Color and Organic Compounds Removal from Textile Wastewater Using Water Treatment Wastes

Shahmansouri, M.R (Ph.D) *Bina, B.(Ph.D)* *Falahaty, M. (M.Sc)*

School of Public Health, Isfahan University of Mdical Sciences

Abstract

In the processes of textile industries, various kinds of dyes and chemical materials are used, which are mostly found in the wastewaters in high amount and have different quality. Therefore, their treatment are complicated. Dye is the most important contaminant in the textile wastewater and its removal is always a prime objective in the textile effluent quality control.

There are different methods for dye removal of the textile wastewater, including coagulation / flocculation, chemical oxidation, electro chemical technique, Ion exchange, membrane processes and adsorption process. The chemical treatment of textile industry effluents using coagulants is considred as the most effective way for removing the dyes and organic matters from such wastewaters.

In this study the aluminum hydroxide found in the setted sludge in the water treatment plant are recovered as alum by using the extra sulphuric acid from other industries. The recovered alum, in two forms of solution and suspension, were along with the sludge for treatment of textile industry effluents and its efficiency was compared to the alum and ferrochloride available in market. The results showed that in the textile industry wastewaters containing disperse, acid, ionic, cathionic and direct dyes, the recovered alum suspension, and after that, the liquid alum, have a higher efficiency in removing the dyes and organic matters, as compared to other coagulants found in the market ($P<0.05$).

حذف رنگ و مواد آلی فاضلاب‌های صنعت نساجی

باکمک زائدات تصفیه‌خانه آب

محمدرضا شاهمنصوری * بیژن بینا ** مجید فلاحتی ***

چکیده

تصفیه شیمیایی فاضلاب‌های نساجی با استفاده از مواد منعقدکننده به عنوان یکی از مؤثرترین روش‌های حذف رنگ و مواد آلی در این گونه فاضلاب‌ها شناخته شده است. در این تحقیق هیدرواکسید آلومینیوم موجود در لجن ته‌نشین شده در زلال‌سازهای تصفیه‌خانه آب با استفاده از اسید سولفوریک مازاد دیگر صنایع مورد بازیابی قرار گرفت. آلوم بازیابی شده در دو شکل محلول و سوسپانسیون همراه با گل برای تصفیه فاضلاب‌های نساجی استفاده گردید و کارایی آن با آلوم و کلرورفریک تجاری مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که در فاضلاب‌های نساجی حاوی رنگ‌های دیسپرس، اسیدی، یونیون، کاتیونیک و مستقیم، سوسپانسیون آلوم بازیافتی و پس از آن مایع آلوم بازیافتی راندمان بالاتری نسبت به منعقد کننده‌های تجاری در حذف رنگ و مواد آلی دارند ($P < 0/05$).

مقدمه

مواد رنگی در فاضلاب‌های صنعتی از نظر سمیت بر روی موجودات آبزی، اختلال در کارایی سیستم‌های متداول تصفیه فاضلاب و زیباشناختی محیط زیست مورد توجه مهندسین محیط زیست قرار دارد. تخلیه فاضلاب‌های رنگی به منابع آب‌های پذیرنده سطحی باعث بر هم زدن زیبایی آنها می‌شود و از لحاظ روانی مانع از استفاده مطلوب آنها می‌گردد، هر چند این گونه فاضلاب‌ها فاقد ترکیبات سمی هستند [۸ و ۱۰].

بک من [1] و سوکو [2] مشکل رنگ را در آب فقط به خاطر زیبایی محیط قابل توجه می‌دانند [۷] در حالی که لیتل [3] سمیت ۴۶ ماده رنگی موجود در فاضلاب را روی ماهی کپور گونه فتید [4] گزارش نمود و نشان داد که رنگ‌های کاتیونیک سمیت

* - عضو هیأت علمی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

** - استادیار دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

*** - دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

1- Beckmann 2- Sewekow

3- Little 4- Fathead Minnows

زیادتری نسبت به سایر رنگ‌ها دارند و در بین رنگ‌های کاتیونیک نوع بنفش بازیک با غلظت کشنده (Lc_{50}) معادل ۰/۴۷ میلی‌گرم در لیتر بیشترین سمیت را دارا بوده است. براون[1] و همکارانش اثرات بازدارندگی و تأثیر رنگینه‌ها روی سیستم‌های تصفیه فاضلاب هوازی مورد بررسی قرار داد و نشان دادند که از ۲۰۲ رنگینه آزمایش شده ۱۰ درصد اثر بازدارندگی داشته‌اند. فنگ[2] و میلر[3] اثرات بازدارندگی ۴۲ رنگ روی ۳۰ گونه باکتریای رشدکرده روی محیط را بررسی کردند و نشان دادند که گونه‌های گرم منفی اغلب نسبت به گونه‌های گرم مثبت نسبت به رنگ‌ها مقاوم‌ترند و رنگ‌های بازیک اثرات بازدارندگی بیشتری نسبت به رنگ‌های اسیدی و خنثی دارند. همچنین فردمن[4] و همکارانش گزارش کردند که از ۲۸ مورد رنگ مطالعه شده ۹ مورد روی سیستم‌های باکتری‌های مورد استفاده جهش‌زا بوده‌اند، گرچه در این مطالعه مشخص نگردیده که خاصیت جهش‌زایی مربوط به خود رنگ یا ترکیبات شیمیایی حاصل از تجزیه رنگ بوده است. در حالی که رالینز[5] و سام فیلد[6] با ارائه یافته‌های خود هیچ میزان سمیتی یا قدرت جهش‌زایی در غلظت حداکثر مجاز رنگ‌ها گزارش نکرده‌اند ولی تأکید به بررسی سمیت رنگ‌ها، روی موجودات آب‌های شیرین دارند [۱].

با توجه به نظرات متفاوت ارائه شده شاخص سمیت معینی برای فاضلاب‌های نساجی ارائه نگردیده ولی در همه موارد حذف رنگ از آنها مورد تأکید قرار گرفته است. روش‌های مختلفی جهت تصفیه فاضلاب‌های رنگی صنایع نساجی در سال‌های اخیر مورد مطالعه قرار گرفته و گزارش شده است. در رنگرزی‌ها انواع مختلف رنگ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد که تغییر متناوب رنگ‌های به‌کار رفته باعث تغییرات قابل ملاحظه‌ای در خواص فاضلاب از قبیل : pH، غلظت رنگ، مواد آلی و سایر آلاینده‌ها خواهد شد و در نتیجه با استفاده از فن‌آوری واحدی نمی‌توان درصد بالایی از همه انواع رنگ‌ها راکاهش داد [۳].

روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مختلفی جهت حذف رنگ از فاضلاب‌های صنعتی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌اند که به‌کارگیری هر یک بستگی به نحوه استفاده مجدد از پساب دارد. مهمترین روش‌های متعارف عبارتنداز : حوض‌های متعادل‌کننده که جهت ایجاد تعادل در پارامترهایی نظیر pH، شدت رنگ، غلظت مواد آلاینده و حرارت در یک شیفت‌کاری مورد استفاده قرار می‌گیرند و حوضچه ته‌نشینی که به منظور کاهش مواد معلق و کلوئیدی به‌کار می‌روند. روش‌های فیزیکی عموماً در کاهش رنگ حقیقی فاضلاب که مربوط به مواد رنگی محلول در آب است تأثیر کمتری دارند ولی استفاده از آنها به عنوان مکمل روش‌های شیمیایی و بیولوژیکی ضروری خواهد بود [۴].

روش‌های شیمیایی و بیولوژیکی بررسی شده از جمله روش‌های هوازی (لجن فعال، صافی چکنده)، روش‌های بیهوازی، روش‌های جذب سطحی (با استفاده از کربن فعال، خاک اره، خاک رس، تورب[7]، کیتوزان، خاکستر، آلومینای فعال و ...)، کوآگولاسیون و ته‌نشینی با استفاده از منعقد کننده‌هایی نظیر آلوم، کلرور فریک، سولفات آهن و ...، روش‌های الکتروشیمیایی، روش‌های اکسیداسیون (با استفاده از ازن، پراکسید هیدروژن همراه با اشعه ماوراء بنفش و ...) و روش تعویض یون جهت حذف رنگ از فاضلاب‌های نساجی پیشنهاد گردیده‌اند [۳، ۵].

در برخی از تحقیقات، ترکیبی از روش‌های فوق مورد استفاده قرار گرفته است به طوری که لین و چن[8] با استفاده از ترکیب روش‌های الکتروشیمیایی، کوآگولاسیون و تعویض یون موفق به حذف ۱۰۰٪ رنگ موجود در فاضلاب شده‌اند که می‌توان پساب‌های تولیدی در پروسه فرایند را مجدداً استفاده نمود [۳]، البته اکثر این روش‌ها فاقد توجیه اقتصادی هستند و لذا در عمل به خوبی مورد استفاده قرار نگرفته‌اند.

روش‌های بیولوژیکی عموماً به خاطر وجود مقادیر کم مواد آلی قابل تجزیه در رنگ‌های مختلف، اثر بازدارندگی رنگ‌ها روی گونه‌های مختلف باکتریایی و تغییرات سریع در انواع مواد رنگینه و آلی قادر به حذف مقادیر بالایی از

1- Brown
2- Fung
3- Miller
4- Friedman
5- Rawlings
6- Samfield
7- Peat
8- Lin & Chen

جدول ۱ - فن‌آوری‌های مختلف حذف رنگ از فاضلاب‌های نساجی

روش	حذف رنگ	سرعت	هزینه	ملاحظات
زغال فعال	خیلی خوب	کند	بالا	قابل بازیابی
فیلتراسیون	خوب (a)	سریع	بالا	مشکلات دفعی را حتی دارد
تصفیه با ازن	خوب	متوسط	بالا	همراه با کاهش COD
لخته‌سازی و انعقاد	خوب	متوسط	متوسط	کاهش COD و نیتریفیکاسیون و لجن دفعی
فن‌آوری‌های جدید	معمولاً خوب	سریع	بالا / متوسط	مؤثر بر رنگ‌های راکتیو و قابل کاربرد برای رنگ‌های اسیدی

a. نانوفیلتراسیون و اسمز برگشتی قدرت حذف رنگ خوبی دارند ولی کارایی اولترافیلتراسیون معمولی کمتر است.

رنگ‌های موجود در فاضلاب‌های نساجی نیستند. درگزینه‌های بیولوژیکی تصفیه فاضلاب‌های نساجی، روش لجن فعال به خاطر هزینه کمتر، مدت زمان ماند طولانی‌تر، کنترل دقیق‌تر و عدم حساسیت به بارهای آلی زیاد، بیشتر از سایر روش‌های بیولوژیکی تصفیه فاضلاب‌های نساجی مورد تأکید قرار گرفته است. هر چند لازم به ذکر است که مواد غیر قابل تجزیه بیولوژیکی بدون هیچ تغییری از تصفیه‌خانه‌های متداول عبور می‌کنند و باعث آلودگی آب‌های پذیرنده می‌گردند [۶ و ۷].

روش‌های مختلف حذف رنگ از فاضلاب‌های صنعتی در جدول ۱ به اختصار آورده شده است. جدول نشان می‌دهد که با مقایسه روش‌های مختلف، فرایند لخته‌سازی و انعقاد، روش آسان و کم هزینه‌ای نسبت به سایرین می‌باشد.

هدف از این بررسی دست‌یابی به انواعی از منعقد کننده‌هاست که استفاده از آنها دارای توجیه اقتصادی بیشتری نسبت به انواع منعقدکننده‌های تجاری متعارف باشند و کارایی مطلوبی را در عملیات تصفیه‌خانه فاضلاب‌های نساجی داشته باشند علاوه بر این که روش‌های لخته‌سازی و انعقاد هزینه‌های کمتری در بین سایر روش‌ها دارند.

مواد و روش‌ها

تعداد ۲۰ نمونه فاضلاب از حمام‌های رنگرزی کارخانجات قدس، بافناز، صنایع پشم، نخ استرچ و پارس مستقر در شهر اصفهان قبل از تخلیه به فاضلابرو نمونه‌برداری شد. نمونه‌های حمام رنگ در کارخانجات نساجی حاوی بیشترین غلظت ماده رنگی به اضافه مواد شیمیایی مصرفی باقیمانده در حین رنگرزی می‌باشند. نمونه‌های فاضلاب حاوی رنگ‌های گروه دیسپرس، اسیدی، یونیون، کاتیونک و مستقیم که به طور معمول در صنایع پشم، الیاف مصنوعی، نخ اکریلیک و پنبه مورد استفاده قرار می‌گیرند، با استفاده از آزمایش جار، کارایی چهار منعقدکننده برای حذف رنگ و مواد آلی (COD) و همچنین بررسی تغییر در پارامترهای دیگری چون pH، جامدات کل، جامدات محلول، جامدات معلق، کدورت و هدایت الکتریکی در نمونه‌های فاضلاب، مورد بررسی قرار گرفتند.

انواع منعقدکننده‌های مورد استفاده در این تحقیق عبارتنداز:

- آلوم تجاری [$Al_2(SO_4)_3, 14H_2O$] با درجه خلوص ۱۷٪ بر حسب اکسید آلومینیوم (Al_2O_3)
- کلرورفریک جامد با درجه خلوص ۹۹/۵٪ بر حسب $FeCl_3$
- سوسپانسیون آلوم بازیافتی : نمونه‌هایی از لجن ته‌نشین شده در زلال‌سازهای تصفیه‌خانه آب اصفهان که از زائدات مازاد عملیات تصفیه آب به حساب می‌آیند و حاوی هیدرواکسید آلومینیوم هستند، تحت تأثیر یکی از ترکیبات

جانبی[1] کارخانه نیروکلر اصفهان است که اسید سولفوریک با درجه خلوص ۸۴٪ است قرارگرفته و به این ترتیب هیدروا کسید آلومینوم تبدیل به سولفات آلومینیوم در سوسپانسیونی گردید که حاوی ذرات ناخالصی به خصوص کلوئیدهای معدنی می‌باشد. منشأ ذرات کلوئیدی در سوسپانسیون مزبور همان ذرات ته‌نشین شده در زلال‌سازهای تصفیه‌خانه‌های آب می‌باشد که وقتی به منظور تصفیه به فاضلاب نساجی اضافه گردند موجب افزایش ذرات کلوئیدی در نمونه‌های فاضلاب خواهند شد و نشان دهنده تأثیر مثبت در حذف رنگ و مواد آلی فاضلاب در بعضی از گروههای رنگی است. (تغییر حالت از شرایط انعقاد جارویی به علت خنثایی بار الکتریکی در مکانیسم انعقاد) [۹].

- مایع آلوم بازیافتی : فاز مایع موجود در سوسپانسیون حاصل از بازیافت آلوم باکمک عمل ته‌نشینی از فاز جامد آن جداگردید و پس از تعیین غلظت آلوم بازیافتی در مایع مزبور، به عنوان چهارمین منعقدکننده در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت.

آزمایش جار توسط هر منعقدکننده در پنج غلظت ۱۰۰، ۳۵۰، ۶۰۰، ۸۵۰ و ۱۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر همراه با یک شاهد انجام گرفته و بهترین منعقدکننده و همچنین بهترین غلظت آن منعقدکننده در محدوده فوق معین شد.

غلظت رنگ در نمونه‌های فاضلاب خام و نیز هر یک از پنج مورد نمونه حذف رنگ شده در آزمایش جار، بر اساس عبور نور در ۳۰ طول موج مختلف اندازه گیری و طول موج غالب، درصد درخشندگی و خلوص رنگ در هر یک از نمونه‌ها تعیین گردید. غلظت مواد آلی بر اساس اکسیژن مورد نیاز شیمیایی COD طبق دستورالعمل‌های استاندارد و با استفاده از راکتور COD و دستگاه Dr 2000 اندازه گیری و به صورت میلی‌گرم در لیتر گزارش گردید. سایر نکات مربوط به انجام آزمایشات جهت اندازه گیری پارامترهای دیگر آزمایشی طبق دستورالعمل‌های استاندارد صورت گرفته است و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از برنامه کامپیوتری SPSS و نمودارها با برنامه HG version 3 ترسیم گردیده است.

بحث و نتایج

- فاضلاب‌های حاوی رنگ دیسپرس

جدول ۲ اثر منعقدکننده‌های مختلف روی فاضلاب‌های حاوی رنگ دیسپرس را نشان می‌دهد. با استفاده از مایع آلوم بازیافتی و سوسپانسیون آلوم بازیافتی افزایش درصد درخشندگی رنگ (حذف رنگ)، اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد و روش‌های آلوم تجاری و کلرور فریک تجاری نشان می‌دهد. مایع آلوم بازیافتی با ۸۰ درصد افزایش درخشندگی بیشترین تأثیر را در بین چهار منعقدکننده مورد استفاده از خود نشان داد. کاهش اکسیژن شیمیایی در هر چهار روش مشاهده می‌شود، که کاهش غلظت مواد آلی با چهار منعقدکننده تقریباً یکسان می‌باشد و بیشترین کاهش مربوط به آلوم تجاری با مقدار ۱۹/۳ درصد است. pH محیط در هر چهار روش باکاهش همراه بود که به علت مصرف یون هیدروکسیل توسط Al^{3+} و Fe^{3+} می‌باشد. مقدار جامدات کل و محلول با استفاده از مایع آلوم بازیافتی و سوسپانسیون آلوم بازیافت افزایش می‌یابد که به علت حضور املاح در فرایند بازیافت می‌باشد. همچنین کدورت حاصل در هر چهار روش افزایش می‌یابد که مقدار آن در استفاده از مایع آلوم بازیافتی و سوسپانسیون آلوم بازیافتی با افزایش بیشتری همراه بود. در مجموع آلوم بازیافتی و پس از آن سوسپانسیون آلوم بازیافتی نسبت به منعقدکننده‌های تجاری در حذف رنگ دیسپرس از فاضلاب‌ها دارای عملکرد بهتری می‌باشند.

آزمون همبستگی بین متغیرها در روش‌های مختلف نشان داد که با $r= -0/723$، افزایش درصد درخشندگی رابطه معکوسی با کاهش میزان اکسیژن مورد نیاز شیمیایی دارد. نمودار ۱ تأثیر منعقدکننده‌های مختلف را در افزایش درصد درخشندگی رنگ، جامدات کل و کاهش اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، در فاضلاب‌های حاوی رنگ دیسپرس نشان می‌دهد و نمودار شماره ۶ تأثیر غلظت‌های مختلف مایع آلوم بازیافتی را در افزایش درصد درخشندگی و کاهش اکسیژن مورد نیاز شیمیایی نشان می‌دهد که با توجه به نمودار مزبور می‌توان غلظت ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر را به عنوان غلظت بهینه پیشنهاد نمود.

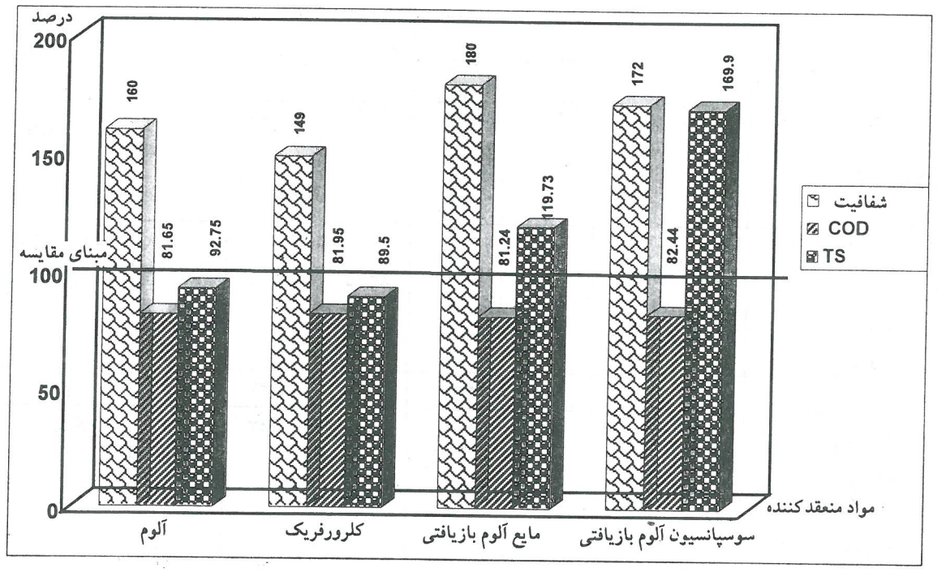
1- By - Product

جدول ۲- مقایسه اثر منعقدکننده‌های مختلف در فاضلاب‌های رنگ دیسپرس

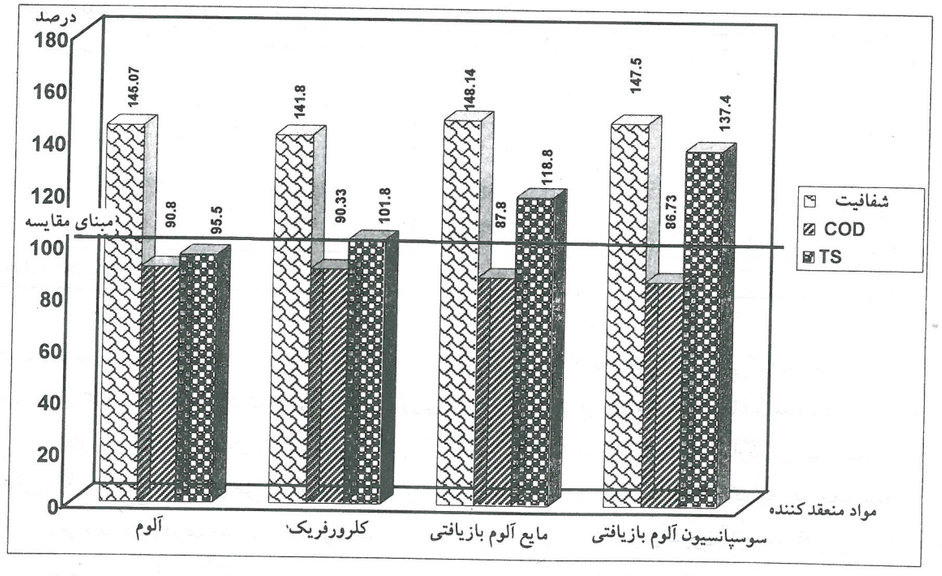
پارامتر	واحد	مواد منعقدکننده مصرفی				شاهد	نتایج آزمون آماری		ملاحظات (نتایج تست دانکن)
		آلوم تجاری	کلرورفریک تجاری	مایع آلوم بازیافتی	سوسپانسیون آلوم بازیافتی		شاخص آماری	Pvalue	
درخشندگی رنگ	٪	۶۰	۴۹	۸۰	۷۲	۰	۲/۰۵	۰/۰۵	روش‌های آلوم بازیافتی با شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد.
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی	٪	۸۱/۶۵	۸۳/۹۵	۸۴/۲۴	۸۲/۴۴	۱۰۰	۳/۲۴	۰/۰۱۵	تمامی روش‌ها با شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد
pH	-	۵/۳۱	۳/۹۸	۴/۶۷	۴/۶۲	۷/۵۹	-	-	-
جامدات کل	mg/l	۱۸۴۳	۱۴۸۸	۱۹۳۰	۲۷۱۶	۱۷۰۲	۱۴/۴۴	۰/۰۰	روش‌های مایع آلوم بازیافتی یا سوسپانسیون آلوم بازیافتی اختلاف معنی‌داری با هم دارند.
جامدات محلول	mg/l	۱۸۳۹	۱۴۱۴	۱۸۸۲	۲۶۴۵	۱۶۲۶	۲/۸۳	۰/۰۴۸	روش‌های مایع آلوم بازیافتی یا سوسپانسیون آلوم بازیافتی اختلاف معنی‌داری با هم دارند.
جامدات معلق	mg/l	۴	۷۴	۴۸	۷۱	۷۶۰	۱/۲۹	۰/۲۸	
کدورت	N.T.U	۶/۳۸	۱۰/۴	۱۳/۰۸	۱۴/۹۲	۱/۴۶	۲/۰۱	۰/۰۹۹	روش‌های کلرورفریک، مایع آلوم بازیافتی و مایع آلوم بازیافتی همراه باگل با شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد.
هدایت الکتریکی	$\mu s/cm^2$	۸۹۲	۱۲۴۶	۱۰۳۱	۱۳۶۴	۸۰۶	-	-	

- فاضلاب‌های حاوی رنگ اسیدی

جدول ۳ تأثیر منعقدکننده‌های مختلف روی فاضلاب‌های حاوی رنگ‌های اسیدی را نشان می‌دهد. درصد درخشندگی رنگ در مایع آلوم بازیافتی با ۴۸ درصد، بیشترین مقدار را نشان می‌دهد ولی درصد کاهش اکسیژن مورد نیاز شیمیایی در سوسپانسیون آلوم بازیافتی بیشترین مقدار را نشان می‌دهد. افزایش کدورت با استفاده از کلرورفریک در مقایسه با سایر موارد بیشتر است که به واسطه ایجاد فلوک‌های نسبتاً ریزی است که به سختی ته‌نشین می‌گردند. استفاده از غلظت نسبتاً بالای نمک فریک موجب باقیماندن مقادیری از یون آهن سه ظرفیتی می‌گردد که از معایب به کارگیری این منعقدکننده می‌باشد. جدول ۳ نشان می‌دهد که در بین هر چهار منعقدکننده مورد آزمایش، سوسپانسیون آلوم بازیافتی و پس از آن مایع آلوم بازیافتی کارایی بهتری نسبت به منعقدکننده‌های تجاری داشته‌اند [۲]. نمودار ۲ تأثیرات چهار منعقدکننده مورد استفاده را در افزایش درصد درخشندگی، جامدات کل و کاهش مواد



نمودار ۱: مقایسه اثر مواد منعقدکننده در افزایش درخشندگی رنگ - افزایش کل جامدات محلول و کاهش مواد آلی (COD) در فاضلاب‌های حاوی رنگ دیسپرس



نمودار ۲: مقایسه اثر مواد منعقدکننده در افزایش درخشندگی رنگ - افزایش کل جامدات محلول و کاهش مواد آلی (COD) در فاضلاب‌های حاوی رنگ اسیدی

جدول ۳- مقایسه اثر منعقدکننده‌های مختلف در فاضلاب‌های رنگ اسیدی

پارامتر	واحد	مواد منعقد کننده مصرفی				شاهد	نتایج آزمون آماری		ملاحظات (نتایج تست دانکن)
		آلوم تجاری	کلرورفریک تجاری	مایع آلوم بازیافتی	سوسپانسیون آلوم بازیافتی		شاخص آماری	P_{value}	
درخشندگی رنگ	٪	۴۵/۰۷	۴۱/۸	۴۸/۱۴	۴۷/۵	۰	۳/۳۷	۰/۰۱۳	تمامی روش‌ها با شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی	٪	۹۰/۸	۹۰/۳۳	۸۷/۸۰	۸۶/۷۳	۱۰۰	۲/۹۸	۰/۰۲۴	تمامی روش‌ها با شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد
pH	-	۴/۹	۳/۸۲	۴/۴۹	۴/۵	۷/۷۳	-	-	-
جامدات کل	mg/l	۳۵۷۳	۳۸۶۰	۴۳۷۵	۴۹۵۱	۳۷۲۹	۱۳/۸	۰/۰۰	روش‌های مایع آلوم بازیافتی با مایع آلوم بازیافتی همراه باگل با هم اختلاف معنی‌داری دارند.
جامدات محلول	mg/l	۳۵۲۴	۳۸۰۲	۴۲۸۲	۴۸۱۱	۳۶۳۹	۱۳/۸	۰/۰۰۰۰	روش مایع آلوم بازیافتی بامایع آلوم‌بازیافتی‌همراه باگل با هم اختلاف معنی‌داری دارند
جامدات معلق	mg/l	۴۹	۵۸	۹۳	۱۴۰	۹۰	۱/۹۳	۰/۱۱۳	
کدورت	N.T.U	۶/۲	۲۲/۷۶	۷/۶۲	۵/۱۷	۴/۲۸	۷/۸۱	۰/۰۰۰۰	روش‌های کلرورفریک، با بقیه روش‌ها اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد.
هدایت الکتریکی	$\mu s/cm^2$	۳۳۵۵	۳۶۳۹	۳۴۶۸	۳۹۵۵	۳۴۴۶	-	-	

آلی COD و نمودار ۷ تأثیر غلظت‌های مختلف سوسپانسیون آلوم بازیافتی در افزایش درصد درخشندگی، کاهش اکسیژن مورد نیاز شیمیایی برای فاضلاب‌های حاوی رنگ‌های اسیدی را نشان می‌دهد که با توجه به نمودار مذکور غلظت ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر بهترین اثر را داشته است.

- فاضلاب‌های حاوی رنگ یونیون

رنگ‌های یونیون جهت رنگرزی همزمان پشم و الیاف مصنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرند و در حقیقت مخلوطی از دو دسته رنگ اسیدی و دیسپرس می‌باشند. جدول ۴ تأثیرمنعقدکننده‌های مورد استفاده را بر روی این رنگ‌ها نشان می‌دهد. بررسی نشان داد که تأثیر منعقدکننده‌ها، روی این رنگ‌ها کمتر از تأثیر آن بر روی رنگ‌های اسیدی و دیسپرس به طور مجزا می‌باشد. حداکثر درصد درخشندگی رنگ در منعقد کننده‌های کلرور فریک و سوسپانسیون آلوم بازیافتی و حداکثر کاهش اکسیژن مورد نیاز شیمیایی در سوسپانسیون آلوم بازیافتی می‌باشد. گرچه سوسپانسیون آلوم بازیافتی ایجاد کدورت بیشتری نسبت به سایر منعقدکننده‌ها داشت ولی اگر اساس تصفیه، حذف رنگ و کاهش COD در نظر گرفته شود، در بین منعقدکننده‌های مورد آزمایش سوسپانسیون آلوم بازیافتی و پس از آن مایع آلوم بازیافتی دارای عملکرد بهتری نسبت به

جدول ۴- مقایسه اثر منعقدکننده‌های مختلف در فاضلاب‌های رنگ یونیون

پارامتر	واحد	مواد منعقد کننده مصرفی				شاهد	نتایج آزمون آماری		ملاحظات (نتایج تست دانکن)
		آلوم تجاری	کلرورفریک تجاری	مایع آلوم بازیافتی	سوسپانسیون آلوم بازیافتی		شاخص آماری	P_{value}	
درخشندگی رنگ	٪	۲	۱۶	۵	۱۵	۰	۷/۵۳	۰/۰۰۰۰	روش‌های کلرورفریک و مایع آلوم بازیافتی با بقیه اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهند.
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی	٪	۹۶	۹۳	۹۳	۹۶	۱۰۰	۱/۶۳	۰/۱۷۶۳	
pH	-	۴/۷	۳/۵۴	۴/۴۸	۴/۴۶	۷/۳۸	-	-	
جامدات کل	mg/l	۲۸۱۷	۲۷۱۵	۳۴۵۲	۴۵۲۸	۲۲۱۵	۳۳/۹	۰/۰۰۰۰	روش‌های آلوم بازیافتی با دو روش آلوم و کلرورفریک اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد.
جامدات محلول	mg/l	۲۷۹۴	۲۶۸۵	۳۳۷۷	۴۴۲۹	۲۱۹۶	۳۳/۴	۰/۰۰۰۰	روش آلوم بازیافتی با دو روش آلوم و کلرورفریک اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد.
جامدات معلق	mg/l	۲۳	۳۰	۷۵	۹۹	۱۹	۲/۳۸	۰/۰۵۷	
کدورت	N.T.U	۸/۷۸	۶/۳۷	۷/۹۴	۱۸	۰/۷	۱/۰۶	۰/۳۸	
هدایت الکتریکی	$\mu s/cm^2$	۲۱۴۷	۲۶۲۴	۲۲۳۴	۲۶۸۰	۱۹۹۰	-	-	

منعقدکننده‌های تجاری بوده است.

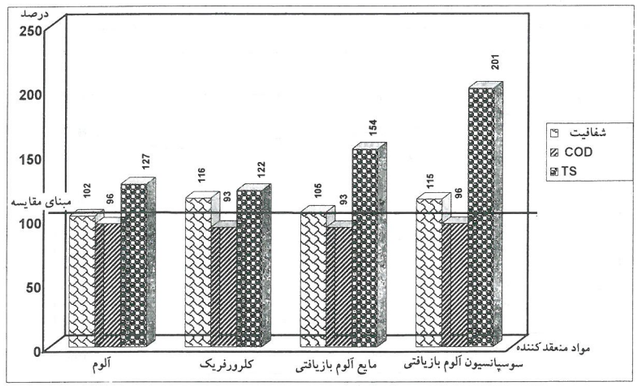
نمودار ۳ افزایش درصد درخشندگی رنگ، افزایش جامدات کل و کاهش درصد اکسیژن مورد نیاز شیمیایی در فاضلاب‌های حاوی رنگ یونیون را نشان می‌دهد.

نمودار ۸ نشان می‌دهد که بهترین غلظت مصرفی سوسپانسیون آلوم بازیافتی در محدوده ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر قرار دارد.

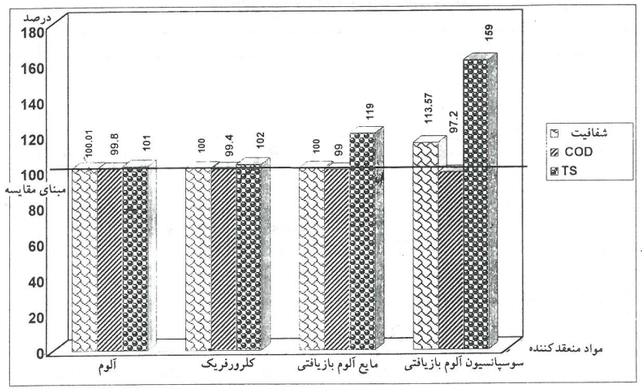
- فاضلاب‌های حاوی رنگ کاتیونیک

دسته رنگ‌های کاتیونیک بیشتر برای رنگرزی الیاف مصنوعی از نوع اکلریلیک مورد استفاده قرار می‌گیرند. جدول ۵ تأثیر منعقدکننده‌های مورد آزمایش روی فاضلاب حاوی‌رنگ کاتیونیک را نشان می‌دهد. منعقدکننده‌های آلوم تجاری، کلرورفریک تجاری و مایع آلوم بازیافتی تأثیر قابل ملاحظه‌ای در حذف رنگ و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی نداشته، ولی سوسپانسیون آلوم بازیافتی تأثیر نسبتاً خوبی در کاهش رنگ و COD از خود نشان می‌دهد.

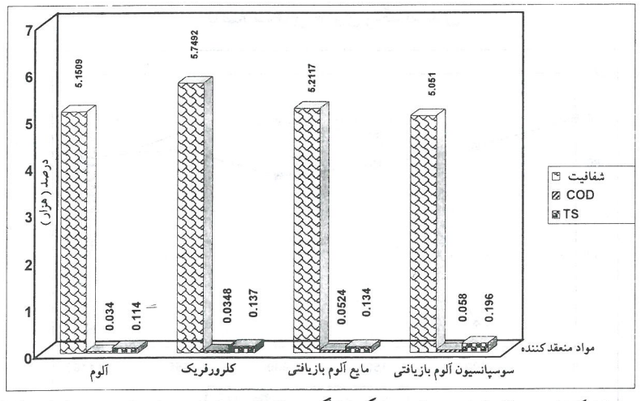
نمودار ۴ تأثیر منعقدکننده‌های مختلف در افزایش درصد درخشندگی رنگ، افزایش درصد جامدات معلق و کاهش درصد مواد آلی در این فاضلاب‌ها را نشان می‌دهد. همچنین نمودار ۹ تأثیر غلظت‌های مختلف سوسپانسیون آلوم بازیافتی



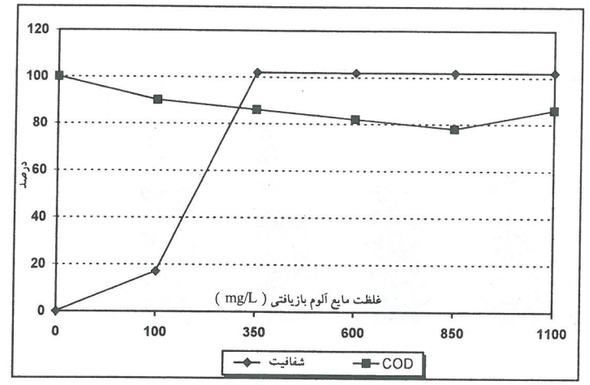
نمودار ۳: مقایسه اثر مواد منعقدکننده در افزایش درخشندگی رنگ - افزایش کل جامدات محلول و کاهش مواد آلی (COD) در فاضلاب‌های حاوی رنگ یونیون



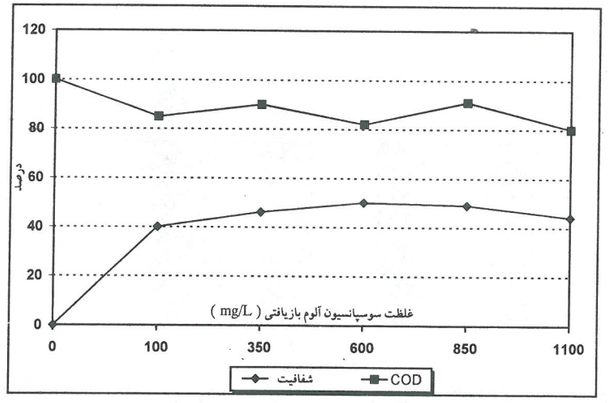
نمودار ۴: مقایسه اثر مواد منعقدکننده در افزایش درخشندگی رنگ - افزایش کل جامدات محلول و کاهش مواد آلی (COD) در فاضلاب‌های حاوی رنگ کاتیونیک



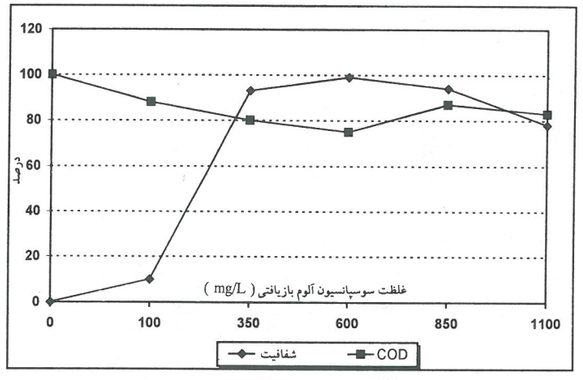
نمودار ۵: مقایسه اثر مواد منعقدکننده در افزایش درخشندگی رنگ - افزایش کل جامدات محلول و کاهش مواد آلی (COD) در فاضلاب‌های حاوی رنگ مستقیم



نمودار ۶: تأثیر غلظت مایع آلوم بازیافتی در افزایش درخشندگی وکاهش مواد آلی (COD) در فاضلاب‌های حاوی رنگ دیسپرس



نمودار ۷: تأثیر غلظت سوسپانسیون آلوم بازیافتی در افزایش درصد درخشندگی رنگ وکاهش مواد آلی (COD) در فاضلاب‌های حاوی رنگ اسیدی



نمودار ۸: تأثیر غلظت سوسپانسیون آلوم بازیافتی در افزایش درخشندگی رنگ وکاهش مواد آلی (COD) در فاضلاب‌های حاوی رنگ یونیون

جدول ۵- مقایسه اثر منعقدکننده‌های مختلف در فاضلاب‌های رنگ کاتیونیک

پارامتر	واحد	مواد منعقد کننده مصرفی				شاهد	نتایج آزمون آماری		ملاحظات (نتایج تست دانکن)
		آلوم تجاری	کلرورفریک تجاری	مایع آلوم بازیافتی	سوسپانسیون آلوم بازیافتی		شاخص آماری	P_{value}	
درخشندگی رنگ	٪	۰	۰	۰	۱۳/۵۷	۰	۸۷/۴	۰/۰۰۰۰	روش‌های مایع آلوم بازیافتی همراه باگل با بقیه روش‌ها اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد.
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی	٪	۹۹/۸	۹۹/۴	۹۹	۹۷/۲	۱۰۰	۵/۰۸	۰/۰۰۱۱	روش مایع آلوم بازیافتی همراه باگل با بقیه روش‌ها اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد.
pH	-	۴/۶۷	۳/۴۲	۴/۴	۴/۴۴	۷/۶۷	-	-	
جامدات کل	mg/l	۲۸۷۲	۲۹۱۷	۳۳۲۸	۴۳۸۰	۲۸۶۲	۱۶/۱	۰/۰۰۰۰	روش‌های مایع آلوم بازیافتی همراه باگل با بقیه اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد.
جامدات محلول	mg/l	۲۸۶۹	۲۸۸۸	۳۲۹۱	۴۳۳۵	۲۸۵۶	۱۵/۴	۰/۰۰۰۰	روش مایع آلوم بازیافتی همراه باگل با بقیه اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد.
جامدات معلق	mg/l	۳	۲۹	۳۷	۴۵	۶	۰/۶۴	۰/۶	
کدورت	N.T.U	۱/۳۱	۵/۳۶	۱/۲۴	۲/۸	۲/۰۳	۵/۴	۰/۰۰۰۶	روش کلرورفریک با بقیه روش‌ها اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد.
هدایت الکتریکی	$\mu s/cm^2$	۲۴۰۷	۲۶۲۸	۲۶۷۰	۳۰۱۷	۲۴۷۲	-	-	

روی فاضلاب‌های حاوی رنگ کاتیونیک با توجه به افزایش درصد درخشندگی رنگ و درصد کاهش مواد آلی COD را نشان می‌دهد. غلظت مناسب در محدوده ۸۵۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

- فاضلاب‌های حاوی رنگ مستقیم

رنگ‌های مستقیم برای رنگرزی پنبه مورد استفاده قرار می‌گیرند و معمولاً فاضلاب غلیظی از رنگ دارند به طوری که عبور نور در اکثر نمونه‌های خام صفر می‌باشد. نتایج به دست آمده در جدول ۶ نشان می‌دهد که اثر مواد منعقدکننده در این فاضلاب‌ها بیشتر از سایر فاضلاب‌های رنگی مورد مطالعه قبلی می‌باشد. درصد درخشندگی رنگ تا پنجاه برابر افزایش را نشان داد و کاهش اکسیژن مورد نیاز شیمیایی در استفاده از منعقد کننده آلوم و کلرورفریک تجاری ۶۶درصد، در مایع آلوم بازیافتی ۴۸ درصد و در سوسپانسیون آلوم بازیافتی به ۴۲ درصد رسید. تغییرات فوق می‌تواند به خاطر بالا بودن درصد مواد قابل

جدول ۶- مقایسه اثر منعقدکننده‌های مختلف در فاضلاب‌های رنگ مستقیم

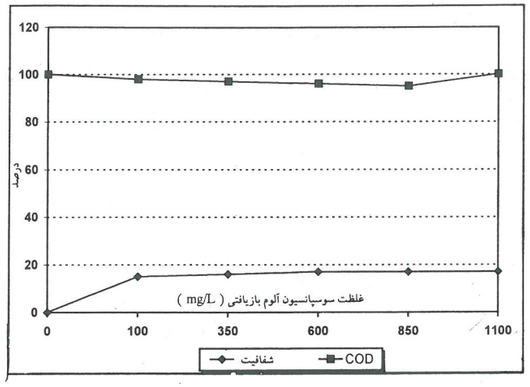
پارامتر	واحد	مواد منعقد کننده مصرفی				شاهد	نتایج آزمون آماری		ملاحظات (نتایج تست دانکن)
		آلوم تجاری	کلرورفریک تجاری	مایع آلوم بازیافتی	سوسپانسیون آلوم بازیافتی		شاخص آماری	P_{value}	
درخشندگی رنگ	٪	۵۱۵۱	۵۷۴۹	۵۲۱۲	۵۰۵۱	۱۰۰	۲/۹۶	۰/۰۳۲	همه روش‌ها با شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهند
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی	٪	۳۴	۳۴/۸	۵۲/۴	۵۸	۱۰۰	۴۹	۰/۰۰۰۰	همه روش‌ها با شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهند.
pH	-	۴/۲۷	۲/۷۱	۳/۹۳	۳/۹۸	۷/۲۲	-	-	
جامدات کل	mg/l	۲۳۱۲	۲۶۸۱	۲۷۳۰	۴۰۰۰	۲۰۳۸	۹/۷۵	۰/۰۰۰۰	روش‌های مایع آلوم بازیافتی همراه باگل با بقیه اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد.
جامدات محلول	mg/l	۲۲۸۸	۲۶۵۴	۲۶۹۶	۳۸۸۶	۲۰۰۶	۷/۴۲	۰/۰۰۰۲	روش مایع آلوم بازیافتی همراه باگل با بقیه اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد.
جامدات معلق	mg/l	۲۴	۲۷	۳۴	۱۱۴	۳۲	۱/۹۳	۰/۱۳	
کدورت	N.T.U	۰/۳۷	۱۵/۱۲	۰/۶	۰/۴۶	۰/۲۵	۶/۷۵	۰/۰۰۰۳	روش کلرورفریک با بقیه روش‌ها اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد.
هدایت الکتریکی	$\mu s/cm^2$	۱۸۴۰	۲۴۱۳	۲۰۱۵	۲۵۳۹	۱۷۹۱			

اکسیداسیون در رنگ‌های مستقیم باشد. آزمون آماری اختلاف معنی‌داری را بین افزایش درصد درخشندگی و کاهش مواد آلی با تمام مقادیر مصرفی منعقدکننده‌ها با نمونه شاهد نشان می‌دهد و این در صورتی است که آزمون، اختلاف معنی‌داری بین روش‌ها با همدیگر در حذف رنگ و مواد آلی نشان نمی‌دهد، در حالی که با مصرف کلرورفریک، افزایش کدورت در پساب حاصل از تصفیه، بیش از دیگران است.

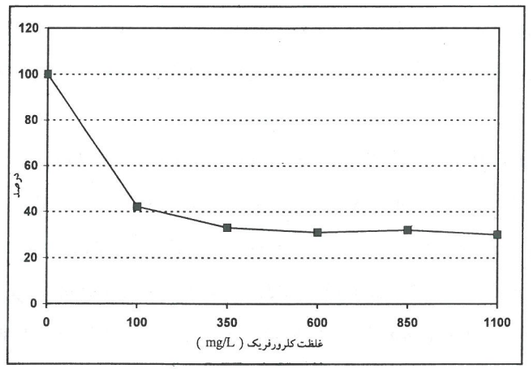
اثر چهار منعقدکننده مورد بررسی در افزایش درصد درخشندگی، افزایش جامدات کل و کاهش درصد اکسیژن شیمیایی مورد نیاز در نمودار ۵ نشان داده شده است. نمودارهای ۱۰ و ۱۱ نیز تأثیر غلظت‌های مختلف کلرورفریک را در کاهش مواد آلی (COD) و افزایش درصد درخشندگی نشان می‌دهند. البته لازم به ذکر است که تفاوت معنی‌داری بین چهار منعقد کننده مصرفی در عملیات تصفیه با استفاده از تست دانکن وجود ندارد و هر چهار منعقدکننده از نظر حذف رنگ کارایی مناسبی دارند ($P<0/05$).

نتیجه گیری

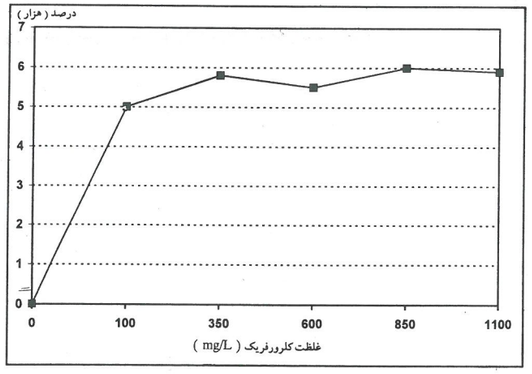
در این تحقیق تأثیر سوسپانسیون آلوم بازیافتی و مایع آلوم بازیافتی در مقایسه با آلوم و کلرور فریک تجاری به عنوان



نمودار ۹: تأثیر غلظت سوسپانسیون آلوم بازیافتی در افزایش درخشندگی و کاهش مواد آلی (COD) در فاضلاب‌های حاوی رنگ کاتیونیک



نمودار ۱۰: تأثیر غلظت کلرورفریک در کاهش مواد آلی (COD) در فاضلاب‌های حاوی رنگ مستقیم



نمودار ۱۱: تأثیر غلظت کلرورفریک در افزایش درخشندگی رنگ در فاضلاب‌های حاوی رنگ مستقیم

منعقدکننده در تصفیه فاضلاب‌های نساجی، حاوی رنگ‌های مختلف بررسی شد. نتایج به دست آمده نشان داد که سوسپانسیون آلوم بازیافتی و پس از آن مایع آلوم بازیافتی از لجن تصفیه‌خانه‌های آب تأثیر بیشتری نسبت به منعقدکننده‌های تجاری برای حذف رنگ و مواد آلی از فاضلاب‌های نساجی از خود نشان می‌دهند. بررسی‌های اقتصادی نیز که به طور جداگانه مورد مطالعه قرار گرفت موید اقتصادی بودن مصرف این منعقد کننده‌ها نسبت به منعقدکننده‌های تجاری (آلوم و کلرورفریک) است.

منابع و مراجع

1- Barnes, D., Forster, C.F., and Hrudey, S.E. (1984). " *Surveys in Industial Wastewater Treatment* ", 1 th ed, Vol.2.

2- Cooper, P. (1993). " *Removing Color from Dyehouse Wastewater - A Critical Review of Technology Available* ", Vol. 109, Cortaulds Textile Nottigham, uk.

3- Sheng, H.L., Ming, L.C. (1997). " *Treatment of Textiel Wastewater by Chemical Methods for Reuse* ", J. AWWA, 31:868-876.

4- Marmagne, O., and coste. c. (1996). " *Color Removal from Textile Plant Effluents* ", by American Dyestuff Reporter.

5- Norman, P.I., Seddon, R. (1991). " *Pollution Control in the Textile Industry. The Chemical Auxiliary Manufacturers Role* ", J.SDC., Vol. 107, Allied Colloids Pic, Low moor, Brad ford, UK.

6- Moran. C., (1995). " *Reducing the Toxicity of Textile Effluent* ", J.SDC, Vol 114.

7- Shelley, M.L., Ran Dall, C. W., and King, P.H. (1976). " *Evaluation of Chemical Biological and Chemical - Physical Treatment for Textile Dyeing and Finishing Waste* ", J. WPCF. Vol. 48, No.4.

8- AWWA, APHA (1992). " *Standard Methods for Water and Wastewater Examination* ", 18 th edition.

۹- شاهمنصوری، م.ر.، مصداقی نیا، ع.، بینا، ب.، و مرتضوی، ح. (۱۳۷۵). "بازیابی آلوم از لجن حاصل از زلال سازهای تصفیه خانه آب اصفهان"، فصلنامه علمی - ترویجی آب و فاضلاب، شماره ۲۵، صفحات ۱۹ تا ۳۰.

۱۰- میرباقری، س. (۱۳۷۶). "تصفیه فاضلاب های رنگی کارخانجات صنایع نساجی به کمک مواد جاذب سطحی با هدف بازیافت"، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، جلد چهارم، دانشگاه صنعتی شریف تهران.