بررسی تأثیر نانو ذرات بر خواص خود تمیز شوندگی و سایشی در نمد پشمی (نمونه موردی: تیتانیوم دی‌اکسید، سریم دی‌اکسید و منیزیم اکسید)

فرانک کبیری[1]* ، پروانه محقق[2]
[1]گروه صنایع دستی، دانشکده هنر و علوم انسانی فارسان، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، ۸۸۱۸۶۳۴۱۴۱
[2]دانشگاه فنی و حرفه ای شهرکرد، شهرکرد، ایران.

Kabiri.faranak@sku.ac.ir
تارخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۰۴

چکیده

نمد یکی از منحصر به فرد ترین منسوجات است که بدون بافتن و از طریق تنیدن ایجاد می‌شود و ایران پیشگام تولید آن در جهان است. امروزه با توجه به رقابت شدید اقتصادی در جهان، به نظر می‌رسد حفظ و به روز رسانی این محصول مطابق با پیشرفت و نیاز جامعه امری ضروری باشد. یکی از کاستی‌ها در نمدهای فعلی، شیوه دشوار شستشوی نمد است که منجر به بر هم ریختن طرح، نقش و فرم آن پس از شستشو می‌باشد. از آنجاییکه برطرف کردن این نقیصه می‌تواند موجب افزایش بهره‌وری نمد شود، بنابراین مقاله حاضر با هدف رفع این مشکل از طریق به کارگیری نانو ذرات با غلظت مشخص پایه‌ریزی شد. به همین منظور نانو ذرات تیتانیوم دی اکسید، سریم دی اکسید و منیزیوم اکسید برای ایجاد خاصیت خود تمیز شوندگی و افزایش مقاومت در برابر سایش در نمدهای سنتی تولید شده از پشم انتخاب شدند. آزمایش‌های لازم بر روی ۱۰ قطعه نمد و هر کدام با ۴ تکرار انجام شد. نتایج نشان داد میزان خود تمیزشوندگی و مقاومت در برابر سایش در نمدهای حاوی تیتانیوم دی اکسید با غلظت ۰/۳ درصد به ترتیب ۱۱۹ درصد و ۵۳ درصد نسبت به نمونه بدون نانو ذرات افزایش داشت و این افزایش نسبت به سایر نانو ذرات نیز در سطح ۵ درصد مثبت و معنی‌دار بود.

کلمات کلیدی: نانو ذرات، خود تمیز شوندگی،سایش، نمد، پشم

Investigating the impact of nanoparticles (titanium dioxide, cerium dioxide, and magnesium oxide) on the self-cleaning and abrasion properties of woolen felt: A case study.

Faranak Kabiri[1]*, Parvane Mohaghegh[2]
[1]handicrafts department, Faculty of Art & humanities of Farsan, Shahrekord university, Shahrekord, IRAN, Postal Cod:8818634141
[2]Technical and Vocational university of Shahrekord, , Shahrekord, IRAN.

Kabiri.faranak@sku.ac.ir

Abstract:
Felt is one of the most unique textiles created without weaving and through braiding. Iran is a pioneer of felt production in the world. Given the intense economic competition in the world, it is important to update and improve this product according to advancements and requirements of the society. One of the defects in the currently used felts is the difficult way of washing self-cleaning to the distortion of its design, pattern and form following washing. Since removing this defect can enhance the productivity of felt, the present article was designed to solve this problem through the use of nanoparticles with a specific concentration. Toward this goal, nanoparticles of titanium dioxide, cerium dioxide and magnesium oxide were selected to create self-cleaning properties and resistance against abrasion in traditional woolen felts. Accordingly, necessary tests were performed on 10 pieces of felt with 4 repetitions. The obtained results showed that felts containing 0.3% titanium dioxide had a 119% increase in self-cleaning and a 53% increase in wear resistance when compared to samples without nanoparticles. This increase was also significant when compared to other nanoparticles at a 5% level.
Keywords: Nano particles, Self-cleaning, Abrasion, Felt, Wool.

۱- مقدمه

فناوری نانو موج چهارم انقلاب صنعتی می‌با شد که تقریباً تمامی علوم را در برگرفته ا ست و تاکنون بی‌شترین کاربرد را در صـنایعی از جمله نسـاجی داشـته اسـت. نانوذرات[1] کاربردهای مختلفی دارند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشـاره کرد: افزایش اسـتحکام، کاهش وزن، بالا بردن مقاومت شـیمیایی و حرارتی مواد [۱ و ۲]، تأثیرپذیری اجسـام در برابر نور و تشـعشـعات[۱] ،جذب صـوت در قسمت‌های داخلی و خارجی بدنه کشتی‌های مسافربری، شناورهای نظامی و زیردریایی‌ها [۳]، حفظ گرمای بدن و تأثیر بر گردش خون به منظور کاهش خسـتگی و راحتی در تولید کفش و لباس [۴]، ضـد میکروب کردن نخ های ابریشـمی در برابر بـاکتری‌هـا [۵] و بهبود و اصـلاح منسـوجات با افزایش طول عمر و دوام آن ها و کنترل میکروارگانیسم‌ها [۶].

نمدهای پشمی به عنوان ساده‌ترین نوع منسوج محسوب می‌شوند و بدون بافت بوده و از طریق تنیدن پشم یا کرک تشـکیل شـده‌اند. این منسـوج، علی‌رغم ویژگی های ارزشمندی همچون بازگشت‌پذیری و رنگ‌پذیری مطلوب و ایجاد گرما همزمان با کاهش تعریق بدن، متأسـفانه محدودیت‌هایی همانند: بوی نامطبوع پشـم، تغییر رنگ، خردشدن مو و چسبیدن آن به پوشاک، دشواری در تمیز کردن و شـسـتشـو و تجزیه پذیری بیولوژیک دارد. در سـال‌های اخیر این منسـوج کاربردهای جدیدی علاوه بر کارکردهای سـنتی خود پیدا کرده و در حوزه‌های مختلف از جمله: صـنعت سـاختمان به عنوان عایق حرارت [۷]، صنعت خودروسازی به عنوان عایق صوت و گرما، صنعت بهداشت و درمان به عنوان کاهش دهنده التهابات مفصلی و غیره مورد استفاده قرار گرفته شده است.

امروزه تحقیقاتی در مورد اثر نانو ذرات بر پشـم نیز صـورت گرفته که برخی از نتایج آن‌ها به شـرح زیر اسـت: بهینه سازی ظرافت پشم با استفاده از نانو ذرات نقره[۸]، استحکام بخشی پشم از طریق برهم کنش نانو ذرات نقره با پروتئین آن [۹]، مطالعه رسـانایی الکتریکی نانوذرات مختلف کربن روی فرش‌های پشمی و مقابله با حشرات و ضد بید نمودن پشم با استفاده از نانو ذرات تیتانیوم [۹ و ۱۰]. افزایش اسـتحکام کشـشـی پارچه‌های پشـمی با استفاده از نانو کپسول‌های سیلیکا [۲] ، افزایش خاصیت رنگ‌پذیری الیاف پشـمی آغشـته به نانو ذرات Fe_3O_4 [۱۱]، نانو ذرات طلا و نانو ذرات نقره در مقایسـه با الیاف پشم معمولی[۱۲].

با توجه به گسترش کاربرد نمد در صنایع گوناگون و به کارگیری علوم روز همانند استفاده از نانوذرات بر روی منسوجات، نیاز به بررسی نوع نانو ذرات قابل کاربرد، غلظت مناسب و بررسی تأثیر آنها بر ویژگی‌های مختلف نمد جهت کاهش برخی کاستی‌ها مانند دشواری و تغییر شکل دادن آن هنگام شستشو و افزایش میزان مقاومت در برابر سایش در این منسوج ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین مطالعه

[1] نانو ذرات، ابعادی حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر دارند و یکی از خواص مهم آن‌ها، نسبت سطح به حجم بالای آن‌ها می‌باشد.

حاضر با هدف ارتقای برخی از ویژگی‌های نمدهای سنتی مانند: افزایش طول عمر، مقاومت در برابر گرد و خاک و تولید نمدهای ضدلک و خودتمیزشونده با استفاده از غلظت‌های گوناگون نانوذرات سریم دی اکسید، منیزیم اکسید و تیتانیوم دی اکسید به عنوان متداول‌ترین نانو ذرات مورد استفاده در صنعت نساجی، پایه‌ریزی شد. فرضیات این پژوهش شامل موارد ذیل بود:

- نانوذرات اثری بر خواص شیمیایی و فیزیکی نمدهای سنتی ندارند.
- تفاوتی بین کاربرد انواع نانو ذرات مختلف بر روی نمدهای سنتی وجود ندارد.
- غلظت های گوناگون هر کدام از نانو ذرات اثر متفاوتی بر ویژگی‌های نمد نخواهند داشت.

و اهداف اصلی این تحقیق عبارتند از:

- ✓ بررسی اثر نانو ذرات بر ویژگی‌های خود تمیزشوندگی و سایش نمدهای سنتی تولید شده از پشم
- ✓ مقایسه خواص سه نوع نانو ذره بر ویژگی‌های نمدهای سنتی
- ✓ مقایسه غلظت‌های گوناگونی از هر نانو ذره بر خواص خود تمیز شوندگی و سایش نمدهای سنتی تولید شده از پشم

۲- مواد و روش‌ها

در انجام این آزمایش، تعدادی قطعه نمد سنتی تهیه شد و نانو ذراتی نیز با غلظت‌های مختلف برای بررسی ویژگی‌های خود تمیزشوندگی و مقاومت در برابر سایش تهیه شد و این نانو ذرات بر روی نمدها تزریق شدند که شرح آن به قرار زیر می‌باشد.

۲-۱- تولید قطعات نمد و ویژگی آن‌ها

با توجه به اینکه قرار است نتایج این تحقیق بر روی نمدهای سنتی ایران که با پشم تولید می‌شوند، اعمال شود؛ کوشش شده قطعه نمدهایی که آزمایش‌ها بر روی آن‌ها انجام می‌شود نیز مشابه نمونه‌های موجود در بازار باشند. بنابراین برای ساخت نمدهای مورد استفاده در این تحقیق از پشم ایرانی استفاده شد. خصوصیات الیاف پشم استفاده شده جهت تولید نمدها در جدول ۱ آورده شده است. نمونه‌های نمد با دستگاه و با ابعاد ۲ در ۲ متر و مشابه یکدیگر تهیه شد. مقدار صابون استفاده شده در همه نمونه‌ها یکسان و برابر با ۱/۵ کیلوگرم در هر متر مربع بود. عملیات درست کردن نمد تا حصول کیفیت قابل قبول، ادامه یافت. زمان ساخت نمدها نیز حدود ۳ تا ۵ ساعت بود. خصوصیت نمدهای ساخته شده در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات الیاف پشم مورد استفاده

نوع پشم	طول لیف (میلیمتر)	ظرافت لیف (میکرومتر)	تعداد جعد در واحد طول (متر)
ایرانی	78	6	163

جدول ۲: مشخصات نمدهای تولید شده

نوع پشم	ضخامت نمد (میلیمتر)	وزن در واحد سطح (کیلوگرم بر متر مربع)	دانسیته حجمی (گرم بر سانتیمترمکعب)	درصد تخلخل
ایرانی	16.88	3.67	0.22	81

۲-۲- نانو ذرات مورد استفاده در پژوهش و ویژگی‌های آن‌ها

در این پژوهش برای انتخاب نوع نانو ذرات مربوطه از مطالعات انجام شده در زمینه خاصیت فتوکاتالیستی و خود تمیزشوندگی منسوجات با استفاده از مواد نانو بهره گرفته شد [۳،۹ و ۱۳]. بنابراین سه نانو ذره تیتانیوم دی اکسید، منیزیم اکسید و سریم دی اکسید انتخاب شدند و برای درست کردن مواد نانو با درصدهای گوناگون در این آزمایش سطوح نانو ذرات مورد استفاده به شرح ذیل بودند: تیتانیوم دی اکسید (۰/۱، ۰/۳ و ۰/۵ درصد وزنی به حجم)، سریم دی اکسید و منیزیم اکسید (۱، ۱/۵ و ۲ درصد وزنی به حجم) [۱۲، ۱۴ و ۱۵]. در حقیقت ۳ نوع نانو ذره با ۳ غلظت متفاوت استفاده شد و یک نمونه هم به صورت شاهد بدون کاربرد نانوذرات وجود داشت. نمونه شاهد در این آزمایش در شرایطی یکسان همانند نمونه‌های ترکیبی با نانو ذرات تهیه شد با این تفاوت که نمونه شاهد فاقد نانو ذرات بود. در این تحقیق هر نمونه با چهار تکرار انجام شد که ۴۰ نمونه نهایی مورد آزمایش قرار گرفت. مشخصات نانو ذرات استفاده شده در این مطالعه در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳: مشخصات نانو ذرات

ردی ف	نوع نانو ذره	متوسط اندازه ذرات (نانومتر)	شکل ظاهری	حلالیت در آب	دانسیته (گرم بر سانتیمترمکعب)
1	تیتانیوم دی اکسید	22	سفید	نامحلول	3.83
2	سریم دی اکسید	20-30	زرد روشن	نامحلول	1.1
3	منیزیم اکسید	200-100	سفید	نامحلول	3.58

۲-۳- نحوه ترکیب نانو ذرات با نمد

در مرحله اول ابتدا دیسپرسیون انجام شد که با مقادیر مختلف از نانو ذرات با غلظت‌های ذکر شده در قسمت قبل، این کار صورت گرفت و بدین منظور از بوتان تترا کربوکسیلیک اسید و هیپوفسفیت سدیم به عنوان کاتالیزور در آب مقطر استفاده شد و این سوسپانسیون از نانو ذرات به مدت ۱۰ دقیقه در حمام فراصوت قرار گرفتند. مرحله دوم آماده سازی نمد بود که ابتدا نمد با آب مقطر شسته شد که این کار به منظور حذف کردن لانولین پشم و خروج مواد زائد انجام شد. از طرف دیگر برای نشاندن نانو ذرات بر روی نمد از روش کراسلینگ استفاده شد که سوکسینیک اسید به عنوان ماده کراسلینگ‌کننده و هیپوفسفیت سدیم به عنوان کاتالیزور استفاده شد. ترکیب مذکور به مدت ۲۰ دقیقه همزده شد تا سوسپانسیونی یک‌دست به وجود آید و نمد خشک شده در مرحله قبل به مدت یک ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در سوسپانسیون قرار داده شد و بعد از آن در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳ دقیقه در آون قرار گرفت، سپس نمدها ۲ دقیقه در دمای ۱۸۰ درجه تثبیت شدند. لازم به ذکر است جهت تثبیت، نمدها به مدت

۱۰ دقیقه در حمام فراصوت قرار گرفتند تا نانو ذراتی که با نمد پیوند داده نشده‌اند از سطح آن جدا شوند [۱۲].

۲-۴- به د ست آوردن میزان نانو ذرات پو شش‌دهی شده با روش سوزاندن

مقداری از نمد عمل‌آوری شده وزن کرده و در بوته چینی قرار داده شد. سپس در درجه حرارت ۹۰۰ درجه سانتی گراد در کوره به مدت ۱۴۰ دقیقه قرار گرفت. بعد از آن نمونه‌ها خارج شده و دو مرتبه وزن شدند و از فرمول ذیل درصد نانو ذرات روی نمد به دست آورده شد[۱۵].

$$\text{درصد نانو ذرات} = \frac{\text{وزن باقی مانده نمونه شاهد} - \text{وزن باقیمانده نمونه}}{\text{وزن اولیه}} \times 100$$

۲-۵- نحوه به دست آوردن نانو ذرات با دستگاه XRF

روش X-Ray Florescent (XRF) به دلیل استفاده نکردن از مواد شیمیایی نسبت به سایر روش‌های آنالیزی، مناسب‌تر می‌باشد. در حقیقت اشعه ایکس به اتم‌های تشکیل دهنده نمونه برخورد می‌کند و طی آن اتم برانگیخته شده و با برگشت الکترون به ترازهای پایین‌تر، مازاد انرژی الکترون‌ها به صورت اشعه ایکس ساطع می شود. این تشعشعات که طول موج مشخصی دارند با دستگاه اندازه‌گیری شدند و با اندازه‌گیری هر طول موج نام عنصر مربوطه معین می‌شود و با اندازه‌گیری شدت آن، فراوانی عنصر در نمونه تعیین می‌شود [۱۲].

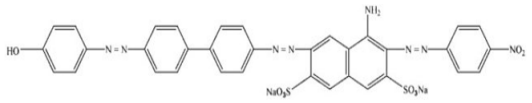
۲-۶- بررسی ساختار نانو ذرات با استفاه از میکروسکوپ الکترونی روبشی

دستگاه SEM استفاده شده در این آزمایش مدل KYKY-EM3200 ساخت کشور چین می‌باشد و روش کار آن بدین صورت است که الکترون به سطح نمونه تابیده شده و منعکس می‌گردد. این الکترون‌ها توسط آشکارساز جمع آوری و به فوتون نوری تبدیل می شوند تا تصویر مرئی ایجاد شود. در حقیقت این نوع میکروسکوپ فقط از ساختار سطحی تصویر می‌گیرد. به منظور بررسی ساختار نانو ذرات روی قطعات نمد، ابتدا باید هدایت الکتریکی نمونه های نمد بالا رود. زیرا اگر الکترونی که از طریق دستگاه SEM به سطح نمد تابیده می شود، روی سطح باقی بماند، منجر به تولید الکتریسیته ساکن می شود. بدین منظور با استفاده از نشاندن لایه نازکی از طلا و یا کربن، سطح نمونه‌های موجود، هدایت الکتریکی پیدا می‌کنند که از روش نشاندن لایه طلا (physical vapor deposition ,PVD) استفاده شد و نمونه ها با لایه نازکی از طلا پوشانده شدند و سپس با دستگاه SEM به مدت ۲۰ دقیقه تحت ولتاژ ۲۶ کیلو ولت قرار گرفتند.

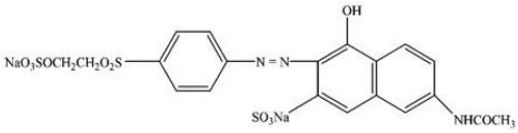
۲-۷- رنگ‌ها و چگونگی لکه‌گذاری روی قطعات نمد

پس از آماده‌سازی نمدها و آغشته نمودن آن‌ها به ذرات نانو، نمدها را به قطعات ۴ سانتی متر در ۴ سانتی‌متر تقسیم کرده و جهت بررسی خود تمیزشوندگی، لکه‌های رنگی سنتزی بر روی نمدها ایجاد شد. این رنگزاها با درصد وزنی ۰/۱ درصد تهیه شدند و نمدها با ۱۰۰میلی لیتر از رنگزاها آغشته و در دمای محیط خشک شد. رنگزاهای استفاده شده در این تحقیق رنگزای سبز ۶ (Dark Green 6) با شماره پایه شیمیایی شاخص رنگی (۳۰۲۹۵)، و رنگزای

نارنجی ۷۲ (Reactive Orange) با شماره پایه شیمیایی شاخص رنگی (۱۷۷۵۴) بود که ساختار شیمیایی آن‌ها در جدول ۴ و شکل ۱ و ۲ آورده شده است [۱۶].



شکل ۱: ساختمان شیمیایی رنگ سبز ۶ Dark Green 6 (CI 30295)



شکل ۲: ساختمان شیمیایی رنگ راکتیو نارنجی۷۲، Reactive Orange72 (CI 17754)

جدول ۴: ساختار شیمیایی و مشخصات مربوط به رنگ های مورد استفاده در آزمایش

نام رنگ	فرمول شیمیایی	ثبات نوری	وزن مولکولی	مقاومت اسیدی (ISO)	مقاومت اسیدی (AATCC)	مقاومت قلیایی (ISO)	حلالیت در آب (گرم بر لیتر)
Dark Green 6	$C_{34}H_{22}N_8Na_2O_{10}S_2$	1-2	812.7	4	4	1-2	2
Reactive Orange	$C_{20}H_{17}N_3Na_2O_{11}S_3$	5	617.5	-	-	-	300

۲-۸- تعیین میزان خود تمیزشـــو ندگی نـمد های آغشته به نانوذرات

در این آزمایش با استفاده از رنگزاهای مذکور در نمدهای شاهد که هیچ گونه نانو ذراتی نداشتند و نمدهای دارای سطوح مختلف از انواع نانو ذرات، لکه‌گذاری صورت گرفت. بعد از استفاده از رنگزاها، نمدها خشک شدند و سپس تحت نور لامپ ماورا بنفش ۸ وات به مدت ۳۰ ساعت در فاصله ۱۰ سانتی‌متری قرار گرفتند تا رنگبری صورت گیرد. پس از آن، نمونه‌ها برای بررسی طیف‌سنجی انعکاسی و به دست آوردن میزان رنگ پریدگی با استفاده از اسپکتروفتومتر انعکاسی نوع BYK-Grander ساخت کشور هند مورد آزمایش قرار گرفتند. در حقیقت اختلاف رنگ ایجاد شده قبل و بعد از نوردهی نشان‌دهنده میزان خودتمیزشوندگی بود. در دستگاه اسپکتروفتومتر انعکاسی نیز از لامپ فرابنفش UV-A ۴۰۰ وات ساخت شرکت Sylvania با منبع نوری D65 استفاده شد به طوری که تابش طول موج ۳۶۰ نانومتر همراه با طیف نوری با شدت $\mu w/cm^2$ ۰/۲ تا ۰/۴ و تابش طول موج ۷۴۰ نانومتر بود.

لازم به ذکر است، فاز و ساختار کریستالی، شدت و طول موج تابش، اسیدیته محلول، روش تولید و جذب سطحی نانو ذرات از عوامل تاثیرگذار بر روی میزان فعالیت کاتالیستی آن‌ها می‌باشند و همگی بر روی میزان خودتمیزشوندگی اثر دارند [۱۷ و ۱۸].

۲-۹- تعیین خواص سایشی نمد

برای انجام آزمایش سایش، از دستگاه Karl schroder D-6940 ساخت کشور آلمان، موجود در موسسه استاندارد اصفهان استفاده شد. در این دستگاه، ابتدا نمونه، توسط گیره ثابت شد. سپس از یک طرف توسط سمباده‌ای که بر روی یک فک چرخان نصب شده است به تعداد ۵۰۰۰ بار تحت فشار ۶۰۰ پاسکال ساییده شد. سمباده استفاده شده در این آزمایش، از نوع کاغذی نمره ۲۸۰ می‌باشد. نمونه‌های مورد نیاز برای آزمایش سایش بر اساس استاندارد شماره ۸۲۳۶ ایران آماده‌سازی شد که در این استاندارد ابعاد نمونه‌ها برای آزمایش سایش ۲۰ سانتیمتر در ۲۰ سانتیمتر پیشنهاد شده است. از هر نمونه، ۴ قطعه نمد آزمایش و متوسط نتایج تعیین شد [۷].

۳-تحلیل‌های آماری

تحلیل آماری نتایج، بوسیله برنامه SAS انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز بوسیله آزمون دانکن انجام شد.

۴-نتایج و بحث

۴-۱-تعیین مقدار نانو ذرات به روش سوزاندن

از آن‌جایی‌که نمدهای مورد استفاده در این آزمایش در شرایط یکسانی ایجاد شدند، بنابراین با قطعیت بیشتری می‌توان به مقایسه اثر نانو ذرات گوناگون بر خواص نمد پرداخت. مقدار نانو ذرات موجود روی نمد از روش سوزاندن اندازه‌گیری شد و نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد با افزایش درصد نانو ذرات به کار برده شده در آزمایش، میزان این مواد در نمدها نیز افزوده شده است (جدول ۵). نتایج این قسمت با پژوهش دیگری که روی پارچه‌های پنبه‌ای صورت گرفت مطابقت دارد به طوری که با افزایش غلظت نانو ذرات استرانتیوم تیتانات و نانو تیتانیا، میزان غلظت این مواد روی پارچه پنبه‌ای نیز افزایش داشته است [۱و ۱۸].

۴-۲- تعیین مقدار نانو ذرات با روش XRF

برای تعیین غلظت نانو ذرات گوناگون از روش X-Ray Florescent نیز استفاده شد که نتایج آن در جدول ۶ آورده شده است. همان طور که مشاهده می‌گردد با کاربرد نانو ذرات، مقادیر آن‌ها روی نمد نیز افزایش داشت. بر اساس نتایج مشاهده شده بیشترین غلظت نانو ذرات با روش XRF را تیتانیوم دی اکسید به خود اختصاص داد و بعد از آن به ترتیب ذرات منیزیم اکسید و سریم دی اکسید بیشترین غلظت را روی قطعات نمد داشتند. دلیل افزایش غلظت تیتانیوم دی اکسید می‌تواند به کاربرد سوکسینیک اسید و هیپوفسفیت سدیم در آزمایش حاضر ارتباط داشته باشد که پیوند قوی بین نانو ذرات تیتانیوم دی اکسید با نمد ایجاد نموده است و از خروج آن‌ها طی عملیات بعدی (عبور جفت غلطک جهت خشک کردن و در ادامه تثبیت) جلوگیری نموده است. لازم به ذکر است متوسط اندازه ذرات تیتانیوم دی اکسید ۲۰ نانومتر است که از دو ذره دیگر کوچکتر می‌باشند و بنابراین تیتانیوم دی اکسید سطح مقطعی که می‌تواند پوشش دهد بیشتر از سایر نانو ذرات می‌باشد و شاید به این دلیل غلظت این ذرات نسبت به سریم دی اکسید و منیزیم اکسید در روش XRF بیشتر بوده است.

جدول ۵: تعیین مقدار نانو ذرات به روش سوزاندن

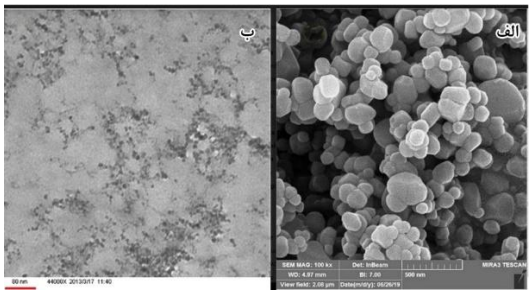
ردیف	نوع نانو ذرات	نانو ذرات استفاده شده (درصد)	نانو ذرات باقیمانده روی نمد پس از سوزاندن (درصد)
1	تیتانیوم دی اکسید	0.100	0.076
		0.300	0.260
		0.500	0.463
2	سریم دی اکسید	1.000	0.965
		1.500	1.390
		2.000	1.890
3	منیزیم اکسید	1.000	0.946
		1.500	1.410
		2.000	1.930
4	شاهد (فاقد نانو ذرات)	0.000	0.000

جدول ۶: تعیین مقدار نانو ذرات به روشXRF

ردیف	نوع نانو ذرات	نانو ذرات استفاده شده (درصد)	نانو ذرات باقیمانده روی نمد با روش XRF (درصد وزنی عناصر/نمونه)
1	تیتانیوم دی اکسید	0.100	2.600
		0.300	5.810
		0.500	8.010
2	سریم دی اکسید	1.000	2.120
		1.500	6.343
		2.000	6.921
3	منیزیم اکسید	1.000	2.046
		1.500	4.410
		2.000	6.930
4	شاهد (فاقد نانو ذرات)	0.000	0.000

۴-۳- بررســی ســاختاری نانوذرات با اســتفاده از SEM

تصاویر میکروسکوپی به دست آمده از نانو ذرات سریم دی اکسید و تیتانیوم دی اکسید، در شکل ۳ نمایش داده شده است. با بررسی نتایج حاصل از آزمایشات خودتمیزشوندگی و سایش، به نظر می ر سد با توجه به ناهموار بودن سطح نمد و وجود فلس بر روی الیاف، توزیع یکنواخت، ایده آل و همگن ذرات نانو بر روی ســطح نمد امکان‌پذیر نخواهد بود ولی بر اساس داده های آزمایش سایش می توان انتظار داشــت که توزیع نانو ذرات، مطلوب و قابل ملاحظه بوده و ســریم دی اکســید بالاترین میزان کارآمدی را هم برای خا صیت خودتمیز شوندگی و هم مقاومت در برابر سایش داشته باشد.



شکل ۳: نمونه بررسی ساختاری نانوذره تیتانیوم دی اکسید با استفاده از SEM، تصویر (الف) نانو ذره در مقیاس ۵۰۰ نانو متر و تصویر (ب) نانو ذره در مقیاس ۸۰ نانو متر ارائه ضده است.

۴-۴- بررسی میزان خودتمیزشوندگی نمد پوشش داده شده با نانوذرات

میزان خود تمیزشوندگی نمدها با تعیین میزان رنگ-پریدگی لکه‌های ایجاد شده روی نمدها پس از ۳۰ ساعت نوردهی تحت نور ماوراء بنفش و با استفاده از اسپکتروفتومتر انعکاسی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها در جدول ۷ و شکل‌های ۵،۶ و ۷ نشان داده شده است. در این آزمایش، عوامل مؤثر در فرایند خودتمیزشوندگی شامل نوع نانو ذرات و غلظت‌های مختلف آن‌ها بود که مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که مشاهده می‌شود میزان خود تمیزشوندگی در نمدهای حاوی تیتانیوم دی اکسید بالاتر از نمدهای حاوی منیزیم اکسید و سریم دی اکسید بود که از این بین نمدهای حاوی ۰/۳ درصد از تیتانیوم دی اکسید بالاترین میزان خود تمیزشوندگی را داشتند (جدول ۷). خودتمیزشوندگی نمدهای آغشته به ذرات تیتانیوم دی اکسید می‌تواند به دلیل ایجاد واسطه‌های اکسنده در سطح منسوج باشد. در حقیقت فعالیت ذرات نانو تیتانیوم دی اکسید ناشی از نسبت سطح به حجم بالای آن‌ها نیز می‌باشد که تحت تاثیر نور خورشید فعالیت اکسایشی قابل توجهی از خود نشان می‌دهد. به طوری که در بسیاری از تحقیقات از این نانو ذره برای بی رنگ کردن لکه‌های ناشی از قهوه، شربت و رنگدانه‌های رنگی روی منسوجات، استفاده می‌شود [۱ و ۵]. الیاف پشم به کراتین معروف می باشد. کراتین حدود ۵۰ درصد از گروه‌های عاملی هیدروکسیل و کربوکسیل را شامل می‌شود و تیتانیوم دی اکسید افینیته زیادی به گروه‌های مذکور دارد و در این حالت گروه‌های عاملی قوی روی نمونه ایجاد خواهد شد و این نیز یکی از عوامل خودتمیزشوندگی بیشتر نمدهای حاوی نانو ذرات تیتانیوم دی اکسید نسبت به سایر نانو ذرات در آزمایش می‌تواند باشد.

در این مطالعه با افزایش غلظت نانوذرات، میزان خودتمیزشوندگی در نمدها نیز افزایش یافت ولی در یک غلظت خاص، با افزایش مقادیر نانو ذرات روند کاهشی در میزان خود تمیزشوندگی مشاهده شد که این سطح از نانو ذرات برای تیتانیوم دی اکسید، سریم دی اکسید و منیزیم اکسید به ترتیب، ۰/۳ درصد، ۱ و ۱/۵ درصد بود (شکل۵،۶ و ۷). شاید دلیل این تغییرات به سبب اندازه ذرات، سطح فعال نانو ذرات و تجمع ذرات نانو در محلول رنگزا باشد که باعث کاهش قدرت فتوکاتالیستی نانو ذرات شده است و منجر شده در یک غلظت خاص با افزایش مقادیر نانو ذرات میزان خود تمیز شوندگی روند کاهشی داشته باشد. مطابق با نتایج این پژوهش برخی پژوهشگران نیز در آزمایش بر روی پارچه‌های پنبه‌ای نشان دادند، تیتانیوم دی اکسید میزان خودتمیزشوندگی پارچه را به طور معنی‌داری افزایش داده است و از این نانو ذره برای بهبود خاصیت خودتمیزشوندگی پارچه‌های پنبه‌ای استفاده نمودند [۵]. پژوهشگران همچنین، خاصیت خود تمیز شوندگی در نانو ذرات تیتانیوم دی اکسید را به دلیل ثبات بالای شیمیایی، خاصیت فتوکاتالیسیتی بالا، ویژگی‌های نوری و الکتریکی این نانو ذره نسبت دادند و این ماده را به عنوان فتوکاتالیست برای تخریب آلودگی‌های آلی در طبیعت معرفی نمودند [۵،۱۲، ۱۹ و ۲۰].

در این مطالعه دو رنگزا مورد استفاده قرار گرفت شامل Reactive Orange و Dark Green 6 که این دو ماده رنگزای آلی و از گروه آلاینده‌های اصلی می‌باشند. این رنگزاها با پیوند دو گانه نیتروژن با نیتروژن شناخته می‌شوند و بالغ بر ۵۰ درصد رنگ‌های نساجی را نیز شامل می‌شوند. رنگزاهای Reactive Orange و Dark Green 6 به علت درجه بزرگ آروماتیک‌های کنونی در مولکول رنگزا و ثبات مواد رنگی که در آن‌ها وجود دارد از طریق روش‌های عملیاتی بیولوژیکی متداول که برای تخریب و بی‌رنگ کردن رنگ‌ها استفاده می‌شود، رنگ‌زدایی نمی‌شوند. برای مثال روش‌هایی همانند جذب کربن فعال، فیلتر و اسمز معکوس نمی‌توانند رنگزاهای مذکور را تخریب نمایند و تنها این ترکیبات را از یک فاز به فاز دیگر می‌برند.

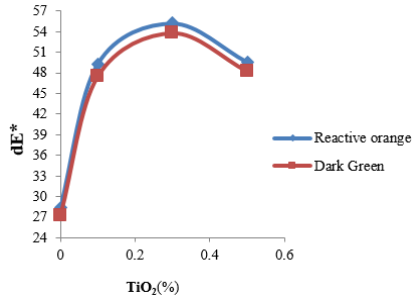
جدول ۷: مقایسه میانگین ویژگی خودتمیزشوندگی نمدهای آغشته به نانو ذرات گوناگون با استفاده از آزمون دانکن

ردیف	نوع نانو ذرات	نانو ذرات استفاده شده (درصد)	خود تمیزشوندگی رنگ Reactive Orange (dE*)	خود تمیزشوندگی رنگ Dark Green (dE*)
1	تیتانیوم دی اکسید	0.10	49.33^{b}	47.47^{b}
		0.30	55.23^{a}	54.77^{a}
		0.50	49.61^{b}	49.22^{b}
2	سریم دی اکسید	1.00	43.33^{c}	40.10^{cd}
		1.50	37.37^{cd}	33.50^{de}
		2.00	35.90^{d}	33.10^{de}
3	منیزیم اکسید	1.00	43.37^{c}	37.30^{d}
		1.50	47.80^{b}	45.70^{c}
		2.00	41.77^{c}	40.10^{c}
4	شاهد (فاقد نانو ذرات)	0.00	28.37^{e}	27.17^{e}

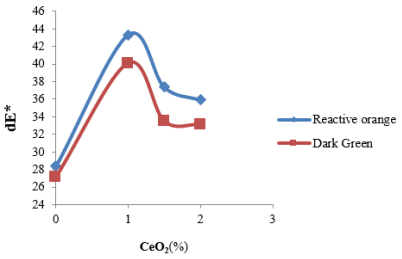
*حروف یکسان در جدول به مفهوم عدم وجود تفاوت معنی‌دار و حروف غیریکسان به معنی تفاوت معنی‌دار در سطح ۰،۰۵ می‌باشد.

دلیل انتخاب این دو رنگ در این مطالعه نیز مقاومت این دو رنگزا در برابر تخریب بود که نتایج بررسی اثر نانو ذرات با غلظت‌های گوناگون بر تخریب رنگزا، نشان داد کاربرد

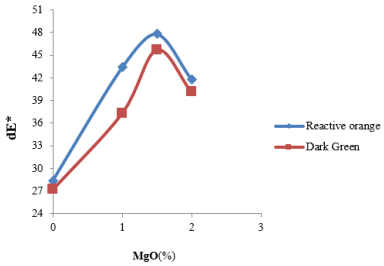
نانو ذرات منجر به افزایش تخریب رنگزا شده است و میزان خود تمیزشوندگی و به همان نسبت تخریب رنگ در رنگزای Reactive Orange نسبت به رنگزای Dark Green 6 بالاتر بوده است و این مورد نیز می‌تواند به دلیل تفاوت در ساختار کروموفرم دو رنگ مذکور و وجود یک گروه آزو در رنگزای Reactive Orange نسبت به سه گروه آزو در رنگزای Dark Green 6 نسبت داده شود که منجر به افزایش سطح خودتمیزشوندگی شده است (شکل ۵، ۶ و ۷).



شکل ۴: نمودار نتایج خودتمیزشوندگی نمد آغشته به نانوذرات تیتانیوم دی اکسید



شکل ۵: نمودار نتایج خودتمیزشوندگی نمد آغشته به نانوذرات سریم دی اکسید



شکل ۶: نمودار نتایج نمد آغشته به نانو ذرات منیزیم اکسید

۴-۵- بررسی خواص سایشی نمدهای آغشته به نانو ذرات

نتایج سایش با توجه به درصد کاهش وزن و ضخامت نمد مورد بررسی قرار گرفت. به طوری که مقدار کاهش وزن و کاهش ضخامت هر نمونه قبل و بعد از سایش تعیین شد. همانطور که در جدول ۸ نشان داده شده است کمترین کاهش وزن و کاهش ضخامت در نمدهای آغشته به نانو ذره تیتانیوم دی اکسید بود و در این مورد هم نمدهای آغشته به سطح ۰/۳ درصد نانو ذره دی اکسید تیتانیوم کمترین تغییر را در دستگاه سایش داشتند. پس از دی اکسید تیتانیوم، نانو ذرات منیزیم اکسید و سپس نانو ذرات سریم دی اکسید نسبت به نمدهای شاهد مقاومت بیشتری به سایش نشان دادند و به ترتیب سطوح ۱ و ۱/۵ درصد این نانوذرات سطوح مناسبی برای افزایش مقاومت در برابر سایش بودند (جدول ۸). بنابراین در شرایط ذکر شده نمونه نمد حاوی نانو ذرات نسبت به نمونه نمد سنتی تهیه شده بدون کاربرد نانو ذرات، عملکرد بهتری در مقابل سایش از خود نشان داده است. از آنجایی که تیتانیوم دی اکسید ذرات کوچکتری دارد و به همان نسبت سطح مقطع بالاتری دارد به نظر می‌رسد این نانو ذره نسبت به سایر نانو ذرات بهتر وارد لایه‌ها و ساختار نمد شده است و همین امر سبب شده مقاومت نمد در حضور تیتانیوم دی اکسید بالاتر رود و میزان سایش به همان نسبت کاهش داشته است.

جدول۸: بررسی میزان تغییرات وزن و ضخامت در نمدهای حاوی نانوذرات گوناگون

ردیف	نوع نانو ذرات	نانو ذرات استفاده شده (درصد)	کاهش وزن (درصد)	کاهش ضخامت (درصد)
1	تیتانیوم دی اکسید	0.100	0.23[d]	3.37[d]
		0.300	0.11[e]	1.32[e]
		0.500	0.26[d]	3.29[d]
2	سریم دی اکسید	1.00	0.40[c]	5.29[cd]
		1.50	0.53[b]	6.72[bc]
		2.00	0.57[b]	6.36[bc]
3	منیزیم اکسید	1.00	0.48[bc]	5.33[c]
		1.50	0.30[d]	3.05[dc]
		2.00	0.52[b]	5.32[c]
4	شاهد (فاقد نانو ذرات)	0.00	0.75[a]	8.60[a]

*حروف یکسان در جدول به مفهوم عدم وجود تفاوت معنی‌دار و حروف غیریکسان به معنی تفاوت معنی‌دار در سطح ۰،۰۵ می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد با افزایش غلظت نانو ذرات بر روی نمدهای تولید شده، غلظت این مواد نیز به همین نسبت در نمدها افزایش پیدا کرده است. میزان خود تمیزشوندگی در نمدهای حاوی تیتانیوم دی اکسید بالاتر از نمدهای حاوی منیزیم اکسید و سریم دی اکسید بود. لازم به ذکر است غلظت ۰/۳ درصد تیتانیوم دی اکسید بالاترین میزان خود تمیزشوندگی را دارد. نتایج بررسی میزان سایش نمدهای آغشته به نانوذرات نیز نشان داد؛ با توجه به درصد کاهش وزن و ضخامت نمد، نمدهای آغشته به سطح ۰/۳ درصد نانو ذره تیتانیوم دی اکسید کمترین تغییر را در دستگاه سایش داشتند و به ترتیب نمدهای عمل آوری شده با منیزیم اکسید و سریم دی اکسید مقاوتشان در برابر سایش بیشتر از نمدهای سنتی بدون نانو ذره بود. طبق نتایج این تحقیق به نظر می‌رسد سطح ۰/۳ درصد از تیتانیوم دی اکسید برای کاربرد در نمدهای خود تمیزشونده و همچنین مقاومت در برابر سایش کارآمدتر بوده است.

۶-تشکر و قدردانی

از دانشگاه شهرکرد به سبب حمایت مالی از انجام این تحقیق در قالب طرح پژوهشی قدردانی می‌گردد. از آقای مهندس فرهاد عابدی که در تهیه نانو ذرات نگارندگان را یاری کردند، سپاسگزاری می‌شود. همچنین از راهنمایی‌ها و کمک‌های آقای دکتر مجید طهرانی دهکردی و آقای دکتر غلامرضا گوهری؛ قدردانی به عمل می‌آید.

۷- منابع:

[1] Behzadnia, A., Montazer, M., & Mahmoudi-Rad, M., Simultaneous sonosynthesis and sonofabrication of N-doped ZnO/TiO2 core-shell nanocamposite on wool fabric: introducing various properties specially nano photo-bleaching. J. *Ultrasonic sonochemistry.*, 27, 10-21, 2015.

[2] Zhang, C., Hu, C., Chang, S., Zhan, J., Shen, J., & Shen, H., Silica-Based Core-Shell Nanocapsules: A Facile Route to Functional Textile. Processes., 10 (6) 2-14, 2021.

[۳] فرهادزاده ا.، کاشی های عایق برای سفینه های فضایی، ماهنامه صنایع هوا فضا، ۱۳۸۶، ۵۹.

[۴] سید اصفهانی م.، تکمیل کالای نساجی (جلد اول). تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۳.

[5] Fateh, R., Dillert, R., & Bahnemann, D., Self-Cleaning Properties, Mechanical Stability, and Adhesion Strength of Transparent Photocatalytic TiO2–ZnO Coatings on Polycarbonate, J. *Applied Material & Interfaces*., 6(4), 2270-2278. 2014.

[6] Parikh, D. V., Chen, Y., & Sun, L., Reducing automotive interior noise with natural fiber nonwoven floor covering systems, *Textile Research Journal.*, 76(11), 813-814, 2006.

[15] Sadeghi-Kiakhani, M., & Safapour, S., Eco-friendly dyeing of treated wool fabrics with reactive dyes using chitosanpoly (propylene imines) dendreimer hybrid. *J. Clean technologies and environmental policy*. 17, 1019-1027, 2015.

[16] Shirgholami, M. A., Nazeri, A., & Mirjalili, M., statistical optimization of self- claning technology and color reduction in wool fabric by nano zinc oxide and eco-friendly cross-linker, *Clean technologies and environmental policy.*, 17, 905-919, 2015.

[۱۷] نجیمی م.، برخورداری ا.، حکمتی مقدم ح.، کوهنورد ب.، جبالی ع.، ۱۳۹۸. بررسی میزان تاثیر نانو ذرات سیلیکا بر ضریب جذب صوتی نانو کامپوزیت بر پایه گچ و پنبه هیدرولیز. فصلنامه علمی تخصصی طب کار. جلد ۱۰: ۶-۱.

[18] Fang, J., Wang, X., Lin, T., Functional applications of electrospun nanofibers. in Nanofibers - production, properties and functional applications, *InTech –Open Access Publisher, Rijeka, Croatia, pp.287-326.* 2011.

[۱۹] گلاب زایی ص.، خواجوی ر.، ترکیان ل.، ۱۳۹۴. اثر شکل شناسی نانو ذرات تیتانیوم دی اکسید و نانو پوشش طلا بر عملکرد خودتمیزشوندگی پارچه سلولزی. مجله علوم و فناوری نساجی. جلد ۶ (۱): ۲۳-۱۷.

[۲۰] خندق آبادی ض.، نوربخش ش.، منتظر م.، ۱۳۹۴. خواص کالای پلی استری تکمیل شده با نانو ذرات کلسیم در محیط قلیایی هیدروکسید ZnO. مجله علوم و فناوری نساجی. جلد ۵ (۲):۳۰-۲۱.

[۷] طهرانی م.، مکه‌ئی ن.، کبیری ف.، محمودیان ز.، کاربرد نمدهای پشمی در صنعت ساختمان. ۱۳۹۰. اولین همایش ملی نمد. استان چهارمحال و بختیاری.

[8] Purchas, D., Sutherland, K., Handbook of Filter Media: Non-woven fabric media, Second Edition, Chapter 3, 81-116, 2001.

[9] Hosseinkhani, M., Montazer, M., Eskandarnejad, S., & Harifi, T., Optimization of Wool Slenderizing Along with In-situ Synthesis of Silver Nanoparticles Using Box–Behnken Design, *J. natural fibers.*, 14, 175-184. 2017.

[10] McNeil, S.J., & Sunderland, M.R., The nanocidal and antifeedant activities of titanium dioxide desiccant toward wool-digesting Tineola bisselliella moth larvae. *Clean technologies and environmental policy*, 18(3): 843-852. 2016.

[11] Zhao, Z., Song, C., Zhou, J., Hu, R., Xiao, H., Liu, Y., Lu, M., An eco-friendly method based on the self-glue effect of keratins for preparing Fe3O4-coated wool. *J. Applied Polymer Science*. 137, 39-40. 2020.

[12] Meftahi, A., Momeni Heravi, M.E.,.Jafari Shabazi, S., Alibakhshi S., & Kashef M. Application of nanogold in woolen textiles dyeing. *Journal of Ultrafine Grained and Nanostructured Materials*. 55(1) 65-69. 2022.

[13] Bhat,G., Hegde, R.R., Kamath, M.G., & Deshpande, B., Nanoclay reinforced fibers and nonwovense, *J. engineered fiber and fabrics*., 3(3) 14-15, 2008.

[14] Nazeri, A., Proteases pretreatment on wool to enhance durable antimicrobial and UV protection with nano TiO_2 and polycarboxylic acieds using RSM. *J. textile institute*., 105(6), 620-630, 2014.