

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۱۲/۱۵

تاریخ پذیرش نهایی: ۹۷/۶/۲۴

ارتقاء محافظت فرش‌های پشمی در برابر گونه‌های *Tineola bisselliella* با استفاده از نانوذرات نقره و شبکه‌ای ساز دوستدار محیط‌زیست به همراه تحلیل آماری RSM*

بهناز برجسته

کارشناس ارشد مرمت آثار، دانشکده هنر و معماری، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

علی نظری (نویسنده مسئول)

دانشیار گروه طراحی پارچه و لباس، دانشکده هنر و معماری، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

E-mail: a.nazari@iauyazd.ac.ir

مهدی دهقانی زاهدانی

استادیار گروه کشاورزی، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

چکیده

محصولات ارزشمند پشمی همچون فرش دارای ویژگی‌های عالی نظیر استحکام بالا، بازگشت‌پذیری، رنگ‌پذیری، حبس هوا بوده و به راحتی قابل استفاده است. اما این الیاف، محدودیت تخریب و تغذیه توسط گونه‌های هضم‌کننده محصولات پشمی همچون *Tineola bisselliella* را دارا است. پژوهش حاضر به ارزیابی کارایی نانوذرات نقره به همراه ماده پایدارکننده اسیدسیتریک در محافظت^۱ فرش‌های پشمی در برابر *T. bisselliella* از طریق زیست‌آزمون معتبر و کمی‌سازی

میزان تغذیه نمونه‌های عمل‌شده می‌پردازد. برای این منظور، از روش آماری طرح مرکب مرکزی (CCD) برای طراحی آزمایشات و همچنین از روش رویه پاسخ (RSM) جهت تجزیه و تحلیل نتایج حاصله با استفاده از نرم‌افزار آماری دیزاین اکسپرت استفاده می‌شود. براین اساس فرش‌های پشمی با غلظت‌های مختلف نانوذرات نقره طی روزهای متفاوت، در مجاورت لاروهای *T. bisselliella* قرار گرفته و مقادیر کاهش وزن از طریق تغذیه انجام شده نسبت به نمونه شاهد

* این مقاله از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم بهناز برجسته با عنوان بهبود ویژگی ضدبید پارچه‌های پشمی تاریخی با استفاده از نانوذرات نقره در دانشکده هنر و معماری دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد با راهنمایی دکتر علی نظری و مشاوره دکتر مهدی دهقانی زاهدانی استخراج شده است.

به صورت کمی محاسبه و به صورت کمینه بهینه سازی و از لحاظ کیفی نیز ملاحظه می شود. سپس از طریق تجزیه و تحلیل آماری، مدل های بهینه براساس متغیر وابسته کاهش وزن نسبت به متغیرهای مستقل شامل مقادیر غلظت نانوقره و همچنین روزهای مجاورت ارائه شده اند. همچنین حلالیت قلیایی^۲ به عنوان ویژگی مهم دیگر فرش های پشمی مورد بررسی قرار گرفته است. تصاویر چگونگی تغذیه در فرش های پشمی عمل شده و شاهد با استفاده از میکروسکوپ های نوری مجهز به دوربین دیجیتالی و الکترونی پوششی و همچنین آنالیز عنصری فرش پشمی بهینه از طریق طیف سنجی انرژی پراش پرتو ایکس جهت تایید حضور عنصر نقره، بحث شده اند. نتایج این پژوهش نشان می دهد که در شرایط بهینه شامل استفاده از ۳/۰۷٪ نانوذرات نقره و ۱۰/۰٪ ماده شبکه ساز و دوستدار محیط زیست اسیدسیتریک و طی ۳۰ روز مجاورت فرش های پشمی با لاروهای *T. bisselliellae*، کمینه مقادیر متغیرهای پاسخ شامل ۰/۰۹٪ کاهش وزن و ۳/۱۳٪ حلالیت قلیایی و به عبارتی به صورت معنی داری، بالاترین ضدید^۳ فرش های پشمی در برابر گونه *T. bisselliella* حاصل شده است.

کلیدواژه ها: فرش پشمی، نانوذرات نقره، طرح مرکب مرکزی، روش رویه پاسخ، *T. bisselliella*

■ مقدمه

بیدها به عنوان بخش عظیمی از حشرات، خانواده بزرگی از بی مهرگان را تشکیل می دهند که می توانند موجب بروز تهدیدات سلامتی، زیست محیطی و درآمدی برای انسان ها شوند. همچنین، فرش های پشمی به عنوان یکی از محصولات ارزشمند صادراتی و دارای ارزش افزوده فراوانی است و به عنوان بستر مناسبی برای تغذیه، رشد و تخم گذاری لاروها

محسوب می شود و از سالیان گذشته، مبارزه با آنها به عنوان یکی از دغدغه های جدی انسان ها به شمار می آمده است. مثلاً استفاده از نفتالین به عنوان یکی از ترکیبات رایجی بوده که از گذشته برای مبارزه با لاروهای تغذیه کننده محصولات فرش استفاده می شده است، اما هم اکنون به علت تایید و شناسایی مشکلات زیست محیطی ترکیباتی همچون نفتالین، استفاده از آن محدود شده است. لذا در سال های اخیر محققان سعی نموده اند که بررسی های متنوعی در جهت محافظت محصولات پشمی با استفاده از ترکیبات و روش های جایگزین و مناسب تر انجام دهند.

۲- مبانی نظری

فرش های پشمی علی رغم ویژگی های ارزشمندی همچون بازگشت پذیری و رنگ پذیری مطلوب، در حین فرایند تولید تا مصرف از دیدگاه زیست محیطی دارای محدودیت بوده و استعداد فراوانی برای تجزیه پذیری بیولوژیکی را دارا هستند (McCall & McNeil, 2007: 482; McNeil, Sunderland & Zait-seva, 2007: 220; Potting & Blok, 1995: 201).

با وجود این، صنعت فرایندپذیری فرش های پشمی نیز هم راستا با سایر صنایع، در جستجوی کاهش مشکلات زیست محیطی است. به عنوان مثال می توان پژوهش هایی که در آنها به کاهش مصرف انرژی و مواد شیمیایی در فرایندپذیری کالای پشمی با استفاده از امواج فراصوت (Behzadnia, Montazer & Mahmoudi-Rad, 2015: 10; Harifi & Montazer, 2015: 1)، دی اکسیدکربن فوق بحرانی (Sekar, 2005: 65)، آنزیم ها (Nazari, et al, 2014: 1081; Nazari, 2014: 620)، پوشش پلیمری (Sadeghi-Kiakhani & Safa-pour, 2015: 1019) و مواد کمکی در رنگرزی پایدار (Nallathambi et al, 2014: 1207) را نام برد.

به همراه همکارش (McNeil & Sunderland, 2016: 843) اثرات ضد تغذیه‌ای نانوذرات تیتانیوم دی اکسید را بر روی یکی از گونه‌های خطرناک و هضم‌کننده محصولات پشمی، یعنی لاروهای *T. bisselliella*، بررسی و عملکرد آن را نسبت به ماده تجاری La-nacare FPL مقایسه کرده‌اند و در سال ۲۰۱۷ (Sun-derland & McNeil, 2017: 1205) اثرپذیری دو گونه مختلف نانوذرات تیتانیوم دی اکسید روی فرش‌های پشمی به صورت آماری تحلیل شده‌اند. آنچه که از مکانیسم اثرگذاری نانوذرات دریافت شد، به جذب فیزیکی نانوذرات توسط ترکیبات آلی چربی‌دار موجود در پوست حشره بوده که منجر به متلاشی شدن دیواره‌های نگهدارنده مایعات ضروری حشره به ویژه آب می‌شود و همین امر سبب از بین رفتن حشره از طریق خشکاندن آن می‌شود (Barik, Sahu & Swain, 2008: 253). به موازات گسترش استفاده از نانوذرات در اکثر فرآورده‌ها و تولید محصولات هم چون نساجی، لوازم آرایشی و بسته‌بندی، نیاز ضروری و پراهمیتی در خصوص بررسی خطرات تهدیدکننده سلامتی و ضرورت‌های زیست‌محیطی مربوط به نانوذرات احساس می‌شود (Nash, 2006: 35). به عنوان مثال می‌توان به تاثیرگذاری نانوذرات تیتانیوم دی اکسید هنگامی که تحت تابش فرابنفش قرار می‌گیرد و منجر به تولید رادیکال‌های بسیار فعال و آزاد می‌شود، اشاره کرد. به طوری که گونه‌های فعال ایجاد شده پتانسیل بالایی جهت ایجاد آسیب برای بسیاری از موقعیت‌ها را فراهم می‌کنند (Long et al, 2006: 4346).

پژوهش حاضر به ارزیابی کارایی نانوذرات نقره به همراه ماده شبکه‌ای ساز و دوستدار محیط زیست اسید سیتریک در محافظت از فرش‌های پشمی در برابر *T. bisselliella* به عنوان متداولترین بید

نانوذرات برای کاربردهای ویژه و متفاوتی در فرش‌های پشمی استفاده می‌شود. به عنوان مثال می‌توان به بهبود کارایی فرش به وسیله افزایش اصطکاک (Fu-jimoto et al, 2008: 253)، از بین رفتن فتوکاتالیستی لکه‌های شیمیایی رنگینه‌های مستقیم آبی (۷۱) (C.I. Di-rect blue 71) و دیسپرس قرمز ۱ (C.I. Disperse red 1) و طبیعی قهوه و شاه‌توت (Shirghol-ami, Nazari & Mirjalili, 2015: 905) برابر فرابنفش (Montazer & Pakdel, 2010: 255)، بهینه‌سازی ظرافت پشم ایجاد شده براساس سنتز درجا نانوذرات نقره (Hosseinkhani et al, 2017: 175)، ارتقاء خواص استحکامی پشم از طریق برهم‌کنش نانو ذرات نقره و پروتئین پشم و سنتز همزمان نانوذرات نقره (Hosseinkhani, Montazer, & Harifi, 2016: 78)، رسانایی الکتریکی نانوذرات‌های مختلف کربن روی کالاهای پشمی در جهت بررسی اثرات متفاوت مواد دیسپرس‌کننده و پیش‌عملیات‌های مختلف (Na-feie-Yazdi et al, 2016: 81) را اشاره نمود.

در بخش محدود و مهمی از پژوهش‌ها سعی شده است که ضرورت‌های زیست‌محیطی لحاظ شود و تلاش در جهت مقاوم‌سازی کالای پشمی در برابر حشرات مورد توجه قرار گرفته است. به عنوان مثال می‌توان ضد بید کردن پشم در برابر *A. verbsci* (Nazari, Montazer & Dehghani-Zahedani, 2013: 1365) و تحلیل آماری نتایج آن (Nazari et al, 2014: 74) و همچنین توسط نانوذرات روی اکسید (Nazari, Montazer & Dehghani-Zahedani, 2014: 4207) و عملیات همزمان محافظت در برابر *D. macula* (Nazari, Montazer & Dehghani-Zahedani, 2014: 1675) و رنگری با استفاده از نگینه‌های طبیعی روناس (Nazari, 2017: 755) را نام برد. همچنین در سال ۲۰۱۶، McNeil



هضم کننده محصولات پشمی از طریق زیست آزمون معتبر و تعیین اثرپذیری میزان تغذیه فرش های پشمی عمل شده نسبت به نمونه شاهد می پردازد. گونه *Tin-eola bisselliella* و مشهور به بید لباس، به عنوان متداول ترین و از شناخته شده ترین آفت های جهانی محصولات ارزشمندی همچون فرش و البسه پشمی است (Ingham, McNeil & Sunderland, 2012: 33)، اما محافظت فرش پشمی عمل شده با نانوذرات نقره و ماده پایدارکننده سیتریک اسید در برابر *T. bisselliella* تاکنون به صورت جامع و کمی گزارش نشده است. در این پژوهش از روش آماری طرح مرکب مرکزی (CCD) برای طراحی آزمایشات و همچنین از روش رویه پاسخ (RSM) جهت تجزیه و تحلیل نتایج حاصله با استفاده از نرم افزار آماری دیزاین اکسپرت استفاده می شود. برای این منظور فرش های پشمی با غلظت های متفاوت نانوذرات نقره (۵/۰۰٪ - ۱/۰۰٪) براساس حجم حمام (o.w.b) عمل شده و طی مدت زمان های متفاوت (روز ۹۰-۳۰) در مجاورت *T. bisselliella* قرار گرفته و در ادامه به منظور انجام زیست آزمون، مقادیر کاهش وزن فرش های پشمی عمل شده از طریق میزان تغذیه های صورت پذیرفته، محاسبه شده و نسبت به نمونه های شاهد گزارش می شوند. سپس از طریق تجزیه و تحلیل آماری، مدل های بهینه براساس متغیر وابسته کاهش وزن نسبت به متغیرهای مستقل شامل غلظت نانوذرات و همچنین روزهای در مجاورت با گونه های *T. bis-selliella* کسب می شوند. همچنین خاصیت حلالیت قلیایی فرش های پشمی عمل شده نیز مورد بررسی قرار می گیرد. ضمن این که به صورت کیفی نیز تصاویر چگونگی تغذیه فرش های پشمی عمل شده در شرایط بهینه و نمونه شاهد با استفاده از میکروسکوپ های نوری مجهز به دوربین دیجیتالی و الکترونی پویشی و همچنین آنالیز عنصری توسط طیف سنجی پراش

انرژی پرتو ایکس جهت نشان دادن قرارگیری عنصر نقره روی فرش های پشمی استفاده می شود.

۳- بخش تجربی

۳-۱- مواد و وسایل مورد استفاده

مواد و ترکیبات مورد استفاده در این پژوهش شامل فرش های پشمی با نمره نخ ۱۰/۵ متریک و دارای خاب ۱۲ میلی متر از شرکت مریوس کشور ایران، سیتریک اسید ($C_6H_8O_7.H_2O$) با وزن مولکولی 210/14g/mol سدیم هیپوفسفات (NaH_2PO_2) با وزن مولکولی 105/99g/mol، سدیم کربنات (Na_2CO_3) با وزن مولکولی 105/99g/mol، سدیم هیدروکسید ($NaOH$) با وزن مولکولی 40g/mol از شرکت Merck کشور آلمان، محلول کلوییدی نانوذرات نقره با متوسط اندازه 20nm از شرکت پیشگامان نانومواد ایرانیان کشور ایران و دترجنت غیریونی تحت نام تجاری Rucogen DEN از شرکت Rudolf کشور آلمان تهیه شد. حمام فراصوت به منظور تعلیق مواد شیمیایی و نانوذرات نقره با مشخصات (40KHz, 50W, 200V) از کشور چین، آون حرارتی از شرکت بهداد جهت خشک و تثبیت نمونه ها، هم چنین میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) مدل KYKY-EM 3200 ساخت کشور چین و دوربین دیجیتالی مدل Sony DSC-W100 ساخت کشور ژاپن برای مشاهده مورفولوژی سطح نمونه ها استفاده شده است.

۳-۲- روش کار

به منظور از بین رفتن مواد آহারی و زائد از فرش های پشمی، براساس استفاده 2/0 g/l دترجنت غیریونی، کربنات سدیم در دمای 60 و طی مدت زمان 20 min با L:R برابر با ۳۰:۱ انجام شد. سپس نمونه های شسته شده، آبکشی شدند و در

به عواملی همچون مرحله رشد لارو و میزان تغذیه بستگی دارد. لاروهای *T. bisselliella* از محل ماهان شهر کرمان و از شرکت پشم‌بافی جمع‌آوری و قبل از آزمایش به آن‌ها، تغذیه خوراندن شد و پرورش یافتند (تصویر ۱).



تصویر ۱. لارو حشره *T. bisselliella* (نگارنده)

حشره *Tineola bisselliella* متعلق به خانواده Tineidae هستند. این خانواده دارای بیش از ۲۰۰۰ گونه شناخته شده است که اغلب آنها حشراتی همه‌جایی بوده و به محصولات انباری، که دارای منشاء گیاهی یا جانوری باشند، حمله می‌کنند. لاروها به‌طور معمول دارای رنگ روشنی بوده و به رنگ سفید خاکستری و پشت‌گلی تیره دیده می‌شوند. لاروهای این حشرات به‌وسیله تارهای ابریشمی و ذرات مواد غذایی که درست کرده‌اند، زندگی می‌کنند. گونه‌های این خانواده اغلب به‌هم شبیه بوده و به‌سادگی از یکدیگر تشخیص داده نمی‌شوند. گونه بیدلباس *Tin-eolla bisselliella*، یکی از آفات بسیار شایع است. طول بدن حشره کامل ۱۲ و پهنای آن با بال‌های باز ۶ تا ۱۲ میلی‌متر است. بال‌های جلویی به رنگ زرد روشن یکنواخت و بال‌های عقبی مایل به خاکستری بوده و در حاشیه بال‌ها دارای ریشک‌های بلند است. سفیره به رنگ قهوه‌ای مایل به زرد است (باقری‌زنوز،

دمای اتاق خشک شدند. محلول‌های آبی از ترکیب سیتریک‌اسید با غلظت ثابت ۱۰/۰٪ (نسبت به حجم حمام: o.w.b) و سدیم‌هیپوفسفیت با غلظت ۶/۰٪ (o.w.b) به‌وسیله مقدار مورد نیاز از آب مقطر تهیه شدند. فرش‌های پشمی شسته شده و خشک شده توسط محلول تازه از سیتریک‌اسید به‌وسیله تکنیک اسپری عمل شدند. سپس فرش‌های عمل‌شده در دمای ۸۵ °C و برای مدت ۵ min خشک و در ادامه در دمای ۱۵۰ °C و برای مدت ۳ min پخت شدند. فرش‌های عمل‌شده با آب داغ و سرد آبکشی و در انتها در دمای محیط خشک شدند. تعلیق دیسپرسیون تازه از غلظت‌های مختلف کلوییدی نانوذرات نقره در محیط آب مقطر (۱/۰۰-۵/۰۰٪) براساس جدول ۱ و (o.w.b) طی مدت زمان ۱۵ min در حمام فراصوت تهیه شدند. سپس فرش‌های پشمی عمل‌شده توسط سوسپانسیون آماده‌شده از نانوذرات نقره توسط تکنیک اسپری عمل شدند. در دمای ۷۰ °C و برای مدت ۱۰ min خشک و در ادامه در دمای ۱۲۰ °C و برای مدت ۵ min پخت شدند. در انتها فرش‌های پخت‌شده در محلول ۰/۷۵ g/l کربنات سدیم و ۱/۵ g/l دترجنت غیریونی (Rucogen DEN) در حمام فراصوت با دمای ۶۰ °C و برای مدت ۱۰ min و به‌منظور جداسازی نانوذراتی که پیوندی با فرش پشمی ندارند، شسته و در دمای محیط خشک شدند. به منظور یافتن شرایط بهینه و تعیین روابط بین متغیرهای مستقل و وابسته از طرح مرکب مرکزی استفاده شده است. دو متغیر شامل مقادیر نانوذرات نقره (o.w.b ۱/۰۰-۵/۰۰٪) و زمان مجاورت برحسب روز (۹۰-۳۰) به‌عنوان متغیرهای مستقل تحت بررسی قرار گرفتند. جزئیات طرح مرکب مرکزی برای مقادیر متغیرهای وابسته شامل مقادیر ضدبید (درصد کاهش وزن) و حلالیت قلیایی فرش‌های پشمی عمل‌شده در جدول ۱ آورده شده است. مقدار تخریب ایجاد شده بر فرش پشمی

۱۳۹۲: ۴۵۰).

۳-۳- ارزیابی‌ها

فرش‌های پشمی به اندازه $5 \times 5 \text{ cm}^2$ بریده شده و در داخل محفظه‌های پلاستیکی به منظور ارزیابی کارایی مواد ضدبید قرار گرفتند. ۱۵ لارو از *T. bisselliella* برای هریک از آزمایشات با چهار مرتبه تکرار انتخاب شدند. لاروها در محفظه‌های پلاستیکی و در شرایط آزمایشگاهی قرار می‌گرفتند. همه پرورش لاروها در دمای $25 \pm 2^\circ \text{C}$ ، R.H. ۲۶-۲۲، در دوره روزانه (۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی در شرایط آزمایشگاهی) انجام شد. فرش شسته شده به‌عنوان نمونه شاهد استفاده شده است. ارزیابی ضدبید با لارو حشره *T. bisselliella* روی فرش‌های پشمی عمل شده با ارزیابی بصری و هم‌چنین فرایند اندازه‌گیری کاهش وزن براساس روش استاندارد ISO 1977-3998 انجام شد. کاهش وزن نمونه‌های عمل شده و هم‌چنین نمونه شاهد، طبق رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$\Delta m = \frac{m_0 \times m_3}{m_2} - m_1 \quad (1)$$

که m_0 وزن نمونه عمل شده یا کنترل قبل از در معرض قرار گرفتن با لارو، m_1 وزن نمونه عمل شده یا کنترل بعد از در معرض قرار گرفتن با لارو، m_2 متوسط وزن اولیه رطوبت بازیافتی کنترل‌ها و m_3 متوسط وزن نهایی رطوبت بازیافتی کنترل‌ها است (Ki et al., 2007: 8021).

برای محاسبه حلالیت قلیایی، ۵/۰ gr از فرش‌های پشمی عمل شده در محتوی ظرفی حاوی ۱۰۰۰ ml سدیم‌هیدروکسید ۰/۱ N در دمای 65°C و برای مدت یک‌ساعت تکان داده و از صافی عبور داده‌شد و چندین مرتبه با آب مقطر شسته و در دمای 100°C خشک شدند. زمانی که نمونه‌ها در دسیکاتور خنک شدند، کاهش وزن محاسبه و میزان حلالیت در محیط قلیایی محاسبه شد (Montazer & Ramin, 2010: 98). میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) مدل KYKY-EM 3200 ساخت کشور چین و دوربین دیجیتالی مدل Sony DSC-W100 ساخت کشور ژاپن برای مشاهده مورفولوژی سطح الیاف پشمی شاهد و عمل شده با سیتریک‌اسید و نانوذرات نقره با بزرگ‌نمایی $10,000 \times$ استفاده شد. هم‌چنین این دستگاه مجهز به طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس، ساخت شرکت آکسفورد کشور انگلستان است.

جدول ۱. مقادیر کاهش وزن و حلالیت قلیایی فرش‌های پشمی براساس طراحی آماری آزمایشات، به روش طرح مرکب مرکزی (CCD) (نگارنده)

شماره آزمایش	نانوذرات نقره (%)	زمان (روز)	کاهش وزن (%)	حلالیت قلیایی (%)
شاهد	۰/۰۰	۹۰	۳۱/۳۵	۱۰/۹۲
۱	۵/۰۰	۹۰	۱۲/۹۵	۸/۱۲
۲	۲/۰۶	۹۰	۲۰/۹۵	۶/۰۹
۳	۲/۴۷	۶۸	۱۱/۰۶	۵/۲۳
۴	۲/۰۶	۹۰	۲۰/۸۶	۶/۰۴
۵	۵/۰۰	۳۰	۱/۱۷	۷/۰۸

جدول ۱. مقادیر کاهش وزن و حلالیت قلیایی فرش‌های پشمی براساس طراحی آماری آزمایشات، به روش طرح مرکب مرکزی (CCD) (نگارنده)

شماره آزمایش	نانوذرات نقره (%)	زمان (روز)	کاهش وزن (%)	حلالیت قلیایی (%)
۶	۱/۰۰	۷۰	۲۱/۱۲	۷/۴۵
۷	۵/۰۰	۶۱	۷/۵۳	۷/۶۴
۸	۱/۰۰	۷۰	۲۱/۳۶	۷/۸۹
۹	۱/۰۰	۳۰	۱۰/۸۳	۶/۶۴
۱۰	۵/۰۰	۳۰	۱/۲۳	۶/۹۵
۱۱	۵/۰۰	۹۰	۱۳/۱۱	۷/۹۷
۱۲	۱/۰۰	۳۰	۱۰/۷۸	۶/۴۸
۱۳	۳/۲۲	۵۶	۱/۴۵	۴/۴۶
۱۴	۱/۸۱	۵۳	۱۶/۰۶	۵/۳۵
۱۵	۳/۰۰	۳۰	۰/۹۲	۳/۱۳
۱۶	۳/۵۰	۷۷	۱/۵۶	۴/۹۵

۴- نتایج و بحث

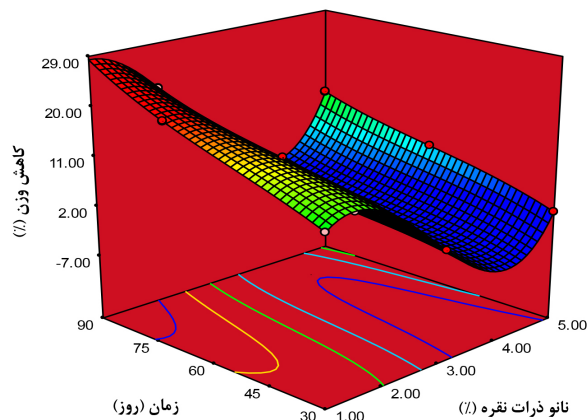
نتایج حاصل از مقادیر کاهش وزن و حلالیت قلیایی فرش‌های پشمی شاهد و عمل شده در جدول ۱ نشان داده شده است.

۴-۱- خاصیت ضدبید

تأثیر نانوذرات نقره و مدت زمان برحسب تعداد روزهای مجاورت با لاروهای *T. bisselliella* روی کاهش وزن فرش‌های پشمی عمل شده و شاهد در جدول ۱ گزارش شده است. همان‌طور که در آزمایش‌های شماره ۱، ۲، ۴ و ۱۱ ملاحظه می‌شود، مقادیر کاهش وزن فرش‌های پشمی با افزایش غلظت نانوذرات نقره، کاهش می‌یابد. پایین‌ترین کاهش وزن (% ۰/۹۲) مربوط به فرش پشمی تهیه شده با آزمایش شماره ۱۵ است. این موضوع حکایت از مناسب بودن نانوذرات نقره به‌همراه سیتریک‌اسید به‌منظور جلوگیری از تغذیه فرش‌های پشمی توسط لاروهای *T. bisselliella* و بنابراین معرفی ترکیب نانوذرات نقره به‌همراه سیتریک‌اسید به‌عنوان عامل موثر ضدبید است. همچنین ترکیب مذکور، پتانسیل مطلوبی جهت

جایگزینی آن با ترکیبات ضدبید متداول محصولات پشمی را دارا است. از جمله مواد ضدبید لاروهای *T. bisselliella* می‌توان به ترکیبات حاوی آرسنیک اشاره کرد که سمیت خیلی زاید آن و به‌خصوص در هنگام تماس با بدن مشخص و تعیین شده است (Prakash, Banerjee & Parthasarathy, 1979: 147). از جمله ترکیبات متداول دیگر می‌توان به پرمترین با نام علمی [۳- (فنوکسی) فنیل] متیل ۳- (۲- دی کلرو- اتنیل)- ۲،۲- دی متیل سیکلوپورپان- ۱- کربوکسیلات به‌عنوان یکی از معروف‌ترین ترکیبات موثر ضدبید برای کاهش آسیب‌پذیری از لاروهای لباس و سوسک‌های خورنده فرش‌های پشمی نظیر *T. bisselliella* اشاره کرد (Thomas et al., 2012: 2434). به‌طوری‌که پرمترین در سال ۱۹۷۳ به روش شیمیایی تهیه شده و به‌عنوان ترکیب موثر ضدبید محصولات پشمی از مقبولیت گسترده‌ای برخوردار است (Baser et al, 2003: 469). ایزومرهای سیس و ترانس پرمترین دارای خواص ضدبید بوده و سمیت آن شناخته شده است. اما میزان سمیت آن بستگی به





تصویر ۲. منحنی سه بعدی مقادیر کاهش وزن فرش‌های پشمی توسط لاروهای *T. bisselliella* براساس دو متغیر غلظت نانوذرات نقره (%/و تعداد روز مجاورت (نگارنده)

نسبت میزان حضور آن دو ایزومر دارد (Cox, 1998: 14).

با مشاهده و مقایسه آزمایش‌های شماره ۱۰ و ۱۵ دریافت می‌شود که افزایش اضافی غلظت نانوذرات نقره روی مقادیر کاهش وزن فرش‌های پشمی، اثر منفی دارد. دلیل آن می‌تواند به تجمع نانوذرات نقره روی فرش‌های پشمی عمل شده و افزایش ابعاد آن و بنابراین کاهش کارایی نانوذرات در از بین بردن لاروهای *T. bisselliella* مربوط شود. همچنین غلظت نانوذرات نقره (%/۳/۰۰) در آزمایش شماره ۱۵ در مقایسه با غلظت نانوذرات نقره (%/۱/۰۰) در آزمایش شماره ۹، سبب کاهش وزن کمتر (%/۹۲/۰) فرش پشمی تهیه شده توسط آزمایش شماره ۱۵ نسبت به کاهش وزن (%/۸۳/۱۰) ایجاد شده توسط آزمایش شماره ۹ شده است. ضمن این‌که بایستی در نظر داشت که مقایسه و بررسی کارایی غلظت‌های نانوذرات نقره اشاره شده در جدول ۱ به انضمام استفاده از %/۱۰/۰۰ ماده شبکه‌ای ساز سیتریک اسید است که می‌تواند نقش موثری در نگهداری و پایدارسازی نانوذرات نقره ایفاء کند. همچنین اخیراً، پایدارسازی موثر و

مطلوب نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید توسط فرایند پلیمریزاسیون با ماده ۲-هیدروکسی اتیل کریلات (Yu et al, 2013: 3697)، مواد شبکه‌ای‌ساز و دوستدار محیط‌زیست سیتریک اسید (Nazari et al, 2014: 80) و بوتان‌تتراکربوکسیلیک اسید (Montazer & Sei-follahzadeh, 2011: 322) روی محصولات نساجی و به‌خصوص پشمی گزارش شده است. بنابراین پلی‌کربوکسیلیک اسیدها و به‌ویژه ماده شبکه‌ای‌ساز سیتریک اسید علاوه بر این‌که به‌همراه نانوذرات نقره می‌تواند به ترکیب تخریب‌کننده لاروهای *T. bisselliella* به‌عنوان عامل ضدبید تبدیل شود، بلکه از پتانسیل بالایی در نگهداری و پایدارسازی نانوذرات نقره برخوردار است (Nazari, Montazer & Deh-ghani-Zahedani, 2013: 1369; Montazer, Pakdel & Moghadam, 2011: 10; Montazer & Seifollahzadeh, 2011: 880) (متغیرمستقل دیگری که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت، مدت زمان‌های مختلف مجاورت لاروهای *T. bisselliella* با فرش‌های پشمی عمل شده و شاهد برحسب روز است. با سپری نمودن تعداد روزهای بیشتر

است. همچنین در شکل شماره ۲، اثر همزمان دو متغیر غلظت نانوذرات نقره و تعداد روزهای مجاورت فرش‌های پشمی با لاروهای *T. bisselliella* بر پاسخ (مقادیر کاهش وزن) به وسیله ترسیم منحنی سه بعدی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

تعداد ۱۶ آزمایش مطابق طرح مرکب مرکزی با در نظر گرفتن دو متغیر شامل غلظت نانوذرات نقره (%) و تعداد روزهای مجاورت (برحسب روز) به عنوان متغیرهای مستقل و مقادیر کاهش وزن (%) نمونه‌های پشمی عمل شده به عنوان متغیر پاسخ در جدول ۱ آورده شده است. آنالیز واریانس برای هر سطح پاسخ با در نظر گرفتن سطوح معنی دار انجام شده است (جدول ۲). چنانچه مقادیر احتمال P برای یک مدل درجه سوم کمتر از ۰/۱، ۰/۰۵ و ۰/۰۱ باشد، آنگاه به ترتیب مدل حاصله با استفاده از سطوح ۱۰٪، ۵٪ و ۱٪ معنی دار است (Nazari, Montazer & Dehghani-Zahedani, 2014: 4211).

مجاورت *T. bisselliella* با فرش‌های پشمی، امکان تغذیه بیشتر فرش‌های پشمی توسط لاروهای *T. bisselliella* فراهم و بنابراین کاهش وزن نمونه‌ها بیشتر می‌شود. به طوری که در آزمایش‌های شماره ۱، ۵، ۷، ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌شود با استفاده از غلظت ثابت ۵/۰۰٪ نانوذرات نقره و افزایش روزهای مجاورت در بازه زمانی ۳۰ تا ۹۰ روز، مقادیر کاهش وزن فرش‌های پشمی بیشتر می‌شود. دلیل آن می‌تواند ضمن این که به افزایش روزهای مجاورت و مناسب بودن زنجیره‌های پروتئینی فرش‌های پشمی برای تغذیه بیشتر آن‌ها توسط گونه‌های *T. bisselliella* مربوط باشد، می‌تواند به نامناسب بودن غلظت ۵/۰۰٪ نانوذرات نقره نیز مربوط باشد. به طوری که در آزمایش شماره ۱۵ کمترین کاهش وزن (۰/۹۲٪) و بیشترین خاصیت ضدبید در برابر لاروهای خطرناک *T. bisselliella* و هضم‌کننده البسه و فرش‌های پشمی، بر اثر استفاده از غلظت مناسب ۳/۰۰٪ نانوذرات نقره و ۳۰ روز مجاورت حاصل شده است که حتی کمتر از ۱/۰۰٪

جدول ۲. آنالیز واریانس برای سطح پاسخ (کاهش وزن) توسط نمونه‌های پشمی عمل شده (نگارنده)

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	احتمال F	احتمال P
مدل	۹۲۳/۰۳	۹	۱۰۲/۵۶	۲۵۸۵/۲۰	<۰/۰۰۰۱
نانوذرات نقره: A	۹۵/۵۰	۱	۹۵/۵۰	۲۴۰۷/۳۰	<۰/۰۰۰۱
زمان: B	۱/۴۲	۱	۱/۴۲	۳۵/۷۲	۰/۰۰۱۰
AB	۶/۰۶	۱	۶/۰۶	۱۵۲/۸۰	<۰/۰۰۰۱
A ²	۱۵۸/۵۲	۱	۱۵۸/۵۲	۳۹۹۵/۸۸	<۰/۰۰۰۱
B ²	۰/۴۴	۱	۰/۴۴	۱۱/۰۹	۰/۰۱۵۸
A ² B	۱۰/۲۷	۱	۱۰/۲۷	۲۵۸/۹۶	<۰/۰۰۰۱
AB ²	۰/۴۰	۱	۰/۴۰	۱۰/۱۲	۰/۰۱۹۰
A ³	۴۴/۲۷	۱	۴۴/۲۷	۱۱۱۶/۰۱	<۰/۰۰۰۱
B ³	۰/۲۷	۱	۰/۲۷	۶/۷۲	۰/۰۴۱۱
باقیمانده	۰/۲۴	۶	۰/۰۴۰		
عدم تطابق	۰/۲۱	۱	۰/۲۱	۳۵/۰۷	۰/۰۰۲۰
خطای کل	۰/۰۳۰	۵	۵/۹۴۰E-۰۰۳		
کل	۹۲۳/۲۶	۱۵			



جهت کسب مدل حاصل برای کاهش وزن ایجاد شده برای نمونه‌های پشمی عمل شده با روزهای متفاوت توسط لاروهای *T. bisselliella* که با غلظت‌های مختلف نانوذرات نقره و عمل شده است، احتمال F برابر با $2585/20$ شده است. در این حالت با توجه به آنالیز واریانس انجام شده، مدل حاصل در سطح 1% یا با سطح اطمینان 99% در دامنه موردنظر، معنی دار بوده و توسط B^3 اثرگذاری کمتری بر مقادیر کاهش وزن نسبت به سایر ضرایب ایجاد می شود. همچنین، رابطه بین متغیرها و پاسخ براساس دو متغیر مستقل برای مقادیر کاهش وزن طبق رابطه (۲) به دست آمده است.

= کاهش وزن (%)

$$-28/20 + 41/53 \times A + 0/75 \times B - 0/16 \times A \times B - 17/84 \times A^2 - 7/00E-003 \times B^2 + 0/03 \times A^2 \times B - 3/42E-004 \times A \times B^2 + 2/03 \times A^3 + 4/72E-005 \times B^3 \quad (2)$$

۴-۲- حلالیت قلیایی

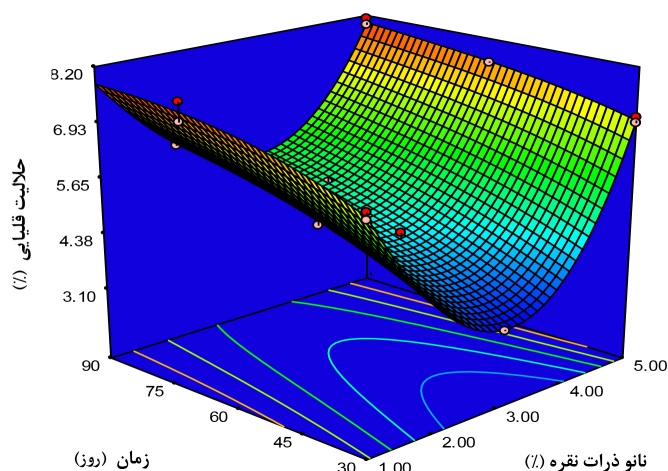
مقادیر حلالیت قلیایی متأثر از غلظت نانوذرات نقره و مدت زمان مجاورت فرش‌های پشمی عمل شده و شاهد در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌طور که در تمامی آزمایش‌ها مشاهده می شود مقادیر حلالیت قلیایی فرش‌های پشمی عمل شده نسبت به نمونه شاهد، کاهش یافته است. دلیل این مطلب به عمل آوری فرش‌های پشمی با نانوذرات نقره به همراه سیتريک اسيد مربوط می شود. به عبارتی، روش متداول اسپری نمودن فرش‌های پشمی ارائه شده در این پژوهش توانسته است محدودیت حساسیت کالای پشمی در محیط قلیایی را تا حد زیادی رفع نماید. با توجه به بررسی‌های انجام شده توسط تانگ به همراه همکارانش در سال ۲۰۱۳، حضور نانوذرات نقره می تواند برهم کنش‌های الکترواستاتیک را در بین زنجیره های پروتئینی پشمی را افزایش دهد (Tang et al., 2013: 4556).

(% 3/13) مربوط به فرش پشمی تهیه شده با % ۳/۰۰ نانوذرات نقره (آزمایش شماره ۱۵) است. این موضوع دلالت بر مناسب بودن نسبت غلظت‌های سیتريک اسيد و نانوذرات نقره در ایجاد پوشش روی الیاف پشمی دارد. همان‌طور که در آزمایش‌های شماره ۱، ۲، ۴ و ۱۱ ملاحظه می شود، مقادیر حلالیت قلیایی با افزایش غلظت نانوذرات نقره، افزایش می یابد. دلیل آن می تواند به تجمع نانوذرات نقره روی فرش‌های پشمی و در نتیجه کاهش کارایی نانوذرات نقره در ایجاد برهم کنش الکترواستاتیکی با زنجیره‌های پروتئینی مربوط شود. همچنین، بالاترین حلالیت قلیایی (% ۸/۱۲) مربوط به فرش پشمی تهیه شده با % ۵/۰۰ نانوذرات نقره و ۹۰ روز مجاورت (آزمایش شماره ۱) است. اگرچه حلالیت قلیایی % ۸/۱۲ نسبت به نمونه شاهد (% ۱۰/۹۲) کاهش یافته است و اندکی مشکل حساسیت نمونه پشمی نسبت به محیط قلیایی رفع شده است، اما این مقدار از حلالیت قلیایی نسبت به مقادیر سایر فرش‌های پشمی عمل شده (جدول ۱) بیشتر است. دلیل آن می تواند به تجمع نانوذرات نقره روی فرش‌های پشمی عمل شده و افزایش ابعاد آن و بنابراین کاهش کارایی نانوذرات مربوط باشد. همچنین تأثیر مدت زمان‌های مختلف مجاورت لاروهای *T. bisselliella* با فرش‌های پشمی عمل شده و شاهد بر حلالیت قلیایی نیز بررسی شده است. با سپری نمودن تعداد روزهای بیشتر مجاورت *T. bisselliella*، امکان تغذیه بیشتر فرش‌های پشمی توسط لاروهای *T. bisselliella* فراهم شده و بنابراین حلالیت قلیایی فرش‌های پشمی عمل شده، بیشتر می شود. به طوری که در آزمایش‌های شماره ۱، ۵، ۷، ۱۰ و ۱۱ مشاهده می شود در غلظت ثابت % ۵/۰۰ نانوذرات نقره و افزایش روزهای مجاورت در دامنه ۳۰ تا ۹۰ روز، مقادیر حلالیت قلیایی فرش‌های پشمی بیشتر شده است. دلیل آن می تواند با افزایش روزهای

روزهای مجاورت فرش‌های پشمی به‌وسیله ترسیم منحنی سه‌بعدی نشان داده شده است.

در جدول ۱، تعداد ۱۶ آزمایش مطابق روش

مجاورت و بنابراین ضعیف شدن الیاف پشمی در اثر تغذیه بیشتر توسط لاروهای *T. bisselliella* مرتبط باشد. همچنین در تصویر شماره ۳، مقادیر حلالیت قلیایی متأثر از دو متغیر غلظت نانوذرات نقره و تعداد



تصویر ۳. منحنی سه‌بعدی مقادیر حلالیت قلیایی فرش‌های پشمی براساس دو متغیر غلظت نانوذرات نقره (%) و تعداد روز مجاورت (نگارنده)

جدول ۳. آنالیز واریانس برای سطح پاسخ (حلالیت قلیایی) توسط نمونه‌های پشمی عمل شده (نگارنده)

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	احتمال F	احتمال P
مدل	۳۰/۰۹	۹	۳/۳۴	۹۱/۲۹	<۰/۰۰۰۱
نانوذرات نقره: A	۰/۰۳۸	۱	۰/۰۳۸	۱/۰۴	۰/۳۴۶۲
زمان: B	۰/۲۳	۱	۰/۲۳	۶/۲۲	۰/۰۴۶۹
AB	۰/۰۱۰	۱	۰/۰۱۰	۰/۲۸	۰/۶۱۳۲
A ²	۲۰/۲۵	۱	۲۰/۲۵	۵۵۲/۷۹	<۰/۰۰۰۱
B ²	۰/۱۴	۱	۰/۱۴	۳/۸۱	۰/۰۹۸۷
A ² B	۰/۲۴	۱	۰/۲۴	۶/۶۷	۰/۰۴۱۷
AB ²	۰/۰۱۲	۱	۰/۰۱۲	۰/۳۲	۰/۵۹۴۵
A ³	۰/۰۴۳	۱	۰/۰۴۳	۱/۱۸	۰/۳۱۸۸
B ³	۴/۷۲۲E-۰۰۴	۱	۴/۷۲۲E-۰۰۴	۰/۰۱۳	۰/۹۱۳۳
باقیمانده	۰/۲۲	۶	۰/۰۳۷		
عدم تطابق	۰/۰۸۹	۱	۰/۰۸۹	۳/۴۲	۰/۱۲۳۸
خطای کل	۰/۱۳	۵	۰/۰۲۶		
کل	۳۰/۳۱	۱۵			

آماری طرح مرکب مرکزی با در نظر گرفتن دو متغیر شامل غلظت نانوذرات نقره (%) و تعداد روزهای مجاورت (برحسب روز) به عنوان متغیرهای مستقل و مقادیر حلالیت قلیایی به عنوان متغیر پاسخ آورده شده است. آنالیز واریانس به منظور بررسی معنی داری مدل حاصله و هریک از متغیرهای پژوهش انجام شده است (جدول ۳).

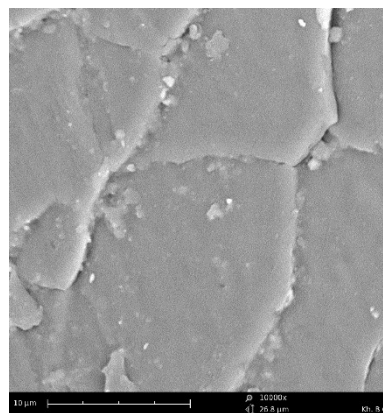
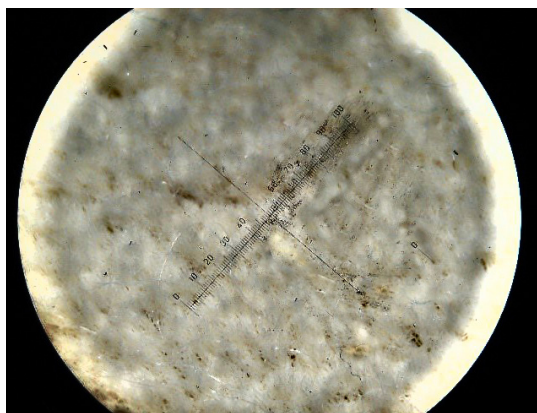
به منظور کسب مدل حاصله برای مقادیر حلالیت قلیایی نمونه های پشمی عمل شده با غلظت های مختلف نانوذرات نقره و روزهای متفاوت مجاورت، احتمال F برابر با ۹۱/۲۹ شده است. در این حالت با توجه به آنالیز واریانس انجام شده، مدل حاصل در سطح ۱% یا با سطح اطمینان ۹۹% معنی دار بوده و در ادامه نیز توسط B_1A_2 ، B_2 و A_2B اثرگذاری بیشتری بر مقادیر حلالیت قلیایی نسبت به A_3 ، A_0 ، AB_0AB_2 و B_3 ایجاد می شود. همچنین، رابطه بین متغیرها و پاسخ براساس دو متغیر مستقل برای مقادیر حلالیت قلیایی طبق رابطه (۳) به دست آمده است.

$$\begin{aligned} \text{حلالیت قلیایی } (\%) = & 49/8 - 46/4 \times A + 0/07 \times B + 0/02 \times A \times B + 0/46 \\ & \times A^2 - 7/98E-004 \times B^2 - 4/45E-003 \times A^2 \times B + \\ & 5/80E-005 \times A \times B^2 + 0/06 \times A^3 + 1/99E-006 \\ & \times B^3 \end{aligned} \quad (3)$$

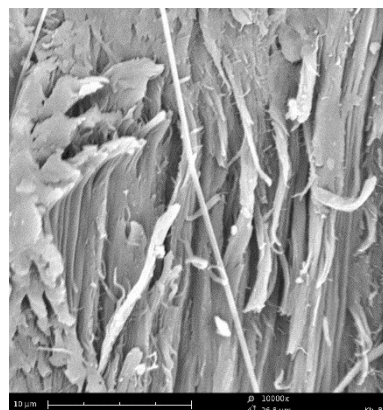
براساس نتایج به دست آمده در طرح مرکب مرکزی و استفاده از نرم افزار دیزاین اکسپرت و آنالیز آماری توسط روش رویه پاسخ، شرایط بهینه برای متغیرهای پاسخ مقادیر کاهش وزن % ۰/۰۹ و حلالیت قلیایی % ۳/۱۳، براساس دو متغیر غلظت نانوذرات نقره و تعداد روزهای مجاورت فرش های پشمی با لاروهای *T. bisselliella* شامل استفاده از % ۳/۰۷ نانوذرات نقره و ۳۰ روز مجاورت محاسبه شده و میزان مطلوب بودن نتایج نیز برابر با ۰/۹۹۷ ارائه شده است.

۴-۳- تصاویر میکروسکوپ نوری و الکترونی پویشی
برای مشاهده چگونگی تغذیه الیاف پشمی شاهد و عمل شده در شرایط بهینه از میکروسکوپ نوری و الکترونی پویشی استفاده شد. در شکل ۴، تصاویر الیاف پشمی (الف) قبل از مجاورت با لاروهای *T. bisselliella*، (ب) شاهد، (ج) عمل شده در شرایط بهینه نشان داده شده است.

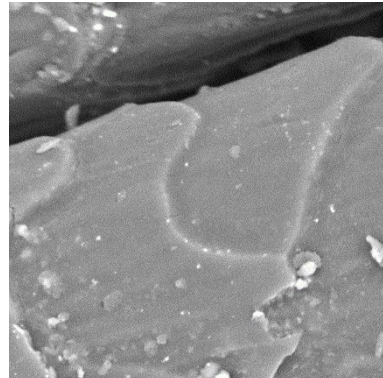
همان طور که در تصویر ۴- الف مشاهده می شود، فلس های طبیعی الیاف پشمی قبل از مجاورت با لاروهای *T. bisselliella* حضور دارند و تغییری در آن به وجود نیامده است. اما در الیاف پشمی شاهد که تکمیل شیمیایی روی آن انجام نشده است (تصویر ۴- ب)، شکل ظاهری سطح الیاف پشمی بعد از ۹۰ روز مجاورت با لاروهای *T. bisselliella* متلاشی شده و براساس نتایج حاصله از جدول ۱، مقدار ۳۱/۳۵٪ کاهش وزن برای فرش پشمی شاهد به وجود آمده است. به عبارتی، تقریباً یک سوم فرش پشمی شاهد طی ۹۰ روز توسط لاروهای *T. bisselliella* تغذیه شده و این امر از مطلوب بودن زنجیره های پروتئینی پشمی برای تغذیه لاروهای *T. bisselliella* دلالت دارد. همچنین تصویر فرش پشمی عمل شده در شرایط بهینه (تصویر ۴- ج) حاکی از مطلوب بودن عملیات نانو تکمیل شیمیایی با نانوذرات نقره و سیتریک اسید در محافظت فرش پشمی در برابر گونه های مخرب و هضم کننده *T. bisselliella* دارد. به طوری که استفاده از روش متداول اسپری نمودن در عمل آوری فرش پشمی با % ۳/۰۷ نانوذرات نقره به همراه % ۱۰/۰۰ سیتریک اسید، توانسته کمترین آسیب را روی فرش پشمی منجر شود و حتی بعد از اسپری نمودن ۳۰ روز مجاورت با لاروهای *T. bisselliella* تغییرات غیر محسوسی در شکل ظاهری و سطح الیاف پشمی ایجاد نموده است.



الف



ج



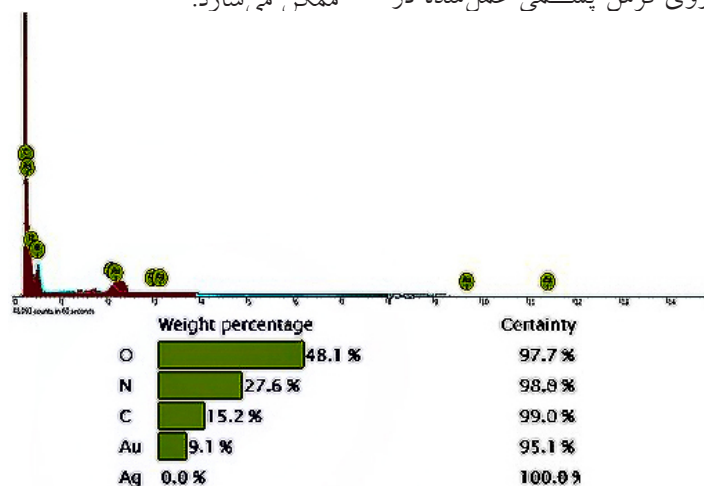
ج

تصویر ۴. تصاویر میکروسکوپ نوری و الکترونی پوششی با بزرگنمایی $\times 10/000$ فرش‌های پشمی (الف) قبل از مجاورت با لاروها *T. bisselliella* (ب) شاهد، (ج) عمل شده در شرایط بهینه حاوی ۳/۰۷٪ نانوذرات نقره و ۳۰ روز مجاورت با لاروهای *T. bisselliella* (نگارنده)

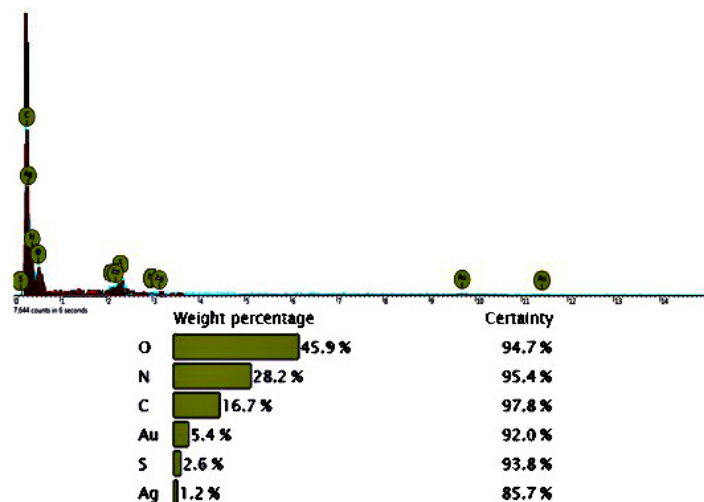
۴-۴- طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس

برای مشخص شدن عناصر موجود در فرش پشمی شاهد و عمل شده در شرایط بهینه از طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس استفاده شده که در تصویر ۵ (الف و ب) نشان داده شده است. از تکنیک طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس به منظور تأییدکننده حضور عنصر نقره روی فرش پشمی عمل شده در

شرایط بهینه حاوی ۳/۰۷٪ نانوذرات نقره و ۱۰/۰۰٪ سیتریک اسید (تصویر ۵-ب) در مقایسه با نمونه شاهد (تصویر ۵-الف) استفاده شده است. تکنیک مذکور براساس این اصل است که هر عنصر دارای یک ساختار اتمی منحصر به فرد است که مجموعه منحصر به فردی از پیک‌ها را در طیف پرتو ایکس آن، ممکن می‌سازد.



الف



ب

تصویر ۵. طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس فرش‌های پشمی (الف) شاهد و (ب) عمل شده در شرایط بهینه حاوی ۳/۰۷٪ نانوذرات نقره و ۳۰ روز مجاورت با لاروهای *T. bisselliella* (نگارنده)

■ نتیجه گیری

این پژوهش به منظور ایجاد محافظت برای فرش های پشمی در برابر لاروهای خطرناک و خورنده *T. bis-* *seliella* با ترکیبات نانو ذرات نقره و ماده دوستدار محیط زیست و شبکه ای ساز سیتریک اسید انجام شد. الیاف طبیعی پشمی در محصولات ارزشمندی همچون فرش ها و گلیم های دستبافت کاربرد فراوان دارد. بنابراین ضدبید کردن آنها با ترکیباتی غیر از مواد مشکل ساز نظیر پرمترین، نفتایل و آرسنیک دار از اهمیت فراوانی برخوردار است. این مطلب با توجه به سایر ویژگی های منحصر به فرد پشم نظیر بازگشت پذیری و جذب رنگ بالا، ارزش عملیات ضدبید با رعایت ضروریات زیست محیطی را دوچندان می کند. در اجرای این پژوهش، از طراحی آماری آزمایشات به روش طرح مرکب مرکزی به منظور کاهش تعداد آزمایشات، بهینه کردن مصرف نانو ذرات نقره، کمینه سازی متغیرهای کاهش وزن و حلالیت قلیایی استفاده شد. به طوری که داده های حاصل از طراحی آزمایشات، با تکنیک روش رویه پاسخ (RSM) تحلیل و مدل های درجه سوم برای متغیرهای وابسته شامل کاهش وزن و حلالیت قلیایی حاصل شد. ضمن این که هر یک از مدل ها با توجه به آنالیز واریانس انجام شده، در سطح ۱% یا با سطح اطمینان ۹۹% معنی دار بودند و در ادامه نیز جملات تشکیل دهنده مدل ها، اثرگذاری

معنی داری بر مدل های آماری حاصله داشتند. شرایط بهینه شامل استفاده از ۳/۰۷% نانو ذرات نقره و ۳۰ روز مجاورت فرش پشمی با لاروهای *T. bis-* *seliella* و متغیرهای پاسخ به صورت ۰/۰۹% کاهش وزن و ۳/۱۳% حلالیت قلیایی کسب شد. تصاویر میکروسکوپی نوری و الکترونی پویشی مؤید این مطلب هستند که فرش پشمی عمل شده در شرایط بهینه نسبت به نمونه شاهد که آسیب های مهلک و ظاهری فراوان داشته اند از محافظت بالایی در برابر لاروهای *T. bis-* *seliella* برخوردار شده است. ضمن این که تکنیک طیفسنجی پراش انرژی پرتو ایکس نیز حضور عنصر نقره روی فرش پشمی عمل شده در شرایط بهینه را تایید کرد. استراتژی مطرح در این پژوهش که به صورت موفقیت آمیزی دنبال شد، شامل جایگزینی نانو ذرات و ماده دوستدار محیط زیست سیتریک اسید با عملیات های ضدبید سمی مرسوم با بهره مندی از روش آماری طرح مرکب مرکزی و تحلیل رویه پاسخ به منظور جلوگیری از هدر رفتن زمان، مواد و انرژی به منظور حفاظت فرش های گران بهای پشمی در برابر گونه های خطرناک و نابودکننده محصولات پشمی (*T. bis-* *seliella*) بوده است.

■ پی نوشت ها

- 1- Protection
- 2- Alkaline solubility
- 3- Mothproofing



■ فهرست منابع

- باقری زنوز، ابراهیم (۱۳۹۲)، آفات و عوامل زیان آور انباری و مدیریت کنترل آنها: بیواکولوژی حشرات، کنه ها و میکروارگانیسم ها، تهران: انتشارات دانشگاه تهران
- Barik, T.K., Sahu, B., & Swain, V. (2008). Nanosilica from medicine to pest control. *Parasitology Research*, 103(2), 253–258.
- Baser, S., Erkoc, F., Selvi, M., & Kocak, O. (2003). Investigation of acute toxicity of permethrin on guppies *Poecilia reticulata*. *Chemosphere*, 51 (6), 469–474.
- Behzadnia, A., Montazer, M., & Mahmoudi-Rad, M. (2015). Simultaneous sonosynthesis and sonofabrication of N-doped ZnO/TiO₂ core-shell nanocomposite on wool fabric: Introducing various properties specially nano photo-bleaching. *Ultrasonics Sonochemistry*, 27, 10- 21.
- Cox, C. (1998). Insecticide fact sheet: Permethrin. *Journal of Pesticide Reform*, 18 (2), 14–20.
- Fujimoto, T., Sunderland, M.R., Tandon, S.K., Asano, C.M., Asano, A., Murata, C., & Fukuyama, H. (2008). Measurement of surface property using a special sensor developed for pile materials. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 33, 253–257.
- Harifi, T., & Montazer, M. (2015). A review on textile sonoprocessing: A special focus on sonosynthesis of nanomaterials on textile substrates. *Ultrasonics Sonochemistry*, 23, 1– 10.
- Hosseinkhani, M., Montazer, M., Eskandarnejhad, S., & Harifi, T. (2017). Optimization of wool slenderizing along with in-situ synthesis of silver nanoparticles using Box-Behnken design. *Journal of Natural Fibers*, 14 (2), 175- 184.
- Hosseinkhani, M., Montazer, M., & Harifi, T. (2016). Protein and silver nitrate interaction during finer wool production: enhancing tensile properties along with synthesis of nano silver. *Journal of The Textile Institute*, 108(1), 78– 83.
- Ingham, P.E., McNeil, S.J., & Sunderland, M.R. (2012). Functional finishes for wool-Eco considerations. *Advanced Materials Research*, 441, 33–43.
- Ki, H.Y., Kim, J.H., Kwon, S.C., & Jeong, S.H. (2007). A study on multifunctional wool textiles treated with nano-sized silver. *Journal of Materials Science*, 42(19), 8020–8024.
- Long, T.C., Saleh, N., Tilton, R.D., Lowry, G.V., & Veronesi, B. (2006). Titanium dioxide (P25) produces reactive oxygen species in immortalized brain microglia. *Environmental Science and Technology*, 40 (14), 4346–4352.
- McCall, R.A., & McNeil, S.J. (2007). Comparison of the energy, time and water usage required for maintaining carpets and hard floors. *Indoor Built Environ*, 16 (5) 482–486.
- McNeil, S.J., & Sunderland, M.R. (2016). 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.
- McNeil, S.J., Sunderland, M.R., & Zaitseva, L.I. (2007). Closed-loop wool carpet recycling. *Resour Conserv Recycl*, 51(1), 220–224.
- Montazer, M., Pakdel, E., & Moghadam, M.B. (2011) The role of nano colloid of TiO₂ and butane tetra carboxylic acid on the alkali solubility and hydrophilicity of proteinous fibers. *Colloids and Surfaces A Physicochemical and Engineering*, 375(1-3), 1–11.
- Montazer, M., & Pakdel, E. (2010). Reducing photoyellowing of wool using nano TiO₂. *Photochemistry and Photobiology*, 86(2), 255–260.
- Montazer, & M., Ramin, A. (2010). Influences of proteases and transglutaminases on wool. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2 (79), 98–102.
- Montazer, M., & Seifollahzadeh, S. (2011). Enhanced self-cleaning, antibacterial and UV protection proper-



دوفصلنامه
علمی - پژوهشی
انجمن علمی
فرش ایران
شماره ۳۳
بهار و تابستان ۱۳۹۷

۱۶۰



ties of nano TiO₂ treated textile through enzymatic pretreatment. *Photochemistry And .Photobiology*, 87 (4), 877–883.

- Montazer, M., & Seifollahzadeh, S. (2011). Pretreatment of wool/polyester blended fabrics to enhance titanium dioxide nanoparticle adsorption and self-cleaning properties. *Coloration Technology*, 127(5), 322–327.

- Nafeie-Yazdi, N., Montazer, M., Hemmati, Nejad N., & Harifi, T. (2016). Electrical conductivity of different carbon nanotubes on wool fabric: An investigation on the effects of different dispersing agents and pretreatments. *Colloids and Surfaces A: physicochemical And Engineering Aspects*, 471 (0), 81– 89.

- Nallathambi, A., Soloman, A.M., Muthusamy, S.K., & Venkateshwarapuram, R.G.D. (2014). Keratin hydrolysate as an exhausting agent in textile reactive dyeing process. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 16 (6), 1207–1215.

- Nash, J.F. (2006). Human safety and efficacy of ultraviolet filters and sunscreen products. *Dermatologic Clinics*, 24 (1), 35–51.

- Nazari, A. (2017). Efficient mothproofing of wool through natural dyeing with walnut hull and henna against *Dermestes maculatus*. *The Journal of The Textile Institute*, 108 (5), 755-765.

- Nazari, A. (2014). Proteases pretreatment on wool to enhance durable antimicrobial and UV protection with nano TiO₂ and polycarboxylic acids using RSM. *Journal of the Textile Institute*, 2014, 105 (6), 620-630.

- Nazari, A., Montazer, M., Afzali, F., & Sheibani, A. (2014) Optimization of proteases pretreatment on natural dyeing of wool using response surface methodology. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 16 (6), 1081-1093.

- Nazari, A., Montazer, M., & Dehghani-Zahedani, M. (2014). Mothproofing of wool fabric utilizing ZnO nanoparticles optimized by statistical models. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20 (6), 4207–4214.

- Nazari, A., Montazer, M., & Dehghani-Zahedani, M. (2013). Nano TiO₂ as a new tool for mothproofing of wool: protection of wool against *Anthrenus verbasci*. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 52 (3), 1365–1371.

- Nazari, A., Montazer, M., & Dehghani-Zahedani, M. (2014). Simultaneous dyeing and mothproofing of wool against *Dermestes maculatus* with madder optimized by statistical model. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 16 (8), 1675-1686.

- Nazari, A., Montazer, M., Jafari, F., & Dehghani-Zahedani, M. (2014). Optimization of wool mothproofing with Nano TiO₂ using statistical analysis, *Journal of the Textile Institute*, 105 (1),. 74-83.

- Potting, J., & Blok, K. (1995). Life-cycle assessment of four types of floor covering. *Journal of Cleaner Production*, 3 (4), 201–213.

- Prakash, O.M., Banerjee, J., & Parthasarathy, L.M. (1979). Preservation of woollens against clothes moths and carpet beetles. *Defense Science Journal*, 29 (3), 147–150.

- Sadeghi-Kiakhan, & M., Safapour, S. (2015). Eco-friendly dyeing of treated wool fabrics with reactive dyes using chitosanpoly (propylene imine) dendreimer hybrid. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17, (4), 1019–1027.

- Sekar, N. (2005). Dyeing with reactive disperse dyes in super critical carbon dioxide developments. *Colourage*, 52 (1), 65–66.

- Shirgholami, M.A., Nazari, & A., Mirjalili, M. (2015). Statistical optimization of self-cleaning technology and color reduction in wool fabric by nano zinc oxide and eco-friendly cross-linker. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17 (4), 905–919.

- Sunderland, M.R., & McNeil, S.J. (2017). Protecting wool carpets from beetle and moth larvae with nanocidal titanium dioxide desiccant. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19 (4), 1205–1213.

- Tang, B., Li, J., Hou, X., Afrin, T., Sun, L., & Wang, X. (2013). Colorful and antibacterial silk fiber from aniso-



tropic silver nanoparticles. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 52 (12), 4556–4563.

- Thomas, A., Harland, D.P., Clerens, S., Deb-Choudhury, S., Vernon, J.A., Krsinic, G. L., Walls, R.J., Cornelison, C.D., Plowman, J.E., & Dyer, J.M. (2012). Interspecies comparison of morphology, ultrastructure, and proteome of mammalian keratin fibers of similar diameter. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60 (1), 2434-2446.

- Yu, M., Wang, Z., Liu, H., Xie, S., Wu, J., Jiang, H., Zhang, J., Li, L., & Li, J. (2013). Laundering durability of photocatalyzed self-cleaning cotton fabric with TiO₂ nanoparticles covalently immobilized. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 5 (9), 3697–3703.



دوفصلنامه
علمی - پژوهشی
انجمن علمی
فرش ایران
شماره ۳۳
بهار و تابستان ۱۳۹۷

۱۶۲

