

مروری بر استفاده از مواد سفیدکننده نوری در صنعت نساجی

فاطمه طاهری^۱، مهدی صفی^{۲*}، راضیه جعفری^۲

۱- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه کار قزوین، قزوین، ایران، کد پستی: ۳۴۳۱۸۴۹۶۸۹.

۲- استادیار، گروه پژوهشی فیزیک رنگ، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵۴-۶۵۴.

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۱۲ تاریخ بازبینی نهایی: ۹۸/۰۹/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۱۶ در دسترس بصورت الکترونیک: ۹۸/۱۰/۰۲

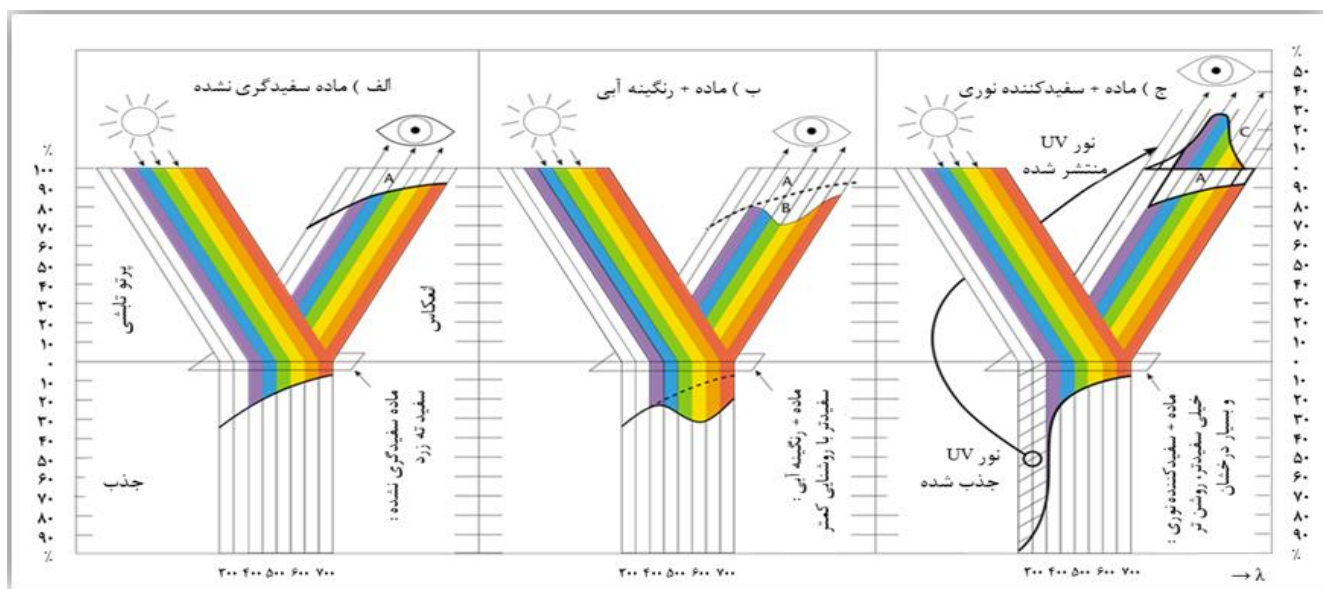
چکیده

سفیدکننده‌های نوری ترکیبات آلی بی‌رنگی هستند که بر اساس سازوکار فلورسنسی، پرتو فرابنفش خورشید (UV) را جذب و آن را در طول موج بالاتر (ناحیه آبی طیف مرئی) منتشر می‌کنند. این مواد ظاهر سفید فزاینده‌ای در اجسام و از جمله منسوجات ایجاد می‌کنند. استفاده از مواد سفیدکننده نوری با مقادیر اندک در منسوجات می‌تواند با بهبود خواص انعکاسی پارچه در ناحیه طیف مرئی، سفیدی قابل درکی را به عنوان سفید واقعی برای تمیزی و دلپذیر نشان دادن ظاهر منسوجات فراهم کند. بکارگیری گسترده از سفیدکننده‌های نوری در صنعت نساجی، علاوه بر صنایع دیگر نظیر شوینده‌ها، صنایع آرایشی و بهداشتی، کاغذسازی، چاپ، رنگ‌های پوشاننده سطوح و غیره موجب شده تا این مواد نقشی انکارناپذیر در زندگی روزمره ایفا کنند. کارایی این مواد همچون سایر رنگ‌ها تحت تاثیر عوامل مختلف است. این مواد غالباً بر پایه استیلبن، کومارین، پیرازولین، نفتالیمید و نفتوکسازولین بوده که کاربردهای متفاوت و تمایل به الیاف مختلف را موجب می‌شود. بنابراین، با توجه به اهمیت بالای تجاری این مواد، بررسی سازوکار سفیدگری، ساختارهای شیمیایی و همچنین خطرات احتمالی آن ضروری و همواره مورد بحث می‌باشد. این مقاله با هدف شناسایی بیشتر سفیدکننده‌های فلورسنت در صنعت نساجی به نحوه عملکرد و طبقه‌بندی، کاربرد و ویژگی‌ها، عوامل موثر بر کارایی، بازار تجاری و در پایان به اثرات زیست‌محیطی آنها می‌پردازد.

واژه‌های کلیدی

مواد سفیدکننده نوری، خاصیت فلورسنسی، ساختار شیمیایی، اثرات زیست‌محیطی.

چکیده تصویری





A Review on the Application of Optical Brightener Agents in Textile Industry

Fatemeh Taheri¹, Mahdi Safi^{2*}, Razieh Jafari²

1- Department of Textile Engineering, Kar Higher Education Institute, P. O. Code: 3431849689, Qazvin, Iran.

2- Color Physics Department, Institute for Color Science and Technology, P. O. Box:16765-654, Tehran, Iran.

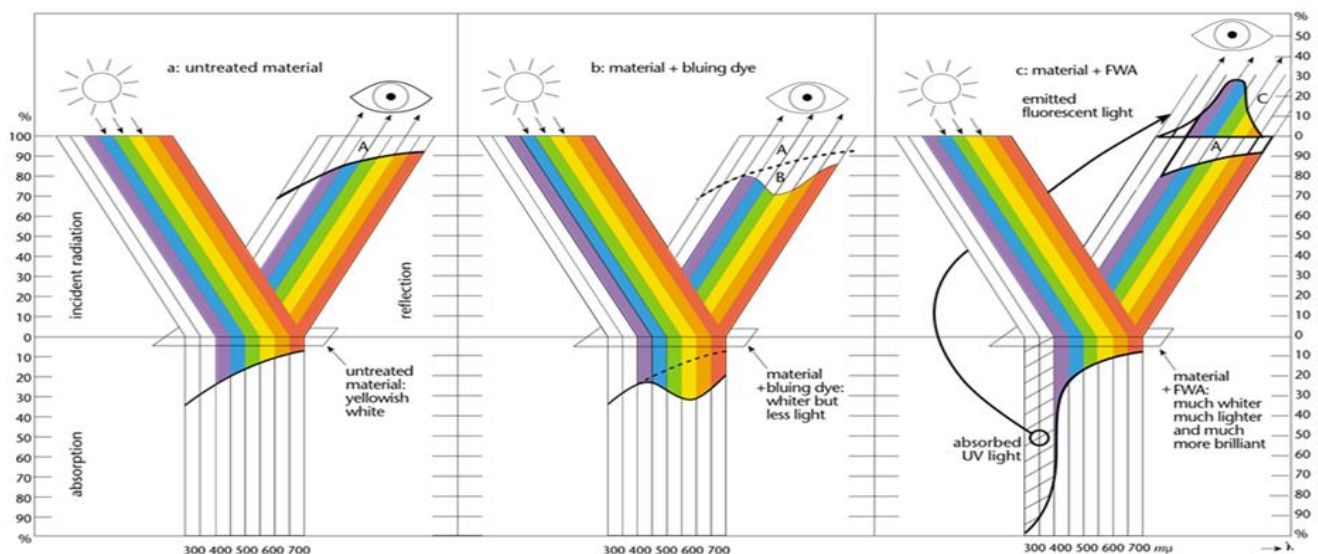
Abstract

Optical brighteners are colorless organic compounds that, with fluorescent mechanism, absorb the sun's ultraviolet (UV) radiation and emit it at a higher wavelength (blue area of the visible spectrum). The use of optical brightener agents in small quantities can improve the reflective properties of the fabric in the visible spectrum, providing a perceptible white appearance as real white for a clean and pleasant appearance of textile. The widespread use of optical brightener agents in other industries such as detergents, cosmetics, paper, printing, coatings, etc. has made these materials an undeniable role in everyday life. The performance of these materials, like other colorants, is affected by various factors. These materials are often based on stilbene, coumarin, pyrazoline, naphthalimide and naphthoxazoline, giving different applications and affinities to different fibers. Therefore, due to the high commercial importance of these materials, investigation of bleaching mechanism, chemical structures as well as their potential hazards is necessary and always discussed. This article aims to identify more about fluorescent brighteners in the textile industry in terms of performance and classification, application and properties, factors affecting efficiency, commercial market and finally environmental impacts of them.

Keywords

Optical brightener agents, Fluorescent property, Chemical structure, Environmental impacts.

Graphical abstract



۱- مقدمه

صنعت نساجی به عنوان یکی از مهم‌ترین صنایع در عرصه تولید پارچه و پوشاک ۱۵ تا ۲۰ درصد محصولات خود را به صورت سفید به بازار عرضه می‌کند. لذا تولید مواد اولیه سفید مناسب در صنعت نساجی به منظور ایجاد اثر روشنایی مطلوب از نظر زیبایی و ایجاد پایه مناسب برای رنگرزی و چاپ بخصوص در ارتباط با الیاف طبیعی، از اهمیت بالایی برخوردار است [۱]. سفیدی یک ویژگی رنگی از انعکاس نورهای با روشنایی^۱ بالا و خلوص^۲ پایین در یک ناحیه باریک از فضا رنگ و تقریباً در امتداد طول موج های ۴۷۰ تا ۵۷۰ نانومتر می‌باشد که با مفاهیمی چون خلوص، پاکیزگی^۳ و شفافیت در هم آمیخته بوده بطوریکه بر کیفیت، ویژگی‌های ظاهری و قیمت نهایی کالا تاثیر بسزایی دارد. سفیدی علاوه بر القا سادگی و خلوص، نشان‌دهنده عاری بودن از آلاینده‌ها است، از این رو یکی از راه‌های کنترل کیفیت برخی محصولات از نظر تمیزی، اندازه‌گیری میزان سفیدی آنها می‌باشد [۳، ۲]. شکل ۱ موقعیت سفید را در سیستم مانسل نشان می‌دهد. سفیدها در بالاترین نقطه که دارای بیشترین مقدار روشنایی و فقدان اشباع^۴ و فام^۵ می‌باشد واقع شده‌اند. به طوری که تنها حدود ۳٪ از حجم فضا رنگ CIELAB به رنگ های سفید و نزدیک به آن اختصاص دارد اما اهمیت نسبی آن‌ها بسیار بزرگ‌تر از حجم کوچک آنهاست به گونه ای که در حدود ۵۰۰۰ نمونه سفید قابل تشخیص شناخته شده است [۳، ۴].

با پیدایش سفیدکننده‌های نوری و کارآمد بودن این مواد در زمینه سفیدگری اجسام، به‌ویژه در صنعت نساجی، نگرشی جدید در ارتباط با مفاهیم سفیدی، ارزیابی و کارایی آنها پدید آمد. سفیدکننده‌های نوری با داشتن عملکردی متفاوت از سایر مواد سفیدکننده، با ساختارها و ویژگی‌های مختلف در طبقه‌بندی‌های متفاوتی جای‌گرفته و دارای کاربردهای متنوعی می‌باشند و عوامل گوناگونی بر عملکرد و کارایی آن‌ها تاثیرگذار است [۳].

۲- سفیدی

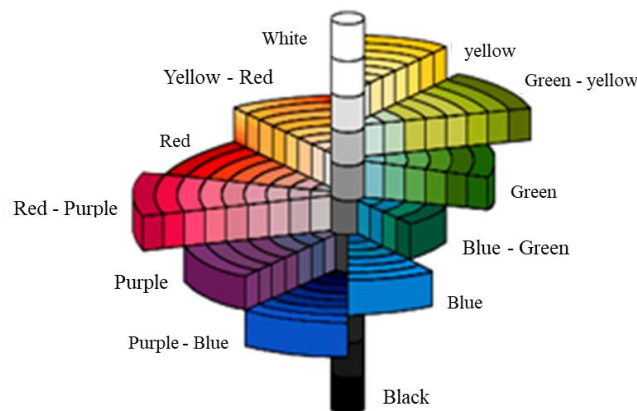
در علم فیزیک اجسامی که بتوانند تمام نور تابیده شده به خود را بطور ۱۰۰٪ منعکس کنند یا به‌عبارت دیگر در تمامی طیف مرئی انعکاس یکسان و یکنواخت و کامل داشته باشند سفید ایده‌آل نامیده می‌شوند [۶]. اما این قابلیت تنها در اجسام معدودی مانند اکسیدهای منیزیم، سرب و سولفات باریم و آن هم نه بطور کامل وجود دارد. لذا در تعریفی واقعی‌تر به سطحی سفید گفته می‌شود که بیش از ۷۰٪ نور مرئی تابیده شده به خود را منعکس کند و هر چه این انعکاس در سطح بالاتر و در طول طیف مرئی یکدست‌تر باشد جسم سفیدتر به نظر می‌رسد [۳].

۲-۱- اهمیت سفیدگری

الیاف طبیعی نظیر پنبه، کتان، پشم و ابریشم به دلیل وجود رنگدانه‌ها و دیگر ناخالصی‌ها، همچنین بسیاری از الیاف مصنوعی شامل اغلب پلی‌آمیدها، پلی‌استرها و پلی‌اکریلونیتریل‌ها به دلیل جذب بیشتر نور طیف مرئی در ناحیه آبی، کاملاً سفید نبوده و دارای ته رنگ زرد می‌باشند. به گونه‌ای که منحنی انعکاسی آنها در ناحیه بنفش تا آبی (۴۵۰-۴۰۰ نانومتر) کاهش یافته و منجر به شید سفید با ته رنگ زرد روی الیاف می‌گردد [۴].

در عملیات شستشوی پارچه با وجود اینکه مقدار زیادی از واکس‌ها، ناخالصی‌ها و آلودگی‌های ظاهری الیاف برطرف می‌گردد اما به دلیل باقی‌ماندن ته رنگ زرد بر روی پارچه و القا حس کثیفی، زیبایی پارچه کاهش می‌یابد [۷]. بنابراین عملیات سفیدگری به منظور از بین بردن رنگدانه‌ها و ناخالصی‌ها و در نتیجه سفید جلوه دادن و به تبع آن افزایش زیبایی پارچه بخصوص جهت ایجاد شیدهای روشن و شفاف انجام می‌گیرد. سفیدگری پنبه به عنوان یکی از با اهمیت‌ترین الیاف طبیعی مورد استفاده در صنعت نساجی بسیار مهم‌تر از سفیدگری پشم می‌باشد، چون درصد بالایی از پشم بصورت کالای رنگی به بازار عرضه می‌گردد. ولی در مقابل، مقدار زیادی از پارچه‌های پنبه‌ای بصورت سفید و یا پارچه‌های چاپ شده با زمینه سفید مورد استفاده قرار می‌گیرد. بطور کلی رنگ نهایی محصول و کاربرد آن تعیین‌کننده لزوم و میزان سفیدگری کالا می‌باشد [۷].

- 1 Lightness
- 2 Chroma
- 3 Cleanliness
- 4 Saturation
- 5 Hue



شکل ۱- جایگاه نمونه‌های سفید در فضا رنگ مانسل [۵].

مقاله

۲-۲-۲- انواع روش‌های سفیدگری

۲-۲-۲-۱- روش سنتی

پیشینه سفیدگری بر روی پارچه به ۵۰۰۰ سال پیش از میلاد مسیح بر می‌گردد. زمانیکه برای کسب اثر سفیدی پارچه را شسته و به منظور برطرف کردن رنگ‌ها و لکه‌ها آنها را در معرض نور آفتاب قرار می‌دادند [۸]. استفاده از این روش تا به امروز در برخی مناطق و به شیوه سنتی ادامه دارد. به طوری که یکی از روش‌های رنگبری فرش‌های دستباف صادراتی و یا سفیدگری پارچه‌های قلمکار، استفاده از نور آفتاب می‌باشد. استفاده از رنگ‌های آبی و بنفش نظیر نیل یا همان لاجورد از دیگر روش‌های سنتی بوده که از دیر باز جهت کاهش زردی و به تبع افزایش اثر سفیدی به مواد شستشوی پارچه افزوده می‌شده و با وجود کاهش روشنایی، افزایش انعکاس در ناحیه آبی و بنفش را به همراه داشته است. این روش همچنان به عنوان یک روش مکمل در عملیات سفیدگری استفاده می‌گردد [۹].

۲-۲-۲-۲- روش کاربرد مواد شیمیایی

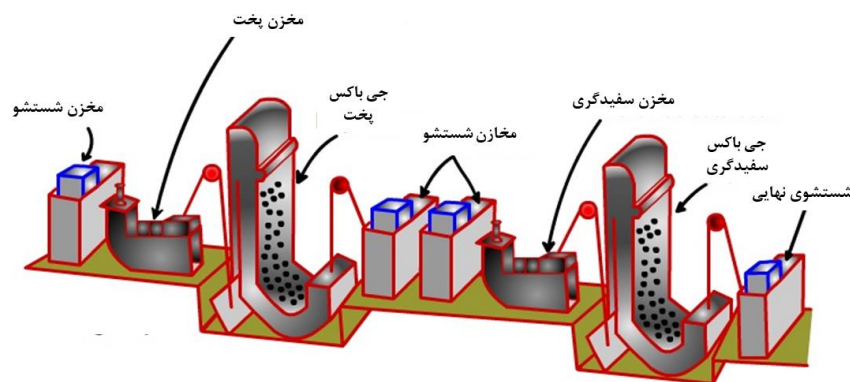
سفیدگری با استفاده از مواد شیمیایی با تولید پودرهای سفیدگری در سال ۱۷۹۹ آغاز گردید [۸] و با استفاده از مواد اکسیدکننده مانند هیپوکلریت‌ها (NaOCl, CaOCl)، پراکسیدها (H₂O₂, NaO₂)، کلریت سدیم (NaO₂Cl) و یا پرمنگنات پتاسیم (KMnO₄) و احیاکننده‌ها نظیر بی‌سولفیت سدیم (NaHSO₃) و هیدروسولفیت سدیم (Na₂S₂O₄) و نظایر آن گسترش یافت. در میان فرآیندهای بالا سفیدگری با آب اکسیژنه به طور گسترده‌ای برای الیاف سلولز طبیعی نظیر پنبه، کتان، کف و همچنین پارچه‌های پروتئینی مانند پشم و ابریشم استفاده می‌گردد. بنابراین موقعیت غالب خود را به دلیل تجزیه‌پذیر بودن در معرض آب و اکسیژن هوا به عنوان یک سفیدکننده بی‌خطر برای محیط‌زیست به دست آورده است [۱۰]. سفیدگری با آب اکسیژنه می‌تواند هم‌زمان با عملیات پخت و گاهی بعد از آن، با سه روش مختلف غیرمداوم، نیمه‌مداوم و مداوم انجام گیرد. میزان مصرف آب اکسیژنه بر اساس روش بکار برده شده، وزن پارچه و میزان سفیدی قابل انتظار از پارچه متفاوت است. به طور مثال برای سفیدگری پارچه پنبه‌ای سنگین، می‌توان آن را با محلولی حاوی ۱۲/۵ g/L از NaOH(42 Be°) و ۲۷g/L از H₂O₂ (۳۵٪) به همراه ۲ g/L صابون، ۱ g/L نفوذ دهنده، ۱۰ g/L پایدارکننده نظیر سیلیکات سدیم و ۱ g/L سختی‌گیر آلی با برداشت ۷۰

تا ۹۰٪ پدکرده و سپس در بخار ۹۶ °C به مدت ۱۰ دقیقه عمل داده و بعد از شستشو خشک نمود [۹]. شکل ۲ یکی از جدیدترین ماشین آلات سفیدگری به روش مداوم شرکت دوپونت به نام جی باکس^۱ را نشان می‌دهد [۱۱]. قسمتی از این ماشین که پارچه در آن انباشته می‌شود به شکل حرف J انگلیسی می‌باشد. در این ماشین پارچه پس از آغشته‌شدن به محلول سفیدگری و عبور از غلتک‌های فولاد، از داخل یک لوله حرارتی که توسط بخار گرم می‌شود، عبور کرده و در نهایت برای مدت مشخصی در مخزن جی باکس ماشین باقی می‌ماند. پس از پایان زمان لازم پارچه از دماغه مخزن خارج شده و وارد قسمت شست و شو و سپس خشک‌کن می‌گردد [۱۱].

با وجود اینکه عملکرد تمامی سفیدکننده‌های فوق بر اساس حذف زردی و ته‌رنگ‌های نامناسب از روی پارچه می‌باشد، اما هیچیک نمی‌تواند اثر زردی را بطور کامل برطرف کرده و یک سفید درخشان ایجاد کند. علاوه بر این مشکلاتی مانند آلودگی‌های شیمیایی در ارتباط با محیط‌زیست و سلامت کارگران در معرض این مواد، خوردگی دستگاه‌ها، اثر تخریبی روی برخی پارچه‌ها، عدم پایداری برخی از آنها طی نگهداری و هنگام مصرف، همچنین صرف هزینه و ایجاد شرایط خاص برای استفاده هر یک از آنها موجب شده تا استفاده برخی از آنها محدودتر شده و به سمت سفیدکننده‌های نوین پیش رود [۶].

۲-۲-۳- روش‌های نوری (کاربرد مواد سفیدکننده نوری)

سفیدکننده‌ها یا درخشان‌کننده‌های نوری^۲ که به سفیدکننده‌های فلورسنتی^۳ یا درخشان‌کننده‌های فلورسنتی^۴ نیز شناخته می‌شوند، مواد رنگزای بی‌رنگی هستند که با دارا بودن خاصیت فلورسنتی از دسته مواد انتقال دهنده انرژی بوده و با جذب طول موج‌های پایین در نواحی فرا بنفش (۳۷۰-۳۴۰ نانومتر) و نشر آنها در نواحی طول موج‌های پایین طیف مرئی بخصوص نواحی محدود به فام آبی (محدوده ۴۷۰-۴۲۰ نانومتر) منجر به درک سفیدی قابل توجهی از اجسام می‌شوند [۱۲، ۱۳].



شکل ۲- نمای شماتیک از عملیات پخت و سفیدگری به روش مداوم در ماشین جی باکس [۱۱].

¹ J.Box

² Optical brighteners

³ Fluorescent whitening agents

⁴ Fluorescent brightening agents

نساجی به کار می‌روند اغلب هنگام پخت و سفیدگری و یا تکمیل به کالای نساجی اضافه می‌شوند. سفیدکننده‌های نوری همچنین در رنگری توده‌ای^۳ و در طول پلیمریزاسیون الیاف مصنوعی به پلیمر اولیه افزوده می‌شوند که در این حالت اثر فلورسنس بطور یکسان در تمامی قسمت‌های الیاف ایجاد می‌شود درحالیکه در روش رنگری اثر فلورسنس از سطح لیف تا مرکز لیف کاهش می‌یابد [۱۶، ۱۷].

الف) پلی استر

سفیدکننده‌های فلورسنت که بر روی پلی‌استر بکار می‌روند در آب نامحلول بوده و مانند یک ماده رنگزای دیسپرس در پارچه نفوذ می‌کنند. این مواد بوسیله نیروی واندروالس در لیف نگهداری می‌شود. سفیدکننده‌های فلورسنت دیسپرس می‌تواند به روش‌های رمق‌کشی، پد ترموزول و پد بخار بر روی پارچه پلی‌استر بکار گرفته شوند [۱۶].

ب) اکریلیک

برخلاف ظاهر سفید اکریلیک معمولی برخی از انواع آن دارای ته رنگ زرد و حتی مایل به قهوه‌ای بوده که نیاز به سفیدگری شیمیایی دارد. میزان زردی ناشی از ناپایداری حرارتی اکریلیک در ارتباط با برخی از مواد سفیدکننده شیمیایی می‌تواند توسط سفیدکننده‌های نوری کاهش یابد. پلی‌اکریلونیتریل با داشتن گروه‌های آنیونی به سفیدکننده‌های فلورسنت کاتیونیک تمایل نشان می‌دهد. این سفیدکننده‌های فلورسنت به روش‌های رمق‌کشی، پد بخار، پد رول و همچنین شوک اسیدی بر روی اکریلیک بکار گرفته می‌شوند. پلی‌استرهای شامل گروه‌های آنیونیک نیز می‌توانند مانند اکریلیک با سفیدکننده‌های فلورسنت کاتیونی سفیدگری شوند که در این حالت ثبات نوری بالاتری نسبت به اکریلیک خواهند داشت [۱۶، ۱۷].

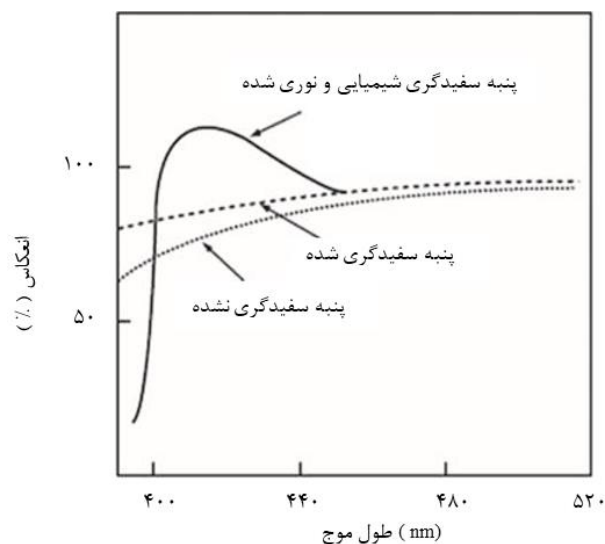
شکل ۳ رفتار جذب و انتشار یک ماده سفیدکننده نوری را در محدوده طیف مرئی و فرابنفش نشان می‌دهد. به طور مطلوب پارچه یا هر جسمی که با روشن‌کننده‌های فلورسنتی عمل شود، شید آن درخشان‌تر^۱ و تازه‌تر^۲ به نظر می‌رسد. از آنجا که منحنی انعکاسی یک سفید معمولی هیچگاه بطور کامل به ۱۰۰٪ نمی‌رسد، استفاده از این مواد می‌تواند موجب ایجاد یک منحنی انعکاسی با بازتابش نزدیک به ۱۰۰٪ و حتی در ناحیه آبی فراتر از ۱۰۰ درصد شده و منجر به ایجاد یک اثر سفیدی مضاعف و درخشان بر ظاهر جسم گردد. از این رو این سازوکار موجب ایجاد دیدگاهی نوین از مفاهیم سفیدی می‌گردد. این مسئله در شکل ۴ کاملاً مشهود است [۱۵].

مواد سفیدکننده نوری در صنعت نساجی، به منظور کاهش هزینه‌ها، صرفه‌جویی در مصرف آب و کاهش مشکلات زیست‌محیطی غالباً هم‌زمان با عوامل سفیدکننده شیمیایی بر روی پارچه‌ها به کار برده می‌شوند بدون آنکه به ظاهر بافت و کیفیت منسوج صدمه‌ای وارد کنند. لذا در فرآیندهای مداوم سفیدکننده‌های نوری می‌توانند به طور هم‌زمان با آب اکسیژنه بر روی پارچه به کار گرفته شوند. در حالی که در صورت استفاده از کلریت سدیم، این مواد بعد از اتمام سفیدگری شیمیایی به کار برده می‌شود [۹].

۲-۳-۱- سفیدکننده‌های نوری در الیاف مصنوعی

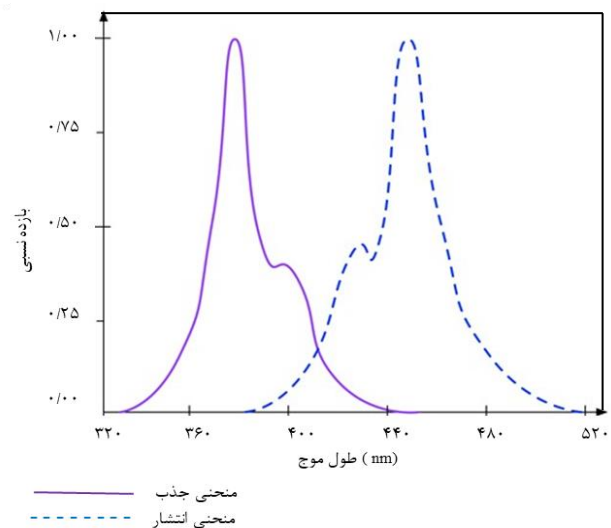
از آنجا که الیاف مصنوعی عمدتاً به صورت سفید تولید شده و دارای ناخالصی بسیار کمی هستند اغلب نیاز به سفیدگری ندارند و در صورت لزوم مواد سفیدکننده شیمیایی بر روی آنها به کار گرفته می‌شود. لذا تنها برای ایجاد اثر سفیدی بیشتر می‌توان از مواد سفیدکننده نوری بر روی الیاف مصنوعی استفاده کرد. سفیدکننده‌های نوری که در صنعت

³ Mass dyeing



شکل ۴- منحنی انعکاسی پارچه پنبه‌ای سفیدگری نشده، سفیدگری شیمیایی‌شده و سفیدگری نوری شده [۱۵].

¹ Brighter
² Fresher



شکل ۳- نمودار جذب و انتشار یک ماده فلورسنت [۱۴].

ج) نایلون

از آنجا که عمل تثبیت حرارتی ممکن است باعث زردی پلی‌آمید شود لذا کالای نایلونی نیاز به سفیدگری شیمیایی و در صورت لزوم سفیدکننده نوری دارد. برای سفیدگری نایلون می‌توان از عوامل سفیدکننده فلورسنت اسیدی در یک حمام اسیدی و یا نوع پراکنش در حضور پخش‌کننده و با روش‌های مداوم و نیمه‌مداوم استفاده کرد. سفیدکننده‌های فلورسنت دیسپرس عموماً ثبات نوری حدود ۳-۴ و ثبات شستشویی ۴-۵ بر روی نایلون ایجاد می‌کنند که نسبت به نوع اسیدی آن دارای ثبات‌های بهتری هستند. نایلون‌ها همچنین می‌توانند با سفیدکننده‌های فلورسنتی کاتیونی در دمای پایین و یا برخی سفیدکننده‌های فلورسنتی مستقیم تحت سفیدگری قرار گیرند [۱۶، ۱۷].

۲-۳-۲-۲- سفیدکننده‌های نوری در الیاف طبیعی

به دلیل اهمیت بالای الیاف طبیعی و وجود رنگدانه‌ها خصوصاً در ارتباط با الیاف سلولزی، استفاده از سفیدکننده‌های نوری علاوه بر سفیدگری شیمیایی از اهمیت بالایی برخوردار است.

الف) الیاف سلولزی

سفیدکننده‌های فلورسنتی بر روی سلولز مانند یک ماده رنگزای مستقیم عمل کرده و با ایجاد پیوندهای هیدروژنی، نیروهای واندروالس و برهم‌کنش دوقطبی با لیف پیوند برقرار می‌کند که جذب آنها تحت تاثیر دما، غلظت، الکترولیت و نسبت L:R قرار می‌گیرند. این سفیدکننده‌ها با دو روش رمق‌کشی و پد بر روی سلولز بکار برده می‌شوند [۱۶، ۱۷].

ب) پشم

وجود خاصیت آمفوتریک، پشم را قادر می‌سازد تا بتواند با مواد بازی و اسیدی ترکیب شود. پشم با داشتن تعداد بیشتر گروه‌های بازی با سفیدکننده‌های فلورسنت اسیدی شامل گروه‌های سولفونیک یا کربوکسیلیک ترکیب شده و بواسطه پیوندهای نمکی زنجیره‌های پپتیدی پشم با سفیدکننده‌های فلورسنت و همچنین پیوندهای هیدروژنی اثر فلورسنت ایجاد می‌نماید. مهم‌ترین مشکل پشم وجود ته رنگ زرد یا کرم در اثر تابش نور خورشید است که این مسئله به رطوبت پشم، دما و pH آن بستگی دارد. سفیدکننده‌های فلورسنتی با جذب پرتو UV خورشید اثر زردی را بر روی پشم افزایش می‌دهند [۱۶].

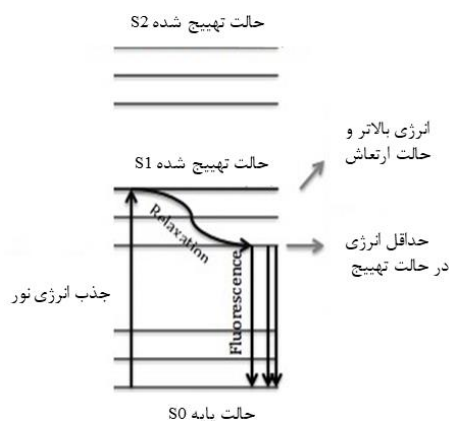
ج) ابریشم

ماهیت پروتئینی فیبروئین در ابریشم موجب می‌شود که ابریشم با سفیدکننده‌های فلورسنتی اسیدی و بازی سفیدگری شود. ابتدا ابریشم با پراکسید هیدروژن سفیدگری شده و سپس سفیدکننده فلورسنتی بر روی آن با دو روش رمق‌کشی و یا پد بکار گرفته می‌شود. در روش رمق‌کشی درجه بالاتری از سفیدگری حاصل می‌شود. سفیدکننده‌های فلورسنت همانند پشم باعث تسریع زردی در ابریشم می‌شوند. همچنین موجب کاهش استحکام بخصوص در حضور رطوبت می‌گردند [۱۶].

۲-۳- نحوه عملکرد سفیدکننده‌های نوری

سفیدکننده‌های نوری بر اساس پدیده فلورسنت عمل می‌کنند. لذا دانستن سازوکار فلورسنتی به درک عملکرد سفیدکننده‌های نوری کمک می‌کند [۱۲]. توانایی یک ماده برای جذب نور در یک طول موج خاص و انتشار آن در طول موج بالاتر فلورسنت نامیده می‌شود [۱۸]. فعالیت فلورسنت‌ها بر خلاف فسفرسنت‌ها که انتشار با تاخیر دارند، طی یک مدت کوتاه بوده یا به عبارتی پاسخ انتشار سریع دارند [۱۲].

هنگامی که نور به یک ماده فلورسنتی برخورد می‌کند، برخی از الکترون‌ها انرژی را دریافت کرده و بخشی از انرژی را به گرما تبدیل می‌کنند. لذا نور منتشر شده دارای انرژی کمتر و طول موج بالاتری می‌باشد. در مقابل، مواد غیر فلورسنتی نور را با طول موج کامل جذب کرده و انرژی آن را به گرما تبدیل می‌کنند و یا فوراً انرژی را به وسیله انتشار نور در طول موج‌های برابر با نور تابشی آزاد می‌کنند. به طور عمده سفیدکننده‌های فلورسنتی، نورهای با طول موج کوتاه از طیف فرابنفش را جذب کرده و الکترون‌هایی که انرژی را جذب می‌کنند از حالت پایه S_0 به حالت تهییج شده S_1 می‌رسند. اثر فلورسنت زمانی رخ می‌دهد که الکترون‌ها انرژی خود را در ناحیه آبی طیف مرئی از دست داده و به حالت پایه بر گردند (شکل ۵) [۱۸]. متوسط عمر مولکول‌های تهییج شده ۹ تا ۱۰ ثانیه است. هر چه این زمان کوتاهتر باشد بین طول موج فلورسنت و نور منتشر شده اختلاف کمتری بوده و اثر فلورسنت بیشتر خواهد بود زیرا زمان کمتری برای اتلاف انرژی بصورت حرارت وجود خواهد داشت [۱۶].



شکل ۵- نمودار سطوح انرژی ماده فلورسنت [۱۸].

۲-۴-ویژگی‌های مواد سفیدکننده نوری

با توجه به کاربرد وسیع و ویژگی‌های ظاهری مورد انتظار از مصرف سفیدکننده‌های فلورسنسی، لازم است این دسته از مواد، منجر به هیچگونه تغییر رنگی بر روی زمینه کاربردی نشده و تحت شرایط جوی به محصولات رنگی نیز تجزیه نشوند. از طرف دیگر نباید در ناحیه طیف مرئی جذب داشته باشد [۱۹]. علاوه بر دو ویژگی بنیادی بالا، از درخشان‌کننده‌های فلورسنسی که به طور خاص در منسوجات، مورد استفاده قرار می‌گیرند، داشتن ویژگی‌هایی چون؛ تمایل به جذب به منسوجات، اثر سفیدی و درخشندگی بالا، حلالیت و نفوذ پذیری مناسب، قدرت پوشاندگی، رمق‌کشی و یکنواختی خوب انتظار می‌رود [۱۵، ۲۰].

همچنین سفیدکننده‌های نوری باید نسبت به مواد تعاونی و مواد شیمیایی سفیدکننده احیایی و اکسیدکننده رایج سازگار بوده و در دمای بالا پایداری خود را حفظ کند [۱۳، ۱۲]. تغییرات زیادی در ثبات نوری درخشان‌کننده‌های فلورسنسی وجود دارد به طوری‌که ثبات نوری این مواد بر روی الیاف سلولزی پایین و بین ۱ تا ۳، بر روی نایلون حدود ۴، برای اکریلیک ۴-۵ و بر روی پلی استر حدود ۷ می‌باشد. ثبات نوری پایین سفیدکننده‌های نوری به علت جذب مداوم و انتشار نوری که نتیجه‌اش تخریب شیمیایی آن است، اتفاق می‌افتد [۷]. ثبات شستشویی مواد سفیدکننده فلورسنسی در دمای شستشوی 40°C خوب و تحت دمای 95°C متوسط تا خوب گزارش شده است [۱۶]. با وجود اینکه ثبات نوری و شستشویی خوب یک معیار ضروری برای مناسب بودن فنی سفیدکننده‌های فلورسنس در بستر به شمار می‌رود، این ثبات نوری و شستشویی ضعیف برای سلولزها، مشکلی ایجاد نمی‌کند زیرا هر گونه کاهش ثبات نوری و شستشویی، به وسیله شوینده‌های حاوی سفیدکننده نوری به کاربرده شده در مراحل بعدی کنترل و جبران خواهد شد [۲۱، ۷]. با این حال تلاش‌هایی جهت بهبود ثبات این دسته از مواد صورت گرفته است. یکی از این راه‌ها کاتیونی کردن پارچه سلولزی قبل از عملیات سفیدگری می‌باشد. به این ترتیب با افزایش جذب و پایداری عوامل سفیدکننده بر روی پارچه، ثبات شستشویی افزایش می‌یابد [۲۲]. همچنین با افزودن برخی پلی ال‌های^۱ خاص مانند پلی اتیلن گلیکول با وزن مولکولی بالا یا پلی وینیل الکل می‌توان اثر این درخشان‌کننده‌ها را افزایش داد [۲۳]. از آنجا که برای دیدن اثر فلورسنس داشتن یک منبع نوری با پرتو UV لازم است و این اثر تحت منابع فاقد UV دیده نمی‌شود، بنابراین می‌توان گفت که منسوج یا هر جسمی که تحت اثر سفیدکننده‌های فلورسنسی قرار گرفته باشد تحت منبع نوری بدون و دارای UV متفاوت دیده می‌شود [۷].

۲-۵-عوامل موثر بر کارایی سفیدکننده‌های نوری

کارایی درخشان‌کننده‌های نوری همچون دیگر مواد رنگزا تحت تاثیر عوامل مختلفی قرار داشته که از نظر کاربردی مهم هستند [۱۹].

۲-۵-۱-اثر زمینه^۲

اثر بخشی سفیدکننده‌های بستگی فلورسنسی به نوع زمینه، شرایط اعمال و امکان تاثیرات متقابل (تعاملات احتمالی) با سایر اجزا تشکیل دهنده مانند رنگدانه‌های سفید یا جاذب UV دارد [۲۱]. به طور مثال اثر انعکاس نور بر روی پنبه بسیار قوی‌تر از پشم و یا ویسکوز و دیگر الیاف سلولزی بازیافت‌شده است [۲۴، ۱۹]. همچنین زیردست، نوع بافت و تراکم پارچه از عوامل تاثیرگذار در نور منعکس شده بوده لذا بر ادراک سفیدی موثر است. به طوری که پارچه‌های با بافت ساده‌تر و فشرده‌تر دارای انعکاس بالاتر بوده و زبری با میزان سفیدی درک شده، نسبت معکوس دارد [۲۶، ۲۵، ۱۰].

۲-۵-۲-غلظت (حد اشباع)^۳

با وجود اینکه با افزایش غلظت سفیدکننده‌های نوری، میزان سفیدی پارچه و قدرت حفاظت از پرتو UV افزایش می‌یابد [۱۳] اما سفیدکننده‌های نوری در غلظت‌های پایین موثرند [۲۱]. به عبارت دیگر یک حد بهینه برای هر سفیدکننده نوری وجود دارد که استفاده بیش از آن موجب ایجاد یک اثر سبزی^۴ بر روی زمینه شده که با کاهش اثر سفیدی همراه است [۱۹، ۱۲] و کمتر از آن حداکثر سفیدی مطلوب را ایجاد نمی‌کند. به عبارت دیگر مقدار نور بازتاب شده ناشی از وجود پدیده فلورسنس تا مرحله‌ای با افزایش غلظت ماده فلورسنسی، افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد که به آن پدیده خاموش‌شوندگی^۵ می‌گویند. با توجه به نوع سفیدکننده و قدرت سفیدگری آن، پارچه‌ها گاهی ممکن است تا ۸٪ و شوینده‌ها ممکن است تا ۲٪ حاوی سفیدکننده نوری باشند [۱۹، ۱۲].

۲-۵-۳-روش کار

ایجاد اثر سفیدی مطلوب، به روش استفاده از درخشان‌کننده فلورسنس بستگی دارد. معمولاً با یک مقدار مشخص از سفیدکننده نوری، فرآیند رمق‌کشی نسبت به روش پد اثر سفیدی بیشتری در پارچه ایجاد می‌کند [۱۹].

۲-۵-۴-زمان

به طور کلی سفیدکننده‌های نوری دارای سرعت رمق‌کشی بالا می‌باشند. از این رو کنترل سرعت رمق‌کشی و افزایش زمان مهاجرت برای رسیدن به سفیدی مطلوب روی پارچه، امری ضروری به نظر می‌رسد [۱۹]. براساس تحقیقی که در سال ۲۰۱۴ جهت بهینه‌سازی شرایط رنگرزی سفیدکننده‌های نوری انجام گرفت زمان بهینه برای رنگرزی به روش رمق‌کشی، ۴۰ دقیقه گزارش شده است [۱۰].

² Substrate³ Saturation⁴ Greening effect⁵ Quenching¹ Polyols

مقاله

۲-۵-۵-دما

در بیشتر موارد درجه حرارت مطلوب برای سفیدگری پارچه‌های سلولزی با سفیدکننده‌های نوری °C ۶۰-۴۰ است و افزایش بیشتر دما منجر به کاهش رمق‌کشی می‌گردد [۱۹]. در تحقیقی که در سال ۲۰۱۴ به منظور یافتن دمای سفیدگری بهینه برای سلولز انجام شد، بهترین دما °C ۸۰ محاسبه گردید [۱۰]. با این حال دمای بهینه رنگرزی به نوع سفیدکننده و جنس منسوج بستگی داشته و توسط شرکت سازنده اعلام می‌شود. به طور مثال الیاف مصنوعی نظیر پلی استر دمای بالاتری برای سفیدگری نیاز دارند [۲۷].

۲-۵-۶-pH

پایداری شیمیایی، حلالیت و جذب سفیدکننده‌های نوری به طور موثر به pH محلول بستگی دارد [۱۹]. اگرچه جذب عوامل فلورسنسی بر روی پشم و پلی‌آمید در pH اسیدی اتفاق می‌افتد اما عموماً سفیدکننده‌های نوری در محیط‌های قلیایی بر روی سلولز حلالیت و عملکرد بهتری دارند [۲۷].

۲-۵-۷-کیفیت آب مصرفی

از آنجا که سفیدکننده‌های نوری بر روی پارچه‌ها رفتاری مانند مواد رنگزای دیگر دارند. لذا شرایط آب مصرفی می‌تواند بر میزان سفیدی درک شده از آن موثر باشد. بر اساس تحقیقات انجام شده، آب فاقد ناخالصی با میزان سختی کمتر، عملکرد نسبتاً خوبی در سفیدگری پارچه پنبه‌ای داشته و موجب ایجاد شاخص سفیدی بالاتر می‌گردد [۲۸].

۲-۵-۸-نمک

به منظور افزایش و همینطور کنترل سرعت رمق‌کشی سفیدکننده‌های فلورسنسی بر روی پارچه سلولزی از نمک استفاده می‌شود. لذا میزان نمک مصرفی می‌تواند بر سفیدی نهایی موثر باشد [۲۷].

۲-۶-کاربردهای سفیدکننده‌های نوری

حضور سفیدکننده‌های نوری را می‌توان در هر آنچه که سفیدتر از حالت واقعی به نظر برسد، جستجو کرد. مواد شوینده بهترین مکان برای پیدا کردن سفیدکننده‌های نوری هستند [۲۹]. به طور معمول درخشان‌کننده‌ها به منظور جایگزین کردن اثر سفیدی، در طول شستشو و تمیز نشان دادن ظاهر لباس به شوینده‌های لباسشویی اضافه می‌شوند. به عبارت دیگر وظیفه سفیدکننده‌های نوری در شوینده‌ها، تامین، حفظ و نگهداری سفیدی منسوجات در شستشوهایی مکرر می‌باشد. در حالیکه افزودن سفیدکننده‌های نوری در عملیات تکمیلی و رنگرزی پارچه به منظور برطرف کردن ته رنگ زرد پارچه و ایجاد اثر سفیدی مضاعف می‌باشد. طبق آماري که در سال ۲۰۰۶ ارائه شده، صنعت نساجی ۲۵٪ از مصرف جهانی سفیدکننده‌های نوری را به خود اختصاص داده است [۱۲]. روشن‌کننده‌های نوری در اغلب بسترهای پلیمری مانند پلی‌استر، پلی‌کربنات، پلی‌آمید، اکریلیک، پلی‌یورتان‌های ترموپلاستیک، پلی‌وینیل کلراید، پلی‌اولفین‌ها، چسب‌ها، درزگیرها و دیگر مواد آلی استفاده می‌شوند. شوینده‌های لباسشویی، محصولات آرایشی و بهداشتی، پارچه،

به ویژه کاغذهای با وضوح بالا مانند بسته‌بندی مواد غذایی، کاغذهای چاپگر، کاغذ توالی محصولات کاغذی، پلاستیک‌ها، فرش، مسواک، بادبان، کفش، دکمه، لوازم خانگی، چرم مصنوعی، رنگ‌های نقاشی و ساختمانی، لوازم ورزشی مانند توپ گلف و کفش‌های ورزشی، جوهرهای چاپ، محلول‌های فتو پروسیسینگ و لاک‌های روشن و رنگی، از جمله محصولات هستند که حاوی سفیدکننده‌ها به منظور کسب اثر سفیدی و یا درخشندگی بیشتر می‌باشند [۳۱، ۳۰، ۲۱]. از دیگر کاربردهای سفیدکننده‌های نوری استفاده از آنها به عنوان ردیاب‌های UV در روش‌های تشخیص پزشکی، رصدکردن باکتری‌های سیستم‌های آب‌رسانی و فاضلاب [۳۳، ۳۲] فیلترهای حفاظتی UV، شناسایی سریع چاپ‌های امنیتی یادداشت‌های بانکی، اسکانس‌های تقلبی و دیگر ابزارهای حقوقی و مالی [۲۱، ۱۲] حفاظت و نگهداری آثار هنری [۳۴] و کشتن آفات کشاورزی [۳۲] می‌باشد.

۲-۷-طبقه بندی سفیدکننده‌های نوری

طبقه‌بندی درخشان‌کننده‌های فلورسنسی می‌تواند بر اساس کاربرد و یا ساختار شیمیایی آنها انجام گیرد [۷].

۲-۷-۱-کاربرد

۲-۷-۱-۱- درخشان‌کننده‌های افینیت‌دار^۱: عوامل درخشان‌کننده نوری مستقیم عمدتاً محلول در آب بوده و برای روشن کردن الیاف طبیعی و برخی اوقات برای الیاف مصنوعی مانند پلی‌آمیدها استفاده می‌شوند [۱۳، ۷].

الف) نوع دی سولفونیک^۲: این گروه شامل دو عامل سولفونیک بوده و برای پلی‌آمید، ابریشم و نایلون در pH اسیدی مناسبند.

ب) نوع تترا سولفونیک^۳: این گروه با چهار عامل سولفونیک و حلالیت خیلی خوب، و برای الیاف سلولزی و همچنین کاغذ در pH قلیایی مناسب می‌باشند.

ج) نوع هگزا سولفونیک^۴: این گروه دارای شش عامل سولفونیک و حلالیت عالی بوده و برای پوشش سطوح شبیه به کاغذ فتوگرافی مناسب هستند.

۲-۷-۱-۲- درخشان‌کننده‌های دیسپرس^۵: عوامل درخشان‌کننده نوری دیسپرس عموماً در آب نامحلول بوده و می‌توانند به عنوان ماده رنگزای پخش‌شده در یک محیط آبی، و همچنین در رنگرزی توده‌ای بکار گرفته شوند [۷]. این درخشان‌کننده‌ها به صورت مواد پخش‌شده بر روی الیاف سنتتیک مانند پلی‌آمید، پلی‌استر و استات وارد شده و به وسیله نیروی واندروالس نگهداری می‌شوند.

¹ Direct (Substantive) Brighteners

² Disulfonic

³ Tetrasulfonic

⁴ Hexasulfonic

⁵ Disperse brighteners

۲-۷-۲- ساختار شیمیایی

مزدوج می‌باشند [۳۶]. اما در یک دسته‌بندی دقیق‌تر می‌توان سفیدکننده‌های نوری را در دو طبقه‌بندی بزرگ جای داد:

۲-۷-۲-۱- ترکیبات کربوسیسیلیک^۶

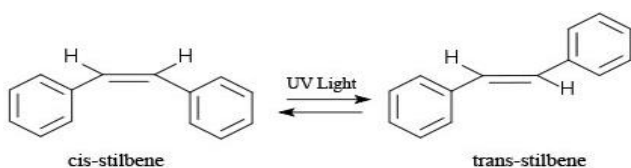
سفیدکننده‌ها در این دسته دارای درجه بالای سفیدی بوده و در مواد شوینده، پلاستیک و مواد پلی‌استری استفاده می‌شوند [۱۹].

استیلین‌ها

استیلین یک دی‌آریل اتین است که نام آن از واژه یونانی Stilbos معنای درخشان گرفته شده‌است [۱۳، ۷]. نزدیک به ۸۰٪ تولیدات سفیدکننده‌های نوری از مشتقات استیلین هستند که در فرم ترانس در دو حالت مایع و پودر ساخته می‌شوند. از مشکلات سفیدکننده‌های استیلینی تبدیل شکل ناپایدار ترانس در مجاورت نور به شکل پایدار سیس می‌باشد. به همین دلیل حالت مایع می‌تواند آن را در مقابل نور محافظت کند [۷]. این گروه عمدتاً شامل ترکیبات غیر یونی مطابق شکل ۶ و با سیستم گسترده‌ای از پیوندهای مزدوج می‌باشد. آنها به طور خاص برای سفیدگری پلی‌استرها، پلی‌آمیدها، استات سلولز و پلی‌وینیل کلراید مناسب هستند [۱۹].

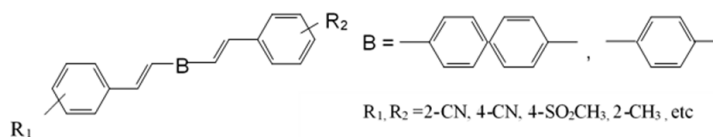
دیستریل آرن‌ها^۷

طبقه‌های غیر یونی دیستریل آرن‌ها، سفیدکننده‌های عالی برای پلی‌آمیدها، استات سلولزها و پلاستیک‌ها با ساختار ۷ هستند. دیستریل آرن‌های آنیونیک شامل گروه‌های اسید سولفونیک هستند که دارای پایداری نسبتاً بالا بوده و هنگام استفاده در مواد شوینده روی نایلون و پنبه رمق‌کشی می‌شوند. یکی دیگر از مزایای این ترکیبات تبدیل پیوندهای اتیلن در فاضلاب‌ها و در حضور نور و اکسیژن، به ترکیبات اسید سولفوکربوکسیلیک، با وزن مولکولی کمتر می‌باشد. محصولات کاتیونی برای سفیدگری سلولز، پلی‌اکریلونیتریل و پلی‌آمیدها، همچنین برای استفاده در مواد شوینده به همراه نرم‌کننده‌های کاتیونی بسیار مفید هستند [۱۹].



شکل ۶- ساختار کلی استیلین‌ها [۳۷].

^۶ Carbocyclic compounds
^۷ Distyryl arenes



شکل ۷- ساختار کلی دیستریل آرن‌ها [۱۹].

پدیده فلورسنس به وسیله جذب پرتوهایی که انرژی بالایی دارند توسط مولکول‌ها و بازتابش این پرتوها با انرژی پایین‌تر و انتقال به طول موج‌های بالاتر همچون تبدیل انرژی به انرژی جنبشی، تولید می‌شود. برای فعال کردن یا قادر ساختن مواد به انجام چنین عملکردی، مولکول‌ها باید بر اساس ساختار خاصی قرار گیرند. با وجود اینکه برخی ترکیبات دارای خاصیت فلورسنت می‌باشند اما ممکن است به عنوان یک سفیدکننده مناسب نباشند. به طور مثال اسید آنترانیلک یک ترکیب آلی با فرمول شیمیایی $C_6H_4(NH_2)COOH$ است که در حالت خاص به صورت جامد و سفید و در شکل تجاری زرد رنگ است. مولکولی شامل یک حلقه بنزن با دو گروه عاملی مجاور، یک اسید کربوکسیلیک و یک آمین است که در حالت محلول در ناحیه آبی و بنفش اثر فلورسنت قوی دارد اما به عنوان یک سفیدکننده کارایی ندارد [۳۵، ۷]. اکثر روشن کننده‌ها به سختی در فرم پودر فلورسنت می‌شوند و اثر فلورسنت آنها تنها در حالت محلول ظاهر می‌گردد. در مقابل برخی از انواع درخشان‌کننده‌های فلورسنت نیز وجود دارند که در حالت محلول هیچ خاصیت فلورسنتی نشان نمی‌دهند و تنها زمانی که روی پارچه به کار برده می‌شوند، اثر خود را نمایان می‌سازند. بنابراین اثر فلورسنت نه تنها به ساختار مولکول، بلکه به حالت و وضعیت آن در بستر نیز بستگی دارد. لذا اثر مناسب یک ماده فلورسنت به عنوان یک سفیدکننده تنها بعد از استفاده در پارچه می‌تواند تعیین شود [۷]. عوامل شیمیایی سفیدکننده فلورسنت، اغلب ترکیبات آروماتیک و حلقوی هستند و عملاً شامل سیستم‌های حلقه‌ای به هم فشرده‌ای حاوی یک زنجیره متوالی شامل تعداد قابل توجهی پیوندهای مزدوج دوگانه، گروه‌های اتیلن ($-CH=CH-$) و دی‌آزومتین ($-N=CH-$) یا گروه‌های کربونیل هستند که می‌توانند به وسیله پرتو UV تهییج شوند. وجود این پیوندهای دوگانه یکی از ویژگی‌های مهم این ترکیبات می‌باشد [۱۳، ۱۸]. سفیدکننده‌های نوری با توجه به ساختار شیمیایی خود به دسته‌های مختلفی تقسیم می‌شوند، به طوری که حدود ۴۰۰ نوع انواع درخشان‌کننده در کالرایندکس وجود دارد اما کمتر از ۹۰ تای آنها تولید شده و تنها تعداد انگشت‌شماری از نظر تجاری مهم هستند [۱۲]. درخشان‌کننده‌های نوری به صورت عمده بر پایه استیلین^۱، کومارین^۲، پیرازولین^۳، نفتالیمید^۴ و نفتوکسازولین^۵ هستند [۱۸، ۱۹]. که همگی ترکیباتی آلی شامل حداقل ۴ پیوند دوگانه

¹ Stilbene
² Coumarin
³ Pyrazoline
⁴ Naphtalimide
⁵ Naphtoxazoline

مقاله

مقایسه بوده و روش تهیه پیچیده‌ای دارند. هتروآرن‌های آنیونی با دو پل اتیلن نیز با داشتن گروه‌های اسیدسولفونیک در شوینده‌ها، کاغذ و پارچه کاربرد داشته همچنین بر روی پنبه و نایلون دارای قدرت سفیدگری بالایی می‌باشند [۱۹].

تری آزینیل آمینو استیلین^۶:

۱، ۳، ۵- تری آزینیل مشتق شده از ۴، ۴' دی آمینو استیلین و ۲، ۲' دی سولفونیک اسید مهم‌ترین دسته سفیدکننده‌ها از نظر حجم هستند. این سفیدکننده‌ها اولین بار در سال ۱۹۴۰ به بازار عرضه شدند. تری آزینیل آمینو استیلین با فرمول شکل ۱۰ برای سفیدگری پنبه، پارچه‌های تکمیل رزین، الیاف سلولزی بازیافته و پلی‌آمیدها و همچنین در شوینده‌ها استفاده می‌شوند [۳۶، ۱۹، ۱۸].

۲-۲-۷-۲- ترکیبات حلقوی^۷

فوران و بنزوفوران‌ها^۸

فوران و بنزوفوران‌ها ساختارهای مهمی در ترکیب با سیستم‌های کربوکسیلیک و حلقوی برای تهیه ترکیبات فلورسنت مزدوج هستند. مهم‌ترین طبقه این گروه عبارتند از فنیل فورانیل و بنزوفورانیل بنزیمیدازول‌ها که به واسطه درجه بالای سفیدی، ثبات نوری خوب و پایداری در مقابل کلریت مشخص می‌شوند. سولفونات‌های مشتق شده از بنزوفوران‌های متصل به گروه‌های کربوکسیلیک به عنوان سفیدکننده پنبه و پلی‌امید و بنزو دی فوران‌ها از ساختار داده شده با گروه‌های سیانو یا کربوکسیلیک استر برای سفیدگری پلی‌استر، پلی‌استیرن و پلی‌وینیل کلراید پیشنهاد شده است (شکل ۱۱) [۱۹].

ترکیبات حلقوی استخلاف‌شده با استیلین، استایرن^۱ و اتیلن^۲ گروه‌های حلقوی اثر فلورسنت سیستم‌های مزدوج را تقویت کرده و آن را به طول موج‌های بالاتر انتقال می‌دهد [۱۹].

الف) استیلین بنزوکسازول‌ها^۳

این طبقه از سفیدکننده‌های نوری، برای الیاف مصنوعی مانند پلی‌آمیدها و استات سلولز بالاخص برای پلی‌استر با داشتن ثبات نوری بالا مناسب می‌باشند. استیلین بنزوکسازول‌های غیریونی برای کار با دمای HT و ترموزول گزینه خوبی هستند (شکل ۸) [۱۹].

ب) استریل هتروآرن‌ها^۴

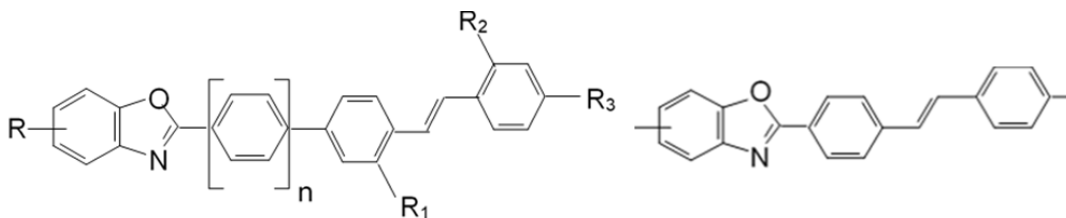
استریل هتروآرن‌های آنیونی و کاتیونی از عوامل سفیدکننده فلورسنت به‌شمار می‌آیند. همچنین استریل هتروآرن‌های غیریونی با ساختار کلی زیر برای سفیدکردن الیاف مصنوعی از قبیل پلی‌استرها، پلی‌آمیدها و استات سلولز مفید هستند (شکل ۹) [۱۹].

هترو آرن‌ها با یک یا دو پل اتیلن^۵

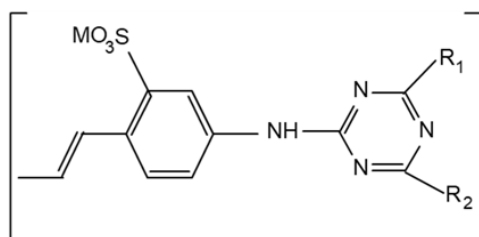
سفیدکننده‌های فلورسنت بر پایه هترو آریل اتیلن و بوتادین عمدتاً غیریونی بوده و با داشتن ثبات نوری و مقاومت حرارتی بالا نقش مهمی به عنوان سفیدکننده‌های نوری پلی‌استر دارند. به طوری که برای دو روش HT و ترموزول مناسب می‌باشند. همچنین می‌توانند برای چاپ انتقالی استفاده شوند. هتروآرن‌های غیریونی با دو پل اتیلن، از دیگر سفیدکننده‌های پلی‌استر با کارایی بالا بوده و برای سفیدگری پلی‌آمیدها، استات سلولزها و پلاستیک‌ها از قبیل پلی‌وینیل کلرید و پلی‌اولفین‌ها مناسب می‌باشند. خواص آنها با کربوکسیلیک دیستریل آرن‌ها قابل

⁶ Triazinylamino stilbene
⁷ Heterocyclic compounds
⁸ Furans and Benzofurans

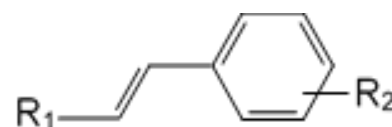
¹ Styrene
² Heterocyclic substitute stilbenes, styrenes and ethylenes
³ Stilbenyl benzoxazoles
⁴ Styryl hetroaren
⁵ Heteroarenes with one or two ethylene bridge



شکل ۸- ساختار کلی استیلین بنزوکسازول‌ها [۱۹].



شکل ۱۰- ساختار کلی تری آزینیل آمینو استیلین [۱۹].

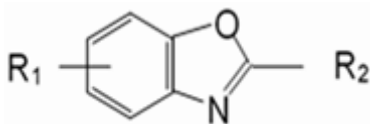


شکل ۹- ساختار کلی استریل هتروآرن غیریونی [۱۹].

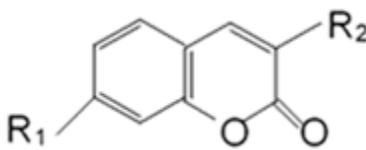
پلی‌آمیدها و پلی‌اولفین‌ها نیز بکار روند. نفتالیمیدهای محلول در آب و کاتیونی، سفیدکننده‌های با ثبات نوری بالا و پایدار در برابر کلریت بوده و برای سفیدگری پلی‌اکریلونیتریل مناسب می‌باشند. آن‌ها برای سفیدگری پشم و پلی‌استر نیز پیشنهاد می‌شوند [۱۹، ۳۶].

۲-۸- تجارت سفیدکننده‌های نوری

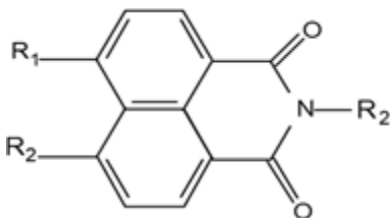
تولید و مصرف درخشان‌کننده‌های فلورسنتی به طور مداوم در حال افزایش است به طوری که سالانه حدود ۱۲-۱۰٪ بر میزان آن افزوده می‌شود. از این میزان نزدیک به ۲۵٪ به صنعت نساجی و مابقی به صنایع کاغذسازی، پاک‌کننده‌ها، پلاستیک و الیاف مصنوعی و دیگر موارد تعلق دارد [۱۶]. پیشرفت فناوری همراه با نوآوری مداوم در صنایع مختلف و سرمایه‌گذاری دولت‌ها در کارزارهای تبلیغاتی فرصت‌های مختلف رشد را در بازار سفیدکننده‌های نوری به ویژه در صنایع کاغذسازی فراهم کرده است. به گونه‌ای که این صنعت در حال حاضر بیشترین میزان مصرف سفیدکننده‌های فلورسنتی را به خود اختصاص داده و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۴ به میزان بالاتری صعود کند [۳۸، ۳۹]. شکل ۱۵ روند افزایشی بازار تجاری مواد سفیدکننده نوری را به تفکیک کاربرد آنها نشان می‌دهد [۳۸].



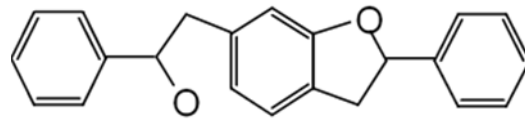
شکل ۱۲- ساختار کلی آزول‌ها [۱۹].



شکل ۱۳- ساختار کلی کومارین‌ها [۱۹].



شکل ۱۴- ساختار کلی نفتالیمیدها [۱۹].



شکل ۱۱- ساختار کلی بنزوفوران‌های متصل به گروه‌های کربوکسیکلیک [۱۹].

محصولات غیریونی حلقوی استخلاف شده با فوران‌ها به عنوان سفیدکننده برای پلی‌استر و پلی‌اکریلونیتریل و ترکیبات غیریونی حلقوی استخلاف شده با بنزوفوران‌ها به عنوان سفیدکننده برای پلی‌استر، پلی‌آمید، استات سلولز و پلی‌وینیل کلراید به کار می‌روند. ترکیبات حلقوی استخلاف شده نیز با فوران‌ها برای سفیدگری پلی‌اکریلونیتریل و سلولز استات بکار می‌روند [۱۹].

آزول‌ها^۱

به دلیل سادگی نسبی سنتز حلقه بنزوکسازول، سفیدکننده‌های غیریونی عمدتاً از این دسته فراهم می‌شوند. این گروه دارای خواص نوری برجسته بر روی پلی‌استر می‌باشد. آزول‌های کاتیونی با فرمول کلی زیر برای سفیدگری الیاف اکریلیک مناسب هستند (شکل ۱۲) [۱۹، ۳۶].

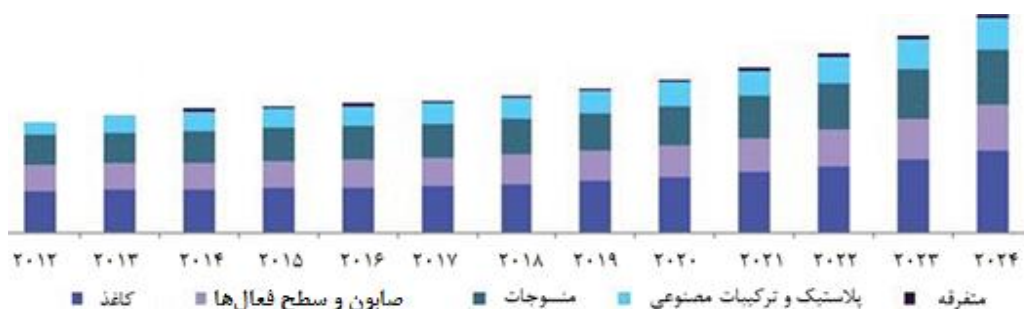
کومارین‌ها

کومارین‌های غیریونی به طور خاص برای پلی‌استر، پلی‌آمید، استات سلولز، پلی‌اولفین و پلی‌وینیل کلراید استفاده می‌شوند [۱۳]. کومارین‌های کاتیونیک دارای ثبات نوری خوب و پایداری کلریت بالا بوده و برای سفیدگری پلی‌اکریلونیتریل و استات سلولز بکار می‌روند این ترکیبات می‌توانند به یک حلقه و یا به یک زنجیره جانبی پایه متصل شوند. عموماً سفیدکننده‌های بر پایه کومارین شامل سولفونیک اسیدهایی هستند که بر روی پنبه و پلی‌آمید دارای ثبات شستشویی بالا می‌باشند (شکل ۱۳) [۱۹، ۳۶].

نفتالیمیدها

سیستم حلقه نفتالیمید دارای پایداری بالا، ثبات نوری و پایداری کلریت خوب می‌باشد و تنها عیب آن ضریب انقضا مولکولی پائین است (شکل ۱۴). ان-آلکیل نفتالیمیدها به طور خاص، برای زمینه‌های پلی‌استر استفاده می‌شوند. اما می‌توانند برای سفیدگری استات سلولز، پلی‌وینیل کلراید،

^۱ Azoles

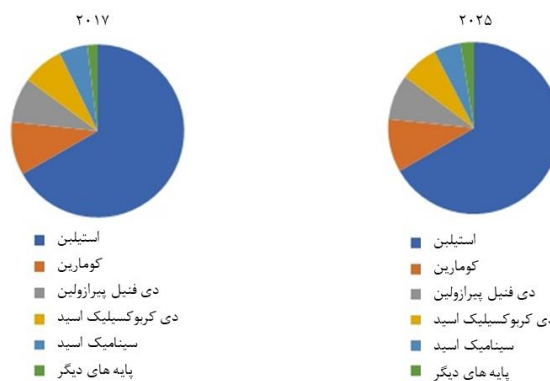


شکل ۱۵- نمودار افزایشی بازار تجارت سفیدکننده‌های نوری به تفکیک کاربرد [۳۸].

۲-۹- مشکلات زیست محیطی سفیدکننده‌های نوری

دانشمندان هنوز در حال انجام مطالعاتی هستند که بطور قطعی مشخص کند که آیا سفیدکننده‌های نوری بی‌خطر هستند یا خیر؟ مسئله‌ای که می‌توان در مورد سفیدکننده‌های نوری با اطمینان گفت این است که اثر سفیدکنندگی این مواد با گذشت زمان کم شده و از بین می‌رود اما مواد شیمیایی سازنده آنها برای سال‌ها باقی‌مانده و تجزیه‌پذیر نیستند. این مواد به داخل فاضلاب‌ها، دریاچه‌ها و جریان‌های آب وارد شده و تجمع آنها باعث ایجاد لجن در غلظت زیاد می‌گردد. باکتری‌ها نمی‌توانند سفیدکننده‌های نوری را تجزیه کنند. مواد غیرقابل تجزیه می‌توانند سال‌ها در کنار یکدیگر باقی‌مانده و باعث آلودگی و اشباع مواد سمی در آب شده و زندگی آبزیان را به خطر اندازند. حتی می‌توانند به لایه‌های زیرین خاک نفوذ کرده و خاک را آلوده نمایند [۴۲-۴۰، ۲۰۰]. نتایج تحقیقی دیگر در سال ۱۹۷۰ نشان داد زمانی که این مواد با پوست تماس پیدا می‌کنند می‌توانند سبب واکنش‌های حساسیت‌زا با علائمی چون قرمزی، خارش و تحریکات پوستی شوند که درماتیت نامیده می‌شود [۴۲، ۲۹]. در مطالعات دیگری در ارتباط با حساسیت‌های پوستی گزارش شد که در اغلب موارد، حساسیتی وجود ندارد مگر اینکه عامل بالقوه‌ای مانند پرتو UV خورشید و یا عمل سایشی در ارتباط با لباس یا کالایی که در تماس مستقیم با پوست است حادث شود [۳۲]. با توجه به وسعت کاربرد سفیدکننده‌ها، این مواد حتی ممکن است فراتر از تماس‌های پوستی از طریق ظروف کاغذی یا پلاستیکی بسته‌بندی مواد غذایی تحت شرایطی مواد غذایی را آلوده کرده و به بدن انسان وارد شوند. لذا میزان مصرف این ماده توسط آژانس حفاظت از محیط زیست (EPA)^۳ نظارت می‌شود. همچنین بر اساس گزارش کمیته اروپایی اکولبل^۴ در سال ۲۰۱۱، بنظر می‌رسد سفیدکننده‌های نوری مورد مصرف در شوینده‌ها درحالی‌که درگیر حذف لکه‌ها و ایجاد اثر سفیدی هستند، ممکن است باعث تولید متابولیت‌های متعددی شوند که این برای محیط‌زیست مخاطراتی به همراه دارد [۴۰، ۲۹، ۱۹]. بر اساس مقاله دیگری تحت عنوان "ویژگی‌های کلیدی مواد شوینده" که با همکاری محیط زیست (DFE)^۵ منتشر شده، گفته شده که سفیدکننده‌های نوری ممکن است برای انسان سمی باشد. سفیدکننده‌های بر پایه آمینو تری آزین یا استیلین ممکن است سبب مشکلات رشد و باروری در انسان شود^۶ [۴۲، ۳۲]. علاوه بر آنها، خطرات احتمالی دیگری که به واسطه حضور سفیدکننده‌های نوری باعث می‌شوند عبارتند از: جهش ژنتیکی در ماهی‌ها و گیاهان، جهش سلولی در باکتری‌ها که منجر به ایجاد باکتری‌های مقاوم می‌شود [۴۲، ۲۹، ۲۰]. بنابراین امروزه سازمان‌های محیط زیست (DFE) و آژانس حفاظت از محیط زیست (EPA) از تولیدکنندگان محصولات حاوی سفیدکننده‌های نوری دعوت می‌کنند تا با آنها برای ساخت محصولات دوست‌دار محیط‌زیست همکاری نمایند. این

در سال ۲۰۱۵ میزان بازار تجارت جهانی سفیدکننده‌های فلورسنت ۶۶۱/۵ میلیون دلار ارزش گذاری شده و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۲۴ با نرخ رشد مرکب سالیانه^۱ ۶/۵٪ افزایش یابد. بازار تجارت جهانی سفیدکننده‌های نوری علاوه بر کاربرد بر اساس ساختار شیمیایی و منطقه جغرافیایی دسته‌بندی می‌شود. از نظر جغرافیایی، این بازار به آمریکای شمالی، اروپا، آسیا و اقیانوسیه، و مابقی مناطق تقسیم می‌گردد [۳۹]. در این میان اروپا با دارا بودن بیشترین تعداد تولیدکنندگان سفیدکننده‌های فلورسنت و سهم ۳۳/۲٪ از بازار جهانی، بزرگ‌ترین بازار منطقه‌ای در سال ۲۰۱۵ به شمار می‌آمد. اما در حال حاضر تغییر قابل توجه تقاضا از منطقه اروپا و آمریکا به بازارهای آسیا و اقیانوسیه و آمریکای لاتین روی داده‌است. این مسئله به دلیل اشباع شدن صنعت کاغذ در آمریکای شمالی و اروپا و خصوصی‌سازی شرکت‌های دولتی نظیر بایر^۲ موجب افزایش سرمایه‌گذاری‌ها در کشورهای نظیر هند، چین، اندونزی و تایلند شده‌است و پیش‌بینی می‌شود طی سال‌های آینده گسترش چشمگیری داشته باشد [۳۸]. به گونه‌ای که سهم کنونی اروپا از این بازار ۲۶٪، آمریکای شمالی ۲۳٪، آسیا و اقیانوسیه ۳۹٪ و مابقی حدود ۱۱٪ است [۳۹]. از نظر ساختار شیمیایی گروه شیمیایی استیلین‌ها بزرگ‌ترین سهم تولیدات سفیدکننده‌های فلورسنت را به خود اختصاص داده است. شکل ۱۶ سهم تولید هر یک از ساختارهای شیمیایی را در سال ۲۰۱۷ و ۲۰۲۵ نشان می‌دهد. شرکت‌های Huntsman، Brilliant colors، Clariant AG، Archroma، Keystone Aniline و BASF SE از جمله شرکت‌های مهم تولید کننده سفیدکننده‌های فلورسنتی هستند. این محصولات با نام‌هایی چون Uvitex، Calcofluor، Blankophar R، Colorcron 2B، DMS، CBS، Bluton در حال حاضر شرکت BASF SE مشغول توسعه طیف گسترده‌ای از درخشان‌کننده‌های نوری با نام‌های Tinocat، Tinopal و Tinolux می‌باشد [۳۸، ۲۳]. قیمت سفیدکننده‌های فلورسنت در بازار تجارت جهانی بر اساس کیفیت، کاربرد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بسیار متنوع و برای هر کیلوگرم متفاوت است [۳۸، ۳۱].



شکل ۱۶- نمودار بازار تجارت جهانی سفیدکننده‌های نوری بر اساس ساختار شیمیایی [۳۹].

³ Environmental Protection Agency

⁴ Ecolabel

⁵ Design for the Environment

^۶ با این حال مقاله همچنین یادآور می‌شود که آزمایش‌های بیشتری برای تایید این نگرانی‌ها لازم است.

¹ Compound annual growth rate(CAGR)

² Bayer

برنامه، تولیدکنندگان را به استفاده از سفیدکننده‌هایی تشویق می‌کند که برای انسان و محیط‌زیست سمیت کمتری داشته باشد [۴۲، ۳۲].

۳- نتیجه‌گیری

در کار حاضر تلاش شد مروری اجمالی بر معرفی مواد سفیدکننده نوری مورد مصرف در صنعت نساجی انجام شود. مواد سفیدکننده نوری از خانواده مواد رنگزا بوده که تمایل مشخصی به لیاف دارند. این ترکیبات با جذب پرتوهای فرا بنفش و نشر آنها در طول موج‌های بالاتر (حدوداً ۵۰ تا ۱۰۰ نانومتر بالاتر) باعث تقویت محدوده بازتابش جسم در نواحی آبی از نور مرئی شده که در نهایت منجر به درک ظاهر سفیدی از جسم می‌شود. ترکیبات و ساختار مختلفی برای معرفی این مواد گزارش شده است که از آن جمله می‌توان به ترکیبات بر پایه استیلین، کومارین، پیرازولین، نفتالیمید و نفتوکسازولین اشاره کرد. این مواد اصولاً برای افزایش ظاهر سفیدی لیاف طبیعی بخصوص

لیاف پنبه بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگرچه در پاره‌ای موارد لیاف مصنوعی نیز با ترکیبات سفیدکننده خاص خود سفیدگری می‌شوند. بررسی‌ها نشان می‌دهد این مواد از وسعت کاربرد وسیعی در صنایع مختلف از جمله نساجی، مواد شوینده، کاغذ، مواد آرایشی و بهداشتی، پلاستیک‌ها برخوردار است به‌طوری‌که نقش مهمی را در زندگی روزمره، می‌توان برای آن‌ها متصور شد. از این رو این ماده جایگاه مهمی در سطح معاملات بین‌المللی و بازارهای تجارت جهانی دارد. همچنین احتمال خطرات زیست‌محیطی و بهداشتی آنها بارها مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. با توجه به نقش عوامل اثرگذار بر کارایی این سفیدکننده‌ها، کنترل شرایط کار با این مواد به کسب اثر سفیدی مطلوب می‌انجامد. از طرفی با توجه به انحصاری بودن ساختارهای شیمیایی این مواد و نیاز به مصرف آنها ضروری است برای بومی‌سازی و تهیه فرمول‌بندی داخلی برنامه‌ریزی و اقدام لازم صورت گیرد.

۴- مراجع

- 1- R. Hirschler, D. F. Oliveira, A. F. Azevedo, "Whiteness determination of optically brightened textiles", Ifatcc, Viewed at 2019, <https://www.ifatcc.org/wp-content/uploads/2018/01/PL07.pdf>, 2018.
- ۲- ر. جعفری، "سفیدی: تعاریف، مفاهیم و اندیس‌ها"، نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، ۴، ۴۹-۵۶، ۱۳۹۲.
- 3- M. Crable, "Indices for whiteness, yellowness, brightness, and luminous reflectance factor", Tappi, Test Method, T 1216 sp-181216 sp-03, October 30, 2007.
- 4- J. Lin, R. Shamey, D. Hinks, "Factors affecting the whiteness of optically brightened material", J. Opt. Soc. Am. A., 29, 2289-2299, 2012.
- 5- I. Yzaguirre, "Stoke illustration- the munsell colour tree, a representation of the Munsell", Munsell Color System, https://www.pinterest.com/i_de_yzaguirre/munsell-color-system/ Viewed at 2019.
- ۶- س. ح. امیر شاهی، ف. آگهیان، "فیزیک رنگ محاسباتی"، انتشارات ارکان دانش، اصفهان، ۱۳۸۶.
- 7- AVM Chemical Industries, "Chemistry of Optical Brightener and uses in Textile Industries and its Mechanism", <https://docplayer.net/21130422-Chemistry-of-optical-brighten-and-uses-in-textile-industries-and-its-mechanism.html>, Viewd at 2019.
- 8- K. W. Houser, M. Weia, A. Davidb, M. R. Krames, "Whiteness Perception under LED Illumination", J Illum. Eng. Soc. 10, 165-180, DOI: 10.1080/15502724.2014.902750, 2014
- ۹- ح. نجفی کوتنایی، "تکنیک های صنعتی در شیمی نساجی"، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۸۵.
- 10- S. M. Fijul Kabir, M. I. Iqbal, P. P. Sikdar, M. M. Rahman, Sh. Akhter, "Optimization of parameters of cotton fabric whiteness", Eur. Sci. J. 10, 200-211, 2014
- 11- "Machinery for preparation of Textiles", NPTEL, Viewed at 2019, <https://nptel.ac.in/courses/116/102/116102016>, 2015
- 12- R. williamson, "Fluorescent brightening agent", <https://nptel.ac.in/courses/116104046/39.pdf>, Viewed at 2019.
- 13- S. Kumar, "Types and properties of fluorescent brightening agents and their application on textile industries", fiber2 fashion.com, <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/7259/types-and-properties-of-fluorescent-brightening-agents-and-their-application-on-Textile-industries>, Viewed at 2019
- 14- M. Vik, "Visual evaluation of white samples near to CIE limits", Proceedings of the 4th CIE Expert Symposium on Colour and Visual Appearance, Prague, Czech Republic, 484-492, 2016
- 15- "Properties of fluoroscent whitening agents for textiles", Textile learner, Viewed at 2019, <http://textilelearner.blogspot.com/2011/05/description-of-optical-brightening-4142.html>, 2011.
- 16- S. R. Karmakar, "Textile Science and Technology", Academic Press, Elsevier, Volume 12, Chapter 10, 1999.
- ۱۷- ه. سید اصفهانی، ع. شمس ناتری، "تکمیل کالای نساجی II"، سفیدگری و مرسرزاسیون، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۸۹.
- 18- Z. Aman, "Efficiency of Fluorescent Whitening Agents in Pigment Coatings", Faculty of Science and Technology Department of Chemical Engineering, Master thesis, September 2012.
- 19- R. Chakrabarti, A. Vignesh, "The Chemistry of Optical Brightening Agent and Its Environmental Impact" Fiber2 fashion.com, <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/5710/the-chemistry-of-optical-brightening-agent>, Viewed at 2019.
- 20- K. Hunter, "Optical Brighteners: The Dangers of Bluing", Mother Earth Living, <https://www.motherearthliving.com/wiser-living/optical-brighteners-bluing>, 2012.
- 21- Ciba Specialty Chemicals, "Optical Brighteners", Value beyond chemistry, Viewed at 2019 <http://www.cibasc.com>, April 1999.
- 22- M. S. Mondal, N. Hassan, I. H. Sakib, P. Sarkar, "Experimental Investigation for Improving the Wash Fastness of Optical Brightening Agent (OBA) on Cotton Knitted Fabric", j. polymer. text. eng. 5, 1-10, 2018.

- 23- "Optical brighteners", O Ecotextile, Viewed at **2019**, <http://oecotextiles.wordpress.com/2010/07/14/optical-brighteners/>, **2010**.
- 24- M. Tutak, O. Demiryu, İrek, S. Bulut, D. Haroglu, "Analysis of the CIE whiteness and whiteness tint of optically whitened cellulosic fabrics", Text. Res. J. DOI: 10.1177/0040517510380111, **2010**.
- 25- J. Lin, R. Shamey, T. Joel, "The effect of texture on perception and measurement of whiteness", Aatcc Rev. 12, 61-68, **2012**.
- 26- L. Yuzheng, J. Lin, R. Shamey, "Influence of texture on perceived whiteness of objects", Color and Imaging Conference, 21st Color and Imaging Conference Final Program and Proceedings, 128-133, **2013**.
- 27- "Optical brighteners", Textile learner, <http://textilelearner.blogspot.com/2014/05/factors-influencing-functions-of.html>, **2014**.
- 28- N. P. Sonaje , M. B. Chougule , "Comparison of whiteness index of cotton fabric bleached with recycled wastewater", Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol. 2, 3946-3951, **2013**.
- 29- V. Layton, "Problem with Optical Brighteners (And what you can about it)", Hello natural living, Viewed at 2019, <https://www.hellonaturalliving.com/problems-with-optical-brighteners/>, January 20, **2017**.
- 30- BASF Chemical Company, "Additives for Adhesives and Sealants", Additives for top performance, Viewed at **2019**, <https://www.dispersionspigments.basf.com/portal/load/fid793202/Booklet>, **2008**.
- 31- K. Peltier, "Optical Brighteners: Fight the Chemical Glow!", Well Gal, Viewed at 2019, <https://wellgal.com/optical-brighteners-fight-glow-buy-products-them/>, **2015**.
- 32- K. Peltier, "Why Optical Brightening chemical are not needed in laundry detergents", Thespruce, Viewed at **2019**, <https://www.thespruce.com/optical-brighteners-chemicals-not-needed-1707025,08/13/2018>, Updated 06/27/**2019**.
- 33- S. Iyer, "Monitoring Optical Brighteners help track watershed pollution", Water world, <https://www.waterworld.com/home/article/16191040/monitoring-optical-brighteners-helps-track-watershed-pollution> December 1, **2006**.
- 34- R. A. Mustalish, "Optical brighteners: history and technology", Stud. Conserv. 45, 133-136, **2000**.
- 35- . I. M. Asib, "Effect of optical brightening agent on different types of fabrics", J.Sci.Technol. 9, 37-41, **2014**.
- 36- "Fluorescent brightener", chemical book, https://www.chemicalbook.com/ProductCatalog_EN/2215.htm, Viewed at **2019**.
- 37- "Optical brightening agent in paper", Pulp paper mill, Viewed at 2019, <http://www.pulppapermill.com/tag/optical-brighteners-in-paper/>, **2018**.
- 38- "Industry insights", grand view research, <http://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/optical-brighteners-market>, Viewed at **2019**.
- 39- "Optical brightener market over view", Variant market research, <http://www.variantmarketresearch.com/report-categories/consumer-goods/optical-brighteners-market>, Viewed at **2019**.
- 40- MUDP report, "Substitution of optical brightener agent in industrial textile", Ministry of environment and food of Denmark, Viewed at 2019, <https://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2018/okt/substitution-of-optical-brightener-agents-in-industrial-textiles/>, October **2018**.
- 41- Cara.B, "Why We Won't Use Artificial Brighteners", seventh generation, Viewed at **2019**, <https://www.seventhgeneration.com/blog/why-we-wont-use-artificial-brighteners>, **2015**.
- ۴۲- م. صفی، ف. طاهری، "مروری بر مشکلات زیست محیطی مواد سفیدکننده نوری"، همایش ملی مواد رنگزا، محیط زیست و توسعه پایدار، آذر **۱۳۹۷**.