



معاونت پژوهش و فناوری



جمهوری اسلامی ایران

تحقیق و بررسی میزان جذب رنگهای آزو از فاضلابهای

صنعتی با استفاده از سپیولیت

(۱۱-۲۱۱۲)

(گزارش نهایی)

جهاد دانشگاهی استان یزد

سیدحسین میرحسینی

گروه پژوهشی سرامیک صنعتی

اردیبهشت ۹۵

کتابخانه

Archive of SID.

شناسنامه گزارش

عنوان گزارش: تحقیق و بررسی میزان جذب رنگهای آزو از فاضلابهای صنعتی با استفاده از سپیولیت

شماره ویرایش: سوم

عنوان فارسی طرح پژوهشی: تحقیق و بررسی میزان جذب رنگهای آزو از فاضلابهای صنعتی با استفاده از سپیولیت

عنوان انگلیسی طرح: FM Report Azo

کد طرح: ۱۱-۲۱۱۲

نام فایل گزارش: FM Report Azo

تالیف کننده‌ها: لیلا شریفی - سید حسین میرحسینی - عصمت کریمی - محمدرضا بلور فروش - پریسا اسدال... پور

ویرایش علمی: شهرزاد زارع

ویرایش ادبی: پریسا اسدال... پور

تاریخ طرحنامه: ۹۱/۰۸/۲۳

تاریخ تصویب در شورای بررسی نهایی طرح‌ها: ۹۱/۱۱/۲۸

تاریخ شروع اجرای طرح: ۹۱/۱۲/۱۵

سطح دسترسی به سند: محرمانه (بدون موافقت کتبی، نسخه برداری یا تکثیر ممنوع است)

نام مسئول یا همکار	محل استخدام	تخصص	عناوین فعالیت‌هایی که در طرح انجام داده‌اند	کارکرد در طرح به ساعت
لیلا شریفی	جهاد دانشگاهی یزد	نانو	تحلیل نتایج	۳۶۰
عصمت کریمی	جهاد دانشگاهی یزد	شیمی	انجام آزمایشات جذب رنگ آزو	۲۴۰
محمدرضا بلور فروش		معدن	انجام تستهای ماده معدنی سپیولیت	۳۶۰
سید حسین میرحسینی	جهاد دانشگاهی یزد	سرامیک	مسئول طرح	۴۸۰
پریسا اسدال... پور	جهاد دانشگاهی یزد	سرامیک	گردآوری مطالب	۱۰۰

سازمان مجری: جهاد دانشگاهی واحد یزد

گروه مجری: گروه سرامیک صنعتی

نشانی: یزد- خیابان کاشانی - طبقه فوقانی مجتمع تجاری سیدالشهدا- جهاد دانشگاهی واحد یزد

تلفن محل کار تالیف کننده اصلی: ۰۳۵-۳۶۲۴۱۰۸۱

نشانی پست الکترونیک تالیف کننده اصلی: mirhosseini.jd@gmail.com

چکیده:

پساب‌های صنعتی به خصوص صنایع نساجی، به‌عنوان یکی از مشکلات زیست محیطی اساسی مطرح می‌باشند. رنگ‌ها موادی با ساختار پیچیده هستند که در نتیجه‌ی مراحل مختلف صنعت نساجی وارد فاضلاب می‌شوند. رنگ‌ها اغلب سمی، سرطان‌زا و جهش‌زا هستند. این مطالعه با هدف بررسی کارایی ماده معدنی سپیولیت به‌عنوان یک جاذب طبیعی جدید در حذف رنگ‌های آزوی قرمز Red 80، آزوی آبی Blue 71 و آزوی سیاه Black 19 از محلول‌های آبی انجام شد. برای یافتن شرایط بهینه، پارامترهای مختلف از جمله دما و pH محلول و نیز زمان تماس مورد بررسی قرار گرفت. که نتایج شامل حذف ۹۸/۷ درصد رنگ قرمز، ۸۸/۹ درصد رنگ آبی و ۹۲/۵ درصد رنگ سیاه در دمای محیط و شرایط بهینه بدست آمد. در این تحقیق همچنین تصفیه نمونه پساب یکی از کارگاه‌های رنگرزی واقع در شهر یزد با سپیولیت بررسی شد و حذف ۵۹/۷ درصد رنگ از پساب حاصل گشت.

در قسمت دیگری از طرح کارایی مواد معدنی دیگر از جمله کائولن، میکا و بنتونیت در مقایسه با سپیولیت برای حذف یکی از مهم‌ترین رنگ‌های مصرفی صنعت نساجی، رنگ زرد دیسپرس، نیز مطالعه شد. در این آزمایشات برای اثر دادن ۴ نمونه خاک از انواع سپیولیت، بنتونیت، میکا و کائولن در غلظت‌های گوناگون بر روی رنگ زرد دیسپرس در غلظت‌ها و زمان‌های تماس متفاوت، از روش طرح آزمایش تاگوچی بهره گرفته شد. نتایج به دست آمده نشان از حذف ۹۲ درصد زرد دیسپرس در شرایط بهینه نوع و غلظت خاک، غلظت رنگ و زمان اختلاط داشت.

کلید واژگان: سپیولیت، رنگ آزو، فاضلاب صنعتی

فهرست عناوین

عنوان	شماره صفحه
فصل اول	۸
۱-۱-مقدمه	۹
۱-۲-رنگ	۱۰
۱-۲-۱-رنگینه ها	۱۰
۱-۲-۱-۱-رنگدانه های طبیعی	۱۱
۱-۲-۱-۲-رنگدانه های آلی	۱۱
۲-۲-۱-رنگهای آزو	۲۰
۱-۲-۲-۱-رنگ دانه های آزوی نامحلول	۲۱
۲-۲-۲-۱-رنگ دانه های آزو تراکمی	۲۲
۳-۲-۲-۱-رنگدانه های آزو اسید	۲۲
۳-۲-۱-طبقه بندی رنگهای آزو بر حسب تعداد گروههای آزو	۲۳
۱-۳-۲-۱-رنگهای منو آزو	۲۳
۲-۳-۲-۱-رنگهای دی آزو	۲۴
۳-۳-۲-۱-رنگهای تترا آزونیموم	۲۴
۴-۲-۱-کاربردهای رنگ آزو در صنایع مختلف	۲۴
۱-۴-۱-ایزوترم جذب	۳۸
۲-۴-۱-سیتتیک شیمیایی تجربی	۳۹
۳-۴-۱-ترمودینامیک	۴۱
۱-۳-۴-۱-آنتالپی	۴۱
۲-۳-۴-۱-آنتروپی	۴۲
۳-۳-۴-۱-تابع گیس	۴۲
۵-۱-مروری بر روشهای مختلف حذف رنگهای آزو از پسابهای صنعتی	۴۳
۱-۵-۱-حذف رنگ آزوی راکتو از فاضلاب به وسیله سیستم بی هوازی ABR	۴۵
۲-۵-۱-حذف رنگهای آزو به کمک روش انعقاد	۴۵
۳-۵-۱-تخریب فوتوکاتالیزوری برخی از رنگهای آزو به کمک ذرات با ابعاد نانوی	۴۶

۴۸..... ۱-۵-۴- استفاده از جاذبه‌های طبیعی جهت حذف رنگهای آزو.....

۶۵..... فصل دوم

۶۶..... ۱-۲- روش آزمایش.....

۶۶..... ۲-۲- بررسی خصوصیات جاذب مصرفی.....

۶۶..... ۱-۲-۲- آنالیز طیف FTIR.....

۶۷..... ۳-۲- انتخاب رنگهای اصلی آزو و بررسی ساختار آنها.....

۷۰..... ۴-۲- بهینه سازی پارامترهای موثر بر جذب آلاینده.....

۷۰..... ۱-۴-۲- آماده سازی نمونه ها.....

۷۱..... فصل سوم

۷۲..... ۱-۳- نتایج تست های صورت گرفته بر سپیولیت.....

۷۳..... ۱-۳-۲- آنالیز حرارتی (STA).....

۷۴..... ۱-۳-۳- آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD).....

۷۵..... ۱-۳-۴- آنالیز شیمیایی (XRF):.....

۷۵..... ۱-۳-۵- نتایج تست اندازه گیری سطح ویژه.....

۷۷..... ۱-۳-۶- آنالیز IR.....

۷۸..... ۱-۳-۷- نتایج آنالیز UV-Visible.....

۸۰..... فصل چهارم

۸۱..... ۱-۴- نتایج آنالیز UV-Visible.....

۸۱..... ۱-۴-۱- اثر مقدار جاذب.....

۸۴..... ۲-۴- اثر زمان.....

۸۷..... ۳-۴- اثر دما.....

۹۰..... ۴-۴- اثر pH.....

۹۳..... ۵-۴- سنتیک جذب.....

۹۸..... ۶-۴- بررسی کارایی جاذب سپیولیت در فاضلابهای صنعتی.....

۱۰۲..... ۷-۴- مقایسه جاذب سپیولیت با جاذبه‌های دیگر و تحقیقات مشابه.....

۱۰۵.....۸-۴-۸-۴ روش تاگوچی.....

۱۰۵.....۱-۸-۴-۸-۴ رنگ زرد دیسپرس.....

۱۰۸.....۲-۸-۴-۸-۴ آزمایشات ۲۵ گانه تاگوچی.....

۱۱۷..... **فصل پنجم**.....

۱۱۸.....۱-۵. نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات.....

۱۲۱..... **مراجع**.....

Archive of SID

فصل اول
مروری بر منابع مطالعاتی

Archive of SID

۱-۱- مقدمه

رنگها ترکیبات آلی آروماتیکی هستند که نور را در طول موج ۴۰۰-۸۰۰ نانومتر جذب می‌کنند. در حال حاضر حدود ۱۰۰ هزار نوع رنگ مختلف در سراسر دنیا تولید می‌شود. از بین رنگهای موجود، تولید رنگهای آزو بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است. این رنگها در صنایع مختلف از جمله نساجی، چاپ، چوب و کاغذ، آرایشی و بهداشتی کاربرد دارد. از بین این صنایع، صنعت نساجی بیشترین میزان مصرف رنگ را دارد. بررسی‌ها نشان داده است در حدود ۲۰-۱۵ درصد رنگ مصرفی در این صنعت وارد فاضلاب می‌شود.

این رنگها با ساختار پیچیده شان مقاوم به تجزیه بیولوژیکی از عوامل سرطان زاست. بنابراین پساب حاصل از کارخانه‌های نساجی باید تصفیه شوند. یک مشکل بزرگ در تصفیه پساب‌های رنگی نساجی غیر موثر بودن فرایندهای بیولوژیکی می‌باشد. فرایندهای فیزیکی نظیر انعقاد و جذب هم بعضی اوقات منجر به تبدیل آلاینده پساب‌ها به دیگر حدواسط‌ها شده و ایجاد آلودگی‌های نوع دوم می‌کنند. در فرایند شیمیایی جهت حذف رنگ از تکنیک‌ها و مواد مختلفی استفاده می‌شود از جمله از کربن فعال و رزین‌های پلیمری به منظور حذف رنگ از پسابهای صنعتی استفاده می‌شود اما از نظر اقتصادی به صرفه نیستند [۲۱].

مواد معدنی طبیعی مانند سپیولیت، زئولیت و بنتونیت به‌علت دارا بودن مساحت سطح وسیع و ساختار الک مولکولی به‌عنوان جذبی مناسب برای بسیاری از مواد از جمله ترکیبات آلی هستند [۳ و ۴]. در این طرح از سپیولیت موجود در معادن داخل کشور به منظور حذف آلاینده‌های محیط زیستی از جمله حذف رنگ از پساب‌های صنعتی استفاده خواهد شد که از نظر اقتصادی به‌صرفه می‌باشد.

۱-۲-رنگ

ناحیه مرئی طیف امواج الکترو مغناطیس شامل طول موج های حدود ۴۰۰nm تا ۸۰۰nm است. تابش پایین تر از ۴۰۰nm که در ناحیه ماورا بنفش قرار دارد، قابل رویت نیست. تابش بالاتر از ۸۰۰nm نیز قابل رویت نیست و در ناحیه مادون قرمز قرار دارد.

مادون قرمز					ماورابنفش	
IR	قرمز	زرد	سبز	آبی	UV	
نامرئی ۸۰۰nm	مرئی				نامرئی ۴۰۰ nm	

نور سفید (یعنی تابشی که تقریباً به طور یکنواخت در محدوده ۴۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر گسترده است) چنانچه از یک منشور یا یک شبکه پراش عبور کند، به طیف های رنگی که عبارتند از بنفش، نیلی، آبی، سبز، زرد، نارنجی، قرمز تجزیه می شود. تمام مواد رنگی، رنگینه ها، قابلیت جذب تعدادی از تابشهای ناحیه مرئی را دارند و چنین جذبی به خواص مولکولی جسم بستگی دارد [۱].

۱-۲-۱- رنگینه ها

رنگ در دنیای امروز نقش بسیار مهمی در پرورش ذوق و قریح بشری و ارضای نیازهای زیبا شناختی وی ایفا می کند. بدین جهت است که احساس رنگ را به تعبیری حس هفتم می گویند. انسان در پهنه تولید پوشاک، هنر، نقاشی، صنایع کشتیرانی و امور ارتباطات، محصولات مصرفی در صنایع فضایی و خلاصه در همه شئون با رنگ سر و کار دارد. به طور کلی، از رنگ علاوه بر ایجاد زیبایی محیط، جهت حفاظت اشیا در مقابل عوامل طبیعی و غیره استفاده می شود.

سابقه استفاده از مواد رنگی توسط انسان، به دوران غارنشینی می رسد. اولین کاربرد واقعی و عملی مواد رنگی را می توان در ساختن کشتی نوح مربوط دانست که برای جلوگیری از نفوذ آب و پوسیدگی آن، از مواد رنگی استفاده شده بود. بعدها از

مواد رنگی برای حفاظت چوب از پوسیدگی در بناهای چوبی و زمانی که استفاده از وسایل آهنی متداول شد، برای جلوگیری از زنگ زدن آنها استفاده می‌شد.

معمولاً ترکیبات رنگی را به طرق مختلف طبقه‌بندی می‌کنند. مثلاً رنگهای گیاهی و غیر گیاهی، رنگ طبیعی و مصنوعی، رنگ آلی و معدنی. ولی یکی از طبقه‌بندیهای جدید بر اساس کاربرد رنگهاست. در اینجا ما محصولات خود را بر اساس کارایی آنها در رنگرزی طبقه‌بندی می‌کنیم و خصوصیات هر یک و کاربردهای آنها را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۱-۲-۱-۱- رنگدانه‌های طبیعی

رنگدانه‌های معدنی طبیعی از پوسته زمین استخراج می‌شوند، خرد شده، شسته شده، از لحاظ اندازه درجه‌بندی می‌شوند. غالباً برای این رنگدانه‌های طبیعی، معادل مصنوعی هم وجود دارد، یعنی رنگدانه از اجزاء دیگری در اثر یک فرآیند شیمیایی ساخته می‌شود. ظاهراً از نظر شیمیایی با نمونه طبیعی یکسان است، ولی اغلب خواص متفاوتی دارد و معمولاً به خاطر شکل بلوری مطلوبتر، خلوص بیشتر و دانه‌بندی مطلوبتر، مرغوبتر از نوع طبیعی می‌باشد. رنگدانه‌های معدنی طبیعی که هنوز اهمیت دارند، از خانواده اکسید آهن می‌باشند که عبارتند از: گل اخرا، گل ماشی (خاک سرخ)، اخرای زرد، اکسیدهای آهن قرمز زرد و سیاه.

پیگمانهای قرمز سرنج، پیگمانهای زرد و نارنجی CdS، پیگمانهای آبی، پیگمانهای لاجورد یا اولترامارین، پیگمانهای سبز Cr_2O_3 از عمده‌ترین رنگدانه‌های معدنی است.

۱-۲-۱-۲- رنگدانه‌های آلی

امروزه موارد مصرف رنگدانه‌های آلی به مراتب بیشتر از رنگدانه‌های معدنی می‌باشند. بعضی از جدیدترین رنگدانه‌ها، ساختمان آلی فلزی دارند. از مهمترین رنگدانه‌های آلی می‌توان به گروه فتالوسیانین‌ها اشاره کرد که طیف رنگهای آبی و سبز را در بر می‌گیرند و فتالوسیانین مس، رنگدانه آبی می‌باشد که به علت خواص مقاومتی خوب در برابر عوامل مختلف، یک رنگدانه با ارزش به شمار می‌رود. فتالوسیانین‌ها را از فتالیک و اوره سنتز می‌کنند. رنگدانه‌های آلی، به صورتی که امروزه در صنعت استفاده می‌شوند، در طبیعت یافت نمی‌شوند و تقریباً همه آنها سنتزی می‌باشند.

تقریباً از قرن ۱۹ به بعد عوامل رنگزا در رنگرزی البسه و نقاشی به کار رفته است. بررسیهای اخیر نشان داده است که تولید و مصرف رنگها امروزه به بالای ۷۰۰۰۰۰ تن می رسد. امروزه این رنگها در صنایع مختلف از جمله نساجی، چاپ، چوب و کاغذ، آرایشی و بهداشتی کاربرد دارد. از بین این صنایع، صنعت نساجی بیشترین میزان مصرف رنگ را دارد. رنگها شامل مولکولهای رنگ کننده و گروههای کمک کننده رنگ را می توان به ترکیبات فلزی واکنشی، اسیدی، مستقیم، پایه، متفرقی، رنگدانه، مواد ثابت کننده رنگرزی، خم، سولفور، آنیونی، حلال، نخهای رنگی و غیره دسته بندی نمود. رنگ های مورد مصرف در صنعت نساجی را بر اساس کاربرد، عمدتاً به این ترتیب تقسیم بندی می کنند.

مواد رنگرزی مصرفی در نساجی به دو گروه اصلی و هر گروه به چند شاخه فرعی تقسیم شده است. الف). مواد رنگرزی گروه اول: تمام مواد رنگرزی در این گروه در آب نامحلول هستند که به گروههای فرعی دیگری تقسیم می شوند:

۱). مواد رنگرزی در نهایت به صورت ذرات بزرگ نامحلول در آب بر روی الیاف ایجاد می شوند و شامل مواد رنگرزی گوگردی، خمی و آزوئیک است .

۲). با الیاف پیوند کوالانسی تشکیل می دهند و شامل مواد رنگرزی راکتیو می باشد.

۳). مواد رنگرزی که با دندانهای فلزی روی الیاف به کار می روند و شامل مواد رنگرزی کرومی، یا متاکروم هستند.

۴). ذرات غیر قابل حل در داخل لیف محاط می شوند و به خاطر اندازه و بی اثر بودنشان فرآیند برگشت ناپذیر است.

ب). مواد رنگرزی گروه دوم: تمام مواد رنگرزی در این گروه در آب محلول هستند به جز مواد رنگرزی دیسپرس که خیلی جزئی محلول می باشند و شامل مواد رنگرزی اسیدی، مستقیم، بازی و دیسپرس هستند.

۱- رنگینه های اسیدی

معمولاً محیط رنگرزی این رنگینه ها، اسیدی است و شامل اسیدهایی مانند اسید سولفوریک، یا استیک یا فرمیک می باشد. از نظر شیمیایی رنگینه های اسیدی شامل مشتقات ازو، تری آریل متان، انتراکینون، نیترو و... هستند و برای رنگ کردن ابریشم، پلی آمیدها، آکرلیک، الیاف پروتئینی مانند پشم و همچنین کاغذ، چرم و جوهرها به کار می روند. مقاومت

رنگینه های اسیدی بسیار متغیر است و به ساختمان شیمیایی آن ها بستگی دارد و به طور کلی برای ایجاد رنگ های روشن به کار برده می شوند. به عنوان نمونه می توان از متیل اورانژ نام برد. چنان چه الیاف رنگ شده با رنگ های اسیدی را با آمونیاک بجوشانیم رنگ حاصله از بین می رود و این روش یکی از راه های تشخیص رنگ های اسیدی است.

- رنگینه های اسیدی و متال کمپلکس

از آنجایی که رنگینه های اسیدی در محلول های حاوی اسید برای رنگرزی الیاف پروتئینی چون پشم استفاده می شوند، به این نام نامیده شده اند. از نقطه نظر شیمیائی این رنگینه ها می توانند رنگینه های آنیونیک نامیده شوند چرا که آنها شامل کروموفورهای هستند که به آنها گروه های با این مشخصات متصل هستند. به عبارت دیگر شامل گروه های همچون سولفونات و کربوکسیلیک هستند. بر حسب نوع ترکیب شیمیائی کروموفور به سه گروه اصلی می توانند تقسیم شوند: مشتقات آزو، آنتراکینون و تری فنیل متان. ساختارهای دیگری چون زانترن البته نه به مقدار زیاد برای بدست آوردن بعضی عمق ها در بین آنها نیز وجود دارد.

از نقطه نظر شیمیائی رنگینه های متال کمپلکس شامل یک اتم فلز هستند که یک یا بیشتر مولکول رنگینه (معمولاً رنگینه های اسیدی) به آن متصل است. این اتصال از طریق پیوند کئوردینانس بوده که در نهایت مولکول نسبت به الیاف پروتئینی و پلی آمید تمایل دارد. از نقطه نظر فرآیند رنگرزی اینها بصورت رنگینه های اسیدی در نظر گرفته شده و در کتاب مرجع رنگ آنها را جزیی از گروه رنگینه های اسیدی به حساب می آورند. رنگینه های متال کمپلکس با هدف تشکیل پیوندهای کئوردینانس با لیف در مقایسه با رنگینه های اسیدی به بازار عرضه شدند. از مزایای این رنگینه ها می توان به آسانی کاربرد، ثبات مرطوب بسیار بالا و قابلیت پوشش نایکنواختی های رنگرزی که در قسمت های مختلف لیف پشم ممکن است وجود داشته باشد، اشاره نمود. ویژگی قابلیت پوشش نایکنواختی های رنگرزی در قسمت های مختلف لیف پشم ناشی از اختلاف در توانائی جذب این رنگینه ها روی لایه کیوتیکل می باشد.

سه نوع رنگینه متال کمپلکس وجود دارد:

رنگینه های متال کمپلکس یک به یک که در یک محیط اسیدی قوی عمل رنگرزی با آنها انجام می شود. اولین رنگینه از این نوع در سال ۱۹۱۹ تولید شد.

رنگینه‌های متال کمپلکس یک به دو در یک محیط خنثی عمل رنگرزی با آنها انجام می‌شود. این رنگینه‌ها با توجه به نوع گروه‌های حل شونده خود می‌توانند به دو گروه به شرح زیر تقسیم شوند:

رنگینه‌های متال کمپلکس که فاقد گروه‌های حل شونده یونی هستند، این رنگینه‌ها در سال ۱۹۵۱ به بازار عرضه شدند. رنگینه‌های متال کمپلکس یک به دو که شامل گروه‌های حل شونده یونی هستند. این رنگینه‌ها از سال ۱۹۷۰ به بعد به بازار عرضه شدند.

۲- رنگینه‌های بازی

این رنگینه‌ها که از نظر شیمیایی به رنگ‌های کاتیونی معروف هستند به عنوان رنگدانه‌ها به کار می‌روند ولی چنانچه به صورت نمک در آب محلول بوده و برای رنگ کردن کاغذ، چرم، سلولز و الیاف پلی‌آکریلو نیتریل مورد مصرف دارند. این رنگینه‌ها از شفافیت مخصوص بر خوردار هستند ولی ثبات خوبی در مقابل عوامل گوناگون ندارند. با این وجود اغلب الیاف را می‌توان با آن‌ها رنگ کرد. رنگ‌های تری‌آریل متان و دی‌آریل متان از عمده‌ترین رنگ‌های کاتیونی هستند.

نمونه‌هایی از این دسته، سبزمالاکیت و بنفش کریستال می‌باشند. اگر الیاف رنگرزی شده را با اسیداستیک بجوشانیم و مقداری از رنگ زدوده شود مشخصه به کارگیری رنگ بازی جهت رنگرزی بوده است. رنگینه‌های بازی، از ترکیبات آلی یا هیدروکلریدها می‌باشند که کروموفورها بصورت کاتیونی است. از این نظر این دسته رنگها را رنگهای کاتیونی نیز می‌گویند و معمولاً دارای فرمول HO--R--NH^+ عمومی هستند. رنگ باز وقتی ظاهر می‌شود که بصورت نمک در آید. رنگهای مختلفی که به این گروه تعلق دارند عبارتند از:

- مشتقات تری‌فنیل متان نظیر مالاکیت سبز، متیل سبز و ...؛
- مشتقات تیازین که بارزترین نمونه آن آبی متیلن است؛
- رنگ بازی که حاوی گروه اکسازین است، مانند آبی ملدولا؛
- آذین‌ها مانند قرمز خنثی؛

• رنگهای بازی که حاوی گروههای آزو هستند، مانند قهوه ایبیسمارک.

این رنگینه ها بیشتر برای رنگ کردن الیاف پلی آکریلونیتریل، چرم، کاغذ و سلولز به کار میروند. حلال در آب و بسیاری از حلال های آلی می باشند.

۳- رنگینه های مستقیم

رنگینه های مستقیم عمدتاً از رنگینه های پلی آزو با وزن مولکولی بالا هستند که بدون به کارگیری دندانها برای رنگری الیاف سلولزی، کاغذ و چرم استفاده می شوند زیرا آن ها در واقع رنگ های آنیونی هستند که در محیط آبی شامل الکترولیت، می توانند به مواضع قطبی الیاف متصل شوند مانند قرمز کنگو. چنان چه لیفی را در حمامی خنثی رنگ کنیم و پس از شستن، رنگ در آنها باقی بماند، نشان دهنده وجود رنگینه های مستقیم است.

علت اینکه این رنگ ها را مستقیم نامیده اند این است که این کلاس رنگی اولین کلاسی بود که قابلیت رنگری الیاف پنبه به صورت مستقیم را دارا بود. رنگری با این رنگ به دقت فراوانی نیاز دارد زیرا رنگ مستقیم از یکنواختی خوبی هنگام رنگری برخوردار نیست.

این دسته از رنگها دارای گروهها و عوامل قطبی مانند عوامل اسیدی و بازی هستند و با استفاده از این گروهها، رنگ با الیاف ترکیب می شود. برای رنگری پارچه با اینگونه رنگها فقط کافی است که پارچه را در محلول آبی و داغ رنگ فرو ببریم. اسید پیکریک و ماریتوس زرد از جمله این رنگها هستند. هر دو رنگ، اسیدی بوده و با گروههای آمینه الیاف پروتئینی ترکیب می شوند. نایلون نیز که یک پلی آمید است، با این رنگها قابل رنگری است. این رنگها بدلیل داشتن گروههای اسید سولفونیک یا نمکهای سدیم آنها به رنگهای اسیدی شباهت دارد و بطور کلی، از ترکیبات سولفونه شده آزو می باشند. این رنگها مستقیماً برای رنگری الیاف سلولزی بکار گرفته می شود. اما برای الیاف پروتئینی شرایط ویژه ای لازم است. این رنگ ها دارای ثبات ضعیف تا متوسط در روی پشم هستند و معمولاً پشم را در حمام خنثی یا اسیدی ضعیف رنگ می کنند.

رنگینه های مستقیم به سه دسته تقسیم می شوند؛

کلاس A: نسبت به دما و نمک و حساس نیستند.

کلاس B: نسبت به نمک حساس هستند و بایستی نمک کنترل شود.

کلاس C: نسبت به دما هستند و بایستی در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد نمک به حمام اضافه شود.

ماهیت اتصال مولکولهای رنگ به الیاف عمدتاً پیوند هیدروژنی است که بین هیدروژن گروه OH الیاف سلولزی با گروههای $\text{NH} = \text{NH}$ و $\text{O} - \text{OH}$ موجود بر روی رنگهای مستقیم برقرار می‌شود. با افزایش دما تمایل رنگ پذیری الیاف، کاهش می‌یابد.

رنگینه های مستقیم در حمام به صورت ذرات مجتمع وجود دارند. ان امر باعث کاهش میزان رنگ پذیری الیاف خواهد شد زیرا اولاً بزرگ بودن ذرات باعث کاهش سطح تماس بین لیف و رنگ می شود و دوماً منافذ الیاف آنقدر بزرگ نیست که بیش از ۲ یا ۳ مولکول مجتمع شده به آن نفوذ کنند. با افزایش دمای حمام تا 90°C الی 100°C هم مولکولهای رنگ به صورت تکی درمی آیند وهم منافذ لیف بازتر می شود و ورود رنگ به لیف آسانتر می گردد.

در رنگرزی با رنگ های مستقیم با افزایش زمان رنگرزی، رنگ کالا یکنواخت تر خواهد شد ولی نباید زمان آنقدر زیاد باشد که رنگ مستقیم تجزیه گردد. همچنین با افزایش R : L سرعت رمق کشی کم می شود که این امر نیز به یکنواختی بهتر، کمک می کند.

نمک در رنگرزی با این رنگ ها اولاً بار سطحی منفی سلولز را خنثی کرده و امکان جذب سطحی رنگ را افزایش می‌دهد، دوماً امکان رنگرزی یکنواخت را فراهم می‌کند. با افزایش غلظت رنگ، مقدر نمک نیز باید زیادتر شود. نمک همچنین باعث کاهش حلالیت رنگ می شود، در نتیجه در هنگام رنگرزی باید به این نکته نیز توجه شود. در مورد حلالیت این رنگ ها ذکر این نکته ضروری است که رنگینه های با حلالیت بالاتر در فرآیند رنگرزی به R : L پایبندی نیاز دارند. همچنین با افزایش PH محیط، سرعت رنگرزی افزایش می یابد.

برای رنگرزی با رنگ های مستقیم بر روی الیاف ابریشم بهتر است از صابون (Detergent) استفاده شود. صابون دارای یون های مثبت (هیدروفیل) و منفی (هیدروفوب) می باشد که یونهای منفی، گروه بزرگتر هستند. در هنگام رنگرزی بهتر است از صابون های نانیونیک یا آنیونیک استفاده شود زیرا صابون های کاتیونیک باعث کاهش رمق کشی می شوند در

حالی که صابون های آنیونیک به جذب بیشتر رنگ کمک می کنند؛ چون تعداد گرو های جاذب الرطوبه الیاف ابریشم کمتر از پشم می باشد، استفاده از صابون های آنیونیک سرعت نفوذ رنگ را افزایش می دهند. وجود صابون در حمام باعث می شود که پس از اتمام عملیات رنگرزی و در هنگام استفاده از محصول ابریشمی، اصطکاک بین الیاف ابریشم و بدن کم شود؛ به عبارت دیگر باعث کاهش الکتریسیته ساکن می شود. به طور کلی ابریشم، هادی الکتریکی خوبی نمی باشد.

۴- رنگینه های حلال

این رنگینه ها شامل رنگ های مونو و بیس ازو و یا مشتقات آنتراکینونی و ... می باشند ولی با این تفاوت که حاوی گرو های قابل حل در آب، مانند گرو سولفونیک نبوده و لذا باید آن ها را با حلال های آلی مانند الکل ها به کاربرند و عموماً برای رنگ کردن مواد طبیعی، روغن ها، چربی ها، واکس ها، پلاستیک ها و پلی استرها استفاده می شوند رنگینه نارنجی سودان G جزء این دسته هستند.

۵- رنگینه های دندانهای یا کمپلکس فلزی

رنگینه های فوق بیشتر از انواع شیمیایی ازو و آنتراکینونی بوده که عموماً دارای گرو های هیدروکسیل در موقعیت هایی هستند که می توانند با فلزاتی نظیر کروم، کبالت، مس، قلع، آهن و آلومینیم ایجاد کمپلکس هایی بنماید تا سرعت رنگرزی بالا رفته و مهمتر از همه، ثبات رنگرزی را سبب شوند.

عمل دندان زدن الیاف را می توان به سه طریق انجام داد:

۱- دندان پیش از رنگ

۲- دندان توام با رنگ

۳- دندان پس از رنگ

یکی از بهترین مثالها در این زمینه استفاده از آلزارین در تشکیل رنگ قرمز بوقلمون است [۳].

۶- رنگینه های راکتیو

نام این مواد رنگزا از کلمه Reactive به معنای واکنش پذیر گرفته شده است و علت این نامگذاری به علت ایجاد واکنش شیمیایی بین این دسته از مواد رنگزا و الیاف مورد رنگری است. مواد رنگزای راکتیو حتی با آب و یا رطوبت هوا نیز واکنش داده و هیدرولیز می شوند. بنابراین، هنگام استفاده از این مواد رنگزا باید تا حد امکان $R : L$ حمام پایین باشد. استفاده از آب نرم در رنگری با مواد رنگزای راکتیو الزامی است؛ زیرا این مواد رنگزا با سختی های موجود در آب واکنش داده و رسوب می کنند. در مواردی که آب نرم در اختیار نباشد هنگام رنگری از یک ماده سختی گیر آب استفاده می شود. پس از تحقیقات بسیار، شرکت ICI مواد رنگزای راکتیو را به دو دسته تقسیم کرد:

- مواد رنگزای راکتیو نوع سرد
- مواد رنگزای راکتیو نوع گرم

مواد رنگزای راکتیو نوع سرد دارای فعالیت شیمیایی بالایی هستند. بنابراین، در درجه حرارت های پایین برای رنگری کالا به کار می روند. در حالی که مواد رنگزای راکتیو نوع گرم دارای فعالیت شیمیایی کمتری بوده و در نتیجه در درجه حرارت های بالاتر مورد استفاده قرار می گیرند. مواد رنگزای راکتیو اولیه نوع سرد با نام پروسیون ام (Procion M) و مواد رنگزای راکتیو نوع گرم با نام پروسیون اچ (Procion H) به بازار عرضه شدند.

بعدها تولید کنندگان دیگر انواع مختلفی از مواد رنگزای راکتیو را ساخته و دسته بندی های متفاوت دیگری برای آن قائل شدند.

مواد رنگزای راکتیو به صورت پودر هستند و باید از انبار کردن این مواد رنگزا به حالت پودر در محیط های گرم و مرطوب و نگهداری آنها در ظروف سرباز پرهیز کرد. این دسته از مواد رنگزا در حالت محلول به علت هیدرولیز شدن در آب باید بلافاصله مصرف شوند و نباید آنها را بیش از چند روز به حالت محلول نگه داشت. همچنین از اضافه کردن قلیا به محلول ها تا زمان مصرف باید پرهیز کرد زیرا پایداری محلول های ماده رنگزا در PH های قلیایی و در محیط های با درجه حرارت بالا کم است. بعضی از کارخانجات سازنده مواد رنگزای راکتیو برای پایداری بیشتر این مواد رنگزا، مقدار کمی اسید به آن می افزایند.

رنگهای راکتیو به علت ایجاد اتصالات محکم کووالانسی با لیف از ثباتهای بسیار خوبی برخوردارند. رنگهای راکتیو بیشتر روی سلولز استفاده می شوند اما قابلیت مصرف در رنگرزی الیافی مانند نایلون، پشم و ابریشم را نیز دارند. این رنگها محبوبیت بالایی در صنعت دارند، که ناشی از خصوصیات ثباتی آنهاست. این رنگها دارای یک یا چند گروه راکتیو می باشند که با لیف واکنش داده و پیوند برقرار می کنند این واکنش ها میتوانند با جدا شدن (استخلاف) مولکولهای هالوژن از مولکول رنگ و یا افزایش مولکول رنگ از طریق باز شدن یک یا چند پیوند دوگانه آن به لیف با شد. رنگهای راکتیو در ابتدا باید جذب لیف شده و سپس در آن تثبیت شوند، عمل تثبیت از طریق قلیا صورت می گیرد. هر چه تعداد گروه های فعال لیف و رنگ بیشتر باشد واکنش قوی تر خواهد بود، ضمن این که نوع گروه های فعال هم مهم است، مثلا عنصر F از Cl قوی تر است.

در رنگرزی با رنگینه های راکتیو، عوامل فعال در محیط قلیایی با گروه هیدروکسیل لیف به صورت شیمیایی پیوند می خورد، اما این خطر نیز وجود دارد که عوامل فعال رنگینه ها با گروه هیدروکسیل آب وارد واکنش شده و با آن پیوند شیمیایی برقرار کند که در این صورت رنگینه به حالت غیر فعال در آمده و دیگر نمی تواند با گروه هیدروکسیل لیف پیوند شیمیایی تشکیل دهد، به عبارت دیگر رنگینه هیدرولیز می گردد. در رنگرزی با رنگینه های راکتیو باید به این مساله توجه زیادی گردد و تا حد امکان مقدار هیدرولیز به حداقل رسانیده شود. رنگینه های هیدرولیز شده به الیاف اتصالی نداشته و در شستشو از الیاف جدا شده و کاهش عمق رنگ را باعث می شود. جهت جداکردن مولکولهای رنگینه هیدرولیز شده و ترکیب نشده از الیاف، بعد از رنگرزی به شستشوی مؤثری با آب جوش و دترجنت نیاز است. در رنگرزی به روش نیمه مداوم و مداوم باید به زمان ثبات رنگینه در محیط قلیایی توجه شود و رنگینه بیش از آن در حمام قلیایی باقی نماند تا میزان رنگ هیدرولیز شده به حداقل ممکن کاهش یابد. در مورد راندمان رنگرزی با رنگهای راکتیو باید گفت، که بدست آوردن راندمان ۱۰۰٪ در رنگرزی با این رنگها امکان پذیر نیست، علل مختلفی می توانند موجب بروز این مساله باشند، که در زیر به آنها اشاره شده است:

- عدم جذب کامل رنگ توسط لیف
- کامل نشدن واکنش بین رنگ و لیف

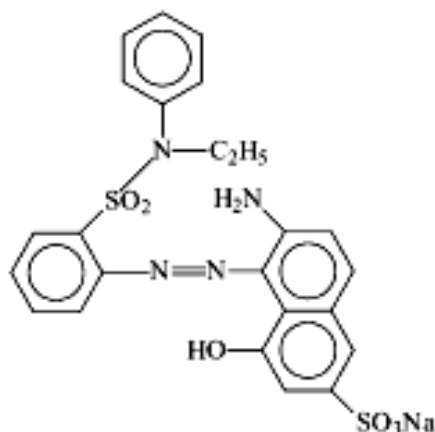
- تبدیل شدن رنگ به حالت غیر فعال در اثر هیدرولیز
- گسستن پیوندهای بین رنگ و لیف در مرحله تثبیت

طبقه بندی مواد رنگزا بر طبق ساختار شیمیایی

بر اساس ساختار شیمیایی، رنگها به ۳۰-۲۰ گروه تقسیم می شوند. در حال حاضر حدود ۱۰۰ هزار نوع رنگ مختلف در سراسر دنیا تولید می شود که میزان تولید سالانه آن حدود ۷۰۰ هزار تن می باشد. از مهم ترین انواع رنگها می توان به آزو، آنتراکوبینن، فتالوسیانین و تری آریلن اتان اشاره کرد. از بین رنگهای موجود، تولید رنگهای آزو بیشترین سهم در حدود ۷۰ درصد را دارند.

۱-۲-۲- رنگهای آزو

این گروه از رنگها شامل بزرگترین و مهمترین دسته رنگها بوده، بطور وسیعی مورد استفاده قرار می گیرند. مشخص ترین ویژگی این رنگها داشتن یک یا چند گروه آزو- $N \equiv N$ است که بین دو قسمت آلی رنگ به عنوان پل عمل می کنند و حداقل یکی از این گروهها آروماتیک هستند. این رنگها عمده ترین رنگهای سنتزی هستند که تقریباً بیش از ۵۰٪ تمام رنگینه ها و رنگ دانه ها را تشکیل میدهند به طور کلی رنگهای آزو دارای یک یا چند کروموفور آزو ($-N=N-$) در ساختار مولکولی خود می باشند ساخت این گونه رنگها شامل مرحله دی آزوته کردن و کوپله کردن است. توسط گروه کروموفوری (رنگزای) آزو، می توان طیف وسیعی از رنگها مثل زرد، قرمز، نارنجی، آبی، سبز، بنفش و سیاه را سنتز کرد.



شکل ۱-۱. ساختار مولکولی نوعی رنگ آزو

روشهای مختلفی برای تهیه این نوع رنگها وجود دارد، ولی عموماً آنها را از کوپلاسیون مواد دی آزو نیوم تولید می کنند. این مواد از واکنش دی آزوتاسیون آمینهای آروماتیک نوع اول حاصل می شوند. واکنش دی آزوتاسیون در سال ۱۸۶۲ توسط "گریس" کشف شد و باعث تحول در صنایع رنگسازی گردید. در این واکنش، فنلها، نفتلها و آریلامینها به عنوان مواد کوپلاسیون بکار برده می شوند. در رنگهای حاصله گرده آزو بعنوان رنگزا و گروههای هیدروکسی یا آمینو به عنوان آکسوکروم (تشدیدکننده قدرت نفوذ رنگ) شناخته می شوند.

برای ساختن مواد رنگریزی آزو باید یک آمین آروماتیک نوع اول را به وسیله HNO_2 یا NOCl یا HNO_3 یا H_2SO_4 یا N_2O_3 در یک محیط اسیدی و آبی ازو ته نمود و سپس نمک دی آزونیم حاصل را که یک الکتروفیل نسبتاً ضعیف است با ترکیباتی نظیر فنول و یا آریل آمین که جزء جفت شونده نامیده می شود جفت نمود.

رنگدانه های آزو را می توان به چند دسته تقسیم بندی نمود:

۱-۲-۲-۱- رنگ دانه های آزوی نامحلول

این گروه هم از نظر تعداد رنگ دانه ها و هم از نظر میزان مصرف ان ها در صنعت رنگ سازی بزرگترین گروه رنگ دانه های آلی را تشکیل می دهند، تمام رنگ دانه های این گروه دارای گروه رنگ ساز $-\text{N}=\text{N}-$ هستند و میتوانند جزء موارد رنگی رنگ دانه، تونرها، یا کیک ها باشند.

فرایند تهیه رنگ دانه های آزو شامل دو مرحله است :

مرحله اول تبدیل یک آمین آروماتیک نوع اول به یک ترکیب دی آزونیم از طریق واکنش دی آزوتیزاسیون می باشد. مرحله دوم جفت کردن ترکیب دی آزونیم با یک نفتول یا یک ترکیب آمینه ی نوع دوم است که منجر به تولید ماده رنگی یا رنگ دانه می گردد.

۱-۲-۲- رنگ دانه های آزو تراکمی^۱

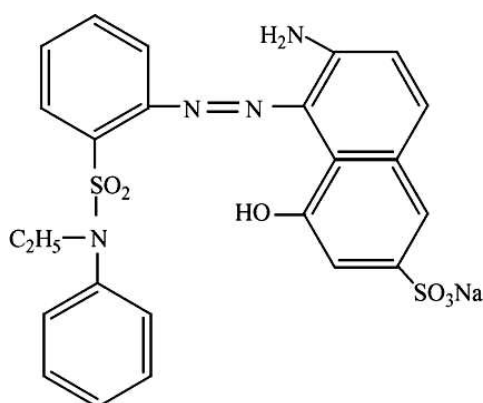
به طور کلی پایداری نوری رنگ دانه های آزو و همچنین مقاومت آن ها در مقابل حرارت و حلال ها، با افزایش اندازه و پیچیدگی مولکول ها بهبود میابد. ثابت شده است که تهیه این مولکول های بزرگ به سختی صورت می گیرد برای مثال کوشش های انجام گرفته برای ترکیب ماده حاصل از جفت شدن با نمک دی آزونیم بعدی نشان می دهد که نمی توان به سادگی ترکیبات دیس آزو^۲ را تهیه کرد.

در این زمینه گایکی^۳ موفقیت هایی به دست آورده و روشی برای متراکم کردن دو مولکول منو آزوی یک رنگ دانه ابداع کرده است. مشتقات آزوی اسید^۲-اوکسی نفتونیک را می توان به اسید کلرایدها تبدیل کرد و سپس از طریق متراکم کردن آنها با دی آمین ها مولکول های بزرگی به دست آورد.

۱-۲-۳- رنگدانه های آزو اسید

رنگ دانه های این گروه از مواد رنگی که در ساختمان شان گروه های اسیدی COOH , SO_2H دارند تهیه می شوند. این مواد رنگی نسبتا محلول در آب می باشند اما در اثر ترکیب با نمک های دیام، باریم، کلسیم یا استرانسیم غیر قابل حل می شوند و در نتیجه می توان آن ها را به عنوان رنگ دانه مورد استفاده قرار داد. انواع معروف رنگدانه های این گروه را لیتون-ها، روبین های لیتول، لیک قرمز C، لیک قرمز D و بعضی خرمایی های مایل به قرمز تشکیل می دهند [۴].

1-Azo Condensation pigment
1-Disazo Compounds
2-Geigy



شکل ۱-۲. ساختار رنگ AR57 (یک نوع رنگ آزوی اسیدی)

۱-۲-۳ طبقه بندی رنگهای آزو بر حسب تعداد گروههای آزو

این رنگها را بر حسب تعداد گروههای آزو بصورت رنگهای مونو آزو، دی آزو و پلی آزو طبقه بندی می کنند.

۱-۲-۳-۱ رنگهای منو آزو

این رنگها دارای یک گروه آزو بوده و از پر استفاده ترین گروههای آزو هستند. این رنگها به دو دسته تقسیم می شوند:

رنگهای فاقد گروههای کربوکسیلیکو سولونیک: این گروه از رنگها با توجه به کاربردشان به شکل زیر دسته بندی می شوند:

رنگهای حلال: مانند زرد آنیلین یا نارنجی سودان G که به عنوان حلال سایر رنگها بکار می روند.

رنگهای بازی یا کاتیونی: از قدیمی ترین رنگهای سنتزی هستند و موارد استعمال فراوانی در رنگرزی الیاف طبیعی دارند، اما دارای ثبات کافی نیستند.

رنگهای دندانهای: این رنگها دارای گروههای هیدروکسی ارتو نسبت به گروه آزو هستند که تشکیل کمپلکس فلزی با

نمکهای مختلف از جمله بی کرومات می دهند. از این گروه می توان مردانت قرمز ۲۸ و مردانت قهوه ای ۵۴ را نام برد.

رنگهای دارای گروه اسیدی: چهار رنگ معروف نارنجی جز این گروه هستند و از دی آزوتاسیون آمینهای حلقوی و

سولفانیلیک اسید، سنتز می شوند.

۱-۲-۳-۲- رنگهای دی آزو

رنگهایی که دو گروه آزو دارند: در ساختمان این رنگها، ماده کوپلاسیون از دو طرف توسط دو گروه دی آزونیم جفت می شوند. تعداد این رنگها محدود و اغلب غیر قابل حل در آب است که از لحاظ کاربردی جز رنگهای اسیدی دندانهای و مستقیم محسوب می شوند. یکی از مهم ترین این رنگها، اسید بلک است.

۱-۲-۳-۳- رنگهای تترا آزونیم

در این رنگها ماده کوپلاسون با یک ترکیب تترا آزونیم جفت می شود. از مهمترین این رنگها قرمز کنگو بوده که از جفت شدن بنزیدین با دو گروه نفتونیک اسید تهیه می شود. این رنگها از فراوان ترین رنگهای دسیس آزو هستند و در بر گیرنده پیگمانها، رنگهای مستقیم و همچنین تعدادی از رنگهای اسیدی و دندانهای هستند. ماده D در ترکیب این رنگها معین کننده نوع رنگ اسیدی یا دندانهای است. دی آمینها مانند بنزیدین نمونه ای از این ترکیب هستند. قرمز کنگو به عنوان یکی از رنگهای این گروه جزو رنگهای مستقیم محسوب شده و برای رنگریزی الیاف پلی آمید، پشم و سلولز بکار می رود. همچنین به علت نداشتن ثبات کافی بیشتر در تیتراسیونها بعنوان معرف استفاده می شود.

۱-۲-۴- کاربردهای رنگ آزو در صنایع مختلف

رنگهای آزو دارای باندهای دوگانه $N=N$ بوده و حتی در غلظتهای خیلی کم هم باعث ایجاد رنگ زیاد در آب می شود. رنگهای در صنایع مختلف از جمله صنایع نساجی، چاپ چوب و کاغذ، دباغی، آرایشی و بهداشتی، غذایی، آبکاری و غیره مصرف می شوند که پسابهای تولیدی در این صنایع حاوی غلظتهای مختلفی از رنگ است. از بین صنایع مختلف، صنعت نساجی بیشترین مصرف رنگ را دارد و حجم زیادی فاضلاب با غلظتهای بالای رنگ در گسترده ی ۲۰۰-۱۰ میلی گرم بر لیتر تولید می کند. برآوردها نشان داده است که ۱۵-۲۰ درصد رنگ مصرفی در این صنایع وارد فاضلاب می شود.

۱-۳-۳- جاذبها

الک کردن در مقیاسهای بسیار ریز عملی است که طی آن جریانی از گاز یا مایع با فشار معین از طریق یک غشاء واسط یا الک به منظور جداسازی مواد معلق یا کلوئیدی عبور می کند. این غشاهای گاهی به عنوان نوعی از غشاهای روش اسمز

معکوس که دارای منافذ بزرگتری می باشند تعریف می شوند. اما مهمترین تفاوت بین این دو دسته توانایی الکهای مولکولی نانومتری در جداسازی یونهای دو ظرفیتی می باشد. مکانیزم انتقال مواد در این نوع الکها بسیار پیچیده بوده و هنوز در بین دانشمندان مورد بحث و مجادله است. مدل‌های مختلفی برای تشخیص اثر پارامترهای مختلف بر روی مکانیزم انتقال و پیشگویی کارایی الکهای مولکولی توسعه یافته است [۵]. دو تئوری مهم که تا کنون در این مورد ارائه شده و بیشتر مورد قبول می باشند عبارتند از:

۱- تئوری جذب سطحی - جریان موئینگی

۲- تئوری حل شدن و نفوذ

تئوری جریان موئینگی - جذب سطحی یک نوع جذب خاص را برای مولکولهای مواد در غشاء تعریف می کند و دفع و جداسازی مکرر یونهای چند ظرفیتی را در سیکلهای معین در کاهش عبور ذرات موثر می داند. مطابق با تئوری انحلال و نفوذ، الک مولکولی به عنوان یک فیلم متخلخل تعریف می شود که در آن هم مایع و هم یونها نامحلول هستند. یونها در اثر نیروی افزایش غلظت به سمت الک حرکت کرده، در حالیکه انتقال آب وابسته به فشار هیدرولیکی سیال می باشد [۶]. به طور خلاصه پارامترهای تاثیر گذار بر روند فرایند الکهای مولکولی عبارتند از:

فشار - دما - سرعت جریان تبدالی - PH - میزان غلظت

عملیات جداسازی با استفاده از الکهای مولکولی از اواخر دهه ۷۰ میلادی برای جداسازی ذرات آلی با وزن مولکولی کم و نمکهای چند ظرفیتی از نمکهای تک ظرفیتی و آب استفاده شد. پس از آن این فرایند کاربردهای صنعتی وسیعی یافت. کاربردهای عمده این روش در جداسازی موادی همچون محلولهای آلی، سوسپانسیونها، یونهای چند ظرفیتی و ... می باشد. صنایع شیرین سازی آب حجم بالایی در حدود ۶۵ درصد از کاربردهای این روش را به خود اختصاص داده است. یکی از مشکلات بزرگ صنایع تصفیه کننده آب دریا با استفاده از روش اسمز معکوس، بسته شدن منافذ غشاء و در نهایت تخریب سریع آنها بود که با استفاده از این روش این امر بسیار کاهش یافته است. همچنین در صنایع نفت و گاز نیز این الکها کاربرد فراوانی دارند. از جمله آنها حذف سولفات از آب دریای مصرفی در مجتمعهای پتروشیمی می باشد. الکهای مولکولی ساخته شده از نانو کربن قادر به جذب انواع مواد نظیر دی اکسید کربن، گاز متان، بنزن و اتان در صنایع دارو سازی و شیمیایی

به ویژه نساجی، کاغذ سازی و رنگ سازی می باشند. در صنعت نساجی از الکهای مولکولی به منظور جداسازی رنگهای مصرفی از پساب و بازیافت آنها استفاده می شود. این الکها علاوه بر تصفیه، خالص سازی و جداسازی مواد از مایعات، قادر به انجام این فرایندها در مورد گازها نیز می باشند. از جمله مهمترین کاربردهای الکهای مولکولی گاز می توان به تصفیه، خشک کردن و یا فراوری انواع گازها در صنایع شیمیایی و پتروشیمی اشاره نمود. همچنین امروزه استفاده از این الکها در تجهیزات تصفیه هوا در صنعت ساختمان و نیز صنایع خودرو سازی نیز رواج یافته است. صنایع غذایی به ویژه تولید کنندگان شکر، نوشیدنی و لبنیات نیز به استفاده از الکهای مولکولی روی آورده اند. این الکها قادرند شکر و یا پروتئینهایی با وزن مولکولی مشخص را از محلولها جدا می کنند. به طور کلی پیش بینی می گردد با توجه به توسعه شتابان علم و فناوری نانو در سالهای اخیر، تحولات شگرفی نیز در فرایندهای ساخت و کاربردهای الکهای مولکولی روی دهد [۷-۱۱].

با توسعه روز افزون روشهای جدید و موثر در تولید مواد نانومتری، هزینه تولید الکهای مولکولی نیز به طور پیوسته کاهش می یابد. حتی با توجه به پیش بینی های برخی منابع، در آینده با توجه به کاهش شدید قیمت نانو لوله های کربنی، الکهای مولکولی ساخته شده از نانو لوله های کربنی بسیار ارزاتر از غشاهای فیلتراسیون اسمز معکوس، سرامیکی و پلیمری خواهند شد. سایر مواد مورد استفاده در ساخت الکهای مولکولی نیز اکثرا ارزان و در دسترس می باشند. ژئولیتها را نیز می توان با هزینه اندکی تولید نمود و منابع آنها به طور طبیعی و ارزان در دسترس می باشد. از طرف دیگر با وجود آنکه در الکهای مولکولی قطر حفرات نسبت به سایر فیلترها کوچکتر است، اما به دلیل بالا بودن بسیار زیاد سطح مخصوص، شدت جریان بیشتری در آنها جریان دارد و بنابراین عموما این الکها در فشارهای کمتری نسبت به فیلترهای RO یا اسمز معکوس عمل می کنند. در نتیجه قیمت تمام شده محصول و انرژی مصرفی فرایند در این روش بسیار کمتر می باشد. هم چنین انتظار می رود الکهای مولکولی در برابر عوامل فرایندی نظیر فرسایش بسیار با دوامتر از غشاهای متداول بوده، تمیز کردن آنها به آسانی امکان پذیر بوده و استفاده مجدد از آنها بازدهی فیلتراسیون را کاهش ندهد. از طرف دیگر با توجه به افزایش روز افزون کاربردهای این محصولات در صنایع شیمیایی و پتروشیمی و نیز ارزش افزوده بالای الکهای مولکولی، توجه به انجام مطالعات و بررسی ها در زمینه تولید این نوع محصولات لازم و ضروری می نماید [۱۱-۱۳].

الکهای مولکولی دارای کاربردهای گسترده ای در صنایع مختلف می باشند. امروزه چیزی حدود ۶۵ درصد از بازار مصرف الکهای مولکولی در صنایع تولید آب آشامیدنی، ۲۵ درصد مربوط به صنایع غذایی (عمدتا تولید لبنیات) و کمتر از ۱۰ درصد مربوط به صنایع شیمیایی می باشد. از طرفی با توجه به اهمیت تولید آب آشامیدنی بهداشتی کافی و نیز قرار گرفتن کشور ایران در میان کشورهای آینده وقوع بحران کم آبی در آنها قریب الوقوع است و هم اکنون نیز در بخشهایی از کشور مشکل کمبود آب شرب و سالم به شدت وجود دارد، لذا باید به توسعه روشهای فیلتراسیون سریع و پیشرفته و به ویژه استفاده از الکهای مولکولی توجهات ویژه ای نمود. از طرفی با توجه به پتانسیلهای عظیم نفتی و هیدروکربوری در کشور و توسعه روزافزون صنعت پتروشیمی و صنایع وابسته شیمیایی و پایین دست، توجه به تکنولوژی تولید این محصولات به منظور برطرف سازی نیاز صنایع کشور و قطع وابستگی ضروری و لازم به نظر می رسد. در جدول ۱-۱ به تعدادی از مهمترین صناعی که به انواع مختلف الکهای مولکولی نیاز دارند اشاره شده است.

جدول ۱-۱: مصرف الکهای مولکولی در صنایع مختلف

صنایعی که می توانند از الکهای مولکولی استفاده کنند	نوع استفاده
صنایع پتروشیمی	ساخت جاذب مایعات و گازها
صنایع تولید آب آشامیدنی	کلرزدایی، شیرین کردن آب دریا
صنایع تصفیه فاضلابها و پسابهای خانگی، کشاورزی و صنعتی	حذف آرسنیک و سایر یونهای فلزی سمی
صنایع پزشکی	جدا کردن یونها و ذرات معلق
صنایع داروسازی	تصفیه خون و فراورده های خونی
صنایع شیمیایی	جداسازی بیولوژیک باکتریها، ویروسها، پروتئینها و ...
صنایع نساجی	تصفیه و جداسازی محلولها
صنایع غذایی	بازیابی رنگهای مصرفی از پسابها
صنایع خودرو سازی	فراوری شکر و پروتئینها
	فیلترهای تصفیه هوا

۱-۳-۱ - جاذبهای طبیعی

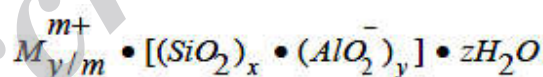
۱-۳-۱-۱ - بنتونیت

تاکنون روش‌ها و مواد مختلفی برای جذب مواد آلی بکار گرفته شده است که از آن میان استفاده از کربن فعال بواسطه مساحت سطح و خصوصیات سطحی، از موفقیت بسیار بالائی برخوردار بوده است. از مشکلات همراه با سیستم کربن فعال می‌توان به کاهش سریع کارائی آن بواسطه غیرفعال شدن حفرات آن در اثر پوشش لایه‌ای از ماده آلی و نیاز به بازیابی مجدد و قیمت بالای آن اشاره کرد. امروزه با رشد نانو فناوری و معرفی نانوجاذب‌های مختلف مشخص گشته که از جاذب‌های با کارایی بالا و در عین حال ارزان‌تر و در دسترس‌تر می‌توان در جذب مواد آلی و حذف این دسته از آلاینده‌ها از محیط‌های زیست آبی و خاکی استفاده نمود [۱۴]. از رایج‌ترین نانو ذرات استفاده شده در جذب مواد آلی در سال‌های اخیر می‌توان به نانو رس و آلی رس (نانو رس آلی دوست شده) اشاره کرد که بر پایه کانی رسی بنام مونت موریلونیت می‌باشد. نایت در سال ۱۸۹۸ برای نخستین بار اصطلاح بنتونیت را در مورد مواد رسی تشکیل دهنده ناحیه شیل بنتون واقع در غرب آمریکا استفاده نمود. بنتونیت یک نوع خاک رس است که کانی اصلی آن مونت موریلونیت بوده ولی کانی‌های دیگری مانند بیدلیت، نانترونیت، کریستوبالیت، کلسیت، زئولیت، فلدسپار و کوارتز را نیز به همراه داشته باشد. بنتونیت دارای بیش از ۸۵ درصد مونت موریلونیت است. بنتونیت یک فیلوسیلیکات با فرمول $(\text{Na,Ca})_0/33$ $(\text{Al,Mg})_2 \text{Si}_4\text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ است که عمدتاً از مونت موریلونیت تشکیل شده است [۱۵]. نانورس به شدت آبدوست بوده و از اینرو تمایل جذبی کمی به اکثر مواد آلی غیر یونی و آبگریز دارد. این خاصیت آبدوستی رس‌ها می‌تواند به آبگریزی تغییر یابد. این تغییر زمانی رخ می‌دهد که کاتیون‌های غیرآلی تبادل رس توسط کاتیون‌های آمونیم چهار ظرفیتی جایگزین شوند. به علاوه این عمل شدیداً فاصله بین لایه ای رس را افزایش می‌دهد که ظرفیت ماده جهت حذف آلودگی‌های آلی را افزایش می‌دهد [۱۶]. از طرفی استفاده از آلی رس‌ها یکی از اقتصادی‌ترین روش‌ها برای پاکسازی آلودگی‌های آب می‌باشد به طوریکه ۵۰٪ هزینه‌های پاکسازی را کاهش می‌دهد [۱۷]. در سال‌های اخیر مطالعات متعددی در رابطه با قابلیت آلی رس‌ها در حذف مواد آلی از آب انجام گرفته است [۱۸ و ۱۹]. نتایج حاصل نشان می‌دهد که کارایی آلی رس‌ها در حذف مقدار زیاد این مواد از آب حدود ۷ برابر از کربن فعال بیشتر بوده است [۲۰].

۱-۳-۱-۲- زئولیت

اگرچه اولین کاربرد صنعتی زئولیت در آب‌زدایی مخلوط پروپانول و اتانول بود، ولی یک تمایل پیوسته و در حال افزایش به کاربرد آنها در موارد دیگر در کل جهان وجود دارد. زئولیتها بدلیل جداسازی مولکولها براساس اندازه آنها، انتخابگری بالا، قدرت تعویض یونی مناسب، استحکام مکانیکی، مقاومت حرارتی و شیمیایی مطلوب، جایگاه ویژه‌ای را در غربال‌های مولکولی به خود اختصاص داده‌اند. علاوه بر موارد ذکر شده، وجود کریستال‌های نانو ساختاری در شبکه آنها و همچنین کاربرد زئولیتها در فرایندهای جداسازی غشایی، اهمیت آنها را برای محققین دو چندان نموده است. با استفاده از فناوری نانو، می‌توان در ساخت زئولیتها و یا بهبود کیفیت و عملکرد آنها گام اساسی برداشت.

زئولیت‌ها یک عضو از خانواده مواد کریستالی معدنی هستند. آنها کریستال‌های آلومینا سیلیکات میکرو متخلخلی می‌باشند که از چهار وجهی AlO_4 و SiO_4 که توسط اتم اکسیژن (O) متصل می‌شوند، تشکیل شده است. برای یک ساختار کامل سیلیسی، ترکیب واحدهای SiO_4 ، گرایش به سمت تشکیل سیلیکا (SiO_2) دارند، که دارای چهار بار منفی می‌باشند. با مشارکت Al در ساختار سیلیکا با وجود سه بار مثبت Al، کل ساختار دارای یک بار منفی می‌گردد و برای اینکه از لحاظ باری خنثی باشد نیازمند یک ساختار کاتیون (آلی یا معدنی) می‌باشد [۲۱]. ترکیب شیمیایی زئولیت که تعیین کننده خواص آن می‌باشد، را می‌توان به صورت ذیل بیان نمود:



همانطور که در فرمول شیمیایی نشان داده شده است، M نشانگر کاتیون اضافه شده (یون قابل تعویض) با بار m می‌باشد. این کاتیون‌ها توسط پیوند الکترواستاتیکی به ساختار متصل شده و در شبکه کریستالی زئولیت سیار می‌باشند. X و y اعداد صحیح هستند و Z تعداد مولوکول‌های آب می‌باشد [۲۲]. میزان Al موجود در ساختار زئولیت در محدوده وسیعی تغییر می‌کند. نسبت Si/Al از یک تا بینهایت قابل تغییر است. این نسبت پارامتر مهمی برای زئولیت‌ها می‌باشد که نشان دهنده میزان کاتیون مورد نیاز در ساختار بوده و میزان اسیدیته هر یک واحد سلول را نشان می‌دهد. با افزایش نسبت Si/Al پایداری هیدروترمال و آب‌گریزی زئولیت افزایش می‌یابد و با در نظر گرفتن ویژگی‌های توضیح داده شده،

زئولیت‌ها در کاربردهای صنعتی فراوانی توسعه یافته اند. طبیعت کریستالی ساختار زئولیت نشان می‌دهد که حفرات به طور یکنواخت در کریستال موجودند و می‌توانند به طور متمایز با ابعاد متفاوت مولکول‌ها عمل کنند. به همین دلیل به عنوان غربال مولکولی شناخته می‌شوند. زئولیت‌ها با استفاده از خاصیت غربال مولکولی و قدرت جذب سطحی خود می‌توانند بین مولکول‌ها تمایز قائل شده و فرایند جداسازی را با کارایی قابل توجهی انجام دهند [۲۱].

زئولیت‌ها بطور عمده در چهار کاربرد اصلی: ۱- جذب سطحی؛ خاصیت جذب سطحی زئولیت‌ها به میدان الکتروستاتیکی موجود در آنها برمی‌گردد. اساس کاربرد این مواد به عنوان خشک کننده، جاذب بخارات آلی و معدنی و تعویض یونی در سختی زدایی آب در صنایع تولید شوینده‌ها می‌باشد. ۲- غشا: می‌توان به کاربرد زئولیت‌ها در غشاهای جداسازی مخلوط گازها و مایعات (مانند جداسازی ایزومرهای زایلن، دی اکسید کربن، هیدروژن، آب، الکل و ...) اشاره نمود. ۳- کاتالیزور: نقش کاتالیزوری زئولیت‌ها به ساختار آنها وابسته است. در واقع وجود کانال‌هایی که از اتصال ساختارهای اولیه حاصل می‌گردد، اهمیت فراوانی در انتخابگری زئولیت‌ها دارد. ۴- سنسورهای شیمیایی و سایر: زئولیت‌ها در شیمی تجزیه نیز پتانسیل بالایی دارند. الکترودها با پوشش زئولیتی برای اهداف الکتروآنالیتیکی در محلول‌ها بکار می‌روند. جذب سطحی، حضور یون‌های سیار و فعالیت کاتالیستی زئولیت‌ها را برای کاربرد به عنوان سنسورهای گازی مستعد می‌سازد. کانی‌های رسی از خانواده سیلیکات صفحه‌ای هستند که از صفحه‌های چهار وجهی و هشت وجهی تشکیل شده‌اند. چهار وجهی از SiO_2 تشکیل گردیده و هر چهار وجهی آن توسط سه اتم اکسیژن با چهار وجهی‌های مجاور خود پیوند می‌یابد. کانی‌های رسی حاوی هیدروکسیل هستند که در مرکز حلقه شش تایی قرار می‌گیرد. مهمترین کانی‌ها و مواد معدنی که در مسائل زیست محیطی کاربرد دارند عبارتند از:

- بنتونیت‌ها
- تالک
- دیاتومیت‌ها
- زئولیت‌ها
- کائولن

- کربنات سدیم
- آهک
- پرلیت منبسط شده
- هیدروکسید سدیم
- سیپولیت

۱-۳-۱-۲-۱- الک (غربال) مولکولی زئولیت

چنانچه زئولیت ها در دمای ۳۵۰ تا ۴۰۰ درجه سانتیگراد برای چند ساعت حرارت داده شوند، آب موجود در مجاری و فضای کانال مانند آنها آزاد می شود و زئولیت های بی آب بدست می آیند. قطر فضاهای کانال مانند، مشخص و تابع ترکیب شیمیایی زئولیت ها است. قطر این فضاها در زئولیت های پتاسیم دار، سدیم دار و کلسیم دار به ترتیب ۳، ۴ و ۵ آنگستروم است. موادی که ابعاد مولکولی آنها کمتر از قطر فضای زئولیت باشد، جذب می شوند و آنهایی که بزرگتر هستند، دفع خواهند شد. به عنوان مثال، زئولیتی که قطر کانال آن ۴/۵ آنگستروم است می تواند هیدروکربوری مانند اکتان و پنتان را که قطر آنها حدود ۴/۳ آنگستروم است، جذب کند و هیدروکربورهای ایزواکتان و ایزوپنتان را که قطر آن ۵ آنگستروم است، جذب نکند. با استفاده از زئولیت ها می توان این مواد هیدروکربوری را از یکدیگر جدا کرد. قابلیت جذب سطحی بعضی از زئولیت ها تا ۳۰ درصد وزن آنها است. جانشینی کلسیم به جای سدیم، به میزان ۳۰ درصد قطر کانال های زئولیت را افزایش می دهد و جانشینی پتاسیم به جای سدیم موجب کاهش قطر کانال می شود. زئولیت ها می توانند مواد سمی یا مواد با فعل و انفعالات زیاد را در خود جذب کنند و به این ترتیب استفاده از مواد سمی جذب شده را امکان پذیر سازند. از زئولیت ها در پلیمریزه کردن پلیمرها و لاستیک ها و همچنین در صنایع چاپ رنگی استفاده می شود.

از آنجا که منغذهای ریز زئولیت یکنواخت هستند، از آن می توان برای غربال کردن مولکولی بر اساس اندازه ذرات آلودگی استفاده نمود. همه زئولیت ها غربال های مولکولی هستند، ولی همه غربال های مولکولی، زئولیتی نیستند. زئولیت هایی مانند موردنایت می توانند به عنوان غربال مولکول های گازی عمل کنند و گازهایی مانند آمونیاک، سولفید هیدروژن،

مناوکسیدکربن و دی‌اکسیدکربن، دی‌اکسید گوگرد، بخار آب، اکسیژن، نیتروژن و فرمالدهید را جدا کنند که از این خاصیت در صنایع مختلف از جمله مهندسی شیمی، تصفیه آب، هوا و... استفاده می‌شود.

زئولیتی مانند کلینوپتیلولیت می‌تواند به عنوان عاملی برای رها سازی آهسته مواد عمل کند که از این پدیده در کنترل میزان رهائش مواد در کودهای آمونیاکی استفاده می‌شود، چرا که عرضه زیاد بعضی مواد در این کودها می‌تواند برای محصولات کشاورزی سمی بوده و ریشه آنها را بسوزاند. از طرف دیگر هدر رفتن آنها را در اثر آب باران کم می‌کند.

۱-۳-۱-۲- فرایند جذب

کانال‌های زئولیت بلافاصله پس از تخلیه آب، برای جذب سایر مولکول‌های کوچک آماده می‌شوند. این مولکول‌های کوچک، بی‌آنکه راهی برای مولکول‌های بزرگتر وجود داشته باشد، به سوی داخل جذب می‌شوند. در روند رقابت در جذب مولکول‌ها، مولکول‌های پلاریزه که نتیجه فعل و انفعالات الکترواستاتیک و یون‌های شناور است، بر سایر مولکول‌ها ترجیح داده می‌شود. اندازه حفره‌های مؤثر توسط ابعاد شبکه کنترل می‌شود. یک زئولیت ممکن است توسط تبادل یونی و نوع جذب تغییر کند. قابلیت انتخاب یک یا چند نوع از مخلوط‌های مایع و یا گازی را نسبت به سایر انواع، الک کردن یا غربال کردن مولکولی می‌نامند.

ظرفیت جذب و همچنین ثبات زئولیت، با استخراج یون آلومینیوم از چارچوب آن افزایش می‌یابد. یون آلومینیوم خارج شده از این چارچوب جای خود را به یون‌های هیدروژن می‌دهد. در نتیجه، ساختمان بدست آمده شبیه $(OH)_4$ جایگزین شده برای SiO_4 است که در زئولیت هیدروگانت شناخته شده است. یون‌های جذب شده را می‌توان با افزایش فشار یا حرارت بیرون کرد و یا یون‌های دیگر را جانشین آن کرد یا به آن اضافه نمود، تا جایی که در اثر حرارت، تخریبی در این فعل و انفعال بوجود نیاید. چرخه جذب و دفع مواد ممکن است چندین بار تکرار شود تا یکی از محتویات از جریان عملیات خارج شود. بیشتر زئولیت‌ها برای خشک کردن گاز طبیعی و خروج H_2O و CO_2 و سایر ترکیبات سولفوری استفاده می‌شوند. آنها نسبت به سایر خشک‌کننده‌ها در برابر انسداد پایدارترند، زیرا می‌توان آنها را با حفره‌های بسیار کوچک انتخاب کرد. در نتیجه عناصر بزرگ و یا آنهایی که به آسانی پلیمریزه می‌شوند، نمی‌توانند به سادگی داخل شوند و سطح خشک

کن را مسدود کنند. شابازیت برای خشک کردن کلر و هالیدهای کربن مناسب است. جدول ۱-۲ فرآیندهای تهیه زئولیت های جاذب را نشان می دهد [۳۳-۲۳].

جدول ۱-۲: فرآیندهای تهیه زئولیت های جاذب

محصولات	واکنش دهندگان	فرآیند
پودرهای با خلوص بالا زل غالب زئولیت در یک زمینه زله ای	اکسیدهای فعال کننده سیلیکات های محلول آلومینات های محلول هیدروکسید سدیم	هیدروزل
پودرهای با خلوص کم تا زیاد بدون پیوند زئولیت بریفرم با خلوص بالا، زئولیت موجود در زمینه مشتق شده از رس ها	کانولن خام متاکانولن کانولن کلسینه شده رس شسته شده با اسید سیلیکات های محلول هیدروکسید سدیم کلرید سدیم	معکوس شدگی رس ها
پودرهای با خلوص کم تا زیاد زئولیت برای تقویت و بهبود کیفیت سرامیک ها، بدون پیوند	SiO ₂ طبیعی کالی های بی شکل شیشه آتشفشانی هیدروکسید سدیم Al ₂ O ₃ ·H ₂ O	سایر فرآیندها

۱-۳-۱-۳-آشنایی با سیپولیت

۱-۳-۱-۳-۱- ساختار سیپولیت

سیپولیت (Sepiolite) یک سیلیکات منیزیم هیدراته است که فرمول ایده آل آن بصورت $Si_{12}Mg_8O_{20}(OH)_4(OH_2)_2 \cdot 8H_2O$ می باشد. سطح مخصوص بالا و تخلخل همراه با شکل غیر معمول ذرات این رس باعث ظرفیت جذب بالا و خواص کلوئیدی آن گردیده بطوریکه محدوده وسیعی از کاربردها را برای آن امکان پذیر ساخته است. ذخایر معدنی اندکی از این ماده در جهان وجود دارد برای اولین بار در چک اسلواکی کشف شد و اکثر تولید جهانی این رس متعلق به ذخایر موجود در نزدیکی مادرید اسپانیا می باشد.

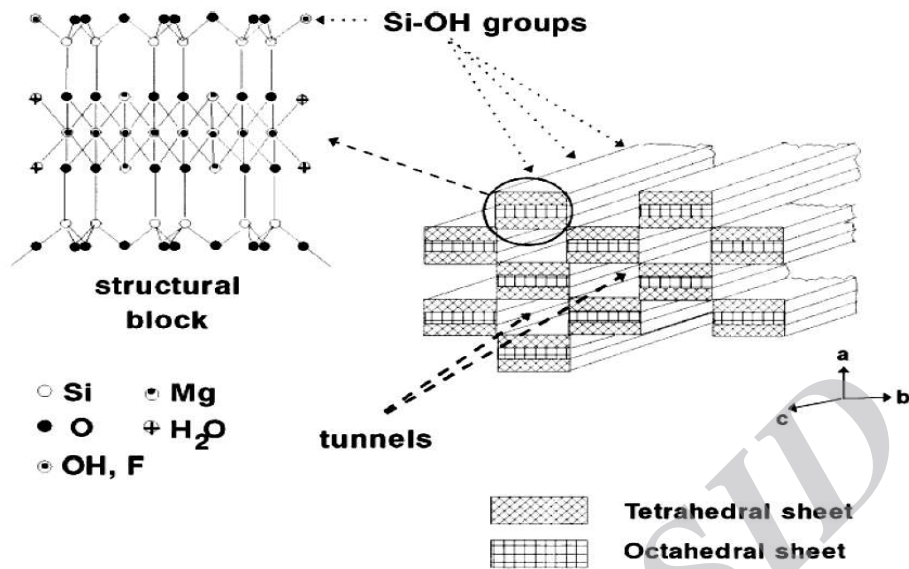
سپیولیت از کلمات یونانی *sepia / lithos* به معنای سنگ و از نظر رنگ و تخلخل گرفته شده است به راحتی ذوب می شود و در HCl محلول است. همانند کانی شناسی (پارانژ) آن، سرپانتین - منیزیت - اپال است. از نظر ژیزمان کریپتوکریستالین - آگرگاتهای خاکی، توده ای، متخلخل و رشته ای فراوان است و بیشتر در ترکیه، یونان و اسپانیا یافت می شود و رنگ خاکه آن سفید است. سپیولیت یک مینرال رسی با ساختار زنجیره ایست که در گروه رسی (attapulgitite) Palygorskite قرار دارد و نسبت به دیگر رس ها که ساختار لایه ای دارند کمیاب تر است. ساختار کریستالی سپیولیت اورتورومبیک همراه با کانال های میکرونی است. این مینرال بطور گسترده به عنوان جاذب، پرکننده، عوامل تغییر دهنده رنگ، کاتالیست و پایه های کاتالیست بکار می رود. کاتیون های متحرک در ورقه های چهار وجهی $(\text{Fe}^{3+}$ و $\text{Al}^{3+}) \text{SiO}_4$ و ورقه های هشت وجهی $(\text{Ti}^{2+}$ و Mn^{2+} ، Al^{3+} ، Fe^{3+} ، $\text{Fe}^{2+}) \text{MgO}_6$ و یون های قابل تعویض (Mg^{2+} و Ca^{2+}) میزان متفاوتی از آب های ساختاری در کانال های سپیولیت باعث افزایش سطح مخصوص این ماده می گردد.

جدول ۱-۳: خواص سپیولیت

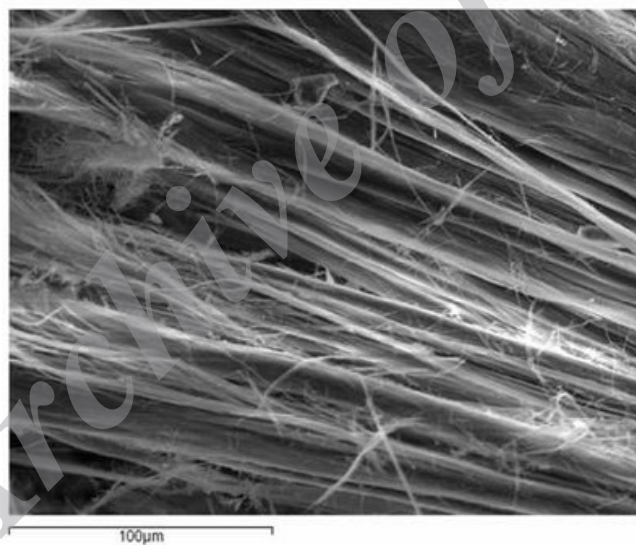
MgO: 24, 88 % SiO ₂ : 55, 65 % H ₂ O: 19, 47 %	ترکیب شیمیایی
سیلیکاتها	رده
کریپتوکریستالین رشته ای بی شکل (آموف)	شکل بلور
سفید متمایل به خاکستری	رنگ
ارترومبیک	سیستم تبلور
صدفی	نوع شکست
الکترونیک - وسایل زینتی، داروسازی و غیره	کاربرد
۲gr/cm ³	وزن مخصوص

رفتار سپیولیت در کنار برخی از مولکول‌های آلی توسط گروهی از پژوهشگران مطالعه شده است. جذب مولکول‌های آلی می‌تواند از طریق مکان‌های جذب باردار شده با بار منفی (P^-) و مکان‌های جذب طبیعی (N) صورت بگیرد. مطالعه جذب کاتیون‌های آلی تک ظرفیتی و دو ظرفیتی توسط سپیولیت نشان داد که کاتیون‌های آلی تک ظرفیتی ممکن است که به مکان‌های طبیعی و باردار شده بچسبند ولی کاتیون‌های آلی دو ظرفیتی، فقط با مکان‌های باردار شده پیوند برقرار می‌کنند. برخلاف دیگر رس‌ها، ذرات سپیولیت مورفولوژی سوزنی شکل دارد. شکل ۱-۳ ساختار ماده را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود این ساختار را می‌توان بصورت آرایشی پنج تایی از ورقه‌های سازنده تالک در نظر گرفت که بوسیله کانال‌های موازی از هم جدا شده‌اند. این ساختار منجر به تولید ذرات سوزنی شکل به جای ذرات صفحه‌ای معمول در دیگر رس‌ها می‌گردد.

سپیولیت بالاترین سطح مخصوص را ($300 \text{ m}^2/\text{gr}$) در میان تمامی مینرال‌های رسی داراست و دانسیته بالایی از گروه‌های سیلانول (-SiOH) دارد که آبدوستی قابل ملاحظه‌ای این رس را توجیه می‌کند. طول میانگین ذرات کشیده و کوچک سپیولیت حدود $1-2 \mu\text{m}$ و عرض آن‌ها $0.1 \mu\text{m}$ می‌باشد. ابعاد کانال‌های باز موجود در محور ذرات $6^\circ \text{A} \times 3/6^\circ \text{A}$ می‌باشد. سطح مخصوص بالا و تخلخل سپیولیت خواص جذبی قابل ملاحظه این رس را به همراه دارد، بطوریکه گازها و بخارها را جذب نموده و می‌تواند تقریباً معادل وزن خودش آب یا دیگر مایعات را جذب کند. سپیولیت در اثر جذب آب متورم نمی‌گردد و گرانول‌های آن حتی وقتی از مایعات اشباع شده‌اند متلاشی نمی‌شوند.



شکل ۱-۳. ساختار سپیولیت



شکل ۱-۴. تصویر SEM از سپیولیت

سپیولیت به دلیل ساختار ویژه‌ای که دارد قابلیت جذب انواع یون‌های آلی و معدنی را داراست. ویژگی‌های سطح سپیولیت ممکن است با یک سورفکتانت به وسیله یک جانشینی ساده یونی کاملاً متحول گردد. بطوریکه منجر به واکنش و اندروالس بین کاتیون‌های سورفکتانت آلی و جاذب می‌شود. اصلاح سطح رس با سورفکتانت، اصطلاحاً آلی کردن رس

نامیده می‌شود که باعث می‌شود سطح آلی گریز به شدت آلی دوست شده و بنابراین قابلیت جذب به شدت افزایش می‌یابد. امروزه این نوع از سپیولیت‌های آلی که با سورفکتانت‌ها اصلاح شده‌اند بطور گسترده در رنج وسیعی از کاربردهای محیطی استفاده می‌شوند [۳۴].

۱-۳-۱-۲- کاربردهای سپیولیت

سپیولیت‌ها، که گروه مهمی از مینرال‌های رسی هستند، کاربردهای متفاوتی در زمینه‌های محیطی، کاتالیستی و صنعتی دارند. سپیولیت‌ها به دلیل مورفولوژی ساختاری‌شان، می‌توانند مولکول‌های آلی را بر روی سطح خود جذب نمایند و به همین خاطر به عنوان پایه کاتالیست (support) برای کاتالیست‌ها استفاده می‌شوند. منابع سپیولیت در طبیعت بطور گسترده وجود دارند. سپیولیت یک جاذب خوب برای ترکیبات آلی است زیرا تنوعی از خواص جالب را با هم دارد از جمله سطح مخصوص بالا، تخلخل بالا (۵۰/۸٪)، پایداری شیمیایی و مکانیکی بالا و فعالیت سطحی. بنابراین، سپیولیت در طیفی از زمینه‌ها که خواص جذبی، کاتالیستی و جریان‌یابی استفاده می‌گردد. سپیولیت بطور معمول در تصفیه آب، تصفیه پساب، همینطور حذف فلزات، رنگها، مولکول‌های آلی، نیتريت ها و بورونها با سپیولیت ممکن است. اغلب مطالعات بر روی خواص جذب سپیولیت و تلاش برای افزایش سطح مخصوص آن انجام شده است. مطالعه رفتار سپیولیت در کنار ترکیبات آلی نیز توسط گروهی از پژوهشگران انجام شده است. جذب کبالت از محلول‌های آبی توسط Kara، جذب سبز متیل با سپیولیت توسط Rytwo، جذب یون آمونیوم توسط Balci، جذب N_2 ، CO_2 ، NH_3 و H_2O توسط Molina-Sabio و همکارانش بررسی شده است. همانطور که در منابع ذکر شده در بالا مشاهده می‌شود.

Mitrovic و همکارانش مطالعه‌ی مروری کاملی بر روی خواص سپیولیت و کاربردهای آن در صنعت و محیط زیست انجام داده‌اند. سپیولیت به عنوان یک ماده جاذب مهم مطرح است که قادر است طیف وسیعی از گازها و مایعات را جذب کند. از دیگر کاربردهای سپیولیت می‌توان به مصرف آن در کاغذ سازی، حفاری چاه‌های نفت، فیلترهای تصفیه روغن، کاتالیست‌های سرامیکی، افزودنی‌های غذایی حیوانی، فیلتر سیگار، ماده پرکننده در صنایع لاستیک و نیز کفشک ترمز، رنگ، سیمان و ملات و غیره اشاره کرد.

۱-۴- جذب سطحی

جذب سطحی فرایندی است که در جریان آن مولوکول ها به سطح جسمی جامد می چسبند مثلا در ماسک های گازی ذغال به عنوان یک ماده جاذب برای گازهای زیان آور بکار می رود.

در جذب سطحی فیزیکی معمولی، مولوکول های جذب شده با پیوندهایی که قابل مقایسه با پیوندهای شیمیایی است به سطح ماده کاتالیزور نگه داشته می شوند و در فرایند تشکیل پیوند با ماده جاذب مولوکول هایی که به طور شیمیایی جذب شده اند دچار تغییر آرایش الکترونی درونی می شوند بعضی از مولوکول ها کشیده و ضیف و حتی پیوند بعضی از آن ها شکسته می شوند.

تکنیک های زیستی و فیزیکی- شیمیایی متفاوت میتوانند برای از بین بردن رنگ ها از آب های زائد استفاده شوند این تکنیک ها شامل انتشار، جذب سطحی، مبادله یونی، رفتار بیولوژیکی و ... می باشد.

احتمال استفاده از هر یک از روش های بالا با چندین فاکتور مشخص می شوند از جمله نوع رنگ ترکیبات آب زائد، هزینه های عمل کردی و محصولات زائد تولید شده همچنین ممکن است استفاده از یک روش کافی نباشد چند تکنیک حذف رنگ استفاده شود [۳۵].

۱-۴-۱- ایزوترم جذب

ایزوترم جذب سطحی به دو دسته تقسیم می شود:

۱- ایزوترم جذب سطحی لانگمویر

۲- ایزوترم جذب سطحی فروندلیچ

لانگمویر مدلی برای پدیده جذب سطحی و به خصوص پدیده جذب سطحی شیمیایی ارائه کرد و توانست به توضیح نظری ساده ولی مهمی درباره منحنی هم دمای جذب سطحی دست یابد. وی فرض کرد هیچ بر هم کنشی بین مولوکول های جذب شده وجود ندارد و جامد نیز سطحی یکنواخت دارد او همچنین فرض کرد مولوکول ها در جای خود ثابت هستند و تنها

یک لایه از مولکول ها در جذب شرکت می کنند، ایزوترم جذب سطحی لانگمویر خیلی بهتر و رایج تر است، زیرا هم امکان بهینه کردن آن با معادلات ریاضی برای تعمیم به دو لایه بودن امکان پذیر است و هم نیازی به غلظت جذب کننده در معادلات نمی باشند. به عنوان مثال در کروماتو گرافی جذب سطحی ایزوترم فروندلیچ اصلا استفاده نمی شود و فرایند جذب به بهترین صورت با معادله لانگمویر توصیف می شود. زیرا ایزوترم های جذب لانگمویر مقدار کمی جذب یک لایه از مولکول ها را بر روی جاذب به صورت تابعی از غلظت ماده جذب شده در محلولی که حاوی آن است بدست می دهد و در معادلات بهینه شده حتی جذب های دو لایه ای را می تواند بدست آورد.

۱-۴-۲- سینتیک شیمیایی تجربی

گام اول در تجزیه و تحلیل سنتتیک واکنش ها پایدار کردن استوکیومتری واکنش و شناسایی واکنش های جانبی است. داده های پایداری سینتیک شیمیایی عبارتند از غلظت واکنش دهنده ها و محصولات در زمان های متفاوت پس از آغاز واکنش. از آنجا که سرعت های واکنش های شیمیایی عموماً نسبت به دما حساسند باید دمای مخلوط واکنش در دوره انجام واکنش ثابت نگه داشته شوند زیرا در غیر این صورت، سرعت مشاهده شده، متوسط سرعت ها در دماهای متفاوت خواهد بود. روش های سرعت های آغازی، قانون سرعت را به طور کامل آشکار نمی سازد، زیرا در یک واکنش پیچیده ممکن است خود محصولات بر روی سرعت اثر بگذارند به منظور احتراز از این مشکل قانون سرعت در سرتاسر این واکنش باید با داده ها سازگار شود.

۱- واکنش های مرتبه اول

قانون سرعت مرتبه اول برای مصرف واکنش دهنده A به صورت زیر است:

$$\frac{-d[A]}{dt} = k[A]$$

این معادله ی دیفرانسیل به صورت زیر بازاری می شود:

$$\frac{d[A]}{[A]} = -kdt$$

که می توان مستقیماً از آن انتگرال گرفت. از آنجا که در لحظه ی آغازی ($t = 0$) غلظت A ، $[A]_0$ و در زمان بعدی (t) این غلظت $[A]$ است، می توان نوشت:

$$\int_{[A]_0}^{[A]} \frac{d[A]}{[A]} = - \int_0^t kdt$$

و خواهیم داشت:

$$[A] = [A]_0 e^{-kt}$$

معادله آخر نشان می دهد که اگر $\ln[A]/[A]_0$ را در مقابل t رسم کنید واکنش مرتبه اول خط مستقیم می دهد اگر نمودار خطی باشد پس واکنش مرتبه اول است و k را می توان از شیب آن خط بدست آورد.

۲- واکنش مرتبه دوم

اگر قانون سرعت به صورت زیر باشد:

$$\frac{-d[A]}{dt} = k[A]^2$$

انتگرال گیری مورد نیاز عبارت است از:

$$\int_{[A]_0}^{[A]} \frac{d[A]}{[A]^2} = - \int_0^t kdt$$

که مقدار آن چنین است:

$$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} - kt$$

و به صورت زیر بازاریابی می شود:

$$[A] = \frac{[A]_0}{1 + kt[A]_0}$$

این معادله نشان می دهد که برای امتحان یک واکنش مرتبه ی دوم، باید نمودار $1/[A]$ را در مقابل t رسم کنیم و در انتظار یک خط راست باشیم. پس واکنش نسبت به $[A]$ مرتبه ی دوم و شیب خط راست، برابر ثابت سرعت است.

۱-۴-۳- ترمودینامیک

انرژی، ظرفیت یک سیستم برای انجام دادن کار را می رساند، وقتی بر روی سیستم منزوی دیگر کار انجام دهیم ظرفیت آن را برای انجام دادن کار بالا می بریم و از آنجا انرژی آن را افزایش می دهیم. وقتی سیستم کار انجام می دهد، انرژی آن پایین می آید، زیرا کمتر از قبل می تواند کار انجام دهد. باید در نظر داشت همه اجسام، حتی موقعی که یک اختلاف دما در بین سیستم و محیط اطراف آن در کار است، به مسئله انتقال انرژی پاسخ مثبت نمی دهد، فرایندی را که انرژی به شکل گرما را آزاد می کند گرماده می نامند. همه واکنش هایی که از نوع سوختن هستند گرماده می باشند. فرایندهایی را که انرژی به شکل گرما را جذب می کنند، گرماگیر می نامند.

۱-۴-۱- آنتالپی

هنگامی که حجم یک سیستم بتواند در برابر یک فشار خارجی ثابت تغییر کند، تغییر انرژی درونی، دیگر با انرژی عرضه شده به شکل گرما مساوی نیست. در واقع، بخشی از انرژی به کار رفته به شکل گرما به کار لازم برای عقب راندن خلا محیط اطراف تبدیل می شود و از این رو داریم:

$$du < dq$$

در فشار ثابت، گرمای بکار رفته با تغییر یک خاصیت ترمودینامیکی دیگر سیستم به نام آنتالپی (H) مساوی است. این خاصیت به شرح زیر تعریف می شود:

$$H=U+PV$$

P فشار سیستم را می‌رساند و PV قسمتی از تعریف H برای سیستم را نشان می‌دهد و در ضمن به مفهوم محدودیت برای گازهای کامل نیست. آنتالپی، همانند انرژی درونی، تنها تابع حالت کنونی سیستم است و از این رو یک تابع حالت است. تغییر آنتالپی در میان هر زوج حالت اولیه و نهایی مانند هر تابع حالت، مستقل از راه میان آنهاست.

۱-۴-۳-۲- آنتروپی

از روی آنتروپی می‌توان دریافت که آیا یک حالت مورد نظر، به طریق یک تغییر خودبخودی از حالت دیگر، حصول پذیر است یا نه. قانون اول ترمودینامیک، انرژی درونی را برای شناسایی تغییرات مجاز بکار می‌برد. قانون دوم ترمودینامیک، آنتروپی را برای تشخیص تغییرات خودبخودی از میان تغییرات مجاز بکار می‌برد.

قانون دوم: آنتروپی یک سیستم منزوی، در جریان یک تغییر خودبخودی افزایش می‌یابد.

$$\Delta S_{tot} > 0$$

که در آن S_{tot} آنتروپی کلی تمامی بخش‌های یک سیستم منزوی را می‌رساند.

فرایندهای برگشت‌ناپذیر فرایندهای خودبخودی هستند، از این رو با افزایش در آنتروپی همراهند. می‌توان این نتیجه را بدین نحو بیان کرد که فرایندهای برگشت‌ناپذیر آنتروپی را ایجاد می‌کند. فرایندهای برگشت‌پذیر آنتروپی را ایجاد نمی‌کنند. فرایندهای برگشت‌پذیر، حداکثر آنتروپی را از یکی بخش‌های یک سیستم منزوی به بخش دیگر آن منتقل می‌کند.

۱-۴-۳-۳- تابع گیبس

هر گاه واکنش‌های شیمیایی در دما و فشار ثابت در جهتی که با کاهش تابع گیبس همراه است، خودبخودی پیش می‌روند بنا براین برای دانستن اینکه آیا یک واکنش در دما و فشار ثابت در جهت معینی خودبخودی پیش می‌روند یا نه، باید

به ارزیابی تغییر تابع گیبس برای آن واکنش پرداخت G با پیشرفت واکنش کاهش یابد، واکنش در جهت تبدیل واکنش دهنده ها به محصولات گرایش دارد. هر گاه G افزایش یابد، واکنش معکوس خود بخودی است.

وجود واکنش های گرماگیر خودبخودی نقش تابع G را توجیه می کند. در این واکنش ها چون H افزایش می یابد سیستم خودبخودی به آنتالپی بالاتری دست می یابد و $\Delta H > 0$ خودبخودی بودن واکنش علیرغم $dH > 0$ گویای آن است که $dG < 0$ این بیان لزوماً به این معناست که آنتروپی سیستم آنچنان زیاد افزایش یافته که جمله Tds به نحو بارزی مثبت و از dH در $dG = dH - Tds$ سنگینتر است. بنابراین واکنش های گرماگیر بوسیله افزایش در آنتروپی سیستم به جلو رانده می شود، بدیهی است که تغییر آنتروپی بر کاهش آنتروپی محیط اطراف، ناشی از انتقال گرما از محیط اطراف به درون سیستم غالب می گردد [۳۶ و ۳۷].

۱-۵- مروری بر روشهای مختلف حذف رنگهای آزو از پسابهای صنعتی

صنعت نساجی حدود ۱۰۰۰۰ رنگ و پیگمان مختلف استفاده می کند و تولید سالانه این رنگ ها در جهان بالاتر از 7×10^5 تن می باشد. از میان این رنگ ها، رنگ های آزو بزرگترین گروه مواد رنگی را تشکیل می دهند. حدود ۵۰٪ از رنگ هایی که در نساجی استفاده می شوند، رنگ های آزو می باشند. اکثر این رنگ ها برای سلامتی مضر هستند. بنابر این پساب حاصل از کارخانه های نساجی باید تصفیه شوند.

روش های تصفیه از قبیل تصفیه بیولوژیکی، تصفیه فیزیکی و روش های شیمیایی از قبیل لخته سازی، شناور سازی، اکسایش الکتروشیمیایی و یا توسط کربن فعال تکنیک هایی هستند که می توان برای تصفیه پساب های نساجی از آنها استفاده نمود.

در فرایند شیمیایی حذف رنگ از تکنیک ها و مواد مختلفی استفاده می شود از جمله از کربن فعال و رزین های پلیمری به منظور حذف رنگ از پسابهای صنعتی استفاده می شود اما از نظر اقتصادی به صرفه نیستند.

حذف بعضی از مواد آلاینده در پساب‌ها، بسیار سخت است زیرا برخی از آنها در برابر نور، حرارت و عوامل اکسید کننده پایدار بوده و از نظر بیولوژیکی غیر قابل حذف می‌باشند. بنابراین روش‌های شیمیایی و بیولوژیکی در حذف این آلاینده‌ها بطور کامل کارآمد نیستند. امروزه بیشتر تحقیقات بر روی تکنیک جذب (Adsorption) متمرکز شده است. بازده این تکنیک در حذف رنگ از پساب‌ها بسیار بالا است.

وی مشک^۴ و همکارانش جذب رنگ‌های پایه بر روی کربن فعال گرانول را مورد بررسی قرار دادند. اثر غلظت رنگ اولیه و جرم کاذب مورد مطالعه قرار گرفت. ایزوترم‌های جذب فروند لیج و لانگمویر با استفاده از داده‌های جذب اندازه‌گیری شدند. مدل انتشار همگن همراه با مقاومت در برابر انتقال جرم خارجی برای بررسی جنبشی ارائه شده است [۳۸]. کربن فعال شده به دلیل سطح مخصوص بالا و قابلیت جذب زیاد، به عنوان یکی از بهترین جاذب‌ها معرفی می‌شود. اما محدودیت آن، قیمت بالا و نیاز به تولید مجدد بعد از هر آزمایش جذب است. امروزه به منظور کاهش هزینه‌ها از جاذب‌های طبیعی و ارزان قیمت‌تر استفاده می‌گردد مانند چیتوسان، پوسته برنج، خاکستر استخوان، چوب و رس‌های طبیعی مانند بنتونیت، مونت موریلونیت، آلونیت، سپیولیت، زئولیت، کائولینیت و اسمکتیت (smectite).

در این میان سپیولیت به دلیل ساختار ویژه‌ای که دارد قابلیت جذب انواع یون‌های آلی و معدنی را داراست. ویژگی‌های سطح سپیولیت ممکن است با یک سورفکتانت به وسیله یک جانشینی ساده یونی کاملاً متحول گردد. بطوریکه منجر به واکنش واندروالس بین کاتیون‌های سورفکتانت آلی و جاذب می‌شود. اصلاح سطح رس با سورفکتانت، اصطلاحاً آلی کردن رس نامیده می‌شود که باعث می‌شود سطح آلی‌گریز به شدت آلی دوست شده و بنابراین قابلیت جذب به شدت افزایش می‌یابد. امروزه این نوع از سپیولیت‌های آلی که با سورفکتانت‌ها اصلاح شده‌اند بطور گسترده در رنج وسیعی از کاربردهای محیطی استفاده می‌شوند.

⁴ V Meshko

۱-۵-۱ - حذف رنگ آزوی راکتور از فاضلاب به وسیله سیستم بی هوازی ABR

همانطور که پیش تر بیان شد رهاسازی ترکیبات آزو در محیط بسیار نامطلوب است، زیرا تعدادی از این رنگ ها و محصولات حاصل از تجزیه آنها، برای موجودات زنده اثرات سمی و جهش زا دارند. روش های بیولوژیکی برای حذف این مواد به خاطر راهبری آسان، و عدم نیاز به مواد شیمیایی و هزینه کمتر، روش های مناسبی هستند. اساس حذف رنگ های آزو به وسیله سیستم های بیولوژیکی، احیای بی هوازی رنگ های آزو و سپس معدنی سازی آمین های آروماتیک به وسیله سیستم های هوازی می باشد. سیستم بافل دار بی هوازی (ABR) یک راکتور بی هوازی با بار آلی بالا است که از ۳ تا ۸ اتاقک تشکیل شده است. هدف از این تحقیق بررسی راندمان حذف رنگ آزو و همچنین حذف COD فاضلاب به وسیله سیستم بی هوازی ABR می باشد. در این طرح از یک راکتور بی هوازی ABR با حجم مفید ۱۳/۵ لیتر و زمان ماند ۲۴ ساعت استفاده شد. این راکتور ابتدا با فاضلاب سنتزی بارگیری شد سپس به فاضلاب سنتزی، رنگ آزوی قرمز C.I.Reactive Red2 که در صنایع نساجی کاربرد زیادی دارد اضافه شد و درصد حذف رنگ و COD مشخص گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که میانگین راندمان حذف رنگ در سیستم بی هوازی بافل دار ABR، ۸۹/۵ درصد و همچنین میانگین درصد حذف COD در این راکتور ۵۴/۵ می باشد. سیستم بی هوازی ABR به علت توانایی در شکستن پیوندهای آزو، قدرت رنگبری بیشتری نسبت به سیستم های هوازی دارد. ضمناً با بررسی نتایج مشاهده گردید که افزایش غلظت رنگ ورودی تاثیر محسوسی بر راندمان حذف COD در راکتور ABR ندارد. همچنین بیشترین درصد حذف رنگ در اتاقک های ابتدایی راکتور ABR دیده شد [۳۹].

۱-۵-۲ - حذف رنگهای آزو به کمک روش انعقاد

روش انعقاد با استفاده از پلیمرهای شیمیایی، یکی از شناخته شده ترین روش های حذف رنگ از پساب صنایع می باشد. در یک تحقیق، توانایی یک نانو فیبریل پروتئینی بعنوان بیوپلیمر برای جذب زیستی دو رنگ آزو بنام های اسید قرمز ۱۱۴ (Acid Red 114) و اسید قرمز ۸۸ (Acid Red 88) بررسی شد. تشکیل نانوفیبریل توسط گرماگذاری پروتئین در دمای متوسط و با سرعت ثابت هم زدن القا شد. سپس تولید فیبریل ها توسط تست های استاندارد از قبیل سنجش فلورسنس

تیوفلاوین T(ThT)، سنجش جذب رنگ کنگو قرمز (Congo Red)، طیف دو رنگ نمایی دورانی (Circular Dichroism) و میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) ارزیابی شد. نتایج حاکی از آن بود که پروتئین، فیبریل‌هایی دارای ساختار صفحات بتا و قطری بین ۱۰ تا ۲۰ نانومتر تشکیل داد. همچنین اثر pH، قدرت یونی محلول و دوز جذب فیبریلی، بر کارایی جذب و پایداری جذب رنگ توسط جاذب در دماهای متفاوت بررسی گردید. نتایج نشان داد که حذف رنگ‌ها از محلول، توسط نانوفیبریل‌ها به میزان غلظت نانوفیبریل وابسته بود و همچنین بیشترین مقدار حذف رنگ در pH حدود خنثی انجام گرفت.

با این حال، فرایندهای فیزیکی نظیر انعقاد با توجه به اینکه بعضی اوقات می‌توانند منجر به تبدیل آلاینده پساب‌ها به دیگر حدواسط‌ها شوند و ایجاد آلودگی‌های نوع دوم کنند مناسب نیستند [۴۰].

۱-۵-۳- تخریب فوتوکاتالیزوری برخی از رنگ‌های آزو به کمک ذرات با ابعاد نانوی

رنگ‌های آزو در شرایط هوایی مقاومند، اما در شرایط بی‌هوایی به آمین‌های آروماتیک سرطان‌زا تبدیل می‌شوند. روش اکسایش پیشرفته (AOPS) شامل فرایندهای شیمیایی، فتوشیمیایی و فوتوکاتالیزوری برای تولید رادیکال هیدروکسیل ($\cdot\text{OH}$) است. رادیکال هیدروکسیل یک اکسنده بسیار قوی و غیر گزینش‌پذیر است که بسیاری از ترکیبات آلی خصوصاً ترکیبات آلی غیر اشباع را می‌تواند اکسید کند. فرآیند تخریب فوتوکاتالیزوری رنگ‌های آزو در حضور تابش فرابنفش و یا نور مرئی، هوایی می‌گردد. مزیت دیگر این روش، اکسایش کامل ترکیب آلی مورد نظر به آب، کربن دی-اکسید و یا اسیدهای معدنی می‌باشد. آزاد شدن آلاینده‌های آزو در طبیعت، بزرگترین منبع آلودگی برای اکوسیستم‌های طبیعی می‌باشد. به علاوه این مواد طی فرایندهای مختلف از قبیل هیدرولیز، اکسیداسیون و سایر واکنش‌های شیمیایی به آمین‌های آروماتیک تبدیل می‌شوند که یکی از عوامل سرطان‌زا می‌باشند. روش‌های اکسیداسیون پیشرفته بر پایه تولید گونه‌های فعال از قبیل رادیکال‌های هیدروکسیل دسته وسیعی از آلودگی‌ها را سریع و به طور غیر انتخابی تخریب کنند. در میان روش‌های اکسیداسیون پیشرفته، فوتوکاتالیست‌های ناهمگن که در آنها از TiO_2 استفاده می‌شود بسیار مورد توجه می‌

باشند. سینتیک و مکانیسم تخریب فوتوکاتالیستی یک نمونه رنگ آزو با نام اسید آبی ۹۲ (Acid Blue 92) با استفاده از TiO_2 به عنوان فوتوکاتالیست، در حضور نور ماورابنفش مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا نانو ذرات TiO_2 به روش سل ژل و با استفاده از حلال یونی ۲-هیدروکسی اتیل آمونیوم فورمات سنتز می شود و در ادامه اثر افزایش دما و فلزات واسطه روی مورفولوژی سطح و فعالیت فوتوکاتالیستی نانو ذرات TiO_2 با استفاده از تکنیک‌های مختلف بررسی شد. تاثیر پارامترهای مختلف از قبیل غلظت رنگ، مقدار فتوکاتالیست، pH محلول، غلظت مواد اکسند از قبیل H_2O_2 روی سرعت و بازده تخریب رنگ مورد مطالعه قرار گرفت که آزمایشات انجام شده نشان داد که سینتیک تخریب رنگ مطابق مدل لانگمویر هینشلود دارای مکانیسم شبه درجه اول می باشد [۴۱].

در تحقیقی دیگر تخریب فوتوکاتالیزوری برخی آلاینده‌های محیط زیست نظیر رنگ‌های آزوی سولوفنیل قرمز ۳ BL، کوپروکسون سورمه‌ای RL و نیلوسان سیاه ۲ (BC) به کمک نانوذرات ترکیبات ایندیم در حضور نور مرئی و امواج فراصوت مورد بررسی قرار گرفت و اثر عوامل مختلف نظیر مدت زمان تابش، مقدار فوتوکاتالیزور، سرعت جریان گاز اکسیژن و آرگون، pH و دما مورد بررسی قرار گرفت. نانو فوتوکاتالیزور $InVO_4$ که با استفاده از روش هیدروترمال تهیه شده، اندازه-ی ذرات بسیار کوچک و سطح ویژه‌ی بالایی دارد. به منظور افزایش فعالیت فوتوکاتالیزوری $InVO_4$ ، نانو کامپوزیت $InVO_4/TiO_2$ به روش سل-ژل سنتز شد. این فوتوکاتالیزورها با روش تفرق اشعه ایکس (XRD)، طیف‌سنج ماورابنفش-مرئی حالت جامد (UV-Vis)، طیف‌سنج مادون قرمز تبدیل فوریه (FT-IR) و میکروسکوپ الکترونی پیمایشی (SEM) شناسایی شدند. کارایی این فوتوکاتالیزورها به حدی است که حتی در مقادیر بسیار کم (۵ میلی گرم) قادر به تخریب درصد قابل توجهی از رنگ‌های آزو می‌باشند و سینتیک واکنش تخریب توسط این نانو فوتوکاتالیزورها از مدل "لانگمویر-هینشل وود" تبعیت می‌کند [۴۲].

با وجود بالا بودن راندمان فرایند فتوکاتالیزوری، یکی از محدودیت‌های استفاده از نانو مواد جهت حذف رنگ‌های آزو، هزینه بالای خرید و عدم سهولت دسترسی به آن می‌باشد.

۱-۵-۴- استفاده از جاذبه‌های طبیعی جهت حذف رنگ‌های آزو

استفاده از جاذب‌ها روشی مناسب، ساده و مقرون به صرفه می باشد. به همین دلیل پژوهشگران در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در استفاده از این روش برای حذف رنگ و ناخالصی‌ها از پساب‌های صنعتی انجام داده‌اند. در این مطالعات از جاذب‌های طبیعی نیز بهره گرفته شده است. در بعضی از موارد با فعال کردن جاذب یا مخلوط کردن آن با موادی به عنوان کاتالیزور مانند پودرهای مغناطیسی، توانایی جذب را تا حد قابل ملاحظه‌ای افزایش داده‌اند. جاذب‌های طبیعی مانند سیپولیت، زئولیت و بنتونیت بعلاوه دارا بودن سطح ویژه بالا و ساختار الک مولکولی بعنوان جاذب مناسب برای بسیاری از مواد از جمله ترکیبات آلی هستند.

بولنت آرمگانا^۵ و همکارانش مطالعات تعادل واکنش جذب رنگ آزو بر روی زئولیت را مورد بررسی قرار دادند. واکنش جذب رنگ توسط زئولیت بوسیله یک دسته آزمایشات جذب مورد بررسی قرار گرفت. سه رنگ فعال (black, Everzol, Everzol red, Everzol yellow) در مطالعات آزمایشگاهی استفاده شد. نتایج جذب نشان داد که زئولیت طبیعی دارای یک ظرفیت جذب محدود برای رنگ‌ها می باشد اما می توان به صورت مجزا با تغییر سطوح آن با آمین کوارترنری ظرفیت جذب را بهبود داد [۴۳].

بنکلیا^۶ و همکارانش اصلاح ارگانو- زئولیت (زئولیت اصلاح شده با مواد آلی) برای حذف رنگ‌های آزو در راکتور بستر ثابت را مورد مطالعه قرار دادند. این محققین برای اصلاح زئولیت از HTAP استفاده نمودند. مجموعه‌ای از آزمون‌های جذب برای پیدا کردن جذب از سه نوع رنگ‌های reactive Black5, red 239, yellow176 انجام شد [۴۴].

روند جذب و حذف رنگ کاتیونی Tolidine Blueo از محلول آبی با زئولیت ترکیه نیز توسط سیبل کایلینک^۷ و همکارانش را مورد بررسی قرار گرفت. کلینوپتیلولیت یک زئولیت طبیعی ارزان و مؤثر است که به عنوان یک جاذب برای

⁵ Bulent Armagana

⁶ Benklia

⁷ Sibel Klinc

حذف (TBO) از محلول آبی استفاده شد و اثر پارامترهایی مانند غلظت اولیه (TBO) ، PH محلول، زمان تماس، دما و اندازه ذرات در جذب TBO مطالعه شد. اطلاعات میزان جذب با توجه به مدل‌های سینتیکی اول و دوم مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که نشان داده شد جذب از مدل مرتبه دوم پیروی می‌کند. ایزوترم جذب به خوبی به هر دو مدل لانگریج و فروندلیج نصب شده است [۴۵].

های دونگ وانگ^۸ و گروهشان جذب رنگ آزو اسیدی (ORANGE7) یا (AO7) را بر روی نانوالماس (nanodiamond یا ND) را مورد مطالعه قرار دادند. به عنوان گروه شاهد، ترکیبات دیگر آزو، سولفالاژین (SSZ) همراه با (5-ASA) و (SPY) نیز برای رفتار جذب سطحی بر روی سطح ND مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به تعامل قوی باند هیدروژن، ND تمایل زیادی به واکنش با AO7 و SSZ نشان می‌دهد در حالیکه آن تنها در تعامل متوسط و ضعیف با (5-ASA) و (SPY) بود. ND می‌تواند یک نامزد مطلوب برای درمان فاضلاب نساجی نه تنها در شرایط اسیدی بلکه همچنین در شرایط خنثی تا PH قلیایی باشد [۴۶].

کیویوبی^۹ نیز رفتار جذب رنگ آزو اسید قرمز ۱۴ در محلول آبی بر روی خاک سطحی را بررسی کرد. او گزارش کرده است که مدل فروندلیج بیانگر ایزوترم جذب بهتر از مدل لانگمویر است. علاوه بر این اثر دما و PH بر جذب را نیز اندازه‌گیری نمود [۴۷].

بی وی ویلیو^{۱۰} و گروهشان استفاده از مدل انتشار برای جذب رنگ آزو راکتیو بر Pumice را مورد تحقیق قرار دادند. در این واکنش جذب رنگ آزو در Pumice با استفاده از تکنیک‌های دسته‌ای مورد مطالعه قرار گرفت. غلظت اولیه رنگ و جرم کاذب مطالعه شد. مشخص شد که Pumice می‌تواند جاذب مناسبی در حذف رنگ از فاضلاب باشد [۴۸].

⁸ Hai-Dong Wang

⁹ Q U B

¹⁰ E.V.Veliev

سما ایکسی ۱۱ و همکارانش از کامپوزیت هیدروژل AAM/Sepiolit برای حذف رنگ استفاده کردند. ایشان، روش جذب رنگ تک ظرفیتی کاتیونی مانند (BB-12) و (BB-9) و (BV-1) را روی کامپوزیت مطالعه نمودند. نتایج جذب نشان داد که مقدار جذب رنگ بر روی کامپوزیت هیدروژل AAM/SEP در BB-12 بیشترین مقدار بود.

BB-12 > BB-9 > BV-1

می توان گفت کامپوزیت هیدروژل کاندید خوبی برای حذف رنگ از محیط زیست می باشد [۴۹].

رنگ زرد یکی از اصلی ترین رنگ هایی است که در صنعت نساجی استفاده می شود. دنایز بینگل ۱۲ جذب رنگ زرد درخشان بر روی سپیولیت با استفاده از طراحی فاکتوریال کامل را بررسی نمود. دسته آزمایشات جذب به منظور بررسی شرایط جذب حداکثر برای رنگ آنیونی زرد درخشان با روش حل شدن در سپیولیت با ۲۳ طراحی کامل فاکتوریل انجام شد. این محققین عوامل دما، PH اولیه حل شدن و پراکندگی قدرت یونی برای بدست آوردن حداکثر جذب ترکیب را بهینه کردند [۵۰]. سپیولیت طبیعی جاذب مناسبی برای آلاینده هاست اما وقتی سطح سپیولیت با ماده ای اصلاح می گردد، ظرفیت جذب آن به شدت افزایش می یابد. اورهان ازدیمیر ۱۳ و گروهشان به مطالعه مکانیسم جذب از سه رنگ آزو راکتیو Yellow176 , Red239, Reactive BlackS توسط سپیولیت وزئولیت پرداختند. برای این منظور یک سری از آزمونهای جذب، به عنوان تابعی از غلظت مواد جامد، زمان، غلظت رنگ با استفاده از سپیولیت و زئولیت های طبیعی و اصلاح شده انجام شد. نتایج نشان داد که هر دو سپیولیت طبیعی و زئولیت دارای ظرفیت های جذب محدودی از رنگهای راکتیو است. اما با اصلاح سطوح توسط ترکیبات آمین کوارترنری، ظرفیت جذب به طور قابل ملاحظه ای بهبود می یابد [۵۱].

مطالعه سینتیک و ترمودینامیک جذب رنگ های آنیونی (RB221) و (acid red57) بر روی سپیولیت توسط ماهیر آلکان ۱۴ انجام شد. سرعت جذب رنگ بر روی سپیولیت با توجه به زمان تماس، غلظت اولیه رنگ، PH و درجه حرارت

¹¹ Sema Ekici

¹² Denize Bingol

¹³ Orhan Ozdemir

¹⁴ Mahir Alkan

مورد بررسی قرار گرفته شد. نتایج اولیه نشان داد که PH اسیدی، افزایش غلظت اولیه رنگ و درجه حرارت به نفع جذب است. با توجه به نتایج بدست آمده، این پژوهشگران گزارش نمودند که سیپولیت می تواند به عنوان یک ماده کم هزینه برای جذب رنگ های نساجی از پساب به کار گرفته شود [۵۲].

۱-۶- فرایند تصفیه فاضلاب

آب و فاضلابها برای استفاده و برای برگشت به محیط یا استفاده مجدد نیاز به تصفیه دارند. روشهای مختلفی برای تصفیه آنها و فاضلابها وجود دارد که بسته به مصارف آب و نوع آلودگی از این روشها استفاده می شود. بطور کلی هدف از تصفیه فاضلاب عبارتست از:

الف) گرفتن مواد معلق و شناور از فاضلاب

ب) اکسیداسیون مواد ناپایدار آلی موجود در فاضلاب و تبدیل آنها به موادی پایدار

مانند نیتراژها و سولفاتها و فسفاتها و سپس ته نشین ساختن و جداسازی آن مواد

ج) جداسازی مواد سمی محلول و نامحلول نظیر ترکیبهای فازهای سنگین، رنگها

د) گندزدائی و کشتن میکروبها در فاضلاب

پالایش یا تصفیه فاضلاب را معمولا در سه مرحله تقسیم می نمایند:

الف) مرحله مقدماتی تصفیه فاضلاب شامل تصفیه فیزیکی از قبیل آشغالگیری و ته نشینی مواد معلق آن

ب) مرحله دوم تصفیه فاضلاب و یا تصفیه ثانویه شامل تصفیه زیستی از قبیل هوادهی و استفاده از باکتریهای گوناگون موجود در فاضلاب برای تصفیه آن.

ج) مرحله سوم تصفیه فاضلاب و یا تصفیه نهایی شامل زلال سازی و تصفیه های تکمیلی از قبیل تکمیل عمل نیتراژ زدائی، گذراندن فاضلاب از صافی های ماسه ای، استفاده از کربن فعال، نمک زدائی باروش تعویض یون، رنگ زدایی و...

هرچند از عمر صنعت نساجی سال‌های بسیار زیادی می‌گذرد، با این حال تاکنون روش خاص، دقیق و مناسبی برای تصفیهٔ پساب این صنعت ارائه نگردیده است. تغییرات زیادی که در کیفیت پساب نساجی حاصل می‌شود کنترل آن را از نظر تصفیه با مشکلاتی مواجه می‌سازد. نوع تصفیه پساب نساجی بر حسب تخلیهٔ آن در سیستم جمع‌آوری فاضلاب شهری یا تخلیهٔ آن در رودخانه و یا در چاه‌های جذبی متفاوت است. گاهی اوقات مسائل اقتصادی ایجاب می‌نماید که پساب تصفیه شده به صورت مصرف مجدد در کارخانه به کار برده شود. برای کاهش هر چه بیشتر حجم پساب‌های تولیدی لازم است تا آنجا که امکان دارد از پساب حاصل در یک واحد به عنوان آب مورد نیاز در واحد دیگر استفاده نمود.

عمده‌ترین روش‌های فیزیکی که برای تصفیهٔ پساب نساجی مورد استفاده قرار می‌گیرد، انواع فیلتراسیون و ته‌نشینی است. گاهی نیز از روش‌های شیمیایی نظیر انعقاد، جذب، الکترولیز و تبادل یونی در کنار روش‌های فیزیکی استفاده شده است.

روش‌های شیمیایی اغلب به علت هزینهٔ بالا و میزان مواد مصرفی شیمیایی بالا، مقرون به صرفه نبوده و لذا کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. از طرفی روش‌های مناسب بیولوژیکی نیز که معمولاً برای تصفیهٔ فاضلاب‌های صنعتی به کار می‌روند، در این مورد کارایی کمی داشته‌اند. معمولاً با تمهیداتی که در نظر گرفته شده، در حال حاضر بیشترین کاربرد برای تصفیهٔ این فاضلاب، استفاده از سیستم‌های تلفیقی شیمیایی- فیزیکی و بیولوژیکی است.

تصمیم‌گیری در مورد روش تصفیهٔ مناسب پساب نساجی بستگی به نوع مواد آلوده‌کننده، نوع فرایند، موقعیت محل و موقعیت آب‌های جاری و زیرزمینی دارد. از طرفی این مسأله که آیا کارخانه مایل به دارا بودن یک سیستم مستقل تصفیه و یا به صورت مشترک با سیستم تصفیهٔ سایر واحدهای مشابه صنعتی و نیز شهری می‌باشد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نکته قابل توجه دیگر، بازیافت و کاربرد مجدد مواد موجود در پساب است که از نظر اقتصادی اهمیت داشته و باید امکان آن به دقت بررسی گردد.

تصفیهٔ پساب نساجی به طور کلی در سه مرحلهٔ مقدماتی، تصفیهٔ اولیه و تصفیهٔ ثانویه صورت می‌گیرد که به طور خلاصه به شرح آن‌ها می‌پردازیم.

- تصفیهٔ مقدماتی

به دلیل تغییرات ساعتی در کمیت و کیفیت پساب نساجی و تنوع مصرف مواد شیمیایی در عملیات فرایندها، لازم است یک سری عملیات مقدماتی بر روی این پساب صورت گیرد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

یکنواخت سازی یا متعادل سازی

خنثی سازی یا تنظیم pH

اضافه کردن مواد مغذی

جداسازی و تفکیک

با بررسی نتایج آنالیز آلوده‌کننده‌های پساب و مقایسه آن‌ها با حدود مجاز، می‌توان پساب بعضی از واحدها که نیاز به تصفیه ندارند یا تصفیه آن‌ها به تنهایی ساده‌تر است را از بقیه واحدها جدا نمود. با این کار، ضمن این که مقدار زیادی از مخارج تصفیه کاهش می‌یابد، از خسارات ناشی از ورود بعضی از مواد شیمیایی از جمله مواد سمی به مراحل از تصفیه که نسبت به آنها حساس می‌باشد (مانند تصفیه بیولوژیکی) جلوگیری به عمل خواهد آمد.

- تصفیه اولیه

تصفیه اولیه بخش دیگری از تأسیسات تصفیه‌خانه را شامل می‌گردد که در آن، مواد جامد قابل ته‌نشینی یا شناور از پساب حذف می‌شود. این بخش می‌تواند در برگیرنده مراحل زیر باشد:

غربال کردن (اشغالگیری)

دانه‌گیری

پیش هوادهی

ته نشینی اولیه

شناورسازی

- تصفیه ثانویه

در صورتی که نسبت $\frac{COD}{BOD}$ بین ۱/۵ تا ۲/۵ باشد تصفیه پساب به روش بیولوژیکی امکان پذیر بوده و نتیجه قابل قبولی

خواهد داشت، اما اگر نسبت $\frac{COD}{BOD}$ بزرگتر از ۲/۵ باشد، تصفیه به روش شیمیایی است. موادی که باید از طریق تصفیه ثانویه از پساب جدا گردند شامل مواد معلق، رنگ و مواد آلوده کننده دیگر می باشد. عمل تصفیه ثانویه وقتی انجام می گیرد که قبل از آن پساب متعادل شده و pH آن خنثی و چربی، روغن و مواد معلق موجود هم تا حد ممکن گرفته شده باشد.

تصفیه شیمیایی مانند انعقاد با ترکیباتی نظیر سولفات آلومینیوم، کلرید فریک، سولفات فریک، آهک و تصفیه بیولوژیکی مانند استفاده از حوضچه های سیستم لجن فعال، صافی چکنده، سیستم های دیسک چرخان (RBC) و لاگون ها از جمله روش های مرسوم در تصفیه ثانویه می باشند.

در ادامه برخی از مراحل ذکر شده در بالا شرح داده شده است:

- آشغالگیری

به منظور حذف مواد معلق شناور و درشت از پساب نساجی، قبل از ورود آن به واحدهای تصفیه، معمولاً از آشغالگیرهای میله ای با دهانه ۱۰ تا ۴۰ میلیمتر استفاده می شود. آشغالگیر در مسیر جریان پساب به نحوی قرار می گیرد که با افق زاویه ۴۵ تا ۶۰ درجه داشته باشد. جنس آشغالگیر از آهن گالوانیزه یا آهن با پوشش های ضد خوردگی است. پاک کردن آشغالگیر در کارهای کوچک، دستی و در کارهای بزرگ، مکانیکی است. در مواقع خاص، استفاده از دو ردیف آشغالگیر، یکی با دهانه تنگ و دیگری با دهانه گشاد نتایج بهتری خواهد داشت.

- یکنواخت کردن

به منظور یکنواخت شدن بار هیدرولیکی واحدهای تصفیه، کیفیت شیمیایی و بیولوژیکی پساب و درجه حرارت آن و همچنین ممانعت از وارد شدن شک ناگهانی به تصفیه‌خانه، از حوض یکنواخت‌کننده استفاده می‌شود. در این تعادل‌سازی، مواد سمی موجود در پساب که در واحدهای گوناگون تصفیه ممکن است مشکل ایجاد نمایند نیز رقیق خواهند شد.

اختلاط کامل پساب در حوض یکنواخت‌کننده ممکن است از طریق تعبیه یک همزن مکانیکی یا از طریق نصب هوادهای مکانیکی شناور (که علاوه بر اختلاط، در کاهش درصدی از آلودگی پساب نیز مؤثرند)، انجام گیرد. درصد حذف آلودگی در حوض تعادل هوادهای شده را ۵ تا ۱۰ درصد بیان کرده‌اند [۴].

- خنثی‌سازی

در صورتی که بعد از اختلاط و متعادل شدن کلیه پساب‌های حاصل از نساجی، pH کلی، اسیدی یا قلیایی باشد، برای خنثی‌سازی آن تزریق اسید یا قلیا می‌تواند در حوض یکنواخت‌کننده پیش‌بینی گردد. بهترین فرم این عمل نصب یک عدد pH متر اتوماتیک در حوض تعادل است که به واحدهای تزریق اسید و قلیا فرمان دهد. برای بالا بردن pH می‌توان از آهک، کربنات سدیم یا سود و برای کاهش آن از اسید سولفوریک یا گاز کربونیک استفاده نمود. حد pH اصلاح شده پساب به نوع تصفیه‌ای که برای آن پیش‌بینی خواهد شد مربوط است.

- ته‌نشینی اولیه

اگر پساب نساجی محتوی مواد معلق قابل توجهی باشد، ته‌نشینی این مواد قبل از انتقال آن به واحدهای تصفیه الزامی است. این ته‌نشینی با استفاده از حوض‌های ته‌نشینی انجام می‌شود. زمان ته‌نشینی در این حوض‌ها ۱/۵ تا ۶ ساعت است. البته به این نکته باید اشاره نمود که در پساب نساجی به ندرت این اتفاق می‌افتد که پساب، نیاز به ته‌نشینی اولیه مواد معلق داشته باشد.

- تصفیه بیولوژیکی

این تصفیه به تثبیت مواد قابل تجزیه پساب کمک می‌نماید. در صورتی که مواد تجزیه‌پذیر پساب نساجی قابل ملاحظه باشد، تصفیه بیولوژیکی ارزان‌ترین و کاراترین روش تصفیه تلقی می‌گردد. مبانی طراحی و تصفیه بیولوژیکی پساب نساجی در حقیقت همان مبانی تصفیه بیولوژیکی فاضلاب شهری است.

روش‌های متداول تصفیه بیولوژیکی همچون بستر باکتری و لجن فعال، در صورتی که در پساب مواد ممانعت‌کننده فعالیت باکتری‌ها وجود نداشته باشد برای تصفیه پساب نساجی مناسب هستند. برای موفق بودن تصفیه بیولوژیکی وجود حداقلی از مواد ازت‌دار و فسفردار ضرورت دارد، علاوه بر آن غلظت ترکیبات سمی فلزات سنگین و میزان درجه حرارت نیز نباید از حدود خاصی متجاوز باشد، در این مورد جدول زیر پیشنهاد گردیده است.

جدول ۱-۴- حدود مطلوب برای تصفیه بیولوژیکی [۴]

پارامتر	حد مطلوب
درجه حرارت	کمتر یا مساوی ۳۵ درجه سانتی‌گراد
نسبت BOD به ازت	۲۰
نسبت BOD به فسفر	۳۰۰
pH	۶/۵ - ۹
فلزات سنگین (روی، مس، کرم)	کمتر از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر

چون در اغلب موارد میزان ازت و فسفر پساب‌های نساجی برای فعالیت بیولوژیکی باکتری‌ها در تصفیه بیولوژیکی کافی نمی‌باشد، لازم است این مواد به طور دستی به محیط اضافه شوند و این امر در بالا بردن هزینه‌های تصفیه تأثیر زیادی خواهد داشت. به منظور احتراز از غیراقتصادی بودن تصفیه بیولوژیکی پساب نساجی، در واحدهای تصفیه بیولوژیکی مخلوط فاضلاب شهری و پساب صنعتی را توأمأ مورد تصفیه قرار می‌دهند. این اختلاط به تأمین ازت و فسفر مورد نیاز باکتری‌ها کمک شایانی خواهد نمود.

با توجه به وجود مواد غیرقابل تجزیه رنگی یا شیمیایی در پساب نساجی گاهی اوقات روش تصفیه بیولوژیکی حتی روش هوادهی گسترده نیز موفقیت آمیز نخواهد بود.

مطالعات وایت ۱۵ در سال ۱۹۷۸ بر روی پساب حاصل از ۳۰ نمونه رنگ نشان داده است که روش تصفیه بیولوژیکی قادر به حذف رنگ و تقلیل COD در حد دلخواه نیست و فقط مقدار ناچیزی از رنگ موجود در پساب جذب لجن‌های فعال خواهد شد [۴].

اگر در محل کارخانه زمین به اندازه کافی موجود باشد استفاده از لاگون با زمان توقف طولانی نیز در تصفیه بیولوژیکی پساب نساجی قابل اجرا است. در این روش، به هیچ‌گونه انرژی گران‌قیمت نیاز نبوده و بهره برداری و نگهداری از تصفیه‌خانه نیز به مراتب راحت‌تر و کم‌هزینه‌تر خواهد بود.

- تصفیه شیمیایی، بیولوژیکی

به منظور حذف مواد معلق کلوئیدی و حذف قسمت مهمی از رنگ موجود در پساب، گاهی اوقات، تصفیه شیمیایی قبل از تصفیه بیولوژیکی توصیه گردیده است. هدف اصلی تصفیه شیمیایی، در واقع ناپایدار ساختن کلوئیدها و انعقاد کلوئیدهای بی‌بار شده است. مهم‌ترین مواد منعقدکننده مصرفی در تصفیه شیمیایی پساب نساجی زاج، کلورفریک، آهک، پلی-الکترولیت و غیره هستند. روش تصفیه شیمیایی قادر است تا ۴۰٪ از BOD و COD و بیش از ۷۰٪ از مواد معلق کلوئیدی و مقدار زیادی از رنگ موجود در پساب را حذف نماید [۴]. در صورت تصفیه شیمیایی پساب، چون مواد منعقدکننده در محدوده‌های متغیری از pH عمل انعقاد کلوئید را انجام می‌دهند، اصلاح pH پساب ضرورت خواهد داشت. نوع و مقدار ماده منعقدکننده از طریق آزمایش جار تست تعیین می‌شود. برای ته‌نشینی کلوئیدها و رنگ‌های منعقد شده در تصفیه شیمیایی، کاربرد حوض‌های ته‌نشینی با جریان پایین به بالا نسبت به حوض‌های با جریان افقی ارجحیت دارد. زمان صعود در این حوض‌ها بین ۲ تا ۴ ساعت پیشنهاد شده است.

چون در تصفیه شیمیایی ازت و فسفر نقش مهمی ندارند در این قسمت از تصفیه‌خانه نیازی به اختلاط فاضلاب شهری با پساب صنعتی نخواهد بود. روش تصفیه شیمیایی موجب پیدایش مقدار نسبتاً متناهی لجن در حوض ته‌نشینی می‌شود که تصفیه و دفع آن خالی از اشکال نخواهد بود. در صورتی که مواد منعقد شده در تصفیه شیمیایی سبک باشند، استفاده از روش

¹⁵White Michaels

شناورسازی نیز برای جداسازی لجن تولیدی مناسب خواهد بود که البته این روش نیز هزینه‌ها و محدودیت‌هایی را در پی خواهد داشت.

چون تصفیه شیمیایی قادر به تولید پساب با ویژگی‌هایی مطابق با استاندارد نیست، از این جهت در بعضی موارد در ادامه تصفیه شیمیایی اقدام به تصفیه کامل بیولوژیکی نیز می‌نمایند و همان طور که قبلاً بیان شد به منظور جبران کمبود ازت و فسفر مورد نیاز تصفیه بیولوژیکی، در این واحد، فاضلاب شهری توأم با پساب صنعتی مورد تصفیه قرار خواهد گرفت.

بعد از تصفیه شیمیایی برای بهبود بخشیدن به کیفیت پساب، آن را از صافی ماسه‌ای عبور می‌دهند. ممکن است به جای صافی ماسه‌ای از صافی زغال فعال نیز استفاده شود.

در تصفیه شیمیایی و بیولوژیکی، بخش اعظم آلودگی پساب نساجی حذف می‌شود، ولی حذف رنگ با این روش‌ها چندان نتیجه‌بخش نیست. برای حذف نسبتاً کامل رنگ نیاز به روش‌های خاصی است که به طور مفصل در بخش‌های پیشین به تاریخچه و راهکارهای نوین آن اشاره شد.

- میزان مواد آلی در فاضلابها :

بطوری که قابل پیش بینی است فاضلابها و پسابها حاوی مقدار بسیار زیادی مواد آلی است. تقریباً آثار کلیه مواد مصرف در زندگی اجتماعی و هم‌ینطور صنایع، در فاضلابها وجود دارد. تخلیه فاضلابها و پسابها در آبهای معمولی آنها را به سرعت آلوده می‌کند و این در واقع زائیده وجود مقادیر بسیار زیاد مواد آلی در فاضلابها و پسابها است.

اکسیژن مورد نیاز جهت اکسیداسیون یک فاضلاب، پساب و یا آب آلوده معیار مناسبی برای آگاهی از حدود مقدار مواد آلوده کننده موجود در آنها است. دو روش تعیین میزان آلودگی که بر اساس موارد ذکرشده در بالا متکی هستند، تحت عناوین COD و BOD شناخته شده‌اند.

(BOD) Biochemical Oxygen Demand

BOD یک فاضلاب، پساب و یا آب عبارت است از میزان اکسیژن مورد نیاز میکروارگانیسم‌ها در اکسیداسیون بیوشیمیایی مواد آلی موجود در آن. در حقیقت BOD تعیین کننده مقدار اکسیژن مورد نیاز برای ثبات بیولوژیکی مواد آلی نمونه مورد نظر خواهد.

(COD) Chemical Oxygen Demand

COD یک فاضلاب، پساب و یا آب آلوده، عبارت است از میزان اکسیژن مورد نیاز برای اکسیداسیون مواد قابل اکسیداسیون موجود در آن. مقدار COD معمولاً با استفاده از یک عامل اکسید کننده قوی در محیط اسیدی قابل اندازه‌گیری است. تعیین BOD با وجود ارزش فراوان به همراه دو نکته ضعف اساسی است. اولی طولانی بودن مدت آزمایش و دومی امکان مسموم شدن میکروارگانیسم‌های مورد نظر در تماس با مواد آلوده در این مدت طولانی، از اینرو COD ارزش فراوانی پیدا می‌کند.

- درجه بندی فاضلابها :

فاضلاب آنها بر حسب مقدار BOD درجه بندی می‌شود. فاضلابهایی که BOD آنها به ترتیب در حدود ۲۱۰، ۳۵۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر هستند، فاضلابهای ضعیف، متوسط و قوی هستند. برای جلوگیری از آلودگی آنها در بیشتر نقاط جهان، هیچ فاضلابی حتی بعد از تصفیه در صورتیکه BOD آن بیش از ۲۰ میلی‌گرم در لیتر باشد، مجاز به ورود به جریان‌های سطحی و یا زیرزمینی نیست.

مهمترین عوامل ضرورت عدم تخلیه آبهای جاری و زیر زمینی:

۱- اسیدیته آزاد

۲- مواد قلیایی قوی

۳- غلظت زیاد مواد محلول

۴- چربی و روغن

۵- فلزات سنگین و مواد سمی

۶- گازهای بدبو و سمی

۷- مواد رادیو اکتیو

۸- مواد معلق، رنگ، بو

۹- ازدیاد دما

۱۰- وجود میکروارگانسیم‌های بیماری‌زا

استاندارد خروجی فاضلاب‌ها در جدول ۳-۱۷ آورده شده است. این استاندارد باستناد ماده ۵ آئین نامه جلوگیری از آلودگی آب و با توجه به ماده سه همین آئین نامه و با همکاری وزارتخانه‌های بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، نیرو، صنایع، صنایع سنگین، معادن و فلزات، کشور و کشاورزی توسط سازمان حفاظت محیط زیست تهیه و تدوین گردیده است. در این استانداردها تعاریف و اصطلاحاتی که بکار رفته است بشرح ذیل می باشد:

آب سطحی: عبارتست از آبهای جاری یا دائمی، دریاچه های طبیعی یا مصنوعی و تالابها.

چاه جاذب: عبارتست از حفره یا گودال که قابلیت جذب داشته و کف آن تا بالاترین سطح ایستابی حداقل ۳ متر فاصله داشته باشد.

تراشه جذبی: عبارتست از مجموعه ای از کانالهای افقی که فاضلاب به منظور جذب در زمین به آنها تخلیه شده و فاصله کف آنها از بالاترین سطح ایستابی حداقل ۳ متر باشد.

کنار گذر: کانالی است که فاضلاب را بدون عبور از بخشی از تصفیه خانه یا کل آن به بخشی دیگر و یا کانال خروجی هدایت کند.

نمونه مرکب: عبارتست از تهیه یک نمونه ۲۴ ساعته از نمونه هایی که با فواصل زمانی حداکثر ۴ ساعته تهیه شده اند.

ملاحظات کلی

۱- تخلیه فاضلابها، باید براساس استانداردهایی باشد که بصورت حداکثر غلظت آلوده کننده ها بیان می شود و رعایت این استانداردها تحت نظارت سازمان حفاظت محیط زیست ضروریست.

- ۲- مسئولین منابع آلوده کننده باید فاضلابهای تولیدی را با بررسی های مهندسی و استفاده از تکنولوژی مناسب و اقتصادی تا حد استانداردها تصفیه نماید.
- ۳- اندازه گیری غلظت مواد آلوده کننده و مقدار جریان در فاضلابها باید بلافاصله پس از آخرین واحد تصفیه ای تصفیه خانه و قبل از ورود به محیط انجام گیرد.
- ۴- اندازه گیری جهت تطبیق با استانداردهای اعلام شده قبل از تاسیسات تصفیه فاضلاب باید بر مبنای نمونه مرکب صورت گیرد. در سیستمهایی که تخلیه ناپیوسته دارند اندازه گیری در طول زمان تخلیه ملاک خواهد بود.
- ۵- لجن و سایر مواد جامد تولید شده در تاسیسات تصفیه فاضلاب قبل از دفع بایستی بصورت مناسب تصفیه شده و تخلیه نهایی این مواد نباید موجب آلودگی محیط زیست گردد.
- ۶- فاضلاب تصفیه شده باید با شرایط یکنواخت و بنحوی وارد آبهای زیربنه گردد که حداکثر اختلاف صورت گیرد.
- ۷- فاضلاب خروجی نیابستی دارای بوی نامطبوع بوده و حاوی کف و اجسام شناور باشد.
- ۸- رنگ و کدورت فاضلاب خروجی نباید ظواهر طبیعی آبهای پذیرنده و محل تخلیه را بطور محسوس تغییر دهد.
- ۹- روشهای سنجش پارامترهای آلوده کننده بر مبنای روشهای ذکر شده در کتاب *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water* خواهد بود
- ۱۰- استفاده از سیستم سپتیک تانک و ایمهوف تانک با بکارگیری چاهها و یا تراشه های جذبی در مناطقی که فاصله کف چاه یا تراشه از سطح آبهای زیر زمینی کمتر از ۳ متر می باشد ممنوع است.
- ۱۱- ضمن رعایت استانداردهای مربوطه خروجی فاضلابها نباید کیفیت آب را برای استفادههای منظور شده تغییر دهد.
- ۱۲- رقیق کردن فاضلاب تصفیه شده یا خام به منظور رسانیدن غلظت مواد آلوده کننده تا حد استانداردهای اعلام شده قابل قبول نمی باشد.
- ۱۳- استفاده از روشهای تبخیر فاضلابها با کسب موافقت سازمان حفاظت محیط زیست مجاز است.

۱۴- استفاده از کنارگذر ممنوع است، کنارگذرهائیکه صرفاً جهت رفع اشکال واحدهای تصفیه ای بکار رفته و یا در زمان جمع آوری توام فاضلاب شهری و آب باران مورد استفاده قرار می گیرند مجاز است.

۱۵- تاسیسات تصفیه فاضلاب بایستی بگونه ای طراحی، احداث و بهره برداری گردد. تا پیش بینی لازم جهت به حداقل رسانیدن آلودگی در مواقع اضطراری از قبیل شرایط آب و هوای نامناسب، قطع برق، نارسایی تجهیزات مکانیکی و فراهم گردد.

۱۶- آن دسته از فاضلابهای صنعتی که آلودگی آنها بیش از این استانداردها نباشد می تواند فاضلاب خود را با کسب موافقت سازمان بدون تصفیه دفع نمایند.

جدول ۱-۵- استاندارد خروجی فاضلابها

شماره	مواد آلوده کننده	تخلیه به آبهای سطحی mg/l	تخلیه به چاه جاذب mg/l	مصارف کشاورزی و آبیاری mg/l
۱	Ag نقره	۱	۰/۱	۰/۱
۲	Al آلومینیوم	۵	۵	۵
۳	As آرسنیک	۰/۱	۰/۱	۰/۱
۴	B بر	۲	۱	۱
۵	Br بریم	۵	۱	۱
۶	Be بریلیوم	۰/۱	۱	۰/۵
۷	Ca کلسیم	۷۵	-	-
۸	Cd کادمیوم	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵
۹	Cl آزاد	۱	۱	۰/۲
۱۰	Cl ⁻ کلراید	۶۰۰ (تبصره یک)	۶۰۰ (تبصره یک)	۶۰۰
۱۱	CH ₂ O فرمالیدئید	۱	۱	۱
۱۲	C ₆ H ₅ OH فنل	۱	ناچیز	۱
۱۳	CN سیانور	۰/۵	۰/۱	۰/۱
۱۴	CO کبالت	۱	۱	۰/۰۵
۱۵	Cr ^{۶+} کروم	۰/۵	۱	۱
۱۶	Cr ^{۳+} کروم	۲	۲	۲
۱۷	Cu مس	۱	۱	۰/۲
۱۸	F فلوراید	۲/۵	۲	۲
۱۹	Fe آهن	۳	۳	۳
۲۰	Hg جیوه	ناچیز	ناچیز	ناچیز
۲۱	Li لیتیوم	۲/۵	۲/۵	۲/۵

۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	Mg منیزیوم	۲۲
۱	۱	۱	Mn منگنز	۲۳
۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	Mo مولیبدن	۲۴
۲	۲	۲	Ni نیکل	۲۵
-	۱	۲/۵	آمونیم بر حسب NH ₄	۲۶
-	۱۰	۱۰	نیتريت بر حسب NO ₂	۲۷
-	۱۰	۵۰	نیترات بر حسب NO ₃	۲۸
-	۶	۶	فسفات بر حسب فسفر	۲۹
۱	۱	۱	Pb سرب	۳۰
۰/۱	۰/۱	۱	Se سلنیوم	۳۱
۳	۳	۳	سولفید SH ₂	۳۲
۱	۱	۱	سولفیت SO ₃ -	۳۳
۵۰۰	۴۰۰ (تبصره دو)	۴۰۰ (تبصره یک)	سولفات SO ₄ -	۳۴
۰/۱	۰/۱	۰/۱	وانادیوم V	۳۵
۲	۲	۲	Zn روی	۳۶
۱۰	۱۰	۱۰	چربی روغن	۳۷
۰/۵	۰/۵	۱/۵	دترجنت ABS	۳۸
۱۰۰	۳۰ (لحظه ای ۵۰)	۳۰ (لحظه ای ۵۰)	BOD ₅ (تبصره سه)	۳۹
۲۰۰	۶۰ (لحظه ای ۱۰۰)	۶۰ (لحظه ای ۱۰۰)	COD (تبصره سه)	۴۰
۲	-	۲	اکسیژن محلول (حداقل) DO	۴۱
-	(تبصره دو)	(تبصره یک)	TDS مجموع مواد جامد محلول	۴۲
۱۰۰	-	۴۰ (لحظه ای ۶۰)	TSS مجموع مواد جامد معلق	۴۳
-	-	۰	مواد قابل ته نشینی SS	۴۴
۶-۸/۵	۵-۹	۶/۵-۸/۵	پ-هاش (حدود) PH	۴۵
۰	۰	۰	مواد رادیواکتیو	۴۶
۵۰	-	۵۰	کدورت واحد کدورت	۴۷
۷۵	۷۵	۷۵	رنگ (واحد رنگ)	۴۸
-	-	تبصره ۴	درجه حرارت T	۴۹
۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	کلی فرم گوآرشی (تعداد در ۱۰۰ میلیلیتر)	۵۰
۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	کل کلیفرم ها (تعداد در ۱۰۰ میلیلیتر) MPN	۵۱
(تبصره ۵)	-	-	تخم انگل	۵۲

تبصره یک: تخلیه با غلظت بیش از میزان مشخص شده در جدول در صورتی مجاز خواهد بود که پساب خروجی، غلظت

کلراید، سولفات و مواد محلول منبع پذیرنده را در شعاع ۲۰۰ متری بیش از ۱٪ افزایش ندهد.

تبصره دو: تخلیه با غلظت بیش از میزان مشخص شده در جدول در صورتی مجاز خواهد بود که افزایش کلراید، سولفات و مواد محلول پساب خروجی نسبت به آب مصرفی بیش از ۱۰٪ نباشد.

تبصره سه: صنایع موجود مجاز خواهد بود BOD5 و COD را حداقل ۹۰٪ کاهش دهند.

تبصره چهار: درجه حرارت باید به میزانی باشد که بیش از ۳ درجه سانتی گراد در شعاع ۲۰۰ متری محل ورود آن، درجه حرارت منبع پذیرنده را افزایش یا کاهش ندهد.

تبصره پنج: تعداد تخم انگل (نماتد) در فاضلاب تصفیه شده شهری در صورت استفاده از آن جهت آبیاری محصولاتی که بصورت خام مورد مصرف قرار می گیرد نباید بیش از یک عدد در لیتر باشد.

امروزه قوانین سخت گیرانه زیست محیطی برای حذف پسابهای مضر وضع شده است از این رو باید با استفاده از روشهای خاصی اقدام به حذف آلایندهها به خصوص آلایندههای رنگی کرد. در پژوهش حاضر، هدف کاهش غلظت رنگهای آزو در فاضلابهای صنعتی است. طبق ردیف ۴۸ از جدول مربوط به استاندارد خروجی فاضلاب، حد ماکزیمم برای میزان رنگ ۷۵ میلی گرم بر هر گرم از فاضلاب می باشد.

فصل دوم:

روش تحقیق

Archive of SID

۱-۲ - خلاصه فعالیت‌های انجام شده

مراحل انجام فعالیتهای آزمایشگاهی طرح به‌طور خلاصه به شرح زیر است:

- بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سپیولیت مصرفی

- انتخاب رنگهای اصلی آزو و بررسی ساختار آنها

- بررسی میزان جذب رنگ آزو بر روی سپیولیت و بهینه سازی فرایند

۲-۲ - بررسی خصوصیات جاذب مصرفی

جاذب مورد استفاده در این تحقیق، سپیولیت فرآوری شده از معدن الیاتو می‌باشد. این معدن در ۱۴۰ کیلومتری جنوب مشهد قرار دارد. نتایج آنالیزهای انجام شده بر روی جاذب در زیر آمده است.

۱-۲-۲ - آنالیز طیف FTIR

به منظور بررسی باندهای موجود در سپیولیت مصرفی در این تحقیق، از آنالیز طیف سنجی مادون قرمز استفاده شد. دستگاه FT-IR مورد استفاده در این تحقیق متعلق به شرکت Bruker بود.

۲-۲-۲ - آنالیز حرارتی (STA)

به منظور بررسی تغییرات جاذب با افزایش درجه حرارت، آنالیز حرارتی افتراقی (DTA) و توزین حرارتی (TG) از سپیولیت گرفته شد.

۲-۳-۳- آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD)

جهت بررسی فازهای موجود در سپیولیت مصرفی از آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) استفاده شد. که این آنالیز توسط دستگاه (XRD model EXPERT Phillips) انجام شد. اشعه ایکس تولید شده دستگاه Cu-K α با طول موج ۱/۵۴۰۵۶ آنگستروم و با فیلتر نیکلی بود.

۲-۲-۴- آنالیز شیمیایی (XRF):

با استفاده از دستگاه XRF ساخت کمپانی PHILIPS مدل PW1480 آنالیز شیمیایی سپیولیت بررسی شد.

۲-۲-۵- آنالیز حرارتی (STA)

به منظور بررسی تغییرات جاذب با افزایش درجه حرارت، آنالیز حرارتی افتراقی (DTA) و توزین حرارتی (TG) از سپیولیت گرفته شد.

۲-۲-۶- آماده سازی جاذب سپیولیت

به منظور بالا بردن سطح مخصوص سپیولیت، جاذب در دماهای مختلف (۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰ درجه سانتیگراد) تحت عملیات کلسیناسیون در کوره الکتریکی قرار می‌گیرد. و به منظور بررسی سطح ویژه، پودرهای کلسینه شده تحت تست BET قرار می‌گیرد.

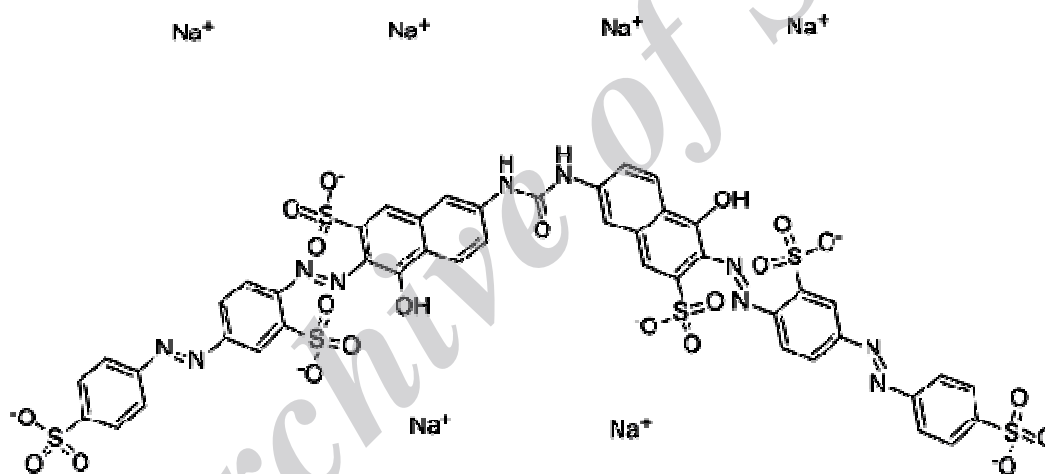
۲-۳- انتخاب رنگهای اصلی آزو و بررسی ساختار آنها

در این پژوهش جذب سه نوع رنگ اصلی آزو شامل قرمز Red 80، آبی Blue 71 و سیاه Black 19 توسط سپیولیت بررسی شد که نتایج آزمایشات و بهینه سازی پارامترهای مختلف در ادامه آورده شده است. این سه نوع رنگ از جمله رنگهای مهم و پرکاربرد در صنایع نساجی می باشد. به دلیل حضور بنیان های آروماتیک، به طور بالقوه خصوصیات سرطان

زدایی و جهش زایی دارند و علاوه بر آن نسبت به تجزیه های بیولوژیکی محیط زیست مقاوم هستند. مشخصات هریک از این رنگها به شرح زیر می باشد.

الف) رنگ آزوی قرمز Red 80

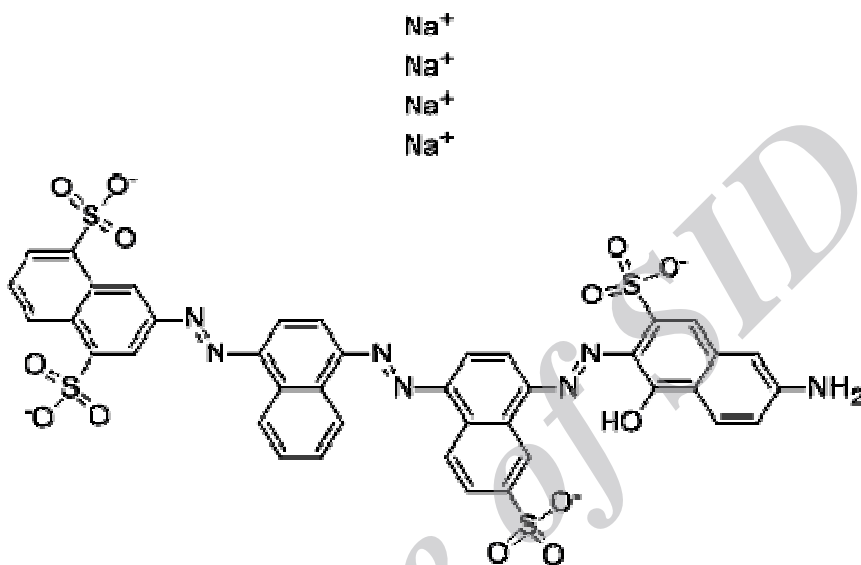
ساختار شیمیایی رنگ قرمز Red80 در شکل ۲-۷ آورده شده است. فرمول شیمیایی آن $C_{45}H_{26}N_{10}Na_6O_{21}S_6$ و وزن ملکولی آن ۱۳۷۳ گرم می باشد. در ساختار این نوع رنگ ۴ پیوند آزو ($N=N$) به همراه ۸ حلقه آرماتیک مشاهده می شود. این نوع رنگ از جمله پر مصرفترین رنگها در صنعت نساجی می باشد.



شکل ۲-۷- ساختار رنگ قرمز Red 80

ب) رنگ آزوی آبی Blue 71

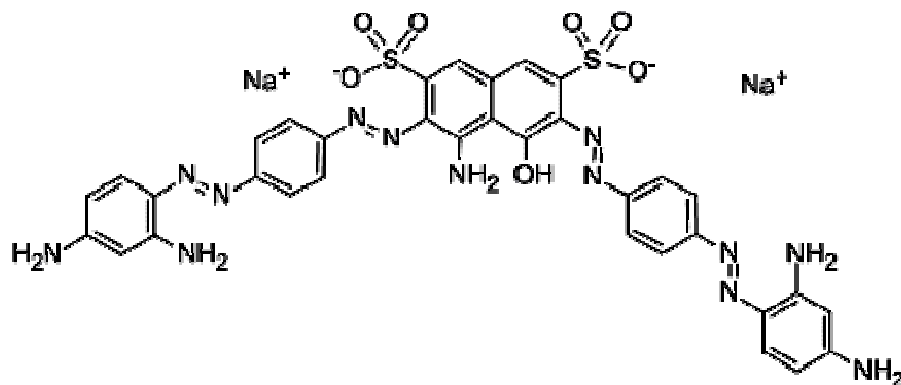
ساختار شیمیایی رنگ آبی Blue 71 در شکل ۲-۸ آورده شده است. فرمول شیمیایی $C_{40}H_{23}N_7Na_4O_{13}S_4$ و وزن ملکولی آن $1029/86$ گرم است. ۳ پیوند آزو ($N=N$) و ۸ حلقه آروماتیک در ساختار این نوع رنگ مشاهده می شود.



شکل ۲-۸- ساختار رنگ آبی Blue 71

ج) رنگ آزوی سیاه Black 19

ساختار شیمیایی رنگ سیاه Black 19 در شکل ۲-۹ آورده شده است. فرمول شیمیایی $C_{34}H_{27}N_{13}Na_2O_7S_2$ و وزن ملکولی آن $839/77$ گرم و ساختار شیمیایی آن مطابق شکل است. ۳ پیوند آزو ($N=N$) و ۶ حلقه آروماتیک در ساختار این نوع رنگ مشاهده می شود.



شکل ۲-۹- ساختار رنگ سیاه 19 Black

۲-۴- بهینه سازی پارامترهای موثر بر جذب آلاینده

برای این که قابلیت جذب آلاینده روی جاذب آماده سازی شده افزایش یابد، راهکارهایی وجود دارد که یکی از آن ها بهینه سازی پارامترهایی مانند pH، مدت زمان تماس، مقدار جاذب و دما می باشد. در این بخش بهینه سازی موارد گفته شده مطرح می شود.

۲-۴-۱- آماده سازی نمونه ها

یکی از مهم ترین مراحل در این کار تحقیقاتی اندازه گیری میزان جذب نمونه ها است و بدین منظور برای تهیه هر نمونه غلظت مشخصی از رنگ مورد نظر را تهیه و سپس با مقدار مشخصی سپیولیت مخلوط کرده و در یک ظرف در مدت زمان ۲۰ دقیقه توسط همزن مغناطیسی هم زده شد. سپس به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ شده و در نهایت میزان جذب نور توسط رنگ در محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV-VIS اندازه گیری شد. دانسیته جذب با استفاده از فرمول ذیل محاسبه می شود:

$$\text{در صد جذب} = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100$$

که A_0 مقدار جذب نمونه حاوی آلاینده قبل از استفاده از جاذب است و A مقدار جذب محلول آلاینده بعد از استفاده از جاذب است.

فصل سوم:

ارائه نتایج

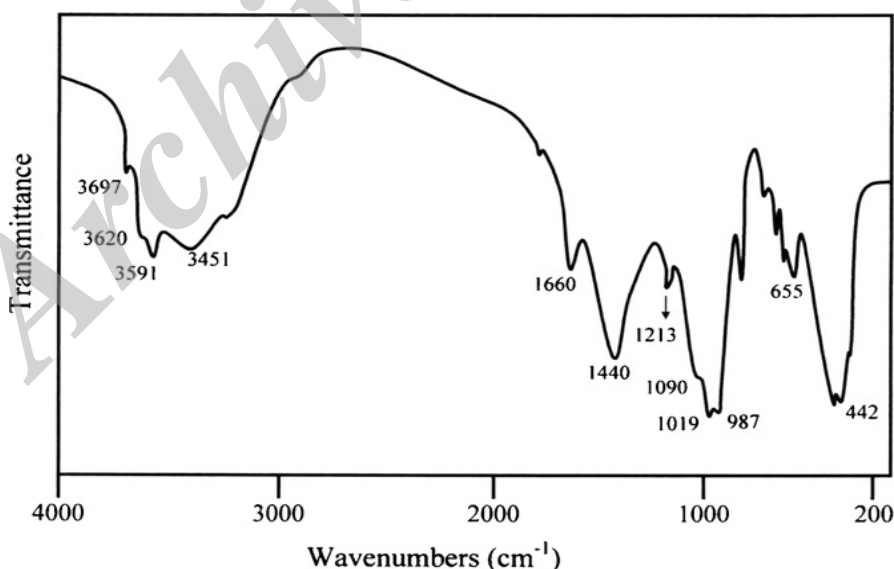
۱-۳- نتایج تست های صورت گرفته بر سیپولیت

۱-۱-۳- نتایج تست FT-IR

برای بررسی پیوندهای شیمیایی سیپولیت تست FTIR انجام شد، که نتیجه آن در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. پیک-

های مشاهده شده عبارتند از

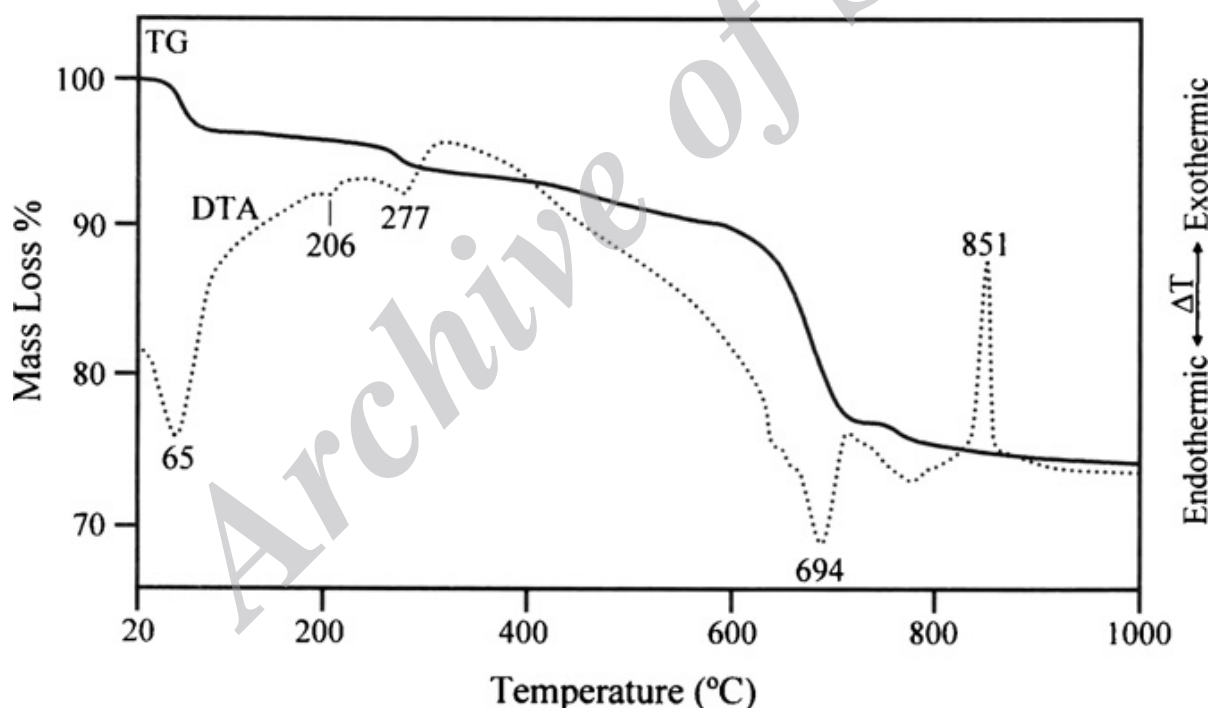
- پیوندهای پل ساز سه تایی Mg_3OH در طول موج 3697 cm^{-1}
- جذب آب ساختاری در طول موج 3591 cm^{-1}
- اتصالات کششی در 3920 cm^{-1} و 3451 cm^{-1} و پیوندهای OH در 1660 cm^{-1} مرتبط با آب بین لایه‌ای
- جذب در طول موج 1213 cm^{-1} ، 1090 cm^{-1} و 987 cm^{-1} مرتبط با پیوندهای Si-O
- ارتعاشات Si-O-Si علت پیک‌های 1019 cm^{-1} و 474 cm^{-1}
- جذب در طول موج 442 cm^{-1} پیوندهای Si-O-Mg در اتصالات اکتاهدرال-تتراهدرال
- ارتعاشات خمشی Mg_3OH در طول موج 655 cm^{-1}
- ناخالصی دولومیت سبب جذب در طول موج 1440 cm^{-1}



شکل ۱-۳- طیف FTIR از سیپولیت طبیعی

۳-۱-۲- آنالیز حرارتی (STA)

به منظور بررسی تغییرات جاذب با افزایش درجه حرارت، آنالیز حرارتی افتراقی (DTA) و توزین حرارتی (TG) از سیپولیت گرفته شد. نتایج این بررسی‌ها در شکل ۲-۳ مشاهده می‌گردد. وجود دو پیک گرماگیر در دمای ۱۰۵-۲۵ و ۱۸۰-۲۳۲ درجه سانتی‌گراد مربوط به خروج رطوبت و آب بین لایه‌ای می‌باشد که منجر به کاهش وزن برابر با ۱/۹۲ و ۰/۶ درصد می‌گردد. یک پیک گرماگیر در دمای ۲۲۶-۳۳۲ درجه سانتی‌گراد همراه با اتلاف وزن ۱/۷۹ درصد اتفاق می‌افتد که مربوط به خروج آب‌های پیوندی می‌باشد. در دمای ۷۲۰-۵۸۰ و ۷۲۵-۸۲۳ درجه سانتی‌گراد فرایند تجزیه و آب زدایی ناخالصی دولومیت انجام می‌شود و پیک گرمازا در دمای ۸۵۱ درجه سانتی‌گراد مربوط به تغییرات فازی می‌باشد.

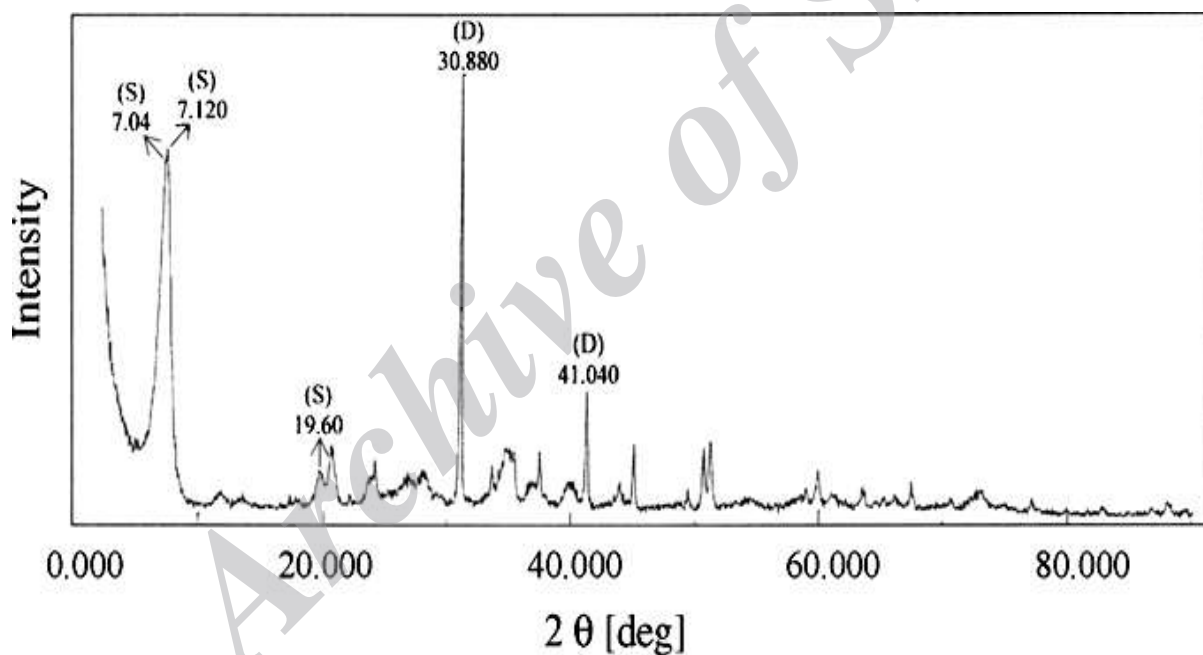


شکل ۳-۲- منحنی آنالیز حرارتی سیپولیت

۳-۱-۳- آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD)

جهت بررسی فازهای موجود در سیپولیت مصرفی از آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) استفاده شد. که این آنالیز توسط دستگاه (XRD model EXPERT Phillips) انجام شد. اشعه ایکس تولید شده دستگاه $\text{Cu-K}\alpha$ با طول موج $1/54.056$ آنگستروم و با فیلتر نیکلی بود.

شکل ۳-۳- الگوی XRD مربوط به نمونه سیپولیت طبیعی را نشان می دهد. همانطور که در شکل مشاهده می گردد پیک-های مربوط به صفحات اصلی سیپولیت مشخص هستند.



شکل ۳-۳- الگوی پراش اشعه ایکس از سیپولیت طبیعی

۳-۱-۴- آنالیز شیمیایی (XRF) :

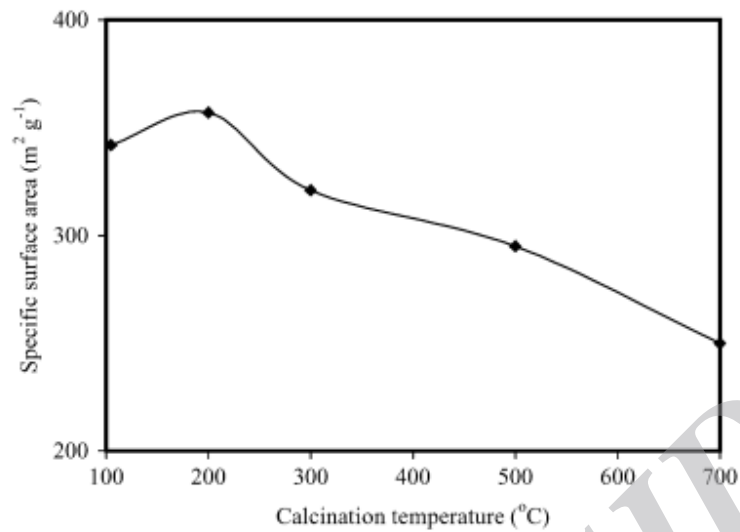
نتایج تست XRF سیپولیت مطابق جدول ۳-۱ می‌باشد، که نشان دهنده وجود میزان ناچیز ناخالصی در ترکیب سیپولیت مصرفی می‌باشد.

جدول ۳-۱- آنالیز شیمیایی سیپولیت

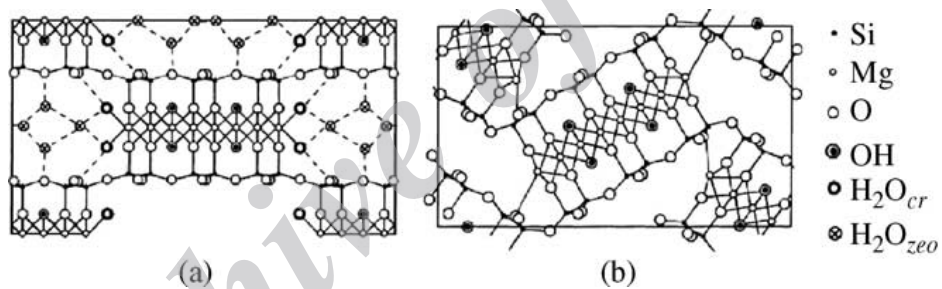
L.O.I	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	SiO ₂
۲۱/۳۳	۰/۰۷	۰/۱۸	۰/۳۵	۰/۶۸	۲۲/۴۳	۵۵/۰۱

۳-۱-۵- نتایج تست اندازه گیری سطح ویژه

نتایج تست BET در شکل ۳-۴ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد سیپولیت دارای بیشترین مقدار سطح ویژه است. به عبارت دیگر در نمونه کلسینه شده در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد، دسترسی به جایگاه های جذب سطحی بیشتری شود و همچنین میزان خلل و فرج بیشتری در اختیار جذب شونده گذاشته می‌شود که افزایش راندمان جذب را در پی خواهد داشت.



شکل ۳-۴- نمودار تغییرات سطح ویژه با تغییر دمای کلسیناسیون

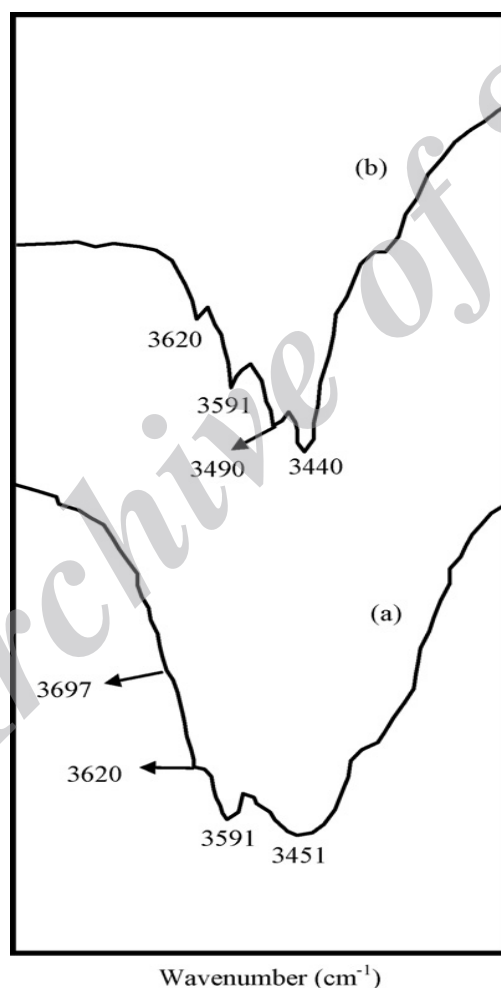


شکل ۳-۵- ساختار کریستالی سیپولیت (a) ساختار کریستالی سیپولیت کلسینه شده (b)

ساختار کریستالی سیپولیت قبل و بعد از عملیات کلسیناسیون تا دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد در شکل ۳-۵ نشان داده شده است. مشاهده می شود خروج آب کریستالی موجب چرخش لایه ها و به هم ریختن ساختار کریستالی سیپولیت شده و در واقع مکان های جذب در ساختار افزایش می یابد.

۳-۱-۶- آنالیز IR

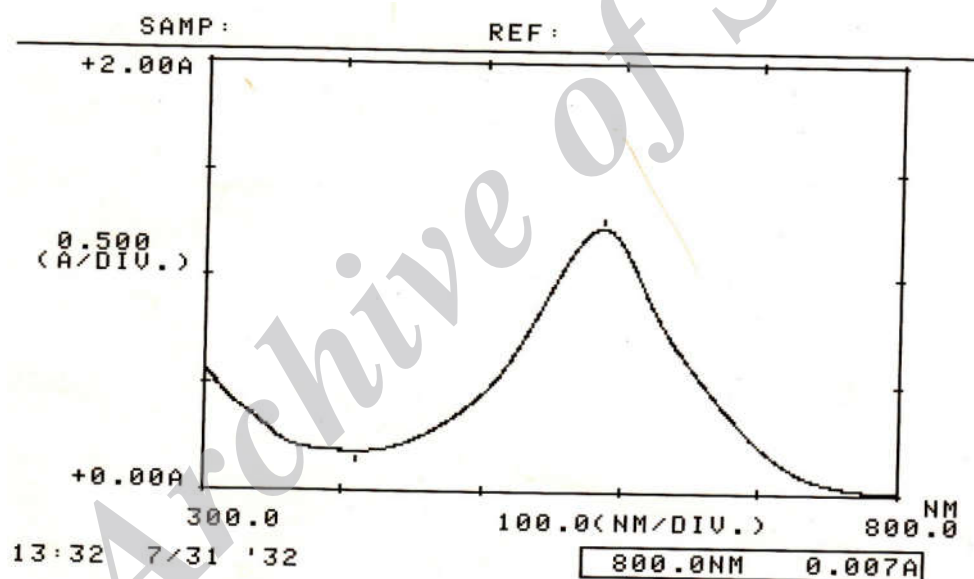
همانطور که پیش تر نیز بیان شد مکانیزم حذف رنگ از محلول‌های آبی، جذب گروه‌های آلی بر سطح ذرات سپیولیت است. به منظور بررسی تغییرات ساختاری به وجود آمده در سپیولیت در تماس با رنگ آزو، طیف فرسرخ (IR) از دو نمونه سپیولیت خالص و سپیولیتی که رنگ بر سطح آن جذب شده است، گرفته شد. جابجایی پیوند کششی OH از 3451cm^{-1} به 3440 ، تیزتر شدن پیک‌ها و ظهور پیوند کششی N-H در 3490cm^{-1} همه گواهی بر این نکته دارند که بخشی از مولکول‌های رنگ جایگزین پیوندهای OH و آب در ساختار سپیولیت شده‌اند.



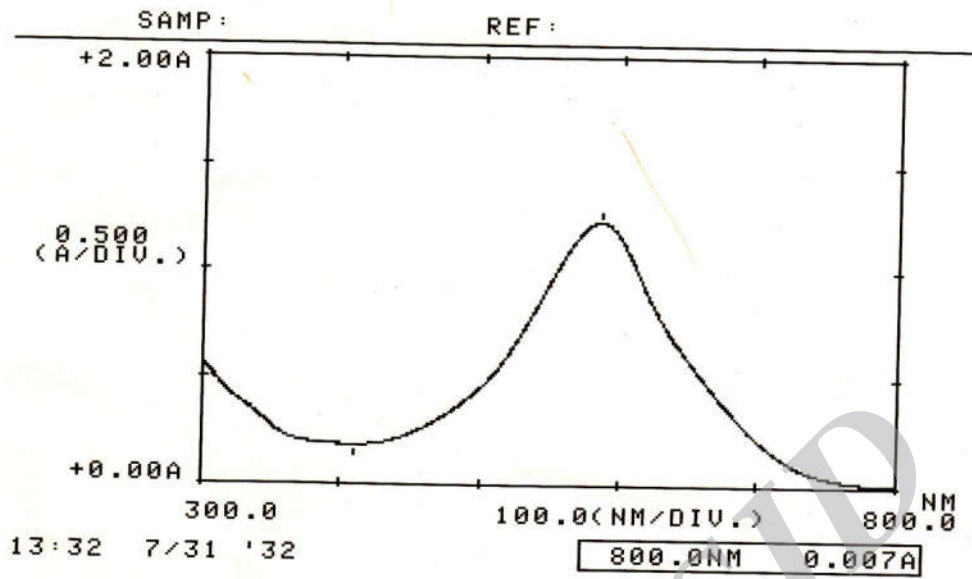
شکل ۳-۶. طیف فرسرخ از (a) سپیولیت و (b) کامپوزیت سپیولیت و رنگ

۳-۱-۷- نتایج آنالیز UV-Visible

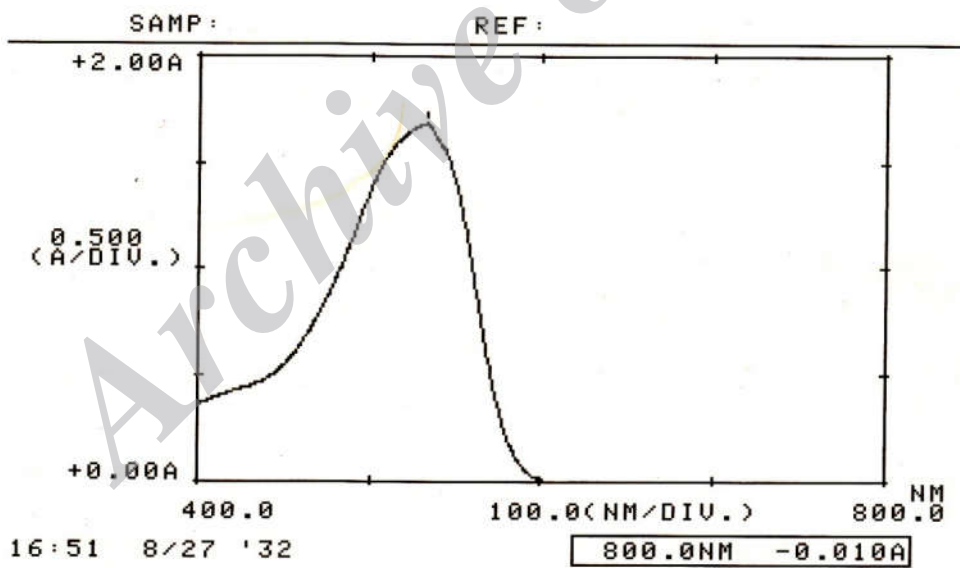
در مورد هر سه نوع رنگ آزو به منظور آماده‌سازی محلول مادر، میزان ۰/۰۱ گرم از رنگ در بالن ۱۰۰ میلی‌لیتر و با استفاده از آب مقطر به حجم رسانده می‌شود. از این محلول طیف جذبی گرفته شد و چون پیک جذب بسیار بلند بود برای ادامه کار از محلول‌های رقیق شده استفاده گردید و سپس بوسیله دستگاه طیف سنجی نور مرئی (UV-VIS) طیف جذبی محلول‌های رقیق شده در گستره ۸۰۰-۲۰۰ نانومتر گرفته شد. طیف جذب محلول‌های رنگ مختلف در شکل‌های زیر نشان داده شده است. همچنان که نمودار نشان می‌دهد طول موج حداکثر جذب برای رنگهای قرمز، آبی و سیاه به ترتیب ۵۳۲، ۵۸۶ و ۶۴۸ نانومتر می‌باشد. در مرحله بعد جذب رنگهای استاندارد با غلظتهای معلوم توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شد و منحنی استاندارد رسم گردید و غلظت رنگ در مراحل مختلف با استفاده از معادله به دست آمده از منحنی استاندارد تعیین شد.



شکل ۳-۷- طیف جذب محلول رنگ سیاه 19 Black



شکل ۳-۸- طیف جذب محلول رنگ آبی 71 Blue



شکل ۳-۹- طیف جذب محلول رنگ قرمز 80 Red

فصل چهارم

بحث و بررسی

۴-۱- نتایج آنالیز UV-Visible

۴-۱-۱- اثر مقدار جاذب

به منظور بررسی اثر مقدار جاذب سپیولیت بر میزان حذف رنگ، در pH ثابت ۵ و دمای ثابت ۲۵ درجه سانتیگراد مقادیر متفاوتی از سپیولیت با ۵۰ میلی لیتر محلول رنگ به مدت ۴۵ دقیقه تماس داده شد و غلظت رنگ در طول موج ماکزیمم برای هر نمونه اندازه گیری می شود.

نتایج حاصل در شکل ۳-۱۰ نشان داده شده است. همان گونه که از نتایج مشخص شده است افزایش مقدار جاذب از ۰/۲ گرم تا ۱ گرم باعث افزایش درصد جذب شده است و بعد از آن تقریباً ثابت مانده است.

درصد جذب با استفاده از فرمول ذیل محاسبه می شود:

$$\text{درصد جذب} = \frac{A_2 - A_1}{A_1} \times 100$$

که A_1 مقدار جذب نمونه حاوی آلاینده قبل از استفاده از جاذب است و A_2 مقدار جذب محلول آلاینده بعد از استفاده از جاذب است.

جدول ۲-۴ : اطلاعات مربوط به جذب محلول رنگ آبی

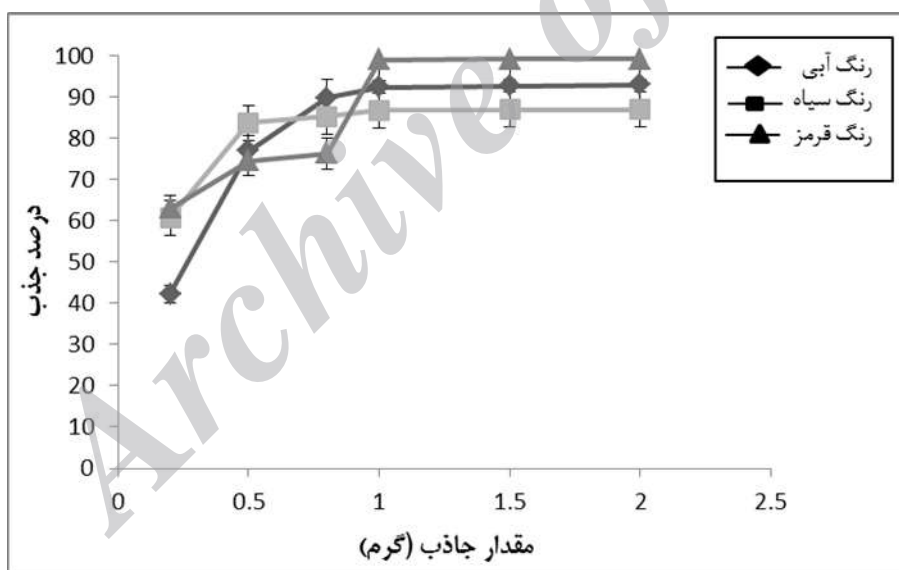
مقدار جاذب (گرم)	جذب محلول قبل از تماس با جاذب (A ₀)	جذب محلول بعد از تماس با جاذب
۰/۲	۱/۲۳۶	۰/۷۱۴
۰/۵	۱/۲۳۶	۰/۲۸۵
۰/۸	۱/۲۳۶	۰/۱۲۶
۱/۰	۱/۲۳۶	۰/۰۹۴
۱/۵	۱/۲۳۶	۰/۰۹۰
۲/۰	۱/۲۳۶	۰/۰۸۷

جدول ۳-۴ : اطلاعات مربوط به محلول رنگ قرمز

مقدار جاذب (گرم)	جذب محلول قبل از تماس با جاذب (A ₀)	جذب محلول بعد از تماس با جاذب
۰/۲	۱/۶۸۷	۰/۶۲۳
۰/۵	۱/۶۸۷	۰/۴۲۹
۰/۸	۱/۶۸۷	۰/۳۹۹
۱/۰	۱/۶۸۷	۰/۰۱۷
۱/۵	۱/۶۸۷	۰/۰۱۵
۲/۰	۱/۶۸۷	۰/۰۱۴

جدول ۴-۴: اطلاعات مربوط به محلول رنگ سیاه

مقدار جاذب (گرم)	جذب محلول قبل از تماس با جاذب (A_0)	جذب محلول بعد از تماس با جاذب
۰/۲	۱/۱۳۴	۰/۴۴۵
۰/۵	۱/۱۳۴	۰/۱۸۵
۰/۸	۱/۱۳۴	۰/۱۶۸
۱/۰	۱/۱۳۴	۰/۱۵۰
۱/۵	۱/۱۳۴	۰/۱۴۹
۲/۰	۱/۱۳۴	۰/۱۴۹



شکل ۴-۱۰ تغییرات درصد جذب رنگ نسبت به مقادیر مختلف سپیولیت تحت شرایط ثابت $pH=5$ و دمای 25 درجه سانتیگراد و زمان 45 دقیقه

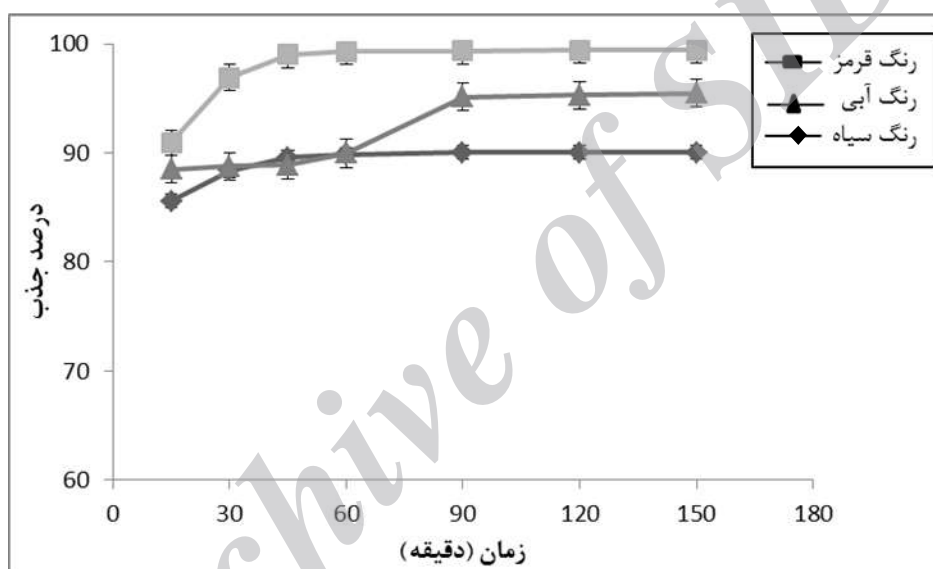
نتایج نشان داد که با افزایش میزان جاذب مساحت سطح کل جاذب افزایش پیدا کرده و دسترسی به جایگاه های جاذب سطحی بیشتر می شود و همچنین میزان خلل وفرج بیشتر پذیرد. جاذب شونده گذاشته می شود که افزایش راندمان جاذب را در پی دارد. به عبارت دیگر علت این پدیده به عدم اشباع شدن نقاط فعال در جاذب آلاینده ها ارتباط دارد. بعضی از نقاط جاذب در فرایند جاذب به صورت غیر اشباع باقی می ماند. با افزایش میزان جاذب در واقع تعداد نقاط غیر اشباع افزایش یافته و به همین علت میزان جاذب رنگ بر سطح ذرات سپیولیت نیز افزایش می یابد.

۱ گرم جاذب به عنوان مقدار وزن بهینه در آزمایشات بعدی در نظر گرفته شد. این امر بدان علت است که هر چند وزن جاذب افزایش می یابد ولی غلظت رنگ ثابت است و این غلظت ثابت توسط مقدار معینی از جاذب جذب می شود و از این مقدار مشخص به بعد با افزایش مقدار جاذب، جذب تقریباً ثابت خواهد بود.

۴-۲- اثر زمان

سرعت جذب یکی از مهمترین فاکتورهایی است که در طراحی آزمایشهای جذب در محیط آزمایشگاهی مورد توجه قرار می گیرد. برای بررسی اثر زمان پارامترهایی مانند pH و غلظت محلول رنگ و مقدار جاذب را ثابت نگه داشته و اثر زمان تماس جاذب و محلول رنگی را به عنوان عامل موثر بر میزان جذب مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور محلول های رنگی با ۱ گرم جاذب سپیولیت در زمان های مختلف تماس داده شد. نمودار اثر زمان تماس بر میزان حذف هر سه نوع رنگ قرمز، آبی و مشکی در شکل ۳-۱۱ آمده است. اطلاعات جذب هر سه رنگ قرمز، آبی و مشکی نشان داد که میزان جذب با زمان متغیر است و در واقع ظرفیت جذب و راندمان حذف هر سه رنگ با افزایش زمان افزایش یافت و حداکثر میزان جذب در مدت زمان حدود ۴۵ دقیقه به دست آمد. بعد از این مدت مقدار حذف تقریباً به میزان ثابتی رسید. چنین شرایطی نشان دهنده جذب مناسب محلول های رنگی انتخابی روی سپیولیت است، که همچنین میزان راندمان و ظرفیت جذب رنگ قرمز به میزان ۹۸/۵ درصد، بیشتر از رنگ مشکی و آبی است. فرایند جذب به دلیل تعداد زیاد مکانهای جذب، تفاوت غلظت زیاد بین ماده جذب شده در محلول و مقدار آن در روی سطح جاذب وجود دارد. این افزایش در تفاوت غلظت سبب افزایش جذب در مراحل اولیه جذب می شود. در واقع با افزایش زمان تماس، میزان جذب افزایش می یابد که دلیل آن افزایش احتمال

برخورد ملکولهای رنگ با سطح جاذب می‌باشد. جذب رنگ در دقایق اولیه با سرعت زیادی انجام می‌شود و با گذشت زمان، مقدار جذب کاهش خواهد یافت که این امر می‌تواند به دلیل کاهش غلظت رنگ محلول و کاهش نقاط فعال در سطح جاذب باشد. بر اساس نتایج، راندمان حذف در لحظات اولیه واکنش سریع بود. در مراحل بعد برای رنگهای قرمز و سیاه تا ۶۰ دقیقه و برای رنگ آبی تا ۹۰ دقیقه به حدی ثابت می‌رسد. نتایج نشان می‌دهد جذب رنگ در مرحله لایه نازک که اولین مرحله جذب است، سریع تر اتفاق می‌افتد اما نفوذ در خلل و فرج به عنوان یک مرحله بعدی فرایند جذب که منجر به افزایش جذب بیشتر در سطوح داخلی جاذب می‌گردد، با تأخیر اتفاق می‌افتد [۷۵].



شکل ۴-۱۱- تغییرات درصد جذب رنگ با زمان، در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، $pH=5$ و ۱ گرم سیپولیت

جدول ۴-۵: اطلاعات مربوط به محلول رنگ آبی

زمان تماس با جاذب (دقیقه)	جذب محلول قبل از تماس با جاذب (A_0)	جذب محلول بعد از تماس با جاذب
۱۵	۱/۲۳۶	۰/۱۴۲
۳۰	۱/۲۳۶	۰/۱۳۹
۴۵	۱/۲۳۶	۰/۱۳۷
۶۰	۱/۲۳۶	۰/۱۲۴
۹۰	۱/۲۳۶	۰/۰۶۰
۱۲۰	۱/۲۳۶	۰/۰۵۸
۱۵۰	۱/۲۳۶	۰/۰۵۶

جدول ۴-۶: اطلاعات مربوط به محلول رنگ قرمز

زمان تماس با جاذب (دقیقه)	جذب محلول قبل از تماس با جاذب (A_0)	جذب محلول بعد از تماس با جاذب
۱۵	۱/۶۸۷	۰/۱۵۳
۳۰	۱/۶۸۷	۰/۰۵۲
۴۵	۱/۶۸۷	۰/۰۱۷
۶۰	۱/۶۸۷	۰/۰۱۲
۹۰	۱/۶۸۷	۰/۰۱۱
۱۲۰	۱/۶۸۷	۰/۰۱۰
۱۵۰	۱/۶۸۷	۰/۰۱۰

جدول ۴-۷: اطلاعات مربوط به محلول رنگ سیاه

زمان تماس با جاذب (دقیقه)	جذب محلول قبل از تماس با جاذب (A_0)	جذب محلول بعد از تماس با جاذب
۱۵	۱/۱۳۴	۰/۱۶۶
۳۰	۱/۱۳۴	۰/۱۳۲
۴۵	۱/۱۳۴	۰/۱۱۸
۶۰	۱/۱۳۴	۰/۱۱۵
۹۰	۱/۱۳۴	۰/۱۱۳
۱۲۰	۱/۱۳۴	۰/۱۱۳
۱۵۰	۱/۱۳۴	۰/۱۱۱

همان گونه که نتایج نشان می‌دهد با گذشت زمان تا ۴۵ دقیقه جذب رنگ بر روی سپیولیت روند صعودی خواهد داشت ولی تأثیر پارامتر زمان بر روی حذف رنگ قرمز به دلیل داشتن تعداد بیشتری پیوند آزو ($N=N$) به مراتب بیشتر از رنگهای آبی و سیاه است.

۴-۳- اثر دما

به منظور بررسی اثر دما بر میزان جذب رنگهای آزو، ۱ گرم از جاذب سپیولیت با ۵۰ میلی لیتر محلول رنگ در دماهای مختلف تماس داده شده و میزان درصد جذب محاسبه می‌شود.

همانطور که از نتایج مشاهده می‌گردد، با افزایش دما میزان جذب رنگ بر روی سطح ذرات جاذب کاهش می‌یابد و این روند تغییرات برای هر سه نوع رنگ مختلف مشابه می‌باشد. از آنجا که واکنش جذب هر سه نوع رنگ آزو، به شدت گرمزاست. در دماهای پایین سرعت جذب بالا بوده و مسائل کینیتیکی کنترل کننده فرایند جذب ملکولهای رنگ آزو بر سطح سپیولیت هستند. اما در دماهای بالا از آنجا که فرایند جذب گرمزاست، مسائل ترمودینامیکی کنترل کننده واکنش

بوده و بنابراین سرعت جذب کاهش می یابد. همانطور که در شکل ۳-۱۲ مشاهده می شود، اثر دما بر روی حذف رنگ قرمز نسبت به دو رنگ دیگر شدیدتر است. این پدیده را می توان به تعداد پیوندهای آزو و بیشتر و حلقه آروماتیک زیاد موجود در ساختار رنگ قرمز مرتبط دانست.

جدول ۴-۸: اطلاعات مربوط به محلول رنگ آبی

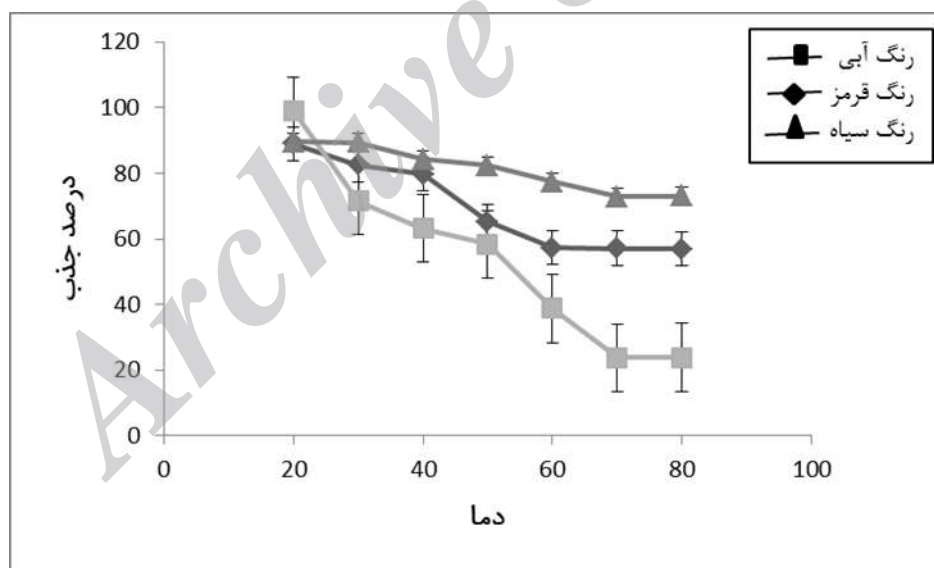
دمای محلول رنگ (درجه سانتیگراد)	جذب محلول قبل از تماس با جاذب (A_0)	جذب محلول بعد از تماس با جاذب
۲۰	۱/۲۳۶	۰/۱۳۷
۳۰	۱/۲۳۶	۰/۲۱۷
۵۰	۱/۲۳۶	۰/۲۵۰
۶۰	۱/۲۳۶	۰/۵۲۸
۷۰	۱/۲۳۶	۰/۵۳۰
۸۰	۱/۲۳۶	۰/۵۳۲

جدول ۴-۹: اطلاعات مربوط به محلول رنگ قرمز

دمای محلول رنگ (درجه سانتی گراد)	جذب محلول قبل از تماس با جاذب (A_0)	جذب محلول بعد از تماس با جاذب
۲۰	۱/۶۸۷	۰/۰۱۷
۳۰	۱/۶۸۷	۰/۴۷۹
۵۰	۱/۶۸۷	۰/۷۰۳
۶۰	۱/۶۸۷	۱/۰۳۳
۷۰	۱/۶۸۷	۱/۲۸۶
۸۰	۱/۶۸۷	۱/۲۸۴

جدول ۴-۱۰: اطلاعات مربوط به محلول رنگ سیاه

جذب محلول بعد از تماس با جاذب	جذب محلول قبل از تماس با جاذب (A0)	دمای محلول رنگ (درجه سانتی گراد)
۰/۱۱۸	۱/۱۳۴	۲۰
۰/۱۱۵	۱/۱۳۴	۳۰
۰/۲۰۱	۱/۱۳۴	۵۰
۰/۲۵۶	۱/۱۳۴	۶۰
۰/۳۰۷	۱/۱۳۴	۷۰
۰/۳۰۶	۱/۱۳۴	۸۰

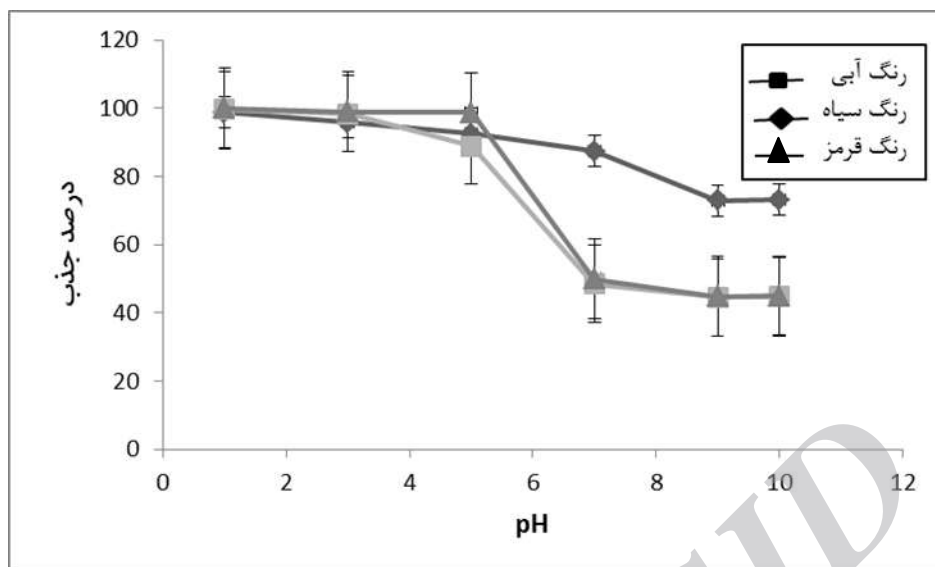


شکل ۴-۱۲- تغییرات درصد جذب با دما=۵pH و زمان ۴۵ دقیقه با ۱ گرم جاذب

۴-۴- اثر pH

pH محلول نقشی اساسی در فرآیند جذب آلاینده بر روی سطح ذرات جاذب ایفا می‌کند. pH محیط واکنش از مهم ترین فاکتورهای مؤثر بر یونیزاسیون آلاینده ها و بارسطحی جاذب هاست. فاضلاب صنایع نساجی معمولاً دامنه گسترده ای از pH را در بر می‌گیرد. به طور کلی pH نقش مهمی را در ویژگیهای فاضلاب نساجی و تولید رادیکال های هیدروکسیل بازی می‌کند. در این بخش از تحقیق، محلول‌های حاوی رنگ‌های گوناگون در pH های مختلف آماده‌سازی گردیده و میزان جذب توسط جاذب سپیولیت اندازه‌گیری شد. برای تنظیم pH از کاغذ مخصوص pH و محلول ده درصد NaOH و HCl تهیه شده از شرکت Merck استفاده شد. سپس به هر یک از محلول ها ۱ گرم جاذب اضافه گردیده و پس از مدت زمان ۴۵ دقیقه به هم زدن محلول از کاغذ صافی عبور داده شد، سپس درصد جذب محلول زیر صافی را اندازه گرفته و در نهایت درصد جذب رنگ محاسبه شد.

شکل ۴-۱۳ درصد میزان حذف رنگ را نسبت به pH برای جاذب سپیولیت نشان می‌دهد. داده های مطالعه تأثیر pH نشان می‌دهد که جذب سطحی بسیار به pH وابسته می‌باشد و بررسی ویژگیهای سطح جاذب و درجه یونیزاسیون و راندمان جذب تأثیرگذار است. همانطور که مشخص است pH روی قابلیت حذف و میزان ظرفیت جذب رنگهای انتخابی بسیار مؤثر بوده و چنین تغییراتی در pH های اسیدی تا قلیایی نسبت به یکدیگر متفاوت است. همان گونه که مشاهده می‌شود مقدار درصد حذف رنگ در pH اسیدی بیشتر است و با افزایش pH میزان درصد جذب کاهش می‌یابد. سطح جاذب به علت وجود SiOH بار منفی دارد که در محیط اسیدی پروتونه می‌شود و می‌تواند آنیون های رنگ با بار منفی را به وسیله نیروی جاذبه الکترواستاتیک به سمت خود جذب کند. در حالی که در محیط قلیایی دافعه بارهای منفی باعث کاهش راندمان عمل جذب می‌شود. در واقع کاهش pH، تعدادی از سایتها با بار مثبت افزایش یافته و در عوض تعدادی از یایت ها با بار منفی کاهش می‌یابد و باعث افزایش میزان جذب رنگ در اثر غالب شدن مکانیسم جذب الکترواستاتیک بین رنگ و مولکولهای سپیولیت می‌شود.



شکل ۴-۱۳- تغییرات درصد جذب با محلول رنگ در دمای محیط، زمان ۴۵ دقیقه با ۱ گرم جاذب

جدول ۴-۱۱: اطلاعات مربوط به محلول رنگ آبی

جذب محلول بعد از تماس با جاذب	جذب محلول قبل از تماس با جاذب (A_0)	pH محلول رنگ
۰/۰۰۵	۱/۲۳۶	۱
۰/۰۲۰	۱/۲۳۶	۳
۰/۱۳۷	۱/۲۳۶	۵
۰/۶۳۷	۱/۲۳۶	۷
۰/۶۸۶	۱/۲۳۶	۹
۰/۶۸۲	۱/۲۳۶	۱۰

جدول ۴-۱۲: اطلاعات مربوط به محلول رنگ قرمز

جذب محلول بعد از تماس با جاذب	جذب محلول قبل از تماس با جاذب (A0)	pH محلول رنگ
۰/۰۰	۱/۶۸۷	۱
۰/۰۸۹	۱/۶۸۷	۳
۰/۳۴۲	۱/۶۸۷	۵
۰/۸۴۴	۱/۶۸۷	۷
۰/۹۳۱	۱/۶۸۷	۹
۰/۹۲۹	۱/۶۸۷	۱۰

جدول ۴-۱۳: اطلاعات مربوط به محلول رنگ سیاه

جذب محلول بعد از تماس با جاذب	جذب محلول قبل از تماس با جاذب (A0)	pH محلول رنگ
۰/۰۱۴	۱/۱۳۴	۱
۰/۰۴۷	۱/۱۳۴	۳
۰/۱۱۸	۱/۱۳۴	۵
۰/۱۵۸	۱/۱۳۴	۷
۰/۳۰۷	۱/۱۳۴	۹
۰/۳۰۵	۱/۱۳۴	۱۰

pH یکی از فاکتورهای مهمی است که از طریق تأثیر بر ساختار رنگ و بارسطحی جاذب بر فرایند جذب تأثیر می‌گذارد. طبق نتایج حاصل با کاهش pH میزان جذب رنگ افزایش یافته است. علت این پدیده ساختار آنیونی رنگ های آزو مورد استفاده می باشد. میزان pH zpc (منظور pH ای است که در آن بار سطحی بر روی ذرات سیپولیت صفر است) برابر ۷٫۴

گزارش شده است [۷۳]. بررسی ها نشان می دهد در pH پایین تر از pH zpc بارالکتریکی غالب در سطح جاذب به صورت بار مثبت است و بر این اساس و با توجه به اینکه بار سطحی سیپولیت در pH پایین تر از ۷،۴، با کاهش pH تعداد بارهای مثبت افزایش یافته و با توجه به ماهیت آنیونی رنگهای آزو آب، سیاه و قرمز، نیروی جاذبه الکترواستاتیکی میان جاذب و آلاینده افزایش یافته و راندمان جذب افزایش می یابد. تعداد بنیانهای آنیونی (SO_4^{2-}) که موجب ایجاد بار منفی در رنگ آزو می شود در رنگ سیاه کمتر از رنگ قرمز و آبی بوده، به همین علت وابستگی جذب رنگ سیاه به pH کمتر از دو رنگ دیگر می باشد.

۴-۵- سنتیک جذب

معادله سینتیک مرتبه اول را می توان به صورت زیر نوشت:

$$e^{-kt}[A] = [A_0]$$

$[A]$ غلظت گونه A در زمان t و $[A_0]$ غلظت گونه A در زمان صفر می باشد. با رسم منحنی $\ln[A]$ بر حسب t می توان تشخیص داد واکنش مرتبه اول است یا خیر. به این صورت که اگر این معادله، خطی راست شد واکنش نسبت به گونه مورد نظر درجه اول است و می توان با محاسبه شیب این خط ثابت سرعت آن را نیز محاسبه کرد. معادلات سینتیکی مرتبه دوم طبق رابطه فرم زیر خواهد بود:

$$t/q = t/q_e + 1/(k_2 q_e^2)$$

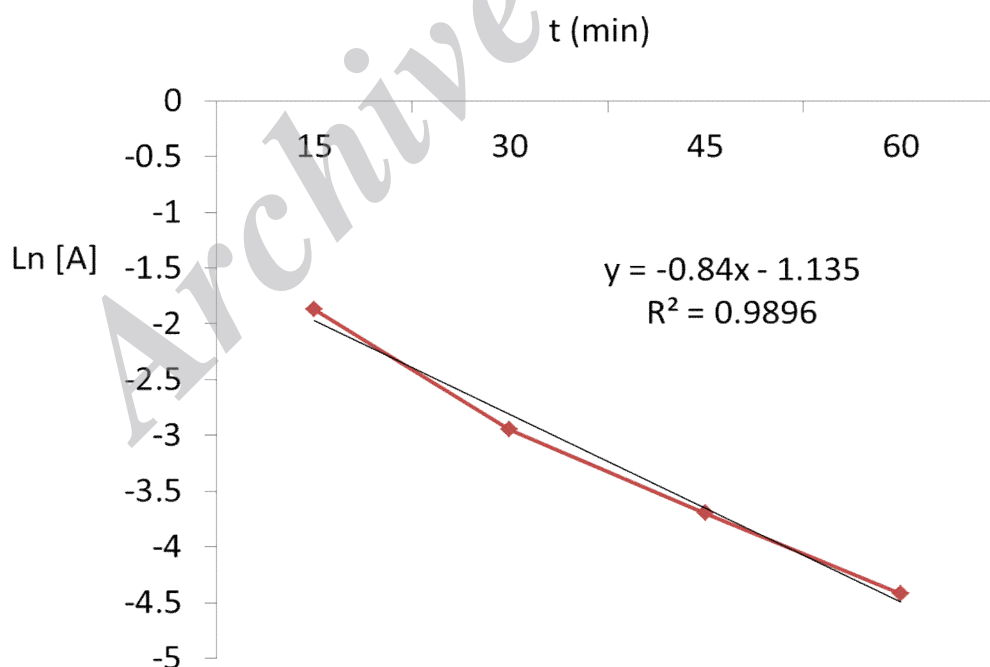
q_e مقدار رنگ جذب شده در تعادل در زمان های مختلف، k_2 ثابت سرعت واکنش درجه دوم می باشد. شیب منحنی t/q نسبت به زمان، t/q_e و ارز از مبدا $1/(k_2 q_e^2)$ را نشان می دهد و می توان ثابت سرعت واکنش درجه دوم را به دست آورد.

۴-۵-۱- بررسی سنتیک جذب رنگ قرمز توسط جاذب سپیولیت

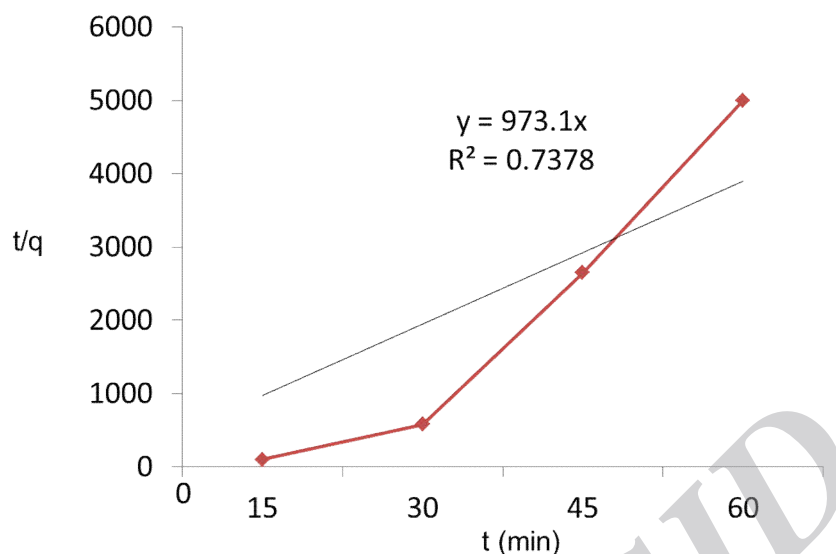
جدول ۳-۱۴ پارامترهای تغییرات غلظت رنگ قرمز نسبت به زمان را برای معادله سرعت درجه اول و دوم نشان می دهد. نمودار ۳-۱۴ و ۳-۱۵ سنتیک جذب درجه اول و دوم را برای جاذب سپیولیت نشان می دهد. همانطور که در نمودار ۳-۱۴ مشخص است نمودار واکنش حذف رنگ قرمز برای جاذب سپیولیت از نوع درجه اول است.

جدول ۴-۱۴- پارامترهای تغییرات غلظت رنگ قرمز نسبت به زمان برای جاذب سپیولیت در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد

t(min)	[A]	Ln[A]	t/q
۱۵	۰/۱۵۳	-۱/۸۷	۹۸/۰۳
۳۰	۰/۰۵۲	-۲/۹۵	۵۷۶/۹۲
۴۵	۰/۰۱۷	-۳/۷	۲۶۴۷/۰۵
۶۰	۰/۰۱۲	-۴/۴۲	۵۰۰۰



شکل ۴-۱۴- نمودار سینتیک درجه اول برای جاذب سپیولیت در محلول رنگی قرمز



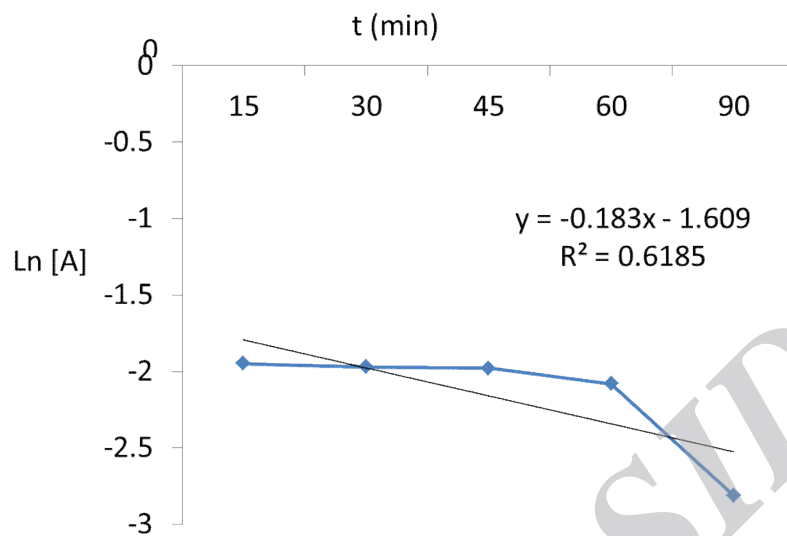
شکل ۴-۱۵- نمودار سینتیک درجه دوم برای جاذب سپیولیت در محلول رنگی قرمز

۴-۵-۲- بررسی سینتیک جذب رنگ آبی توسط جاذب سپیولیت

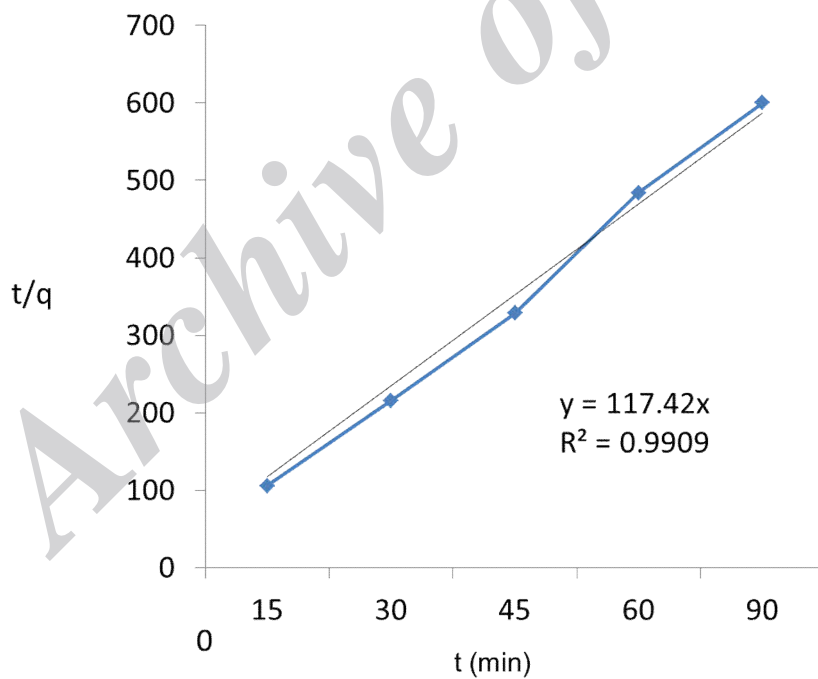
جدول ۴-۱۵ پارمترهای تغییرات غلظت رنگ آبی نسبت به زمان برای معادله سرعت درجه اول و درجه دوم را نشان می دهد. نمودار ۴-۱۶ سینتیک درجه اول و نمودار ۴-۱۷ سینتیک درجه دوم را برای جاذب سپیولیت نشان می دهد. همانطور که در نمودار ۴-۱۷ مشخص است نمودار t/q نسبت به زمان خط راست بهتری شد و در نتیجه واکنش حذف رنگ آبی برای جذب سپیولیت از نوع درجه دوم است و شیب خط مساوی سرعت است.

جدول ۴-۱۵ پارمترهای تغییرات غلظت رنگ آبی نسبت به زمان برای جاذب سپیولیت

t(min)	[A]	Ln[A]	t/q
۱۵	۰/۱۴۲	-۱/۹۵	۱۰۵/۶۳
۳۰	۰/۱۳۹	-۱/۹۷	۲۱۵/۸۲
۴۵	۰/۱۳۷	-۱/۹۸	۳۲۸/۴۶
۶۰	۰/۱۲۴	-۲/۰۸	۴۸۳/۸۷
۹۰	۰/۰۶۰	-۲/۸۱	۶۰۰



شکل ۴-۱۶- نمودار سنتیک درجه اول برای جاذب سیپولیت در محلول رنگی آبی



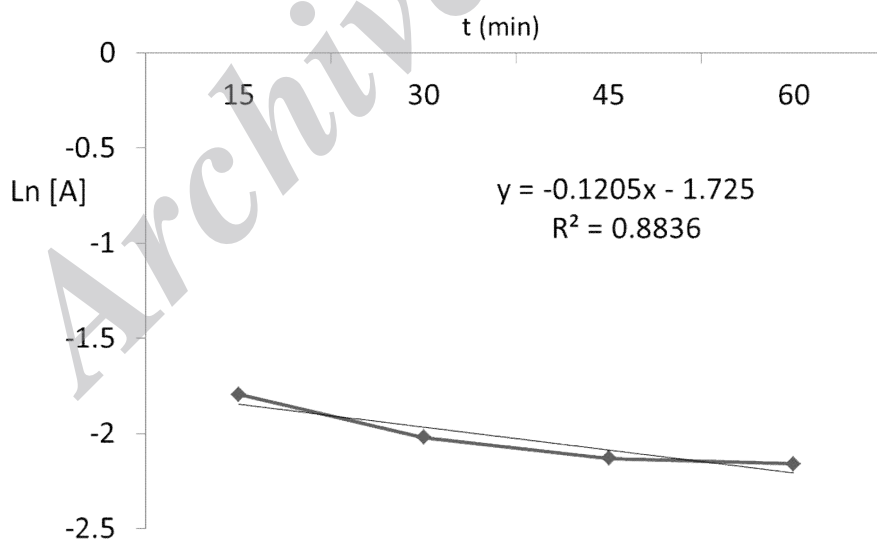
شکل ۴-۱۷- نمودار سنتیک درجه دوم برای جاذب سیپولیت در محلول رنگی آبی

۴-۵-۳- بررسی سنتیک جذب رنگ سیاه توسط جاذب سپیولیت

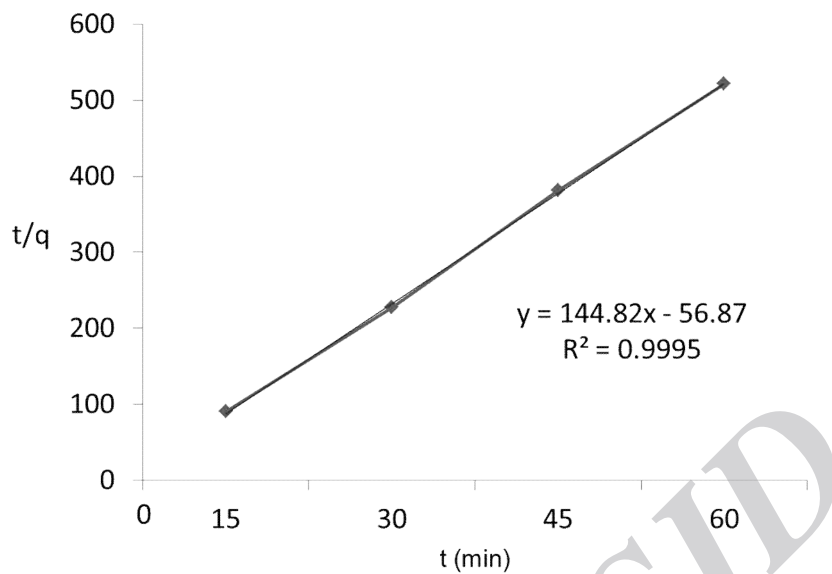
جدول ۴-۱۶ پارمترهای تغییرات غلظت رنگ سیاه نسبت به زمان برای معادله سرعت درجه اول و درجه دوم را نشان می دهد. نمودار ۴-۱۸ سنتیک درجه اول و نمودار ۴-۱۹ سنتیک درجه دوم را برای جاذب سپیولیت نشان می دهد. همانطور که در نمودار ۴-۱۹ مشخص است نمودار t/q نسبت به زمان خط راست بهتری شد و در نتیجه واکنش حذف رنگ سیاه برای جذب سپیولیت از نوع درجه دوم است و شیب خط مساوی سرعت است.

جدول ۴-۱۶ پارمترهای تغییرات غلظت رنگ سیاه نسبت به زمان برای جاذب سپیولیت

t(min)	[A]	Ln[A]	t/q
۱۵	۰/۱۶۶	-۱/۷۹۵	۹۰/۳۶
۳۰	۰/۱۳۲	-۲/۰۲	۲۲۷/۲۷
۴۵	۰/۱۱۸	-۲/۱۳	۳۸۱/۳۵
۶۰	۰/۱۱۵	-۲/۱۶	۵۲۱/۷۳



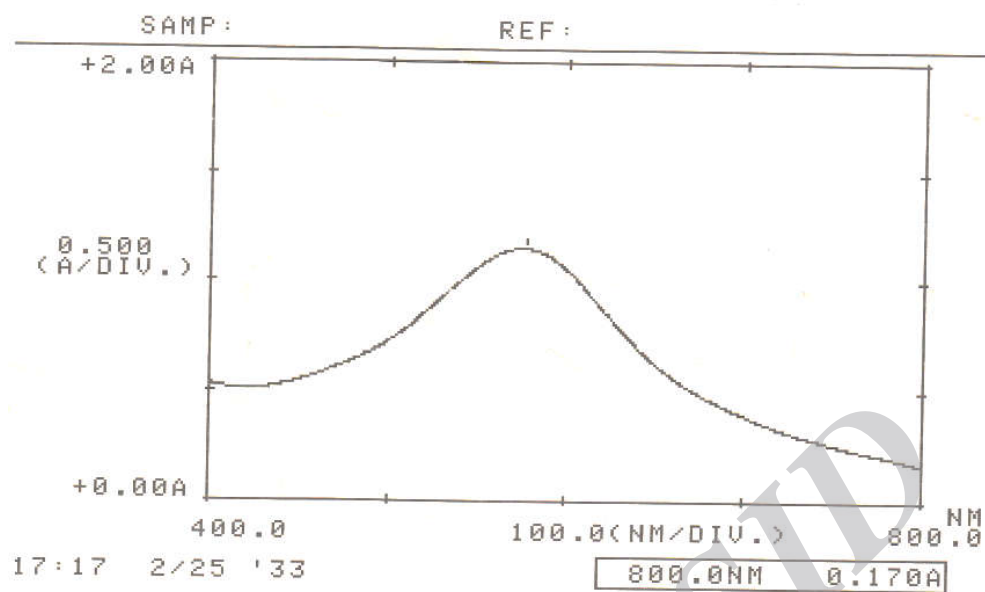
شکل ۴-۱۸- نمودار سنتیک درجه اول برای جاذب سپیولیت در محلول رنگی سیاه



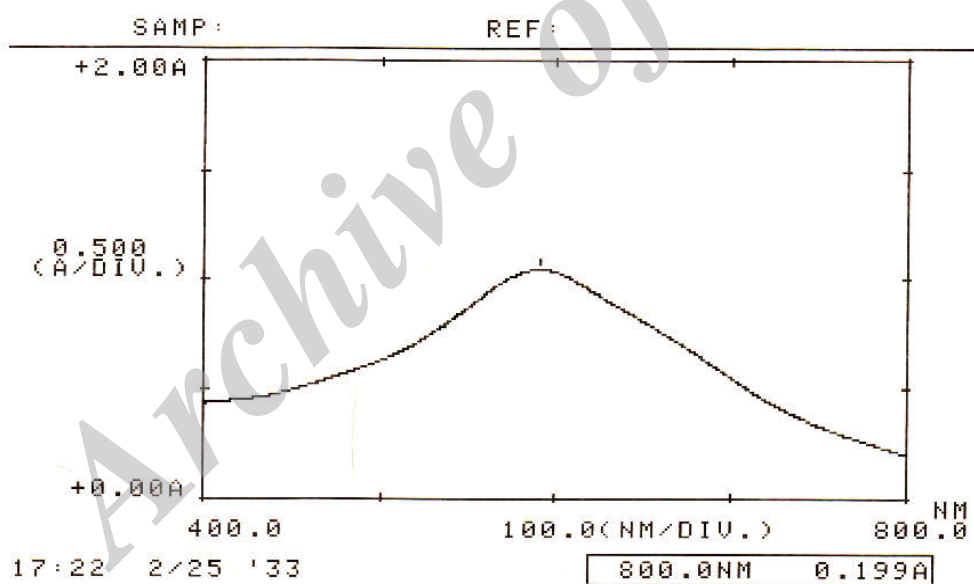
شکل ۴-۱۹- نمودار سنتیک درجه دوم برای جاذب سپیولیت در محلول رنگی سیاه

۴-۶- بررسی کارایی جاذب سپیولیت در فاضلاب‌های صنعتی

به منظور بررسی کارایی و بازده جذب سپیولیت در مورد پساب‌های صنعتی، دو نمونه فاضلاب صنعتی مربوط به کارخانجات نساجی استان یزد مورد مطالعه قرار گرفت. ۵۰۰ میلی لیتر از فاضلاب صنعتی با ۱۰ گرم جاذب سپیولیت در دمای محیط طی مدت زمان متفاوت در تماس قرار داده شد و میزان حذف رنگ از این نمونه‌ها بررسی شد. اطلاعات مربوط به جذب این نمونه‌ها در جداول ۴-۱۸ و ۴-۱۹ گزارش شده است.



شکل ۴-۲۰- طیف جذب محلول فاضلاب صنعتی شماره ۱



شکل ۴-۲۱- طیف جذب محلول فاضلاب صنعتی شماره ۲

جدول ۴-۱۸- میزان حذف رنگ از نمونه فاضلاب صنعتی شماره ۱ توسط سپیولیت ($\lambda = 576/5$)

مدت زمان تماس با جاذب (دقیقه)	جذب محلول قبل از تماس با جاذب	جذب محلول بعد از تماس با جاذب	درصد جذب (راندمان جذب)
۴۵	۱/۱۵۴	۰/۴۶۶	۵۹/۶۱
۶۰	۱/۱۵۴	۰/۴۶۵	۵۹/۷۰

جدول ۴-۱۹- میزان حذف رنگ از نمونه فاضلاب صنعتی شماره ۲ توسط سپیولیت ($\lambda = 591/0$)

مدت زمان تماس با جاذب (دقیقه)	جذب محلول قبل از تماس با جاذب	جذب محلول بعد از تماس با جاذب	درصد جذب (راندمان جذب)
۴۵	۱/۰۵۲	۰/۱۱۸	۸۸/۷۸
۶۰	۱/۰۵۲	۰/۱۱۷	۸۸/۸۷

میزان رنگ در نمونه‌های فاضلاب صنعتی قبل و بعد از عملیات تصفیه نیز به روش شیمیایی اندازه‌گیری شد. نتایج مربوطه در جدول ۴-۲۰ آورده شده است.

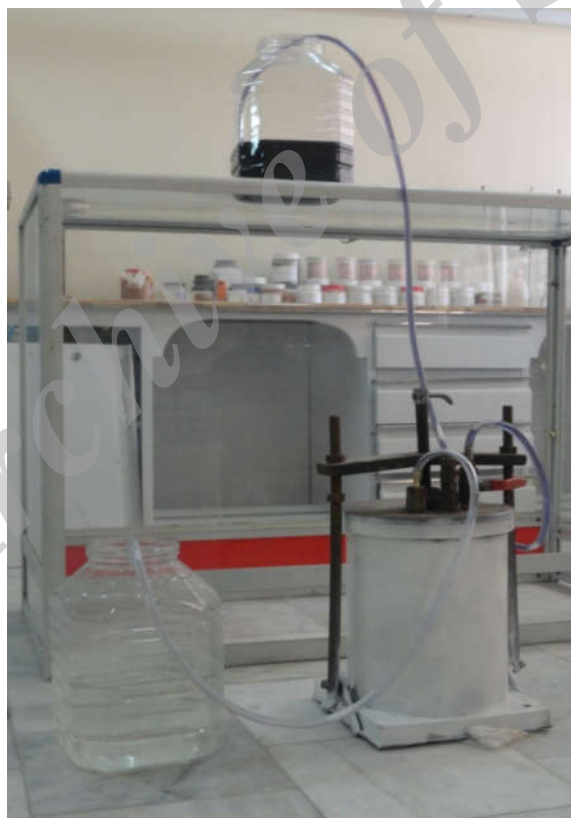
جدول ۴-۲۰- غلظت رنگ در نمونه فاضلاب قبل و بعد از تصفیه با سپیولیت

مقدار رنگ (میلی گرم بر گرم)		
نمونه فاضلاب صنعتی	فاضلاب شماره ۱	فاضلاب شماره ۲
قبل از تصفیه	۱۵۲	۷۸
بعد از تصفیه با جاذب سپیولیت	۶۰	۸

همانطور که از نتایج مشخص است استفاده از جاذب می‌تواند مقدار رنگ در فاضلاب را به میزان زیادی کاهش داده و مقدار آن را به محدوده استاندارد برساند.

مطالعات نشان دادند که ساخت فیلتر به صورت قطعه پرس شده مناسب نبوده و کارایی جذب سپیولیت به دلیل کم شدن سطح تماس و افزودنی‌های مصرفی در هنگام سینترینگ به مقدار زیادی کاهش می‌یابد. استفاده از فیلتر شنی یکی از عمده روشهایی است که جهت تصفیه آب و پساب در مقیاس صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این طرح نیز فیلتری طراحی شد که جهت تصفیه فاضلاب شماره ۲ مورد استفاده قرار گرفت. شمایی از فیلتر در شکل ۴-۲۲ نشان داده شده است.

بنابراین نمونه فیلتر مصرفی بصورت محفظه‌ی بسته‌ای طراحی شد که پودر میکرونی سپیولیت در آن قرار داشته، از یک ورودی پساب رنگی وارد شده و در شرایط کاملاً کنترل شده در تماس با سپیولیت قرار داده می‌شود و در نهایت از سمت دیگر پساب زلال و بی‌رنگ خارج می‌شود.



شکل ۴-۲۲- شمایی از فیلتر جهت تصفیه فاضلاب شماره ۲

۴-۷- مقایسه جاذب سپولیت با جاذبهای دیگر و تحقیقات مشابه

یکی از روش‌های عمده برای تصفیه پساب‌های نساجی استفاده از بیوجاذب‌ها و روش‌های زیستی می‌باشد. کیتوسان نوعی بیوپلیمر و جاذب طبیعی است که از پوست پسته و گیاهان تولید می‌شود و قدرت خوبی در جذب آلاینده‌ها دارد، از این رو برای جذب آلاینده‌های زیست محیطی به ویژه در صنایع نساجی کاربرد دارد. موسی صادقی کیاخانی پژوهشگر دانشگاه صنعتی امیر کبیر گزارش کرده است که بیوجاذب اصلاح شده با نانو ساختار دندریمر پتانسیل بالایی برای رنگ‌زدایی پساب نساجی حاوی مواد رنگزای آنیونی به کار برده شده را دارد. با این وجود، بسیاری از مواد آلی و ترکیبات رنگ‌های آزو در مقابل فرآیندهای زیستی مقاوم بوده و چنین روش‌هایی برای حذف آنها ناکارآمد هستند [۵۳].

فرایند انعقاد الکتروشیمیایی نیز یکی از روش‌های دیگر جهت حذف رنگ‌ها از فاضلاب‌های رنگی است که به علت پیچیدگی و هزینه بالا قابل رقابت با روش‌های کم هزینه مانند تصفیه با جاذب‌های طبیعی نیست [۵۴].

محققین بسیاری بر روی جذب رنگ‌های آلی از پساب صنایع نساجی با استفاده از گیاه آژول *Filiculodes* [۵۵]، پودر کربن فعال و لجن فعال [۵۶ و ۵۷]، پوست موز [۵۸]، غشاهای پلیمری [۵۹]، نانوفتوکاتالیزورهایی مانند ذرات اکسید تیتانیوم تثبیت شده [۶۰]، ساقه گیاه پرسیکا [۶۱] و بنتونیت [۶۲] مطالعه نموده‌اند.

استفاده از الکترودهای دو قطبی در حذف رنگ‌های محلول، توسط سه تن از محققین چینی بر روی رنگ‌های مستقیم، راکتیو، کاتیونیک و اسیدی مورد مطالعه قرار گرفته که با کاهش BOD^5 و COD بیش از ۸۰٪ همراه بوده است [۶۴].

مسعود اسلام و همکارانش در سال ۲۰۰۴ میلادی در پاکستان با ۵ اکسیدکننده سعی در کاهش مقدار BOD و COD و رنگ فاضلاب صنایع نساجی داشته‌اند که در این پروژه فاضلاب ۴ کارخانه را به عنوان معیار در نظر گرفته‌اند. میانگین تولید پساب کارخانجات نساجی بنا به وسعت و حجم فعالیت بین ۲۵۰۰ تا ۵۰۰۰ مترمکعب در روز برآورد شده است. با نمونه گیری از این ۴ کارخانه در فواصل زمانی ۳ ساعته، مقادیر بین ۷۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برای BOD و COD بین ۲ تا ۵ برابر میزان BOD بدست آمده است. در این پژوهش حداکثر میزان حذف COD و BOD و رنگ، توسط هیپوکلریت کلسیم و به میزان تقریبی ۶۵ درصد در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد محاسبه شده است [۶۵].

بنا به مطالعات امجد علی خان و همکارش در سال ۲۰۰۶ در کشور هند، بین ۱۰ تا ۱۵ درصد از رنگ مصرفی در کارخانجات نساجی وارد پساب این صنایع می‌گردد. آن‌ها بیان داشته‌اند که استفاده از آنزیم‌های کاهنده برای تصفیه فاضلاب از سال ۱۹۸۰ به بعد مورد توجه قرار گرفته است. از مزایای این آنزیم‌ها دامنه کاربرد وسیع و سرعت عمل بالا می‌باشد. مهم‌ترین دلیل عدم استفاده از این آنزیم‌ها در مقیاس صنعتی، بالا بودن حجم آلودگی این گونه پساب‌ها است که کارایی این روش را با مشکل مواجه می‌کند. در این مطالعه از اکسیدپلی فنول به دست آمده از گوجه‌فرنگی برای تصفیه استفاده شده است. بیشترین میزان حذف در این روش برای رنگ نارنجی راکتیو ۸۶ در pH برابر با ۳ و به میزان ۹۶ درصد بدست آمده است [۶۶].

خانم ماتانو و همکارانش در سال ۲۰۰۶ در کشور اسپانیا به ارزیابی زیست محیطی استفاده از photo-fenton در حذف رنگ‌های راکتیو از پساب پرداخته‌اند. در خلال این تحقیق به روش AOP اشاره شده است که در این روش هدف، ایجاد رادیکال‌های هیدروکسیل به عنوان اکسیدکننده‌های اولیه برای حذف رنگ‌های راکتیو از پساب می‌باشد. طبق این نوشته با این روش می‌توان به درصد حذف بسیار بالا (در حد حذف کامل) دست یافت [۶۷].

اوزال و همکارانش در سال ۲۰۰۵ در کشور ترکیه بر روی میکروفیلتراسیون به عنوان راه‌حلی برای حذف رنگ از پساب مطالعه نموده‌اند و در این روش با استفاده از فیلتراسیون پساب در حد ۱/۲ میکرون، موفق به حذف ۸۵ درصدی رنگ شده‌اند [۶۸].

سونتاد و همکارش در سال ۲۰۰۵ در کشور تایلند بر روی حذف رنگ‌های دیسپرس از پساب صنایع نساجی با استفاده از لجن‌های بیولوژیکی پرداخته‌اند. در این مقاله به این نکته اشاره شده است که کربن فعال به تنهایی در غلظت خاص BOD، توانایی حذف رنگ‌های دیسپرس را تا ۹۳ درصد دارا می‌باشد که این میزان با افزودن مقدار اندکی لجن‌های بیولوژیکی به مقدار قابل قبولی افزایش می‌یابد [۶۹].

دینسر و همکارانش در سال ۲۰۰۵ در کشور ترکیه بر روی حذف ترکیبات رنگی پساب صنایع نساجی با استفاده از ضایعات خاکستر زغال به عنوان جاذب مطالعه نموده‌اند که با این روش برای دو رنگ خاص آبی ۴۹ و نارنجی ۱۳، به حذفی معادل ۱۳/۵۱ و ۴/۵۴ میلی‌گرم بر هر گرم رنگ دست یافته‌اند که چندان قابل ملاحظه نمی‌باشد [۷۰].

اوزمی سی و همکارش نیز در سال ۲۰۰۵ در کشور ترکیه بر روی حذف رنگ از طریق جذب توسط پودر لجن فاضلاب مطالعه نموده‌اند. اینان با استفاده از غلظت ۴ گرم بر لیتر از این پودر به درصد حذفی به میزان ۸۰ درصد رسیده‌اند [۷۱].

گوپتا و همکارانش در سال ۲۰۰۶ در کشور هند با بررسی و مقایسه کربن و سبوس برنج فعال شده در حذف رنگ سافرائین- تی، به این نتیجه رسیده‌اند که هردوی این جاذب‌ها از ایزوترم فروندلیچ و لانگمایر تبعیت می‌کنند و همچنین با افزایش دما از قدرت جذب آنان کاسته می‌شود [۷۲].

میتال و همکارانش در سال ۲۰۰۶ در کشور هند با مطالعه بر روی پسمانده روغن سویا به عنوان جاذب در حذف رنگ‌های اریتروزین که حاوی ترکیبات بسیار خطرناکی هستند به این نتیجه دست یافتند که در pH های بالاتر از ۵ (قلیایی تر) امکان حذف قابل قبولی از این ماده شیمیایی وجود ندارد اما در pH های پایین (کمتر از ۲/۵) می‌توان به درصد حذفی بالای ۸۰ درصد از این ترکیب رسید [۷۳].

توانایی بنتونیت خام، اکسید روی و بنتونیت فعال سازی شده با اکسید روی در حذف ترکیبات آلی نیز در پژوهشی که با همکاری بخش شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد انجام شده مطالعه گردیده است. نتایج نشان داد که در شرایط مختلف دما و زمان می‌توان رنگ متیل بنفش را توسط بنتونیت فعال سازی شده تا ۹۰ درصد حذف نمود. دی فنیل آمین تا ۶۰ درصد حذف شد و اگزالیک اسید تا ۷۲ درصد از پساب جدا گردید [۶۲].

کارایی مواد معدنی دیگر از جمله کائولن، میکا و بنتونیت در حذف مهم‌ترین رنگ‌های مصرفی صنعت نساجی توسط اعلم و همکاران مطالعه شده است. در این آزمایشات برای اثر دادن ۳ نمونه خاک از انواع بنتونیت، میکا و کائولن در غلظت‌های گوناگون بر روی سه رنگ آبی اسیدی، قرمز راکتیو و زرد دیسپرس در غلظت‌ها و زمان‌های تماس متفاوت، از روش طرح آزمایش تاگچی بهره گرفته شد. نتایج به دست آمده نشان از حذف ۷۹/۹ درصد آبی اسیدی، ۹۲/۷ درصد قرمز راکتیو و ۸۸ درصد زرد دیسپرس در شرایط بهینه نوع و غلظت خاک، غلظت رنگ و زمان اختلاط داشت. در این تحقیق تأثیر فرایند فعال سازی اسیدی که یکی از روش‌های بهبود ویژگی‌های خاک‌های رس به ویژه خاک‌های حاوی کانی مونت‌موریلونیت، به حساب می‌آید بر روی توانایی حذف رنگ خاک‌ها مورد بررسی قرار گرفت. همان‌گونه که انتظار می‌رفت این فرایند

بیشترین تأثیر را در خاک بنتونیت که یکی از فازهای عمده آن مونت‌موریلونیت است داشت بدین صورت که میزان توانایی حذف این خاک را تا ۴۰ درصد افزایش داد [۶۳].

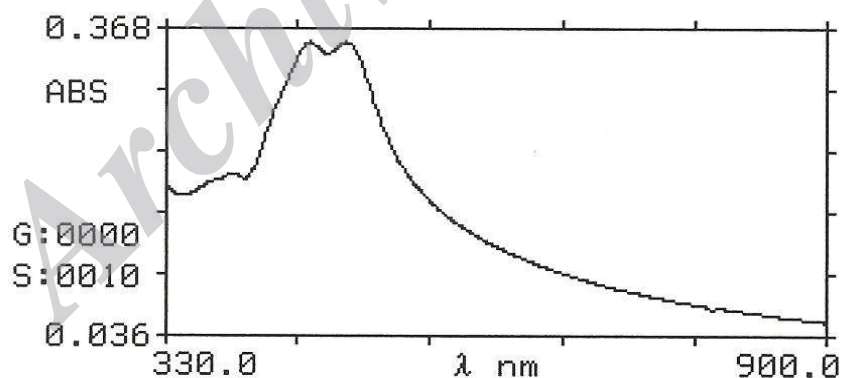
با این وجود اکثر این تحقیقات در سطح آزمایشگاهی بوده و کارایی آنها برای نمونه فاضلاب صنعتی حقیقی بررسی نشده است. در مجموع با استناد به نتایج بدست آمده در این طرح، منابع در دسترس سپیولیت در استان و توجیه اقتصادی مناسبی که برای استفاده از این نوع جاذبها وجود دارد می‌توان ادعا نمود که فیلتر ساخته شده از سپیولیت می‌تواند گزینه بسیار مناسبی برای تولید نیمه صنعتی و صنعتی باشد.

۴-۸- روش تاگوچی

۴-۸-۱- رنگ زرد دیسپرس

رنگ زرد دیسپرس از جمله ترکیبات رنگزای مصرفی در صنعت نساجی می‌باشد به همین منظور حذف این ماده رنگی از محلول‌های آبی توسط مواد جاذب گوناگون بررسی شد که از روش‌های تجربی و طراحی آزمایش استفاده گردید.

DR/4000U S/N: 0307U0005020 2.40
16-JAN-08 01:00:01 SCAN
330-900 nm Step 1.0 nm



شکل (۴-۲۶): طیف جذبی رنگ زرد دیسپرس

جدول (۴-۲۱): طول موج پیک در غلظت‌های گوناگون برای رنگ زرد دیسپرس

میزان حداکثر جذب	طول موج پیک (nm)	غلظت رنگ (mg/lit)
۳/۱۷۸	۴۳۴/۶	۵۰
۱/۷۹۴	۴۵۹/۹	۲۵
۱/۴۳۹	۴۵۵/۷	۲۰
۰/۹۲۴	۴۵۶/۹	۱۲/۵
۰/۷۵۳	۴۵۶/۰	۱۰
۰/۴۷۲	۴۵۵/۷	۶/۲۵
۰/۳۸۳	۴۵۵/۹	۵
۰/۰۸۴	۴۵۵/۸	۱



شکل (۴-۲۷): نمونه‌ای از رنگ زرد دیسپرس به غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر

بطور کلی پارامترهای مؤثر در فرایند جذب مورد بررسی در این پژوهش را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

- نوع خاک جاذب
- قطر ذرات خاک
- فرایند فعال‌سازی بر روی خاک‌ها
- نوع رنگ

- غلظت رنگ
- غلظت خاک
- نحوه اختلاط
- زمان ماند یا مدت زمان اختلاط
- دما , pH

بنا بر مطالعات صورت گرفته، دمای محیط مناسب‌ترین دما جهت فرایند جذب می‌باشد و افزایش یا کاهش دما تأثیر منفی در میزان جذب خواهد داشت. نحوه اختلاط نیز در این پژوهش سعی شده تا هماهنگ‌ترین حالت با مقیاس واقعی در نظر گرفته شود. قطر ذرات خاک اگرچه می‌تواند یکی از پارامترهای مؤثر در جذب باشد اما با توجه به اینکه ذرات رس همگی بسیار ریز می‌باشند و تجمع‌های این خاک‌ها نیز که به صورت کلوخه می‌باشد، با جذب مقدار اندکی آب، پیوستگی خود را از دست داده و به ذرات ریز تبدیل می‌گردند (به طوری که به راحتی از الک نمرة ۱۰۰ عبور داده می‌شوند) لذا از در نظر گرفتن این پارامتر به عنوان یکی از متغیرهای مؤثر در فرایند صرفنظر به عمل می‌آید. pH نیز که قبلاً مورد بررسی قرار گرفته و در pH های اسیدی، بیشترین جذب مشاهده می‌گردد. لذا می‌توان پارامترهای متغیر در انجام این پروژه را نوع خاک جاذب (در پنج سطح (Level))، غلظت خاک جاذب (در پنج سطح)، غلظت محلول رنگی (در پنج سطح) و مدت زمان اختلاط (در پنج سطح) در میزان جذب بیان نمود.

اما در مباحث مربوط به مهندسی صنایع و مدیریت، انجام تعداد زیاد آزمایش جهت رسیدن به حالت بهینه، پسندیده و قابل قبول نیست. در دنیای امروز، روش‌های گوناگونی جهت رسیدن به هدف در کوتاه‌ترین زمان ممکن و با کمترین انرژی و هزینه ارائه شده که یکی از آن‌ها که بخصوص در کشورهای شرقی آسیا از جمله ژاپن به شدت گسترش و طرفدار پیدا کرده است، روش طرح آزمایش معروف به تاگوچی است که توسط پروفیسور گینیچی تاگوچی ژاپنی طرح و ارائه گردیده است. در

این روش با طرح تعداد آزمایش کمتر و تحلیل و بررسی نتایج حاصل از آن‌ها می‌توان به حالت بهینه یا همان هدف، دست یافت.

اگرچه روش تاگوچی را می‌توان به صورت دستی نیز محاسبه و به کار برد، اما در این پژوهش، روش طرح آزمایش تاگوچی جهت سرعت و سهولت بیشتر با استفاده از نرم‌افزار آماری Minitab به کار برده شده است.

بنا به این روش، برای رسیدن به حالت بهینه یا همان هدف، کافی است ۲۵ آزمایش آمده در ادامه، برای رنگ مورد نظر، هر کدام سه مرتبه (جهت بالا بودن دقت نتایج) انجام گیرد. با توجه به شرایط آزمایشگاهی و برای آن که خطاهای محیطی و از جمله خطای محتمل ناشی از کارکرد دستگاه (در برخی از دستگاه‌ها نظیر بعضی از اسپکتروفوتومترها، گذشت زمان و گرم و سرد شدن محیط و لامپ نوری دستگاه و حتی جریانات هوای محیط آزمایشگاه، در نتیجه قرائت آن‌ها تأثیرگذار است) به حداقل برسد، هر آزمایش ۴ مرتبه تکرار گردید.

۴-۸-۲- آزمایشات ۲۵ گانه تاگوچی

تاگوچی برای آزمایشی با ۴ متغیر و هر کدام در ۵ سطح، ۲۵ آزمایش را به صورت جدول (۲-۲۲) پیشنهاد می‌دهد. اگر متغیر شماره ۱ را نوع خاک جاذب و سطوح ۱ تا ۵ آن را به ترتیب مربوط به خاک‌های سپیولیت، بنتونیت، میکا، کائولن ۱ و کائولن ۲، متغیر شماره ۲ را غلظت خاک جاذب و سطوح ۱ تا ۵ آن را غلظت‌های ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ گرم در لیتر، متغیر شماره ۳ را غلظت محلول رنگی و سطوح آن را ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر و متغیر شماره ۴ را زمان اختلاط و سطوح آن را ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ دقیقه در نظر بگیریم، آزمایشات لازم بر روی هر نوع رنگ به صورت جدول (۲-۲۳) خواهد بود.

جدول (۲-۲۲): آزمایشات تاگوچی برای ۴ متغیر غیر مشخص در ۵ سطح

شماره آزمایش	سطح متغیر شماره یک	سطح متغیر شماره دو	سطح متغیر شماره سه	سطح متغیر شماره چهار
۱	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۲	۲	۲
۳	۱	۳	۳	۳
۴	۱	۴	۴	۴
۵	۱	۵	۵	۵
۶	۲	۱	۲	۳
۷	۲	۲	۳	۴
۸	۲	۳	۴	۵
۹	۲	۴	۵	۱
۱۰	۲	۵	۱	۲
۱۱	۳	۱	۳	۴
۱۲	۳	۲	۴	۵
۱۳	۳	۳	۵	۱
۱۴	۳	۴	۱	۲
۱۵	۳	۵	۲	۳
۱۶	۴	۱	۴	۵
۱۷	۴	۲	۵	۱
۱۸	۴	۳	۱	۲
۱۹	۴	۴	۲	۳
۲۰	۴	۵	۳	۴
۲۱	۵	۱	۴	۵
۲۲	۵	۲	۵	۱
۲۳	۵	۳	۱	۲
۲۴	۵	۴	۲	۳
۲۵	۵	۵	۳	۴

جدول (۲-۲۳): آزمایشات ۲۵ گانهٔ تاگوچی برای متغیرهای مورد نظر

شماره	نوع خاک جاذب	غلظت خاک جاذب (gr/lit)	غلظت محلول رنگی	زمان اختلاط (min)
۱	سپیولیت	۱۰	۵	۱۵
۲	سپیولیت	۲۰	۱۰	۳۰
۳	سپیولیت	۴۰	۱۵	۴۵
۴	سپیولیت	۶۰	۲۰	۶۰
۵	سپیولیت	۸۰	۲۵	۹۰
۶	بنتونیت	۱۰	۱۰	۴۵
۷	بنتونیت	۲۰	۱۵	۶۰
۸	بنتونیت	۴۰	۲۰	۹۰
۹	بنتونیت	۶۰	۲۵	۱۵
۱۰	بنتونیت	۸۰	۵	۳۰
۱۱	میکا	۱۰	۱۵	۹۰
۱۲	میکا	۲۰	۲۰	۱۵
۱۳	میکا	۴۰	۲۵	۳۰
۱۴	میکا	۶۰	۵	۴۵
۱۵	میکا	۸۰	۱۰	۶۰
۱۶	کائولن ۱	۱۰	۲۰	۳۰
۱۷	کائولن ۱	۲۰	۲۵	۴۵
۱۸	کائولن ۱	۴۰	۵	۶۰
۱۹	کائولن ۱	۶۰	۱۰	۹۰
۲۰	کائولن ۱	۸۰	۱۵	۱۵
۲۱	کائولن ۲	۱۰	۲۵	۶۰
۲۲	کائولن ۲	۲۰	۵	۹۰
۲۳	کائولن ۲	۴۰	۱۰	۱۵
۲۴	کائولن ۲	۶۰	۱۵	۳۰
۲۵	کائولن ۲	۸۰	۲۰	۴۵

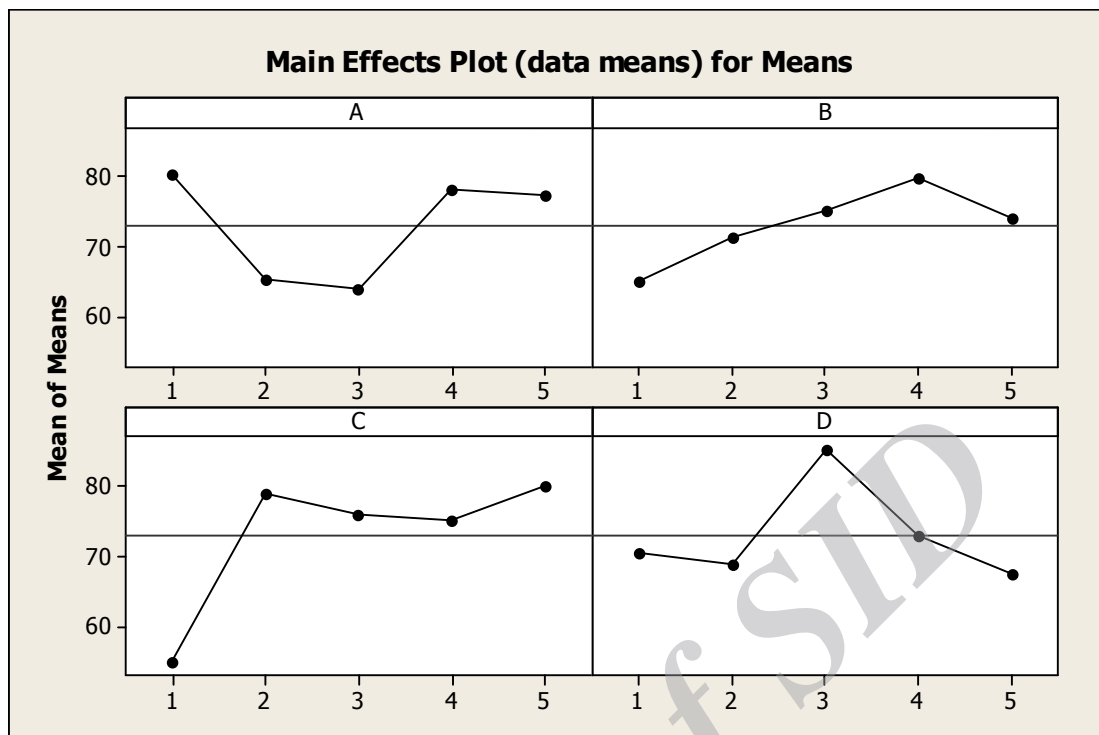
در ادامه، نتایج به دست آمده از آزمایشات ۲۵ گانه مربوط به روش طرح آزمایش تاگوچی، بر روی این رنگ پس از حذف خطاهای مذکور، آورده شده است.

جدول (۲-۲۴): نتایج نهایی آزمایشات ۲۵ گانه تاگوچی برای رنگ زرد دیسپرس با طول موج پیک ۴۵۶ نانومتر

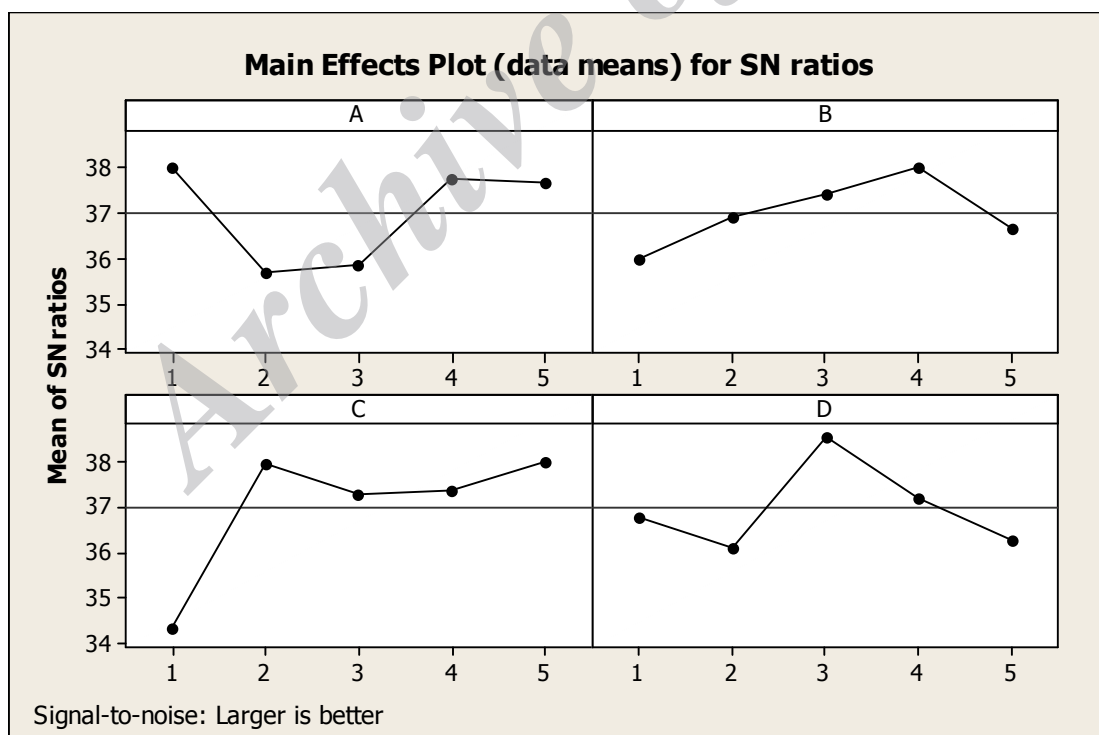
شماره آزمایش	درصد حذف رنگ				میانگین درصد حذف
۱	۵۶/۷	۵۵/۰	۶۰/۶	۵۷/۷	۵۷/۵
۲	۸۰/۸	۷۴/۵	۷۵/۰	۷۸/۷	۷۷/۳
۳	۹۰/۶	۹۰/۵	۹۲/۴	۹۱/۱	۹۱/۲
۴	۸۷/۵	۸۷/۹	۸۷/۰	۸۶/۴	۸۷/۲
۵	۸۸/۹	۸۹/۵	۸۹/۰	۸۹/۴	۸۹/۲
۶	۸۱/۵	۸۲/۷	۸۱/۲	۸۰/۰	۸۱/۴
۷	۷۶/۳	۷۷/۳	۷۶/۲	۷۴/۷	۷۶/۱
۸	۶۸/۵	۶۶/۸	۶۸/۵	۶۷/۷	۶۷/۹
۹	۷۵/۸	۷۳/۴	۷۴/۹	۷۳/۲	۷۴/۳
۱۰	۲۶/۴	۲۸/۸	۲۶/۵	۲۵/۸	۲۶/۹
۱۱	۴۰/۱	۳۸/۴	۴۳/۲	۴۲/۱	۴۱/۰
۱۲	۵۳/۳	۵۱/۵	۵۱/۴	۵۴/۶	۵۲/۷
۱۳	۷۷/۵	۷۷/۷	۷۸/۶	۷۹/۶	۷۸/۴
۱۴	۷۲/۵	۷۱/۵	۷۱/۹	۷۱/۰	۷۱/۷
۱۵	۷۷/۰	۷۸/۰	۷۵/۱	۷۴/۱	۷۶/۱
۱۶	۷۳/۵	۷۶/۵	۷۹/۳	۷۶/۹	۷۶/۶
۱۷	۸۹/۷	۹۰/۲	۸۹/۴	۹۰/۱	۸۹/۹
۱۸	۶۱/۵	۵۹/۲	۵۵/۳	۵۵/۱	۵۷/۸
۱۹	۷۸/۳	۸۰/۰	۸۰/۰	۸۱/۱	۷۹/۹
۲۰	۸۶/۵	۸۵/۷	۸۶/۹	۸۷/۲	۸۶/۶

۶۸/۱	۶۶/۹	۶۸/۱	۶۹/۴	۶۸/۱	۲۱
۶۰/۲	۶۱/۱	۶۲/۳	۵۷/۸	۵۹/۵	۲۲
۸۱/۰	۸۱/۵	۸۲/۱	۸۰/۳	۷۹/۹	۲۳
۸۵/۳	۸۶/۴	۸۴/۶	۸۳/۴	۸۶/۸	۲۴
۹۲/۰	۹۱/۷	۹۰/۹	۹۳/۴	۹۱/۹	۲۵

همان‌گونه که در قسمت شرح روش تاگوچی گفته شد، پس از به دست آوردن نتایج آزمایش‌های ۲۵ گانه، نوبت به تحلیل آن‌ها به شیوه تاگوچی می‌رسد. نمودارهای مربوط به میانگین نتایج و رابطه تاگوچی بر اساس میزان ماکزیمم پارامتر هدف، برای رنگ زرد دیسپرس، در نمودارهای شماره (۲-۲۸) و (۲-۲۹) نشان داده شده است که صحت نتایج میانگین و رابطه تاگوچی برای هر یک از آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این نمودارها، پارامتر A، نوع خاک (و سطوح آن به ترتیب سیپولیت، بنتونیت، میکا، کائولن ۱ و کائولن ۲)، پارامتر B، غلظت خاک (و سطوح آن به ترتیب ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ گرم بر لیتر)، پارامتر C، غلظت رنگ (و سطوح آن به ترتیب ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر) و پارامتر D، زمان اختلاط (و سطوح آن به ترتیب ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ دقیقه) می‌باشد.



نمودار (۲-۲۸): میانگین نتایج آزمایش‌های ۲۵ گانه برای درصد حذف رنگ زرد دیسپرس



نمودار (۲-۲۹): میانگین نتایج تحلیل تاگوچی برای بیشینه‌سازی درصد حذف رنگ زرد دیسپرس

در نمودارهای مربوط به میانگین درصدهای حذف، مقدار مربوط به هر سطح از هر پارامتر برابر است با میانگین درصدهای حذف رنگ در آزمایشاتی که این پارامتر در آنها در سطح مورد نظر قرار داشته. به عنوان مثال مقدار عددی مربوط به غلظت ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر غلظت رنگ (سطح ۳ از پارامتر C)، از میانگین‌گیری از درصدهای حذف مربوط به آزمایشاتی که در آنها بدون در نظر گرفتن سایر پارامترها، غلظت رنگ ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر بوده، بدست آمده است.

در نمودارهای مربوط به تحلیل تاگوچی، این عدد، با توجه به اینکه بیشینه‌سازی پارامتر هدف مورد نظر است از رابطه زیر محاسبه شده است:

$$SN = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2}$$

و اما مطابق نمودارها حالت بهینه، خاک سپیولیت، غلظت خاک ۶۰ گرم بر لیتر، غلظت رنگ ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و زمان اختلاط ۴۵ دقیقه می‌باشد. برای کنترل نتایج تاگوچی، پارامترهای نوع خاک، غلظت خاک و غلظت رنگ را ثابت در نظر گرفته و زمان اختلاط را در همان پنج سطح مورد نظر یعنی ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ دقیقه، تغییر می‌دهیم. در این حالت آزمایشات کنترلی، به طور کامل روند نتایج تاگوچی را تأیید می‌نمایند.

با توجه به نکات و مباحث ذکر شده در فوق، ضمن تأیید روش تاگوچی کنترل‌شده به عنوان روشی اقتصادی و قابل قبول برای طراحی آزمایش انتخاب حالات بهینه در جذب رنگ توسط خاک‌های معدنی، حداکثر میزان حذف رنگ در حالات بهینه بدست آمده از این روش برای رنگ زرد دیسپرس، مقدار ۹۲ درصد گزارش می‌شود.

جدا از نتایج روش طرح آزمایش تاگوچی، از آزمایشات و مشاهدات بعمل آمده، نتایج زیر قابل استخراج است:

از نظر نوع خاک، خاک‌های سپیولیت و کائولن، کلاً در رنگ مورد آزمایش، درصدهای حذف بالاتری را از خود نشان داده‌اند. خاک بنتونیت به رغم استفاده گسترده در رنگبری روغن، در مقام مقایسه، در رنگبری رنگ‌های نساجی از مزیت ویژه‌ای برخوردار نیست و خاک میکا نیز در کل، جاذب رنگ چندان مناسبی به نظر نمی‌رسد.

از دیگر نتایج این آزمایشات، وجود رابطه مستقیم بین غلظت خاک مورد استفاده به عنوان جاذب و میزان حذف رنگ می‌باشد. اما این نکته را نیز باید در نظر داشت که همان‌گونه که در رنگ زرد دیسپرس نیز مشاهده می‌شود، غلظت‌های خیلی

بالای خاک، به علت تراکم بالای ذرات و احياناً چسبیدن آنها به یکدیگر، ممکن است موجب کمتر شدن میزان جذب، از مقدار مورد انتظار گردد. لذا غلظت خاک بهینه پیشنهادی، همان ۶۰ گرم بر لیتر می باشد.

در رنگ‌های اسیدی، غلظت رنگ و درصد حذف، رابطه‌ای معکوس از خود نشان می‌دهند. این مسأله نیز امری قابل انتظار است زیرا در حالت مساوی جایگاه‌های جذب، هرچه تعداد مولکول‌ها کمتر باشد، احتمال جذب بیشتر است. اما تفاوت این موضوع در مورد رنگ زرد دیسپرس ناشی از عدم انحلال طبیعی این رنگ در آب است. بدین صورت که تراکم بالاتر مولکول‌های این رنگ، به چسبیدن آنها به یکدیگر و به ذرات خاک و تشکیل کلونی‌های سنگین‌تر و در نتیجه ته‌نشینی و حذف رنگ، کمک بیشتری خواهد کرد.

در مورد زمان اختلاط نیز شاید بتوان زمان ۴۵ دقیقه را بهترین زمان دانست زیرا در برخی از حالات نظیر موارد مشاهده شده در مورد رنگ زرد دیسپرس، اختلاط بیشتر موجب جدا شدن مولکول‌های جذب شده و دوباره پراکنده شدن آنها در محیط محلول گردد.

۴-۹- دلایل علمی جذب بهتر رنگ‌های آزو بر روی سیپولیت نسبت به دیگر جاذب‌ها

سیپولیت بالاترین سطح مخصوص را ($300 \text{ m}^2/\text{gr}$) در میان تمامی مینرال‌های رسی داراست و دانسیته بالایی از گروه‌های سیلانول ($-\text{SiOH}$) دارد که آبدوستی قابل ملاحظه‌ای این رس را توجیه می‌کند. طول میانگین ذرات کشیده و کوچک سیپولیت حدود $1-2 \mu\text{m}$ و عرض آنها $0.1 \mu\text{m}$ می‌باشد. ابعاد کانال‌های باز موجود در محور ذرات $3/6^\circ \text{A} \times 10/6^\circ \text{A}$ می‌باشد. سطح مخصوص بالا و تخلخل سیپولیت خواص جذبی قابل ملاحظه این رس را به همراه دارد، بطوریکه گازها و بخارها را جذب نموده و می‌تواند تقریباً معادل وزن خودش آب یا دیگر مایعات را جذب کند. سیپولیت در اثر جذب آب متورم نمی‌گردد و گرانول‌های آن حتی وقتی از مایعات اشباع شده‌اند متلاشی نمی‌شوند.

سیپولیت مینرال معدنی است که ساختار لایه‌ای دارد. بین لایه‌ها پیوند ضعیفی است در نتیجه فضای آزاد نسبتاً بزرگی وجود دارد که می‌تواند توسط ترکیبات دیگر پر شود. ترکیباتی مانند یون‌ها و مولکول‌های آلی می‌توانند این فضا را اشغال کنند. بنتونیت‌های طبیعی معمولاً حاوی مقدار زیادی ناخالصی هستند از جمله نمک‌های طبیعی که شامل یون‌های فلزات قلیایی از جمله سدیم و پتاسیم می‌باشند. این ناخالصی‌ها مابین لایه‌ها قرار گرفته و قابلیت جذب بنتونیت را کاهش می‌دهد.

ترکیبات طبیعی دیگری مانند میکا و کائولن نیز به دلیل ساختار متفاوت و فضای خالی نسبتاً کم، ظرفیت جذب زیادی نخواهند داشت. اما سیپولیت طبیعی عموماً ناخالصی کمی داشته و درصد زیادی از فضای خالی مابین لایه‌ای آن قابلیت جذب دارد. با توجه به مطالب بیان شده و نتایج حاصل از این طرح سیپولیت نسبت به جاذب‌های دیگر ظرفیت جذب بسیار بالاتری دارد و لذا کارایی آن بیشتر است.

Archive of SID

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

۵-۱. نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

امروزه در دنیا انجام تحقیقاتی در زمینه‌ی مسائل زیست محیطی و کاهش آلاینده‌ی‌های ناشی از پساب‌های صنعتی به ویژه در صنایع آلاینده‌ای چون نساجی و پتروشیمی اهمیت قابل ملاحظه‌ای یافته است. شاید بتوان از صنایع نساجی به عنوان یکی از عمده تولیدکنندگان پساب صنعتی و آلوده نام برد. پساب نساجی با دارا بودن حجم بسیار بالایی از آلودگی، همیشه محیط زیست محدوده‌ی فعالیت این صنایع را تحت تأثیر قرار داده و لطمات جبران ناپذیری را بدان وارد کرده است. وجود مواد شیمیایی و تغییر نوع و میزان مصرف آن‌ها با توجه به محصول تولیدی و همچنین تنوع و ساختار پیچیده رنگ‌های مصرفی در این صنایع، موجب گردیده تا تصفیه پساب نساجی عموماً با مشکلات فراوانی مواجه شود و روش‌های معمول تصفیه برای آن کارساز نباشد.

هم اکنون در صنعت نساجی در حدود ۱۰۰۰۰ نوع رنگ و پیگمان مختلف استفاده می‌شود و این امر باعث شده سالانه در حدود بیش از ۷۰۰۰۰۰ تن از انواع این رنگ‌ها در جهان تولید گردد. از میان این رنگ‌ها، رنگ‌های آزو (AZO Dyes) بزرگ‌ترین گروه مواد رنگی را تشکیل می‌دهند. به عبارت دیگر در حدود ۵۰٪ از مجموع تولید جهانی رنگ‌هایی که در این صنعت استفاده می‌شوند را رنگ‌های آزو تشکیل می‌دهند. بسیاری از این رنگ‌ها، به ویژه زمانی که در آب محلول باشند، به شدت سمی هستند و برای سلامتی انسان، موجودات و محیط زیست مضر می‌باشند. بنابراین پساب حاصل از کارخانه‌های نساجی باید به نحو مناسبی از آلاینده‌ی‌ها تصفیه گردد.

در طول سالیان اخیر راهکارهای فراوانی در خصوص تصفیه این پساب‌ها مورد آزمایش قرار گرفته که از آن جمله می‌توان به استفاده از اکسیدکننده‌های شیمیایی قوی، تابش پرتوی گاما و استفاده از جاذب‌هایی نظیر کربن فعال، رزین‌ها، الیاف سلولزی و غیره اشاره نمود که هر یک، مزایا، معایب و محدودیت‌های خاص خود را در پی دارند. یک مشکل بزرگ در زمینه‌ی تصفیه‌ی پساب‌های رنگی صنایع نساجی غیر موثر بودن بسیاری از فرایندهای بیولوژیکی است که در دفع پساب‌های بسیاری از صنایع دیگر کاربرد دارند. استفاده از سایر فرایندهای فیزیکی نظیر انعقاد و جذب نیز در این مورد در بسیاری از موارد منجر به تبدیل پساب‌های آلاینده به موادی دیگر می‌گردد که خود ایجاد آلودگی‌هایی موسوم به نوع دوم می‌کنند. در فرایندهای شیمیایی حذف رنگ‌ها از پساب‌ها از تکنیک‌ها و مواد مختلفی از جمله کربن فعال و رزین‌های

پلیمری به منظور حذف رنگ از پساب‌های صنعتی استفاده می‌شود که در بسیاری از موارد از نظر اقتصادی به صرفه نیستند. اخیراً استفاده از جاذب‌های معدنی در تصفیه پساب نساجی سهم بالایی از تحقیقات دانشگاهی و صنعتی را به خود اختصاص داده‌اند. مواد معدنی طبیعی مانند سیپولیت، زئولیت، کائولن و بنتونیت‌ها به علت دارا بودن مساحت سطح وسیع و ساختار الک مولکولی به عنوان جاذبی مناسب برای بسیاری از مواد از جمله ترکیبات آلی موجود در رنگ‌های آزو می‌باشند. می‌توان با بالا بردن کیفیت پساب خروجی از تصفیه‌خانه‌های صنعت نساجی و رساندن آن‌ها به حدود استاندارد و مجاز، با استفاده از خاصیت جذب سطحی خاک‌های معدنی در مرحله تصفیه پیشرفته، امکان استفاده مجدد از این پساب را فراهم نمود.

از آنجا که سیپولیت دارای ساختار الیافی مشابه ترکیبات منیزیم سیلیکات هیدراته می‌باشد، وجود این ساختار باعث می‌شود تا از این ترکیب بتوان به عنوان جاذب، کاتالیست و ... جهت بسیاری از کاربردهای صنعتی پیشرفته از جمله حذف آلاینده‌ها از پساب‌های صنعتی استفاده نمود. از جمله کشورهایی که دارای معادن غنی سیپولیت می‌باشند می‌توان به ترکیه و اسپانیا اشاره نمود که از این مواد در کاربردهای متفاوت به عنوان جاذب و کاتالیست استفاده نموده‌اند. با توجه به بررسی‌های جامع انجام شده توسط مجری و همکاران در مراکز تحقیقاتی و دانشگاهی و نیز سازمان‌های دولتی و خصوصی، مشخص گردید که خوشبختانه در چند سال اخیر سابقه خوبی در زمینه تحقیقات در زمینه تصفیه بعضی پساب‌های صنعتی توسط تعدادی از انواع فیلترهای سرامیکی در تعدادی از دانشگاه‌های معتبر کشور موجود است که دید کافی را در زمینه انجام این گونه تحقیقات در کشور فراهم می‌کند. اما با وجود آنکه در چند سال اخیر منابع غنی از سیپولیت در کشور یافت شده است، تاکنون هیچ گونه تحقیقی حتی در زمینه معرفی، فراوری و یا کاربردهای سیپولیت‌های ایرانی انجام نشده است.

در نواحی مختلف ایران از جمله در استان یزد منابعی غنی از خاک‌های معدنی یافت شده است که هم اکنون مورد بهره‌برداری می‌باشند. همچنین بررسی‌های مقدماتی نشان داد که این معادن از خلوص و ویژگی‌های مناسبی برخوردار بوده و قابلیت کاربرد در بسیاری از صنایع از جمله استفاده به عنوان جاذب‌های متخلخل را دارا می‌باشند. بنابراین می‌توان از خاک‌های موجود در معادن داخل کشور به منظور حذف آلاینده‌های محیط زیستی از جمله حذف رنگ از پساب‌های صنعتی استفاده نمود که این امر از نظر اقتصادی دارای صرفه فراوان می‌باشد.

در این پژوهش قابلیت سیپولیت در حذف رنگ‌های آزوی قرمز Red 80، آزوی آبی Blue 71 و آزوی سیاه Black 19 از پساب نساجی بررسی شد که نتایج بسیار مناسب شامل حذف ۹۸/۷ درصد رنگ قرمز، ۸۸/۹ درصد رنگ آبی و ۹۲/۵ درصد رنگ سیاه در دمای محیط و شرایط بهینه بدست آمد. در این تحقیق همچنین تصفیه نمونه پساب یکی از کارگاه‌های رنگرزی واقع در شهر یزد با سیپولیت بررسی شد و حذف ۵۹/۷ درصد رنگ از پساب حاصل گشت.

کارایی مواد معدنی دیگر از جمله کائولن، میکا و بنتونیت در مقایسه با سیپولیت برای حذف یکی از مهم‌ترین رنگ‌های مصرفی صنعت نساجی، رنگ زرد دیسپرس، نیز مطالعه شد. در این آزمایشات برای اثر دادن ۴ نمونه خاک از انواع سیپولیت، بنتونیت، میکا و کائولن در غلظت‌های گوناگون بر روی رنگ زرد دیسپرس در غلظت‌ها و زمان‌های تماس متفاوت، از روش طرح آزمایش تاگوچی بهره گرفته شد. نتایج به دست آمده نشان از حذف ۹۲ درصد زرد دیسپرس در شرایط بهینه نوع و غلظت خاک، غلظت رنگ و زمان اختلاط داشت. در این تحقیق تأثیر فرایند فعال‌سازی اسیدی که یکی از روش‌های بهبود ویژگی‌های خاک‌های رس به ویژه خاک‌های حاوی کانی مونت‌موریلونیت، به حساب می‌آید بر روی توانایی حذف رنگ خاک‌ها مورد بررسی قرار گرفت. همان‌گونه که انتظار می‌رفت این فرایند بیش‌ترین تأثیر را در خاک بنتونیت که یکی از فازهای عمده آن مونت‌موریلونیت است داشت.

با توجه به اینکه روش انجام طرح کاملاً مناسب برای ارائه به صنعت بوده و شرایط حقیقی شبیه‌سازی شده است، وجود توجیه اقتصادی و فنی مناسب برای استفاده از جاذب سیپولیت و همین‌طور توانایی جهاد دانشگاهی واحد یزد با اتکا بر تحقیقات کاربردی انجام گرفته در این واحد در حوزه مواد متخلخل، ژئولیت‌ها و الک‌های مولکولی، نتایج این طرح در جهت کمک به صنایع ذی‌نفع بسیار مفید می‌باشد. به عبارت دیگر نتایج این تحقیق می‌تواند راه‌گشای انجام بسیاری از تحقیقات جامع دیگر با محوریت ساخت و کاربرد مواد معدنی در تصفیه پساب صنایع مختلف در جهت رفع نیازهای کشور و جامعه باشد. یکی از برنامه‌های آتی واحد ارائه نتایج این طرح و عملی شدن استفاده از سیپولیت در قسمت تصفیه خانه کارخانجات نساجی استان یزد می‌باشد.

با توجه به منابع موجود سیپولیت در کشور و استان یزد و هزینه بسیار کم برای طراحی این سیستم تصفیه پساب، بازیابی جاذب پس از یک مرحله استفاده از نظر اقتصادی به صرفه نبوده و استفاده مجدد از جاذب راهکار مناسبی نیست.

به طور خلاصه می توان نتیجه گرفت.

- میزان جذب رنگ آزو بر روی سپیولیت به عوامل مختلف از جمله pH، زمان و میزان جاذب بستگی دارد و با تغییر این عوامل می توان به شرایط بهینه دست یافت.
- واکنش حذف رنگ آبی و سیاه برای جذب سپیولیت از نوع درجه دوم و حذف رنگ قرمز از نوع درجه اول است.
- حذف ۹۸/۷ درصد رنگ قرمز، ۸۸/۹ درصد رنگ آبی و ۹۲/۵ درصد رنگ سیاه در دمای محیط و شرایط بهینه توسط سپیولیت صورت گرفت.
- با توجه به منابع موجود سپیولیت در کشور و استان یزد و هزینه بسیار کم برای طراحی این سیستم تصفیه پس آب، بازیابی جاذب پس از یک مرحله استفاده از نظر اقتصادی به صرفه نبوده و استفاده مجدد از جاذب راهکار مناسبی نیست.

پیشنهادات زیر جهت ادامه کار ارائه می گردد.

- استفاده همزمان از سپیولیت و بنتونیت جهت حذف رنگ آزو
- استفاده از فیلتر سپیولیتی جهت حذف رنگهای راکتیو
- استفاده از فیلتر سپیولیتی جهت حذف فلزات سنگین از آبهای زیرزمینی
- استفاده از فیلتر سپیولیتی جهت حذف نیترات از آب آشامیدنی

مراجع

- [۱] هاشمیان؛ سعیده، "اصول تصفیه آب و پساب های صنعتی" انتشارات جنگل، تابستان ۱۳۸۲.
- [۲] معیری؛ حسین، "روشهای تصفیه آب و پساب های صنعتی" انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیر کبیر، بهار ۱۳۸۵.
- [۳] امیری؛ راهبه، "مبانی علمی و کاربردی رنگ" انتشارات سائل دانش، پائیز ۱۳۸۴.
- [۴] مومن هروی؛ احمد، نانوایی؛ علیرضا، "شیمی تجربی رنگ" انتشارات امیر کبیر تهران، ۱۳۸۶.
- 5) T. Tsuru, H. Kondo, T. Yoshioka, and M. Asaeda, "Organic/inorganic Nanohybrid Membranes for Nanofiltration of Nonaqueous Solutions", Material Research Society, Vol. 752, no. 1, pp. 102-110, 2003.
- 6) T. Matsuura, "Progress in membrane science and technology for seawater desalination a review", Desalination, Vol. 134, pp. 47-54, 2001.
- 7) T. Ahel, "Nanofiltration of Landfill Leachate", Food Technology Biotechnology, Vol. 42, no. 2, pp. 99-104, 2004.
- 8) W. J. Koros, Y. H. Ma and T. Shimidzu, "Terminology For Membranes And Membrane Processors" Pure & Appl. Chem., Vol. 68, no. 7, pp. 1479-1489, 1996.
- 9) N. Venkatahari, "An improved process for the synthesis of VPI-5 molecular sieve", Bulletin Material Science, Vol. 26, no. 3, pp. 279-281, 2003.
- 10) H. Espinoza-Gómez, S. Wai Lin, "Nanofiltration Membrane Pore Diameter Determination", Rev. Soc. Quím. Méx, Vol. 48, pp. 15-20, 2004.
- 11) J. Geens, K. Boussu, C. Vandecasteele, "Modelling of solute transport in non-aqueous nanofiltration", Membrane Science Vol. 281, pp. 139-148, 2006.
- 12) W.B. Samuel, Tijana Zivkovic, "Electrolyte retention of supported bi-layered nanofiltration membranes", Membrane Science, Vol. 277, pp. 18-27, 2006.
- 13) M. D. Afonso, R. Borquez, "Nanofiltration of wastewaters from the fish meal industry", Desalination, Vol. 151, pp. 131-138, 2002.
- 14) G. W. Beall, "The Use of Organo-clays in Water Treatment", Applied Clay Science, Vol. 24, pp. 11-20, 2003.

- 15) O. Carmody, R. Frost, Y. Xi and S. Kokot, "Adsorption of Hydrocarbons on Organo-clays", *Colloid and Interface Science*, Vol. 305, pp. 17–24, 2007.
- 16) K. O. Pereira and R. A. Hanna, "Brazilian Organoclays as Nanostructured Sorbents of Petroleum-Derived Hydrocarbons", *Materials Research*, Vol. 8, no. 1, pp. 77–80, 2005.
- 17) G. R. Alther and T. Wilkerson, "Organoclays Can Cut the Cost of Cleanup of Produced Water, Wastewater and Groundwater by 50%", *Environment and Technology*, Vol. 23, pp. 31-34, 2001.
- 18) H. Moazed and T. Viraraghavan, "Hazardous and Industrial Wastes", Vol. 31, pp. 187-196, 1999.
- 19) H. Moazed and T. Viraraghavan, "Organo-Clay/Anthracite Filtration for Oil Removal", *Journal of Canadian Petroleum Technology*, Vol. 40, no. 9, pp. 37-42, 2001.
- 20) H. Moazed and T. Viraraghavan, "Water, Air, and Soil Pollution", vol. 138, no. 253, pp. 1-4, 2002.
- 21) S. M. Auerbach, K. A. Carrado, P. K. Dutta; "Handbook of zeolite science and technology", Marcel Dekker, INC., (2003), Chap1.
- 22) K. Sahner, G. Hagen, D. Schonauer, S. Reib, R. Moos, "Zeolite-versatile material for gas sensors", *Solid State Ionics*, Vol. 179, pp. 2416-2419, 2008.
- 23) N. Venkatahari, "An improved process for the synthesis of VPI-5 molecular sieve", *Bulletin Material Science*, Vol. 26, No. 3, pp. 279–281, 2003.
- 24) X. S. Zhao, G. Q. Lu and Graeme J. Millar, "Advances in Mesoporous Molecular Sieve MCM-41", *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 35, pp. 2075-2090, 1996.
- 25) W. R. Betz, W. R. Supina, "Use of thermally modified carbon black and carbon molecular sieve adsorbents in sampling air contaminants", *Pure & Appl. Chem.*, Vol. 61, No. 11, pp. 2047-2050, 1989.
- 26) I. Ivanova, A.S. Kuznetsov, V. Yuschenko, and E. Knyazeva, "Design of composite micro/mesoporous molecular sieve catalysts", *Pure Appl. Chem.*, Vol. 76, No. 9, pp. 1647–1658, 2004.
- 27) Y.M. Liu, F. M. Zhang, H. Hong Wu, "A SAPO-11 Silicoaluminophosphate Molecular Sieve with Stable Crystal Structure", *Chinese Chemical Letters* Vol. 15, No. 10, pp 1258-1260, 2004.

- 28) X. M. Tai, H. X. Wang, X. Q. Shi , “A Novel Method for the Synthesis of Mesoporous Molecular Sieve”, Chinese Chemical Letters Vol. 16, No. 6, pp 843-845, 2005.
- 29) C. Morris And P. Morris, “Molecular-Sieve Chromatography and Electrophoresis in Polyacrylamide Gels”, Biochemical vol. 124, pp. 517-528, 1971.
- 30) A. Currazl, B. Cuenlrs, A. KrrsuNG, B. SnNo, “A Field Test for Molecular Sieve Zeolites”, American Mineralogist, Vol. 58, pp. 1044-1047, 1973.
- 31) J. Won, J. S. Seo, J. H. Kim, “Coordination compound molecular sieve membraines”, Adv. Mat. Vol. 17, no. 1, pp. 80-84, 2005.
- 32) J. W. Jeong, S. A. Mumma, “Practical thermal performance correlations for molecular sieve and silica gel loaded enthalpy wheels”, Applied Thermal Engineering, Vol. 25, pp. 719–740, 2005.
- 33) S. Lagorsse, F.D. Magalhaes, A. Mendes, “Xenon recycling in an anaesthetic closed-system using carbon molecular sieve membranes”, Membrane Science, vol. 301, pp. 29-38, 2007.
- 34) M. Alkan, “Sorption of acid red 57 from aqueous solution onto sepiolite”, Vol. 116, pp. 135-145, 2004.
- 35) B. Armagan, “Adsorption of negatively charged Azo Dyes onto surfactant – modified sepiolite”, Volume 129, 2003.
- 36) A. Ozcan, “Kinetics, isotherm and thermodynamic studies of adsorption of acid Blue 193 from aqueous solutions onto natural sepiolite”, Vol. 277, pp. 90-97, 2006.
- 37) A. Tabak, “Determination of adsorptive properties of Turkish sepiolite”, Volume 161, pp. 1087-1094, 2009.
- 38) V. Meshko1, “Adsorption of basic dyes on granular activated carbon and natural zeolite”, volume 35, pages 3357-3366, 2001.
- 39) J. Bell, C. A. Buckley, Treatment of a textile dye in the anaerobic baffled reactor”, Water SA, Vol. 29, no. 2, pp. 129-134, 2003.
- 40) J. Y. Park, Y. Hirata, “Dye aggregation and interaction of dyes with a water-soluble polymer in ink-jet ink for textiles”. coloration Technology, Vol. 128, no. 3, pp. 184-191, 2012.

(۴۱) قاسمی؛ شهناز (۱۳۸۴)، "بررسی سینتیک و مکانیسم تخریب رنگ های آزو در حضور فتوکاتالیست های بر پایه نانوذرات دی اکسید تیتانیوم" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده شیمی.

- 42) Yin W, Wang W, Zhou L, Sun S, Zhang L, "CTAB-assisted synthesis of monoclinic BiVO₄ photocatalyst and its highly efficient degradation of organic dye under visible-light irradiation". Hazard Materereials, Vol. 173, no. 1, pp. 194-199, 2010.
- 43)B. Armagana, "Equilibrium Studies on the adsorption of reactive 020 dyes into zeolite", volume 170, pages 33-39, 2004.
- 44)Y.E. Benkila, "Modification of organo-zeolite surface for the removal of reactive ozodyes in fixed-bed reactors", Volume 39, pages 487-493, 2005.
- 45) S. Kilink, "The adsorption kinetics and removal of cationcdye toluidine Blueo. From aqueous solution with Turkish zeolite", Volume 151, pages 213 – 220, 2008.
- 46)W.H. Dong, "Adsorption of 020 dyes onto nanodiamond surface", Volume 26, pages 1-6, 2012.
- 47)QUB, "Adsorption behavior of 020 dye C.L.acid red in aqueous solution on surface soils", Volume 1, pages 704-709, 2008.
- 48) E.V. Veliev, "Application of diffusion model for Adsorption of Azo reactive Dye on pumice", Volume 2, pages 22-26, 2005.
- 49) S. Ekici, "poly (Acrylamide-sepiolite) composite Hydrogels preparation, swelling and Dye Adsorption properties", Volume 57, Pages 231-241, 2006.
- 50) D.Bingol, "Brilliant yellow adsorption onto sepiolite using a full factorial design", Volume 50, pp. 315-321, 2010.
- 51) O. Ozdemir, "Comparison of the adsorption characterisitics of 020 reactive dyes on mezoporous mineral", Volume 62, pp. 49-60, 2004.
- 52) M. Alkan, "Adsorption kinetic and thermodynamics of an anionic dye onto sepiolite", Volume 101, pp. 388-396, 2007.

۵۳) صادقی کیاخانی؛ موسی (۱۳۹۱) "تولید بیوجاذب برای جذب آلاینده‌های صنایع نساجی" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیر کبیر.

۵۴)دالوند؛ آرش، غلامی؛ میترا "بررسی کارایی فرایند انعقاد الکتروشیمیایی جهت حذف رنگزای راکتیور قرمز ۱۹۸ از پساب رنگی" نشریه علوم و فناوری رنگ ، سال سوم، شماره ۳ (پیاپی ۹).

۵۵) خلقی؛ سعیده، بدیعی؛ خشایار "جذب زیستی رنگزای آلی اسیدی قرمز ۱۴ از پساب صنایع نساجی با استفاده از گیاه آزولا Filiculodes" هشتمین کنفرانس ملی مهندسی نساجی ایران، ۱۳۹۱.

۵۶) غلامی، میترا، محمدی؛ حامد " ارزیابی فرآیند ترکیبی پودر کربن فعال- لجن فعال در حذف مواد رنگ زای نساجی "مجله دانشگاه علوم پزشکی زنجان، سال پانزدهم، شماره ۶۱.

۵۷) بهمنی؛ پگاه، رضایی؛ روشنک " بررسی توانایی باکتری های جداسازی شده از لجن فعال در حذف ماده رنگزای ریمازول بلاک B از محیط آبی " فصلنامه سلامت و محیط، سال سوم، شماره ۴ (پیاپی ۱۰).

۵۸) منکچیان؛ کیوان، عادل زاده؛ علی " حذف رنگ حاصل از پساب نساجی با استفاده از جاذب طبیعی و ارزان قیمت پوست موز " هشتمین کنفرانس ملی مهندسی نساجی ایران، ۱۳۹۱.

۵۹) غلامی؛ میترا " توسعه فناوری غشاهای صاف سازی جهت حذف رنگزای راکتیو از فاضلاب صنایع نساجی " فصلنامه یافته، شماره ۴۰، تابستان ۱۳۸۸.

۶۰) محمودی؛ نیاز محمد، آرامی؛ مختار " رنگبری و معدنی شدن رنگزای بازیک با استفاده از فرآیند نانوفوتوکاتالیزر " نشریه علوم و فناوری رنگ، سال اول، شماره ۱.

۶۱) بذرافشان؛ ادريس، کرد مصطفی پور؛ فردوس " بررسی حذف رنگ متیلن بلو از محلولهای آبی با استفاده از خاکستر ساقه گیاه پرسیکا " مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۱.

۶۲) زارع؛ شهرزاد (۱۳۹۱) " حذف ترکیبات آلی و مواد رنگزا از محلولهای آبی با استفاده از بتونیت " پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، دانشکده شیمی.

۶۳) اعلم؛ مهدی (۱۳۸۶) " بررسی قدرت جذب خاکهای معدنی و تأثیر فرایند فعال سازی اسیدی در توانایی آنها در حذف انواع رنگ از پساب صنایع نساجی " پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، دانشکده مهندسی عمران- محیط زیست.

64) Zhou Ding, Cai Wei Min, Wang Qun Hui, Study on the use of Biopolar-Particles-Electrodes in decolorization of dyeing effluents and its principle, Wat. Sci. Tech., Vol 19, pp.391-400, 1987.

65) Aslam M. Masud, et, al., Textile wastewater characterization and reduction of its COD & BOD by oxidation, EJEAFChe, ISSN:1579-4377.

66) Amjad Ali Khan, Qayyum Husain, Decolorization and removal of textile and non-textile dyes from polluted wastewater and dyeing effluent by using potato soluble and immobilized polyphenol oxidase, Bioresource Technology Vol. 98, pp. 1012-1019, 2007.

67) Montano J. et. al., Environmental assessment of different photo-Fenton approaches for commercial reactive dye removal, Journal of Hazardous Materials A Vol. 138, pp.218-225, 2006.

- 68) Uzal N. et. al., Microfiltration: a pretreatment alternative for indigo dyeing textile wastewater, *Desalination* Vol. 199, pp.515-517, 2006.
- 69) Suntad S. et. al., Removal of dispers dyes from textile wastewater using bio-sludge, *Bioresource Technology* Vol. 98, pp. 1057-1066, 2007.
- 70) Dincer Ali Reza et. al., Coal-based bottom ash (CBBA) waste material as adsorbent for removal of textile dyestuffs from aqueous solution, *Journal of Hazardous Materials*, 2006.
- 71) Ozmihci S. et. al., Utilization of powdered waste sludge (PWS) for removal of textile dyestuffs from wastewater by adsorption, *Journal of Environmental Management* Vol. 81, pp. 307-314, 2006.
- 72) Gupta V. K. et. al., Adsorption of safranin-T from wastewater using waste materials activated carbon and activated rice husks, *Journal of Colloid and Interface Science* Vol. 303, pp. 80-86, 2006.
- 73) Mital Alok et. al., Process development for the removal and recovery of hazardous dye erythrosine from wastewater by waste materials Bottom Ash and De-Oiled Soya as adsorbents, *Journal of Hazardous Materials* BVol. 138, pp.95-106, 2006.
- 74) .SLAVICA LAZAREVIĆ , "Sorption of Cu^{2+} and Co^{2+} from aqueous solutions onto sepiolite: an equilibrium, kinetic and thermodynamic study", *J. Serb. Chem. Soc.* 76 (1) 101–112 (2011).
- 75) .Ghaneian MT, Ghanizadeh GH, Gholami M, Ghderinasab F. Application of eggshell as a natural adsorbent for the removal of reactive red 123 dye from synthetic textile wastewater. *Zahedan J Res Med Sci* 2009; 11(4): 25-34.

Abstract

The removal of dyes which are toxic in nature from industrial wastewaters is currently of great interest. For this purpose, the use of Sepiolite for the removal of azo dye from aqueous solutions at different contact times, pH and temperature was investigated. Sepiolite has a high potential to adsorb reactive dyes from aqueous solutions according to SEM image. The extent of dye removal increased with increasing adsorbant concentration, contact time, pH and temperature. Increasing the temperature shows increasing the rate of diffusion of the adsorbate molecules across the external boundary layer and in the internal pores of the adsorbent particle. The kinetics of the adsorption process was tested for the pseudo-first order and pseudo-second order reaction models. The rate constant of adsorption was obtained for the pseudo-second order kinetic model. The sorption capacity of the sepiolite is comparable to the other available adsorbents, and it is quite cheaper.

Keywords: sepiolite, azo dye, industrial wastewaters



ACECR

Research and Technology

Deputy



Islamic Republic of Iran

**Research on absorption of azo dyes from textile wastewater onto
sepiolite**

2112-11

Yazd Branch

Seyed Hossein Mirhosseini

April 2016