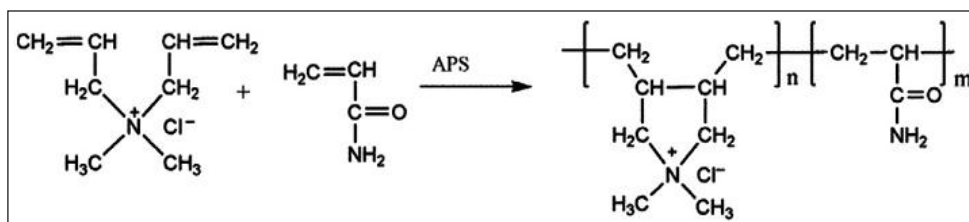
همان‌طور که در نمودارهای زیر دیده می‌شود مقدار بهینه‌ی سیلیکا برای هر رنگ خاص خود است که این مقدار وابسته به برهم‌کنش سیلیکا و پلیمر با رنگ است ذرات سیلیکا دارای

از مهم‌ترین ترکیب‌های بر پایه‌ی آکریل آمید برای کاربرد به عنوان لخته‌ساز در سامانه‌های آب و فاضلاب است. استفاده از این ترکیب‌های فرایند فیلتراسیون را سهولت می‌بخشد. با این‌که نسبت فعالیت رادیکال دو مونومر وابسته به مقدار مونومر دوم (DADMAC) در ترکیب ابتدایی دو مونومر در سامانه پلیمریزاسیون است، اما به طور کلی تفاوت زیادی با یکدیگر دارند ($r_{AM} = 0.02 - 0.04$ و $r_{DADMAC} = 4.6 - 6.7$) در نتیجه استفاده از پلیمریزاسیون محلولی به شیوه‌ی معمول منجر به ایجاد درصد اندکی کوپلیمر و بخش بزرگی از دو هموپلیمر می‌شود [۱۷]. در نتیجه برای دستیابی به کوپلیمر با ترکیب بک‌نواخت مطابق شکل ۳ بخشی از مونومر بسیار فعال آکریل آمید در بالن و مابقی آن در قیف ایزوبار ریخته شده تا در طی پلیمریزاسیون رفته رفته به سامانه افزوده شود. تحت این شرایط می‌توان انتظار داشت که درصد بالایی از فراورده، کوپلیمر به‌دست آمده از این دو مونومر باشد [۱۸].

پیک‌های مربوط به N-H گروه آمید در 3374 cm^{-1} تا 3220 cm^{-1} ، CH_2 زنجیر پلیمر در 2953 cm^{-1} ، گروه‌های متیل متصل به آمونیم در 1665 cm^{-1} ، $C-N$ مربوط به آمین‌ها در 1454 cm^{-1} و 1106 cm^{-1} و گروه کربونیل 1665 cm^{-1} نشان دهنده‌ی سنتز کوپلیمر هستند (شکل ۴).

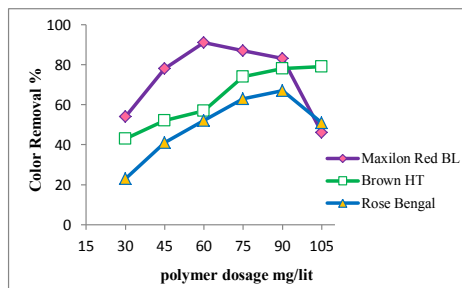


شکل ۴ طیف FT-IR پلی آکریل آمید کاتیونی



شکل ۳ کوپلیمریزاسیون آکریل آمید و دی آلایل دی متیل آمونیم کلرید

و خنثی‌سازی بار است که عمده‌ی آن مربوط به ذرات سیلیکاست البته پل‌سازی به‌وسیله زنجیرهای پلیمر که منجر به لخته‌سازی نهایی ذرات رنگ جذب شده، می‌شود هم در تولید لخته‌های بزرگ مؤثر هستند. با افزایش غلظت امکان پل‌سازی زنجیر فراهم می‌شود بعد از مقدار بهینه درصد حذف ثابت و در بیشترین غلظت مورد استفاده مقدار حذف رنگ کاهش می‌یابد. در واقع مقدار مازاد پلیمر موجب پایداری مجدد رنگ در آب می‌شود. در مورد قهوه‌ای آبیونی نیز از آنجایی که بیشترین برهم‌کنش بین زنجیر و رنگ صورت می‌گیرد با افزایش مقدار پلیمر درصد حذف رنگ افزایش می‌یابد در این مورد غلظت بالاتری از پلیمر منجر به بیش‌ترین مقدار حذف می‌شود زیرا هر دو مکانیسم یعنی خنثی‌سازی و همین‌طور پل‌سازی با زنجیر پلیمر صورت می‌گیرد. در این مورد نیز با افزایش مازاد پلیمر امکان پل‌سازی کاهش یافته و ممکن است ذرات رنگ در سامانه پایدار شوند. در مورد رنگ خنثی به دلیل نبود گروه‌های یونی روی رنگ مکانیسم عمده‌ی لخته‌سازی پل‌سازی زنجیر پلیمر است در نتیجه نسبت به دو رنگ قبلی مقدار بهینه‌ی پلیمر بیشتر است (شکل ۷).

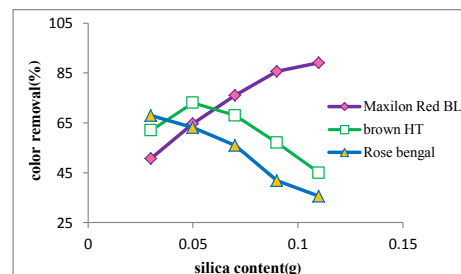


شکل ۷ درصد حذف رنگ بر حسب غلظت پلیمر

اثر غلظت رنگ

در هر سه رنگ با افزایش غلظت ابتدایی رنگ درصد حذف آن‌ها به وسیله سامانه لخته‌ساز کاهش می‌یابد. در مورد نمونه‌ی کاتیونی امکان دستیابی به حذف نزدیک به صد درصد در غلظت‌های پایین وجود دارد. این نتیجه نشان می‌دهد که سامانه در حذف رنگ‌های کاتیونی مؤثرتر است (شکل ۸).

گروه‌های سطحی $\equiv\text{Si-OH}$ ، $\equiv\text{Si-OH}_2^+$ و $\equiv\text{Si-O}^-$ هستند که می‌توانند با گروه‌های عاملی زنجیر و همین‌طور رنگ‌ها بر هم‌کنش داشته باشند البته گونه‌ی منفی سهم بیشتری در گروه‌های سطحی ذرات دارند. در مورد قرمز کاتیونی مقدار بهینه‌ی سیلیکا نسبت به دو رنگ دیگر بیشتر است. در این مورد برهم‌کنش $\equiv\text{Si-O}^-$ با گروه مثبت رنگ منجر خنثی‌سازی بار رنگ و جذب آن بر روی زنجیر پلیمر می‌شود که مهم‌ترین عامل در لخته‌سازی است و با افزایش مقدار سیلیکا درصد حذف رنگ افزایش می‌یابد. در مورد رنگ قهوه‌ای آبیونی برهم‌کنش گروه‌های مثبت سیلیکا و پلیمر با گروه‌های سولفونیل رنگ و هم‌چنین پیوندهای هیدروژنی گروه‌های آمید زنجیر و Si-OH با گروه‌های هیدروکسیل روی رنگ منجر به لخته‌سازی می‌شود اما از آنجایی که بخش عمده‌ی آن از بار سطحی ذرات منفی است با افزایش سیلیکا دافعه‌ی بین زنجیر پلیمر و رنگ افزایش می‌یابد و در ضمن افزایش سیلیکا منجر به پوشانده شدن سطح زنجیر و جلوگیری از برهم‌کنش بین رنگ و پلیمر می‌شود. در مورد نمونه خنثی نیز بخش عمده‌ی لخته‌سازی مربوط به پیوندهای هیدروژنی گروه‌های OH با زنجیر پلیمر است که در این مورد کمترین مقدار سیلیکا مناسب است (شکل ۶).



شکل ۶ درصد حذف رنگ بر حسب مقدار سیلیکا

اثر مقدار پلیمر

در همه‌ی موارد با افزایش مقدار پلیمر تا یک مقدار خاص درصد حذف رنگ افزایش می‌یابد و بعد از آن ثابت می‌شود. به طور کلی دو مکانیسم عمده‌ی خنثی‌سازی و پل‌سازی در مورد حذف رنگ وجود دارد. در مورد سرخ کاتیونی مکانیسم برتر جذب



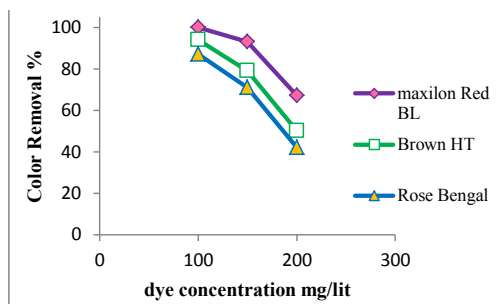
شکل ۱۰ لخته‌های به‌دست آمده از فرایند لخته سازی برای سرخ کاتیونی



شکل ۱۱ لخته‌های به‌دست آمده از فرایند لخته سازی برای رز بنگال

نتیجه گیری

این پژوهش به تصفیه‌ی فاضلاب‌های رنگی که به طور عمده از صنایع متفاوت به‌ویژه نساجی تولید می‌شود اختصاص داده شد. به منظور افزایش درصد حذف رنگ ذرات سیلیکا به پلیمر کاتیونی برای تهیه هیبرید افزوده شدند. ذرات سیلیکا برهم‌کنش خوبی با گروه‌های نیتروژن مثبت روی کوپلیمر و همین‌طور گروه‌های آمید دارند در نتیجه به سادگی جذب سطح پلیمر می‌شوند و به دلیل اندازه‌ی ذرات آن برهم‌کنش رنگ و پلیمر را بهبود می‌دهند. سه نمونه رنگ مورد آنالیز قرار گرفتند که نتیجه‌ها حاکی از این است که ذرات سیلیکا نقش زیادی در حذف رنگ دارند و به علت بار منفی این ذرات این سامانه در حذف رنگ‌های کاتیونی مؤثرتر است.



شکل ۸ نمودار درصد حذف رنگ برحسب غلظت رنگ

با توجه به داده‌های مربوط به درصد حذف رنگ برای هر سه رنگ می‌توان چنین برداشت کرد که این سامانه برای رنگ‌های غیریونی مناسب نیست. درضمن عملکرد آن در حذف رنگ‌های کاتیونی بهتر از رنگ‌های آنیونی است. شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ به ترتیب ساختار رنگ‌های قهوه‌ای آنیونی، سرخ کاتیونی، و صورتی خنثی رزبنگال و محلول هر رنگ بعد از لخته‌سازی آمده است



شکل ۹ لخته‌های به‌دست آمده از فرایند لخته سازی برای قهوه ای آنیونی

مراجع

- [1] Allegre, C.; Maisseu, M.; Charbit, F.; Moulin, P.; J. Hazard. Mater. B116, 57–64, 2004.
- [2] Reife, A.; Freeman, H.S.; “Environmental Chemistry of Dyes and Pigments”, John Wiley & Sons Inc., New York, 1996.
- [3] Aziz, H.A.; Alias, S.; Adlan, M.N.; Asaari, F.A.H.; Zahari, M.S.; Colour removal from landfill leachate by coagulation and flocculation processes, Bioresour Technol., 98, 218-220, 2007.
- [4] Beltran-Heredia, J.; Sanchez-Martin, J.; Davila-Acedo, M.A.; J. Hazard. Mater., 186, 1704-1712, 2011.
- [5] Canizares, P.; Martinez, F.; Jimenez, C.; Lobato, J.; Rodrigo, M.A.; Environ. Sci. Technol., 40,6418-6424, 2006.
- [6] Verma, A.K.; Dash, R.R.; Bhunia, P.; J. Environ. Manage., 93, 154-168, 2012.

- [7] Lee, J.W.; Choil, S.P.; Thiruvengkatachari, R.; Shim, W.G.; *Water Res.* 40,435–444, 2006.
- [8] Mo, J.; Hwang, J.E.; Jegal, J.; Kim, J.; *Dyes Pigm.* 72, 240–245, 2007.
- [9] Chuji, Y.; Saegusa, T.; *Adv. Polym. Sci.*, 100, 11–19, 1992.
- [10] Shi, X.M.; Xu, S.M.; Lin, J.T.; *Mater. Lett.*, 63, 527–529, 2009.
- [11] Xu, S.M.; Zhang, S.F.; Yang, J.Z.; *Mater. Lett.*, 62, 3999–4002, 2008.
- [12] Lee, K.E.; Teng, T.T.; Morad, N.; Poh, B.T.; Mahalingam, M.; *J. Desalination*, 266, 108–113, 2011.
- [13] Lee, K.E.; Teng, T.T.; Morad, N.; Poh, B.T.; Hong, Y.F.; *J. Sep. Purif. Technol.*, 75, 346–351, 2010.
- [14] Gao, B-Y.; Wang, Y.; Yue, Q-Y.; Wei, J-C.; Li, Q.; *J. Sep. Purif. Technol.*, 54, 157-163, 2007.
- [15] Kulicke, W.M.; Hörl, H.H.; *J. Colloid Polym. Sci.* 263, 530–540, 1985.
- [16] Plate, N.A.; Litmanovich, A.D.; Noa, O.V.; *Mak-romolekulyarnye reaktsii (Macromolecular Reactions)*, Moscow: Khimiya, 1977.
- [17] Brand, F.; Dautzenberg, H.; Jaeger, W.; Hahn, M.; *Angew. Makromol. Chem.* 1997, 248, 41.
- [18] Brand, F.; Dautzenberg, H.; Jaeger, W.; Hahn, M.; 199 ‘Polyelectrolytes with various charge densities: Synthesis and characterization of diallyldimethylammonium chloride-acrylamide copolymers’, *Die Angewandte Makromolekulare Chemie*, 248, 41-71, (Nr 4286).

Dual flocculant system for dye removal: Hybrid of poly(acrylamide-co-dy allyl dy methyle ammominm chloride)/ silica and anionic polyacrylamide(APAM)

H. Mahdavi^{1,*}, E. Dorrin² and F. Razmi²

1. Associate Prof. of Polymer, School of Chemistry, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran
2. MSc student in Chemistry, Research Institute of Petroleum Industry (RIPI), Tehran, Iran

Recieved: December 2013, Revised: February 2014, Accepted: April 2014

Abstract: The hybrid of the poly(AM-CO-DADMAC)/Silica were prepared throught physical blending method, which were used with anionic polyacrylamide as a dual flocculant for removal of anionic, cationic and non-ionic dyes. The properties of poly(AM-CO-DADMAC), APAM and poly(AM-CO-DADMAC)/Silica were determined using FT-IR, meanwhile the effects of the silica content, concentration of poly(AM-CO-DADMAC) and initial concentration of any dyes were studied on the flocculation of Brown HT, Basic Red 22 and Rose Bengal with this system. The results indicated that this system can be used as a good flocculant for ionic dye from effeluent and in the case of Basic Red 22, 100% color removal can be obtained.

Keywords: Poly(AM-CO-DADMAC)/silica, Anionic polyacrylamide (APAM), Dye, Flocculant