پژوهش و فناوری محیط زیست، ۱۳۹۹ ۵(۷)، ۲۹-۳۷

پژوهش و فناوری محیط زیست

وبگاه نشریه: www.journal.eri.acecr.ir

پژوهشکده محیط زیست

شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۳۰۶۰

مروری بر رنگینه‌های صنعتی پرکاربرد و روش‌های حذف آن‌ها از آب و فاضلاب

فریبا استوار[۱*]، مرضیه حسن‌زاده[۲]

۱- *دانشجوی دکتری، گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، آذربایجان غربی، ایران*

۲- *دانشجوی دکتری، گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه گیلان، رشت، ایران*

چکیده

در سال‌های اخیر، گسترش صنایع به افزایش تولید فاضلاب‌های صنعتی و آلودگی محیط‌زیست منجر شده است. مواد رنگ‌زا از مهمترین آلاینده‌های موجود در فاضلاب‌های صنعتی به‌شمار می‌آیند. رنگ یکی از مشخصه‌های دائمی آب‌های سطحی است که به دلیل افزایش مصرف کلر دارای اهمیت بالایی است. امروزه رنگ‌ها به طور گسترده، در صنایع مختلفی از قبیل نساجی، کاغذ، چرم، صنایع چاپ و لوازم آرایشی مورد استفاده قرار می‌گیرند. تخلیه فاضلاب‌های رنگی نه‌تنها جنبه زیباشناختی آب‌های پذیرنده را تحت تأثیرقرار می‌دهد، بلکه منجر به کاهش فرآیند فتوسنتز نیز می‌گردد. همچنین، وجود رنگ‌ها و فرآورده‌های واسطه‌ای آن‌ها برای زندگی آبزیان سمی، سرطان‌زا و جهش‌زا می‌باشد. اغلب این رنگ ها باعث آلرژی، درماتیت و خارش پوست می‌شوند، و بروز سرطان و جهش‌زایی را در انسان‌ها تسریع می‌کنند. بنابراین پساب‌های صنعتی حاوی رنگ، نیازمند تصفیه قبل از تخلیه به محیط پذیرنده می‌باشند. هدف از این پژوهش، ارائه خلاصه‌ای از مهم‌ترین رنگینه‌های صنعتی، تأثیرات بهداشتی و محیطی رنگ‌ها به عنوان آلاینده و همچنین؛ بیان روش‌های حذف آن‌ها از آب و فاضلاب می‌باشد. در این پژوهش، روش‌های مختلف حذف رنگزا مانند روش‌های بیوژیکی، فیزیکی و جذب سطحی بیان شد و بهترین فرآیند جهت تصفیه پساب‌های رنگی با توجه به صرفه اقتصادی معرفی گردید.

کلید واژه‌ها: رنگ، صنایع نساجی، اثرات زیستمحیطی، اثرات بهداشتی، فرآیندهای تصفیه

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Fariba_ostovar@yahoo.com

Journal of Environmental Research and Technology, 5(7)2020. 29-37

Journal of Environmental Research and Technology

journal homepage: www.journal.eri.acecr.ir

Environmental Research institute

Online ISSN: 3060-2676

A review of widely used industrial dyes and their removal methods from water and wastewater

Fariba Ostovar[*1], Marzieh Hasanzadeh[2]

1- PhD Student, Department of Chemistry, Faculty of Science, Urmia University, Western Azarbaijan, Iran
2- PhD Student, Department of Chemistry, Faculty of Science, Guilan University, Rasht, Iran

Abstract

In recent years, the expansion of industries has led to increase industrial wastewater production and environmental pollution. Dyes materials are one of the most important pollutants in industrial wastewater. Today, dyes are widely used in various industries such as textile, paper, leather, printing, and cosmetics. Drainage of colored wastewater does not only affect the aesthetic aspect of the receiving water but also reduces the process of photosynthesis. Also, the colors and their intermediate products are toxic, carcinogenic and mutagenic for aquatic life. Most of these dyes cause skin allergies, dermatitis, and itching, and accelerate the incidence of cancer and mutation in humans. Therefore, industrial wastewaters containing dye need to be treated prior to discharge into the receiving environment. The purpose of this study was to provide a summary of the most important industrial dyes, the health and environmental effects of dyes as pollutants, and to describe the methods for their removal from water and wastewater. In this study, different dye removal methods such as biological, physical and surface adsorption methods were described and the best process for treatment of colored wastewater was introduced considering the economical cost.

Keywords: Color, Textile industry, Environmental effects, Health effects, Treatment processes

[*] Corresponding author E-mail address: Fariba_ostovar@yahoo.com

مقدمه

در سال‌های اخیر، گسترش صنایع مختلف، باعث تولید فاضلاب‌های صنعتی و نیز آلودگی محیط‌زیست شده است. در بسیاری از صنایع مهم از جمله صنعت نساجی، خمیر و کاغذ، پلاستیک، چرم‌سازی و رنگرزی به منظور تولید محصولات رنگی، از مواد شیمیایی رنگ‌زا استفاده می‌شود و از آنجایی که در این صنایع مقادیر زیادی آب به‌کار گرفته می‌شود، در نتیجه مقادیر قابل توجهی پساب رنگی حاصل از آن‌ها وارد محیط‌زیست می‌گردد (گارسیامونتانو و همکاران، ۲۰۰۸؛ موندال، ۲۰۰۸). از میان صنایع مختلف، صنعت نساجی در سال‌های اخیر گسترش روزافزونی داشته است. تحقیقات نشان می‌دهد که سالانه حدود ۴۰ میلیون تن منسوجات در جهان تولید می‌شود که پساب تولیدی این صنایع ۴ تا ۸ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد (وانگ و همکاران، ۲۰۰۴). فاضلاب صنایع نساجی از عمده‌ترین آلاینده‌های محیط‌زیست محسوب می‌شوند که به طور معمول حاوی رنگینه، دمای زیاد، جامدات محلول زیاد، اکسیژن خواهی شیمیایی[1]، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی[2] و در مواقعی دارای خاصیت قلیایی زیادی هستند. تخلیه پساب حاوی مواد رنگی به آب‌های پذیرنده از قبیل دریاچه‌ها و رودخانه‌ها موجب کاهش انتقال نور، کاهش مقدار اکسیژن محلول و افزایش COD می‌شود و از این راه زندگی آبزیان را مختل می‌کند. افزون بر این پژوهشگران دریافته‌اند، برخی از رنگ‌زاها می‌توانند طی فرایند تجزیه احیایی، آمین‌های آروماتیک سرطان‌زا تولید کنند (شی و همکاران، ۲۰۰۷). بدون تصفیه کافی این ترکیبات قادرند برای مدت زمان بسیار طولانی به حالت پایدار در محیط باقی بمانند (دوس سانتوس و همکاران، ۲۰۰۷).

از آنجا که مواد رنگ‌زا، معمولاً دارای ساختار مولکولی آروماتیکی پیچیده‌ای هستند، بسیار پایدارند و در مقابل تجزیه‌پذیری مقاومت بالایی دارند. از این‌رو منبع مهم آلودگی آب به شمار می‌آیند و آثار زیان‌آوری بر سلامت موجودات زنده برجای می‌گذارند (رای و همکاران، ۲۰۰۷). رنگ‌ها باعث مشکلات بهداشتی بسیار زیادی، از جمله حساسیت و تحریک پوستی، سرطان، جهش ژنتیکی و غیره می‌شوند (گومز و همکاران، ۲۰۰۷). بنابراین، باید این ترکیبات پیش از تخلیه به محیط از پساب‌های صنعتی حذف گردند. رنگینه‌ها ساختارهای متنوعی دارند و به روش‌های مختلفی طبقه‌بندی می‌شوند که دو نوع مهم آن‌ها طبقه بندی بر اساس ساختار شیمیایی و براساس کاربردشان است.

گرچه طبقه بندی رنگینه‌ها بر مبنای ساختمان شیمیایی آن‌ها دارای مزایای فراوانی است، اما اساس دسته‌بندی رنگ‌ها غالباً به نوع کاربرد آن‌ها مربوط می‌شود. زیرا در این حالت، مطالعه و مقایسه رنگینه‌ها ساده‌تر بوده و طبقه بندی آن‌ها بر مبنای شاخص رنگ (C.I)[3] است. در ادامه به معرفی برخی از مهمترین انواع رنگینه‌های پرکاربرد در صنایع مختلف و نیز خواص آن‌ها پرداخته می‌شود.

- **رنگینه‌های پرکاربرد**

- **رنگینه‌های آزو[4]**

مواد رنگ‌زای آزو از لحاظ تجارتی مهمترین طبقه از مواد رنگ‌زا هستند که تقریباً بیش از ٪۵۰ کل مجموع مواد رنگ‌زای تولید شده در جهان را تشکیل می‌دهند. همچنین بیشترین تعداد از مواد رنگ‌زای مطالعه شده و بیشترین حجم از مقالات مربوط به این طبقه می باشد. این اصطلاح به یکی از روش‌های تولید رنگینه‌های نامحلول آزو در ماده، مانند الیاف اطلاق می‌گردد، به این ترتیب که، از یک واسطه (جزء جفت شونده) که تمایل زیادی به جذب در الیاف سلولزی دارد استفاده می‌شود. سپس از واسطه دوم (جزء دی‌آزو) عبور می‌کند. درنتیجه‌ی ترکیب این دو واسطه با یکدیگر، رنگینه نامحلول به‌وجود می‌آید. این گروه از رنگینه‌ها در رنگرزی و چاپ الیاف سلولزی به ویژه پنبه کاربرد خیلی ویژه‌ای دارند زیرا رنگ‌های باثباتی در برابر نور و رطوبت ایجاد می‌کنند. از مهم‌ترین رنگینه های آزو که کاربرد وسیعی دارن می‌توان اسید بلک و کنگورد را نام برد (گوپتا، ۲۰۰۹؛ ابراهات، ۱۳۶۹؛ هانگر، ۲۰۰۷).

- **رنگینه‌های رآکتیو[5]**

مواد رنگ‌زای رآکتیو به لحاظ ایجاد پیوند کوالانسی با عامل‌های آنیونی الیاف پنبه و وزن مولکولی کم از ثبات شستشویی عالی برخوردار هستند، به همین دلیل این گروه به عروس مواد رنگ‌زای شیمیایی مشهورند. این مواد رنگزا بر حسب اینکه دارای چه تعداد عامل کلر جهت ایجاد پیوند کوالانسی باشند به سه گروه سه کلره، دو کلره و یک کلره طبقه‌بندی می‌شوند. محدودیت عمده مواد رنگ‌زای رآکتیو

[1] Chemical Oxygen Demand (COD)
[2] Biological Oxygen Demand (BOD)
[3] Color Index
[4] Azo Dyes
[5] Reactive Dyes

این است که همواره بخش قابل ملاحظه‌ای از مواد رنگ‌زا در داخل الیاف پنبه باقی می‌ماند و این موضوع بالاخص در مورد رنگ‌های تیره از شدت بیشتری برخوردار است. این دسته از رنگینه‌ها، به عنوان جوهر در صنایع چاپ منسوجات مخصوصاً پنبه به‌طور گسترده‌ای استفاده می شود. رنگ‌زاهای راکتیو با ساختار آزو که دارای عامل رنگی پیوند دوگانه نیتروژن هستند، از جمله رنگ‌زاهای پرکاربرد در صنایع نساجی هستند. با توجه به سمیت و تجزیه‌پذیری کمی که این رنگ‌زاها دارند، در گروه مواد خطرناک برای محیط‌زیست قرار می‌گیرند که باید قبل از تخلیه، تصفیه شوند (خان و همکاران، ۲۰۲۰؛ خواجه و همکاران، ۲۰۲۰).

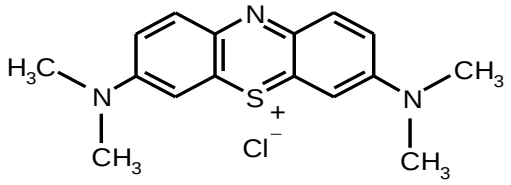
- **رنگینه‌های اسیدی[1]**

این رنگ‌ها نمک‌های سدیم، اسیدهای سولفونیک و کربوکسیلیک هستند و برای الیاف سلولزی نامناسب اند. اما برای الیاف پروتئینی و پلی‌آمیدی مناسب می‌باشند. رنگ‌های اسیدی فقط به کمک گرما جذب الیاف می‌شوند و هر چه دما از ۳۹۰ درجه سانتیگراد بالاتر رود، شدت جذب رنگ توسط الیاف نیز افزایش می‌یابد. مصرف عمده رنگینه‌های اسیدی در رنگرزی پشم است، ولی استفاده از آن‌ها در رنگرزی ابریشم، پلی آمید، آکریلیک، الیاف پروتئینی بازسازی شده و همچنین کاغذ، چرم، به عنوان جوهر در صنعت چاپ، صنایع غذایی و مواد آرایشی نیز بسیار متداول است. رنگ اسیدی نارنجی [Acid Orange(AO_7)] از جمله رنگ‌های منوآزو مورد استفاده در صنایع دباغی، تولید کاغذ و صنعت نساجی است. این رنگ حاوی، ترکیبات سمی‌همچون فنولیک و فلزات بوده و همچنین دارای ترکیبات آلی همچون فرمالین می‌باشد (الیزالده گونزالز و هرناندز مونتیویا، ۲۰۰۹؛ سمرقندی و همکاران، ۲۰۲۰).

- **رنگینه‌های کاتیونی(بازی)[2]**

این نوع رنگ‌ها، از ترکیبات آلی یا هیدروکلریدها می‌باشند که کرومورفورها در آن‌ها بصورت کاتیونی است. از این نظر این دسته رنگ‌ها را رنگ‌های کاتیونی نیز می‌گویند و معمولا دارای فرمول عمومی $HO– R–NH_2$ می‌باشند این رنگینه‌ها با حل شدن در آب کاتیون‌های رنگی تولید می‌کنند و برای رنگرزی کاغذ، پلی آکریلو نیتریل، نایلون و پلی‌استر اصلاح شده به‌کار می‌روند. اما کاربرد اصلی آن‌ها برای ابریشم، پشم، پنبه‌های حاوی دندانه‌های تانین و هنگامی که درخشندگی سایه مهم‌تر از ثبات نوری یا شستشو است، می‌باشد. برخی از رنگینه‌های بازی فعالیت بیولوژیکی داشته و در داروسازی به‌عنوان ضدعفونی کننده بکار می‌روند. یکی از مهم ترین انواع رنگ‌های کاتیونی متیلن‌بلو می‌باشد (تیان و همکاران، ۲۰۱۹؛ نورالدین و همکاران، ۲۰۲۰).

متیلن‌بلو در رنگ کردن کاغذ، مو، پنبه و پشم بکار گرفته می‌شود. متیلن بلو به‌دلیل ساختاری که دارد (شکل ۱) جزو دسته رنگ‌های تیازینی قرار می‌گیرد. این رنگ ترکیبی آلی و محلول در آب بوده و پس از انحلال بسته به غلظتی که دارد، معمولا به رنگ آبی تیره می-باشد (هان و همکاران، ۲۰۰۸).



شکل ۱- ساختار شیمیایی متیلن‌بلو

- **رنگینه‌های گوگردی[3]**

این دسته از رنگ‌ها ترکیبات آلی پیچیده ای هستند که در ساختار آن‌ها گوگرد شرکت دارد، براق نیستند و معمولا در رنگرزی الیاف سلولزی بکار می‌روند. در آب نامحلولند، ولی درمحلول سدیم سولفید حل می‌شوند. در این عمل سدیم سولفید در نقش احیاکننده مولکول اصلی را به مولکول‌هایی کوچکتر محلول در آب تفکیک می‌کند. پس از اینکه رنگ جذب پارچه شد، در مجاورت هوا مجدداً اکسید می‌کنند تا رنگ اصلی ظاهر شود. رنگینه‌های گوگردی دسته کوچکی از رنگینه‌ها هستند که قیمت پایین و ثبات شستشوی خوب، آن‌ها را از نظر اقتصادی پراهمیت ساخته است (نگوین و همکاران، ۲۰۱۶).

[1] Acidic Dyes
[2] Cationic (Basic) Dyes
[3] Sulfur Dyes

- **رنگینه‌های حلال**[1]

این رنگینه‌ها معمولاً غیرقطبی بوده و فاقد گروه‌های محلول در آب مانند سولفونیک اسید، کربوکسیلیک اسید و نمک آمونیوم چهارتایی می‌باشند و بسته به نوع کاربرد، در حلال‌های مختلفی حل می‌شوند. از این رنگینه‌ها در لکه‌ها، روغن‌های جلادهنده، لاک الکل‌ها، مرکب‌های چاپ، کاغذهای کپی، نوارهای ماشین تحریر، پلاستیک‌ها، فراورده‌های نفتی و واکس استفاده می‌شود (لیانگ و همکاران، ۲۰۲۰).

- **رنگینه‌های دیسپرس**[2]

رنگ‌زاهای دیسپرس ذاتاً در آب نامحلولند. پایه شیمیایی این رنگ‌زاها عموما آزوئی یا آنتراکینونی است. این رنگ‌ها که از نوع شیمیایی آزو، آنتراکینونی و نیترو می‌باشند، اغلب دارای گروه‌های آمینو یا آمینوی استخلاف شده هستند.

ولی گروه‌های قابل حل نظیر سولفونیک اسید ندارند و در محیط‌های آبکی همراه با مواد دیسپرس کننده به کار می‌روند. موارد استعمال اصلی این رنگ‌ها در رنگرزی یک لیف یا چند لیف هیدروفوب سلولز استات، نایلون، پلی‌استر، الیاف آکریلیک، پشم و الیاف پلی‌آمیدی است (سویلو و همکاران، ۲۰۲۰).

- **تکنولوژی‌های حذف رنگینه‌ها**

روش‌های متعددی برای حذف آلاینده‌های رنگی از فاضلاب‌های خروجی از صنایع مختلف به‌کار گرفته شده است. کل این روش‌ها را می‌توان در سه دسته بیولوژیکی، شیمیایی، و فیزیکی تقسیم‌بندی کرد. در ادامه به بررس روش‌های حذف رنگینه‌ها پرداخته می‌شود (سرینی، ۲۰۰۶؛ رابینسون و همکاران، ۲۰۰۱؛ قریشی و حقیقی، ۲۰۰۳).

- **روش‌های بیولوژیکی**

روش‌های بیولوژیکی در مقایسه با روش‌های شیمیایی و فیزیکی اقتصادی‌تر می‌باشند و روش‌های تخریب‌زیستی مانند رنگ‌زدایی توسط قارچ، تخریب میکروبی، جذب سطحی به‌وسیله زیست توده‌های[3] میکروبی (زنده یا مرده) و سایر سیستم‌های زیستی حذف به خاطر اینکه بسیاری از میکروارگانیسم‌ها مانند باکتری‌ها، مخمرها، جلبک‌ها و قارچ‌ها، توانایی جمع‌آوری و تخریب آلاینده‌های مختلف را دارا می‌باشند، برای پالایش بسیاری از پساب‌های صنعتی به‌کار می‌روند. از معایب این روش می‌توان نیاز به فضای وسیع و حساسیت به تغییرات محیطی مانند سمیت و مواد شیمیای و انعطاف‌پذیری بالای آن‌ها اشاره کرد (خسروی و همکاران، ۲۰۲۰؛ سویی و همکاران،۲۰۱۹).

- **روش های شیمیایی**

روش‌های شیمیایی شامل انعقاد[4] یا لخته سازی[5] جفت شده با شناورسازی[6] و فیلتراسیون[7]، رسوب- لخته‌سازی[8] با $Fe(II)/Ca(OH)_2$، شناورسازی الکتریکی، انعقاد الکتروسینتیکی، روش‌های اکسایش مرسوم با عوامل اکسنده (اوزون)، پرتودهی و فرآیندهای الکتروشیمیایی می‌باشند. تجمع غلظت‌های بالای لجن، گران بودن و مصرف بیش از اندازۀ مواد شیمیایی از محدودیت‌های این روش می‌باشد (توکلی و استوار، ۱۳۹۷؛ احمد و همکاران، ۲۰۱۵؛ شکوهی و همکاران، ۲۰۲۰؛ لیانگ و همکاران، ۲۰۱۴).

- **روش‌های فیزیکی**

روش‌های فیزیکی مختلفی مانند فرآیندهای فیلتراسیون غشایی[9] (نانو فیلتراسیون، اسمز معکوس، الکترودیالیز و غیره)، همچنین تکنیک‌های جذب سطحی[10] نیز به طور گسترده‌ای برای حذف رنگینه‌ها استفاده می‌شوند. عمر محدود به قبل از ایجاد رسوب در غشاء و

[1] Solvent Dyes
[2] Disperse Dyes
[3] Biomass
[4] Coagulation
[5] Flocculation
[6] Flotation
[7] Filtration
[8] Precipitation–Flocculation
[9] Membrane-Filtration
[10] Adsorption

مسائل اقتصادی از محدودیت‌های این روش می‌باشد. با توجه به این‌که فرآیند جذب به‌طور گسترده‌ای برا حذف رنگینه‌ها استفاده شده است در ادامه به‌طور خلاصه به بررسی این روش می‌پردازیم (یین و همکاران، ۲۰۲۰؛ ژو و همکاران، ۲۰۱۹).

- **جذب سطحی**

جذب سطحی فرآیند جذب اتم‌ها یا مولکول‌های موجود در یک مایع یا گاز در تماس با یک سطح جامد است. این جذب بوسیله نیروهای چسبندگی و همدوسی روی می‌دهد. جذب سطحی با نیروهای سست مانند نیروی واندروالسی آغاز و با نیروهای نیرومندی چون یونی و فلزی پایان می‌یابد. فرایند جذب سطحی می‌تواند فیزیکی یا شیمیایی باشد. مقایسه‌ای از جذب فیزیکی و شیمیایی در جدول ۱ آمده است (بو و همکاران، ۲۰۲۰؛ مولر، ۱۳۷۲؛ حسن زاده و استوار، ۱۳۹۶؛ داود و همکاران، ۲۰۱۹)

جدول۱: خصوصیات جذب سطحی فیزیکی و شیمیایی

جذب فیزیکی	جذب شیمیایی
نیرو های واندر والس عامل جذب هستند	پیوند های شیمیایی عامل جذب هستند
آنتالپی پایین(کمتر از 40 KJ/mol)	آنتالپی بالا(بیشتر از 40 KJ/mol)
جذب فقط در زیر نقطه جوش جذب شونده اتفاق می‌افتد	در دماهای بالاتر هم رخ می‌دهد
با افزایش فشار جسم جذب شونده مقدار جذب در واحد سطح افزایش می‌یابد	با افزایش فشار جسم جذب شونده مقدار جذب در واحد سطح کاهش می‌یابد
میزان جذب بستگی به خصوصیات جذب شونده دارد	میزان جذب بستگی به خصوصیات جاذب دارد
چندلایه	حد اکثر بصورت تک‌لایه
برگشت‌پذیر	برگشت‌ناپذیر
با افزایش دما میزان جذب کاهش می‌یابد	با افزایش دما میزان جذب افزایش می‌یابد

- **کاربرد فناوری‌های نوین در حذف رنگینه‌ها**

تاکنون روش‌های متفاوتی مانند صاف کردن، انعقاد و لخته‌سازی، اسمز معکوس، پالایش زیستی و تقطیر برای حذف این آلاینده‌ها از فاضلاب صنعتی مطرح و توسعه یافته‌اند. ازجمله ساده‌ترین و مقرون به صرفه‌ترین این روش‌ها جذب سطحی است که در سال‌های اخیر کاربردهای گسترده‌ای از آن در حذف آلودگی‌های صنعتی از آب و پساب‌ها گزارش شده است. با این وجود، بسیاری از این جاذب‌ها یا ظرفیت قابل توجهی از آلاینده‌ها را جذب نمی‌کنند و یا نیاز به زمان تماس طولانی برای جذب دارند، که از چند ساعت تا چند روز متغیر است. در دهه‌های اخیر با گسترش علم نانو، استفاده از جاذب‌های نانو گسترش چشمگیری داشته‌است. ذرات در مقیاس نانو خواص شگرفی از خود نشان می‌دهند. امروزه پژوهش‌های بسیاری در توسعه جذب‌کننده‌های سطحی مؤثر با توانایی جذب بالا در زمان تماس کوتاه‌تر برای حذف آلاینده‌ها انجام می‌شود و مواد مزوپور (متخلخل) که اندازه منافذ آنها از ۲ تا ۵۰ نانومتر متغیر است، به‌عنوان جاذب‌های بهینه با کاربردهای گسترده معرفی شده‌اند (جعفرقلی نژاد، ۱۳۹۴).

اخیراً نیز پوشش نانو ذرات اکسیدهای فلزی بر روی کربن فعال برای حذف رنگینه ها نیز انجام گرفته‌اند (قائدی و همکاران، ۲۰۱۵). در پژوهشی که توسط انصاری و همکاران صورت گرفت، نانوجاذب دی اکسید منگنز در حذف رنگینه مالاشیت سبز استفاده شد.

نتایج این تحقیق نشان داد این جاذب دارای ظرفیت بیشینه ۴۲/۳ میلی‌گرم برگرم در غلظت اولیه ۱۳۳ mg/L بوده که حاکی از ظرفیت جذب بالای جاذب به‌کار گرفته شده می‌باشد (محمودی و همکاران، ۱۳۹۵). در تحقیق دیگری که توسط حسن‌زاده و همکاران صورت گرفت از نانوکامپوزیت CeO_2/SiO_2 برای حذف رنگینه متیلن بلو استفاده شد. بررسی داده ها برای حذف متیلن بلو نشان داد که فرآیند جذب رنگینه متیلن بلو توسط جاذب CeO_2/SiO_2 بررسی شد که این جذب از ایزوترم لانگمویر و مدل شبه مرتبه دوم پیروی می‌کند و ماکزیمم ظرفیت جذب به دست آمده طبق مدل لانگمویر برای این جاذب ۱۰۱ mg/g است (حسن زاده و استوار، ۱۳۹۵). اسداللهی و همکارانش نیز، استفاده از نانوکامپوزیت Ag_2CO_3-polyaniline را در حذف و تخریب رنگینه متیلن بلو مورد استفاده قرار دادند و ظرفیت جذبی حدود ۵۵ mg/g با تبعیت از ایزوترم جذب لانگمویر حاصل شد (اسدالهی و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین در مطالعه‌ای دیگر از نانو

جاذب اکسید روی برای حذف رنگینه راکتیو قرمز ۷۴ استفاده شده است (منصف خوش حساب و گنبدی، ۱۳۹۳). رضوی و همکاران در تحقیق خود از جاذب نانوکیتوزان برای حذف کنگورد استفاده کردند که توانایی حذف ۹۹/۹۶ درصدی رنگینه را داشته است (رضایی و همکاران، ۲۰۱۷). در سال‌های اخیر استفاده از جاذب‌های غیرمتداول جهت جذب سطحی رنگینه‌ها به‌دلیل مزایای منحصر به فردی که دارند (از جمله قیمت پایین و امکان بازیافت آن‌ها) بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از میان تحقیقات گسترده‌ای که صورت گرفته است می‌توان به استفاده از خاک‌اره (انصاری و همکاران، ۲۰۱۲)، پوسته برنج (هان و همکاران،۲۰۰۷)، پوسته فندق[1] (دوگان و همکاران، ۲۰۰۹)، ضایعات چای[2] (آقایی و آقایی، ۱۳۷۹) و ضایعات ساقه آناناس[3] (حمید و همکاران، ۲۰۰۹) برای حذف رنگینه‌ها اشاره کرد.

نتیجه‌گیری

یکی از چالش برانگیزترین مشکلاتی که امروزه صنایع تولیدی با آن روبرو هستند، پساب‌های حاوی رنگ می‌باشد. رنگ‌ها از پرمصرف‌ترین مواد شیمیایی در صنایع مختلف هستند که همواره بخشی از آن وارد طبیعت می‌شود. رنگ‌های نساجی به علت وجود سطوح بالای فلزات سنگین، که اکثر آن‌ها بیش از حد توصیه شده است، بسیار سمی هستند. این ترکیبات ممکن است خطرات جدی برای انسان، گیاه و سایر موجودات (خاک و آبزیان) را از طریق تعامل محیط‌زیست در اکوسیستم ایجاد کنند. گزارش شده است که رنگ‌های نساجی مصنوعی شامل گروه بزرگی از ترکیبات آلی هستند که می‌توانند اثرات مضر روی محیط‌زیست داشته باشند و همچنین برخی از آن‌ها می‌توانند منجر به خطراتی برای انسان شوند. بنابراین، حذف این آلاینده‌های آلی به روش‌هایی که برای محیط‌زیست مضر نباشد، بسیار مهم است. عوارض روبه رشد و مبارزه در تصفیه‌ی زباله های نساجی منجر به بررسی مداوم روش‌های جدیدی می‌شود که قابل اجرا و اقتصادی هستند. تاکنون روش‌های گوناگونی برای حذف رنگینه‌ها استفاده شده است که از میان آن‌ها فرآیند جذب به‌صورت گسترده‌تری استفاده شده است. امروزه با پیشرفت نانوتکنولوژی استفاده از جاذب‌های مقیاس نانو به دلیل عملکرد ویژه و سطح تماس بالاتر جاذب، توجه بسیاری را به‌خود جلب کرده است. همچنین، جاذب‌های گران را می‌توان با جاذب های کم هزینه‌تری مانند خاک اره، پوسته گندم، پوسته برنج، ضایعات چای و ... برای حذف رنگ از فاضلاب جایگزین نمود. تحقیقات بیشتری باید برای تصفیه سایر پساب‌های صنعتی برای کشف جاذب‌های کم هزینه انجام شود و به طور موثر اثبات شود.

منابع

آقایی، ح.، آقایی، م. (۱۳۷۹). شیمی فیزیک، جلد ۲ مبانی سینتیک شیمیایی، انتشارات آقابیگ، صفحه ۳۰۷.

آبراهارت، ای. ان. (۱۳۶۹). رنگینه‌ها و واسطه‌های آنها، ترجمهٔ محسن حاجی شریفی، مرکز نشر دانشگاهی.

توکلی، م.، استوار، ف. (۱۳۹۷). بررسی توانایی تخریب و حذف رنگزاهای مختلف با استفاده از نانوذرات کلوئیدی نقره، پژوهش و فناوری محیط زیست، ۳(۴)، ۱۴-۹.

جعفر قلی‌نژاد، ع.، دقیقی اصل، م.، ترکان، ل. (۱۳۹۴). بررسی جذب سطحی رنگ بررسی جذب سطحی رنگ اورانژ G به‌وسیله نانو کامپوزیت Ag/CMK-3، نشریه پژوهشهای کاربردی در شیمی (JARS)، ۹(۲)، ۴۷-۵۴.

حسن‌زاده، م.، استوار، ف. (۱۳۹۶). برررسی توانایی حذف رنگینه کاتیونی متیلن بلو در نمونه‌های آبی با استفاده از پلیمرهای سنتزی، پژوهش و فناوری محیط زیست، ۲(۳)، ۲۱-۱۷.

حسن زاده، م.، استوار، ف. (۱۳۹۵). استفاده از نانوکامپوزیت CeO_2/SiO_2 برای خالص سازی و حذف رنگینه آلی متیلن‌بلو از نمونه‌های آبی، کنفرانس بین المللی عمران، معماری مدیریت شهری و محیط زیست در هزاره سوم، رشت.

مولر ،ترجمه سعید فردوسی. (۱۳۷۲). مدیریت پسماندهای شیمیایی، انتشارات شهرداری تهران.

محمودی، ن.، انصاری، ر.، استوار، ف. (۱۳۹۵). کاربرد نانوکامپوزیت منگنز دی اکسید برای حذف رنگینه ماالشیت سبز در سیستم ستونی بستر ثابت، نشریه مهندسی شیمی ایران، ۱۵(۸۷). ۸۵-۷۴.

منصف خوش حساب، ز.، گنبدی، ک. (۱۳۹۳). حذف رنگینه راکتیو قرمز ۷۴ از پساب نساجی با استفاده از جاذب روی اکسید، نشریه شیمی کاربردی، شماره ۳۰.

Asadollahi, A., Ansari, R., Sohrabnezhad, S., & Ostovar, F. (2018). Investigation of adsorptive properties of

[1] Hazelnut shell
[2] Tea waste
[3] Pineapple stem waste

Ag_2CO_3-polyaniline composite for environmental pollution control. GLOBAL NEST JOURNAL, 20(3), 598-609.
Ahmad, A., Mohd-Setapar, S. H., Chuong, C. S., Khatoon, A., Wani, W. A., Kumar, R., & Rafatullah, M. (2015). Recent advances in new generation dye removal technologies: novel search for approaches to reprocess wastewater. RSC Advances, 5(39), 30801-30818.
Bu, J., Yuan, L., Zhang, N., Liu, D., Meng, Y., & Peng, X. (2020). High-efficiency adsorption of methylene blue dye from wastewater by a thiosemicarbazide functionalized graphene oxide composite. Diamond and Related Materials, 101, 107604.
Ansari, R., Seyghali, B., Mohammad-Khah, A., & Zanjanchi, M. A. (2012). Application of nano surfactant modified biosorbent as an efficient adsorbent for dye removal. Separation Science and Technology, 47(12), 1802-1812.
Cui, M. H., Sangeetha, T., Gao, L., & Wang, A. J. (2019). Efficient azo dye wastewater treatment in a hybrid anaerobic reactor with a built-in integrated bioelectrochemical system and an aerobic biofilm reactor: Evaluation of the combined forms and reflux ratio. Bioresource technology, 292, 122001.
Crini, G. (2006). Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review. Bioresource technology, 97(9), 1061-1085.
Daoud, M., Benturki, O., Girods, P., Donnot, A., & Fontana, S. (2019). Adsorption ability of activated carbons from Phoenix dactylifera rachis and Ziziphus jujube stones for the removal of commercial dye and the treatment of dyestuff wastewater. Microchemical journal, 148, 493-502.
Doğan, M., Abak, H., & Alkan, M. (2009). Adsorption of methylene blue onto hazelnut shell: kinetics, mechanism and activation parameters. Journal of hazardous materials, 164(1), 172-181.
Dos Santos, A. B., Cervantes, F. J., & van Lier, J. B. (2007). Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: perspectives for anaerobic biotechnology. Bioresource technology, 98(12), 2369-2385.
Elizalde-González, M. P., & Hernández-Montoya, V. (2009). Removal of acid orange 7 by guava seed carbon: A four parameter optimization study. Journal of hazardous materials, 168(1), 515-522.
Ghoreishi, S. M., & Haghighi, R. (2003). Chemical catalytic reaction and biological oxidation for treatment of non-biodegradable textile effluent. Chemical engineering journal, 95(1-3), 163-169.
Ghaedi, M., Nasab, A. G., Khodadoust, S., Sahraei, R., & Daneshfar, A. (2015). Characterization of zinc oxide nanorods loaded on activated carbon as cheap and efficient adsorbent for removal of methylene blue. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 21, 986-993.
García-Montaño, J., Torrades, F., A. Pérez-Estrada, L., Oller, I., Malato, S., Maldonado, M. I., & Peral, J. (2008). Degradation pathways of the commercial reactive azo dye Procion Red H-E7B under solar-assisted photo-Fenton reaction. Environmental science & technology, 42(17), 6663-6670.
Gupta, V. K. (2009). Application of low-cost adsorbents for dye removal–a review. Journal of environmental management, 90(8), 2313-2342.
Han, R., Wang, Y., Yu, W., Zou, W., Shi, J., & Liu, H. (2007). Biosorption of methylene blue from aqueous solution by rice husk in a fixed-bed column. Journal of hazardous materials, 141(3), 713-718..
Hameed, B.H, Krishni, R. R., & Sata, S. A. (2009). A novel agricultural waste adsorbent for the removal of cationic dye from aqueous solutions. Journal of hazardous materials, 162(1), 305-311.
Hunger, K. (Ed.). (2007). Industrial dyes: chemistry, properties, applications. John Wiley & Sons.
Han, R., Ding, D., Xu, Y., Zou, W., Wang, Y., Li, Y., & Zou, L. (2008). Use of rice husk for the adsorption of congo red from aqueous solution in column mode. Bioresource technology, 99(8), 2938-2946.
Khan, A. J., Song, J., Ahmed, K., Rahim, A., Volpe, P. L. O., & Rehman, F. (2020). Mesoporous silica MCM-41, SBA-15 and derived bridged polysilsesquioxane SBA-PMDA for the selective removal of textile reactive dyes from wastewater. Journal of Molecular Liquids, 298, 111957.
Khosravi, A., Karimi, M., Ebrahimi, H., & Fallah, N. (2020). Sequencing batch reactor/nanofiltration hybrid method for water recovery from textile wastewater contained phthalocyanine dye and anionic surfactant. Journal of Environmental Chemical Engineering, 103701.
Khajeh, M., Amin, M. M., Taheri, E., Fatehizadeh, A., & McKay, G. (2020). Influence of co-existing cations and anions on removal of direct red 89 dye from synthetic wastewater by hydrodynamic cavitation process: an empirical modeling. Ultrasonics Sonochemistry, 105133.
Liang, C. Z., Sun, S. P., Li, F. Y., Ong, Y. K., & Chung, T. S. (2014). Treatment of highly concentrated wastewater containing multiple synthetic dyes by a combined process of coagulation/flocculation and nanofiltration. Journal of Membrane Science, 469, 306-315.
Liang, Z., Wang, J., Zhang, Y., Han, C., Ma, S., Chen, J., ... & An, T. (2020). Removal of volatile organic compounds (VOCs) emitted from a textile dyeing wastewater treatment plant and the attenuation of respiratory health risks using a pilot-scale biofilter. Journal of Cleaner Production, 120019.

Mondal, S. (2008). Methods of dye removal from dye house effluent—an overview. Environmental Engineering Science, 25(3), 383-396.
Nguyen, T. A., Fu, C. C., & Juang, R. S. (2016). Biosorption and biodegradation of a sulfur dye in high-strength dyeing wastewater by Acidithiobacillus thiooxidans. Journal of environmental management, 182, 265-271.
Nordin, A. H., Ahmad, K., Xin, L. K., Syieluing, W., & Ngadi, N. (2020). Efficient adsorptive removal of methylene blue from synthetic dye wastewater by green alginate modified with pandan. Materials Today: Proceedings.
Rai, H. S., Singh, S., Cheema, P. P. S., Bansal, T. K., & Banerjee, U. C. (2007). Decolorization of triphenylmethane dye-bath effluent in an integrated two-stage anaerobic reactor. Journal of environmental management, 83(3), 290-297. Gomez, V., Larrechi, M. S., & Callao, M. P. (2007). Kinetic and adsorption study of acid dye removal using activated carbon. Chemosphere, 69(7), 1151-1158.
Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., & Nigam, P. (2001). Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. Bioresource technology, 77(3), 247-255.
Rezaei, H., Razavi, A., & Shahbazi, A. (2017). Removal of Congo red from aqueous solutions using nano-chitosan. Environmental Resources Research, 5(1), 25-34.
Shokouhi, S. B., Dehghanzadeh, R., Aslani, H., & Shahmahdi, N. (2020). Activated carbon catalyzed ozonation (ACCO) of Reactive Blue 194 azo dye in aqueous saline solution: Experimental parameters, kinetic and analysis of activated carbon properties. Journal of Water Process Engineering, 35, 101188.
Soylu, M., Gökkuş, Ö., & Özyonar, F. (2020). Foam Separation for Effective Removal of Disperse and Reactive Dyes from Aqueous Solutions. Separation and Purification Technology, 116985.
Samarghandi, M. R., Tari, K., Shabanloo, A., Salari, M., & Nasab, H. Z. (2020). Synergistic degradation of acid blue 113 dye in a thermally activated persulfate (TAP)/ZnO-GAC oxidation system: Degradation pathway and application for real textile wastewater. Separation and Purification Technology, 116931.
Shi, B., Li, G., Wang, D., Feng, C., & Tang, H. (2007). Removal of direct dyes by coagulation: The performance of preformed polymeric aluminum species. Journal of hazardous materials, 143(1-2), 567-574.
Tian, S., Xu, S., Liu, J., He, C., Xiong, Y., & Feng, P. (2019). Highly efficient removal of both cationic and anionic dyes from wastewater with a water-stable and eco-friendly Fe-MOF via host-guest encapsulation. Journal of Cleaner Production, 239, 117767.
Wang, L. K., Hung, Y. T., Lo, H. H., & Yapijakis, C. (Eds.). (2004). Handbook of industrial and hazardous wastes treatment. CRC Press.
Yin, X., Zhang, Z., Ma, H., Venkateswaran, S., & Hsiao, B. S. (2020). Ultra-fine electrospun nanofibrous membranes for multicomponent wastewater treatment: Filtration and adsorption. Separation and Purification Technology, 116794.
Zou, D., Chen, X., Qiu, M., Drioli, E., & Fan, Y. (2019). Flux-enhanced α-alumina tight ultrafiltration membranes for effective treatment of dye/salt wastewater at high temperatures. Separation and Purification Technology, 215, 143-154.