در دسترس بصورت الکترونیک @ www.jscw.icrc.ac.ir
نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ، جلد ۱۱، شماره ۲، (۱۴۰۰) ۶۲-۵۳
نوع مقاله: مروری
نشریه ویژه فرش و رنگ
Dor: 20.1001.1.22517278.1400.11.2.5.5

بررسی مشکلات زیست‌محیطی ناشی از پساب رنگرزی با مواد رنگزای طبیعی

محمد خواجه مهریزی
دانشیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه یزد، یزد، ایران، صندوق‌پستی: ۷۴۱-۸۹۱۹۵.

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۲/۰۴ تاریخ بازبینی نهایی: ۰۰/۰۳/۰۲ تاریخ پذیرش: ۰۰/۰۳/۰۳ در دسترس به‌صورت الکترونیک: ۰۰/۰۶/۱۶

چکیده

یکی از مشکلات اساسی و مهم در واحدهای رنگرزی صنعت نساجی، حجم آلاینده‌های تولید شده آن بوده که سلامت محیط‌زیست را از طریق آلودگی آبهای زیرزمینی به خطر انداخته است. مواد رنگزای طبیعی با وجود عدم ایجاد حساسیت‌های تنفسی و پوستی و سازگاری خوب با انسان و طبیعت، با ایجاد پساب می‌توانند باعث مشکلات زیست‌محیطی شوند. پساب‌های رنگرزی ایجاد شده غالبا شامل یون‌های فلزی و ترکیبات رنگی هستند که می‌توانند برای سلامتی موجودات مضر بوده و موجب بیماری‌های مختلفی شوند. معمولا در طی فرآیند رنگرزی از مواد رنگزای مختلف طبیعی مانند روناس، اسپرک، پوست گردو و قرمزدانه با غلظت‌های مختلف استفاده شده و در کنار روش‌های رنگرزی پیش کرومی، همزمان و پس کرومی، دندانه‌های مختلفی مانند سولفات آلومینیم، سولفات مس و دی کرومات پتاسیم می‌تواند بکار گرفته شود. در این تحقیق، مطالعه مروری بر تاثیر استفاده از این مواد رنگزا، انواع دندانه‌های کاربردی و روش‌های مختلف رنگرزی بر عواملی مانند BOD، COD و TDS پساب‌های حاصله صورت گرفته است.

واژه‌های کلیدی

مواد رنگزای طبیعی، دندانه فلزی، پساب رنگرزی، مشکلات زیست‌محیطی.

چکیده تصویری

*نویسنده مسئول: mkhajeh@yazd.ac.ir

Ministry of Science, Research and Technology
Institute for Color Science and Technolog

Available online @ www.jscw.icrc.ac.ir

Journal of Studies in Color World, Vol. 11, No.2, (2021) 53-62
Type: Review paper
Special issue about color and carpet

مطالعات در دنیای رنگ
Journal of Studies in Color World
www.jscw.icrc.ac.ir

Investigation of Environmental Problems Caused by Dyeing Effluent with Natural Dyes

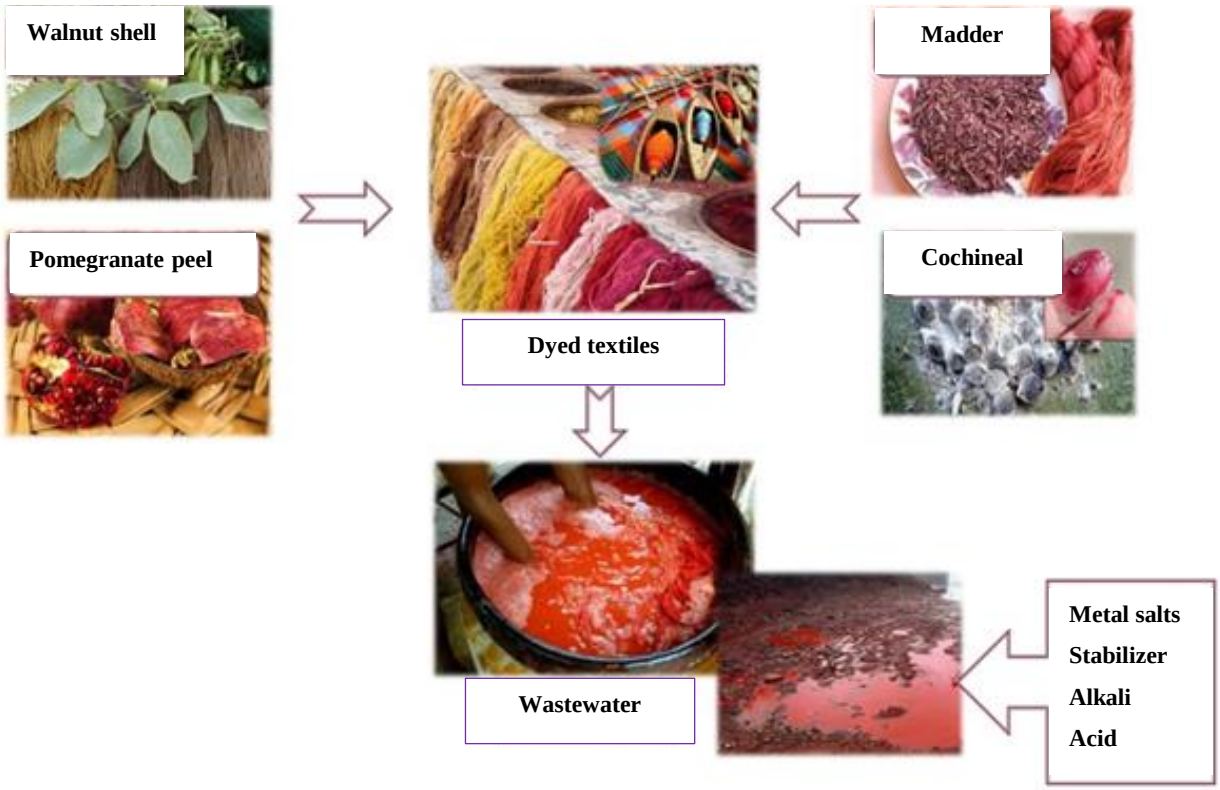
Mohammad Khajeh Mehrizi
Textile Engineering Department, Yazd University, P. O. Box: 89195-741, Yazd, Iran.

Abstract

One of the main and important problems in the dyeing units of the textile industry is the volume of pollutants produced, which has endangered the health of the environment through ground water pollution. Although natural dyes do not cause respiratory and skin allergies and are compatible with human and environment, the natural dyeing effluents can cause environmental problems. These dyeing effluents mainly contain metal ions and coloring compounds that can be harmful to the organisms and cause various diseases. Usually, during the dyeing process, different natural dyes such as madder, weld, walnut shell and cochineal are used with different concentrations. Besides the dyeing, various mordants such as aluminum sulfate, copper sulfate and potassium dichromate are employed using pre, simultaneous and post-mordanting methods. In this research, a review study has been conducted on the effect of using these dyes, types of applied mordant and different dyeing methods on parameters such as BOD, COD and TDS of the resulted effluents.

Keywords
Natural dyes, Metal mordant, Dyeing effluent, Environmental problems.

Graphical abstract



Corresponding author: mkhajeh@yazd.ac.ir

۱- اهمیت تصفیه پساب در صنعت نساجی

در سراسر دنیا آگاهی از آسیب های زیست‌محیطی ناشی از کاربرد بی‌وقفه مواد شیمیایی که برخی از آنها بسیار سمی و سرطان زا هستند افزایش یافته است و استفاده از مواد اولیه، آب، انرژی و غیره که به کالا و ضایعات تبدیل می‌شوند، در هر فرآیند صنعتی مورد توجه واقع شده است. تولید ضایعات در هر مرحله از فعالیت‌های مختلف انسان به الگوی مصرف و روش تولید بستگی دارد. بررسی تاثیر این عناصر روی سلامتی انسان و محیط زندگی وی مهم‌ترین مساله در موارد بیان شده است. آلودگی‌های محیط‌زیست غالبا ناشی از آلودگی مواد آلی، مصرف اکسیژن و تخریب زیست بی‌هوازی و ترکیب های معدنی است. آلودگی آب یکی از بزرگ‌ترین تهدیدهای جهانی است. بسیاری از منابع آب دارای مواد مضر در غلظت‌های بالا هستند که موجب ناسالم و نامناسب بودن آب برای مصارف بهداشتی و خانگی (نوشیدن و شست و شو) است. به سبب رشد صنایع و شهرنشینی، بسیاری از مواد شیمیایی از جمله مواد رنگی و مواد آلی مشابه با ساختارهای حلقوی در صنایع مختلف مانند: نساجی، چاپ، داروسازی، مواد غذایی، اسباب بازی، کاغذسازی، پلاستیک، تولید لوازم آرایشی و زندگی روزانه کاربرد گسترده‌ای دارند. پساب صنعتی تصفیه نشده که به محیط‌زیست تخلیه می‌شود، مشکلات زیادی را برای موجودات آبزی، گیاهان و انسان‌ها به همراه می‌آورد و تصفیه آن از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است [۱].

۲-آلودگی آب از طریق صنعت نساجی

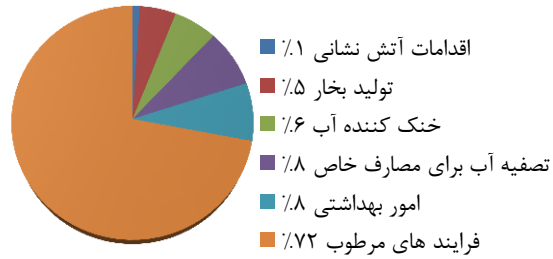
صنعت نساجی نه تنها تاثیر بزرگی بر اقتصاد ملت‌ها دارد، بلکه سطح کیفی اقتصاد و محیط‌زیست را تحت تاثیر قرار می‌دهد. صنایع نساجی، یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان آب هستند که حجم عظیمی از پساب را به محیط‌زیست تخلیه می‌کنند. با اینکه در فرآیندهای ریسندگی و بافندگی آب کمتری مصرف می‌شود، در فرآیند تکمیل منسوجات به حجم عظیمی از آب احتیاج است. بیشترین مصرف آب (۷۲ ٪) در فرآیندهای خیس منسوجات (رنگرزی، چاپ و تکمیل) مشاهده می‌شود. سایر مصارف مهم آب درصنعت نساجی در نمودار شکل ۱ آمده است [۱]. در تولید پارچه سلولزی حدود ۱۲۰-۱۰۰ l/kg آب مصرف می‌شود، حال آنکه حجم مصرف آب برای پارچه مصنوعی، بین ۷۰-۲۵ l/kg است. شکل ۲ مصرف آب در بخش‌های مختلف فرآیندهای مرطوب نساجی را نشان می‌دهد [۱].

پساب‌هایی که در اثر این فعالیت‌ها در محیط آزاد می‌شوند مواد آلوده‌کننده زیادی مانند ماده رنگزا و مواد شیمیایی کمکی دارند. این مواد در بخشی از مراحل رنگرزی و چاپ مورد استفاده قرار می گیرند، این پساب‌ها معمولاً نیمه‌تصفیه شده و تصفیه‌نشده به پهنه‌های آبی سرازیر می شوند. ماده رنگزا از مهم‌ترین عناصر پساب است که واحدهای رنگرزی آن را در مکان‌های معین تخلیه می کنند. آلودگی ناشی از ماده رنگزا بسیار جدی بوده و خطرات زیادی برای جانوران و موجودات زنده دارد. همچنین حضور مقدار محدودی فلزات سنگین (به خصوص کرم، مس، سرب و کادمیم) در پساب‌های رنگرزی با مواد رنگزای طبیعی می‌تواند مشکلات جدی را به محیط‌زیست وارد کند [۱].

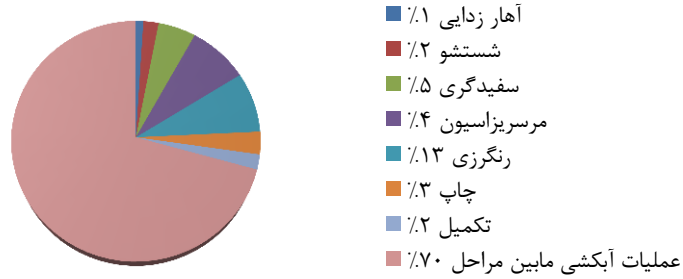
۳- محتویات پساب رنگرزی

۳-۱- رنگ

رنگ موجود در پساب رنگرزی علاوه بر ایجاد ظاهر نامطلوب با کاهش سنتز فتوشیمیایی اکسیژن و آشفتگی محیط‌زیست آبزیان مانع پالایش پساب به صورت زیست شیمی می‌شود [۱].



شکل ۱- الگوی مصرف آب در صنایع نساجی [۱].



شکل۲- الگوی مصرف آب در فرآیندهای مرطوب سازی منسوجات [۱].

۳-۲- مواد جامد محلول (TDS[1])

استفاده از نمک کلرین در صنعت نساجی منجر به ته‌نشین شدن Cl_2 در پساب منسوجات می شود. کلرین پساب رنگرزی که باعث کاهش اکسیژن محلول (DO) می شود و می‌تواند با سایر ترکیب‌ها نیز واکنش داده و منجر به تشکیل نمک کلرین شود [۱].

۳-۳- مواد آلی

رنگدانه‌های آلی، اسید، آنزیم و مواد آهار عامل بروز آلاینده‌های آلی در پساب رنگدانه ها هستند. وجود سموم طبیعی در پساب رنگدانه ها از طریق تجزیه و تحلیل اکسیژن مورد نیاز اکسیداسیون زیستی (BOD[2]) و اکسیژن مورد نیاز اکسیداسیون بیوشیمیایی (COD[3]) اندازه گیری می‌شود [۱].

۳-۴- مواد سمی

پساب رنگی ممکن است به عنوان آلاینده اولیه و یا ثانویه عمل کند و برای زندگی آبزیان بسیار خطرناک باشد. پساب رنگی حاوی فلزات سنگین تولید شده در اثر فرآیندهای انجام شده، می‌باشد. بیشتر مواد سمی پساب رنگرزی عبارتند از: کرم (Cr)، کادمیم (Cd)، نیکل (Ni)، روی (Zn)، مس (Cu)، سرب (Pb) و آهن (Fe). از دلایل خطر آفرین فلزات سنگین، قدرت تجمع زیستی آنها است. در این فرآیند، تجمع در سیستم بدن موجود زنده و غلظت آنها به مرور زمان با تماس بیشتر با آلاینده‌ها افزایش می‌یابد. در بسیاری از منابع با جزئیات به تاثیرات مضر این فلزات اشاره شده است [۲، ۳].

به غیر از مواد سمی مذکور، بعضی از مواد شیمیایی مورد استفاده در فرآیندهای مرطوب مانند فنل ها، تتراکلرواتیلن، تری کلرواتیلن و فرمالدئید می‌تواند اثرات منفی روی سلامتی انسان بگذارد. بعضی از این اثرات شامل اثرات سرطان‌زایی بر انسان، آسیب‌های سیستم عصبی، حساسیت‌های پوستی و جوش صورت، سوزش معده و غیره می‌باشد [۴]. شاخصه‌های پساب صنعت نساجی عبارتند از: نیاز بالا به مواد شیمیایی، تجزیه‌پذیری زیستی کم و مقدار بالای نمک. برخی از رنگدانه‌ها مانند ماده رنگزای آزو موجب بروز بیماری های جدی مانند سرطان می‌شوند. این نکته نشان می دهد که تصفیه رنگدانه پیش از تخلیه، به منظور تضمین توسعه پایدار الزام آور است. مشخصات بارز پساب تصفیه نشده نساجی در جدول ۱ آمده است [۱].

۳-۵- BOD

BOD، معرف مقدار اکسیژن مورد نیاز باکتری‌های هوازی برای تجزیه مواد آلی موجود در نمونه طی پنج روز می‌باشد و واحد ان ppm یا میلی گرم بر لیتر است. مقدار BOD یک نمونه وابسته به مقدار ماده آلی موجود در آن است که به طور قابل‌ملاحظه‌ای متغیر می‌باشد. بنابراین BOD به عنوان پایه آشکارساز مواد آلی قابل تجزیه زیستی در آب می‌باشد. تفاوت بین BOD و نیاز اکسیژن شیمیایی این است که COD مواد آلی تجزیه‌ناپذیر زیستی را نیز شامل می‌شود. BOD5 کمتر از ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر معرف پساب رقیق است [۵].

۳-۶- COD

COD یک پساب، میزان اکسیژن مورد نیاز برای اکسیدشدن مواد قابل اکسیدشدن موجود در آن می‌باشد. مواد شیمیایی قابل ترکیب با اکسیژن (همچون مواد شیمیایی کاهنده) که وارد آب طبیعی می‌شوند بطور مشابه واکنش شیمیایی می‌دهند. این نوع واکنش‌های شیمیایی به میزان مشخصی اکسیژن نیاز دارد که COD نامیده می‌شود. مقدار COD معمولا با استفاده از یک عامل اکسیدکننده قوی (بی کرومات پتاسیم) در محیط اسیدی قابل اندازه‌گیری می‌باشد. تعیین BOD با وجود ارزش فراوان دارای دو نکته ضعف اساسی است، اولی طولانی بودن مدت آزمایش و دومی امکان مسمومیت با میکرو ارگانیسم‌های مورد نظر در تماس با مواد آلوده در این مدت می‌باشد، از این رو COD دارای ارزش بیشتری می‌باشد. COD کمتر از ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر معرف پساب رقیق است [۱، ۵].

۴-تاثیر زیست‌محیطی پساب

پساب هم یک منبع و هم یک مساله مهم است. پساب و مواد مغذی آن تا حدی که بتوانند برای آبیاری و سایر خدمات زیست بوم مفید باشند، بازیافت آن‌ها برای کشاورزان، جامعه و اداره‌های شهرداری مزیت‌های مثبت در پی دارد. بنابراین، طبق دیدگاه اقتصادی، هم مزیت‌ها و هم هزینه‌های بازیافت پساب باید مورد ارزیابی قرار گیرد [۱].

جدول ۱- مشخصات بارز پساب تصفیه نشده نساجی [۱].

مشخصات پساب	غلظت (میلی‌گرم بر لیتر)	مشخصات پساب	غلظت (میلی‌گرم بر لیتر)
pH	۶-۱۰	F	<۱۰
دما	۳۵-۴۵	B	<۱۰
جامدات محلول	۸۰۰۰-۱۲۰۰۰	Mn	<۱۰
BOD	۸۰-۲۰۰۰	Hg	<۱۰
COD	۱۵۰-۱۲۰۰۰	PO_4	<۱۰
جامدات معلق	۱۵-۸۰۰۰	Cn	<۱۰
کلر	۱۰۰۰-۶۰۰۰	چربی	۱۰-۳۰
کلر آزاد	<۱۰	TNK	۱۰-۳۰
سدیم	٪۷۰	NO_3-N	<۵
Fe	<۱۰	آمونیم	<۱۰
Zn	<۱۰	SO_4	۶۰۰-۱۰۰۰
Cu	<۱۰	سیلیکات	<۱۵
As	<۱۰	نیتروژن محلول	۷۰-۸۰
Ni	<۱۰	رنگزا	۵۰-۲۵۰۰

[1] Total dissolved solids
[2] Biological oxygen demands
[3] Chemical oxygen demands

۴-۱- تاثیر بر بهداشت عمومی

پساب حاوی میکرو ارگانیسم‌های بیماری‌زا، باکتری، ویروس و انگل می‌تواند باعث بروز عفونت شود. برای مثال، انگل‌های انسانی، تک یاخته‌ها و تخم کرم اهمیت خاصی دارند، به نحوی که زدودن آن‌ها در فرآیندهای تصفیه، کار بسیار دشواری است، این عوامل بیماری‌زا در کشورهای زیادی موجب بروز بیماری‌های گوارشی و ناراحتی کلیوی مختلف شده‌اند [۶].

۴-۲- تاثیر بر محصولات کشاورزی

پساب تصفیه شده معمولاً بدون اثرات نامطلوب بر محصولات کشاورزی، در حوزه تولید قابل استفاده است. پساب تصفیه شده از قابلیت‌های زیر برخوردار است: ۱) تولید آب مورد نیاز برای رشد محصول کشاورزی و جایگزین مناسب برای دستگاه‌های سنتی آبیاری؛ ۲) مکمل تغذیه گیاه و جایگزین کودهای شیمیایی پرهزینه. در ادامه این موارد، طبق دیدگاه اقتصادی، هم آب و هم مواد مغذی پساب اهمیت اساسی دارند. به طور کلی، پساب منبع غنی برای مکمل‌های اصلی تغذیه گیاه به شمار می‌رود و به این سبب جایگزین سودمندی برای کودهای شیمیایی است [۱].

۴-۳- تاثیر بر منابع خاک

پساب منبع غنی مکمل‌ها، املاح تجزیه شده، ترکیب‌های کم مقدار و فلزات سنگین است. در نتیجه، دستگاه‌های آب و پساب پس از زمان خاصی بسیاری از املاح، فلزات سنگین و مواد مغذی خاک را جذب می‌کنند. برخی ازاین املاح ممکن است در سطح زیرین جمع شوند و اثرات خطرناک قابل تصوری را بر سلامت خاک و بازدهی محصول بگذارند، تصفیه این املاح درسطح زیرین موجب آلودگی خاک و آب‌های زیر زمینی می شود. خطر شور و نمکی بودن خاک که زیان‌بخشی رطوبت‌دهی را دو چندان می کند، اثر واقعی املاح فراوان پساب بر خاک است [۱].

۴-۴- تاثیر بر منابع آب زیر زمینی

پساب شامل نیازهای اساسی فراوان محصول از جمله نیتروژن، فسفر و سایر مکمل‌های تغذیه گیاه است، بر همین اساس امکان دارد که پساب موجب انتقال مواد مغذی به خاک شود. فراوانی مواد مغذی و املاح که به زیر پوشش گیاهی نفوذ کرده اند ممکن است به آلودگی آب زیر زمینی بیانجامد. احتمال می رود که تصفیه املاح شور و نیترات‌ها بر خاصیت منابع زیر زمینی در درازمدت تاثیر بگذارد. با این وجود، تاثیر واقعی به گروه بزرگی از متغیرها از جمله عمق سفره‌های آبی، خاصیت آب زیر زمینی، زهکشی خاک، اندازه دستگاه آب و پساب و غیره بستگی دارد [۱].

۴-۵- اثرات زیست‌محیطی پساب نساجی

مشخصات پساب نساجی با توجه به منسوج تولید شده و مواد شیمیایی کاربردی قابل تغییر است. پساب حاوی مقدار زیادی از عوامل شیمیایی از جمله مواد جامد معلق و محلول، BOD، COD، مواد شیمیایی، بو و رنگ است که به طبیعت و سلامتی انسان آسیب می رسانند [۷].

پساب صنعت رنگرزی خاصیت و رنگ آب را تغییر می‌دهد، این تغییرات برای نظام زیستی دریایی خطرناک است. علاوه بر این، پساب، میزان انتشار وانتقال نور آفتاب را، که برای فتوسنتز اهمیت دارد، کاهش می‌دهد. تراکم مواد رنگزا در آب موجب بروز مشکلاتی برای سلامتی انسان مانند: حالت تهوع، خون ریزی، زخم شدن پوست و غشاء مخاطی می‌شود. علاوه براین، تراکم چنین ترکیبات خطرناکی باعث آسیب دیدن کلیه، سیستم تولید مثل، کبد، مغز و سیستم مرکزی عصب می‌شود. مواد رنگزای زیادی با ترکیبات بنزن و ترکیب‌های رنگی آروماتیک به عنوان عامل اصلی سرطان شناخته شده اند؛ همه این نوع مواد رنگزا در پی ایجاد سیستم جذب میکروبی افزایش یافته اند. بالاترین میزان وجود سموم در مواد رنگزای بازیک، آزو و مستقیم بوده است. بعضی از جلبک‌ها و گیاهان بزرگ‌تر موجود در پساب دارای مقادیر بالای مواد رنگزای دیسپرس، محل مناسبی برای تجمع زیستی ذرات فلزات سنگین حاصل از پساب هستند [۸].

اثرات زیست‌محیطی فلزات در پساب‌ها یک مسئله حیاتی ناشی از پساب رنگی و صنایع کاربردی است. پسماندهای نساجی حاوی فلزاتی شامل Cr، As، Cu و Zn می‌باشند که می‌توانند به محیط آسیب برسانند. غلظت جامدات معلق در پساب، نقش مهمی در تأثیرگذاری بر طبیعت در مقابله با پوسته پوسته شدن چربی و دخالت در مکانیسم انتقال اکسیژن هوا-آب بر عهده دارد. مواد معدنی در پساب‌های نساجی به دلیل نزدیکی به غلظت بالاتر از نمک‌های محلول غیرقابل قبول است. برای مثال، مواد شیمیایی غیرمعدنی، اسید هیدروکلریک، هیپوکلریت سدیم، هیدروکسید سدیم، سولفید سدیم و مواد رنگزای راکتیو، برای زندگی دریایی مضر هستند. ترکیبات ارگانیک در معرض تغییرات شیمیایی و زیستی قرار دارند که منجر به خروج اکسیژن از آب می شود [۹].

تأثیر پساب صنایع نساجی روی ماهی، گیاهان و سایر آبزیان در سطوح مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. این پژوهش‌ها حتی به بررسی گیاهان و سبزیجات رشد یافته در منطقه دارای پساب صنایع نساجی نیز پرداخته اند. میزان فلزات، به ویژه سرب (Pb)، کادمیم (Cd) و کرم (Cr) در خاک قلمرو صنعتی و گیاهان کشت شده در خاک، بیشتر از مناطق غیرصنعتی بود. نتایج به دست آمده افزایش خطر رشد سبزی‌ها را در اطراف مناطق صنعتی اثبات کرد. در نتیجه، چالش اصلی در فرآیندهای شیمی نساجی، استفاده از مواد رنگزا و مواد شیمیایی کم خطر و همچنین کاهش هزینه‌های پساب، با محوریت کم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی می‌باشد [۱].

۵- اثرات زیست‌محیطی مواد رنگزای طبیعی

هشدارهای محیط‌زیستی، علاقه به مواد رنگزای طبیعی را مجددا در مردم احیا کرده است. مواد رنگزای طبیعی، از جمله مواد سازگار با محیط زیست محسوب می‌شوند زیرا تجدیدپذیر و قابل‌تجزیه هستند، باعث حساسیت پوستی نیستند و ممکن است برای سلامتی مصرف کننده مفید باشند. از مواد رنگزای طبیعی می‌توان برای رنگرزی تقریباً همه نوع الیاف طبیعی استفاده کرد. تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که می‌توان از آنها برای رنگرزی برخی از الیاف مصنوعی نیز استفاده کرد. چندین چالش و محدودیت در رابطه با مواد رنگزای طبیعی وجود دارد. زمین‌های کشاورزی بخاطر افزایش جمعیت جهان بیشتر برای تغذیه انسان و

همچنین حمایت از دام مورد نیاز است. علاوه بر این پایداری مواد رنگزای طبیعی مساله اصلی است. مواد رنگزای طبیعی از منابع طبیعی گرفته می‌شوند و بر اساس منبع تولید به مواد رنگزای گیاهی، حیوانی، معدنی و میکروبی تقسیم بندی می‌شوند و در این میان، گیاهان عمده‌ترین منبع مواد رنگزای طبیعی هستند [۱۰]. بعضی از باکتری‌ها مانند Bacillus، Flavobacterium، Pseudomonas تولیدکننده رنگدانه‌های رنگی هستند. مزیت استفاده از میکروب‌ها به‌عنوان منبعی برای تولید ماده رنگزا این است که می‌توان مقدار زیادی از آنها را با سرعت مناسب در شرایط کنترل شده و بر روی بسترهای ارزان رشد و تکثیر داد[۱۱]. میکروب‌ها می‌توانند انواع رنگدانه‌های انتراکینون، کارتنوئید و فلاونوئید را تولید کنند. علاوه بر این، قارچ‌ها هم می‌توانند رنگدانه‌های انتراکینونی پایدار و متنوعی را تولید کنند [۱۳-۱۲].

مواد رنگزای طبیعی را به‌عنوان مواد شیمیائی سبز می‌توان نام برد و کاربرد آنها بر روی پوشاک بدلیل زیست تخریب‌پذیری و فام‌های منحصر به فرد در حال گسترش است. به هر حال، عصاره‌گیری، رنگرزی و عملیات ثانویه مواد رنگزای طبیعی، باعث بعضی مشکلات زیر بر روی محیط‌زیست می‌شوند [۱۴].

حشره کش‌ها معمولا در حین کشت گیاهان برای حفاظت آنها در مقابل حشرات بکار برده می‌شوند. مواد رنگزای طبیعی که از گیاهان بدست می‌ایند ممکن است دارای مقدار مواد حشره‌کش باشند که می‌تواند برای مصرف‌کننده باعث مشکلاتی شود.

همه مواد رنگزای طبیعی نمی‌توانند به روش‌های استخراج معمولی رقیق عصاره‌گیری شوند. بعضی مواد رنگزای طبیعی به محیط اسیدی یا قلیائی یا حلال برای استخراج موثرتر نیاز دارند. مثلا استخراج ماده رنگزای طبیعی از ریشه روناس نیاز به اسید سولفوریک دارد که می‌تواند به صورت غیرمستقیم الودگی را افزایش دهد [۱۴]

هنگام استفاده بعضی مواد رنگزای طبیعی علاوه بر دندانه، نیاز به بعضی مواد شیمیایی هم است که می‌تواند باعث مشکلاتی در پساب شود مانند ماده رنگزای ایندیگو که برای رنگرزی کالای پنبه ای نیاز به هیدروسولفیت سدیم و هیدروکسید سدیم دارد.

از نقطه نظر اقتصادی فامی که با ۱٪ ماده رنگزای مصنوعی حاصل می‌شود را می‌توان با ۲۵-۱۰٪ ماده رنگزای طبیعی بر همان کالا بدست آورد و این ممکن است باعث افزایش آلودگی در پساب شود [۷].

فرآیند رنگرزی با مواد رنگزای طبیعی در مقایسه با رنگرزی با مواد رنگزای مصنوعی با مصرف انرژی بیشتر و استفاده از مدت زمان طولانی تر همراه هستند، چرا که برای تشکیل کمپلکس ماده رنگزای طبیعی دندانه به مدت زمان زیادی نیاز است.

معمولا واحدهای رنگرزی طبیعی، در کارخانجاتی با معیار و فضای کوچکی طراحی می‌شوند بنابراین طراحی و اجرای سیستم تصفیه پساب در انها مقرون به صرفه نیست چرا که هزینه‌های تولید را افزایش می‌دهد. بعضی از مواد رنگزای طبیعی نیاز به مقادیر زیادی دندانه‌های فلزی مانند مس، قلع و اهن برای تثبیت دارند و این باعث می‌شود که دوست‌دار محیط زیست بودن آنها زیر سوال برود [۱۴].

در جدول ۲، مقایسه مشخصات پساب حاصل از رنگرزی با مواد رنگزای طبیعی با پساب حاصل از رنگرزی با مواد رنگزای مصنوعی ارائه شده است. همانگونه که جدول ۲ نشان می‌دهد حضور موادی به غیر از اسید و قلیا در پساب رنگرزی با مواد رنگزای مصنوعی می‌تواند باعث افزایش محسوس BOD، COD و TDS پساب شده و مشکلات بسیاری را به محیط‌زیست وارد کند که اگرچه حضور یون‌های فلزی در پساب رنگرزی با اغلب مواد رنگزای طبیعی هم می‌تواند این معضلات را باعث شود.

۶- تحقیقات انجام شده در زمینه نگرانی‌های زیست‌محیطی مواد رنگزای طبیعی

خواجه مهریزی و همکارانش در سال ۲۰۱۷ با استفاده از مواد رنگزای طبیعی روناس، پوست گردو و اسپرک با غلظت ۲۰٪ فرآیند رنگرزی کالای پشمی را با دندانه‌های سولفات الومینیم، سولفات مس و دی کرومات سدیم با غلظت ۵٪ با روش پیش کرومی و هم‌زمان انجام دادند. برای بررسی تاثیر زیست‌محیطی پساب‌های رنگرزی‌حاصله، آزمون‌های BOD و COD انجام شد. مقادیر COD و BOD نمونه‌های رنگرزی شده با انواع مواد رنگزای‌های طبیعی و دندانه‌های فلزی در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد که در میان دندانه‌ها، دی کرومات پتاسیم بیشترین سهم COD و BOD را دارد. محدوده BOD نمونه‌ها بین ۷۰۰-۱۷۰۰ و COD آنها بین ppm ۱۰۰۰-۲۵۰۰ بود. در نمونه‌های رنگرزی‌شده به روش پیش‌دندانه و هم‌زمان، روناس بیش‌ترین سطح COD و پوست‌گردو، کم‌ترین سطح COD را به خود اختصاص داده اند. سطح بالایی از BOD در پساب نمونه رنگرزی‌شده با روناس به روش پیش‌دندانه و سطح پایین‌تر آن در پساب نمونه رنگرزی‌شده با پوست‌گردو مشاهده گردید.

جدول ۲- مقایسه مشخصات پساب حاصل از رنگرزی با مواد رنگزای طبیعی با پساب حاصل از رنگرزی با مواد رنگزای مصنوعی [۱۷-۱۵].

محتویات پساب حاصل از ماده رنگزای طبیعی	محتویات پساب حاصل از ماده رنگزای مصنوعی
ماده رنگزای طبیعی	ماده رنگزای مصنوعی
یون‌های فلزی مانند مس، کرم، آلومینیم و ...	یون‌های فلزی مانند مس، کرم، آلومینیم و غیره (فقط در مورد مواد رنگزای دندانه‌ای)
اسید/قلیا/احیاکننده (ماده رنگزای نیل)	اسید/قلیا/ احیاکننده (مواد رنگزای خمی و گوگردی)
-	مواد سطح فعال (مانند یکنواخت‌کننده، تثبیت‌کننده)
-	مواد کمکی مانند پراکنش‌کننده (رنگ دیسپرس)، ریتاردر (رنگ بازیک)، حامل (رنگ دیسپرس)

جدول ۳- مقادیر COD نمونه‌های رنگرزی شده با مواد رنگزای طبیعی و دندانه‌های فلزی [۱۸].

نمونه	COD (ppm)	نمونه	COD (ppm)
G-Al-A	۱۳۸۳	G-Al-X	۱۲۰۰
G-Cu-A	۱۴۶۷	G-Cu-X	۱۱۶۰
G-Cr-A	۱۳۴۱	G-Cr-X	۱۰۲۰
R-Al-A	۲۲۰۰	R-Al-X	۲۳۵۰
R-Cu-A	۲۴۱۰	R-Cu-X	۲۲۵۰
R-Cr-A	۲۳۸۹	R-Cr-X	۲۵۵۰
W-Al-A	۱۹۹۱	W-Al-X	۲۰۲۵
W-Cu-A	۱۹۹۱	W-Cu-X	۲۲۳۶
W+Cr-A	۱۵۷۲	W-Cr-X	۲۰۸۰

جدول۴- مقادیر BOD5 نمونه‌های رنگرزی شده با مواد رنگزای طبیعی و دندانه‌های فلزی [۱۸].

نمونه	BOD (ppm)	نمونه	BOD (ppm)
G-Al-A	۸۷۱	G-Al-X	۱۳۳۰
G-Cu-A	۹۵۳	G-Cu-X	۱۵۲۰
G-Cr-A	۷۳۷	G-Cr-X	۱۰۵۰
R-Al-A	۱۲۹۸	R-Al-X	۱۷۸۰
R-Cu-A	۱۲۵۳	R-Cu-X	۱۳۷۰
R-Cr-A	۱۶۹۶	R-Cr-X	۱۵۷۵
W-Al-A	۱۱۷۴	W-Al-X	۵۳۵
W-Cu-A	۱۱۹۴	W-Cu-X	۷۳۰
W+Cr-A	۱۰۰۶	W-Cr-X	۷۰۰

نتایج حاصل از بررسی استحکام نیز نشان داد دی کرومات پتاسیم، بیشترین تأثیر منفی را بر روی نخ‌های پشمی عمل شده می گذارد. همچنین از میان مواد رنگزای طبیعی، نمونه‌های رنگرزی شده با روناس، بیشترین سطح آلایندگی را از خود نشان می‌دهد. (کد G: ماده رنگزای پوست گردو،کد R: ماده رنگزای روناس، کد W: ماده رنگزای اسپرک، کد A: رنگرزی پیش کرمی، کد X: رنگرزی همزمان) [۱۸].

در تحقیق دیگری، انادهان[1] و پراباهاران[2] اثرات زیست‌محیطی رنگرزی طبیعی با عصاره پوست انار را مورد بررسی قرار دادند. برای عصاره‌گیری، ۵ گرم پوست انار با ۱۰۰ میلی‌لیتر اب مقطر به مدت یک ساعت در دمای ۹۰ درجه با استفاده همزن مغناطیسی همزده شد. سپس محلول زرد رنگ حاصله با پارچه سفید پنبه‌ای فیلتر و محلول رقیق استخراج شده برای فرآیند رنگرزی استفاده شد. سپس دندانه‌دار کردن کالا با عصاره اکالیپتوس و همچنین دندانه‌های فلزی سولفات مس، سولفات آلومینیم و سولفات آهن انجام شد. نرم افزار ارزیابی چرخه زندگی (LCA) برای رنگرزی حدود یک تن پنبه با خواص ثباتی مطلوب، شرایط زیست‌محیطی را بررسی کرد. نتایج نرم افزار نشان داد که مقدار ۱۰۵×۱/۴۷ مترمکعب آب برای کشت پنبه، ۱۰۰ مترمکعب آب برای دندانه دادن، شستشو ، آهارزدائی و صابونی کردن کالا، ۴۲۰ کیلووات ساعت انرژی برای رنگرزی ، ۳۱۵ کیلووات ساعت برای عصاره‌گیری ماده رنگزا و ۲/۵ هکتار زمین برای کشت پنبه نیاز است [۱۹].

هندیانی[3] و همکارانش در سال ۲۰۱۸ رنگرزی باتیک را با ماده رنگزای طبیعی ایندیگو استان جاوا مرکزی اندونزی انجام داده و ارزیابی‌های کدورت، هدایت، TDS، COD، TSS و BOD5 بر روی نمونه‌ها صورت گرفت. نتایج پساب رنگرزی باتیک انجام شده با مواد رنگزای طبیعی موردنظر در جدول ۵ ارائه شده است. (ستون دوم جدول مربوط به پساب رنگرزی با ایندیگو است ستون سوم مربوط به اکسیداسیون (تثبیت) انجام شده با سولفات آلومینیم بعد از رنگرزی است ستون چهارم مربوط به پساب شستشوی محتوی واکس و کربنات سدیم است ستون پنجم مربوط به پساب مخلوط رنگرزی، تثبیت و شستشو است این پساب مخلوط با فرآیندهای مذکور با نسبت‌های ۵:۲:۳ تهیه شده اند. ستون ششم مربوط به فرآیند باتیک صنعتی ورودی به رودخانه یا خاک است). نتایج حاصله نشان می دهد که pH حمام رنگرزی ایندیگو و سولفات آلومینیم خنثی بوده در حالیکه برای حمام شستشوی حذف واکس، این معیار قلیائی بود و این بر pH پساب مخلوط تاثیرگذار بود. دیگر نتایج نشان می‌دهد که آلاینده‌های موجود در پساب به ویژه مواد جامد محلول، رنگ، کدورت و COD دارای سطح بالائی بوده اگرچه سطح BOD حمام ایندیگو، سولفات آلومینیم و

[1] Anandhan
[2] Prabaharan
[3] Handayani

پساب مخلوط در سطح مطلوبی قرار داشت [۲۰].

چان[1] و همکارانش، عملکرد پساب مواد رنگزای طبیعی برگ چای چینی و گل گلبرگ عصاره‌گیری شده و دندانه‌ها را با توجه به عوامل زیست‌محیطی بررسی کرده و انرا با پساب دندانه‌های فلزی مرسوم محتوی فلزات سنگین مقایسه کردند. در این تحقیق، از دو دندانه طبیعی پوست تخم مرغ و زردچوبه هم برای رنگرزی پشم استفاده کردند. مطالعات آنها نشان داد که نسبت COD/BOD5 پساب مواد رنگزای طبیعی تقریبا ۲ است که این یک نسبت مطلوب برای تصفیه پساب است. جدول‌های ۶ و ۷ نتایج BOD5 و COD مواد رنگزای طبیعی به همراه دندانه‌های مختلف را نشان می‌دهد. نتایج جدول ۶ نشان داد که BOD5 پساب ماده رنگزای چای در محدوده ۷۹۸/۵ الی ۴۷۵۵/۰۲ میلی گرم بر لیتر است. مقدار BOD5 به درجه تخمیر ماده رنگزای چای بستگی دارد به‌عنوان مثال ماده رنگزای چای تخمیر نشده Lung china مقدار BOD5 کمتری نسبت به ماده رنگزای چای تخمیر شده Black دارد. مقادیر BOD ماده رنگزای چای Tikuanyin و Oolong در حد متوسط بودند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که انواع مختلف دندانه‌ها تاثیر بسیار کمی بر روی BOD5 گذاشتند و این بدان معنا است که فلزات سنگین موجود در حمام در عملکرد باکتری‌ها در فرآیند تخریب مواد آلی در فرآیند بیوشیمیائی تاثیر نمی‌گذارند (منظور از NM و M در جداول ۶ و ۷ به ترتیب، پساب‌های مواد رنگزای بدون دندانه و پساب مواد رنگزای محتوی دندانه طبیعی استخراج شده از ضایعات می‌باشد).

نتایج جدول ۷، نشان می‌دهد که نتایج BOD می‌تواند به‌عنوان یک پاسخ جزئی برای پیش بینی مقدار COD در نظر گرفته شود. همچنین COD پساب ماده رنگزای چای در محدوده ۱۷۵۸/۲۱الی۴۷۹۰/۴۲ میلی گرم بر لیتر و پساب ماده رنگزای گل گلبرگ در محدوده ۲۸۹۴/۸۰ الی ۳۷۸۶/۹۸ میلی گرم بر لیتر می‌باشد [۲۱].

[1] Chan

جدول ۵- مشخصات پساب رنگرزی باتیک انجام شده با مواد رنگزای طبیعی [۲۰].

پارامترها (واحد)	ایندیگو	سولفات آلومینیم	فرآیند حذف واکس (شستشو)	پساب مخلوط‌شده رنگرزی	پساب خروجی از لوله	حد مجاز (بانک جهانی ۱۹۹۹)
pH	۷	۶/۵	۹/۸	۹/۴	۶/۷	۶-۹
TDS (mg/l)	۱۰۶۰	۳۲۰	۵۴۰	۷۶۰	۱۴۷۰	-
TSS (mg/l)	۱۹۳۰	۷۵۰	۱۴۰۰	۱۸۹۰	۲۴۰۰	۵۰
رنگ (PtCo)	۴۱۹۰	۲۹۹۰	۲۸۷۰	۳۹۷۰	۱۵/۲۷۰	-
کدورت	۷۷	۵۸۰	۵۲۰۰	۷۴۰	۱۴۵۰	-
COD (mg/l)	۶۶۴۰	۱۲۸۰	۶۹۶۰	۵۲۸۰	۴۰۰۰	۲۵۰
BOD5 (mg/l)	۷۵	۲۰/۲	۲۱/۲	۲۷۸	۲۰۹	۵۰
BOD5/COD	۰/۰۱۱	۰/۰۱۵	۰/۰۰۳	۰/۰۵۳	۰/۰۵۲	۰/۲

جدول ۶- BOD5 مواد رنگزای طبیعی به همراه دندانه‌های مختلف [۲۱].

		NM	Al	Cu	Fe	Cr	Ti	M
Tea dye	Lung Ching	۱۰۰۸/۳۸	۱۲۷۵/۳۸	۱۱۱۹/۳۸	۱۰۶۲/۳۸	۱۰۵۳/۳۸	۱۱۸۲/۳۸	۱۱۰۱/۳۸
	Tikuanyin	۱۵۰۳/۵۰	۸۸۵/۵۰	۷۹۸/۵۰	۱۰۱۷/۵۰	۱۲۲۴/۵۰	۱۰۷۴/۵۰	۹۶۹/۵۰
	Oolong	۳۳۰۶/۰۲	۲۳۲۲/۰۲	۲۵۱۴/۰۲	۱۹۴۴/۰۲	۲۲۴۴/۰۲	۲۹۱۰/۰۲	۳۰۴۵/۰۲
	Black	۴۷۵۵/۰۲	۲۳۰۴/۰۲	۲۵۰۸/۰۲	۲۴۷۲/۰۲	۲۸۸۶/۰۲	۳۱۸۶/۰۲	۳۳۳۶/۰۲
Flower petal dye	Rose	۱۸۶۱/۳۹	۲۰۳۵/۳۹	۱۸۶۱/۳۹	۱۷۳۵/۳۹	۲۰۱۷/۳۹	۲۲۶۹/۳۹	۱۳۲۳/۰۲
	Carnation	۱۹۷۵/۳۹	۲۰۸۳/۳۹	۱۹۹۹/۳۹	۱۹۶۹/۳۹	۲۴۰۷/۳۹	۲۲۰۹/۳۹	۱۷۷۰/۰۲

جدول۷- COD رنگینه‌های طبیعی به همراه دندانه‌های مختلف [۱۵].

		NM	Al	Cu	Fe	Cr	Ti	M
Tea dye	Lung Ching	۱۸۶۱/۰۸	۱۷۵۸/۲۱	۲۰۷۶/۱۸	۲۰۱۰/۷۲	۲۱۴۱/۶۵	۲۲۵۳/۸۷	۱۹۰۰/۰۸
	Tikuanyin	۲۹۲۴/۸۶	۲۱۶۲/۲۴	۲۰۸۱/۵۰	۲۱۷۱/۲۲	۲۵۳۰/۰۹	۲۲۷۸/۸۸	۲۱۰۰/۲۲
	Oolong	۴۳۹۷/۶۱	۴۵۶۰/۴۸	۳۷۸۴/۴۳	۴۲۷۳/۰۵	۳۸۸۰/۲۴	۴۱۳۸/۹۲	۴۵۶۰/۴۸
	Black	۴۲۹۲/۲۲	۴۱۸۶/۸۳	۴۲۶۳/۴۷	۴۲۹۲/۲۲	۴۳۲۰/۹۶	۴۷۹۰/۴۲	۴۵۷۹/۶۴
Flower petal dye	Rose	۳۵۳۱/۳۶	۳۱۵۲/۶۶	۳۱۹۰/۵۳	۳۰۴۸/۵۲	۳۰۷۶/۹۲	۳۴۲۷/۲۲	۲۹۹۶/۵۳
	Carnation	۳۲۸۵/۲۱	۳۳۲۳/۰۸	۳۳۹۸/۸۲	۳۳۷۹/۸۸	۳۷۸۶/۹۸	۳۳۵۱/۴۸	۲۸۹۴/۸۰

الساهیدا[1] و همکارانش، پایداری استفاده از مواد رنگزای طبیعی را در صنعت نساجی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها برای این منظور پیشنهاد دادند به جای استفاده از دندانه‌های حاوی فلزات سنگین در مواد رنگزای طبیعی از مواد شبه دندانه دوست‌دار محیط‌زیست استفاده شود. همچنین این محققین ادعا کردند استفاده از تانن می‌تواند جایگزین دندانه برای فرآیند رنگرزی با مواد رنگزای طبیعی شود.[۲۲].

استیوارت[2] نیز در تحقیقی در سال ۲۰۱۷ یک مطالعه تطبیقی درباره اثرات محیطی سیستم‌های رنگرزی استاندارد با استفاده از مواد رنگزای طبیعی و مصنوعی بر پارچه پنبه حلقوی انجام داد. مواد رنگزا از لحاظ مصرف آب، انرژی، بازده رنگرزی، هزینه‌ها و اثرات زیست‌محیطی مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج مطالعه این محقق نشان می‌دهد که برای هر یک کیلوگرم پنبه برای تهیه چند تی شرت، حدود ۱۴۰ لیتر آب برای آماده‌سازی، رنگرزی و آبکشی با مواد رنگزای طبیعی نیاز است در حالیکه اگر این فرآیندها با مواد رنگزای مصنوعی انجام شود حدود ۱۰۰ لیتر آب نیاز دارد. اگر هر کیلوگرم پنبه برای تهیه ۶ تی شرت استفاده شود در رنگرزی با مواد رنگزای طبیعی حدود ۲۳ لیتر و در رنگرزی با مواد رنگزای مصنوعی حدود ۱۷ لیتر آب نیاز است. همچنین ایشان ادعا کرد مواد رنگزای طبیعی برای رسیدن به فام‌های مشابه مواد رنگزای‌های مصنوعی حدود ۳۰٪ آب بیشتر نیاز دارند [۲۳]. همچنین در این راستا، سانتوس[3] مطالعاتی در رابطه با اصلاحات ساختاری و خواص زیست‌محیطی مواد رنگزای طبیعی انجام داد [۲۴].

[1] Elsahida
[2] Stewart
[3] Santos

۷- نتیجه‌گیری

صنعت نساجی یکی از مهم‌ترین صنایعی است که مسئولیت اصلی در اقتصاد بسیاری از کشورها را ایفا می‌کند. واحدهای رنگرزی صنعت نساجی مقدار زیادی پساب، لجن و مواد جامد زائد تولید می‌کنند و مخلوط پیچیده‌ای از مواد شیمیائی آلی و معدنی خطرناک وارد محیط‌زیست می‌کنند. بیشتر آلودگی‌های موجود در پساب رنگرزی مانند ترکیبات رنگی، کدورت، TSD، DS، BOD5، COD و فلزات سنگین از حد مجاز استاندارد سازمان‌های مختلف تجاوز می‌کند. مقادیر بالای COD، TDS و EC بیانگر سمیت زیاد پساب است که می‌تواند یک تهدید جدی برای سلامتی انسان و محیط‌زیست محسوب شود. یکی از مواد آلاینده در رنگرزی منسوجات، مواد رنگزای مصنوعی عمدتا سمی و سرطان‌زا می‌باشند ولی استفاده از مواد رنگزای طبیعی بدون دندانه‌های فلزی به جای آنها می‌تواند مشکلات زیست‌محیطی پساب صنعت نساجی را کاهش دهد اگرچه بکارگیری یون‌های فلزی در رنگرزی با مواد رنگزای طبیعی می‌تواند باعث مشکلات محسوس زیست‌محیطی شود. پایداری استفاده از مواد رنگزای طبیعی در صنعت نساجی از جنبه‌های اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی بسیار مورد بحث قرار گرفته است. نتایج مطالعات انجام شده نشان می‌دهد استفاده از دندانه‌های فلزی مرسوم مخصوصا دی کرومات پتاسیم در رنگرزی منسوجات با مواد رنگزای طبیعی می‌تواند میزان BOD5 و COD پساب را افزایش دهد هر چند تاثیر آن‌ها بر BOD5 کمتر از COD می‌باشد. معمولا نسبت COD/BOD5 در رنگرزی با مواد رنگزای طبیعی حدود ۲ است. علاوه بر این، استفاده از دندانه‌های زیستی و تانن ها می‌تواند راهکار مناسبی برای کاهش مشکلات زیست‌محیطی پساب رنگرزی با مواد رنگزای طبیعی باشد.

۸- مراجع

1. T. Karthik , R. Rathinamoorthy, "Recycling and reuse of textile effluent sludge", Springer science, 213-257, Doi: 10.1007/978-981-287-643-0_9, **2015**.
۲. م. خواجه مهریزی، ز. شاهی، "مطالعه عومل موثر بر حذف فلزات سنگین از پساب با استفاده از مواد جاذب (زیستی- طبیعی)"، نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ، ۹، ۲۶-۱۵، **۱۳۹۸**.
3. A. Kaur, S. Sharma, "Removal of heavy metals from waste water by using various adsorbents- a review", Ind. J. Sci. Techno. 10, 1-14, **2017** .
4. V. V. Iyer, "Embrace a Gift of Nature: A Proposal for Commercializing Natural Eco-Dyes for the Textile Industry", https://www.law.georgetown.edu/environmental-law-review/wp-content/uploads/sites/18/2019/12/Embrace-a-Gift-of-Nature-A-Proposal-for-Commercializing-Natural-Eco-Dyes-for-the-Textile-Industry.pdf, **2019**.
۵. چالکش امیری، "*اصول تصفیه اب و پسابهای صنعتی*"، دانشگاه پیام نور، **۱۳۸۹**.
6. P. Ray," Environmental pollution and cancer", J. Sci. Ind. Res. 45, 370–376, **1986**.
7. EG. Solozhenko, N. Soboleva, V. Goncharuk, "Decolorization of azo dye solutions by fenton oxidation", Water Res. 29, 2–7, **1995**.
8. T. Karthik, D. Gopalakrishnan, "Impact of textiles on environmental issues, Part—III", Asian Dyer, 9, 40–43, **2013**.
9. O. Bello, A. Inyinbor, A. Dada, A. Oluyori, "Impact of Nigerian textile industry oneconomy and environment: a review", Int. J. Basic Appl. Sci. 13, 98–106, **2013**.
10. S. Saxena, A. S. M. Raja, "*Natural Dyes: Sources, Chemistry, Application and Sustainability Issues*", Springer, Sangapour, 37-80, **2014**.
۱۱. ا. حاجی، رنگزاهای طبیعی، علم و فناوری، دانشگاه آزاد اسلامی بیرجند، بیرجند، ایران، **۱۳۹۵**.
12. D. Sharma, "Pigment extraction from Fungus for textile dyeing", Indian J. Fiber & Text. Res. 37, 68-73, **2012**.
13. F. Alihosseini, "Biosynthesis of colorants from microorganisms and their application on textile materials", agricultural and environmental chemistry", University of colifornia Davis, **2009**.

14. S. S. Muthu, *Handbook of sustainable apparel production*, CRC press, 333-350, **2015**.
15. T. Sajed, A. Haji, M. Khajeh Mehrizi, M. Nasiri Boroumand, " Modification of wool protein fiber with plasma and dendrimer: Effects on dyeing with cochineal", I. J. Bio. Macr. 107, 642-653, **2018**.
16. N. Ashrafi, K. Gharanjig, M. Hosseinnezhad, M. Khajeh Mehrizi, H. Imani, N. Razani, "Dyeing Properties and Color Fabrics Using Natural Dye and Mordant", Prog. Color Colorants Coat. 11, 79-83, **2018**.
17. D. A. Yaseen1, M. Scholz, " Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic efuents: a critical review", Int. J. Sci. Environ. Technol. 16, 1193–1226, **2019**.
۱۸. م. خواجه مهریزی، س. م. طباطبائی، م. توانا، "بررسی میزان الایندگی پساب رنگرزی با رنگزاهای طبیعی"، همایش ملی مواد رنگزا، محیط زیست و توسعه پایدار، تهران، ایران، **۱۳۹۷**.
19. M. Anandhan, T. Prabaharan, "Environmental Impacts of Natural Dyeing Process Using Pomegranate Peel Extract as a Dye", Int. J. Appl. Eng. Res. 13, 7765-7771, **2018**.
20. W. Handayani, A. I. Kristijanto, A. R. Hunga, "Are natural dyes eco-friendly? A case study on water usage and wastewater characteristics of batik production by natural dyes application", Sustainable Wat. Man. Doi:10.1007/s40899-018-0217-9, **2018**,
21. P.M. Chan, C.W.M. Yuen, K.W. Yeung, "The effect of natural dye effluent on the environment", Res. J. Tex. Apparel. 6, 57-62, **2002**.
22. K, Elsahida, A. M., Fauzi, I, Sailah, I. Z., Siregar, "Sustainability of the use of natural dyes in the textile industry", IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 399, 1-8, **2019**.
23. Ch. W. Stewart, "A Comparative study of the environmental impacts of standardized dyeing systems using natural and synthetic dyes on knitted cotton fabric", Ph.D. thesis, North carolina state university, USA, **2017**.
24. T.C. Santos, "Natural Dyes: Structure Modification and Environmental Properties", Ph.D. thesis, North Carolina State University, USA, **2018**.