



## مروری بر روش‌های تکمیل حفاظتی فرابنفش منسوجات طبیعی با استفاده از مواد جاذب فرابنفش

حامد احمدی<sup>۱</sup>، سیامک صفاپور<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فرش، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران، صندوق پستی: ۵۱۳۸۵-۴۵۶۷

۲- استادیار، دانشکده فرش، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران، صندوق پستی: ۵۱۳۸۵-۴۵۶۷

تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۱ تاریخ بازبینی نهایی: ۹۳/۹/۳ تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۳ در دسترس بصورت الکترونیک: ۹۳/۹/۱۰

### چکیده

برای اولین بار، جاذب‌های فرابنفش در سال ۱۹۲۸ برای محافظت پوست انسان در برابر اثرات مخرب پرتو فرابنفش، در ضدآفتاب‌ها استفاده شدند. با آگاهی از مزایای فراوان این مواد، توسعه آنها روند رو به رشدی داشته و تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده است. یکی از عوامل مخرب اصلی، در کالاهایی همچون منسوجات و فرش دستباف، پرتو فرابنفش با انرژی زیاد است که به دلیل شکستن زنجیرهای پلیمری و تخریب ساختارهای آلی، موجب افت خواص منسوجات، رنگ پریدگی منسوجات رنگی و آسیب به پوست انسان می‌شود. به همین جهت، برای بهبود ثبات نوری منسوجات رنگی و محافظت منسوجات و انسان در برابر فرابنفش، مطالعات زیادی برای استفاده از جاذب‌های فرابنفش مختلف در عملیات تکمیل منسوجات انجام شده است. در این مقاله، پیشرفت‌های حاصله در استفاده از جاذب‌های فرابنفش تجاری شده، با تاکید بر منسوجات طبیعی و دوستدار محیط زیست (الیاف طبیعی، رنگزاهای طبیعی، مواد جاذب فرابنفش نوین و غیره)، مرور شده است. به‌طور کلی و با توجه به نتایج و روند رو به رشد و امیدوارکننده مطالعات، آینده روشنی برای شناسایی و معرفی مواد جاذب فرابنفش نوین، با خواص مطلوب و دوستدار محیط زیست پیش‌بینی می‌گردد.

### واژه‌های کلیدی

جاذب فرابنفش، منسوجات طبیعی، تخریب نوری، تکمیل حفاظتی فرابنفش.

### چکیده تصویری





## A review on the UV-Protective Finish of Natural Textiles Using UV-Absorbers

Hamed Ahmadi<sup>1</sup>, Siyamak Safapour<sup>2\*</sup>

1- Carpet Faculty, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, P. O. Box: 51385-4567, Iran.

2- Carpet Faculty, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, P. O. Box: 51385-4567, Iran.

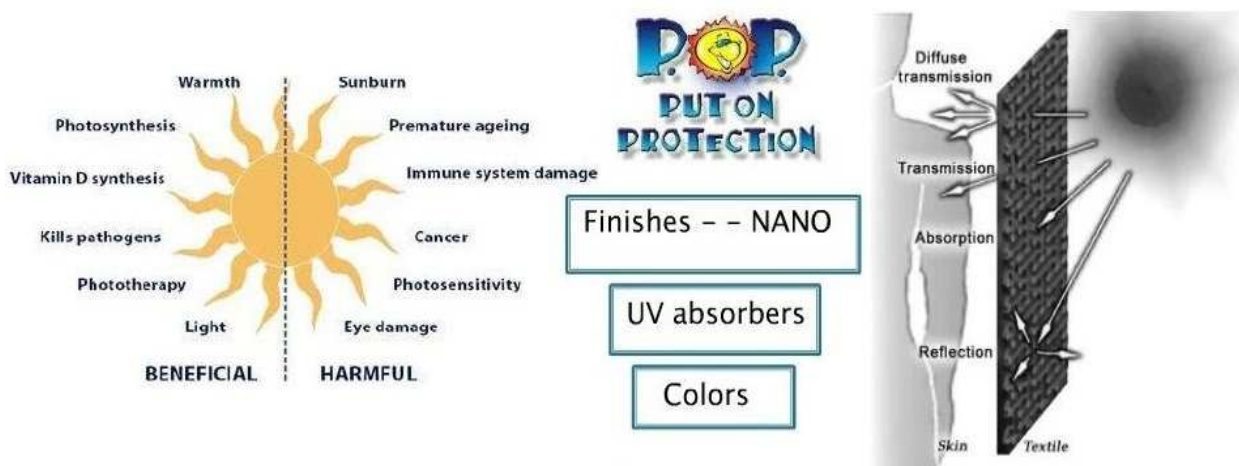
### Abstract

UV-absorbers were first used in sunscreens to protect human skin against harmful UV-rays by 1928. Since then, with awareness of different beneficial aspects of UV-absorbers, their usage was progressively increased and numerous researches have been performed to find out and extend their applications. In textile and hand-woven carpet industries, high energy UV-ray is very harmful for textiles, dyed substrates as well as human skin since its energy degrades polymeric chains and organic structures and cause serious losses in textiles properties, color fading, human skin damage, etc. Hence, numerous studies have explored the potential of UV-absorbers for enhancement of properties of colored substrates and UV-protection of textiles. In this paper, various UV-absorbers used for finishing of textiles are reviewed particularly with focus on the natural based products, i.e., natural fiber, natural dye, novel eco-friendly UV-absorbers, etc. Overall, promising future is expected for identification and introduction of novel UV-absorber materials with desired performance and environmentally benign properties.

### Keywords

UV-absorber, Natural textiles, Light degradation, UV-protective finish.

### Graphical abstract



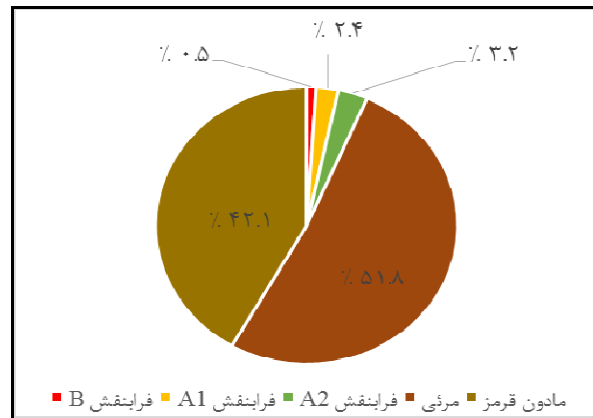
\*Corresponding author: [s.safapour@tabriziau.ac.ir](mailto:s.safapour@tabriziau.ac.ir)

۱- مقدمه

نتایج مطالعات گوناگون، نشان داده است که انرژی موجود در نور خورشید، اساسی ترین انرژی مورد نیاز بر سطح زمین برای فتوسنتز<sup>۱</sup> و ادامه چرخه زندگی است [۱]. نوری که از خورشید به سطح زمین می‌رسد دارای پرتوهایی با طول موج‌های مختلف از فرابنفش تا زیرقرمز است. جدول ۱ نشان دهنده طول موج، شدت نسبی و متوسط انرژی فوتون<sup>۲</sup> های این پرتوها است. با توجه به این موضوع که با کاهش طول موج، انرژی فوتون افزایش می‌یابد، اگر چه میزان تابش پرتو فرابنفش بر سطح زمین بسیار کم است (شکل ۱)، اما انرژی فوتون‌های این پرتو به طور قابل توجهی بالاتر از نور مرئی و پرتو زیرقرمز است [۲].

جدول ۱: مشخصات نور خورشید دریافتی بر سطح زمین [۲].

دسته بندی	طول موج (nm)	انرژی (kJ/mol)
فرابنفش B (UV-B)	۲۸۰ تا ۳۲۰	۴۰۰
فرابنفش A <sub>1</sub> (UV-A <sub>1</sub> )	۳۲۰ تا ۳۶۰	۳۵۰
فرابنفش A <sub>2</sub> (UV-A <sub>2</sub> )	۳۶۰ تا ۴۰۰	۳۱۵
نور مرئی	۴۰۰ تا ۸۰۰	۲۰۰
زیرقرمز	۸۰۰ تا ۳۰۰۰	۶۳



شکل ۱- درصد نسبی پرتوهای نور خورشید در سطح زمین [۲].

۲- تاثیر نور بر ساختارهای آلی

نور خورشید شامل طیف گسترده‌ای از پرتوها با انرژی‌های متفاوت است. بیشتر ساختارهای آلی گروه‌های جاذب نور دارند و به هنگام قرار گرفتن در معرض نور، آن را جذب می‌کنند. انرژی فوتون‌های جذب شده موجب واکنش ساختارهای شیمیایی آلی به نور و دو پدیده فتوشیمیایی برانگیختگی نوری و تجزیه نوری<sup>۳</sup> می‌گردد. زمانی که مقدار انرژی جذب شده به وسیله ملکول بیشتر از انرژی پیوندهای شیمیایی آن است، پیوندها شکسته شده و ملکول تجزیه نوری می‌شود. این گونه واکنش‌ها معمولاً به دلیل تابش پرتو فرابنفش بر انرژی اتفاق می‌افتد، زیرا انرژی زیادی جهت انجام این واکنش نیاز است [۳، ۴]. در جدول ۲ جهت مقایسه، انرژی پرتوهای مختلف موجود در نور خورشید و انرژی پیوندهای متداول موجود در ساختارهای آلی بیان شده است. بسیاری از مواد شیمیایی جاذب‌های فرابنفش خوبی هستند و همین امر آنها را به مواد مستعد جهت تخریب به وسیله نور تبدیل کرده است. جذب پرتو فرابنفش باعث برانگیختگی و شکستن پیوندهای شیمیایی شده و در حضور هوا مقدار زیادی گروه‌های فعال اکسیژن (ROS)<sup>۴</sup> تولید می‌گردد [۴، ۵]. تخریب و اکسیداسیون<sup>۵</sup> معمولاً به وسیله سه عامل: رادیکال‌های آزاد اکسیژن، اکسیژن سینگلت<sup>۶</sup> و یون‌های پراکسید<sup>۷</sup> اتفاق می‌افتد [۶، ۷]. در سال‌های اخیر، نازکی لایه ازن<sup>۸</sup> استراتوسفر<sup>۹</sup> در اثر آلاینده‌های زیست محیطی، به عنوان یک فیلتر فرابنفش طبیعی، موجب افزایش میزان فرابنفش در سطح زمین و در نتیجه افزایش آسیب‌های ناشی از پرتو فرابنفش گردیده است [۱].

- <sup>1</sup> Photosynthesis
- <sup>2</sup> Photon
- <sup>3</sup> Photolysis
- <sup>4</sup> Reactive Oxygen Species
- <sup>5</sup> Oxidation
- <sup>6</sup> Singlet
- <sup>7</sup> Peroxide
- <sup>8</sup> Ozone
- <sup>9</sup> Stratosphere

جدول ۲- انرژی تابش‌های مختلف نور خورشید و انرژی پیوندهای شیمیایی رایج در ساختارهای آلی [۳، ۴].

انرژی (kJ/mol)	نوع پیوند شیمیایی	انرژی (kJ/mol)	طول موج تابش (nm)
۴۲۷	H-CH <sub>3</sub>	بیش از ۳۰۰	کمتر از ۴۰۰
۴۱۹	CH <sub>3</sub> O-H	۲۷۰ تا ۳۰۰	۴۰ تا ۴۳۰ (بنفش)
۳۷۳	HO-CH <sub>3</sub>	۲۴۷ تا ۲۷۷	۴۳۰ تا ۴۹۰ (آبی)
۳۴۴	Cl-CH <sub>3</sub>	۲۲۳ تا ۲۴۷	۴۹۰ تا ۵۳۰ (سبز)
۳۳۱	OH <sub>5</sub> C <sub>2</sub> -C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O	۲۰۷ تا ۲۲۳	۵۳۰ تا ۵۹۰ (زر)
۱۵۱	O <sub>2</sub> N-C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O	۱۹۷ تا ۲۰۷	۵۹۰ تا ۶۱۰ (نارنجی)
۱۵۱	HO-C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> O	۱۷۶ تا ۱۹۷	۶۱۰ تا ۷۰۰ (قرمز)
۱۴۷	OH <sub>9</sub> C <sub>4</sub> -C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> O	کمتر از ۱۷۶	بیشتر از ۷۰۰

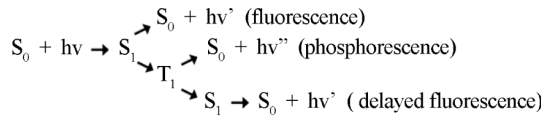
۱-۲- تخلیه انرژی نور توسط ساختارهای آلی

همانطور که اشاره شد، پرتو فرابنفش بر انرژی موجب شکستن پیوندهای شیمیایی و تجزیه نوری ساختار می‌گردد، اما هنگامی که ملکولی نور مرئی و یا فرابنفش نزدیک را جذب می‌کند، الکترون‌های آن برانگیخته شده و به سطوح انرژی بالاتر می‌رود. انرژی جذب شده توسط ساختارهای آلی در حالت کلی به سه طریق انتقال داده شده و تخلیه می‌شود:

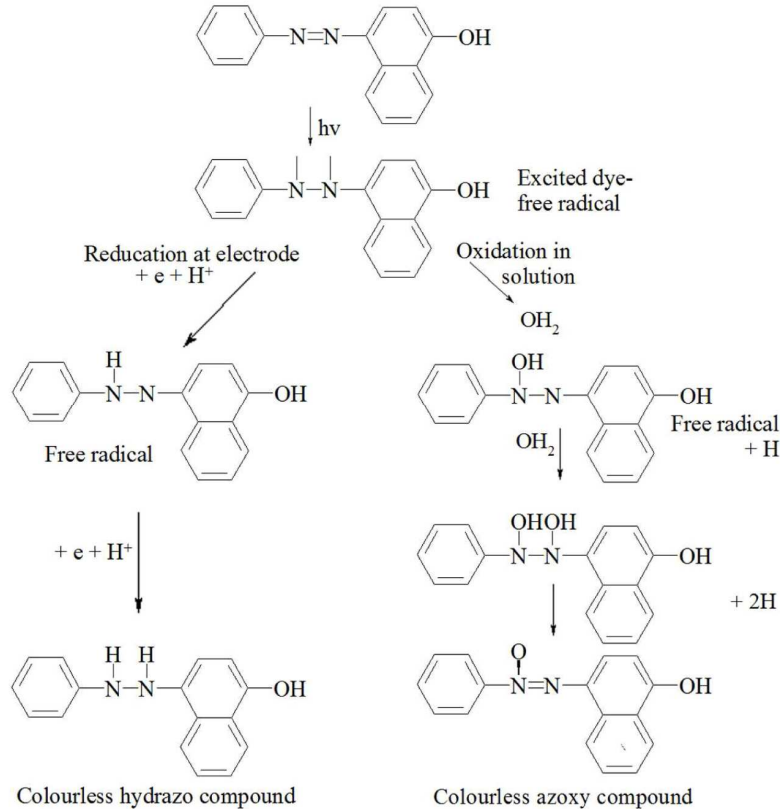
۱. **انتقال تابشی:** در این نوع انتقال، ملکول به دو طریق فلورسنت و فسفرسنت انرژی را تخلیه کرده و انتقال می‌دهد. طول عمر این دو پدیده تنها تفاوت اصلی آنها است، به گونه‌ای که برانگیختگی و بازگشت به حالت پایه سینگلت (فلورسنت) در مدت زمان  $10^{-8}$  ثانیه اتفاق می‌افتد، اما در انتقال الکترون از حالت سینگلت برانگیخته به تریپلت و سپس بازگشت به حالت سینگلت پایه (فسفرسنت و فلورسنت تاخیری)، طول عمر واکنش در مواردی به بیش از چند ثانیه نیز می‌رسد (شکل ۲).

۲. **انتقال انرژی بدون تابش:** این رفتار در زمانی بسیار کوتاه‌تر از فلورسنت ( $10^{-8}$  ثانیه) اتفاق می‌افتد و در آن اتم برانگیخته شده انرژی خود را به دو صورت درون ملکولی و بین ملکولی انتقال می‌دهد. در حالت درون ملکولی، بین گروه‌های برانگیخته شده و غیربرانگیخته، تبادل انرژی سطحی صورت می‌گیرد. در حالت دوم، ملکول‌های برانگیخته شده، انرژی موجود را به سایر ملکول‌های هم‌جوار (پذیرنده‌های انرژی) انتقال می‌دهند.

۳. **واکنش شیمیایی:** یک ملکول در حالت برانگیخته شده، مستعد واکنش با سایر ملکول‌های موجود در سیستم است. این واکنش‌ها می‌تواند: اکسیداسیون، احیاء، یونیزاسیون، تشکیل رادیکال‌های آزاد و غیره باشد. این نوع رفتار، در دو حالت برانگیختگی سینگلت و تریپلت مشاهده شده است، اما بر اساس مبانی نظری، در سطح تریپلت به دلیل طول عمر بیشتر پدیده، این نوع رفتار محتمل‌تر است (شکل ۳) [۸].



شکل ۲- انتقال تابشی انرژی در ساختارهای آلی [۸]



شکل ۳- تخلیه انرژی نور به وسیله واکنش‌های شیمیایی، خصوصاً در مواد رنگزای آلی [۸]

## ۲-۲- تاثیر نور بر پوست انسان

قرار گرفتن در معرض پرتو فرابنفش (UVR) موجب آفتاب سوختگی، پیری زودرس، برنزه شدن و ایجاد چین و چروک در پوست می‌شود و طولانی شدن آن، موجب افزایش خطر ابتلا به سرطان پوست می‌گردد [۱، ۲، ۷، ۹، ۱۰]. جدول ۳ نشان‌دهنده آسیب‌های احتمالی در پوست‌های مختلف به‌وسیله نور است. از این رو می‌توان گفت هرچه قرار گرفتن پوست در معرض نور کاهش یابد، امکان ابتلا به سرطان پوست و سایر مشکلات پوستی نیز کاهش می‌یابد. در این میان، لباس و پوشش اولین و بهترین گزینه برای پوشاندن پوست و جلوگیری از اثرات مخرب فرابنفش است.

## ۳-۲- محافظت پوست توسط لباس

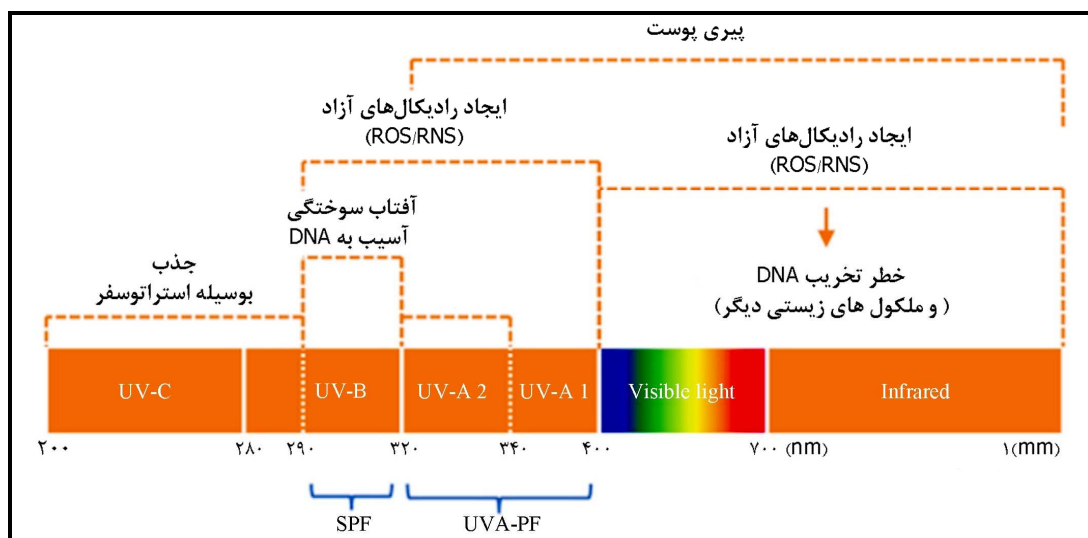
یکی از بهترین گزینه‌ها برای حفاظت پوست در برابر نور لباس است، اما لباس‌های متداول تولید شده با الیاف پنبه، ابریشم، پشم و یا پارچه‌های مصنوعی، برای حفاظت پوست در مقابل فرابنفش مناسب نیستند، زیرا پرتو پر قدرت فرابنفش به راحتی از این پارچه‌ها عبور می‌کند [۱، ۹]. از این رو، توسعه مطالعه و تحقیق جهت تولید لباس‌ها و پوشش‌های محافظ در برابر فرابنفش برای به حداقل رساندن آسیب‌های پرتو

فرابنفش بر پوست و سلامت انسان، امری حیاتی است. پارچه‌های سبک وزنی که برای تولید پیراهن، بلوز، تی‌شرت و لباس شنا و مانند اینها به کار می‌روند، بهترین گزینه برای عمل‌آوری در برابر عبور فرابنفش می‌باشند، بدین دلیل که بیشترین احتمال برای قرار گرفتن طولانی مدت انسان در معرض نور خورشید در فصل تابستان است [۲]. در کشورهای مختلف استانداردهای متفاوتی در مورد میزان حفاظت پارچه در برابر فرابنفش وضع گردیده که مهم‌ترین آنها SPF<sup>۱</sup> یا عامل محافظت در برابر خورشید نامگذاری شده است [۱، ۲، ۹]. این استاندارد از طریق سنجش تفاوت میزان قرمزی پوست بوسیله نور در شرایط عادی، در برابر میزان قرمزی ایجاد شده بوسیله نور پس از عبور از پارچه مورد سنجش، بیان می‌گردد [۱، ۲] و از آنجایی که پرتوهای فرابنفش در محدوده ۳۰۵ تا ۳۱۰ nm بیشترین میزان خسارت به پوست انسان را دارند [۲، ۴]، محدوده سنجش این استاندارد ۳۰۰ تا ۳۲۰ nm می‌باشد (شکل ۴) [۲] و برای سنجش این میزان از دستگاه‌های طیف‌سنج مخصوص استفاده می‌گردد [۴-۶، ۱].

<sup>۱</sup> Solar Protection Factor

جدول ۳- تاثیر پرتو فرابنفش بر پوست‌های مختلف [۷].

میزان آسیب	مدت مقاومت پوست (دقیقه)	مقدار انرژی مخرب (mJ/cm <sup>2</sup> )	رنگ پوست
برنزه شدن، پیری زودرس و احتمال سرطان پوست	۵ تا ۱۲	۲۰ تا ۳۰	سفید
برنزه شدن و گاهی اوقات سوختگی	۱۰ تا ۲۰	۳۰ تا ۶۰	قهوه‌ای روشن
برنزه شدن و به ندرت سوختگی (وجود ملانین)	۲۰ تا ۳۵	۶۰ تا ۱۰۰	قهوه‌ای
احتمال خیلی کم سوختگی به دلیل مقدار زیاد ملانین	۳۵ تا ۷۰	۱۰۰ تا ۲۰۰	سیاه



شکل ۴- محدوده نور خورشید و تاثیرات آن بر پوست [۱۰].

عوامل تاثیرگذار بر میزان حفاظت فرابنفش پارچه عبارتند از:

### ۲-۳-۱- ساختار الیاف به کار رفته در پارچه

ساختار شیمیایی و فیزیکی لیف خام و بدون عمل‌آوری در میزان SPF پارچه تاثیرگذار است. در جدول ۴ میزان SPF پارچه‌های تولید شده با الیاف خام متداول در تولید منسوجات درج شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، الیاف پنبه و ابریشم محافظت کمی در برابر پرتو فرابنفش دارند، در حالی که پشم و پلی استر محافظت خوبی از خود نشان داده‌اند، نایلون نیز در حد فاصل این دو گروه قرار دارد [۹، ۲].

جدول ۴- میزان محافظت در برابر نور (SPF) پارچه‌های خام [۲]

نوع پارچه (بدون عمل‌آوری)	میزان عامل SPF
پنبه	۴
پشم	۴۵
ابریشم	۷
پلی استر	۲۶
نایلون حاوی کدرکننده	۱۲

### ۲-۳-۲- پوشاندگی الیاف

زمانی که الیاف استفاده شده در پارچه به طور کامل نور تابیده شده را جذب کنند، تنها مکانی که امکان عبور نور وجود دارد، فضای خالی موجود بین نخ‌های تار و پود پارچه است. پس هر چه میزان فاکتور پوشاندگی<sup>۱</sup> پارچه بالاتر باشد و این فضاهای خالی کمتر باشند، پارچه دارای SPF بالاتری خواهد بود [۹، ۷، ۲]. به طوری که پارچه‌های بافته شده از الیاف نانو نسبت به الیاف معمولی حتی در شرایط یکسان و با وزن مخصوص و ساختار مشابه توانایی محافظت بیشتری در برابر پرتو فرابنفش دارند [۲].

### ۲-۳-۳- مواد شیمیایی موجود در منسوج

میزان و نوع مواد شیمیایی موجود در سطح منسوج نیز در افزایش حفاظت پوست در برابر فرابنفش، دارای اهمیت خاصی است. زمانی که بر روی لیف موادی چون رنگزا، رنگدانه، دندان و یا سایر مواد تکمیلی وجود دارند، نور تابیده شده، قبل از عبور از پارچه به مقدار زیادی توسط این ساختارها جذب می‌گردد و مقدار جذب با افزایش غلظت این مواد بر روی پارچه افزایش می‌یابد [۹، ۷، ۳، ۲].

تمامی موارد ذکر شده اعم از الیاف و رنگزاهای طبیعی، توانایی جذب پرتو فرابنفش و جلوگیری از برخورد این پرتو با پوست انسان را دارند. اما همان‌طور که اشاره شد، نور و خصوصاً پرتو فرابنفش تاثیرات مخربی را بر روی ملکول‌ها و پلیمرهای آلی دارد [۶، ۴، ۱]. این ساختارها، توانایی تخلیه کامل انرژی جذب شده، بدون تخریب را ندارند. هر چند، تعداد ملکول‌های تخریب شده در اثر تهییج در شرایط عادی بسیار ناچیز است، اما انرژی پرتو فرابنفش و بالا رفتن سرعت واکنش‌ها در اثر این انرژی، می‌تواند سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی درون سیستمی را مختل کرده و تعداد قابل

توجهی از پیوندهای ملکولی را طی چند ماه و یا حتی چند هفته تخریب کند [۵، ۴]. مطالعات اخیر نشان داده که الیاف سنتزی جدید چون پلی استر جاذب‌های فرابنفش خوبی هستند و مقاومت خوبی در برابر تخریب نوری دارند. اما این الیاف، دافع آب بوده و گزینه مناسبی برای استفاده جهت پوشش، خصوصاً در فصول گرم، که به طور کلی میزان قرار گرفتن در معرض پرتو فرابنفش بیشتر است، نیستند [۱۱]. از سوی دیگر، با وجود ثبات‌های بسیار عالی رنگزاهای سنتزی در برابر تخریب نوری، استانداردهای زیست محیطی زیادی در بسیاری از کشورها در واکنش به حساسیت‌زایی و سمی بودن این رنگزاهای و همچنین مواد خطرناک منتشر شده در طبیعت در فرایند تولیدشان، اعمال گردیده که موجب کاهش استفاده از این رنگزاهای شده است [۱۲]. در این مقاله، با توجه به مطالب ذکر شده، سعی بر آنست با تاکید بر الیاف و رنگزاهای طبیعی، راهکارهای جدید ارائه شده تا به امروز، جهت بهبود خواص محافظتی مواد طبیعی در برابر نور مرور شود.

### ۳- آسیب‌های نوری الیاف و رنگزاهای طبیعی

در سال‌های اخیر، علاقه و تمایل به استفاده از مواد طبیعی برای تولید لباس (پارچه‌های سبک)، پرده، سایبان (پارچه‌های سنگین) [۱۱] و همچنین انواع دست بافته‌ها بیشتر شده است. امروزه، پس از مدت‌ها تجربه مشکلات زندگی مدرن [۱۳]، تلاش برای احیاء استفاده از رنگزاهای طبیعی غیرسمی و زیست تخریب‌پذیر در رنگرزی منسوجات، خصوصاً کالاهای تولید شده با الیاف طبیعی [۱۴] به سرعت در حال افزایش است. در مطالعات مختلف، مشکل خاصی از جانب رنگزاهای طبیعی برای سلامتی انسان گزارش نشده است [۱۵، ۱۲، ۹، ۱]. در این میان یکی از اصلی‌ترین مشکلاتی که استفاده گسترده از الیاف و رنگزاهای طبیعی را محدود می‌سازد، واکنش‌ها و تغییرات شیمیایی آنها در برابر نور است.

### ۳-۱- الیاف طبیعی

#### ۳-۱-۱- الیاف پروتئینی

امروزه نخ تولید شده از الیاف پروتئینی به عنوان یک محصول پرکاربرد و چند منظوره، به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حال حاضر، نخ پشمی در طیف گسترده‌ای از منسوجات با ترکیبات، وزن‌ها، نمرات و تاب‌های متنوع عرضه می‌گردد. در این میان، زردی الیاف پروتئینی در برابر نور<sup>۱</sup>، یک مشکل تجاری قابل توجه و مهم در صنعت نساجی است [۱۶، ۱۷]. الیاف پروتئینی در برابر پرتو فرابنفش مقاومت چندانی نداشته و تخریب می‌شوند، به طوری که پیوندهای گوگردی پشم در اثر پرتو فرابنفش شکسته و نهایتاً تمامی گروه‌های سیستم<sup>۲</sup> اکسید می‌گردند. نور منجر به برانگیختگی پیوند دی‌سولفیدی در زنجیره پلیمری و در نهایت آبکافت و اکسید شدن آن و تولید رادیکال‌های آزاد می‌شود. از طرف دیگر،

<sup>۱</sup> Photo Yellowing

<sup>۲</sup> Cystine

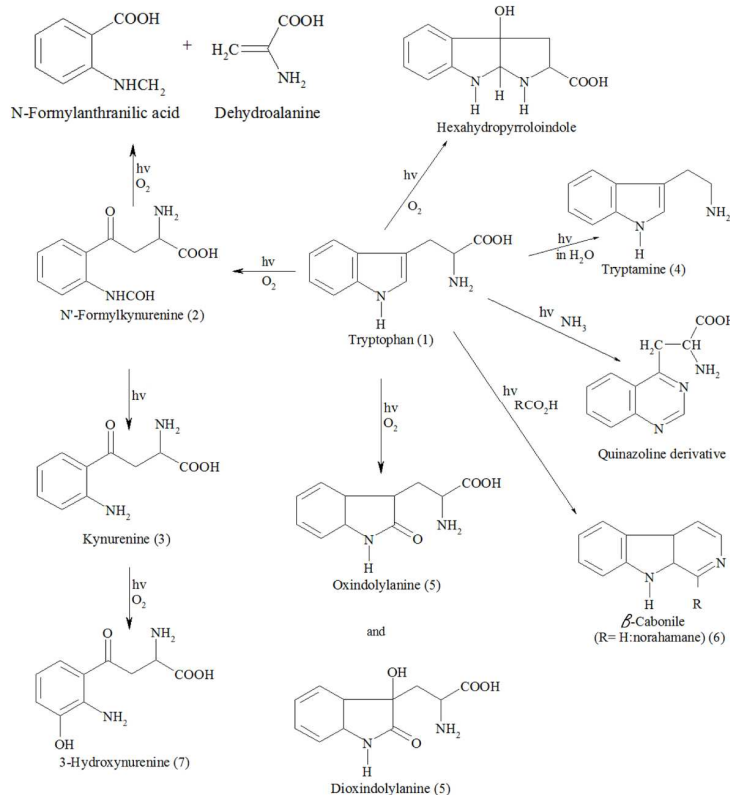
پیوندهای پپتیدی زنجیره پلیمری شود. از دیگر سو، رادیکال‌های آزاد ایجاد شده به همراه رطوبت موجود در لیف، باعث ایجاد پیوندهای عرضی در بین پلیمرها و پایین آمدن انعطاف‌پذیری و ارتجاعیت لیف می‌گردند [۳، ۱۶، ۲۱].

### ۳-۱-۲- الیاف گیاهی (سلولزی)

پرتوهای پراثری نور در محدوده فرابنفش و کمتر از ۲۶۰ nm باعث تخریب ساختارهای سلولزی، خصوصاً الیاف پنبه می‌شود [۲۳]، اما پرتوهای با طول موج کمتر از ۲۸۰ nm در استراتوسفر جذب شده و به سطح زمین نمی‌رسند [۲]. برای ایجاد واکنش شیمیایی در لیف، پرتو باید مستقیماً توسط سلولز جذب گردد، اما ساختار پیچیده سلولز پنبه فاقد ویژگی‌های مورد نیاز برای جذب نور در ناحیه مرئی است. میزان جذب نور این الیاف در ناحیه فرابنفش نزدیک (۲۸۰ تا ۴۰۰ nm) نیز در حد بسیار ناچیزی است. به طوری که، نور با طول موج بیش از ۳۱۰ nm، توانایی جذب و تاثیر مستقیم بر ساختار سلولز را ندارد [۲۳].

این انرژی مازاد باعث ایجاد یون هیدروکسیل می‌شود که توانایی پیوند با رادیکال آزاد گوگرد را دارد [۳، ۱۷، ۱۸]. طیف پرتو ایکس سطح پشم، به میزان ۱۰ تا ۱۲٪ اکسیژن را بر سطح الیاف پشم خام نشان داده است، در پشم قرار گرفته در معرض نور فرابنفش، این میزان به حدود ۲۷/۵٪ افزایش یافته است [۱۶]. آسیب‌پذیری و زردی الیاف پروتئینی در مقابل نور، عمدتاً به دلیل جذب ذاتی پرتو الکترومغناطیس توسط ساختارهای موجود در این الیاف در محدوده فرابنفش A و B است. غالب این جذب نیز به دلیل وجود اسیدآمین‌های آروماتیک چون تریپتوفان<sup>۲</sup>، تیروزین<sup>۳</sup> و فنیل‌آلانین<sup>۴</sup> در ساختار پشم و ابریشم است [۱۶، ۱۹، ۲۰]. اکسید شدن گروه‌های دی‌سولفید اسیدآمین تریپتوفان، در اثر اکسیژن موجود در هوا و تبدیل آنها به سولفونیک اسید به همراه برخی گروه‌های عاملی COOH/COOR بر روی سطح لیف، دلیل افزایش در میزان اکسیژن موجود در سطح لیف می‌باشد [۲۱]. نتایج تحقیقات نشان داده است که شناسایی محصولات تخریب تریپتوفان در داخل لیف مشکل می‌باشد، با این حال محصولات اولیه تخریب تریپتوفان، توانایی ادامه بر هم کنش و واکنش‌های فتوشیمیایی بیشتر را دارند (شکل ۵) [۱۹، ۲۲]. محصولات نهایی تخریب تریپتوفان و ترکیب گروه‌های ایجاد شده از این تخریب با سایر ساختارهای موجود در الیاف پروتئینی، گروه‌های رنگی هستند که موجب تغییر در رنگ لیف می‌گردند. همچنین واکنش محصولات این اکسیداسیون با سایر اسیدآمین‌های فعال موجود در زنجیره پلیمری می‌تواند منجر به شکستن

- <sup>1</sup> Cover Factor
- <sup>2</sup> Tryptophan
- <sup>3</sup> Tyrosine
- <sup>4</sup> Phenylalanine



شکل ۵- محصولات مختلف تخریب نوری تریپتوفان [۲۲].

و پوست بلوط دارای خاصیت ضد میکروبی و در نتیجه فعالیت درمانی بالایی دارند [۲۸، ۱۴].

با این وجود، رنگ‌های طبیعی دارای محدودیت‌هایی هستند. از عمده مشکلات رنگ‌های طبیعی ثبات نوری کم تا متوسط آنها است، در حالی که به وسیله رنگ‌های سنتزی و شیمیایی طیف وسیعی از ثبات‌ها از ضعیف تا عالی قابل دستیابی می‌باشد [۲۹، ۱]. نتایج مطالعات انجام شده تا به امروز نشان داده، برای شناسایی ارتباط بین ساختار شیمیایی و ثبات نوری، هیچ معیار سنجش و ارزش مطلق و همیشگی وجود ندارد [۳۰]. زیرا ثبات یک رنگ به عوامل گوناگونی بستگی دارد. برای نمونه برخی از عوامل مهم مذکور عبارتند از:

### ۳-۲-۱- ساختار شیمیایی

ساختار یک رنگ نشان‌دهنده مقدار ثبات نوری آن رنگ است. تجزیه و تحلیل و بررسی رنگ‌های طبیعی ثبت شده در مرجع رنگ<sup>۱</sup> نشان می‌دهد که تقریباً ۵۰٪ رنگ‌های طبیعی از ترکیبات فلاونوئیدی<sup>۲</sup> است. بسیاری از ترکیبات باقی‌مانده نیز در دو گروه کینونوئیدها<sup>۳</sup> (آنتراکینون<sup>۴</sup> و نفتوکینون<sup>۵</sup>) و آلکالوئیدها<sup>۶</sup> (ایندیگوئید<sup>۷</sup>) قرار می‌گیرند. جدول ۵ نشان‌دهنده رنگ‌های طبیعی شناخته شده و دسته‌بندی آنها بر اساس ساختار شیمیایی است.

اما دیگر ساختارهای موجود در سطح لیف، همچون رنگ و یا بعضی اکسیدهای فلزی که در عملیات تکمیل استفاده می‌شوند، می‌توانند نور را در محدوده فرابنفش و مرئی جذب کنند، تهییج این ساختارها و انرژی مازاد ایجاد شده در آنها بر سطح پلیمر، موجب واکنش‌های مخرب و در نتیجه تخریب سلولز می‌گردد [۲۴، ۲۳، ۳]. پیامدهای تخریب الیاف سلولزی توسط نور مواردی چون: تغییر در ارتجاعیت، کاهش انعطاف‌پذیری، کاهش جذب رطوبت، تغییر در ظرافت و دیگر خصوصیات لیف هستند. مهم‌ترین تاثیر مخرب نور در الیاف سلولزی، ایجاد تردی و شکنندگی در این الیاف یا فوتوتندرینگ<sup>۱</sup> این الیاف است [۲۳، ۲۵]. تردی و شکنندگی الیاف پنبه‌ای، خصوصاً الیاف رنگ شده با رنگ‌های خُمی سال‌های زیادی است که مورد توجه قرار گرفته و مطالعات زیادی در این خصوص انجام شده است. در این مطالعات به طور قطع مشخص شده که میزان حضور اکسیژن بر سطح لیف تاثیر عکس بر تخریب الیاف دارد، به گونه‌ای که با افزایش میزان اکسیژن، سرعت تخریب سلولز کاهش می‌یابد [۳، ۲۳، ۲۶].

### ۳-۲-۲- رنگ‌های طبیعی

اخیراً تمایل به استفاده از رنگ‌های طبیعی در رنگ‌رزی الیاف به سرعت در حال افزایش است. دلیل این امر، سازگاری این ترکیبات با محیط زیست است. در مطالعات مختلف، مشکل خاصی از جانب رنگ‌های طبیعی برای سلامت انسان گزارش نشده است [۱۵، ۱۲، ۹، ۱]. در سال‌های اخیر، باور عمومی بر این است که رنگ‌های طبیعی، نسبت به رنگ‌های شیمیایی، سازگاری بیشتری با محیط زیست دارند و در فرآیند استخراج و فرآوری آنها مشکلات زیست محیطی ایجاد نمی‌شود و معمولاً تاثیر مخربی بر محیط زیست ندارند [۲۷، ۱۲]. همچنین ثابت شده که بسیاری از رنگ‌های طبیعی مانند زردچوبه، حنا، پوست گردو، پوست انار

جدول ۵- رنگ‌های طبیعی شناخته شده و دسته‌بندی آنها [۳۴].

ساختار	رنگ‌های معمول
رنگ‌های فاقد نیتروژن	فلاون‌ها، فلانول‌ها، فلانون‌ها، ایزوفلاون‌ها جاگلون‌ها، آنورون‌ها آنتوسیانین‌ها انیدریدو بیس‌ها زانتون‌ها تانن‌ها
کینونوئید پلی این‌ها/کاروتنوئیدها	آنتراکینون‌ها، نفتوکینون‌ها، بنزوکینون‌ها، آنتراکینون‌های به هم چسبیده بیکسین، کروسین، بتا کاروتن، کاپسوروبین
رنگ‌های نیتروژن‌دار	پورپیرین‌ها (کلروفیل، هائیم، بیلیروبین) پترین‌ها ایندیگو، بتائین
پیرول پیریمیدین آلکالوئید	

<sup>1</sup> Phototendering  
<sup>2</sup> Color Index  
<sup>3</sup> Flavonoids  
<sup>4</sup> Quinonoids  
<sup>5</sup> Anthraquinones  
<sup>6</sup> Naphthoquinones  
<sup>7</sup> Alkaloids  
<sup>8</sup> Indigoids



### ۳-۲-۳- ساختار و مشخصات پستر

همانطور که در بخش ۲-۱ بیان گردید، یک ملکول در حالت برانگیخته می‌تواند میزان واکنش‌های شیمیایی با سایر ملکول‌ها شود. این واکنش‌ها می‌توانند اکسیداسیون، احیاء، یونیزه شدن، تشکیل رادیکال‌های آزاد و غیره باشد. مطالعات مختلف نشان داده که نوع لیف در این واکنش‌ها تاثیرگذار می‌باشد و لیاف پروتئینی و غیرپروتئینی بر واکنش‌های فتوشیمیایی و نحوه تخریب رنگزاهای مختلف، تاثیرات متفاوتی می‌گذارند [۳۰].

### ۳-۲-۴- ترکیبات اتمسفر

گسترده‌گی و تنوع غلظت گازها و سایر مواد موجود در اتمسفر در مناطق مختلف، از مواردی است که بر روی نحوه و میزان تخریب نوری رنگزاهای مختلف تاثیرگذارند [۳۰].

### ۳-۲-۵- نوع دندان مصرفی

در رنگ‌های دندان‌های، ارتباط خاصی بین نوع دندان مصرفی و ثبات نوری رنگزا وجود دارد، زیرا با استفاده از دندان‌های مختلف، امکان ایجاد کمپلکس‌های<sup>۱</sup> رنگ و فلز مختلفی وجود دارد، همچنین، فلز استفاده شده در این کمپلکس می‌تواند اثرات مثبت یا منفی کاتالستی<sup>۲</sup> در جریان تخریب رنگزا داشته باشد [۳۳، ۳۵]. نتایج برخی مطالعات نشان داده که دندان‌ها نسبت به خود رنگزا، در تعیین ثبات نوری پارچه‌های رنگ شده، مهم‌تر است. محققان اظهار داشتند که در مواردی که از دندان‌های قلع و آلومینیم استفاده شده، رنگ پایداری به طور قابل توجهی بیشتر از مواردی است که از دندان‌های کروم، آهن و یا مس استفاده شده است. همچنین مشخص شده است که حضور یون‌های فلزی در سیستم رنگ-دندان-لیف به دلیل کاهش و تخلیه انرژی جمع شده در سیستم، باعث افزایش ثبات نوری می‌گردد [۲۹، ۱].

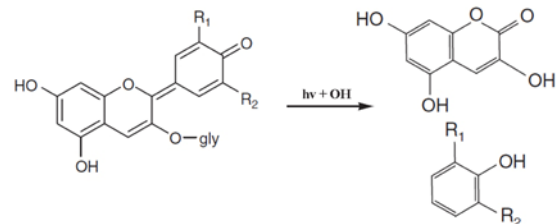
### ۳-۲-۳- دیگر عناصر موجود در سطح لیف

سایر عناصر و ناخالصی‌های موجود در سطح لیف، به غیر از ماده رنگزا نیز بر تخریب لیف و همچنین بر روی ثبات نوری رنگ تاثیرگذار می‌باشند، بدین صورت که حضور موادی چون نشاسته بر سطح لیف پنبه‌ای ممکن است باعث افزایش نرخ رنگ‌پایداری شود [۳۳]. از سوی دیگر، در شرایطی که اکسیداسیون و در نتیجه رنگ‌پایداری در حال انجام است، ممکن است گروه‌های آنتی‌اکسیدان درون سیستمی کافی نباشند و نیاز باشد برای مهار بهتر و قوی‌تر رادیکال‌های آزاد، مواد تکمیلی به سیستم اضافه گردند [۲۷، ۵].

### ۴- جاذب‌های فرابنفش<sup>۳</sup>

در چند دهه اخیر، در زمینه امکان استفاده از جاذب‌های فرابنفش بر روی لیاف طبیعی، به منظور بهبود ثبات نوری این لیاف و رنگزاهای استفاده شده در رنگزای آنها، مطالعاتی صورت گرفته است. جاذب‌های

بر اساس مطالعات انجام شده و مندرجات مرجع رنگ، به صورت کلی، ترکیبات فلاونوئیدی نسبت به کینونوئیدها و آلکالوئیدها در برابر نور پایداری کمتری دارند. دلیل این مساله را می‌توان پل اتصال دهنده دو گروه آروماتیک موجود در این رنگزاهای نسبت داد. این پیوند C-C به دلیل کشندگی الکترون از سمت حلقه‌های آروماتیک، همانطور که در جدول ۲ نیز قابل مشاهده است، دارای انرژی کمی بوده و بوسیله انرژی نور تابشی به راحتی تخریب و شکسته می‌شود (شکل ۶).



شکل ۶- تخریب نوری فلاونوئیدها در حضور اکسیژن [۳۱].

از طرف دیگر، این گروه از رنگزاهای به شدت آب‌دوست بوده و در ساختار خود گروه‌های هیدروکسیل زیادی دارند که می‌تواند سرعت تخریب این رنگزاهای را افزایش دهد [۳۱]. این عملیات، یعنی تخریب بوسیله گروه‌های هیدروکسیل، در دو مرحله انجام می‌شود، در ابتدا انرژی نور تابشی، موجب شکستن پیوند O-C گروه هیدروکسیل و کربن موجود در حلقه آروماتیک می‌گردد، در ادامه انرژی موجود در سیستم، همانطور که در بخش ۲ شرح داده شد، باعث واکنش یون‌های هیدروکسیل با هم و با سایر ساختارها و ایجاد گروه‌های فعال اکسیژن (ROS) در سیستم می‌گردد. این گروه‌ها، در حضور نور و حتی بدون حضور نور، قادر به تخریب ساختارهای آلی می‌باشند [۳۲]. کینونوئیدها و آلکالوئیدهایی همچون آنتراکینون‌ها و ایندیگوئیدها به دلیل مقاومت و پایداری بالای ترکیبات آروماتیک در برابر مواد شیمیایی و انرژی نور دارای ثبات نوری خوبی هستند، اما به دلیل تئوری مطرح شده در مورد گروه‌های هیدروکسیل، افزایش این گروه‌ها در رنگزاهای آنتراکینون نیز موجب کاهش ثبات نوری این گروه از رنگزاهای می‌گردد [۳۳، ۳۴، ۶]. با این حال بررسی ساختار شیمیایی به تنهایی جهت بیان میزان ثبات یک رنگزا کافی نمی‌باشد.

### ۳-۲-۲- غلظت و درصد تجمع رنگزا در پستر

مطالعه منابع مختلف نشان داد، بسته به ساختار شیمیایی رنگزا و نحوه تخلیه انرژی و انتقال انرژی در سیستم، در بعضی موارد افزایش غلظت موجب افزایش ثبات می‌گردد و در بعضی از رنگزاهای افزایش غلظت، موجب افزایش جذب نور و افزایش انرژی در سیستم، موجب افزایش سرعت تخریب می‌گردد [۳۰].

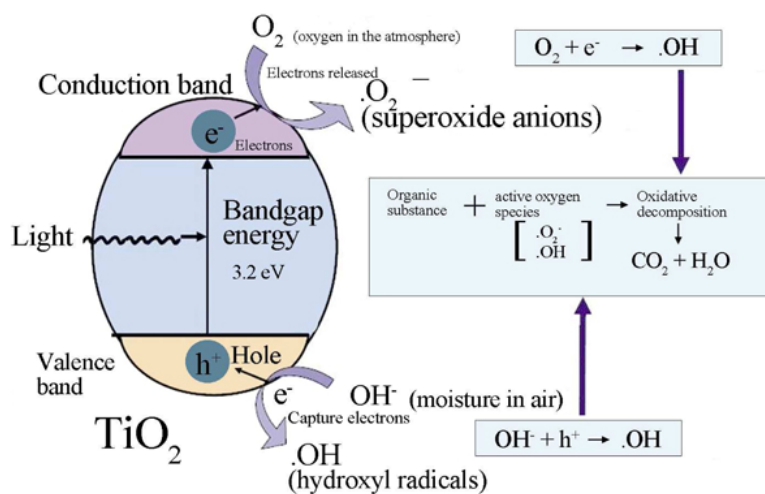
اکسید فلزی مذکور (نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و اکسید روی) نسبت به سایر مواد نانو همچون نانو نقره، قیمت پایین این مواد، سمی نبودن و فعالیت فتوکاتالیستی آنها است [۳۷]. بسته به میزان پوشش و غلظت ماده جاذب استفاده شده، این مواد توانایی جذب پرتو فرابنفش را دارند [۳۶، ۳۸]. گستره و شیوه عملکرد این دو ماده با یکدیگر متفاوت است به گونه‌ای که اکسید روی بهترین عملکرد را در برابر پرتو UV-A دارد، اما دی اکسید تیتانیوم در برابر UV-B عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد [۳۶]. در حالت کلی، اکسید روی به خاطر گستره عملکرد بیشتر (۲۴۰ تا ۳۸۰ nm) دارای محبوبیت بیشتری است [۳۷]. برای مثال در شکل ۷ شمایی از سازوکار واکنش فتوکاتالیستی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم نشان داده شده است. نوردهی نیمه‌رساناهای فتوکاتالیست، بوسیله نور دارای طول موج و میزان انرژی متناسب با شکاف نواری فتوکاتالیست، باعث برانگیختگی الکترون از نوار ظرفیت به نوار هدایت شده و موجب تشکیل یک جفت الکترون ( $e^-$ ) - حفره ( $h^+$ ) می‌شود. بدین ترتیب یک حفره در باند ظرفیت و یک الکترون در باند هدایت ایجاد خواهد شد. در نتیجه، یون‌های هیدروکسیل ( $OH^-$ ) در حفره می‌افتند که منجر به تشکیل رادیکال‌های هیدروکسیل (با خاصیت اکسیدکننده‌گی قوی) می‌شود. همچنین انرژی سطحی ایجاد شده موجب تشکیل سوپراکسیدهای  $O_2$  (احیاء‌کننده یا کاهنده قوی) در سیستم می‌گردد. حضور این عوامل در سیستم موجب افزایش سرعت واکنش مولکول‌های برانگیخته شده و تخلیه انرژی سیستم و در نتیجه سالم ماندن مواد مفید موجود در پستر می‌گردد (شکل ۷) [۳۷، ۳۹، ۴۲، ۴۳].

فرابنفش از سال ۱۹۲۸ برای محافظت از پوست و جلوگیری از ابتلا به سرطان پوست، در ساخت ضدآفتاب‌ها مورد استفاده قرار گرفتند [۷، ۳۶]. گسترش اطلاعات در مورد نور و تخریب‌های نوری، موجب استفاده از این مواد در سایر تولیدات، جهت بالا بردن مقاومت این کالاها در برابر نور شد. جاذب‌های فرابنفش به صورت کلی به دو دسته آلی و معدنی تقسیم می‌گردند.

#### ۱-۴- جاذب‌های فرابنفش معدنی

پرکاربردترین و بهترین جاذب‌های معدنی که امروزه نیز به طور گسترده استفاده می‌شوند، اکسید روی<sup>۴</sup> و دی اکسید تیتانیوم<sup>۵</sup> هستند. این ذرات معدنی برای اهداف مختلفی بر روی منسوجات اعمال گردیده‌اند که برای مثال می‌توان به ایجاد خاصیت ضدباکتری، ضد میکروبی، خودتمیزشوندگی و از همه مهم‌تر محافظت منسوجات در برابر فرابنفش اشاره کرد [۳۷، ۳۸]. تا همین اواخر و قبل از ارائه جاذب‌های معدنی در ابعاد نانو، این جاذب‌ها کاربرد چندانی نداشتند. بزرگی دانه‌های آنها که باعث پراکنش زیاد نور و خراب شدن جلوه محصولات می‌شد، دلیل نگرانی‌های زیبایی شناختی و کاهش استفاده از این دسته از جاذب‌ها بود [۳۶]. تولید مواد با استفاده از فناوری نانو موجب گردیده تمامی اتم‌ها و ملکول‌ها، بوسیله ابزارآلات و دستگاه‌های دقیق تولید شده و ساختارهایی با خصوصیات بسیار عالی ساخته شوند [۳۹]. تولید و معرفی جاذب‌های فرابنفش در ابعاد نانو (۱۰ تا ۵۰ nm)، باعث کاهش پراکنش نوری و از بین رفتن رنگ سفید ایجاد شده در پستر شد. از آن پس، مقبولیت این مواد برای استفاده در صنایع مختلف افزایش یافته است [۴۰-۴۲]. استفاده از فناوری نانو، موجب تولید این نانوذرات با نسبت سطح به حجم بالا و به شکل صفحه‌ای و دو بعدی گردیده است. این ساختار نوین، باعث افزایش فعالیت سطحی و قدرت فتوکاتالیستی<sup>۶</sup> این مواد در فرآیند اکسیداسیون نوری مواد آلی شده است [۳۹]. دلیل بالا بودن کاربرد دو

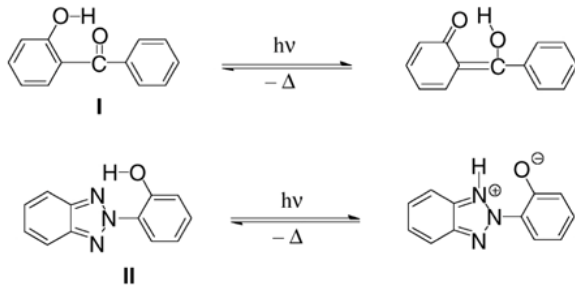
- <sup>1</sup> Complex
- <sup>2</sup> Catalytic
- <sup>3</sup> UV absorbers
- <sup>4</sup> Zinc Oxide (ZnO)
- <sup>5</sup> Titanium Dioxide (TiO<sub>2</sub>)
- <sup>6</sup> Photo-Catalytic



شکل ۷- نحوه واکنش‌های فتوکاتالیستی TiO<sub>2</sub> و محصولات آن [۴۲].

۴۰۰ nm

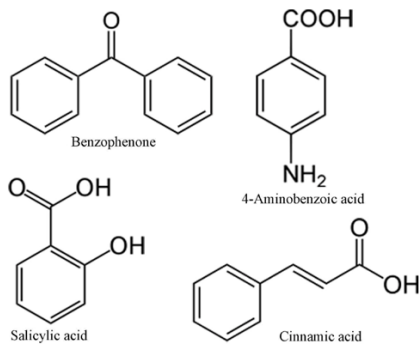
۲. ثابت در مقابل قرار گرفتن طولانی مدت در برابر نور
۳. پراکنش ملکولی مناسب جهت فعالیت های سطحی و همچنین پوشش سطح
۴. عدم تاثیر شیمیایی مخرب بر دیگر مواد موجود در بستر



شکل ۸- تخلیه و اتلاف انرژی گرمایی بوسیله جاذب های فرابنفش با تغییرات توتومری [۴۷].

در یک نگاه کلی، عمده ترکیبات شیمیایی آلی سازگار با پوست انسان با توانایی جذب پرتو ماورابنفش که تا به امروز یافت شده اند را می توان به صورت زیر دسته بندی کرد (شکل ۹):

۱. مشتقات ۴-آمینوبنزواتیک اسید<sup>۱</sup> (PABA) نظیر: اتیل پی-آمینوبنزوات<sup>۲</sup>
۲. مشتقات سینامیک اسید<sup>۳</sup> نظیر: سدیم پی-متوکسی سینامات<sup>۴</sup>
۳. مشتقات بنزوفنون<sup>۵</sup> نظیر: ۲،۴-دی هیدروکسی بنزوفنون<sup>۶</sup>
۴. مشتقات سالیسیلیک اسید<sup>۷</sup> نظیر: فینیل سالیسیلات<sup>۸</sup>
۵. و مواد جدید دیگر [۳۳، ۱۰].



شکل ۹- گروه های اصلی جاذب های فرابنفش متداول [۴۱، ۳۵].

<sup>1</sup> P-Aminobenzoic acid (PABA)  
<sup>2</sup> Ethyl p-aminobenzoate  
<sup>3</sup> Cinnamic acid  
<sup>4</sup> Sodium p-methoxycinnamate  
<sup>5</sup> Benzophenone  
<sup>6</sup> 2,4-Dihydroxybenzophenone  
<sup>7</sup> Salicylic acid  
<sup>8</sup> Phenyl salicylate

این جاذب ها به دلیل مقاومت بالا در برابر حرارت، به عنوان ماده اولیه در محصولات مانند پلی استر و نایلون استفاده می شوند. الیاف تولید شده به این روش برای پرده، سایبان، روکش صندلی خودرو و موارد مشابه که در آنها به ثبات نوری بالا نیاز است، مورد استفاده قرار می گیرند [۳۵]. با وجود نگرانی هایی که اخیراً در مورد خطرات و آسیب های جاذب های معدنی مطرح گردیده است، هنوز هیچ گونه مدرکی مبنی بر جذب و ورود اینگونه مواد به بدن وجود ندارد [۳۶]. در سال های اخیر، روش های مختلفی برای سنتز و اعمال این نانوذرات بر روی الیاف و پلیمرهای گوناگون از قبیل پنبه، پلی استر، نایلون، پشم و غیره ارائه شده است [۳۷]. با این حال، به دلیل قدرت نفوذ پایین این مواد در الیاف طبیعی و نیاز به عوامل شبکه ساز جهت چسباندن این جاذب ها به سطح لیف، برای بالا بردن ثبات شستشویی، این مواد معدنی را نمی توان به صورت گسترده و تجاری در عملیات تکمیل الیاف طبیعی نظیر پنبه و پشم استفاده کرد. در عملیات تکمیل الیاف طبیعی، از این گونه مواد جاذب بیشتر جهت پارچه های ترکیبی همچون پشم/ پلی استر و یا پنبه/ پلی استر استفاده می شود [۴۵، ۴۴، ۴۲، ۳۸].

#### ۴-۲- جاذب های فرابنفش آلی

این دسته از جاذب ها، ساختارهایی هستند که می توانند پرتو فرابنفش پر انرژی را جذب کنند، در سال های اخیر مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده است [۲۳، ۲۱، ۱۶، ۷، ۳، ۲]. الکترون های این مواد همچون دیگر ساختارهای آلی با جذب نور برانگیخته می شوند، با این تفاوت که الکترون ها در زمان بازگشت از حالت برانگیخته به حالت پایه، انرژی جذب شده را به صورت مقادیر ناچیزی گرما و نور در محدوده مرئی و یا زیرقرمز بازتاب می دهند [۴۶، ۳۸، ۳۵] (شکل ۸). به صورت کلی، حضور این مواد در بستر، موجب جذب نور توسط آنها و تخریب آنها می گردد. در نتیجه مواد مفید موجود در بستر از آسیب محفوظ می مانند. همچنین این مواد، پرتوهای کم انرژی تر را جذب کرده و انرژی مازاد را به وسیله انتقال بدون تابش تخلیه می کنند. این انتقال، در جاذب هایی که عملکرد بهتری دارند، معمولاً به صورت انتقال درون ملکولی است، به گونه ای که این جاذب ها نور مضر را جذب کرده و انرژی مازاد ایجاد شده را با تبدیل و تغییر حالت توتومری<sup>۱</sup>، به انرژی گرمایی تبدیل می کنند (شکل ۸) [۴۷]. جاذب های فرابنفش آلی به سه دسته جاذب های فرابنفش محدوده A (UV-A)، جاذب های فرابنفش محدوده B (UV-B) و همچنین جاذب های گستره باز<sup>۲</sup> (به جاذب هایی که توانایی جذب پرتو در کل محدوده فرابنفش را دارا می باشند، گستره باز یا پهن باند گفته می شود) تقسیم می شوند. جاذب های UV-B در چند دهه گذشته در صنایع مختلف خصوصاً در تولید ضدآفتابها مورد استفاده قرار گرفته اند. اما جاذب های UV-A و گستره باز در سال های اخیر معرفی و عرضه شده اند [۴۶، ۳۶].

عمده مشخصات جاذب های فرابنفش مناسب جهت منسوجات عبارتند از:

۱. قابلیت جذب بالای پرتوهای الکترومغناطیس در محدوده ۲۹۰ تا

کوئرسیتین، وانیلیک اسید، کافنیک اسید و فرولیک اسید نام برد.  
۲. تجزیه یون پروکسید: به عنوان افزایش‌دهنده سرعت تجزیه یون پروکسید نیز می‌توان به آسکوربیک اسید (ویتامین C) و اریتوربیک اسید اشاره کرد [۳۳، ۴۸].

در مطالعه‌ای در سال ۲۰۰۴ اعلام گردید که بهترین جاذب‌های فرابنفش موجود در طبیعت برای استفاده در عملیات تکمیل منسوجات طبیعی، جهت بالا بردن ثبات نوری، ضد اکسیدکننده‌های موجود در گیاهان نظیر: اسکوربیک اسید، گالیک اسید و استرهاى آن، توکوفول و برخی از پلی فنول‌های گیاهی چون: کوئرسیتین، میریستین، وانیلیک اسید، کافنیک اسید و فرولیک اسید هستند که ساختار مولکولی برخی از آنها در شکل ۱۰ نشان داده شده است [۳۳].

اخیراً مطالعاتی بر روی خاصیت محافظت در برابر فرابنفش رنگزاهای طبیعی و استفاده از این رنگزاهای به عنوان جاذب فرابنفش انجام گرفته است [۱]. از مهم‌ترین این رنگزاهای عصاره چای سبز است. عصاره چای سبز دارای گروه فنلی فعالی به نام کاتچین<sup>۱۱</sup> است. کاتچین و مشتقات آن همچون اپی‌گالوکاتچین دارای خاصیت جذب فرابنفش و همچنین فعالیت ضد اکسیدشدنی خوبی هستند. از عصاره این رنگزاهای برای رنگرزی و عمل‌آوری الیاف طبیعی همچون پشم و پنبه استفاده شده است [۳۸]. عصاره برگ اکالیپتوس<sup>۱۲</sup> دیگر ماده رنگزای طبیعی است که به این منظور مورد مطالعه قرار گرفته است. این عصاره شامل آنتی‌اکسیدان‌هایی چون گالیک اسید، الازیک اسید<sup>۱۳</sup> و کوئرسیتین می‌باشد [۳۴]. عصاره گالبلوط<sup>۱۴</sup> دیگر رنگزای استفاده شده در این تحقیقات است، که علاوه بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی، دارای خواص مازاد دیگری نظیر ضد میکروبی و ضد باکتری است. آنتی‌اکسیدان موجود در عصاره این رنگزای طبیعی گالیک اسید می‌باشد [۴۹].

از دیگر مواد رنگزای استفاده شده، عصاره پوست پرتقال است که توانایی جذب فرابنفش و بالا بردن میزان حفاظت منسوج را دارد، اما گروه‌های شیمیایی موثر موجود در این عصاره هنوز به طور کامل شناسایی نشده است [۲۸].

در بسیاری از مطالعات مشخص گردید که پنزوفنون و مشتقات آن بهترین جاذب‌های فرابنفش آلی سنتز و تجاری شده، با کمترین آمار حساسیت‌زایی و بالاترین میزان جذب فرابنفش و مقاومت در برابر تخریب می‌باشند [۱۰، ۳۳، ۴۵].

در سال‌های اخیر نیاز به جاذب‌هایی با قابلیت عمل در کل محدوده فرابنفش و دارای مقاومت مناسب در برابر تخریب نوری، باعث معرفی نسل جدیدی از جاذب‌ها شده است، از جمله این مواد جدید که عملکرد خوبی در کل ناحیه فرابنفش دارند (پهن باند) می‌توان از دو ماده:

۱. متیلن بیس پنزوتری‌آزولیل تترامتیل‌بوتیل‌فنول<sup>۳</sup>

۲. بیس‌اتیل‌هیدروکسی‌فنول‌متوکسی‌فنول‌تری‌آزین<sup>۴</sup>

تولید شده توسط شرکت آلمانی BASF نام برد [۳۶].

در این میان، پساب حاصله از فرآیند تولید و به‌کارگیری این مواد، همانند رنگزاهای سنتزی، خسارات جبران‌ناپذیری را در طبیعت ایجاد کرده و باعث آلودگی محیط زیست می‌گردد. از این رو، تمرکز مطالعات جدید بر روی جایگزین‌های سازگار با محیط زیست و مناسب برای این مواد سنتزی و شیمیایی است. استفاده از ترکیبات طبیعی بهترین گزینه برای دست‌یابی به این منظور است. همانطور که بیان شد برای محافظت خوب در کل محدوده فرابنفش نیاز به ترکیب چند جاذب با یکدیگر است و انجام این کار با مواد طبیعی به دلیل هزینه‌های استخراج و تخلیص این مواد، بسیار پیچیده و دشوار می‌باشد. به همین دلیل اخیراً تمرکز مطالعات انجام شده، بیشتر بر روی ساختارهای طبیعی و دوست‌دار محیط زیستی است که توانایی آنتی‌اکسیدانی و جلوگیری از اکسید شدن و تخریب نوری ساختارهای آلی را دارند.

#### ۴-۲-۱- ضد اکسیدکننده‌ها<sup>۵</sup>

در مطالعات جدید، امکان استفاده از مواد طبیعی به عنوان ضد اکسیدکننده مورد مطالعه قرار گرفته است. ترکیبات آلی که با اکسیژن فعال ترکیب شده و مانع واکنش اکسیژن برانگیخته شده با مواد مفید موجود در بستر می‌گردند ضد اکسیدکننده‌ها یا مهارکننده فرآیند اکسیداسیون می‌باشند. به همین دلیل، این مواد، موجب افزایش پایداری محصولات می‌شوند، پس گزینه‌های خوبی برای محافظت کالا در برابر تخریب نوری هستند. در بررسی‌های گوناگون، گونه‌های خاصی از مواد شیمیایی به عنوان آنتی‌اکسیدان مطرح گردیده‌اند. از جمله مواد شیمیایی که برای این منظور استفاده می‌شوند: فنل‌ها<sup>۶</sup>، آمین‌های آروماتیک ثانویه<sup>۷</sup>، بعضی استرهای سولفیدی، ترکیبات فسفر سه ظرفیتی، هیندرد آمین‌ها<sup>۸</sup>، متال‌دی‌تیوکرپامات‌ها<sup>۹</sup>، متال‌دی‌تیوفسفات‌ها<sup>۱۰</sup> و غیره هستند. آنتی‌اکسیدان‌ها به دو شیوه عمل می‌کنند:

۱. جذب و مهار کردن رادیکال‌های آزاد ایجاد شده در سیستم: به عنوان نمونه برای آنتی‌اکسیدان‌های مهارکننده رادیکال می‌توان از گالیک اسید و استرهاى آن، توکوفول و برخی پلی فنول‌های گیاهی نظیر: میریستین،

<sup>1</sup> Tautomerism

<sup>2</sup> Broadband

<sup>3</sup> Methylene bisbenzotriazolil tetramethoxybutylphenol

<sup>4</sup> Bis-ethyl hydroxyphenol methoxyphenol triazine

<sup>5</sup> Antioxidants

<sup>6</sup> Phenol

<sup>7</sup> Secondary aromatic amine

<sup>8</sup> Hindered amine

<sup>9</sup> Metal dithiocarbamate

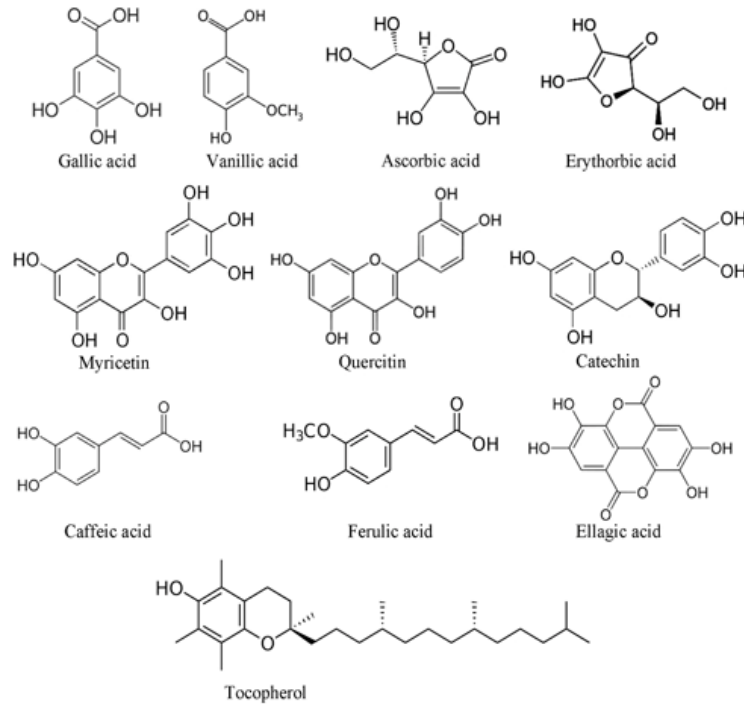
<sup>10</sup> Metal dithiophosphate

<sup>11</sup> Catechin

<sup>12</sup> Eucalyptus

<sup>13</sup> Ellagic acid

<sup>14</sup> Gallnut (Quercus infectoria Oliv.)



شکل ۱۰- ساختار شیمیایی تعدادی از ضداکسیدکننده‌های طبیعی [۴۹، ۳۸، ۳۴، ۳۳].

#### ۴- نتیجه‌گیری

در پساب کارگاه‌ها و کارخانه‌های نساجی شده است. به همین دلیل در مطالعات اخیر، تلاش گردیده با تاکید بر طبیعت گرایی و استفاده از مواد موجود در طبیعت، جاذب‌های فرابنفش معرفی و عرضه شود که کمترین آسیب را به محیط زیست وارد می‌کنند. به عنوان نتیجه‌گیری کلی از مرور مقالات و تحقیقات منتشر شده می‌توان گفت که امکان مطالعه در این زمینه، خصوصاً در زمینه نانوذرات جاذب فرابنفش، به دلیل امکان مدیریت و مهندسی نحوه و میزان عملکرد این ساختارها و جاذب‌های طبیعی به دلیل خصوصیات زیست محیطی، صرفه اقتصادی و در دسترس بودنشان، پیشرفت و توسعه کاربرد این مواد در سال‌های آتی روند فراینده و رو به رشدی داشته باشد.

جاذب‌های فرابنفش به دلیل حفاظت از پوست انسان در برابر آسیب‌های مخرب فرابنفش و همچنین محافظت پارچه و رنگزا و ایجاد ثبات نوری بالا در منسوج، جذابیت بالایی در صنایع گوناگون، خصوصاً نساجی دارند. در این مقاله سعی شد تا تحقیقات انجام شده بر روی جاذب‌های فرابنفش مورد استفاده در منسوجات مرور گردند. هدف عمده مطالعات انجام شده در این زمینه، سنتز و معرفی ساختارهایی با توانایی جذب و تبدیل انرژی پرتو فرابنفش در کل محدوده ۲۸۰ تا ۴۰۰ nm بوده است. دیگر مساله مهم و مورد توجه، بالا بردن پایداری مواد سنتزی جاذب فرابنفش در برابر تخریب بوسیله انرژی موجود در این پرتوها بوده است. از طرفی، تاکید روزافزون بر مقررات زیست محیطی باعث توجه بیشتر به مواد زاید موجود

#### ۵- مراجع

1. X. X. Feng, L. L. Zhang, J. Y. Chen, J. C. Zhang, "New insight into solar UV-protective properties of natural dyes", *J. Cleaner Prod.* 15, 366-372, **2007**.
2. W. D. Schindler, P. J. Hauser, "*Chemical finishing of textiles*". CRC, New York, 157-165, **2004**.
3. G. S. Egerton, "The Mechanism of the Photochemical Degradation of Textile Materials", *Soc. Dyers Colour.*, 65, 764-780, **1949**.
4. A. L. Andraday, S. H. Hamid, X. Hu, A. Torikai, "Effects of increased solar ultraviolet radiation on materials", *J. Photochem. Photobiol. B: Biology*, 46, 96-103, **1998**.
5. M. S. Campillo, J. A. Gabaldon, J. Castillo, O. B. García, M.J. Del Baño, M. Alcaraz, V. Vicente, N. Alvarez, J.A. Lozano, "Rosmarinic acid, a photo-protective agent against UV and other ionizing radiations", *Foo. Chem. Toxicol.*, 47, 386-392, **2009**.
6. H. Oda, "Improvement of light fastness of natural dyes. Part 2: Effect of functional phenyl esters on the photofading of carthamin in polymeric substrate", *Ind. Crops Prod.*, 40, 129-135, **2012**.
7. D. Saravanan, UV protection on textile materials, *AUTEX Res. J.*, 7(1), 53-62, **2007**.
8. K. McLAREN, "The action of light on colouring matters", *J. Soc. Cosmet. Chem.*, 18, 245-264, **1967**.
9. M. Shahid, S. Islam, F. Mohammad, "Recent Advancements in natural dye applications: a review", *J. Cleaner Prod.*, 53, 310-331, **2013**.
10. N. J. Lowe, "*Sunscreens: Development: Evaluation, and Regulatory Aspects*", Second Edition. CRC Press, New York, 249, **1996**.

11. D. Grifoni, L. Bacci, G. Zipoli, L. Albanese, F. Sabatini, "The role of natural dyes in the UV protection of fabrics made of vegetable fibers", *Dyes Pigm.*, 91, 279-285, **2011**.
  12. M. Mirjalili, K. Nazarpour, L. Karimi, "Eco-friendly dyeing of wool using natural dye from weld as co-partner with synthetic dye", *J. Cleaner Prod.*, 19, 1045-1051, **2011**.
  13. H. Boo, S. Hwang, C. Bae, S. Park, B. Heo, S. Gorinstein, "Extraction and characterization of some natural plant pigments", *Ind. Crops Prod.*, 40, 129-135, **2012**.
  14. M. B. Kasiri, S. Safapour, "Natural dyes and antimicrobials for green treatment of textiles", *Environ. Chem. Lett.*, 12, 1-13, **2014**.
  15. A. A. Khan, N. Iqbal, S. Adeel, M. Azeem, F. Batool, I. A. Bhatti, "Extraction of natural dye from red calico leaves: Gamma ray assisted improvements in color strength and fastness properties", *Dyes Pigm.*, 103, 50-54, **2014**.
  16. H. Zhang, K. R. Millington, X. Wang, "A morphology-related study on photodegradation of protein fibers", *J. Photochem. Photobiol. B: Biology*, 92, 135-143, **2008**.
  17. R. H. Bradley, I. L. Clackson, D. E. Sykes, "UV ozone modification of wool fibre surfaces", *Appl. Surf. Sci.*, 72, 143-147, **1993**.
  18. R. S. Davidson, "The photodegradation of some naturally occurring polymers", *J. Photochem. Photobiol. B: Biology*, 33, 3-25, **1996**.
  19. T. Koussoulou, "Photodegradation and photostabilization of historic silks in the museum environment – evaluation of a new conservation treatment", *Inst. Archaeology*, 10, 75-88, **1999**.
  20. I. Degano, M. Biesagab, M. P. Colombinia, M. Trojanowicz, "Historical and archaeological textiles: An insight on degradation products of wool and silk yarns", *J. Chromatogr. A*, 1218, 5837-5847, **2011**.
  21. K. R. Millington, J. S. Church, "The photodegradation of wool keratin II. Proposed mechanisms involving cysteine", *J. Photochem. Photobiol. B: Biology*, 39, 204-212, **1997**.
  22. K. Schiifer, D. Goddinge, H. Hocker, "Photodegradation of tryptophan in wool", *JSDC*, 113, 350-355, **1997**.
  23. P. J. Wakelyn, N. R. Bertoniere, A. D. French, D. P. Thibodeaux, B. A. Triplett, M.A. Rousselle, W. R. Goynes, J. V. Edwards, L. Hunter, D. D. McAlister, G. R. Gamble, "*Cotton Fiber Chemistry and Technology*". CRC, New York, 69-105, **2006**.
  24. N. Saihon, "Photodegradation of Cellulose Acetate Fibers", *J. Polym. Sci.*, 15, 725-744, **1977**.
  25. G. J. Smitha, I. J. Millerb, V. Daniels, "Phototendering of wool sensitized by naturally occurring polyphenolic dyes", *J. Photochem. Photobiol. A: Chemistry*, 169, 147-152, **2005**.
  26. P. J. Baugh, G. O. Phillips, N. W. Worthington, "Photodegradation of Cotton Cellulose II-Effect of the Vat Dyes Caledon Yellow GN, 5GK and 4G", *JSDC*, 19-24, **1970**.
  27. P. Y. Wang, Y. P. Chen, P. Z. Yang, "The Effect of a UV-Absorber on the Photostability of Acid Dyes on Silk", *Dyes Pigm.*, 30, 141-149, **1996**.
  28. X. Hou, X. Chen, Y. Cheng, H. Xu, L. Chen, Y. Yang, "Dyeing and UV-protection properties of water extracts from orange peel", *J. Cleaner Prod.*, 52, 410-419, **2013**.
  29. K. Yoshizumia, P. C. Crewsb, "Characteristics of fading of wool cloth dyed with selected natural dyestuffs on the basis of solar radiant energy", *Dyes Pigm.*, 58, 197-204, **2003**.
  30. C. H. Giles, D. G. Dufft, R. S. Sinclair, "The Relationship between Dye Structure and Fastness Properties", *Rev. Prog. Coloration*, 12, 58-65, **1982**.
  31. T. Bechtold, R. Mussak, "*Handbook of Natural Colorants*", John Wiley and Sons, United Kingdom, 261-267, **2009**.
  32. S. N. Batchelor, D. Carr, C. E. Coleman, L. Fairclough, A. Jarvis, "The photofading mechanism of commercial reactive dyes on cotton", *Dyes Pigm.*, 59, 269-275, **2003**.
  33. D. Cristea, G. Vilarem, "Improving light fastness of natural dyes on cotton yarn", *Dyes Pigm.*, 70, 238-245, **2006**.
  34. R. Mongkholrattanasit, "Dye extraction from eucalyptus leaves and Application for Silk and Wool fabrics dyeing", PhD thesis, Tech. Univ., Czech, **2010**.
  35. J. J. Lee, H. H. Lee, S. I. Eomb, J. P. Kima, "UV absorber after treatment to improve light fastness of natural dyes on protein fibres", *Color. Technol.*, 117, 134-138, **2001**.
  36. P. Häusermann, J. Passweg, J. Steiger, "*Transplantation Dermatology*", Karger Medical and Scientific Publishers, Switzerland, 171-195, **2012**.
  37. M. Montazer, M. M. Amiri, "ZnO Nano Reactor on Textiles and Polymers: Ex-Situ and In-Situ Synthesis, Appl. and Characterization", *J. Phys. Chem. B*, **2013**.
  38. S. h. Kim, "Dyeing characteristics and UV Protection Property of Green tea Dyed Cotton Fabrics", *Fibers Polym.*, 7(3), 255-261, **2006**.
  39. S. Kathirvelu, L. D'Souza, B. Dhurai, "UV protection finishing of textile using ZnO nanoparticles", *Indian J. Fiber Text. Res.*, 34, 267-273, **2009**.
  40. H. Jiang, Q. Wang, S. Zang, J. Li, Q. Wang, "Enhanced photoactivity of Sm, N, P-tridoped anatase-TiO<sub>2</sub> nanophotocatalyst for 4-chlorophenol degradation under sunlight irradiation", *J. Hazard. Mater.*, 261, 44-54, **2013**.
  41. N. Daneshvar, M. Rabbani, N. Modirshahla, M. A. Behnjady, "Kinetic modeling of photo catalytic degradation of Acid Red 27 in UV/TiO<sub>2</sub> process", *J. Photochem. Photobiol. A: Chemistry*, 168, 39-45, **2004**.
  42. M. Montazer, S. Seifollahzadeh, "Enhanced self-cleaning, antibacterial and UV protection properties of Nano TiO<sub>2</sub> Treated Textile through Enzymatic Pretreatment", *Photochem. Photobiol.*, 87, 877-883, **2011**.
۴۳. م. حسینی زری، "فناوری نانو در شیشه و سرامیک‌های مدرن خود پاک‌شونده"، نشریه علمی-ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، جلد اول، پاییز ۹۰، شماره دوم، صفحه ۳-۱۰، **۱۳۹۰**.
44. E. Pakdel, M. Montazer, "Improving the Stability of Wool fabric against ultraviolet using nano titanium dioxide and butane tetra carboxylic acid (BTCA)", *J. Color Sci. Technol.*, 3, 233-241, **2010**.
  45. E. G. Tsatsaroni, A. H. Kehayoglou, I. C. Eleftheriadis, L. E. Kyriazis, "Effectiveness of Various UV-absorbers on the Dyeing of Polyester with Disperse dyes. Part IV", *Dyes Pigm.*, 38, 65-75, **1998**.
  46. Y. Dobashi, T. Yuyama, Y. Ohkatsu, "Interaction of ultraviolet absorbers", *Polym. Degrad. Stab.*, 92, 1227-1233, **2007**.
  47. H. Oda, "Improvement of Light fastness of Natural dye: effect of Ultraviolet absorbers containing benzotriazolyl moiety on the photofading of red carthamin", *Soc. Dyers Colour., Color. Technol*, 128, 108-113, **2012**.
  48. S. Nojavana, F. Khaliliana, F. M. Kiaiee, A. Rahimic, A. Arabanianc, S. Chalavi, "Extraction and quantitative determination of ascorbic acid during different maturity stages of Rosa canina L. fruit R. Mongkholrattanasit", *J. Food Compos. Anal.*, 21, 300-305, **2008**.
  49. M. Shahid, A. Ahmad, M. Yusuf, M. I. Khan, S. A. Khan, N. Manzoor, F. Mohammad, "Dyeing, fastness and antimicrobial properties of woolen yarns dyed with gallnut (*Quercus infectoria Oliv.*) extract", *Dyes Pigm.*, 95, 53-61, **2012**.