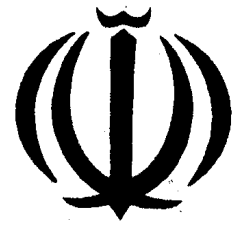




معاونت پژوهش و فناوری



جمهوری اسلامی ایران

بررسی و ارائه روش‌های مختلف تکمیل ضد آتش

منسوجات متداول

(گزارش مرحله دوم)

(۱۱-۲۱۷۶)

جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر

حمیدرضا علی بابایی

گروه پژوهشی تکنولوژی نساجی

تابستان ۱۳۹۵



چکیده

در این تحقیق از چهار نوع پارچه با جنس‌های پلی‌استر، نایلون، اکریلیک و پنبه/پلی‌استر (۸۰/۲۰)، مورد مصرف در اغلب منسوجات متداول، استفاده شد. منسوجات نایلونی، پلی‌استری و اکریلیکی با رزین SP و منسوج پنبه/پلی-استر با رزین CE به روش تکمیل شیمیایی دیرسوز شدند. همچنین از رزین‌های مختلف پشت‌پوشی نیز در کنار ماده دیرسوز استفاده شد و اثر هر یک از آنها مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی اشتعال‌پذیری نمونه‌ها با آزمون شعله عمودی و افقی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین خصوصیات کششی، جرخوردگی و ثبات رنگ در برابر شستشو و نور نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

نتایج به دست آمده نشان داد: رزین SP به تنهایی و بدون هیچ ماده جانبی عملکرد خوبی برای دیرسوز کردن منسوجات پلی‌استری، اکریلیک و نایلونی دارد. نمونه‌ها با دور شدن شعله خاموش شدند و قطرات مذاب در حین آزمون مشاهده نشد. منسوج پنبه/پلی‌استر دیرسوز شده با رزین CE بعد از سوختن، زغال بجا گذاشت و همچنین سرعت شعله در نمونه‌ها کاهش یافت. همچنین استفاده از مواد دیرسوز تغییری در استحکام کششی، جرخوردگی و ثبات رنگ در برابر شستشو و رنگ ایجاد نکرد.

کلید واژگان: پلی‌استر، نایلون، اکریلیک، پنبه/پلی‌استر، دیرسوز کردن، اشتعال‌پذیری، منسوج، پشت‌پوشی و رزین

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول:

جمع‌بندی طرح‌های پژوهشی انجام شده و بررسی روش‌های دیرسوز کردن منسوجات منتخب

۲	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- فرآیند احتراق
۴	۳-۱- مروری بر تجربیات سه طرح پژوهشی اجرا شده و نتایج آن
۵	۱-۳-۱- دست‌آوردهای طرح پژوهشی "بررسی و مطالعه در خصوص تکنولوژی تولید لباس‌های محافظ در برابر حرارت"
۵	۲-۳-۱- دست‌آوردهای طرح پژوهشی "تکنولوژی ساخت و تولید پوشاک محافظ در برابر حرارت و پاشش مذاب"
۵	۳-۳-۱- دست‌آوردهای طرح پژوهشی صنعتی "تدوین دانش فنی و تولید نمونه مهندسی منسوجات دیرسوز با جنس‌های مختلف به روش پشت‌پوشی (Back) - (coating)"
۶	۴-۱- اولویت‌بندی انتخاب چهار نوع منسوج برای دیرسوز کردن
۷	۵-۱- شناسایی خواص فیزیکی و حرارتی منسوجات منتخب
۹	۱-۵-۱- منسوجات پلی استری
۹	۲-۵-۱- منسوج اکریلیکی
۱۰	۳-۵-۱- منسوج نایلونی
۱۲	۶-۱- مطالعه مواد و روش‌های دیرسوز کردن منسوجات منتخب
۱۲	۱-۶-۱- مکانیزم‌های متداول دیرسوز
۱۴	۲-۶-۱- روش‌های تولید منسوجات ضدآتش
۱۵	۳-۶-۱- تکمیل شیمیایی منسوج با مواد دیرسوز
۲۱	۴-۶-۱- ساختمان شیمیایی مواد ضدآتش
۳۰	۵-۶-۱- روش‌های متداول تولید منسوجات دیرسوز
۳۰	۱-۵-۶-۱- منسوجات پلی استری دیرسوز
۳۳	۲-۵-۶-۱- منسوجات اکریلیکی دیرسوز
۳۶	۳-۵-۶-۱- منسوجات نایلونی دیرسوز
۴۲	۴-۵-۶-۱- منسوجات دیرسوز شده با الیاف ترکیبی
۴۳	۷-۱- روش‌های ارزیابی اشتعال‌پذیری منسوجات
۴۳	۱-۷-۱- ضریب اکسیژن محدود (LOI)
۴۵	۲-۷-۱- روش اندازه‌گیری TGA
۴۵	۳-۷-۱- اندازه‌گیری طول و سرعت سوختگی
۴۵	۴-۷-۱- روش گرماسنجی مخروطی
۴۷	۵-۷-۱- بررسی نتایج بدست آمده از ارزیابی سوختن نمونه‌ها
۴۷	۸-۱- جمع بندی

فصل دوم:

تولید نمونه‌های آزمایشگاهی منسوجات منتخب ضدآتش و انتخاب نسخه بهینه

۴۹	۱-۲- مقدمه
۴۹	۲-۲- مواد مورد نیاز برای دیرسوز کردن منسوجات منتخب
۵۰	۱-۲-۲- مشخصات پارچه‌های استفاده شده
۵۱	۲-۲-۲- رزین دیرسوز

۵۱	۳-۲-۲- رزین پشت پوشی
۵۲	۳-۲- تجهیزات استفاده شده جهت دیرسوز کردن منسوجات
۵۳	۱-۳-۲- دستگاه فولارد
۵۴	۲-۳-۲- دستگاه استنتر
۵۵	۴-۲- فرآیند ضدآتش کردن منسوجات متداول
۵۵	۱-۴-۲- دیرسوز کردن منسوجات پلی استری
۵۵	۱-۱-۴-۲- بررسی اثر رزین‌های دیرسوز کننده بر منسوجات پلی استری
۵۵	۲-۱-۴-۲- بررسی اثر رزین پشت پوشی بر دیرسوز کردن منسوجات پلی استری
۵۶	۳-۱-۴-۲- بررسی اثر نمک در دیرسوز کردن منسوجات پلی استری
۵۶	۴-۱-۴-۲- بررسی اثر غلظت ماده دیرسوز در دیرسوز کردن منسوجات پلی استری
۵۶	۵-۱-۴-۲- بررسی اثر دما و زمان بر دیرسوز شدن منسوج پلی استری
۵۶	۲-۴-۲- دیرسوز کردن کردن منسوجات پنبه/پلی استر
۵۷	۳-۴-۲- دیرسوز کردن منسوجات اکریلیکی
۵۷	۴-۴-۲- دیرسوز کردن منسوجاتی نایلونی
۵۷	۵-۲- بررسی اثر خواص فیزیکی منسوجات دیرسوز شده
۵۷	۱-۵-۲- وزن در واحد سطح نمونه
۵۸	۲-۵-۲- ضخامت منسوجات دیرسوز شده
۵۸	۶-۲- آزمایش خواص مکانیکی منسوجات قبل و بعد از دیرسوز کردن
۵۸	۱-۶-۲- استحکام کششی منسوجات دیرسوز شده
۵۹	۲-۶-۲- استحکام در برابر جرخوردگی منسوجات دیرسوز شده
۵۹	۷-۲- بررسی خواص شیمیایی منسوجات دیرسوز شده
۶۰	۱-۷-۲- ثبات نوری منسوجات دیرسوز شده
۶۰	۲-۷-۲- ثبات شستشویی منسوجات دیرسوز شده
۶۱	۸-۲- آزمایش اشتعال پذیری منسوجات دیرسوز شده
۶۲	۱-۸-۲- آزمون اشتعال پذیری افقی منسوجات دیرسوز شده
۶۲	۲-۸-۲- تست عمودی منسوجات براساس استاندارد FAR ۲۵,۸۵۳
۶۳	۳-۸-۲- آزمایش میزان اکسیژن محدود LOI
۶۳	۴-۸-۲- آزمون TGA
۶۳	۹-۲- جمع بندی

فصل سوم:

تحلیل و بررسی ویژگی‌های منسوجات منتخب ضدآتش شده

۶۵	۱-۳- مقدمه
۶۵	۲-۳- دیرسوز کردن کالای پلی استری
۶۵	۱-۲-۳- بررسی اثر رزین دیرسوز کننده بر منسوجات پلی استری
۶۶	۲-۲-۳- اثر رزین پشت پوشی بر دیرسوز شدن منسوجات پلی استری
۶۸	۳-۲-۳- بررسی اثر استفاده از نمک در دیرسوز کردن منسوجات پلی استری
۶۹	۴-۲-۳- بررسی اثر غلظت ماده دیرسوز کننده بر منسوجات پلی استری
۶۹	۵-۲-۳- بررسی اثر دما و زمان بر دیرسوز کردن منسوجات پلی استری
۶۹	۳-۳- دیرسوز کردن منسوجات پنبه/پلی استر
۷۱	۴-۳- دیرسوز کردن منسوج اکریلیکی

۷۲	۵-۳- دیرسوز کردن منسوج نایلونی
۷۲	۶-۳- دیرسوز کردن چهار منسوج منتخب
۷۳	۷-۳- آزمایش خواص فیزیکی منسوجات قبل و بعد از دیرسوز کردن
۷۳	۱-۷-۳- وزن در واحد سطح منسوجات
۷۴	۲-۷-۳- ضخامت پارچه
۷۴	۸-۳- بررسی خواص مکانیکی منسوجات قبل و بعد از دیرسوز کردن
۷۴	۱-۸-۳- اندازه‌گیری استحکام کششی پارچه
۷۶	۲-۸-۳- استحکام پارچه در برابر جرخوردگی
۷۶	۹-۳- آزمایش خواص شیمیایی منسوجات قبل و بعد از دیرسوز کردن
۷۶	۱-۹-۳- ثبات نمونه‌ها در برابر نور
۷۸	۲-۹-۳- ثبات شستشویی منسوجات
۷۸	۱۰-۳- آزمایش میزان اشتعال‌پذیری منسوجات قبل و بعد از دیرسوز کردن
۷۸	۱-۱۰-۳- اندازه‌گیری اشتعال‌پذیری افقی نمونه‌ها
۷۸	۲-۱۰-۳- تست عمودی نمونه‌ها براساس استاندارد FAR ۲۵,۸۵۳
۸۰	۳-۱۰-۳- آزمایش ضریب اکسیژن محدود (LOI)
۸۱	۴-۱۰-۳- آزمایش آنالیز توزین حرارتی (TGA)
۸۶	۱۱-۳- جمع بندی

فصل چهارم:

نتیجه‌گیری

۸۸	۱-۴- مقدمه
۸۸	۲-۴- ارزیابی میزان اشتعال‌پذیری منسوجات منتخب دیرسوز شده
۹۰	۳-۴- بررسی تأثیر عملیات ضدآتش کردن بر خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی منسوجات منتخب
۹۲	مراجع

فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

۴	شکل ۱-۱ فرایند احتراق
۹	شکل ۲-۱: ساختار تکرار شونده الیاف پلی اتیلن ترفتالات
۱۰	شکل ۳-۱: ساختمان شیمیایی الیاف اکریلیک
۱۱	شکل ۴-۱: ساختار شیمیایی نایلون ۶ و نایلون ۶۶
۱۳	شکل ۵-۱: واکنش‌های انجام شده در فاز گازی
۲۲	شکل ۶-۱: پلی فسفاژن
۲۵	شکل ۷-۱: فرمول کلی POSS
۲۶	شکل ۸-۱: انتشار زنجیروار رادیکال‌ها هنگام سوختن اتان
۲۷	شکل ۹-۱: واکنش رادیکال‌های تولید شده حین سوختن با رادیکال‌های هالوژن
۳۱	شکل ۱۰-۱: Tris (۲,۳-dibromo Propyl) Phosphate
۳۱	شکل ۱۱-۱: ترکیبات حلقوی فسفات / فسفونات
۳۱	شکل ۱۲-۱: هگزا برموسیکلو دودکان (Hexa Bromo Cyclo Dodecane)
۳۳	شکل ۱۳-۱: میزان LOI منسوجاتی PET پیوند داده با PANI, POAN, POT
۳۴	شکل ۱۴-۱: روش‌های تولید الیاف اکریلیک
	شکل ۱۵-۱: ازدیاد طول تا حد پارگی و استحکام کششی پلی آمید خام، پلی آمید ۶/۳٪ سولفات آمونیوم و پلی - آمید ۶/۵٪ سولفات آمونیوم
۳۸	
۴۰	شکل ۱۶-۱: تغییرات میزان پیوند مونومر اکریل آمید a با تغییر زمان b با تغییر دما
۴۱	شکل ۱۷-۱: نحوه واکنش اتصال دهنده DMDHEU با ترکیب HFPO
۴۱	شکل ۱۸-۱: سرعت رهاپیش گرما برای نمونه خام و نمونه عمل‌آوری شده با HFPO
۴۶	شکل ۱۹-۱: گرماسنج مخروطی
۵۳	شکل ۱-۲: دستگاه فولارد
۵۴	شکل ۲-۲: دستگاه استنتر
۶۳	شکل ۳-۲: نحوه قرارگیری نمونه در برابر آتش مطابق استاندارد FAR ۲۵,۸۵۳
۶۷	شکل ۱-۳: ترکیب فلئورو کربن پلی اکریلات
۶۸	شکل ۲-۳: طول سوختگی پتو پلی‌استری (a) تکمیل شده بدون نمک (b) تکمیل شده به همراه نمک
۷۰	شکل ۳-۳: پارچه پنبه/پلی‌استر خام
۷۰	شکل ۴-۳: پارچه پنبه/پلی‌استر تکمیل شده با رزین SP
۷۰	شکل ۵-۳: پارچه پنبه/پلی‌استر عمل‌آوری شده با رزین CE
۷۱	شکل ۶-۳: پارچه پنبه/پلی‌استر عمل‌آوری شده با مخلوط رزین SP و CE

فهرست نمودارها

صفحه

عنوان

- نمودار ۱-۳: بررسی اثر رزین‌های پشت‌پوشی بر طول سوختگی منسوجاتی پلی‌استری
- نمودار ۲-۳: بررسی اثر غلظت رزین دیرسوز در دیرسوز کردن منسوجاتی پلی‌استری
- نمودار ۳-۳: نمودار وزن در واحد سطح نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل با مواد دیرسوز کننده
- نمودار ۴-۳: استحکام کششی نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل با مواد دیرسوز
- نمودار ۵-۳: ازدیاد طول تا حد پارگی پارچه‌ها قبل و بعد از تکمیل با مواد دیرسوز
- نمودار ۶-۳: استحکام در برابر جرخوردگی نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل با مواد دیرسوز کننده
- نمودار ۷-۳: نمودار TGA(a) و DTG(b) پتو (اکریلیک) قبل و بعد از تکمیل با مواد دیرسوز کننده
- نمودار ۸-۳: نمودار TGA(a) و DTG(b) پلی‌استر قبل و بعد از تکمیل با مواد دیرسوز کننده
- نمودار ۹-۳: نمودار TGA(a) و DTG(b) نایلون قبل و بعد از تکمیل با مواد دیرسوز کننده
- نمودار ۱۰-۳: نمودار TGA(a) و DTG(b) پنبه/پلی‌استر قبل و بعد از تکمیل با مواد دیرسوز کننده

Archive of SID

فهرست جداول

صفحه

عنوان

۳	جدول ۱-۱: مواد دیرسوز استفاده شده برای منسوجات در سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۸۰
۸	جدول ۲-۱: دمای انتقال حرارتی و ضریب اکسیژن محدود تعدادی از الیاف
۱۸	جدول ۳-۱: ترکیبات انتخابی دیرسوز به روش تورم حرارتی
۳۹	جدول ۴-۱: تکمیل شیمیایی منسوجاتی پلی‌آمیدی
۴۴	جدول ۵-۱: مقادیر ضریب اکسیژن محدود (LOI) الیاف و نوع سوختن آنها در هوا
۵۰	جدول ۱-۲: مشخصات پارچه‌های مورد استفاده در این تحقیق
۵۱	جدول ۲-۲: رزین‌های دیرسوز کننده جهت تکمیل شیمیایی منسوجات
۵۲	جدول ۳-۲: رزین‌های پشت‌پوشی استفاده شده جهت دیرسوز کردن منسوجات
۵۵	جدول ۴-۲: شرایط دما و زمان پخت برای رزین‌های استفاده شده برای پارچه ساده SP3
۶۱	جدول ۵-۲: نوع نمونه‌های همراه مورد استفاده در نمونه مرکب
۶۶	جدول ۱-۳: بررسی اثر رزین‌های دیرسوز در دیرسوز شدن منسوجاتی پلی‌استری
۶۸	جدول ۲-۳: بررسی اثر رزین پشت‌پوشی در دیرسوز شدن منسوجاتی پلی‌استری
۷۴	جدول ۳-۳: ضخامت نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل با مواد دیرسوز کننده آتش
۷۷	جدول ۴-۳: ثبات نوری نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل
۷۷	جدول ۵-۳: ثبات شستشویی نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل
۷۸	جدول ۶-۳: آزمایش اشتعال‌پذیری افقی نمونه‌ها
۷۹	جدول ۷-۳: نتایج تست عمودی نمونه‌ها براساس استاندارد FAR ۲۵,۸۵۳
۸۰	جدول ۸-۳: نتایج آزمون LOI براساس استاندارد ASTM D 2863
۸۶	جدول ۹-۳: درصد وزن باقیمانده منسوجات، در دماهای مختلف

فصل اول

**جمع‌بندی طرح‌های پژوهشی انجام
شده و بررسی روش‌های دیرسوز
کردن منسوجات منتخب**

۱-۱- مقدمه

با توجه به کاربرد الیاف و منسوجات در زندگی روزمره و این که منسوجات از جمله مواد قابل اشتعال می‌باشند و از طرفی این مواد می‌توانند هر ساله خسارات مالی و جانی زیادی در اثر آتش گرفتن به وجود آورند لازم است در بعضی موارد منسوجاتی ضدآتش تولید شود. در عمل هرگز نمی‌توان پارچه را به صورتی درآورد که اصلاً آتش نگیرد ولی با استفاده از الیاف دیرسوز یا به‌کارگیری مواد شیمیایی جهت تکمیل پارچه، در نهایت می‌توان منسوجاتی تولید نمود که قابلیت کندکنندگی شعله را داشته باشند.

شناسایی مواد تأخیرانداز شعله در طول جنگ جهانی دوم توسعه یافت و در زمان‌های صلح و آرامش نیز این تحقیقات تا توسعه تجاری الیاف و منسوجات ضدآتش، ادامه پیدا کرد. سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۸۰ را دوره طلایی تحقیقات ضدآتش نامیده‌اند. در این سال‌ها و در سال‌های اولیه آن اولین اختراعات با تعدادی از ارگانو فسفرهای با ثبات بالا برای پنبه ثبت گردید این تحقیقات ادامه یافت تا به تولید مواد ضدآتش کراس‌لینک‌کننده بر پایه نمک تتراکسیس هیدروکسی متیل فسفیم رسید.

در کنار توسعه الیاف مصنوعی، الیاف مقاوم در برابر حرارت با ساختمان پلیمری آروماتیک مانند پلی‌متا آرامید (نومکس) تولید گردید که در دهه ۱۹۶۰ به عنوان الیاف برای استفاده در فیلترهای مورد استفاده در دمای بالا و سپس در لباس راننده‌های مسابقات اتومبیل رانی استفاده شد. پس از آن در انتهای دهه ۱۹۶۰ الیاف پلی‌پارا آرامید (کولار) با استحکام و مدول بالا که در مقابل حرارت و آتش نیز مقاوم بود تولید گردید. جدول ۱-۱ مواد ضدآتش تولید شده در این دهه را نشان می‌دهد [۱].

از سال ۱۹۸۰ تا حدود ۲۰۰۰ قوانین زیادی برای پارچه‌های دیرسوز وضع گردید، این قوانین توسعه مواد دیرسوز را برای پشت‌پوشی همه نوع از الیاف افزایش داد و استفاده از مواد دیرسوز هالوژنی بیشتر مورد توجه قرار گرفت. این در حالی است که در کنار آن فشار برای مضر بودن این مواد به ویژه دکا برومودی فنیل اتر نیز افزایش یافت. بعد از آن از سال ۲۰۰۰ محدوده‌هایی که بیشتر مورد توجه قرار گرفت عبارتند از:

- کوشش برای توسعه بیشتر مواد دیرسوز در جدول ۱-۱؛
- ارزیابی خطر محیط زیستی مواد دیرسوز مورد استفاده برای منسوجات با تمرکز روی به‌کارگیری برم؛
- تلاش برای تولید ذغال بیشتر برای الیاف مصنوعی متداول؛
- استفاده از نانو تکنولوژی؛

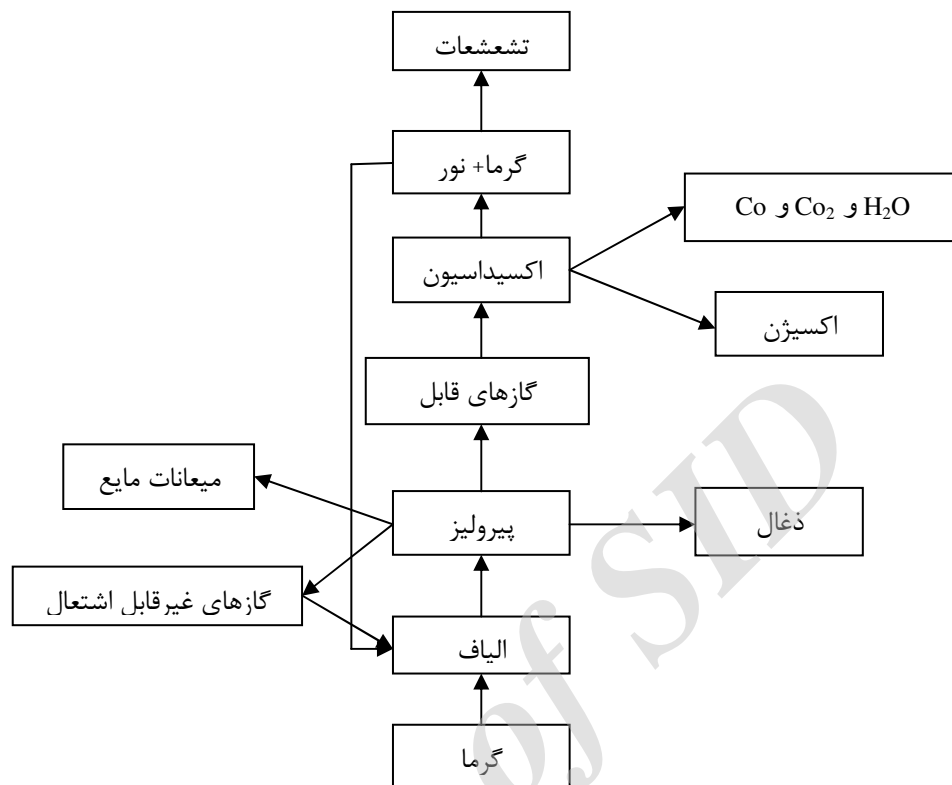
جدول ۱-۱: مواد دیرسوز استفاده شده برای منسوجات در سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۸۰

الیاف نساجی	فرمول عمومی
سلولز (پنبه، ویسکوز و ترکیب آن با الیاف دیگر) بدون ثبات	آمونیم فسفات و مخلوط آن با دیگر نمک‌ها، برمید آمونیوم، آمونیوم سولفات، آمونیوم فسفات‌ها، ترکیبات آلی دارای عنصر فسفر و نیتروژن، بوراکس به همراه ترکیبات بالا
دارای ثبات	نمک تتراکس (هیدروکسی متیل) فسفینم (THPX)، ترکیبات N-متیلول و N,N-دی‌متیلول دی‌آکیل فسفونوپروپیونامیدها و مشتقات آن
پشت پوشی (قابل استفاده برای همه منسوجات)	هالو ارگانیک اکسید آنتیموان (ATO)، ترکیب (BDE/HBCD)
پشم (ثبات در برابر خشک شویی)	کمپلکس زیرکونیوم و تیتانیوم هگزا فلور، تترا برومو فتالیک انیدرید (TBPA)
پلی‌استر (دارای ثبات)	سیکلو ارگانوفسفونات 
پلی‌آمید (دارای ثبات)	پلی‌کندانس‌های حاوی N- و S-برای مثال تیو اوره و فرمالدئید
اکریلیک (ترکیب آن در کامپوزیت‌ها)	پشت پوشی با ترکیبات هالوژنه (ATO)

تلاش برای جایگزینی مواد دیرسوز با موادی که سازگار با محیط زیست بوده و ارزان‌تر باشد همچنان ادامه دارد و بیشتر توجه‌ها به سمت تولید موادی بدون فرمالدهید و برم که دارای ثبات بالایی برای پشت‌پوشی پارچه‌های پنبه و ترکیب آن با الیاف مصنوعی، جلب شده است. در این فصل به شناسایی پارچه‌های متداول در زندگی روزمره مردم پرداخته و در ادامه رفتار آنها در برابر آتش، نحوه دیرسوز شدن این پارچه‌ها ارائه می‌شوند [۱].

۱-۲- فرآیند احتراق

به طور کلی قابلیت اشتعال منسوجات به نوع الیاف، ساختمان پارچه و نوع ماده شیمیایی استفاده شده در آن وابسته است. بعضی از الیاف در برابر آتش ذوب می‌شوند در حالی که بقیه ممکن است بسوزند و پارچه‌ها با بافت بازتر امکان دسترسی بیشتر به اکسیژن و سوخت در حین فرآیند احتراق را دارند. در شکل مکانیسم احتراق الیاف آمده است.



شکل ۱-۱ فرایند احتراق

الیاف تحت منبع حرارتی اعمال شده دچار تجزیه حرارتی، پیرولیز و در نهایت تولید گازهای قابل اشتعال می‌گردند. به دلیل ترکیب این گازها با اکسیژن اتمسفر، بخشی از آنها در آتش می‌سوزند و بقیه آنها در صورت وجود اکسیژن اضافی آتش می‌گیرند. بنابراین آتش تولید شده منبع گرمایی را تولید می‌نماید که موجب تولید سیکل جدیدی در فرآیند سوختن می‌گردند. برای مثال فرایند پیرولیز برای الیاف پنبه در دمای ۳۵۰ درجه آغاز می‌شود این درحالی است که برای الیاف پلی‌استری در حدود ۴۳۰ درجه بوده است اما سیکل احتراق تا زمانی که دما به ۴۸۰ درجه نرسد شروع نمی‌شود [۲].

۱-۳- مروری بر تجربیات سه طرح پژوهشی اجرا شده و نتایج آن

گروه پژوهشی تکنولوژی نساجی جهاددانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر در راستای دستیابی به دانش فنی منسوجات مقاوم در برابر آتش، تاکنون سه طرح پژوهشی مطالعاتی، آزمایشگاهی و صنعتی انجام داده است که در ادامه نتایج آنها ارائه می‌شود.

۱-۳-۱- دست‌آوردهای طرح پژوهشی "بررسی و مطالعه در خصوص تکنولوژی تولید لباس‌های محافظ در برابر حرارت"

در این طرح پژوهشی مطالعاتی، روش‌های گوناگونی برای تولید منسوجات مقاوم در برابر حرارت، حریق و پاشش مورد بررسی قرار گرفت که مهمترین آنها عبارتند از:

الف - استفاده از پارچه‌هایی از جنس الیاف ضدآتش و مقاوم در برابر حرارت

ب - تکمیل شیمیایی پارچه‌ها با مواد شیمیایی ضدآتش

علاوه بر روش‌های اشاره شده، با استفاده از اصلاح شیمیایی پلیمرها و کوپلیمرسازی نیز، الیاف مورد مصرف در منسوجات مقاوم در برابر حرارت و شعله تولید می‌شوند. از بین روش‌های متعدد تولید پوشاک مقاوم در برابر حرارت، حریق و پاشش مذاب، روش تکمیل پارچه با مواد شیمیایی ضدآتش بیشتر از دیگر روش‌ها در صنعت نساجی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این حال برای لباس‌های محافظ در برابر حرارت و شعله با سطح ایمنی بالا، می‌توان از ترکیبی از روش‌های فوق بهره گرفت.

دست‌آوردهای مهم انجام طرح مطالعاتی برای محققین گروه پژوهشی تکنولوژی نساجی واحد، شناسایی روش‌های تولید منسوجات ضدآتش و بررسی اجمالی مسائل فنی و اقتصادی این روش‌ها بود. در این مطالعات مشخص شد، به‌کارگیری روش تکمیل منسوجات با استفاده از مواد شیمیایی ضدآتش برای تولید پوشاک مقاوم در برابر حرارت، شعله و پاشش مذاب دارای مزایای فنی و اقتصادی بسیاری است و می‌تواند بخش اعظمی از نیاز پرسنل واحدهای صنعتی ذوت فلزات، به این دسته از پوشاک را برآورده نماید.

۱-۳-۲- دست‌آوردهای طرح پژوهشی "تکنولوژی ساخت و تولید پوشاک محافظ در برابر حرارت و پاشش مذاب"

در این طرح پژوهشی آزمایشگاهی برای اولین بار در کشور، پارچه پنبه‌ای ضدآتشی تولید شد که برخی پارامتر مرتبط با مقاومت آن در برابر شعله، نسبت به پارچه پنبه‌ای معمول، بسیار بهبود یافته است. برای اجرای این طرح پژوهشی براساس مطالعات انجام شده در طرح مطالعاتی، مراحل تولید آزمایشی پارچه پنبه‌ای، از الیاف پنبه تا تکمیل ضدآتش آن انجام گرفت. پس از انجام عملیات تکمیل پارچه، ویژگی‌های مکانیکی و ضدآتش پارچه تکمیل‌شده نهایی، اندازه‌گیری شد. بررسی نتایج نشان داد که عملیات تکمیل ضدآتش باعث شده است خاصیت ضدآتش در پارچه نهایی نسبت به پارچه پنبه‌ای اولیه بسیار افزایش یابد. به‌طوریکه شاخص ضریب اکسیژن محدود (LOI) پارچه ضدآتش شده با افزایش ۷۰ درصدی نسبت به پارچه ضدآتش نشده، به حدود ۳۵ درصد رسید. نکته قابل توجه، ثبات شستشویی و استحکام نمونه‌ها بود

که اندکی با نمونه‌های استاندارد فاصله داشت و می‌بایست مورد مطالعه و بررسی بیشتر قرار می‌گرفت تا منسوجاتی با کیفیت بهتر تولید گردد.

دست‌آوردهای قابل توجه تولید آزمایشگاهی پارچه پنبه-ای ضدآتش، باعث شد محققین گروه پژوهشی تکنولوژی نساجی واحد برای انجام تحقیقات تکمیلی در جهت بهبود ویژگی ضدآتش محصول تولید شده و بهره‌برداری از نتایج آن برای دستیابی به دانش فنی تولید لباس کار پنبه‌ای ضدآتش و تولید صنعتی آن مصمم شوند. به عبارت دیگر، تجارب کسب شده و دست‌آوردهای طرح پژوهشی "تکنولوژی ساخت و تولید پوشاک محافظ در برابر حرارت و پاشش مذاب"، نقطه شروع اقدامات اجرایی و پایه علمی طرح تحقیقاتی بعدی، به ویژه در خصوص پارچه ۱۰۰ درصد پنبه‌ای، شد.

۱-۳-۳- دست‌آوردهای طرح پژوهشی صنعتی "تدوین دانش فنی و تولید نمونه مهندسی منسوجات دیرسوز با جنس‌های مختلف به روش پشت‌پوشی "Back-Coating"

در راستای مطالعات انجام شده در طرح‌های قبلی و نتایج آزمایشگاهی بدست آمده، تمامی پارامترهای موثر در تولید پارچه و تکمیل شیمیایی آن مورد بررسی قرار گرفت و جهت دستیابی به ثبات شستشویی بهتر، روش پشت‌پوشی، جهت تکمیل ضدآتش پارچه پنبه‌ای و پنبه/پلی استر انتخاب شد. پس از انجام آزمایش‌ها در مقیاس آزمایشگاهی و انتخاب درست مواد و نوع پارچه، حدود ۱۰۰۰ متر منسوجاتی پنبه و پنبه/پلی استر در مقیاس صنعتی تولید گردید سپس به روش پشت - پوشی تکمیل شد.

پس از تولید پارچه دیرسوز، خواص فیزیکی و مکانیکی آن اعم از طول سوختگی و سرعت سوختگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که پارچه پنبه‌ای تولید شده در مقیاس بالا، خاصیت دیرسوز خوبی داشته و ثبات شستشویی آن نیز افزایش یافته است. از دیگر کارهای انجام شده تکمیل منسوجاتی پنبه/پلی استر بود که روند تکمیل آن نیز به خوبی انجام شد و منسوجاتی تولید شده در حین سوختن قطره قطره نشده و از خود سوخته ذغالی به جای گذاشت، که در مقایسه با فرایند سوختن موادی که در حین سوختن ذوب می‌شوند دستاورد بسیار عالی می‌باشد.

با توجه به تکمیل پارچه پنبه‌ای دیرسوز و تولید صنعتی آن محققین جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر بر آن شدند که تحقیقات خود را گسترش داده و به تکمیل دیگر منسوجاتی که به صورت متداول و در زندگی روزمره استفاده می‌شود، بپردازند تا علاوه بر تولید لباس کار پنبه‌ای دیرسوز شده، امکان تولید دیگر منسوجات دیرسوز را نیز بررسی کرده باشند.

۱-۴- اولویت‌بندی انتخاب چهار نوع منسوج برای دیرسوز کردن

یکی از عوامل بروز حوادث، آتش و دمای بالا است که جان بسیاری از انسان‌ها را در بسیاری از مشاغل و برخی از موقعیت‌ها تهدید می‌کند، لذا منسوجات محافظ در برابر حرارت و آتش، نقش موثری در کاهش آسیب‌های روحی و جانی و ایجاد خسارات مادی دارد.

وقوع ناخواسته و خارج از کنترل حوادث آتش‌سوزی در موقعیت‌هایی که تجمع افراد و مواد آتش‌پذیر وجود دارد (نظیر سالن‌های سینما و همایش‌ها، قطار و هواپیما، هتل‌ها و ساختمان‌های سازمان‌های پر مخاطب)، خسارات مادی و معنوی جبران‌ناپذیری را در پی دارد و بازتاب آن در سطح ملی و بین‌المللی، باعث سلب اعتماد عمومی و کاهش احساس امنیت در جامعه می‌شود. بنابراین توجه به حفاظت انسان‌ها و اموال در برابر شعله آتش، دمای بالا و اجسام داغ، لازم و ضروری است و منسوجات مختلف و پوشاک، نقش موثری در کاهش یا افزایش سطح ایمنی محیط‌های ذکر شده دارد. چراکه اولاً "انواع منسوجات در مبلمان، پوشش و زیبا سازی ساختمان‌های مسکونی، اداری و صنعتی، مصرف گسترده‌ای دارند و اکثر آنها، ذاتاً" آتش‌پذیر هستند. ثانیاً "حفاظ انسان‌ها در برابر کلیه عوامل محیطی، پوشاک است و میزان مقاومت آن در برابر شعله آتش، دمای بالا و اجسام داغ، تعیین‌کننده سطح ایمنی افراد می‌باشد.

امروزه، الیاف جدید و بهبودیافته متعددی به‌صورت تکی یا مخلوط در تولید منسوجات متداول کاربرد دارند که ضدآتش کردن آنها پیچیدگی‌های خاص خود را دارد. بنابراین در طرح تحقیقاتی حاضر، مقاوم کردن منسوجات با الیاف متداول نظیر پلی‌استر، نایلون، اکریلیک و پنبه/پلی‌استر در برابر حرارت و آتش، مدنظر قرار گرفت.

۱-۵- شناسایی خواص فیزیکی و حرارتی منسوجات منتخب

برای انتخاب مواد مناسب جهت دیرسوز کردن منسوجات، لازم است تا رفتار حرارتی آنها در برابر آتش شناخته شود. مواد پلیمری هنگامی که می‌سوزند تولید گازهای CO، NO₂، HCN و مشابه این مواد می‌کنند که اکثر این مواد سمی هستند. مطابق قوانین استانداردهای بین‌المللی (ISO) و مدل آزمایش میزان گاز N، مشاهده شد که میزان گاز CO تولید شده از الیاف مختلف با یکدیگر متفاوت است و ترتیب میزان آن به صورت زیر دسته‌بندی می‌شود:

پنبه < پلی پروپیلن < نایلون ۶۶ < پلی اورتان < پلی وینیل کلراید < پشم

همانطور که مشاهده می‌شود الیاف پنبه بیشترین میزان در تولید گاز CO و پشم کمترین میزان را در میان الیاف استفاده شده برای منسوجات دارند. [۲]

رفتار منسوجات را به هنگام سوختن را می‌توان به صورت ذیل دسته‌بندی کرد:

۱- الیافی که در هنگام سوختن تولید ذغال می‌کنند نظیر ویسکوز، پنبه، پشم؛

۲- الیافی که در هنگام سوختن ذوب می‌شوند مانند پلی‌آمیدها، پلی‌استرها، پلی‌پروپیلن.

به طور کلی ترکیبات شیمیایی، انرژی پیوند و نیروهای بین مولکولی فاکتورهایی هستند که رفتار حرارتی

هر پلیمری را تحت تأثیر قرار داده و متمایز می‌سازند. [۲]

برای مطالعه رفتار الیاف هنگام سوختن، علاوه بر دمای شیشه‌ای شدن (T_g) و ذوب (T_m) دو مشخصه دمای پیرولیز و اشتعال نیز می‌بایستی بررسی شود. در دمای پیرولیز، تخریب شیمیایی در حضور گرما و هوا انجام می‌شود و اولین مرحله در سوختن پلیمرها می‌باشد. در دمای اشتعال تخریب شیمیایی با ترکیب جسم با اکسیژن همراه می‌باشد و در این دما تولید گرما و نور می‌شود. ضریب اکسیژن محدود (LOI) عبارت است از مقدار اکسیژن در مخلوط اکسیژن و نیتروژن است که مانع از سوختن نمونه می‌گردد که در بخش‌های بعدی به طور مفصل شرح داده می‌شود. مشخصه‌های سوختن الیاف طبیعی و مصنوعی در جدول ۱-۲ ارائه شده است.

جدول ۱-۲: دمای انتقال حرارتی و ضریب اکسیژن محدود تعدادی از الیاف [۲]

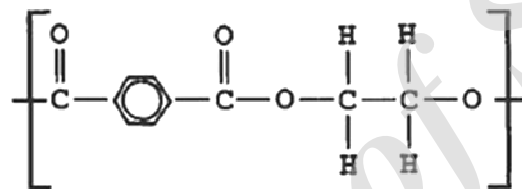
الیاف	$T_c^{\circ}\text{C}$ (دمای تخریب)	$T_p^{\circ}\text{C}$ (دمای پیرولیز)	$T_m^{\circ}\text{C}$	$T_g^{\circ}\text{C}$	LoI (%)
نایلون ۶	۴۵۰	۴۳۱	۲۱۵	۵۰	۲۱-۲۲
نایلون ۶۶	۵۳۰	۴۰۳	۲۶۵	۵۰	۲۱-۲۲
پلی‌استر	۴۸۰	۴۰۰-۴۷۷	۲۵۰-۲۵۵	۸۰-۹۰	۲۲
اکریلیک	>۲۵۰	۲۹۰	>۳۲۰	۹۰-۱۰۰	۱۹
پنبه	۳۵۰	۳۵۰	-	-	۱۸-۲۰
ویسکوز	۴۲۰	۳۵۰	-	-	۱۸-۱۹
پشم	۶۰۰	۲۴۵	-	-	۲۵-۲۷

در میان الیاف طبیعی و الیاف متداول مصنوعی الیاف پشمی بیشترین دمای اشتعال را در حدود ۶۰۰ با بیشترین میزان LOI (۲۷-۲۵ درصد) و اکریلیک، پنبه و ویسکوز کمترین دمای پیرولیز و اشتعال را دارند. الیاف پلی‌آمید و پلی‌استر که الیافی ترموپلاستیک بوده، با حرارت ذوب شده و تولید قطره‌های مذاب می‌کنند که این چکه‌های مذاب برای پوست خطرناک بوده و صدمات وارده را تشدید می‌کنند.

با توجه به رفتار حرارتی و مشخصه‌های فیزیکی هر لیف که با یکدیگر متفاوت بوده و در مقابل حرارت رفتار خاص خود را دارند، در ادامه به بررسی مشخصه‌های فیزیکی و حرارتی لیف‌های منتخب پرداخته و مشخصه‌های اشتعال هر لیف پرداخته می‌شود.

۱-۵-۱- منسوجات پلی استری

پلی استر به پلیمرهایی اطلاق می‌گردد که دارای گروه استر $O-CO$ در زنجیره اصلی خود باشند. این گروه استری، حاصل واکنش بین الکل‌های دو ظرفیتی و کربوکسیلیک اسیدهای دو ظرفیتی می‌باشد. الیاف پلی‌استر که بیشتر منظور لیف پلی‌اتیلن ترفتالات است، مهمترین لیف در صنعت الیاف مصنوعی دنیا می‌باشد. در شکل ۱-۱، ساختار شیمیایی پلی‌اتیلن ترفتالات آمده است [۳].



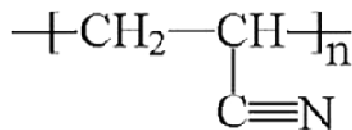
شکل ۱-۲: ساختار تکرار شونده الیاف پلی اتیلن ترفتالات

دمای ذوب الیاف پلی‌استری در حدود ۲۵۰ بوده و دارای دمای اشتعال در حدود ۴۵۰ است که این میزان نسبت به اکریلیک بیشتر بوده ولی نسبت به پشم با دمای اشتعال ۶۰۰ کمتر می‌باشد. الیاف پلی‌استری در حضور شعله ذوب شده و تولید دود می‌کنند.

هر چند این الیاف در زنجیر پلیمری خود دارای ساختمانی حلقوی می‌باشند ولی الیاف پلی‌استری به شدت اشتعال‌پذیرند و با اکسیژن موجود در اتمسفر به راحتی می‌سوزند و در دمای بالا تولید موادی چون اسید ترفتالیک و بنزوئیک، تا اندکی الیگومرهایی از PET و کربنات‌های آروماتیک سایسیلیک می‌کنند. با توجه به قدرت اشتعال‌پذیری بالای این مواد و نیاز روزافزون به استفاده از آنها در منسوجات و صنایع مختلف، نیلزمند تولید این الیاف با اشتعال‌پذیری پایین هستیم [۴].

۱-۵-۲- منسوج اکریلیکی

اکریلیک به الیافی اطلاق می‌شود که حداقل ۸۵ درصد وزن ماکرومولکول‌های آن را واحدهای اکریلونیتریل تشکیل دهد در شکل ۱-۲، ساختار شیمیایی اکریلونیتریل ارائه شده است. چنانچه درصد اکریلونیتریل بین ۳۵ تا ۸۵ باشد الیاف به عنوان مداکریلیک شناخته می‌شوند.



شکل ۱-۳: ساختمان شیمیایی الیاف اکریلیک

برای تهیه الیاف اکریلیک در بیشتر موارد مقادیر ۵ تا ۱۰ درصد از منومرهای دیگر مانند متیل اکریلات، متیل متااکریلات، متیل استات و ونیل استات با اکریلونیتریل کوپلیمریزه می‌گردد تا حلالیت آن در حلال‌های مختلف و همچنین نفوذ رنگینه به داخل آن افزایش یابد [۴].

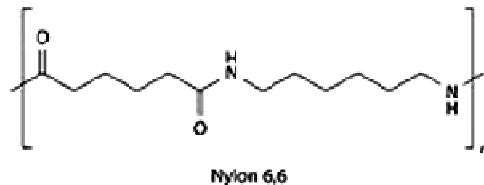
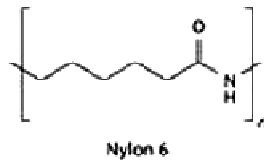
الیاف اکریلیک در مقایسه با الیاف دیگر مانند پشم، نایلون، پلی پروپیلن و پنبه سرعت سوختن بالایی دارد و ضریب اکسیژن آن در حدود ۱۸ درصد می‌باشد که این میزان در مقایسه با همه الیاف پایین‌تر است. دمای اشتعال این الیاف ۵۶۰ بوده و در مقابل حرارت جمع می‌شوند بنابراین امکان احتراق‌های تصادفی را کاهش می‌دهند. تمامی الیاف در دماهای حدود ۵۰۰ تا ۸۰۰ تولید گاز می‌کنند و الیاف اکریلیک مخصوصاً زمانی که ساختمان آنها پرز زیاد یا ساختمان شلی داشته باشند به شدت در برابر حرارت می‌سوزند و تولید دود سیاه رنگی می‌کنند که با سوختن این الیاف الکل، هیدروکربنات، کتون و گاز HCN تولید می‌شود که گاز HCN تولید شده بسیار خطرناک بوده و استشمام بیش از اندازه آن موجب مرگ و میر می‌شود [۵].

با نگاه به گذشته متوجه می‌شویم اکثر آتش‌سوزی‌ها در خانه‌ها اتفاق افتاده است و از آنجا که الیاف اکریلیک به طور وسیعی برای لباس‌ها، مصارف خانگی مانند پوشش مبلمان‌ها، پرده‌ها و پرزهای بلند فرش‌ها استفاده می‌شود با توجه به این موارد، این الیاف نیاز به فرایند ضدآتش کردن هستند. پیشگیری از فاجعه، ایمنی و مقررات قانونی سختگیرانه از دیگر انگیزه‌های است که می‌تواند منجر به تولید الیاف اکریلیک دیرسوز گردد.

۱-۵-۳- منسوج نایلونی

پلی‌آمیدها ترکیبات کندانسه‌ای هستند که مطابق شکل ۱-۳، دارای گروه تکرار شونده آمید در طول زنجیر اصلی می‌باشند. گرچه از نقطه نظر تئوری تعداد زیادی پلی‌آمید را می‌توان با انتخاب منومرهای مختلف تولید نمود ولی فقط تعداد کمی پلی‌آمید مانند نایلون ۶۶ و نایلون ۶ که عمدتاً از نوع خطی می‌باشند، به صورت تجاری به بازار عرضه شده‌اند. الیاف نایلون ۶۶ از پلیمریزاسیون هگزامتیلن دی‌آمین و

آدیپیک اسید و الیاف نایلون ۶ از پلیمریزاسیون کاپرولاکتام تهیه می‌گردند. منومرها در هر دو لیف از طریق گروه‌های آمید با یکدیگر پیوند برقرار می‌کنند. [۳]



شکل ۱-۴: ساختار شیمیایی نایلون ۶ و نایلون ۶۶

کاربردهای اصلی الیاف نایلون ۶ و نایلون ۶۶ را نخ کفپوش‌های تافتینگ، نخ خامه قالی، پوشاک به ویژه جوراب تشکیل می‌دهد. انواع نخ‌های نایلونی با استحکام بالا در مواردی مانند تقویت تایلر خودرو و هواپیما مورد استفاده قرار می‌گیرند. این الیاف دارای مقاومت بالا در مقابل سایش می‌باشند. الیاف نایلونی با توجه به استحکام بالا و سختی برای تولیدهایی مانند طناب، کمر بند ایمنی، چتر نجات، نخ و تور ماهیگیری مورد استفاده قرار می‌گیرند. میزان LOI برای نایلون ۶۶ حدود ۲۰ و برای نایلون ۶ حدود ۲۱ می‌باشد [۳].

نایلون ۶ و ۶۶ هر دو در دمای ۵۰ نرم می‌شوند و در دمای ۲۱۵ و ۲۶۵ به ترتیب ذوب می‌گردند. نایلون ۶ در دمای بالای ۴۳۰ درجه پیرولیز شده و در دمای ۴۵۰ درجه شعله‌ور می‌شود و نایلون ۶۶ در دمای ۴۰۳ پیرولیز شده و در دمای ۵۳۰ درجه شعله‌ور می‌گردد. کمینه میزان اکسیژن برای احتراق هر دو نایلون در حدود ۲۱ تا ۲۲ درصد می‌باشد. نایلون ۶ دمای ذوب پایین‌تری از الیاف نایلون ۶۶ دارد و به موجب همین تفاوت، کند کردن آتش برای نایلون ۶ سخت‌تر از نایلون ۶۶ است [۲].

پلی‌آمیدها به آرامی می‌سوزند، تولید چکه‌های پلیمری کرده و به علت جمع‌شدگی و تولید قطره به هنگام سوختن، تا حدودی خاصیت خود خاموش‌شوندگی دارند. از جمله مشکلات در سوختن این الیاف تفاوت زیاد بین دمای ذوب و اشتعال آنهاست که با مشکل ویسکوزیته پایین مذاب آنها همراه می‌شود. همچنین نایلون‌ها خیلی راحت‌تر از دیگر الیاف طبیعی مشتعل می‌شوند [۲].

از آنجا که نایلون‌ها تا حدودی خاصیت خود خاموش‌شوندگی دارند، ولی زمانیکه به صورت ترکیب با دیگر الیاف غیر ترموپلاستیک مورد استفاده قرار گیرند منجر به ایجاد "اثر داریست" می‌شود. بعنوان مثال در

ترکیب آن با الیاف سلولزی، این الیاف تولید ذغال کرده و ذغال تولید شده از الیاف سلولزی، موجب می‌گردد که مذاب تولید شده در منطقه آتش باقی مانده و در نهایت ترکیب الیاف به سرعت آتش بگیرد. در شرایط بسته و در دمای بالای ۳۰۰ محصولات اصلی تجزیه شده از نایلون‌ها، حدود ۹۵ درصد مواد غیر فرار می‌باشد و مواد فرار به طور کلی شامل CO_2 ، CO ، آب، اتانول، بنزن، سیکلوپنتان، آمونیاک، تعدادی از هیدروکربن‌های آروماتیک و آلیفاتیک و مولکول‌های اشباع شده و غیر اشباع می‌باشند [۲].

۱-۶- مطالعه مواد و روش‌های دیرسوز کردن منسوجات منتخب

روش‌های متفاوتی برای دیرسوز کردن منسوجات استفاده می‌شود که با توجه به نوع و جنس لیف، این روش‌ها و مواد استفاده شده متفاوت خواهد بود. تحقیقات زیادی بر روی پارچه با جنس‌های مختلف، انجام شده است که در به‌کارگیری این روش‌ها باید به نوع لیف و همچنین امکانات موجود در کشور توجه شود تا هم خاصیت دیرسوزی قابل توجه و امکان تولید آن در کشور فراهم باشد. در ادامه انواع روش‌های متفاوت جهت دیرسوز کردن منسوجات و معرفی موادی با قابلیت کاهش اشتعال‌پذیری منسوجات پرداخته می‌شود. در انتها نیز راهکارهای استفاده شده در دیرسوز کردن منسوجات منتخب بررسی می‌شود.

۱-۶-۱- مکانیسم‌های متداول دیرسوز

تحقیقات گسترده‌ای بر روی عملکرد مکانیسم‌های کندکننده‌های آتش همراه با توسعه این انجام شده است. بیشتر این مواد یک یا بیشتر از یک مکانیسم که در ادامه می‌آیند را شامل می‌شوند. (۱) پوشش مقاوم جهت هدایت تخریب گرمایی به مسیرهای پیرولیز با گازهای قابل اشتعال کمتر. (۲) پوشش‌دهی سطح برای جلوگیری از رسیدن اکسیژن. (۳) تشکیل مانعی خارجی برای جلوگیری از رهاش گازهای قابل احتراق. (۴) رهاش گازهای بی‌اثر برای رقیق‌سازی گازهای حاصل از پیرولیز (۵) اتلاف حرارت به دور از شعله. این مکانیسم‌ها به طور کلی در دو فاز تراکم یا بخار صورت می‌پذیرد [۲].

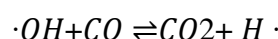
الف) مکانیسم‌های فاز تراکم

مکانیسم فاز تراکم می‌تواند از طریق عایق کردن الیاف، دورکردن حرارت از الیاف یا از دست دادن آب و تشکیل کراس‌لینک بین الیاف عمل نماید. به طور کلی کندکننده‌های فاز متراکم، مسیر پیرولیز را با تشکیل ذغال، دی‌اکسیدکربن، و آب تغییر می‌دهند و میزان گازهای قابل اشتعال تولید شده در حین پیرولیز

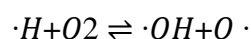
را کاهش می‌دهند. تعدا کمی از موادهای دیرسوز هستند، بقیه موادهای منسوجی مانند پنبه، پلی‌استر و یا مخلوط آنها دارای خاصیت کاتالیزوری بوده و قابلیت اشتعال را افزایش می‌دهند در نتیجه میزان خاصیت کراس‌لینک کردن و تشکیل ذغال را کاهش می‌دهند [۲].

ب) مکانیسم فاز گازی

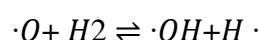
مواد کند کننده‌ای که در این فاز عمل می‌کنند نیاز ندارند تا فرایند پیرولیز را تغییر دهند و تقریباً در حین واکنش، فرایند احتراق را تغییر می‌دهند. در این فاز اساساً آتش میزان سوخت کمتری مصرف می‌کند در نتیجه حرارت کمتری تولید می‌کند و کاهش میزان گرمای تولید شده در بازگشت به سطح پلیمر، موجب آهسته شدن یا نصف شدن فرایند پیرولیز می‌گردد. از آنجا که قسمت فعال در مواد کند کننده باید در فاز گازی عمل کند، بنابراین باقیمانده مواد که در سطح ذغال باقی می‌ماند، کمتر از آن است که در فاز تراکم شرکت کرده و موجب کند کنندگی آتش گردند. به طور کلی هنگامی که صحبت از فاز گازی می‌شود منظور واکنش احتراق می‌باشد. معادله ۱ به طور واضح واکنش گرمای اولیه در حضور شعله را نشان می‌دهد. بیشترین تمرکز در فاز گازی بر روی واکنش‌های دنباله‌دار و معادلات ۲ و ۳ است که مانع از انتشار احتراق می‌گردند. به طور مثال مشتقات هالوژن‌ها مانند برم و کلر در فاز گازی عمل می‌کنند. این مواد کند کننده از سوختن در فاز جامد و مایع نیز جلوگیری می‌کنند و قطعات مولکولی هالوژن شده کمک به حذف اکسیژن از مواد قابل سوخت کرده و موجب تشکیل ذغال می‌گردند [۲].



(۱)



(۲)



(۳)

شکل ۱-۵: واکنش‌های انجام شده در فاز گازی [۲].

۱-۶-۲- روش‌های تولید منسوجات ضدآتش

در سال‌های اخیر تقاضای جهانی برای انواع منسوجات ضد حریق به شدت افزایش یافته است که دلیل آن، افزایش سطح ایمنی مردم در کشورهای صنعتی می‌باشد. تحقیقات متعددی در این زمینه برای دستیابی به منسوجات مقاوم در برابر حرارت، شعله انجام گرفته و در حال حاضر نیز این تحقیقات ادامه دارد. به‌طور کلی روش‌های گوناگونی برای مقاوم کردن منسوجات در برابر آتش وجود دارد که مهمترین آنها عبارتند از:

- استفاده از الیافی که به طور ذاتی ضدآتش و مقاوم در برابر حرارت هستند نظیر: کربن، شیشه، آرامید، فنولیک، شبه کربنی؛

- کوپلیمر سازی و اصلاح شیمیایی پلیمر الیاف؛

- تکمیل پارچه‌های متداول با مواد شیمیایی ضدحریق؛

برخی از الیاف به طور ذاتی نسوز هستند و در برابر حرارت و شعله مقاوم می‌باشند. این دسته از الیاف جزء الیاف مصنوعی یا الیاف معدنی هستند و به‌دلیل ساختار شیمیایی زنجیرهای ملکولی و نوع پیوندهای بین زنجیره‌ها، به‌طور ذاتی در برابر شعله و حرارت مقاوم می‌باشند. الیاف آرامیدی، الیاف مداکرلیک، الیاف پلی‌وینیل کلراید، الیاف پلی‌بنزیمیدازول (PBI)، الیاف شبه‌کربنی و الیاف فنولیک نمونه‌هایی از الیاف مقاوم در برابر حرارت و شعله هستند [۸].

تولید الیافی که به طور ذاتی در برابر حرارت و شعله مقاوم می‌باشند، با استفاده از تکنولوژی بسیار پیشرفته‌ای امکان‌پذیر است که در اختیار شرکت‌های بزرگ تولید الیاف نظیر؛ DuPont، Teijin، Celanese-Hoechst و Poulenc-Rhone قرار دارد. همچنین هزینه تولید شده از الیاف ذاتاً نسوز، نظیر؛ الیاف آرامیدی، الیاف پلی‌بنزیمیدازول، الیاف کربن و الیاف فنولیک بسیار بالا است. تولید انبوه این دسته از منسوجات مقرون به صرفه نیست و برای کارگاه‌های کوچک امکان‌پذیر نمی‌باشد. بنابراین از الیاف فوق‌الذکر برای تولید پوشاک محافظ پیشرفته، نظیر لباس فضانوردان استفاده می‌شود و به‌ندرت از آنها برای تولید منسوجات متداول استفاده می‌گردد [۸].

با استفاده از اصلاح شیمیایی پلیمرها و کوپلیمرسازی نیز، می‌توان الیاف مورد مصرف در منسوجات مقاوم در برابر حرارت و شعله تولید کرد ولی تولید منسوج مقاوم در برابر حرارت به روش تکمیل پارچه با مواد شیمیایی ضدآتش، بیشتر از دیگر روش‌ها در صنعت نساجی مورد استفاده قرار می‌گیرد و تولید منسوج با این روش به صرفه بوده و نیازمند دستگاه و تجهیزات زیادی برای آن نخواهد بود از طرفی استحکام و دیگر خواص مکانیکی منسوجات مانند روش کوپلیمرسازی چندان کاهش نمی‌یابد. در ادامه به معرفی روش‌های تکمیل منسوجاتی نساجی می‌پردازیم.

۱-۶-۳- تکمیل شیمیایی منسوج با مواد دیرسوز

همانطور که توضیح داده شد یکی از روشهای متداول دیرسوز کردن منسوجات، استفاده از مواد دیرسوز بر منسوج می‌باشد، در این روش مواد شیمیایی بر سطح منسوجات می‌نشیند و در صورت برقراری پیوند با منسوج طی فرایند از ثبات بالایی نیز برخوردار خواهد بود. تکمیل شیمیایی دیرسوز کردن منسوجات متداول با استفاده از مواد شیمیایی و پوشش‌دهی آنها، که از اهداف این طرح پژوهشی است، در ابتدا به آن پرداخته و در ادامه نیز به صورت خلاصه استفاده از تورم حرارتی^۱ و تکنولوژی‌های نوین شرح داده می‌شود.

۱- ضدآتش کردن منسوجات با استفاده از پوشش‌دهی و لمینیت کردن منسوجات

معمولاً از پوشش‌دهی‌های ضدآتش انتظار می‌رود که تا یک سطح تعریف شده‌ای در مقابل آتش مقاوم باشند و به طور کلی معمولاً اثر بخشی منسوجات پوشش‌دهی یا لمینیت شده بر اساس میزان اشتعال‌پذیری زیرلایه پارچه مشخص می‌شود. الیاف و مخلوط‌هایی که ذاتاً ضدآتش نیستند، نظیر: پنبه/ پلی‌استر، ۱۰۰٪ پلی‌استر، پلی‌آمید یا پلی‌پروپیلن به عنوان زیر لایه استفاده می‌شود و یا الیاف و مخلوط آن‌ها که یا دیرسوز شده است نظیر پنبه مقاوم در برابر حرارت بکار می‌رود. به هر حال بین دولایه بکار رفته در لایه زیرین و پوشش سطحی و یا لمینیت بکار رفته دوجنس و یا ساختار مختلف ممکن است بکار رود و از این‌رو در هنگام کار و درجه پوشش‌دهی این نکته باید مد نظر قرار گیرد.

ساده‌ترین حالت هنگامی است که پوشش رویی ترکیب دیرسوز است ولی زیر لایه و پوشش داخلی دیرسوز نیست. در هنگامی که الیاف ذاتاً دیرسوزاند، و یا خاصیت دیرسوز بودن بر اساس یک ماده‌ی افزودنی یا کوپلیمر ایجاد شود، می‌توانند در این راهکار استفاده شود مگر اینکه مواد شیمیایی قرار گرفته در قسمت زیرین موادی باشد که در حال حاضر در قسمت پوشش‌دهی استفاده می‌شود. بنابراین، به عنوان مثال انواع فسفری که در پلی‌استر (Trevira GmbH) Trevira CS که ذاتاً ضدآتش است، وجود دارد مثل خیلی از مواد افزودنی دارای فسفر هستند که می‌توانند در فرمول‌بندی پوشش‌دهی استفاده شود. و یا اگر یک ضدآتش با پایه هالوژن در الیاف یا پوشش وجود داشته باشد آن وقت احتمال دارد که فعل و انفعال معکوسی ایجاد شود. برای نمونه در برخی از نمونه‌های پوشش‌دهی ضدآتش، هنگامی که PVC بر روی پارچه پنبه‌ای با عامل‌های فسفر ضدآتش شده، قرار گیرد نامرغوب‌تر از این است که همان پوشش‌دهی را روی یک پارچه پنبه‌ای ضدآتش نشده قرار دهیم. متأسفانه، ضدآتش کردن یک علم دقیق و کامل نیست و پیش‌بینی کردن

1. Intumescent

موارد خاص معمولاً غیرممکن است؛ راهکارهای تجربی معمولاً برای به دست آوردن ضدآتش‌ها، منسوجات پوشش‌دهی و لمینیت شده است.

پلیمرهایی که به طور معمول برای پوشش‌دهی و لمینیت کردن استفاده می‌شوند در زیر آورده شده است:

- لاستیک‌های طبیعی و مصنوعی که شامل پلی‌ایزو بوتیلن (یا بوتیل)، استایرن بوتادین (SBR)، پلی‌بوتادین - اکریلونیتریل (یا نیتریل)، پلی‌کلروپرن (یا نیوپرن)، پلی‌اتیلن کلرو سولفونات، پلی‌فلوئورو کربن و الاستومرهای سیلیکونی می‌شود. در این ترکیبات میزان هالوژن، سیلیکون و/ یا سولفید آن‌ها درجه ضدآتش بودن این مواد را تغییر می‌دهد.

- پلی‌وینیل کلراید یا PVC و امولسیون‌ها به طور گسترده‌ای به دلیل مقرون به صرفه بودن در هر دو خاصیت ضد آب و آتش استفاده می‌شوند. میزان ضد آب و آتش بودن آنها به دلیل حضور پلیمر کلرین است. اما مشکلات زیست محیطی به خاطر میزان زیاد کلرین و پلاستی سایزرها سبب جایگزینی آن‌ها، حتی با محصولات گران تر شده است.

- پلی‌وینیل الکل یا PVA ها که از پلی‌وینیل استات تهیه شده‌اند، بسته به درجه صابون شدن قابلیت حلالیت در آب متنوعی دارند، در نهایت استفاده آنها دوام بالایی در هنگام شست و شو ندارند و به خاطر این موضوع نه تنها باید همان میزان ضدآتش بودن را که یک پلیمر ضدآتش معمول ارائه می‌دهد، داشته باشد بلکه باید دوام بالایی داشته باشد.

- رزین‌های بر پایه‌ی فرم آلدهید که شامل فنول، اوره و ملامین فرم آلدهید هستند و میزان نسبتاً کمی دوام دارند، اینها پوشش‌دهی‌های پلیمری‌ها هستند که برای ضدآتش بودن معرفی می‌شوند. ساختار فنولی این برتری را دارند که میزان ضدآتش بودن بالاتری را ایجاد می‌کنند.

- کوپلیمرهای اکریلیک (یا اکریلیک‌های معمولی) به ما سطح بالایی از انعطاف پذیری و نرمی می‌دهند و همچنین به میزانی جاذب رطوبت‌اند و هنگامی که نمونه‌های محصول زیبایی قرار است تولید شود این مواد مقدم و ارجح‌اند. این مواد معمولاً پرده‌ها و آستر، پرده‌های پلیسه دار و با غلتک، تشک‌ها و حوله و ملافه برای نفوذناپذیری گرد و خاک و میکروب و همچنین پشت پوشی منسوجات برای ضدآتش شدن، استفاده می‌شود. این ترکیبات از سال‌های ۱۹۸۸، به بعد اهمیت ویژه‌ای یافته است زیرا در قانون استفاده از مبلمان انگلیس این مواد مورد تأیید قرار گرفته‌اند.

- کوپلیمرهای وینیل استات (شامل انواع مختلف ساختمان شبکه ای) با وینیل کلراید و/ با اتیلن. اینها پوشش‌های انعطاف پذیر مناسب در تجهیزات رو مبلی و پرده‌ای به‌کار می‌رود که رفتاری مشابه با اکریلیک‌ها دارند و در حضور وینیل کلراید به طور کلی به میزان ضدآتش بودن آنها اضافه می‌شود.

• پلی‌یورتان‌ها (یا PURها) در منسوجات به صورت حلال و در حال حاضر به صورت مذاب داغ و پودرهای مستقیم کاربرد دارند. میزان ضدآتش بودن آنها موثر است اما، باید طوری انتخاب شوند تا بتوانند برای کاربرد و روش استفاده شان مناسب باشند.

• سیلیکون‌ها خاصیت ضد آب بودن نیز می‌دهند و ذاتاً ضدآتش‌اند و به دلیل افزایش در شکل سوخته‌ی زغالی سیلیکاسیوس^۱ و در آخر سیلیس (سیلیکا) ارتقاء یافته‌اند. اما هنگامی که روی منسوجات ترکیبی استفاده می‌شود ممکن است از چکیدن ماده‌ی ذوب شده جلوگیری کنند که در نتیجه باعث می‌شود که انرژی منسوجی که در حال سوختن خود، به صورت قطره‌ی مذاب در می‌آید حذف نشود. در نتیجه، منسوجات با پوشش‌دهی سیلیکونی می‌توانند نسبتاً اشتعال‌زا باشند نسبت به منسوجی و رزینی که به تنهایی موجود است. معمولاً این مشکل وجود دارد، بنابراین برای افزایش میزان ضدآتش بودن از مواد افزودنی استفاده می‌شود.

• فلئورو کربن‌ها بر اساس پلی‌تترا فلئورو اتیلن (PTFE) به صورت نمونه وجود دارند در حالی که مواد دیگری مثل پلیمرهای فلورین دار اتیلن (یا FEPها) و پلی‌وینیل فلوراید (PVF) وجود دارد. همه‌ی اینها سطح‌های متنوعی از ضدآتش بودن دارند که هنگامی در زیر لایه‌های ضدآتش به کار برده می‌شوند، میزان کارایی‌شان را بالا می‌برند اگرچه، حضورشان معمولاً باعث نمی‌شود که زیر لایه به صورت کامل ضدآتش شود.

۲- سیستم‌های تورم حرارتی

اکثریت این مواد بر پایه‌ی آلومینیوم پلی‌فسفات (APP) ترکیبات شیمیایی ملامین هستند، مثال‌های منتخب شده در جدول (۱-۳) ارائه شده است. همه آن مواد، ذرات جامدند که یکی از ترکیبات یا بیشتر می‌توانند در آب حل شوند، برای همین برای پایداری و دوام در آب، این مواد می‌توانند در ماتریس پلیمرهای آبگریز استفاده شوند که این پلیمرها در پروسه می‌توانند مشکل دیسپرس شدن ایجاد کنند. از این رو بیشتر ذرات تجاری پوشش داده شده و یا آنها را میکروکپسوله می‌کنند، تا میزان انحلال آنها را در آب کاهش دهند و یا اختلاط و سازگاری ماتریس پلیمر را بهتر کنند. از این گذشته، تولیدکنندگان قصد دارند تا سایز ذرات به خصوص APP و ملامین فسفات را کاهش دهند [۹].

در حالی که APP ذاتاً خاصیت تورم حرارتی ندارد، اما در زمان حضور پلیمرها و کوپلیمرهای شامل اکسیژن، شکل سوخته‌ی زغالی قوی پیدا می‌کنند. برای اینکه فعالیت تورم حرارتی را تضمین کنیم، در ترکیباتی با عامل‌های دیگر مثل پنتا اریتریتول^۲ و ملامین استفاده می‌شود. ملامین فسفات‌هایی ارائه شده در جدول ۱-۳، درجه بیشتری در فعالیت ذاتی تورم حرارتی دارند از آنجایی که جزء اسیدی فسفات به صورت

^۱silicaceous

^۲. Pentaerythritol

شیمیایی با ملامینی که گازی‌ست ترکیب شده است. همچنین آنها قبل از پوشش‌دهی یا میکروکپسوله کردن معمولاً کمتر از $1g/100cm^3$ در آب حل می‌شوند. سایز ذره‌ها معمولاً کمتر از سایز نرمال نمونه‌ی APP است و امکان دارد که ابعاد ذرات در حدود $D_{50} \leq 8\mu m$ باشد [۹].

جدول ۱-۳: ترکیبات انتخابی دیرسوز به روش تورم حرارتی

فرمول شیمیایی / نام	مثال های تجاری	انتقادهای
آمونیم فسفات	انواع فازهای ۱: Antiblaze MC; Albemarle Exolit AP 412; Clariant 485; Budenheim_FR CROS 480	حلالیت در آب تقریباً برابر است با $4g/100cm^3$
	انواع فازهای ۲: Exolit AP 422; Clariant FR CROS 484; Budenheim انواع فازهای ۲ پوشش‌دهی شده: Exolit AP 4 26 & ۴۶۳	حلالیت در آب تقریباً برابر است با $4g/100cm^3$
	FR CROS 486; Budenheim FR CROS 487; Budenheim	میکروکپسوله شدن نوع (AP 422)؛ حلالیت در آب بیشتر از $0.5g/100cm^3$ پوشش سیلان: پوشش ملامین - فرم آلدئید (MF): حلالیت در آب تقریباً برابر است $0.1g/100cm^3$
	FR CROS C30/ C40/ C60/ C70/ 489; Budenheim	سطح واکنش دهنده ی MF، سایز متنوع ذرات $D_{50}=7-18 \mu m$ ؛ حلالیت در آب $0.1g/100cm^3 \geq$
ملامین فسفات	BUDIT 310; Budenheim Antiblaze ND; Albemarle BUDIT 311; Budenheim BUDIT 312; Budenheim Antiblaze NH; Albemarle Melapur MP; Ciba Antiblaze NJ; Albemarle Melapur 200; Ciba BUDIT 3141; Budenheim	دی ملامین ارتو فسفات
		دی ملامین ارتو فسفات
		دی ملامین پیرو فسفات
		ملامین فسفات
		ملامین فسفات
		ملامین پیرو فسفات
		ملامین پلی فسفات
		ملامین پلی فسفات
نمک‌های ملامین دیگر	BUDIT 313; Budenheim BUDIT 314; Budenheim Melapur MP; Ciba	ملامین بورات
		ملامین سیانورات
		ملامین سیانورات
دیگرمشتقات پنتا اریتریتول	Great Lakes NH 1197; Chemtura Great Lakes NH 1511; Chemtura	اریتریتول فسفره شده اریتریتول فسفره شده/ نمک ملامین
مخلوط های تورم حرارتی	BUDIT 3077 and related products; Budenheim Antiblaze NW; Albemarle	ملامین فسفات و دی پنتا اریتریتول

* فاز ۱ و ۲ به سطح‌های مختلف وزن مولکولی و شبکه مولکولی برمی‌گردد و بنابراین ویژگی‌های کریستالی، انواع APP فاز

۱ دارای درجه‌های پایین‌تری از پلیمریزاسیون و شبکه‌ای بودن هستند ولی میزان حلالیت آبی بالاتری دارند.

از تمام ابداع‌هایی که در چند سال اخیر برای پوشش‌دهی‌های ضدآتش انجام شده است، بیشترین مواد مورد استفاده، ضدآتش‌های تورم حرارتی گزارش شده است. در واقع منسوجات ضدآتش در فضای باز به تازگی در مراکز تجاری آمریکایی در خواست شده است و بر اساس آیین نامه کالیفرنیا توصیه شده است که برای مبلمان (TB 133) و تشک (TB 129 & 630) و بر اساس فدرال کمیسیون امنیت محصولات مصرف کننده آمریکا (CPSC 16 CFR 1633) محصولات دیرسوز به روش تورم حرارتی به کار رود. پیشرفت پوشش-دهی‌های تورم حرارتی به کاربرده برای ضدآتش کردن الیافی نظیر شیشه که به صورت ذاتی دیرسوز هستند توسط کارخانجات بین‌المللی Sandel و Springs به کار گرفته شده است.

۳- استفاده از روش‌های نوین در دیرسوز کردن منسوجات

امروزه تلاش‌های بسیاری برای اصلاح سطحی و عمل‌آوری منسوجات جهت رسیدن به خصوصیات متفاوت انجام شده است که تقریباً این عمل‌آوری نباید موجب تغییر در خصوصیات منسوجات گردد. برای جلوگیری از این کار می‌توانیم از اصلاح سطحی منسوجات و پوشش‌دهی با اندازه‌های میکرو یا نانو استفاده نماییم. در روش‌های جدید استفاده شده برای پوشش‌دهی پارچه، از ترکیبات غیر آلی و یا آلی‌غیر آلی مواد استفاده شده که با استفاده از روش‌های متفاوتی می‌توان آن را بر منسوجات به کاربرد که این روش‌ها عبارتند از:

- جذب سطحی نانو ذرات
 - استفاده از روش لایه به لایه^۱
 - روش سل - ژل^۲
 - عمل‌آوری پلاسما [۹].
- در ادامه به معرفی هر یک از این روش‌ها می‌پردازیم.

الف) استفاده از جذب سطحی نانو ذرات

جذب سطحی، ساده‌ترین راه برای تکمیل و به کارگیری ذرات بر سطح پارچه است. در این روش پارچه مورد نظر صرف نظر از جنس پارچه در محلول سوسپانسیون نانو ذرات غوطه‌ور شده و این ذرات رسوب داده بر سطح پارچه، قادر به محافظت پلیمر در مقابل گرما، اکسایش و آتش است. طی فرایند احتراق ذرات موجود بر سطح پارچه همانند عایقی عمل کرده که قادر به بدام انداختن مواد تولید شده در حین احتراق می‌باشند. در نهایت منسوجات محافظت شده و منجر به پیرولیز به جای سوختن می‌گردد [۱۰].

1. layer by layer
2. Sol-gel

ب) روش لایه به لایه

در این روش لایه‌ای از مواد به صورت مرحله به مرحله بر سطح منسوجات قرار گرفته و مبنای کار براساس تعامل الکترواستاتیکی بین لایه‌ها می‌باشد. روش لایه به لایه اولین بار در سال ۱۹۹۱ برای پلی آنیون و پلی کاتیون‌ها معرفی و تحت نام پلی‌الکترولیت چند لایه نامیده شد سپس به استفاده از این روش با واکنش‌های متفاوت (پیوندهای کووالانسی و هیدروژنی) و همچنین الکترواستاتیک برای نانو ذرات، گسترش یافت. برای این کار منسوجات به صورت جداگانه و متوالی در محلول‌های دارای بار مثبت و منفی غوطه‌ور می‌شود.

به تازگی پوشش‌دهی لایه به لایه توسط گروه‌های متفاوتی برای دستیابی به سیستم عایق بودن پارچه مورد بررسی قرار گرفته است. در این روش بعضی از این مواد توانایی محافظت پارچه در برابر حرارت را داشته و با تشکیل ذغال بیشتر و جلوگیری از تولید مواد قابل احتراق، به دیرسوز شدن منسوجات کمک می‌کنند. در اولین کار صورت گرفته برای منسوجات گرونلان^۱ و همکارانش نانو صفحات لاپونیت^۲ (لایه منفی) و پلی اتیلن ایمین (لایه مثبت) بر منسوجاتی پنبه‌ای به کار بردند نتایج نشان داده بود که استفاده از ۱۰ لایه از مواد، توانایی دیرسوز کردن منسوجات را نداشته است. با جایگزینی سدیم مونمورولونیت^۳ بر منسوجات به جای لاپونیت نتایج بهبود یافت. با این روش استفاده کامل از مواد غیر آلی در پوشش‌دهی پارچه با استفاده از محلول کلئیدی سیلیکا^۴ (سیلیکا (-) / سیلیکا (+)) مانند ترکیبات POSS بر منسوجاتی پنبه‌ای موجب بهبود بهتر نتایج می‌گردد [۹].

ج) روش سل - ژل

سل - ژل از جمله روش‌هایی است که دارای همگنی بالایی در سطح مولکول بوده و خصوصیات شیمیایی و فیزیکی منسوجات را تغییر نمی‌دهد و طی این فرایند سطح با مواد غیر آلی یا مواد آلی‌غیر آلی پوشش‌دهی می‌شود. در این نوع پوشش‌دهی مواد اولیه آلکوکسیدهای فلزی بوده و اساس کار بر دو واکنش هیدرولیز و تراکم استوار است. عوامل زیادی از جمله نوع اتم فلزی در ساختمان آلکوکسید، نسبت آب/آلکوکسید، pH، دما، زمان واکنش و حلال استفاده شده در محیط واکنش، در مورفولوژی، کریستالی بودن و اندازه ذرات تأثیرگذارند.

روش سل - ژل از سال ۱۹۵۰ شناخته شد ولی به تازگی در دیرسوز کردن منسوجات استفاده گردید. در استفاده از روش سل - ژل باید توجه داشت ضخامت پارچه‌ها در مقایسه با مواد دیگر کم بوده در نتیجه مواد قرار گرفته بر سطح منسوجات اندک می‌باشد. بنابراین جهت دستیابی به اثر دیرسوز، نیازمند به کارگیری موادی

1. Grunlan
2. Laponite
3. Sodium montmorillonite

خواهیم بود که دارای خاصیت هم‌افزایی باشند، به همین منظور ترکیبات دیرسوز فسفردار و نیتروژن‌دار این مواد مخصوصاً سیلیکا به کار برده می‌شود. امکان استفاده از این ترکیبات هم در ساختار آلکوکسیدها و گروه‌های آلکیل عامل‌دار امکان‌پذیر است و هم به صورت به‌کارگیری ترکیباتی دارای P- و N- که در کنار این شبکه اکسیژنی موجب هم‌افزایی و تأخیر در شعله می‌گردد [۹].

د - استفاده از عمل‌آوری پلاسما

روش پلاسما فرایندی سطحی است که با کمک آن گروه‌های عاملی کوچک، از ترکیبات ماکرومولکول می‌توانند با سطح‌های متفاوت پیوند دهند با این روش امکان تغییر کلی خواص منسوجات وجود ندارد. در حدود ۴۰ سال است که از این روش برای عمل‌آوری الیاف استفاده می‌شود ولی به‌کارگیری آن به تازگی تجاری شده است. بعضی از کاربردهای خاص این روش عبارتند از:

- اصلاح سطحی مواد با استفاده از گازهای غیر قابل پلیمریزه شدن؛
- پیوند مواد فسفردار غیر قابل فرار در پلاسمای سرد؛
- استفاده از روش نیتروژن پلاسما به صورت جزئی؛
- استفاده از مونومرهای اکریلیک برای پیوند دادن؛
- جذب پلیمریزاسیون ارگانوسیلان‌ها با کمک پلاسما؛

با استفاده از این روش می‌توان منسوجی را تولید کرد که خاصیت دیرسوز را دارا بوده و بیشتر برای الیافی با گروه‌های عاملی کمتر کاربرد دارد تا سطح لیف از لحاظ شیمیایی فعال شده و امکان واکنش با مواد دیرسوز را داشته باشد. باید توجه داشت که این روش برای تکمیل منسوجات، روشی به‌صرفه نبوده و قابلیت کاربرد آنچنانی در مقیاس بالا را ندارد [۹].

با توجه به استفاده وسیع منسوجات و نیاز روز افزون برای تولید منسوجاتی دیرسوز در ادامه به معرفی شیوه‌های دیرسوز کردن الیاف منتخب می‌پردازیم. لازم به ذکر است که منسوجات با توجه به شرایط و امکانات موجود در کشور، قابلیت ضدآتش شدن را دارا می‌باشند و تمامی ظرفیت‌های موجود در داخل کشور، برای تولید منسوجاتی دیرسوز باید در نظر گرفته شود.

۱-۶-۴- ساختمان شیمیایی مواد ضدآتش

به‌طور کلی دو نوع مواد افزودنی و مواد واکنشی برای دیرسوز کردن منسوجات استفاده می‌گردد. مواد افزودنی که به‌طور وسیعی استفاده می‌شود به‌طور فیزیکی به پلیمرها اضافه شده و یکی از روش‌های اقتصادی در تولید مواد تأخیرانداز شعله محسوب می‌شود ولی مشکلات زیادی مانند امتزاج ضعیف، کاهش خصوصیات مکانیکی و استحکام کششی پایین را به همراه دارد. نوع دیگر مواد، استفاده از مواد دیرسوز

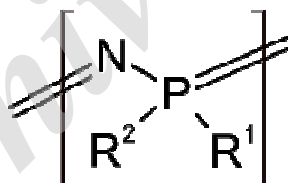
واکنشی مانند منومرها و اصلاح سطحی منسوجات و یا اصلاح پلیمرهای موجود در حین پلیمریزاسیون می‌باشد. استفاده از اینگونه مواد به نسبت اقتصادی نبوده ولی به علت برقراری پیوند کووالانسی با زنجیرهای پلیمری در حالی که خصوصیات مکانیکی و فیزیکی منسوجات همچنان ثابت است مورد توجه قرار گرفته است. [۶]

جهت ضدآتش کردن پارچه، مواد و ترکیبات زیادی استفاده می‌شود که این ترکیبات شامل عناصری چون فسفر، سیلیکون، بور، نیتروژن و هالوژن‌ها می‌باشد که در ادامه به معرفی هر یک از این ترکیبات می‌پردازیم.

۱- مواد دیرسوز حاوی فسفر

مواد ضدآتش فسفردار محدوده وسیعی از مواد را شامل می‌شود که با توجه به ترکیب آنها با اکسیژن ساختارهای متفاوتی را مانند فسفین‌ها^۱، فسفین اکسیدها^۲، فسفونات‌ها^۳، ترکیبات فسفونیوم^۴، فسفیت‌ها^۵، فسفات‌ها^۶ و همچنین عنصر فسفر قرمز به عنوان مواد ضدآتش به وجود می‌آورند. ارگانو فسفرهای ضدآتش از نوع واکنشی به طور گسترده در سه دسته تقسیم بندی می‌شوند که عبارتند از:

- منومرهای ساده فسفاتی واکنشی؛
- پلی فسفاژن^۷ های خطی (شکل ۱-۴)؛
- فسفاژن‌های آروماتیک حلقوی؛



شکل ۱-۶: پلی فسفاژن

این ترکیبات ممکن است با زنجیرهای پلیمری به صورت هموپلیمریزاسیون، کوپلیمریزاسیون پیوند داده و یا به صورت اصلاح سطحی و به صورت ترکیبی بر منسوجات به کار برده شوند. این مواد با مکانیزم فاز متراکم عمل کرده و موجب افزایش میزان کربن باقیمانده و ذغال در منسوجات می‌گردند. دو مکانیزم در شکل‌گیری ذغال وجود دارد که ۱- تغییر مسیر واکنش‌های شیمیایی به سمت واکنش‌های درگیر در تجزیه و تولید کربن به جای CO و CO₂؛ ۲- شکل‌گیری لایه سطحی از ذغال به عنوان محافظ. در فرایند احتراق [۶].

1. Phosphines
2. Phosphine oxides
3. Phosphonium compounds
4. Phosphonates
5. Phosphites
6. Phosphate
1. Polyphosphazenes

مواد کندکننده بر پایه فسفر با شرکت در فاز تراکم با مواد دارای اتم اکسیژن (پلی‌استرها، پلی‌آمیدها، سلولز و ...) عمل کرده و در بیشتر آنها عملیات تخریب منجر به تولید اسید فسفریک، ساختار پیروفسفات و رهایش آب می‌شود. در دماهای بالاتر ارتو و پیروفسفریک اسیدها تبدیل به متافسفریک اسید $(\text{O})\text{P}(\text{O})(\text{OH})$ و پلیمرهای متناظر با آنها $(\text{PO}_3\text{H})_n$ می‌شود. آنیون‌های فسفات (پیرو و پلی‌فسفاتها) با باقیمانده‌های کربونیزه شده در تولید ذغال مشارکت می‌کنند. آب تولید شده نیز باعث رقیق سازی اکسیدکننده‌ها در فاز گازی می‌شود و در ادامه اسید فسفریک و اسید پیرو فسفریک می‌توانند به عنوان کاتالیزور برای واکنش هیدروژن‌زدایی از انتهای الکلها عمل کرده و منجر به شکل‌گیری کربوکاتیون‌ها و پیوندهای دوگانه کربن‌کربن گردند که در دماهای بالا موجب تولید ساختار شبکه‌ای و یا ساختمان‌های کربونیزه شوند [۱۱].

لایه کربونیزه شده (ذغال) در مقابل آتش از پلیمر محافظت می‌کند و موجب:

- محدود کردن بخارات ناشی از مواد قابل اشتعال و جلوگیری می‌کند از شکل‌گیری رادیکالهای جدید
- محدود کردن نفوذ اکسیژن و کاهش فرایند احتراق
- عایق سازی پلیمر در برابر گرما

می‌شوند. مواد کند کننده بر پایه فسفر همچنین می‌توانند به فاز گازی بخار شوند و رادیکالهای فعال $(\text{PO}_2^\circ, \text{PO}^\circ \text{HPO}^\circ)$ تولید نمایند که به عنوان جاذب با H° و OH° وارد واکنش شوند. ترکیبات گازی فسفری به طور متوسط ۵ برابر از رادیکالهای برم و ۱۰ برابر از رادیکالهای کلر مؤثرتر می‌باشند [۱۱].

تعداد زیادی از مشتقات آلی فسفری وجود دارند که دارای خاصیت دیرسوز می‌باشند. استفاده از این ترکیبات که به صورت تجاری نیز در دسترس هستند به علت دمای فرآیند و طبیعت الیافی که مورد استفاده قرار می‌گیرند محدود می‌باشد. این مواد به صورت افزودنی یا مونومر در دیرسوز کردن به کار گرفته می‌شود. [۱۱]. به دلیل اهمیت و کاربرد گسترده ترکیبات فسفری، فواید و مضرات ترکیبات فسفری در مقایسه با مواد دیگر ضدآتش در این جا خلاصه شده است:

– فواید ترکیبات فسفری

- دانسیته کمتر در مقایسه با دیرسوزهای هالوژنه؛
- عدم نیاز به هم‌افزایی با ترکیبات اکسید آنتیموان؛
- تمایل کمتر به ماندگاری و تجمع در محیط زیست؛

- ارتقاء بهتر سد دفاعی ذغالی در پلیمرهایی که سوخته ذغالی باقی می‌گذارند؛
- تمایل کمتر به تشدید دود؛
- تولید گازهای کمتر در هنگام سوختن؛
- همزیستی بهتر با محیط زیست در مقایسه با دیگر مواد دیرسوز؛

– مضرات ترکیبات فسفری

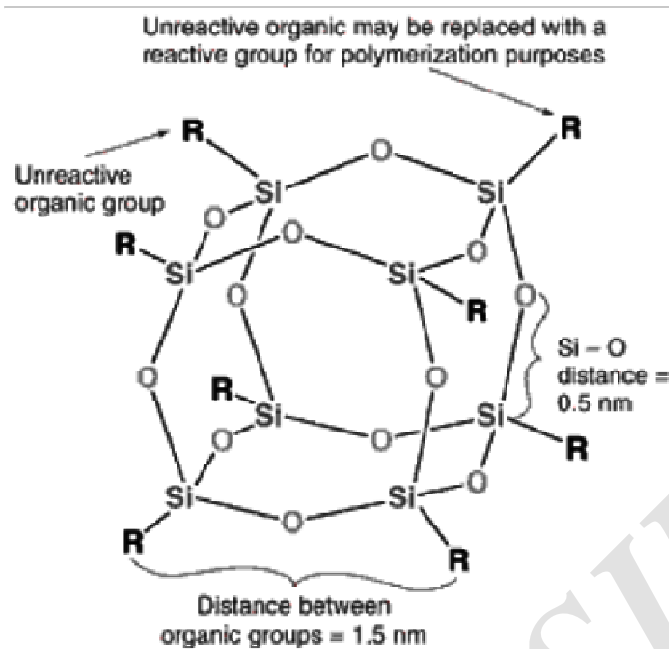
- مشکل در تهیه ترکیبات با % فسفر بالا که سبب کاهش راندمان می‌شود؛
- اثر هم‌افزایی نامناسب؛
- آبدوست که سبب جذب رطوبت می‌شود؛
- امکان هیدرولیز و تولید اسید که سبب آسیب بر مواد می‌شود؛
- پایداری حرارتی پایین که دمای عملیات حرارتی را محدود می‌کند؛
- پایداری حرارتی و رطوبتی مانع از بازیافت آن‌ها می‌شود؛

۲- مواد دیرسوز سیلیکونی

طبق تحقیقات انجام شده افزودن میزان کمی از ترکیبات سیلیکونی به مواد پلیمری از طریق شکل‌گیری ذغال در فاز متراکم و به دام انداختن رادیکال‌های آزاد در فاز بخار، موجب افزایش خاصیت ضدآتش منسوجات می‌گردد. این مواد در مقایسه با دیگر مواد ضدآتش به عنوان مواد دوست‌دار محیط زیست شناخته شده و نانوکامپوزیت آلی - غیر آلی سیلیکون مانند نانوکلی و دیگر مواد آن با استفاده از فرایند سل ژل و با اتصال کووالانسی بر منسوجات قرار می‌گیرند.

پلی هدرال الیگومریک سیلوکسان^۱ تحت نام (POSS) منومر یا پلیمرهایی هستند که به عنوان مواد جدید برای دیرسوز کردن منسوجات با تولید نانو کامپوزیت‌ها استفاده می‌شوند. این مواد ترکیباتی الیگومری سه بعدی ارگانو سیلیکون با فرمول عمومی $(RSiO_{1.5})_n$ می‌باشند که n تعداد مولکول و R شمار زیادی از گروه‌ها مانند (متیل، هالوژن، وینیل یا فنیل) می‌تواند باشد. در شکل ۱-۵، فرمول کلی POSS آمده است [۶].

1. Polyhedral oligomeric silsesquioxane



شکل ۱-۷: فرمول کلی POSS [۷]

۳- مواد دیرسوز حاوی بور

بورات‌ها و بوریک اسید مواد دیرسوزی هستند که خاصیت هم‌افزایی مخصوصاً با پلیمرهای هالوژنی و افزودنی‌های هالوژنی دارند. این مواد با تغییر مسیر فرایند تخریب در تولید کربن به جای CO و CO₂، در فاز متراکم عمل کرده و اینگونه تصور می‌شود که با تشکیل لایه‌ای محافظ بر سطح منسوجات از دسترسی اکسیژن و در نتیجه اکسیداسیون کربن جلوگیری می‌کنند. ترکیبات بور ترکیباتی ارزان‌تر با سمیت کمتر در مقابل اکسید آنتیموان می‌باشند که به عنوان کاتالیزور به همراه ترکیبات هالوژنی استفاده می‌شوند [۶].

۴- مواد ضدآتش نیتروژن دار

مواد دیرسوز نیتروژن دار دارای سمیت کمی بوده و قابلیت بازیافت دارند. این مواد در طول فرایند احتراق اسیدهای هالوژنی و دی اکسین تولید نمی‌کنند و میزان دود تولید شده در طول فرایند نیز کم می‌باشد. یکی از مهمترین مواد تأخیرانداز آلی حاوی نیتروژن، ملامین و مشتقات آن است که فسفات و پیروفسفات‌های ملامین نوع متمایز شده آن می‌باشد و به صورت تجاری نیز قابل دسترس هستند. [۷]

ملامین محصولی کریستالی است که دارای دمای ذوب ۳۴۵°C و ۶۷٪ اتم نیتروژن می‌باشد و ثبات حرارتی بالایی دارد. این ماده در دماهای بالا تخریب می‌شود و تولید آمونیاک و گازهای رقیق اکسیژن و



شکل ۱-۹: واکنش رادیکال‌های تولید شده حین سوختن با رادیکال‌های هالوژن

از لحاظ فیزیکی هالیدهای هیدروژن در فاز گازی می‌توانند موجب کم شدن غلظت گازهای قابل احتراق شده و دمای آتش را کاهش دهند. در فاز متراکم، پس از واکنش هیدروژن با رادیکال‌های هالوژن، پلیمرهای غیر اشباع شکل گرفته از باند دوگانه، به سمت تشکیل ذغال پیش می‌روند [۷].

۶- مواد دیرسوز با عناصر متفرقه

ترکیبات فلزی آلی و غیر آلی از جمله مواد متداولی هستند که به طور وسیع به عنوان افزودنی برای دیرسوز کردن منسوجات استفاده می‌شوند. مشخص شده است که Mg, Cr, Mn, Sn, Ba و U ترکیب مجدد اتم‌های هیدروژن را در مخلوط غنی از سوخت ($H_2-O_2-N_2$) تقویت می‌کنند. یکی از اهداف مهم در استفاده از این مواد، اشتراک فلز در زنجیر پلیمری می‌باشد که اثرگذاری آن را افزایش داده و توزیع خصوصیات مکانیکی و دیگر خاصیت‌ها را کاهش خواهد داد.

هیدروکسیدهای فلزی مانند تری هیدروکسید آلومینیم و هیدروکسید منیزیم در دماهای بالاتر از $200^\circ C$ تولید آب می‌کنند که به علت جذب انرژی موجب تأخیر در شعله می‌شوند. مولکول‌های آب تولید شده در فاز بخار، موجب کاهش غلظت گازهای قابل احتراق تولید شده در حین تجزیه پلیمر شده و انیدریدها به عنوان کاتالیزورهای اسیدی موجب افزایش میزان ذغال می‌شوند. به طور کلی هیدروکسیدها غیر سمی بوده اما نیاز به استفاده بیشتر از ۵۰ درصد وزنی از این مواد است تا منسوجات دیرسوز گردد [۷]. در حالی که فلزاتی چون Ca, Sb, Ge, Th, Zn, V, Cu, Ni, Co, Na و La اثر چندانی در دیرسوز کردن منسوجات ندارند ترکیباتی با Ca, Si, Pb, Ti خاصیت مهارکنندگی آتش را دارا می‌باشند [۶].

۷- مواد نانو

نانو مواد هنگامی که در مواد پلیمری پراکنده شوند به عنوان موادی که قابلیت افزایش خاصیت حرارتی، مکانیکی و دیرسوزی را دارند شناخته می‌شوند و نقش هریک از نانو ذرات برای کند کنندگی آتش به شدت به

ساختار شیمیایی و هندسه این ذرات بستگی دارد. به طور کلی سه نوع نانوذرات مورد بررسی قرار می‌گیرد که شامل:

- مواد لایه لایه، نظیر نانورس‌ها (مونتمورلونیت: MMT)، این مواد با ساختار یکی از ابعاد نانو مشخص شده و به عنوان نانو ذرات ۲D شناخته می‌شوند؛
- مواد فیبری، نظیر نانولوله کربنی و سپیولیت، که با ساختاری کشیده و این مواد با ساختار دو بعد مشخص شده و به عنوان نانوذرات ۱D شناخته می‌شوند؛
- ذرات، نظیر پلی‌هدرال الیگومریک سیلوکسان (POSS) و نانو ذرات کروی سیلیکا، این مواد با ساختار سه بعدی نانومتری مشخص شده و به عنوان نانوذرات ۰D شناخته می‌شوند [۱۱].

الف) مواد لایه لایه

نانو رس‌ها از مهمترین مواد این خانواده می‌باشد که تحقیقات زیادی بر روی خاصیت کندکنندگی آتش آنها انجام شده است. از این نانو ذرات خاک رس، میتوان به سیلیکات‌های لایه‌های طبیعی مانند مونت مورولونیت^۱ و سیلیکات‌های لایه‌ای سنتزی مانند مگادیت^۲، میکا^۳، لاپونیت^۴ و فلوئورو هکترونیت^۵ اشاره کرد. هر کدام از این مواد دارای ساختار بلوری و ترکیبات شیمیایی متفاوتی هستند. نانو ذرات خاک رس دارای مقاومت الکتریکی، شیمیایی و گرمایی بالایی را دارند. از این رو الیاف کامپوزیتی تقویت شده با نانو ذرات خاک رس خواص تأخیراندازی شعله و ضد اشعه UV و ضد خوردگی را دارا هستند.

براساس تحقیقاتی که به تازگی انجام شد مشخص گردید حضور مونتمورولونیت (MMT) حتی به میزان بسیار کم (۲ تا ۵ درصد) در مواد پلیمری مانند نایلون، پلی پروپیلن و پلی لاکتیک موجب کاهش میزان اشتعال-پذیری و افزایش مقاومت حرارتی آن می‌شود.]] جهت پراکندگی نانو لایه‌های رس در ماتریس پلیمری به اصلاح رس‌های طبیعی با کمک کاتیون‌های آلی (کاتیون‌های آلکیل آمونیوم، آلکیل فسفونیوم و آلکیل ایمیدازول) می‌پردازند که منجر به تولید نانورس‌های اصلاح شده می‌شود.

مطابق با تحقیقات انجام شده بعضی از نانو کامپوزیت‌های کندکننده آتش نظیر پلی‌اورتان (MMT/PU) بر سطح پارچه پنبه‌ای استفاده شد و فرض بر آن شد که فرآیند احتراق در سیستم‌های پلیمر/رس موجب ایجاد لایه‌ای سرامیکی در حین تخریب پلیمر گردید که در نهایت موجب کاهش ۷۰ تا ۸۰ درصد گرمای آزاد شده برای اینگونه کامپوزیت‌ها شد. نتایج بدست آمده نشان داد که در دماهای بالا ویسکوزیته پلیمر ذوب شده/لایه‌های

¹ Montmorillnite

² Megadite

³ Mica

⁴ Laponite

⁵ Flour Hectronite

سیلیکاتی نانوکامپوزیت، با افزایش دما کاهش می‌یابد و باعث تسهیل مهاجرت نانو ذرات به سطح می‌گردد. بنابراین تجمع رس بر سطح مواد نقش سدی محافظ را دارد که از نفوذ حرارت و اکسیژن و محصولات حاصل از احتراق بر سطح مواد جلوگیری کرده و موجب کاهش میزان اشتعال‌پذیری پارچه می‌گردد [۱۱] ..

ب) نانو فایبر

از جمله موادی که به عنوان نانو فایبر استفاده شده و موجب کندکنندگی آتش می‌گردد نانو لوله‌های کربنی (CNT) است. این مواد با روش‌های متفاوتی مانند تخلیه قوس الکتریکی، برش با لیزر و رسوب‌دهی شیمیایی تولید می‌شود و دارای خواص مکانیکی، رئولوژیکی و کندکنندگی آتش می‌باشد. دو نوع نانو لوله با شعاع کوچک (۱-۲ nm) SWNT و نانو لوله با شعاع بزرگتر (۱۰-۱۰۰ nm) MWNT وجود دارد. نانو لوله‌های کربنی جایگزین مناسبی برای مواد دیرسوز و نانورس‌ها هستند. اضافه کردن میزان کمی از این مواد ($< 3 \text{ wt}/\%$) به مواد پلیمری موجب افزایش قابلیت کندکنندگی آتش اینگونه از پارچه‌ها می‌گردد و افزودن تنها $0.5 \text{ wt}/\%$ این ذرات در PMMA منجر به کاهش ۵۰ درصدی میزان HRR می‌شود [۱۱] .

در یکی از کارهای انجام شده خاصیت کندکنندگی PP/MWNT نانوکامپوزیت مورد بررسی قرار گرفت و طبق بررسی‌ها مشخص گردید که دو فرایند فیزیکی مجزا در طول احتراق پلیمرها اتفاق می‌افتد. در مرحله اول لایه با ساختار شبکه‌ای به عنوان مانع عمل کرده و موجب بازتابش بسیاری از نورهای ورودی در فاز گازی می‌شود، در نتیجه موجب کاهش تخریب پلیمر می‌گردد. در مرحله دوم حضور نانولوله‌های کربنی باعث افزایش هدایت حرارتی پلیمر شده، زمان احتراق و PHRR را افزایش می‌دهد و موجب تأخیر در فرایند سوختن نانو کامپوزیت می‌گردد [۱۱] .

ج) نانو ذرات

دسته دیگر از افزودنی‌ها شامل نانوذرات اکسیدهای فلزی، سیلیکا و POSS می‌باشد. این نوع از مواد به وسیله ابعاد ایزومتریشان شناخته می‌شوند و به عنوان موادی که خاصیت کندکنندگی آتش را نیز دارند استفاده می‌گردند. نانو ذرات TiO_2 ، Fe_2O_3 و SiO_2 از جمله موادی هستند که تحقیقات زیادی در زمینه خاصیت کندکنندگی آتش آنها انجام شده است [۱۱]. استفاده از ماده POSS بر پارچه پنبه‌ای از جمله کارهایی است که در زمینه کندکنندگی آتش انجام شده است. این ذرات با استفاده از بیندر فرمالدهید بر پارچه به کار برده شدند و نتایج نشان داد که قابلیت آن را دارند تا میزان رهایش گرما TRR را به میزان ۳۰ درصد کاهش دهند [۱۲] .

استفاده از نانو ذرات برای تمامی الیاف اعم از طبیعی و مصنوعی کاربرد دارد و میزان ذغال تولید شده در طی فرآیند احتراق را افزایش می‌دهند. برای مثال در یکی از تحقیقات انجام شده استفاده از این ذرات بر پارچه پلی-

استر مورد آزمایش قرار گرفت. آنگونه که مشاهده شد مدت زمان قرار گرفتن پارچه، pH نانو ذرات پراکنده شده و عملیات سطحی انجام شده بر پارچه، تمامی مواردی است که بر خصوصیات نهایی پارچه تأثیرگذار بود. با افزایش مدت زمان غوطه وری و pH، زمان احتراق (TTI) افزایش یافت و حضور این ذرات بر پارچه نقش حفاظتی و سپر حرارتی را داشته و موجب شکل‌گیری ذغال به جای تولید گازهای فرار گردید. [۱۲].

۱-۶-۵- روش‌های تولید منسوجات دیرسوز متداول

روشهای متفاوتی برای دیرسوز کردن کالا استفاده می‌شود. برای به کارگیری این روشها و تولید منسوج دیرسوز موارد زیادی را باید مورد توجه قرار داد یکی از این موارد سمی بودن بعضی از مواد می‌باشد که در صورت ایجاد خطر برای سلامتی فردی که از این کالا استفاده می‌کند و یا با آن در تماس است نباید از این مواد استفاده کرد. از موارد دیگر نحوه تولید این منسوجات می‌باشد همانطور که گفته شد بعضی از روشهای تولید منسوجات دیرسوز بسیار گران بوده و تولید آنها در مقیاس زیاد اصلا به صرفه نمی‌باشد. از آنجا که هدف از این تحقیق دیرسوز کردن منسوجات متداول می‌باشد از این رو باید روشی را انتخاب کرد که به صرفه بوده و در کنار آن کارایی بالایی را هم داشته باشد. روش تکمیل شیمیایی در صورتی که از مواد و شرایط مناسب جهت تولید کالای دیرسوز انتخاب گردد در مقایسه با دیگر روشها به صرفه تر بوده و نیازمند دستگاهها و تجهیزات خاصی نمی‌باشد از طرفی امکان تولید کالا با این روش آسانتر است و خصوصیات مکانیکی و شیمیایی کالا نیز حفظ خواهد شد.

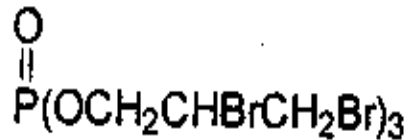
۱-۶-۵-۱- منسوجات پلی استری دیرسوز

در طول ۳۰ سال گذشته شمار زیادی از الیاف پلی استری دیرسوز تولید شد که از میان آنها تنها ترویرا Trevira Cs از لحاظ تجاری موفق بوده است. فیدن Fidion دیگر لیف پلی استری بود که توسط مونته فایبر Montefiber به عنوان منسوجاتی دیرسوز روانه بازار شده است. در این الیاف ترکیبات کومنومری فسفری ترکیبات ارگانیک فسفر، کومنومرهای فسفینیک اسید و افزودنی‌های فسفری اضافه شده است [۱۰].

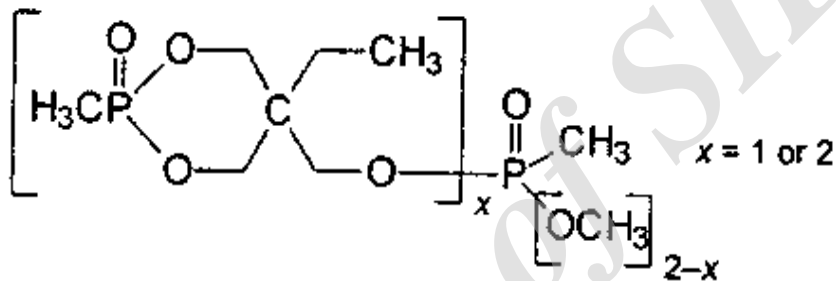
به طور کلی منسوجات دیرسوز بر پایه PET با استفاده از روش‌های متفاوتی چون افزودن منومرهای دیرسوز در طول پلیمریزاسیون، اضافه کردن افزودنی‌های دیرسوز به مذاب ریسندگی و عمل‌آوری منسوجات مخصوصا با استفاده از روش ترموزول تولید می‌گردند [۱۰].

یکی از مفیدترین ترکیبات ضدآتش مناسب بر روی پلی استر، برمین‌های استر فسفات به نام، Dibromo-Tris (2,3 Propyl) Phosphate است که برای سادگی به نام تریس Tris مشهور است. شکل ۸-۱، ساختار شیمیایی تریس را

نشان می‌دهد، این ترکیب مؤثر و چند منظوره است که هم به روش پد و هم به روش رمق‌کشی استفاده می‌گردد، ولی مشکل اصلی این ماده سرطان‌زا بودن آن است که کاربرد آن را ممنوع نموده است [۸]. امروزه از ترکیبات حلقوی فسفات/ فسفونات، شکل ۹-۱، به روش پد - ترموزول بدین منظور استفاده می‌شود.

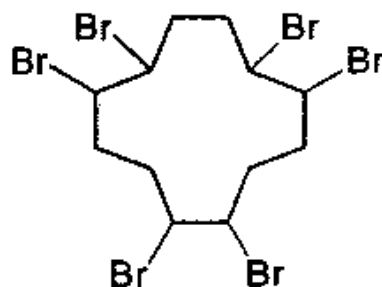


شکل ۱-۱۰: Tris (2,3-dibromo Propyl) Phosphate



شکل ۱-۱۱: ترکیبات حلقوی فسفات / فسفونات

از دیگر ترکیبات ضدآتش تکمیلی بر پلی‌استر می‌توان ترکیبات شیمیایی برمه را نام برد که از معروف‌ترین آنها هگزا برموسیکلو دودکان (HBCD) می‌باشد که به دلیل حلالیت پایین این ترکیبات در آب هنگام تثبیت، یک فیلم ضدآتش بر سطح الیاف پلی‌استر ایجاد می‌کنند. شکل ۱-۱۰ ساختار آن را نشان می‌دهد. برای دستیابی به اثر ضدآتش پایدار، پارچه پد شده با تقریباً ۸٪ از دیسپرسیون این ماده نامحلول در آب، باید در دمای حدود ۱۹۰°C حرارت داده شود تا لایه‌ای از ماده ضدآتش بر سطح لیف تشکیل گردد. [۸]



شکل ۱-۱۲: هگزا برموسیکلو دودکان (Hexa Bromo Cyclo Dodecane)

الیاف پلی‌استر با حلقه اولیگومری فسفونات آنتی‌بلاز^۱ که به روش ترموزول تکمیل می‌شود، علاوه بر ماندگاری بالا، گازهای سمی تولید نمی‌کند. همچنین تکمیل الیاف پلی‌استر توسط ترکیب متیلن بیس اکریل آمید^۲ و وینیل فسفونیک اسید اتیلن گلیکول استر سبک^۳ که به صورت سطحی بر روی پلی‌استر می‌نشیند، پایداری بالایی دارد. به‌طوری‌که امکان شستشوی منسوج بافته شده از این الیاف تا ۱۰ مرتبه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد وجود دارد. همچنین در خلال شستشوی این منسوجات، ضریب اکسیژن محدود آن اندکی کاهش می‌یابد و از ۲۸/۴ درصد به ۲۷/۴ درصد می‌رسد. بدلیل مشکلات ترکیبات هالوژنه و سرطانزا بودن این ترکیبات امروزه راهکارهای مختلفی به منظور مقاوم نمودن الیاف و منسوجات پلی‌استری معرفی شده است [۸].

طبق نتایج بدست آمده در سه سال گذشته به طور کلی روش لایه به لایه، یکی از موفق‌ترین روش‌ها در تولید منسوجات ضدآتش و تولید ذغال بوده است و این افزایش ذغال حتی در پلیمرهایی مانند پلی‌استر و پلی‌الفین‌ها که قادر به تشکیل ذغال در حین سوختن نیستند نیز دیده شده است [۱۱].

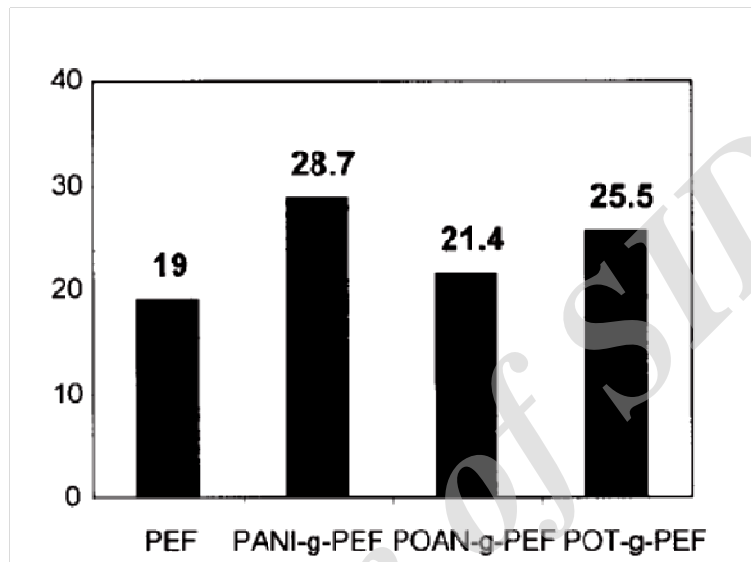
در یکی از تحقیقات صورت گرفته از محلول‌های کلئیدی مثبت و منفی نانو ذرات سیلیکا که دوست‌دار محیط زیست هستند به صورت لایه به لایه جهت پوشش‌دهی پارچه پلی‌استری استفاده شد. پوشش‌دهی پارچه خصوصیات دیرسوز منسوجات را افزایش داده و نتایج بدست آمده نشان داد که میزان قطره قطره شدن مذاب کاهش یافته است. به‌کارگیری این نانو ذرات بر سطح پارچه زمان احتراق را به میزان ۴۵٪ افزایش داد و این در حالی است که پیک سرعت گرمای آزاد شده ۲۰٪ کاهش یافته است [۱۱].

از دیگر ترکیبات استفاده شده جهت ضدآتش کردن منسوجات استفاده از مواد نیتروژن‌دار است. مطابق با یکی از کارهای انجام شده سطح پارچه پلی‌استری با پلی‌آنیلین‌ها پیوند داده شد. مواد مورد استفاده شامل آنیلین (aniline)، O -آنیزیدین (O-anisidine)، O -تولوئیدین (O-tuloidine) و پارچه پلی‌استری است که برای انجام این آزمایش پارچه پلی‌استری و میزان مشخصی از آنیلین PANI، O -آنیزیدین POAN، O -تولوئیدین POT به طور جداگانه در اسید کلریدریک وارد شده و محیط تا دمای ۵۰- خنک می‌گردد. سپس آمونیوم پروکسودی سولفات با نسبت استوکیومتری مشخصی با اسید کلریدریک به آن اضافه گردید. پس از گذشت ۳ ساعت از اضافه شدن اکسیدکننده و پلیمریزاسیون، پارچه از محیط خارج شده و جهت خروج مواد پیوند داده نشده شسته شد. جهت ارزیابی نتایج از دستگاه‌های FTIR، TGA و DTG استفاده

1. Oligomeric cyclic Phosphate Antiblaze 19
2. Acrylamide
3. Vinile Phosphonic Acid Ethylene Glycole ster

شده و میزان ضدآتش شدن منسوجاتی شاهد و عمل‌آوری شده با PANI، POAN و POT از شاخص LOI استفاده شده است [۱۲].

مطابق شکل ۱-۱۱، نتایج بدست آمده حاکی از آن است که پیوند دادن PANI، POAN و POT بر سطح منسوجاتی پلی استری موجب افزایش ثبات منسوجات در برابر آتش شده است.



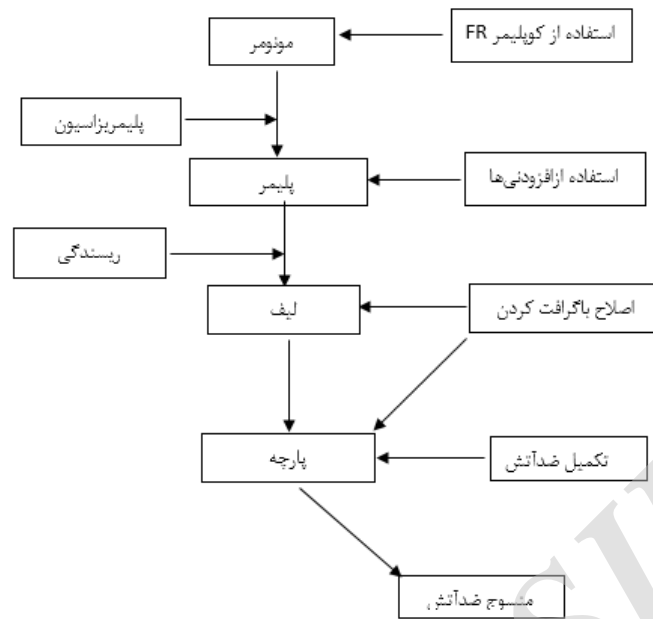
شکل ۱-۱۳: میزان LOI منسوجاتی PET پیوند داده با PANI، POAN، POT [۱۰].

۱-۶-۵-۲- منسوجات اکریلیکی دیرسوز

اساس بیشتر کارهای صورت گرفته بر روی الیاف مداکریلیک (کوپلیمر اکریلونیتریل (AN) و وینیل کلراید/وینیلیدین کلراید) است. این الیاف به اندازه کافی ضدآتش هستند اما به علت وجود ترکیبات هالوژنه و سمی بودن آنها در حالی که می‌سوزند قابلیت استفاده از آنها محدود شده است بنابراین هدف، تولید الیاف اکریلیکی دیرسوزی است که سمی نبوده و دود کمتری تولید نماید [۱۲].

اصلاح الیاف اکریلیک برای تولید الیاف ضدآتش به وسیله باجا و همکارانش، مهتا و شرما و هوروک دسته‌بندی شده است. همانند الیاف دیگر روش‌های متفاوتی جهت تولید الیاف اکریلیک دیرسوز وجود دارد که در شکل ۱-۱۲ ارائه شده است عبارتند از:

- ترکیب مونومرهای وینیلی حاوی هالوژن/فسفر در طول پلیمریزاسیون؛
- استفاده از مواد افزودنی ارگانوفسفر و ترکیبات قلع/آنتیموان در مرحله ریسندگی؛
- عمل‌آوری شیمیایی الیاف؛



شکل ۱-۱۴: روش‌های تولید الیاف اکریلیک [۱۲]

خاصیت ضدآتش الیاف اکریلیک می‌تواند با استفاده از کومنومرهایی مانند وینیل کلراید، وینیلیدین کلراید، ۱-بروموپروپان، ۲-برومواتیل اکریلات، ۳و۲-دی برومو اکریلات، فسفونات و مشتقات اسید فسفریک افزایش یابد.

تعداد زیادی افزودنی با قابلیت کاهش آتش‌پذیری الیاف اکریلیک، در مرحله ریسندگی الیاف به مذاب ریسندگی اضافه می‌گردد. افزودنی‌های شناخته شده شامل استرهای آنتیموان، قلع و اکسیدهای آنها، SiO_2 ، پارافین هالوژنه، ترکیبات آروماتیکی هالوژنه، ترکیبات فسفری و... است که ترکیبات بروم بیشترین تأثیر را در تولید الیاف اکریلیک دیرسوز داشته است. همچنین پلیمرهایی از دی برومو استایرن، پلی اکریلیک فسفونات، گروه‌های آلکوکسی که با مشتقات هالو بنزن جانشین شده‌اند، ترکیبات فسفر و بورات روی به مذاب ریسندگی اضافه شده و الیاف اکریلیک دیرسوز تولید می‌گردد [۱۲].

چو و همکارانش الیافی از کوپلیمر پلی اکریلو نیتریل و وینیل استات با نسبت های (۶:۹۴) تهیه کردند که در آن از افزودنی‌های پلی دی برومو استایرن (۱۵ تا ۲۵ درصد وزنی) و هگزابرومو سیکلودودکان (۱۵-۲۵ درصد وزنی) استفاده شده است. در این تحقیق مذاب ریسندگی شامل ۲۴ درصد وزنی از پلیمر در حلال دی متیل استامید (DMAC)، در حمام انعقاد دارای ۵۵ درصد DMAC و در دمای 40°C ریسیده شد تا لیف مورد نظر شکل بگیرد. لیف تولید شده به علت حفره‌های موجود بر لیف دارای استحکام کششی و ازدیاد طول

بسیار پایینی بوده ولی وجود این حفره ها خود می تواند با سرعت بخشیدن در تخریب برم موجب افزایش در خاصیت دیرسوز منسوجات گردید [۱۲].

از جمله روش‌ها در دیرسوز کردن الیاف اکریلیکی تکمیل شیمیایی آن با ترکیباتی مانند فسفر، هالوژن و مواد نیتروژن‌دار است. برای مثال اکسید دکابرومودی فنیل^۱ و برومید آمونیوم^۲، اوره و اسید فیتیک^۳، هیدرات هیدرازین^۴، سولفات هیدروکسی آمین و نمک‌های فلزی که به عنوان تأخیرانداز شعله استفاده می‌شوند از جمله این مواد هستند.

روش‌های متفاوتی برای کاربرد مواد دیرسوز بر الیاف اکریلیکی رسیده شده به روش متداول ترریسی، انجام می‌شود که می‌تواند شامل:

- فروردن الیاف در مواد دیرسوز بعد از رسیدن در مرحله ژل و قبل از خشک شدن؛
- عمل آوری الیاف قبل از به‌کارگیری مواد تکمیلی به کاربرده شده در مرحله ریسندگی؛
- اصلاح سطحی الیاف یا پارچه اکریلیک با مواد تأخیرانداز شعله؛

باید توجه داشت که به کارگیری این روش‌ها در تولید منسوجات اکریلیکی با صرفه باشد و استفاده از این روش‌ها امکان‌پذیر باشد.

کانبو لیمیتد^۵ به اصلاح الیاف اکریلیک در مرحله تولید ژل پرداخت در این روش از ۲۵ درصد محلول کوپلیمر PAN، سدیم آلایل سولفونات و وینیلیدین کلراید با نسبت‌های (۴۲:۲:۵۶) استفاده شد و الیاف بعد از رسیده شدن در دمای ۵۰°C، کشیده شده و پس از شستشو و تولید ژل، با درصد آب محتوی حدود ۲۲۹ درصد در وزن پلیمر، با محلول حاوی ۴۰ گرم بر لیتر آنتیموآن اکساید و برداشت ۱۵۰ درصد عمل آوری شد در نهایت نمونه خشک و در دمای ۱۲۰°C تثبیت گردید. LOI نمونه عمل آوری شده در حدود ۳۳ بوده و حاوی ۴ درصد اکسید آنتیموآن به صورت کلوئیدی بوده است [۱۲].

یکی از کارهای انجام شده جهت تکمیل دیرسوز منسوجاتی پلی‌اکریلونیتریل، تهیه سطح منسوجات برای پیوند با مونومرهای پلیمریزه شده و دیرسوز، با استفاده از پلاسما می‌باشد. مواد مورد استفاده در این تحقیق پارچه پلی‌اکریلونیتریل $290-300 \text{ g/m}^2$ ، مونومرهای حاوی فسفات، کراس لینک کننده و حلال بود [۱۳]. در ابتدای کار تکه‌ای از پارچه پلی‌اکریلونیتریل بریده شده و در محلول اتانولی حاوی مخلوط مونومرها و کراس لینک‌کننده

1. Decabromodiphenyl oxide
2. Ammonium bromide
3. Phytic acid
4. Hydrazine hydrate
5. Kanebo Limited

فرو برده می‌شود. پس از خروج از محلول بر صفحه شیشه‌ای قرار گرفته و در دستگاه پلاسما با فشار 40 Pa و توان 100 W به مدت ۱۵ دقیقه قرار می‌گیرد سپس منسوجات شسته شده و در دمای اتاق به مدت ۲ روز خشک می‌گردد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که پارچه عمل‌آوری شده با $3/6$ از ترکیبات فسفری دارای 28 LOI بوده و به کارگیری روش پلاسما موجب پیوند و پلیمریزه شده منومرها بر سطح منسوجات می‌شود [۱۳].

در یکی دیگر از روش‌های به کار رفته پارچه اکریلیک با 43 LOI در حدود 43 تولید گردید. در این تحقیق پارچه اکریلیکی با 8 درصد از محلول تیوسیومی کربازید در گلایکول و در دمای 180°C عمل‌آوری شد که نتیجه آن، قرارگیری حدود 16 درصد از مواد بر منسوجات بوده است. دمای تخریب پارچه عمل‌آوری شده تا حدود 400°C افزایش یافت این در حالی است که این دما برای منسوجاتی عمل‌آوری نشده در حدود 240°C می‌باشد [۱۲].

۱-۶-۵-۳- تولید منسوجات نایلونی دیرسوز

در طول جنگ جهانی دوم، اهمیت منسوجات ضدآتش برای کاربرد نظامی افزایش یافت ولی در این میان تلاش و کوشش جهت دیرسوز کردن نایلون‌ها چندان موفقیت‌آمیز نبود. در طول جنگ جهانی دوم نایلون برای اولین بار با استفاده از رزین تکمیل شد و در این مدت استفاده از رزین‌ها مانند ملامین فرمالدهید جهت دیرسوز کردن منسوجات متداول گردید. از سال ۱۹۴۰ ترکیبات بیشتری برای عمل‌آوری نایلون معرفی شد که این ترکیبات شامل ترکیبات هالوژن‌دار، ارگانو فسفرها، ترکیبات نیتروژنی، رزین‌ها، پلیمرهایی حاوی قلع یا سیلیکون و ترکیباتی غیر آلی بودند.

مواد دیرسوز مورد استفاده برای دیرسوز کردن نایلون و در مرحله پلیمریزاسیون فسفر قرمز و ترکیباتی فسفری مانند بیس (۲-کربوکسی اتیل) متیل فسفین اکساید (CEMPO) می‌باشد. فسفر قرمز گران بوده که در مواقع ضروری استفاده خواهد شد. بنابراین با ترکیباتی مانند هیدروکسید منیزیم یا تری هیدرات آلومینیم ترکیب خواهد شد که موجب اثر هم‌افزایی می‌گردد. در یکی از تحقیقات انجام شده کاپرولاکتام در حضور 5 درصد وزنی فسفر قرمز و 5 درصد وزنی اکسید منیزیم پلیمریزه شده که تولید نایلون 6 دیرسوز با LOI حدود $28/5$ می‌کند. این فرایند به وسیله سدیم یا لیتیم کاپرولاکتام و فعال شده با N -استیل کاپرولاکتام آغاز شده و اندازه ذرات فسفر قرمز در حدود کمتر از $40 \mu\text{m}$ می‌باشد [۲].

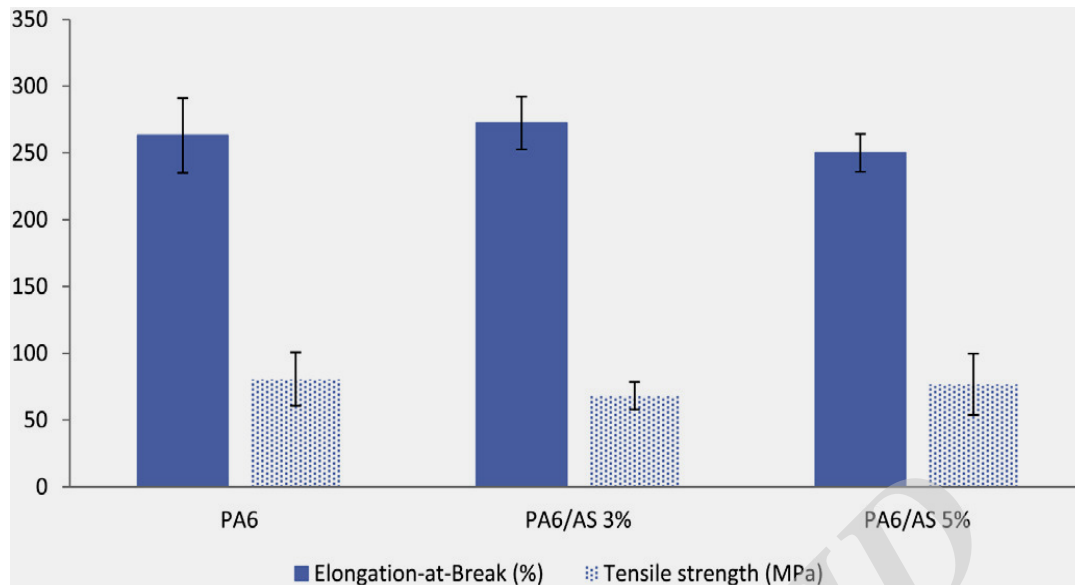
هنگامی که ترکیبات هالوژنه به عنوان افزودنی در مذاب ریسندگی نایلون‌ها استفاده می‌شود مشکل اساسی به واکنش‌های دهالوژنه و دهیدروهاالوژنه آن بر می‌گردد که در دماهای بالا رخ داده و در طول فرآیند ریسندگی و در دمای بالا و برای یک مدت طولانی، ثبات کافی نخواهد داشت [۲].

یکی از روش‌های اقتصادی به کاربردن تأخیراندازهای شعله استفاده از افزودنی‌ها به مذاب نایلون، هنگامی که ریسیده می‌شود می‌باشد ولی بیشتر افزودنی‌های فسفری، فلزی و هالوژنی در دماهای ریسندگی پایدار نیستند و خصوصیات پلیمر را تغییر می‌دهند بنابراین در انتخاب افزودنی‌های فسفری، هالوژنی و غیر آلی‌ها با وزن مولکولی پایین باید دقت کرد. بسیاری از ترکیباتی که به عنوان دیرسوز در مذاب ریسندگی استفاده می‌شوند ترکیبات با وزن مولکولی پایین فسفری، پلی‌اتیلن کلرینه شده، پنتااریتریتول برومینه شده، اکسید آنتیموان و ... می‌باشد [۲].

با وجود تلاش‌های بسیار، واکنشگر یا افزودنی مناسبی برای دیرسوز کردن پلی آمید ۶,۶ یا نایلون ۶ پیدا نشده است. استفاده از افزودنی‌ها مشکلات ثابتی منسوجات را کاهش می‌دهد ولی یکی از مشکلات مربوط به این مواد آن است که این مواد در فاز جامد و مایع، فاز جداگانه ای را شکل داده که استحکام الیاف ذوب ریزی شده را کاهش می‌دهند. تنها تعداد محدودی از افزودنی‌ها برای الیاف نایلون ۶ استفاده می‌شود که هم از لحاظ مکانیکی و هم از لحاظ قابلیت ریسندگی، کاربرد داشته باشد. به تازگی استفاده از نانو ذرات که حتی در میزان مصرف کم هم، قابلیت بالایی در دیرسوز کردن منسوجات دارند بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. تحقیقات اخیر برای دیرسوز کردن پلی‌آمیدها در این زمینه بیشتر براساس به کارگیری نانوذرات می‌باشد [۲].

در یکی از تحقیقاتی که به تازگی انجام شد از جمله ذراتی که در دیرسوز کردن منسوجاتی نایلونی استفاده گردید نانو ذرات فسفات بور بود که دمای ذوب آن در حدود 1000°C می‌باشد. این ذرات در مرحله ریسندگی به مذاب نایلون ۶ اضافه گردید. نتایج نشان داد که با افزودن این ذرات استحکام کششی فیلامنت‌ها و پیک سرعت رهایش گرما (pHRR) با شکل‌گیری ذغال و ایجاد مانع کاهش یافت. می‌توان اینگونه بیان نمود که استفاده از فسفات بور به علت تشکیل ذغال در مقایسه با دیگر مواد تأخیرانداز شعله متداول، خاصیت دیرسوز بهتری به منسوجات داد [۱۴].

در تحقیقات اخیر از دیگر موادی که جهت دیرسوز کردن منسوجات به مذاب نایلون ۶ اضافه گردید سولفات آمونیوم بود. تحقیقات نشان داد تا ۵٪ وزنی استفاده از سولفات آمونیوم امکان تولید الیاف وجود دارد ولی با افزایش آن تا ۷٪ وزنی موجب تولید الیافی گردید که در عین آنکه ریسیده می‌شود قابلیت شکنندگی دارد و در میزان های زیاد (۱۰٪ وزنی) امکان تولید الیاف نیست [۱۵].



شکل ۱-۱۵: ازدیاد طول تا حد پارگی و استحکام کششی پلی آمید خام، پلی آمید ۳/۶٪ سولفات آمونیوم و پلی آمید ۵/۶٪ سولفات آمونیوم [۱۵]

در شکل ۱-۱۳، ازدیاد طول تا حد پارگی و استحکام کششی برای پلی آمید خام، پلی آمید ۳ / ۶٪ سولفات آمونیوم و پلی آمید ۵/۶٪ سولفات آمونیوم ارائه شده است. اضافه کردن سولفات آمونیوم خصوصیات مکانیکی منسوجات را چندان تحت تأثیر قرار نداده و افزایش سولفات آمونیوم تا حدود ۵٪ وزنی تغییری در ازدیاد طول و استحکام کششی منسوجات به وجود نیآورده است. با افزایش سولفات آمونیوم پیک سرعت رهایش گرما و میزان گرمای آزاد شده THR بیشتر کاهش یافته است. PHRR برای لیف حاوی ۷٪ سولفات آمونیوم به میزان ۳۰٪ کاهش می‌یابد [۱۵].

به طور کلی هنگام استفاده از مواد دیرسوز در مذاب ریسندگی مشکلاتی در تخریب پلیمر به وجود می‌آید که به موجب آن، تکمیل پارچه‌های نایلونی و اصلاح سطحی آن نسبت به استفاده از افزودنی در مذاب پلیمری ترجیح داده می‌شود. پارچه نایلونی با موادی بر پایه تیواوره a یا فرمالدهید یا اوره و ملامین b متراکم شده عمل‌آوری می‌شود.

تعدادی از ترکیبات استفاده شده برای تکمیل سطحی پارچه‌های نایلونی در جدول ۱-۴ ارائه شده است. در یکی از تحقیقات انجام شده هیدروکسی متیله کردن نایلون ۶ با استفاده از ۳۶٪ فرمالدهید در دمای ۷۰-۸۰ و pH ۹-۱۰ برای ۱-۲ ساعت انجام شد. در ادامه با عمل‌آوری آن با پیروواتکس CP (N-متیلول دی متیل فسفونوپروپیون آمید) (۱۰-۵۰٪) برای ۳۰-۵ دقیقه و خشک کردن در دمای ۱۵۰-۱۸۰ در ۲-۶ دقیقه نمونه دیرسوز آماده شد که LOI آن حدود ۳۱/۴ بوده است این در حالی است که LOI نایلون ۶ هنگامی که تنها با فرمالدهید عمل‌آوری شود حدود ۲۳/۶ است [۲].

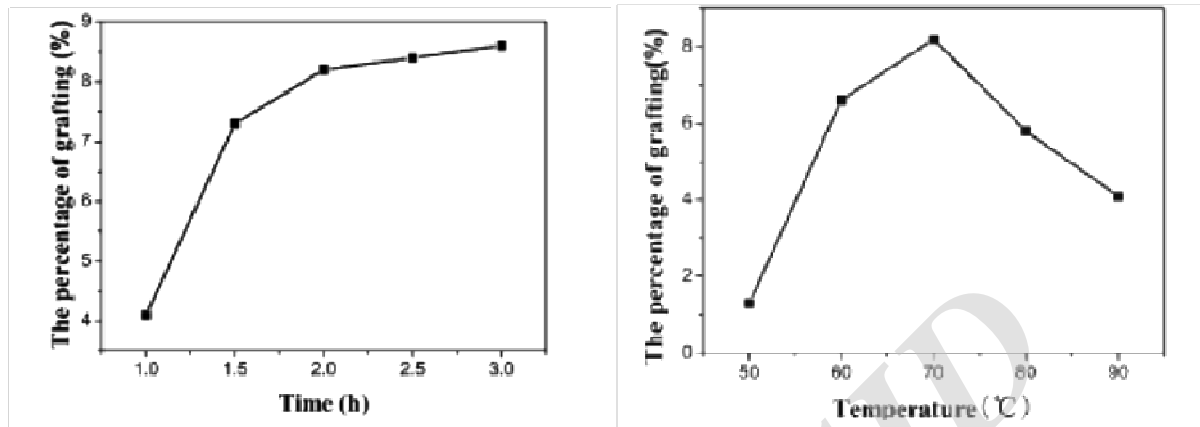
جدول ۱-۴: تکمیل شیمیایی منسوجاتی پلی‌آمیدی

تکمیل	خصوصیات
عمل‌آوری با HCHO (۳۶ درصد) پیروواتکس CP ^a ۱۰/۵ درصد	LOI ۳۱/۴ درصد
عمل‌آوری با پلی‌استرهای اسید بوریک (BAP)	LOI ۲۸/۲ درصد نیروی گسیختگی نسبی ۳۶/۸ CN/tex در مقابل ۴۴/۴ برای منسوجاتی غیر عمل‌آوری شده، سرعت تخریب الیاف از ۱۶ تا ۶/۵ mg/min کاهش یافته
عمل‌آوری با ۱۸/۵ درصد THPC ^b ۸/۵ درصد تری متیلول ملامین + ۸/۸ درصد اوره + ۰/۱ درصد سطح فعال	خاصیت دیرسوز مشاهده شد
عمل‌آوری با کراس لینک کننده ترکیبات ارگانو فسفرها با اساس ۱ و ۳ و ۵ تری اکریلوهاگزا هیدرو-۱ و ۳ و ۵ تری اکزید و اکسید دی آلکیل فسفین	خاصیت دیرسوز مشاهده شد
عمل‌آوری با نووالاک یا رزین اپوکسی شامل ۱ تا ۷ درصد فسفر قرمز	خاصیت دیرسوز مشاهده شد
عمل‌آوری با ۲۵ درصد ۵ و ۲ در کلرو بنزن سولفونیل کلراید در ۱۱۵ درجه برای ۴ ساعت	انرژی فعال‌سازی مرحله تخریب ΔE ۱۹۴ KJ/mol بدون مذاب تا دمای ۱۰۰۰ درجه و تولید ذغال با ۱۰ درصد کاهش استحکام
فسفرولیشن کردن پلی‌آمید	دمای تخریب ۳۵۰ درجه دمای ذوب ۲۷۰ تا ۲۸۵

در تحقیقی دیگر جهت دیرسوز کردن منسوجاتی نایلونی موادی نظیر منومر اکریل آمید بر سطح پارچه طی یک واکنش پلیمریزاسیون پیوند داده شد. برای این کار ابتدا پارچه نایلون ۶۶ در محلول بنزنی حاوی ۵٪ وزنی دی بنزوئیل پروکساید به عنوان آغازگر فرو برده و سپس از دستگاه پد عبور داده شد پس از آن در محلول منومر اکریل آمید جهت واکنش کوپلیمریزاسیون غوطه ور گردید. در این روش مدت زمان غوطه‌وری و دمای محیط تغییر کرده و در آخر پس از شستشو با استون جهت خروج منومرهای اضافی، منسوجات در دمای ۸۵ برای ۲۰ دقیقه خشک گردید [۱۶].

مطابق شکل ۱-۱۵، نتایج بدست آمده نشان داد که با افزایش دما تا حدود ۷۰°C و زمان تا ۲ ساعت میزان مواد پیوند داده شده بر سطح منسوجات افزایش یافته سپس کاهش می‌یابد. غلظت اولیه منومر اکریل آمید نیز بر میزان مواد کوپلیمریزه شده با سطح منسوجات مؤثر است تا جایی که با افزایش آن ویسکوزیته

محلول افزایش یافته بنابراین امکان دسترسی منومر به زنجیر اصلی پلی آمیدی کاهش یافته و میزان واکنش داده کمتر می‌شود [۱۶].

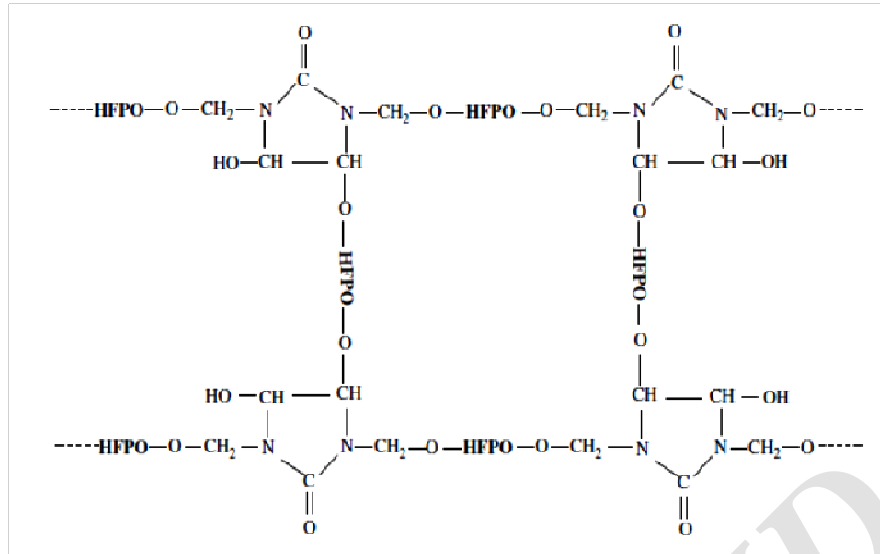


شکل ۱-۱۶: تغییرات میزان پیوند مونومر اکریل آمید a با تغییر زمان b با تغییر دما [۱۶]

نتایج نشان داد که خصوصیات مکانیکی و ثبات شستشویی منسوجاتی عمل‌آوری شده خوب بوده است و طول سوختگی و سرعت رهايش گرما کاهش یافت ولی میزان LOI بدست آمده از نمونه پیوند داده شده با منومر اکریل آمید در حدود ۲۲/۰ درصد بوده، که این میزان در مقایسه با نمونه بدون پیوند چندان زیاد نبوده است. باید توجه داشت خوب بودن خاصیت ضدآتش منسوجات به دلیل تشکیل گازهای غیر قابل اشتعال و تشکیل ذغال در حین سوختن منسوجات می‌باشد [۱۶].

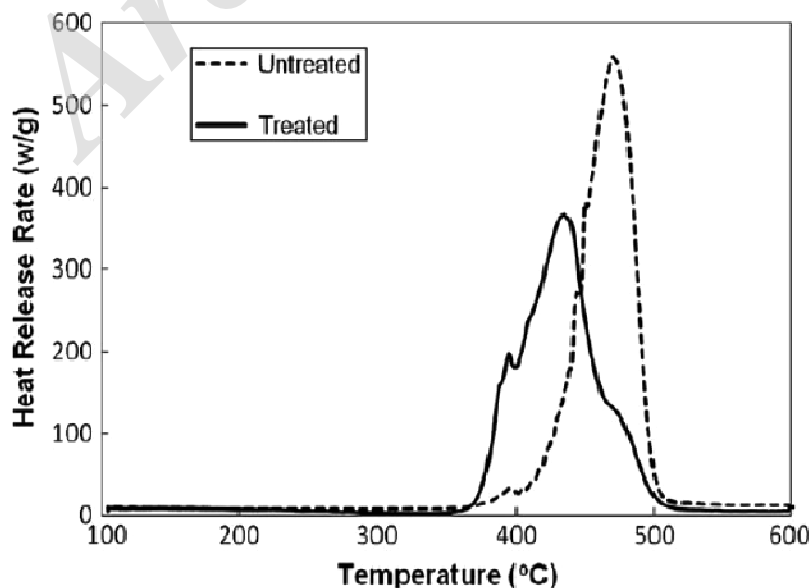
از دیگر کارهای صورت گرفته جهت اصلاح سطحی منسوجاتی نایلونی، پیوند منومر وینیل بنزیل آمونیوم کلراید در حضور ۲- هیدروکسی اتیل متا اکریلات با سطح پارچه نایلونی ۶ می‌باشد. برای این کار ابتدا پارچه نایلونی در مخلوط منومرها با حضور متانول و DMF فرو رفته و سپس در معرض اشعه گاما قرار گرفته است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد پارچه پیوند داده شده با منومرها قبل از آنکه شروع به سوختن کند ذوب نمی‌گردد [۱۷].

استفاده از مواد دیرسوز در کنار ترکیباتی به عنوان اتصال دهنده مانند ملامین یا اوره که قادر به ایجاد اتصالات عرضی با سطح منسوجات و مواد دیرسوز هستند، از جمله کارهایی است که جهت اصلاح سطحی منسوجات انجام می‌شود. در همین راستا و در یکی از تحقیقات انجام شده از ماده تأخیر انداز شعله ارگانو فسفر هیدروکسیل دار (HFPO) و مشتقات فرمالدهید ملامین، با ترکیب تری متیلول ملامین (TMM) و اوره با ترکیب دی متیلول دی هیدروکسی اتیلن اوره (DMDHEU) به عنوان اتصال دهنده استفاده گردید [۱۸].



شکل ۱-۱۷: نحوه واکنش اتصال دهنده DMDHEU با ترکیب HFPO [۱۹]

برای این کار ابتدا پارچه در محلول حاوی ماده دیرسوز، اتصال دهنده و کاتالیست NH_4Cl فرو رفته سپس در دمای ۹۰ به مدت ۱/۵ دقیقه خشک و در دمای ۱۶۵ به مدت ۲ دقیقه پخت گردید. میزان برداشت برای پارچه حدود ۵۲ درصد بوده است. نتایج بدست آمده نشان داد TMM و DMDHEU قابلیت اتصال با ماده ضدآتش و پارچه نایلونی را داشته و ماده ضدآتش بر منسوجات از ثبات شستشویی خوبی برخوردار بوده است. با اندازه‌گیری میزان فسفر باقی مانده بر پارچه، DMDHEU به عنوان اتصال دهنده، عملکرد بهتری نسبت به TMM داشته، در شکل ۱-۱۶، نحوه پیوند اتصال دهنده DMDHEU با ترکیب HFPO آمده است [۱۸]. با بررسی خاصیت ضدآتش منسوجات مشخص شد با پیوند HFPO بر سطح پارچه مطابق شکل ۱-۱۷، پیک سرعت رهائش گرما و مساحت زیر منحنی یا گرمای آزاد شده کل، کاهش یافته است.



شکل ۱-۱۸: سرعت رهائش گرما برای نمونه خام و نمونه عمل‌آوری شده با HFPO [۱۹]

در یکی از تحقیقاتی که به تازگی انجام شده است، برای جلوگیری از چکه کردن منسوجاتی نایلونی هنگام سوختن از ترکیب آمونیوم پلی فسفات APP با درجه پلیمریزاسیون متفاوت، ملامین و پنتاریتریتول استفاده شد. مواد مورد نظر با ۷۰ درصد برداشت بر منسوجات پد، و در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد برای ۴ دقیقه خشک گردید. نتایج نشان داد که با افزایش درجه پلیمریزاسیون میزان LOI کاهش یافته و بیشترین میزان LOI در ترکیب ملامین، پنتاریتریتول و آمونیوم پلی فسفات، با درجه پلیمریزاسیون پایین‌تر، بدست آمد که در نتیجه اثر هم افزایی آمونیوم پلی فسفات به عنوان منبع اسیدی، ملامین به عنوان منبع گازی و پنتاریتریتول به عنوان منبع شکل‌گیری ذغال در دیرسوز کردن منسوجات به وجود آمده است. این ترکیب ثبات شستشویی بالایی نداشته و برای منسوجاتهای تجاری مانند فرش و پرده که نیاز به شستشوی زیادی ندارند قابل استفاده است [۱۹].

۱-۶-۵-۴- منسوجات دیرسوز شده با الیاف ترکیبی

استفاده از الیاف ترکیبی در طول ۴۰ سال گذشته افزایش یافته است که کاربرد روزافزون این الیاف به علت قیمت مناسب و عملکرد مناسب این مواد می‌باشد. با روش‌های گوناگونی می‌توان الیاف ترکیبی ضدآتش تولید کرد که شامل:

- ترکیب الیافی که ذاتاً دیرسوز هستند؛

- ترکیب الیافی دیرسوز و الیافی که قابلیت احتراق دارند؛

- تکمیل شیمیایی الیاف ترکیبی قابل احتراق؛

در میان الیاف ترکیبی، به کارگیری ترکیبات پلی استر/اکریلیک، پنبه/اکریلیک قابلیت تعامل با یکدیگر در دیرسوز شدن را نداشته ولی به کارگیری پنبه/اکریلیک، پنبه/پلی‌آمید مخصوصاً ترکیبات حاوی پشم مانند پشم/پلی‌استر از تعامل مناسبی در این خصوص برخوردارند. به‌عنوان مثال پنبه با ضریب اکسیژن محدود ۱۹-۱۸ درصد، هنگامیکه به نسبت ۶۰/۴۰ با مداکریلیک با ضریب اکسیژن محدود ۳۳ درصد مخلوط می‌گردد، ضریب اکسیژن محدود مخلوط آن به ۳۵ درصد افزایش می‌یابد [۲۰].

نرخ سوختن در الیاف ترکیبی به سرعت سوختن و دمای سوختن جزئی نزدیک‌تر است که سریع‌تر می‌سوزد و انتظار می‌رود میزان LOI برای الیاف ترکیبی، میزان متوسط هر دو لیف باشد ولی عموماً انحراف از این مقدار مشاهده شده است. هدف از الیاف ترکیبی تولید موادی است که خاصیت خود خاموش شوندگی داشته باشد. به دلیل اهمیت تجاری ترکیب پنبه/پلی‌استر با ایجاد به اصطلاح اثر داربست هنگام سوختن، تحقیقات زیادی بر این منسوجات انجام شده است [۲۰].

رفتار سوختن پلی‌استر و پنبه به درستی شناخته شده نمی‌باشد و اثر داربست ارائه شده توسط کروس ۱ شاید یکی از علت‌های غیر قابل پیش بینی بودن رفتار این الیاف باشد. در تحقیقات اولیه توسط تسرو ۲ و میسر ۳ نشان داده شد که میزان LOI ترکیب این دو لیف از LOI پنبه ۱۰۰ درصد کمتر است. به طور کلی هنگامی که الیاف به صورت ترکیب استفاده می‌شوند در مقایسه با زمانی که الیاف به صورت ۱۰۰ درصد استفاده می‌شود کمتر رفتار قابل انتظار در دیرسوز شدن را از خود نشان می‌دهند.

اکثر الیاف طبیعی در برابر آتش، سوخته ذغالی برجای می‌گذارند؛ در حالیکه الیاف مصنوعی ذوب شده و قطرات مذاب ایجاد می‌کنند. ترکیب این دو، رفتار حرارتی مشکلاتی را به همراه دارد که سبب می‌شود مخلوط تشکیل شده ضدآتش نگردد، زیرا توده ذوب شده ناشی از الیاف مصنوعی خود منبع حرارتی برای سوخته ذغالی حاصل از الیاف طبیعی، ایفا می‌کند و از این رو ترکیب نهایی سریع‌تر می‌سوزد [۲۰].

برای مثال رفتار مخلوط الیاف پشم و پلی‌استر در برابر شعله است. هنگامی که الیاف پشم تکمیل دفع آتش شده با Zirpro با الیاف کوپلیمر ذاتاً ضدآتش شده پلی‌استر با متیل پروپیونیل فسفین‌اسید مخلوط می‌شوند و در برابر شعله قرار می‌گیرند، به سرعت می‌سوزد. از این رو تحقیقات برای ضدآتش کردن مخلوط الیاف مختلف از اهمیت خاصی برخوردار بوده و همچنان ادامه می‌یابد.

۷-۱- روش‌های ارزیابی اشتعال پذیری منسوجات

پارامترهای متنوعی نظیر نوع الیاف، وزن آنها، ساختار منسوج و همچنین تکمیل‌های ضدآتش انجام شده، بر رفتار منسوج در برابر آتش و شعله، اثرگذار هستند. از طرف دیگر متناسب با کاربرد منسوجات معیارهای ارزیابی ضدآتش متفاوتی وجود دارد که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۷-۱-۱- ضریب اکسیژن محدود (LOI)

یکی از روش‌های رایج اندازه‌گیری معیار ضدآتش، اندازه‌گیری پارامتر ضریب اکسیژن محدود است که مطابق استاندارد ASTM D 2863 اندازه‌گیری می‌شود. پارامتر ضریب اکسیژن محدود طبق تعریف عبارت است از مقدار اکسیژن در مخلوط اکسیژن و نیتروژن است که مانع از سوختن نمونه می‌گردد.

روش انجام آزمایش تعیین مقدار ضریب اکسیژن محدود به این صورت است ۱۰ نمونه با ابعاد ۵×۱۵cm تهیه می‌شود. لازم بذکر است هر نمونه باید حداقل ۸۸ ساعت در محفظه در دمای $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ و رطوبت

محتوی 50 ± 5 ٪ نگهداری شوند و بلافاصله بعد از خارج شدن، آزمایش اندازه‌گیری ضریب اکسیژن محدود انجام شود. پارامتر ضریب اکسیژن محدود با استفاده از رابطه زیر و به صورت درصد بیان می‌شود:

$$LOI = \frac{O_2}{(O_2 + N_2)} \times 100 \quad 1-1$$

در جدول ۵-۱، نوع سوختن و مقدار این پارامتر برای برخی از الیاف گزارش شده است.

جدول ۵-۱: مقادیر ضریب اکسیژن محدود (LOI) الیاف و نوع سوختن آنها در هوا

نوع الیاف	ضریب اکسیژن محدود (%)	سوختن در هوا
اکریلیک	۱۸/۲	به راحتی جرقه می‌زند، سریع می‌سوزند.
پنبه	۱۸/۴	
ویسکوز	۱۸/۶	
پلی پروپیلن	۱۹	
پلی استر (PET)	۲۰-۲۱	معمولاً جرقه می‌زند و می‌سوزند.
نایلون ۶ و ۶۶	۲۰-۲۱/۵	
پشم	۲۵	معمولاً در مقابل جرقه مقاومند.
مداکریلیک	۲۹-۳۰	
متا - آرامید	۲۸-۳۱	
پارا - آرامید	۲۹-۳۱	
فنل - فرمالدئید از نوع Kynol	۳۰-۳۴	تحت شرایط جداگانه ضدآتش هستند مثلاً با هوای سنگین دارای $LOI > 30$
ملامین فرمالدئید از نوع Basofil	۳۲	
پلی (آرامید - ایمید) (Kermel)	۳۲	
پلی فنیلن سولفید (PPS)	۳۴	
پلی اتر اتر کتون (PEEK)	۳۵	
پلی ایمید (P1, P84)	۳۶-۳۸	
پلی بنزید یمیدازول (PBI)	>۴۱	
پلی اتر ایمید (PEI)	۴۴-۴۵	
اکریلیک جزئی اکسید شده (Preox, Pnox)	۴۵-۵۵	
پلی (وینیلیدین / وینیل کلراید) PVDC	۶۰	
پلی بنزوکسی آزول (PBO, Zylon)	۶۸	
پلی تترا فلئورو اتیلن (PTFE)	۹۸	
شیشه و الیاف سرامیکی، ترکیبات معدنی با بالاترین میزان اکسیداسیون	—	اصلاً نمی‌سوزند حتی در اکسیژن خالص تنها ذوب و (LOI 100) می‌شوند.

۱-۷-۲- روش اندازه‌گیری TGA

یکی از آزمایش‌های رایج در بررسی رفتار ترکیبات متفاوت ضدآتش بر منسوج، روش اندازه‌گیری Thermo Gravimetric Analysis (TGA) است. در این روش تغییر جرم نمونه بعنوان تابعی از دما یا تابعی از زمان در حالت هم‌دما اندازه‌گیری می‌شود و از روی تغییرات وزن نسبت به حرارت، میزان تأثیر ماده ضدآتش بررسی می‌گردد. در استاندارد ASTM E1131 03، روش انجام آزمایش TGA شرح داده شده است.

۱-۷-۳- اندازه‌گیری طول و سرعت سوختگی

یکی از روش‌های معمول در ارزیابی کالای دیرسوز شده، اندازه‌گیری پارامتر طول سوختگی آن می‌باشد. طبق تعریف طول سوختگی یک پارچه برابر است با طول سوخته شده از یک پارچه با ابعاد معین که در یک مدت زمان و فاصله مشخص در معرض شعله قرار دارد. روش انجام اندازه‌گیری طول و سرعت سوختگی پارچه در استانداردهای مختلفی ارائه شده است. در اغلب این استانداردها روش آزمایش و محاسبه طول و سرعت سوختن مشابه است ولی اندازه نمونه‌ها، مشخصات شعله و نحوه قرارگیری شعله و نمونه نسبت به یکدیگر متفاوت است.

در یکی از استانداردهای اندازه‌گیری طول و سرعت سوختگی پارچه، پارچه در ابعاد 7×14 سانتی‌متر بریده می‌شود و در یک مکان با استفاده از وسایل نگه‌دارنده ثابت می‌شود. برای انجام عملیات سوختن از یک شعله با طول ۲ سانتی‌متر، در فاصله ۲ سانتی‌متری از لبه پارچه استفاده می‌شود. برای آزمایش نمونه‌ها لازم است تا پارچه در معرض شعله به مدت ۱۲ ثانیه قرار گیرد. در این زمان، میزان پیشروی آتش بر روی پارچه (طول سوختگی) محاسبه می‌گردد. با تقسیم طول سوختگی بر زمان در معرض شعله بودن (۱۲ ثانیه)، سرعت سوختگی نیز تعیین می‌شود.

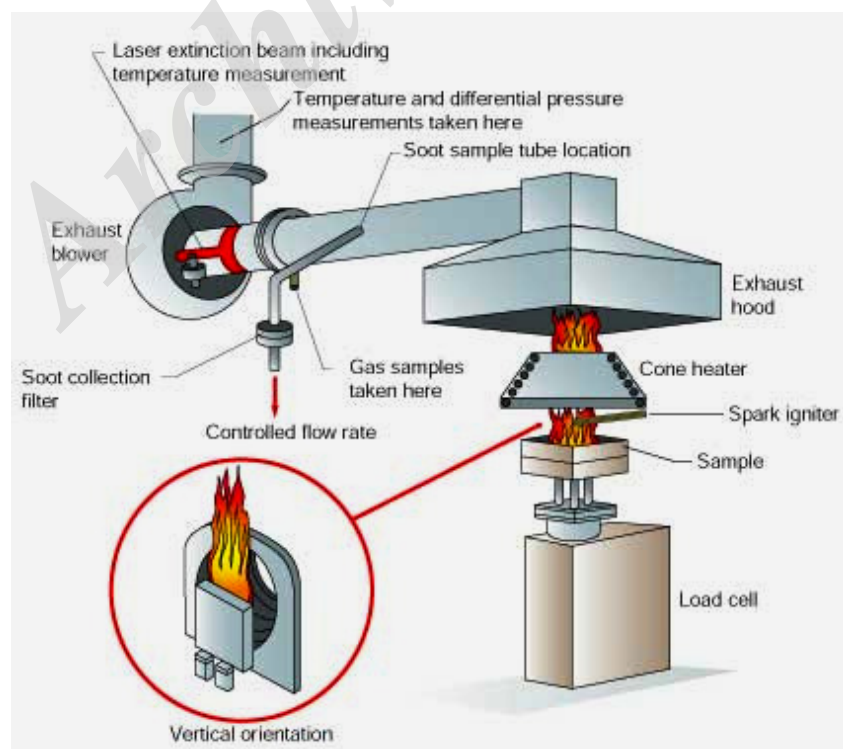
۱-۷-۴- روش گرماسنجی مخروطی^۱

یکی از روش‌های اندازه‌گیری کمی آتش‌پذیری مواد، استفاده از آزمون گرماسنجی مخروطی یا (MCC) می‌باشد که تحت استاندارد ASTM E 1354/ISO 5660 است. اندازه نمونه‌ها در این روش 100×100 mm و ضخامت نمونه‌ها بین ۶ تا ۵۵ mm می‌باشد. نمونه‌ها در معرض هیتر برقی با شارژ الکتریکی ۱۰ تا ۱۰۰ kW/m^2 بوده و جرقه الکتریکی برای احتراق محصولات پیرولیز آزاد شده به وسیله نمونه، استفاده می‌گردد. در این روش همه محصولات تجزیه شده و هوا توسط هود جمع‌آوری شده و نمونه گاز گرفته شده، برای تعیین غلظت اکسیژن موجود آنالیز می‌شود. این دستگاه به لیزری برای اندازه‌گیری دود و CO_2/CO مجهز بوده و میزان گرمای آزاد شده را می‌توان با کاهش اکسیژن و دبی جرمی محاسبه نمود [۸]. نمایی از یک

1. Cone calorimetry

دستگاه گرماسنجی مخروطی در شکل ۱۸-۱ نشان داده شده است. پارامترهای کلیدی بدست آمده طی گرماسنجی مخروطی عبارتند از:

- زمان اشتعال (TTI): زمان پایداری اشتعال نمونه (برحسب ثانیه)
- سرعت رهایش گرما (HRR): سرعت رهایش گرما (واحد kW/m^2)، با کمک کالریمتری اکسیژن مصرف شده اندازه‌گیری می‌شود.
- پیک سرعت رهایش گرما (Peak HRR): بیشینه مقدار سرعت رهایش گرما در طول اشتعال نمونه. بیشینه مقدار رهایش گرما در زمانی که نمونه در غیاب آتش خارجی یا منبع احتراق به سوختن ادامه دهد.
- کل وزن از دست رفته: با استفاده از سل در انتهای آزمایش میزان کل مواد که از نمونه سوخته شده است تعیین می‌گردد.
- کل گرمای آزاد شده (THR): مساحت زیر منحنی سرعت رهایش گرما (واحد MJ/m^2)، کل گرمای آزاد شده در طول زمان سوختن TTI
- کل دود آزاد شده: میزان کل دود تولید شده به وسیله نمونه در طول سوختن در گرماسنج. دود بیشتر به علت احتراق ناقص نمونه یا به علت ساختمان شیمیایی آن می‌باشد [۷].



شکل ۱۹-۱: گرماسنج مخروطی [۷]

با توجه به دستگاه‌های موجود در کشور جهت ارزیابی میزان اشتعال‌پذیری منسوجات، دراستفاده از این دستگاه‌ها و روش‌ها محدودیت‌هایی وجود دارد و در مواردی مانند روش ارزیابی با استفاده از گرماسنجی مخروطی، امکان استفاده از این دستگاه در داخل کشور نیست. بنابراین برای برآورد میزان آتش‌پذیری منسوجات ناگزیریم از روش‌های ساده‌تر استفاده نموده تا با محدودیت کمتری نیز همراه باشد.

۱-۷-۵- بررسی نتایج بدست آمده از ارزیابی سوختن نمونه‌ها

با توجه به آزمایشات انجام شده برای بررسی خاصیت اشتعال‌پذیری پارچه توجه به نکاتی لازم و ضروری است برای مثال میزان LOI با افزایش دما بیشتر می‌شود بنابراین آزمایش‌ها در دمای اتاق انجام شده و منسوجاتی که در حین انجام آزمایش ذوب می‌شوند یا تولید قطره می‌کنند به علت دورکردن آتش از سطح ماده، موجب افزایش میزان LOI می‌گردند در نتیجه عدد گزارش شده ناصحیح می‌باشد.

یکی دیگر از محدودیت‌های آزمایش LOI، در ارتباط با سیستم‌های دارای نانو ذرات است. حضور این ذرات موجب تولید لایه‌ای حفاظتی بر سطح لیف می‌گردد که در نتیجه انتشار آتش را در داخل نمونه کاهش می‌دهد ولی باعث افزایش نرخ گسترش شعله در سطح پارچه می‌گردد بنابراین LOI نمونه کاهش می‌یابد. نتایج بدست آمده از این آزمون در تناقض کامل با نتایج آزمایش گرماسنجی مخروطی و UL ۹۴ است.

بررسی خاصیت آتش‌پذیری پارچه با استفاده از روش گرماسنجی مخروطی، بی‌شک از بهترین روش‌های انجام آزمایش است و نتایج بدست آمده از آن دقیق‌تر می‌باشد. بسیاری از ترکیبات دیرسوز باعث کاهش PHRR و افزایش زمان احتراق می‌گردند اما میزان کل گرمای آزاد شده را تغییر نمی‌دهند. برای این منظور می‌توان در نظر گرفت که این مواد با آزادسازی همان مقدار گرما در دوره زمانی طولانی‌تر موجب کاهش قابلیت آتش‌پذیری منسوج شده‌اند. [12].

۱-۸- جمع بندی

با توجه به نیاز کشور و افزایش سطح آگاهی مردم در خصوص ایمنی، ضدآتش کردن منسوجاتی که در زندگی روزمره با آنها سر و کار داریم، لازم و ضروری است. از آنجا که تولید منسوجات دیرسوز به روش تکمیل شیمیایی با در نظر گرفتن امکانات موجود در کشور و هزینه‌های جانبی آن روشی است که می‌توان برای تولید منسوجاتی دیرسوز استفاده کرد. بنابراین در ادامه به بررسی ضدآتش کردن منسوجات با جنس‌های پلی‌استر، نایلون، اکریلیک و پنبه/پلی‌استر با استفاده از روش تکمیل شیمیایی پرداخته می‌شود.

فصل دوم

تولید نمونه‌های آزمایشگاهی منسوجات منتخب ضد آتش و انتخاب نسخه بهینه

۲-۱- مقدمه

عملیات تکمیل را می‌توان به دو بخش کاملاً متفاوت از قبیل تکمیل شیمیایی و تکمیل مکانیکی تقسیم کرد. تکمیل شیمیایی شامل اضافه کردن مواد شیمیایی (تر) به منسوجات به منظور کسب نتیجه مطلوب می‌باشد. به این طریق می‌توان خواص فیزیکی از قبیل ثبات ابعادی و خواص شیمیایی نظیر دیرسوز کردن را بدون تغییر در ظاهر منسوج تکمیل شده بهبود بخشید. در تکمیل مکانیکی معمولاً از وسایل فیزیکی (مخصوصاً مکانیکی) برای تغییر خواص پارچه استفاده می‌شود که اغلب ظاهر پارچه را به خوبی تغییر می‌دهند [۸].

طبق بررسی‌های انجام شده در تعیین جنس پارچه‌های متداول که در مصارف خانگی و پوشاک، بیشتر استفاده می‌شود چهار نوع پارچه انتخاب گردید که دیرسوز کردن این پارچه‌ها در شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفته و بهترین شرایط اعلام شد. لازم به ذکر است که پارچه‌های انتخاب شده شامل پارچه پنبه/پلی‌استر، پلی‌استر، نایلون و اکریلیک می‌باشد که رزین‌های گوناگون و موجود در کشور در دیرسوز کردن این پارچه‌ها استفاده گردید. روشی که برای دیرسوز کردن این پارچه‌ها استفاده شد تکمیل شیمیایی بوده که جهت انجام این فرآیند از روش آغشته سازی خشک-پخت استفاده شد. در ادامه مشخصات هر یک از پارچه‌های استفاده شده و روش‌های دیرسوز کردن آنها معرفی می‌شود.

۲-۲- مواد مورد نیاز برای دیرسوز کردن منسوجات متداول

در تهیه نسخه نهایی تکمیل شیمیایی، لازم است عوامل مهمی از قبیل نوع منسوج مورد استفاده (لیف و ساختار آن)، میزان کارایی و پایداری مورد نیاز در تکمیل، صرفه اقتصادی، محدودیت اعمال شده بر فرآیند به واسطه میزان دسترسی به ماشین‌آلات، شرایط لازم در فرآیند، مسائل زیست محیطی، سازگاری مواد مختلف موجود در تکمیل و برهم کنش نتایج حاصل از عملیات مورد توجه قرار گیرد [۸].

با توجه به کمبود مواد دیرسوز تولید شده در ایران و همچنین مواد وارداتی خارج از کشور، ما به بررسی اثر رزین‌های دیرسوز کننده که در حال حاضر در کشور در دسترس بودند پرداخته و نتایج آنها مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار رزین‌های متفاوتی برای پارچه‌ها استفاده شد و نتایج حاصله از آنها با یکدیگر مقایسه گردید. جهت افزایش ثبات و خاصیت دیرسوزی منسوجات، مواد کمکی و جانبی نیز همراه با مواد دیرسوز کننده استفاده شد که در ادامه اثر هر یک از این مواد و عملکرد آنها در دیرسوز شدن منسوجات بررسی می‌شود.

۲-۲-۱- مشخصات پارچه‌های استفاده شده

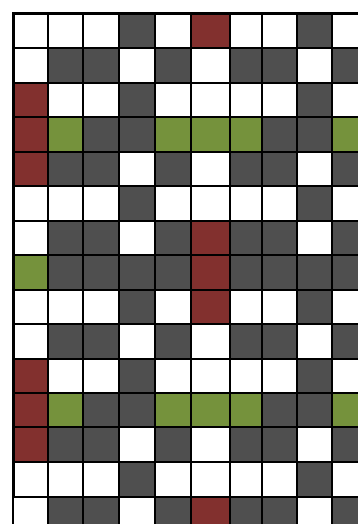
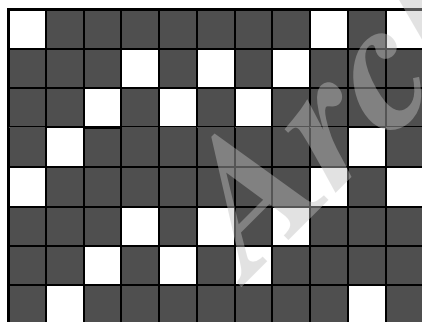
پارچه‌های مورد استفاده در منسوجات با توجه به کاربرد و عملکرد مدنظر آنها، دارای ساختمان و جنس-های متفاوتی می‌باشد. هدف از این تحقیق بررسی دیرسوز کردن پارچه‌هایی است که بیشتر در اماکن عمومی و پوشاک مصرف می‌شوند. مشخصات پارچه‌های مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱-۲ ارائه شده است.

جدول ۱-۲: مشخصات پارچه‌های مورد استفاده در این تحقیق

کد نمونه	مورد استفاده پارچه	جنس	وزن (g/m^2)	طرح بافت	رنگ پارچه
AC	پتو مسافرتی به سفارش هواپیمایی ماهان	اکریلیک	180 ± 10	-	سفید/ صورتی
PS ₁	رومبلی	پلی استر	350 ± 10	*	قهوه‌ای
PS ₂	پرده	پلی استر	300 ± 10	**	کرم
PS ₃	پارچه ساده	پلی استر	120 ± 10	تافته	سفید (بدون رنگریزی)
PS ₄	پتو مسافرتی	پلی استر	200 ± 10	سرژه	سفید/قرمز/ مشکی
PA	کوله نظامی	نایلون ۶	455 ± 10	حلقوی تاری	سفید (بدون رنگریزی)
PC	البسه	پنبه/پلی استر (۸۰%/۲۰%)	195 ± 10	سرژه	طوسی

** پرده‌ای

* رومبلی



نخ تزئینی پود
نخ عادی تار
نخ عادی پود
نخ تزئینی تار



مطابق جدول ۲-۱، جنس پارچه‌ها پنبه/پلی‌استر (مصرف پوشاک)، نایلون، پلی‌استر و اکریلیک (مصرف در اماکن عمومی و منزل) و از نوع تار-پودی و حلقوی می‌باشد که اکثراً در قالب پتو، پرده و البسه کاربرد دارند. با توجه به استفاده بیشتر پارچه‌های پلی‌استری نسبت به پارچه‌های دیگر، در این تحقیق منسوجاتی نظیر پرده، پتو و رومبلی از جنس پلی‌استر مورد آزمایش قرار گرفته و پس از تکمیل آنها میزان شعله‌وری و نحوه سوختن آنها بررسی شد.

۲-۲-۲-۲-۲ رزین دیرسوز کننده

چهار نوع پارچه که در بخش قبل مشخصات آنها ذکر شد با استفاده از مواد دیرسوز کننده تکمیل گردید که جهت دیرسوز شدن هر یک از پارچه‌ها با توجه به جنس و موارد مصرف آنها، شرایط خاصی به کار گرفته شد. مشخصات مواد دیرسوز کننده مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۲-۲، ارائه شده است.

جدول ۲-۲: رزین‌های دیرسوز کننده جهت تکمیل شیمیایی منسوجات

نوع رزین ضد آتش	شکل ظاهری	پایه شیمیایی	pH اولیه	حلالیت
رزین SP	مایع شفاف	ترکیب فسفری	$2/8 \pm 1/0$	در آب به خوبی حل می‌شود
رزین CE	مایع شفاف کمی زرد رنگ	ترکیب آلی فسفری	$4/5 \pm 1/0$	در آب به خوبی حل می‌شود
رزین AS	مایع شفاف زرد رنگ	بر پایه استر اسیدهای چرب	$6/5-7/5$	در آب به خوبی حل می‌شود
رزین PR	مایع شفاف	-	5 ± 1	در آب به خوبی حل می‌شود

باید توجه داشت که پارچه‌های متداولی نظیر این نوع پارچه‌ها، در حضور شعله به شدت آتش گرفته و با خارج شدن از شعله، تولید جرقه و قطره‌های مذاب کرده و به سوختن خود همچنان ادامه می‌دهند. هدف از دیرسوز کردن این پارچه‌ها استفاده از موادی است که یا سوخته ذغالی بر جای گذاشته و تولید مذاب را کاهش دهند و یا در حضور آتش دیرتر آتش گرفته و با خارج شدن از شعله خاموش شوند که در این حالت به اصطلاح به آن خاصیت خود خاموش‌شوندگی گویند. در این تحقیق این رزین‌ها با توجه به دستورالعمل سازنده ماده و شرایط ذکر شده در آن، بر روی پارچه‌های متفاوت استفاده شد و میزان اثرگذاری آنها بر روی دیرسوز شدن منسوجات، مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۲-۲-۳ رزین پشت پوشی

برای جذب بهتر مواد دیرسوز کننده بر سطح منسوجات از رزین‌های پشت پوشی استفاده می‌گردد. ثبات ماده دیرسوز کننده در روش پشت‌پوشی به بیندر و مقاومت آن در برابر هیدرولیز بستگی دارد. این رزین‌ها با ایجاد شبکه بین مواد دیرسوز و منسوجات به تثبیت بهتر این مواد بر منسوجات کمک کرده و ثبات

شستشویی آن را افزایش می‌دهند. یکی از مواردی که در این تحقیق انجام شده است بررسی وجود یا عدم وجود این مواد در کنار مواد دیرسوز کننده بوده که تأثیر هریک در فرآیند دیرسوز شدن منسوجات بررسی شد. در جدول ۲-۳ خصوصیات هریک از این رزین‌ها ارائه شده است.

جدول ۲-۳: رزین‌های پشت‌پوشی استفاده شده جهت دیرسوز کردن منسوجات

نوع رزین	پایه شیمیایی	رنگ رزین	pH اولیه	حلالیت
رزین BG	فلوئورو پلی اکریلات	زرد رنگ و غیر شفاف	-	در آب حل می‌شود
رزین PU	پلی یورتان	سفید رنگ و غیر شفاف	۷/۵-۸	در آب حل می‌شود
رزین AC	اکریلات	سفید رنگ و غیر شفاف	۴	در آب حل می‌شود
رزین RMS	ملامین	شفاف	-	در آب حل می‌شود

۲-۳- تجهیزات استفاده شده جهت دیرسوز کردن منسوجات

در صنعت نساجی و پوشاک، تکمیل بر روی پارچه به منظور افزایش درخشندگی، نرمی، زیبایی و ثبات دائمی انجام می‌شود. در عملیات تکمیل، پارچه تحت اعمال شیمیایی و مکانیکی قرار می‌گیرد و علاوه بر این که ارزش تجاری آن بالاتر می‌رود، مشتری‌پسندتر نیز می‌شود.

پارچه‌ها با توجه به نوع و جنس‌شان، از عملیات تکمیلی برخوردار می‌باشند. پارچه‌های با جنس الیاف گیاهی، حیوانی و یا مصنوعی هر کدام عملیات تکمیلی خاص خود را می‌طلبند و با توجه به کاربرد نهایی آن، نیازمند تکمیل‌هایی چون دیرسوز، ضد آب و ... می‌باشند. روش واقعی کاربرد تکمیل، وابسته به مواد شیمیایی خاص، پارچه و در دسترس بودن دستگاه است.

آن دسته از مواد شیمیایی که دارای میل جذبی شدید به سطح لیف می‌باشند را می‌توان اغلب پس از کامل شدن رنگرزی و در یک فرایند ناپیوسته، توسط رمق‌کشی در ماشین رنگرزی به کار برد. آن دسته از مواد شیمیایی که میل جذبی نسبت به لیف ندارند، در فرایندهای پیوسته مختلف نظیر آغشته‌سازی منسوج در محلول مواد شیمیایی و یا استفاده از برخی وسایل مکانیکی برای انتقال محلول روی پارچه به کار برده می‌شوند.

پس از تکمیل، پارچه باید خشک شود و در صورت لزوم، مواد تکمیلی از طریق حرارت‌دهی بیشتر در مرحله تثبیت حرارتی، روی پارچه تثبیت گردند. منسوجات خیس در سه منطقه آب را در خود نگه می‌دارند بخش زیادی از آب درون منسوج با پیوندهای ضعیف بر سطح پارچه و درون خلل و فرج‌ها وجود دارد. مقدار زیادی از این آب را می‌توان با استفاده از عملیات مکانیکی نظیر فشردن، نیروی گریز از مرکز یا استخراج به وسیله خلا از پارچه خارج کرد. آب باقیمانده، یعنی آب موجود در مجراهای مویین نخ و آب جذب شده درون لیف، باید از طریق تبخیر و به کمک وسایل حرارتی حذف گردد.

به منظور افزایش دمای پارچه و رسیدن به دمای بهینه مطلوب برای تثبیت حرارتی، می‌توان از وسایل گرمایشی مشابه با آنچه در خشک کردن منسوجات خیس به کار می‌رود استفاده کرد. اما تا حذف کامل آب دمای پارچه نمی‌تواند از ۱۰۰ درجه بالاتر رود [۸]. در این تحقیق برای دیرسوز کردن منسوجات، مواد مورد نظر به روش پوشش‌دهی بر سطح منسوجات قرار می‌گیرد که این کار مستلزم استفاده از دستگاه استنتر و فولارد می‌باشد. در ادامه به معرفی هر یک از این دستگاه‌ها می‌پردازیم.

۲-۳-۱- دستگاه فولارد

جهت تکمیل منسوجات، پس از آغشته سازی آن با مواد، برای رسیدن به یکنواختی و قرار گرفتن میزان مشخصی از مواد بر منسوجات از دستگاه فولارد استفاده می‌شود. نحوه عملکرد این دستگاه به این صورت است که منسوجات بعد از گذشتن از حوضچه حاوی مواد دیرسوز کننده از میان غلتک‌های فولارد با فشار مشخصی عبور کرده سپس وارد مرحله خشک و تثبیت می‌گردد مطابق با فشار اعمال شده توسط غلتک‌ها میزان برداشت منسوجات از مواد، تعیین می‌گردد.



شکل ۱-۲: دستگاه فولارد

دستگاه فولارد از دو یا سه غلتک تشکیل شده است که با استفاده از فشار باد یا فنر با یکدیگر در تماس هستند. دستگاه فولارد استفاده شده در این تحقیق در شکل ۱-۲ آمده است. فشار ایجاد شده در این دستگاه به کمک باد بوده و غلتک‌ها نسبت به هم به صورت افقی قرار گرفته‌اند. جهت بدست آوردن میزان مواد برداشت شده به وسیله منسوجات، ابتدا نمونه خشک، وزن شده سپس بعد از آغشته سازی، با بدست آوردن مجدد میزان وزن نمونه، میزان برداشت منسوجات طبق رابطه ۱-۲ محاسبه گردید.

وزن نمونه خشک - وزن نمونه بعد از برداشت مواد

$$۱-۲ \quad \times ۱۰۰ = \frac{\text{وزن نمونه خشک}}{\text{وزن نمونه بعد از برداشت مواد}} \text{ درصد برداشت منسوج}$$

وزن نمونه خشک

۲-۳-۲- دستگاه استنتر

دستگاه استنتر در عملیات رنگرزی، چاپ و تکمیل نقش بسیار مهمی دارد که عمده‌ترین آنها ایجاد ثبات ابعادی روی پارچه است. طرز کار این دستگاه به این صورت است که پارچه را به صورت عرض باز وارد دستگاه می‌کنند و لبه‌های پارچه از دوطرف به شکل سوزنی یا کلیپس مهار شده و کشیده می‌شود. میزان کشیدگی عرض در این دستگاه منوط به عرض نهایی پارچه می‌باشد. عمل تثبیت حرارتی به وسیله حرارت صورت می‌گیرد.

مهمترین ویژگی اصلی دستگاه استنتر، تثبیت مواد شیمیایی بر روی پارچه است که تنظیم سرعت و دمای عملیات تثبیت، اهمیت ویژه‌ای دارد. دستگاه آزمایشگاهی مورد استفاده در این طرح، دستگاهی است که زمان و دمای دستگاه کاملاً کنترل می‌شود. شکل ۲-۲ دستگاه استنتر آزمایشگاهی مورد استفاده در طرح را نشان می‌دهد. این دستگاه قابلیت تثبیت پارچه به صورت مداوم را ندارد و پارچه با ابعاد مشخص به دستگاه وارد شده و تثبیت می‌شود.



شکل ۲-۲: دستگاه استنتر

۴-۲- فرایند دیرسوز کردن منسوجات متداول

مطابق با پیشنهاد شرکت‌های سازنده مواد دیرسوز کننده، هریک از پارچه‌ها با مواد مورد نظر آغشته، سپس پد- خشک و تثبیت گردید و پس از آن، نحوه سوختن آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. این فرآیند برای هریک از پارچه‌ها، با توجه به جنس و موارد مصرفشان انجام شد.

۴-۲-۱- دیرسوز کردن منسوجات پلی‌استری

از آنجایی که پارچه‌های پلی‌استری بیشترین مصرف در میان دیگر منسوجات را دارند از این رو سه نوع پارچه برای انجام آزمایش‌ها انتخاب شد که شامل پرده، پتو و رومبلی می‌باشد و آزمایشات بر روی آنها انجام شد.

۴-۲-۱-۱- بررسی اثر رزین‌های دیرسوز کننده بر منسوجات پلی‌استری

برای بررسی اثر رزین‌های دیرسوز کننده، از پارچه ساده PS_3 استفاده شد. برای این کار از سه رزین PR، AS و SP استفاده شد. میزان مصرف هر یک از رزین‌ها مطابق دستورالعمل آنها انتخاب سپس کالا با توجه به شرایط اعلام شده خشک، سپس پخت گردید. غلظت و شرایط دما و زمان پخت در جدول ۴-۲ آمده است. پارچه‌ها پس از شستشو و آماده‌سازی، مطابق با استاندارد FAR ۲۵,۸۵۳ که مربوط به تست عمودی شعله برای حمل و نقل هوایی است مقایسه شدند.

جدول ۴-۲: شرایط دما و زمان پخت برای رزین‌های استفاده شده برای پارچه ساده SP_3

نوع رزین	غلظت (g/lit)	دمای پخت (°C)	زمان (min)
SP	۱۲۰	۱۹۰	۳
AS	۱۲۰	۱۲۰	۳
PR	۳۰۰	۱۶۰	۳

۴-۲-۱-۲- بررسی اثر رزین پشت‌پوشی بر دیرسوز کردن منسوجات پلی‌استری

منسوجات پلی‌استری ساده (PS_3) با استفاده از ۱۵ g/lit از رزین به روش پشت‌پوشی به همراه ۱۲۰ g/lit رزین SP تکمیل شد. به طور کلی ۵ حمام آماده گردید و در یکی از حمام‌ها از رزین پشت‌پوشی استفاده نشد و برای هر حمام ۵ عدد نمونه استفاده شد. پس از آغشته‌سازی نمونه‌ها و برداشت ۱۰۰ درصد، منسوجات در دمای ۱۲۰ درجه به مدت ۳ دقیقه خشک و در دمای ۱۹۰ درجه به مدت ۳ دقیقه تثبیت

گردید. به کارگیری این رزین‌ها در کنار ماده ضد آتش جهت دستیابی به جذب بهتر این ماده با پارچه بوده تا میزان برداشت و در نهایت خاصیت ضد آتش کالا بیشتر گردد. این رزین‌ها آب پایه بوده و در آب براحتی حل می‌شوند. جهت بررسی اثر رزین‌ها در جذب ماده دیرسوز، پارچه‌ها در دمای ۴۰ درجه و ۵ گرم در لیتر شوینده نانیونیک شسته شد. مقایسه بین نمونه‌ها با استفاده از آزمایش عمودی طول سوختگی و به صورت بصری انجام شد.

۲-۴-۱-۳- بررسی اثر نمک در دیرسوز کردن منسوجات پلی‌استری

مطابق دستورالعمل ذکر شده در مشخصات رزین مورد نظر، جهت بالابردن pH محیط پیشنهاد شده است تا از نمک استفاده گردد در نتیجه در این تحقیق نیز از نمک کربنات سدیم استفاده شد تا pH محلول افزایش یابد و با اضافه کردن نمک pH حمام در حدود ۶ ثابت نگه داشته شد.

۲-۴-۱-۴- بررسی اثر غلظت ماده دیرسوز در دیرسوز کردن منسوجات پلی‌استری

اثر غلظت‌های متفاوت رزین دیرسوز کننده بر پتو پلی‌استری بررسی شد. میزان پیشنهاد شده توسط شرکت سازنده ماده دیرسوز کننده SP، ۱۲۰-۲۰ g/lit بوده است. برای این کار ۳ غلظت متفاوت ۱۰۰، ۱۲۰، ۲۰۰ رزین دیرسوز کننده جهت دیرسوز کردن منسوج پلی‌استری استفاده شد. نمونه‌ها پس از آغشته سازی با رزین پد، در دمای ۱۲۰ درجه خشک و در دمای ۱۹۰ درجه به مدت ۳ دقیقه پخت شدند.

۲-۴-۱-۵- بررسی اثر دما و زمان بر دیرسوز شدن منسوج پلی‌استری

در بررسی اثر دما و مطابق دستورالعمل پیشنهادی از طرف سازنده رزین ضد آتش برای منسوجات پلی‌استری، پس از آغشته سازی و برداشت ۱۰۰ درصد، در دمای ۱۲۰ درجه به مدت ۳ دقیقه خشک گردید. سپس در دو دمای ۱۸۰ به مدت ۴ دقیقه و ۱۹۰ به مدت ۳ دقیقه نمونه‌ها پخت شدند.

۲-۴-۲- دیرسوز کردن منسوجات پنبه/پلی‌استر

در دیرسوز کردن منسوج پنبه/پلی‌استر از ۲ رزین CE و SP استفاده شد با توجه به مخلوط الیاف در ترکیب پارچه از محلول این دو رزین در یک حمام با نسبت ۲۰/۸۰ نیز استفاده شد. با توجه به نتایج بدست آمده از دیرسوز کردن نمونه‌های پلی‌استری و رفتار حرارتی آن در شرایط متفاوت، پارچه‌های پنبه/پلی‌استری بدون رزین پشت‌پوشی و نمک عمل‌آوری گردید و عملکرد آن در مقابل سوختن مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌ها با برداشت ۱۰۰ درصد عمل‌آوری شد و در دمای ۱۲۰ درجه به مدت ۳ دقیقه خشک گردید. سپس

در دمای ۱۹۰ درجه به مدت ۳ دقیقه پخت شدند. پس از عمل‌آوری و با توجه به کاربرد این نوع پارچه در پوشاک، نمونه‌ها با 5 g/lit شوینده نانیونیک و در دمای ۴۰ درجه شسته شد.

۲-۴-۳- دیرسوز کردن منسوجات اکریلیکی

جهت دیرسوز نمودن نمونه پتو اکریلیکی (AC) و با بررسی‌های انجام شده بر آن، منسوجات با 120 g/lit از رزین SP با برداشت ۱۰۰ درصد آغشته شد. سپس مطابق دستورالعمل و بررسی رفتار حرارتی، در دو دمای ۱۲۰ و ۱۴۰ درجه به مدت ۴ دقیقه پخت گردید.

۲-۴-۴- دیرسوز کردن منسوجات نایلونی

در دیرسوز کردن منسوجات نایلونی (PA) از رزین دیرسوز SP استفاده گردید و منسوجات با ماده مورد نظر و بدون هیچ ماده کمکی دیگری، با برداشت ۷۰ درصد پد، در دمای ۱۲۰ به مدت ۳ دقیقه خشک و در دماهای مختلفی ۱۶۰، ۱۸۰ و ۱۹۰ درجه و به ترتیب در زمانهای ۴، ۱ و ۳ دقیقه پخت گردید.

۲-۵- بررسی خواص فیزیکی منسوجات دیرسوز شده

در این تحقیق خواص فیزیکی پارچه‌های دیرسوز شده، مانند وزن واحد سطح پارچه و ضخامت نمونه‌ها بررسی شد. میزان وزن واحد سطح پارچه بیانگر خواص و مشخصات ساختمان پارچه می‌باشد که با مقایسه تغییرات وزن و ضخامت نمونه‌ها میزان برداشت مواد بر سطح منسوجات مشخص گردید و میزان اثرگذاری آن در دیرسوز شدن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲-۵-۱- وزن در واحد سطح نمونه

سنگینی و سبکی پارچه، با وزن واحد سطح پارچه و یا وزن واحد طول پارچه برای پهنای معمول سنجیده می‌شود که یکی از پارامترهای مهم و تعیین کننده سایر ویژگی‌های پارچه نظیر زیر دست، سختی خمشی پارچه و می‌باشد. پارچه‌ها با توجه به وزن واحد سطح به پارچه‌های سبک (کمتر از $200 \text{ گرم بر متر مربع}$)؛ متوسط (بین 200 تا $450 \text{ گرم در متر مربع}$) و سنگین (بیشتر از $450 \text{ گرم در متر مربع}$) تقسیم‌بندی می‌شوند.

برای تعیین وزن متر مربع پارچه براساس استاندارد ملی ۸۴۱۸ به روش تجربی، سه نمونه مربعی با ابعاد $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ از هر پارچه بریده شده و وزن آن با دقت چهار رقم اعشار برحسب گرم اندازه‌گیری شد. اعداد بدست آمده، وزن 100 سانتی‌متر مربع از پارچه می‌باشد که با یک تناسب ساده وزن متر مربع پارچه محاسبه می‌گردد.

پس از تکمیل پارچه‌ها با مواد دیرسوز کننده آتش، وزن در واحد سطح آنها با توجه به استاندارد ذکر شده مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲-۵-۲- ضخامت منسوجات دیرسوز شده

ضخامت یکی از خواص اصلی پارچه است که درباره سنگینی یا سفتی پارچه در مصرف، اطلاعاتی را بدست می‌دهد. الیاف در میان خود هوای زیادی را حبس می‌کنند که همراه با دیگر عوامل موجب می‌شوند پارچه از خواص خوب عایق حرارتی برخوردار باشد. این فضای بین الیاف در هنگام فشرده شدن و تماس آنها به یکدیگر کاهش خواهد یافت.

مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۱۲۴۳، آزمون بین دو صفحه مرجع قرار گرفته و فشار معینی به آن اعمال می‌شود. فاصله عمودی بین صفحات مرجع بعد از گذشت زمان معینی، اندازه‌گیری و گزارش می‌شود. مطابق با این استاندارد سطح پایه فشارنده برای انجام آزمون (20 ± 2000) میلی‌متر مربع با قطر $(2/5 \pm 50)$ پیشنهاد می‌شود. قطر صفحه مرجع باید حداقل ۵۰ میلی‌متر بیشتر از قطر پایه فشارنده باشد. در این طرح جهت تعیین ضخامت نمونه پارچه با دستگاه ضخامت سنج با دقت $0/01$ میلی‌متر و کورس ۲۵ میلی‌متر، ضخامت پارچه‌ها اندازه‌گیری شد. برای آزمایش ضخامت پارچه‌های تاری و پودی و حلقوی، از فشار 1 KPa پاسکال استفاده شده گردید. برای این کار نمونه‌ها روی صفحه پایینی بدون هیچگونه کششی قرار گرفت و سپس با قرار دادن وزنه، جهت تأمین فشار 1 KPa بر روی صفحه فشار آورنده، پایه فشار دهنده به آرامی به نمونه نزدیک و ضخامت پارچه بعد از 1 ± 30 ثانیه ثبت شد.

۲-۶- آزمایش خواص مکانیکی منسوجات قبل و بعد از دیرسوز کردن

در این تحقیق در بررسی خواص مکانیکی منسوجات، مواردی چون استحکام کششی و استحکام در برابر جر خوردگی پارچه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت و میزان آن با نمونه خام مقایسه شد. میزان استحکام پارچه بستگی به کاربرد نهایی آن دارد، البته پارچه‌هایی که برای مصارف منزل و پوشاک در نظر گرفته می‌شوند نیاز به استحکام بالایی ندارند و صرفاً تا اندازه‌ای باید باشد که بتوانند در فرایندهای تولید و مصرف دوام بیاورند.

۲-۶-۱- استحکام کششی منسوجات دیرسوز شده

این آزمایش به روش باریکه پارچه نخ‌کش شده^۱ و یا آزمایش باریکه پارچه بریده شده انجام می‌گیرد. در روش باریکه نخ‌کش شده طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۱۱۴۷-۲ برای تعیین استحکام کششی پارچه

1. Raveled strip

پنج نمونه با ابعاد $60\text{ mm} \times 300\text{ mm}$ در جهت موازی با نخ تار و پنج نمونه در جهت موازی با نخ پود تهیه می‌شود. سپس نمونه‌ها در عرض و از دو طرف به طور مساوی نخ کش می‌شوند به طوری که عرض نمونه دقیقاً به 50 mm برسد. این کار باعث می‌شود که از شرکت نمودن تمام نخ‌ها در کل نمونه در اندازه‌گیری استحکام اطمینان حاصل شود و پهنا نیز دقیق باشد. در این آزمایش نمونه‌ها بین دو فک قرار گرفته و تا نقطه پارگی کشیده شد و نیروی پارگی و ازدیاد طول ثبت گردید. نرخ ازدیاد طول $50 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$ بوده و فاصله بین فک‌ها در فاصله 100 mm تنظیم شد سپس به نمونه‌ها کشش داده شد.

۲-۶-۲- استحکام در برابر جرخوردگی منسوجات دیرسوز شده

وقتی پارچه‌ای به شیء نوک تیزی برخورد می‌کند بریدگی کوچکی در آن ایجاد می‌شود که با اندکی تقلا به چاک بزرگی جر می‌خورد. این نوع پارگی متداول‌ترین نوع پارگی است که پارچه در مصرف با آن مواجه می‌شود بخصوص پارچه‌های صنعتی، زیرا شرایط مصرف آنها خشن‌تر است مانند چادرها، کیسه‌ها و چترهای نجات که البته گسترش جر در این چترها فاجعه بزرگی به بار خواهد آورد. در اینجا نیز ما به بررسی استحکام در برابر جرخوردگی نمونه‌ها تکمیل شده با مواد دیرسوز شده پرداخته‌ایم. برای آزمون جرخوردگی نمونه‌ها از استاندارد ۲-۴۱۹۹ استفاده گردید که در آن از دستگاه استحکام سنج جهت جرخوردگی نمونه‌ها استفاده شد. سرعت ازدیاد طول دستگاه 100 mm/min بوده و فاصله فک‌ها 10 cm می‌باشد. در این استاندارد نمونه‌ها با ابعاد 5×20 سانتی‌متر در جهت تار و پود تهیه می‌شود و در وسط ضلع کوچکتر آن شکافی با طول 10 سانتیمتر ایجاد می‌گردد و به فاصله $2/5$ سانتی‌متر از وسط ضلع بریده نشده، جهت خاتمه آزمون جرخوردگی علامت زده می‌شود. در این استاندارد باید دقت شود تا پارگی در راستای شکاف ایجاد شده باشد. طبق استاندارد گفته شده نمونه‌ها مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج بدست آمده از آزمون جرخوردگی آنها با نمونه‌های شاهد مقایسه شد.

۲-۷- بررسی خواص شیمیایی منسوجات دیرسوز شده

تغییرات رنگی پارچه با توجه به تأثیر ظاهری که در پارچه می‌گذارد بسیار مورد توجه بوده و نیاز است تا ظاهر پارچه پس از تکمیل آن و چه هنگامی که در معرض نور و شستشو قرار می‌گیرد بدون تغییر باقی بماند. از این رو ما نیز در این تحقیق بر آن شدیم تا تأثیر مواد دیرسوز به کاربرده شده را، بر خواص رنگی پارچه مورد بررسی قرار دهیم. آزمایش‌های انجام شده در این زمینه بررسی ثبات نوری و ثبات شستشویی منسوجات بوده است.

۲-۷-۱- ثبات نوری منسوجات دیرسوز شده

منسوجاتی نساجی به هنگام مصرف در معرض نور قرار می‌گیرد و نور به ویژه در ناحیه ماورابنفش باعث تخریب مولکول ماده رنگزا و رنگ پریدگی^۱ منسوجات می‌گردد که مطلوب نمی‌باشد. مقاومت مواد رنگزا در برابر نور متفاوت می‌باشد لذا انتخاب مواد رنگزای مناسب به ویژه جهت پرده، مبلمان، فرش و روکش‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. مقاومت مواد رنگزا یا به عبارتی ثبات آن در برابر نور تحت تأثیر دما و رطوبت و میزان اکسیژن محیط می‌باشد. اکسیژن محیط می‌تواند تحت تأثیر نور به اکسیژن رادیکالی تبدیل و موجب تخریب ماده رنگزا شود و افزایش رطوبت و دما سرعت رنگ پریدگی را افزایش می‌دهد.

آزمایش‌های ثبات نوری الزاماً همراه با معیار خاصی انجام می‌شود به طوری که نیمی از نمونه و معیار آبی پوشانده می‌شود و پس از قرار دادن در معرض نور نیمی از نمونه‌ها تغییر رنگ داده و نیمی دیگر تغییر نکرده‌اند. اختلاف بین دو قسمت نمونه مورد آزمایش (نور دیده و نور ندیده) با تغییر ایجاد شده در معیار آبی مقایسه می‌شود و به صورت عدد گزارش می‌گردد. این عدد مابین ۱ (ثبات نوری ضعیف) تا ۸ (ثبات نوری بالا) متغیر است. روش آزمایش استاندارد ملی به شماره ۴۰۴۸ ثبات در دستگاه ثبات نوری که شبیه‌سازی نور روز می‌باشد را توضیح می‌دهد.

۲-۷-۲- ثبات شستشویی منسوجات دیرسوز شده

ثبات شستشویی منسوجاتی رنگرزی شده از اهمیت خاصی برخوردار است. ثبات شستشویی نتیجه تأثیر آب و شوینده بر ماده رنگزا است. استاندارد ۱۰۰۷۶ ثبات شستشویی منسوجاتی رنگرزی شده را در پنج آزمایش متفاوت بیان می‌کند. از این آزمایشات از شماره ۱ (شستشویی با دست) تا شماره ۵ (شستشو با ماشین) شبیه‌سازی شده است. آزمایشات در دمای متفاوت در زمان‌های متفاوت طراحی شده است.

در این آزمایشات نمونه رنگرزی شده با ابعاد مشخص (معمولاً ۱۰×۴ cm) و به صورت مرکب تهیه می‌شود. نمونه رنگرزی شده در تماس با پارچه غیر رنگرزی شده هم جنس و غیر هم‌جنس با همان ابعاد تهیه مطابق جدول ۲-۵ و سپس اطراف آن دوخته می‌شود. پارچه‌های همراه باید دارای بافت ساده، بدون تکمیل یا مواد شیمیایی زاید و مواد سفید کننده نوری باشد. هدف از قرار دادن نمونه همراه رنگرزی نشده، ارزیابی لکه‌گذاری نمونه مورد آزمایش است.

جدول ۲-۵: نوع نمونه‌های همراه مورد استفاده در نمونه‌ی مرکب

قطعه دوم		قطعه اول
دمای ۶۰ و ۹۵ درجه سانتی‌گراد	دمای ۴۰ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد	
ویسکوز	پشم	پنبه
-	پنبه	پشم
-	پنبه	ابریشم
پنبه	پشم	ویسکوز
ویسکوز	ویسکوز	استات
پنبه	پشم یا پنبه	پلی‌آمید
پنبه	پشم یا پنبه	پلی‌استر
پنبه	پشم یا پنبه	اکریلیک

جهت انجام آزمایش از روش B استاندارد ۱۰۰۷۶ استفاده گردید و نمونه‌ها با ۵ گرم در لیتر صابون با L:G ۱:۵۰ به مدت ۴۵ دقیقه و در دمای ۵۰ شستشو داده شد. در انتها نمونه‌های عمل شده (شستشو شده) و عمل نشده (شاهد) با رعایت مرز مشترک و تحت منبع نوری استاندارد در کابینت بازدید نمونه، جهت مقایسه با معیار خاکستری قرار داده شد و اعداد تغییر رنگ نمونه و لکه‌گذاری بر روی پارچه همراه بررسی گردید.

۲-۸- آزمایش اشتعال‌پذیری منسوجات دیرسوز شده

اشتعال‌پذیری محصولات نساجی به رفتار سوختن آن‌ها به خصوص به راحتی آتش‌گیری و ادامه سوختن پس از آن اشاره دارد. برخی از پارچه‌ها به شدت قابل اشتعال و برخی کم و بیش این خاصیت را دارند. تمام منسوجاتی که تولید می‌شوند به جز آزبست تحت شرایطی خواهند سوخت. آتش‌گیری راحت پارچه‌ها به ویژگی‌های متعددی بستگی دارد. الیاف گرم‌انرم مانند نایلون، پلی‌استر و الفین به هنگام نزدیک شدن شعله خود را جمع می‌کنند لذا آتش‌گیری آنها مشکل‌تر است. بهر حال به هنگام محصور شدن در بین شعله‌ها یا شدید بودن آتش، سوخته و ذوب می‌شوند. پارچه‌های خارخورده و پرزدار به راحتی آتش گرفته و شعله به سرعت در کل سطح پخش می‌شود. پارچه‌های سنگین‌تر و آن‌هایی که دارای بافت بسیار متراکمی هستند چه از نوع تاری و پودی و چه از نوع حلقوی به راحتی آتش نمی‌گیرند و بسیار کندتر از پارچه‌های سبک و حریر می‌سوزند.

با توجه به کاربرد بسیار متنوع منسوجات، آزمون‌های زیادی با استفاده از نمونه‌های عمودی، افقی یا مورب، همراه با تهویه و یا بدون آن انجام می‌شود. همچنین، آزمایش‌های ویژه متعددی به منظور بررسی خاصیت

دیرسوز در منسوجاتی از قبیل فرش و پوشاک محافظ در برابر آتش به کار می‌روند. با توجه به امکانات محدود در کشور، به معرفی رایج‌ترین آنها پرداخته و خاصیت اشتعال‌پذیری آنها ارزیابی می‌شود.

۲-۸-۱-۲ آزمون اشتعال‌پذیری افقی منسوجات دیرسوز شده

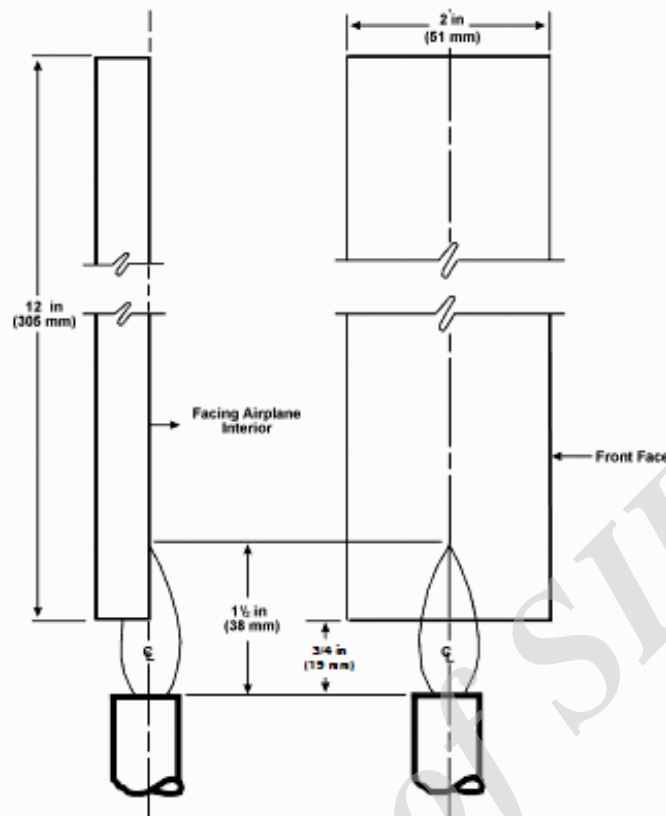
به دلیل عدم وجود استاندارد ملی مربوط به آزمون اشتعال‌پذیری بصورت افقی، برای انجام اندازه‌گیری طول سوختگی پارچه در جهت افقی از استاندارد پژو به شماره D451333 استفاده شد. مطابق استاندارد فوق نمونه‌ای با ابعاد 40×10 سانتی‌متر بریده و در راستای طولی دو علامت که اولین نقطه دارای فاصله ۳۸ میلیمتر از انتهای آزاد نمونه و دیگری به فاصله ۲۵۴ میلیمتر نسبت به اولین نقطه علامت‌گذاری می‌شود. جهت انجام آزمایش نمونه در یک محفظه با استفاده از وسایل نگه‌دارنده به صورت افقی ثابت می‌شود. شعله‌ای با ارتفاع ۳۸ میلیمتر در تماس با لبه نمونه قرار می‌گیرد که به محض تماس شعله با نمونه زمان‌سنج به راه انداخته می‌شود و در انتهای ۱۵ ثانیه، گاز شعله قطع می‌شود. در صورت عدم عبور شعله در پارچه از نقطه اول پس از قطع گاز شعله، مطابق استاندارد، نوع A گزارش می‌شود و در صورت عبور شعله از نقطه اول زمان‌سنج دوم به راه انداخته می‌شود؛ چنانچه که اشتعال قبل از رسیدن به نقطه دوم متوقف گردد نوع D و با عبور از نقطه دوم نوع E گزارش می‌شود. سرعت سوختن در نوع D و E از رابط ۲-۲ بر حسب میلیمتر بر دقیقه (mm/min) محاسبه می‌شود:

$$V = (L \times 60) / t \quad 2-2$$

که L طول سوخته شده بر حسب میلیمتر و t مدت اشتعال طول L بر حسب ثانیه می‌باشد.

۲-۸-۲-۲ تست عمودی منسوجات براساس استاندارد FAR ۲۵.۸۵۳

این استاندارد مربوط به مقررات حمل و نقل هوایی فدرال بوده و برای تعیین مقاوت مواد در برابر آتش وضع شده است. در این استاندارد از شعله‌ای به ارتفاع ۳۸ میلی‌متر استفاده می‌گردد و نمونه به مدت ۱۲ ثانیه در معرض آتش به صورت عمودی قرار می‌گیرد. در انجام این آزمایش مواردی که اعلام می‌گردد، طول سوختگی، مدت زمان شعله‌وری و زمان تولید اولین قطره مذاب می‌باشد. نمونه انتخاب شده باید در اندازه (305×75) میلی‌متر بوده و قبل از انجام آزمایش مرحله آماده‌سازی را گذرانده باشد. برای انجام آزمایش حداقل سه نمونه مورد نیاز است. در شکل ۲-۳ نحوه قرارگیری نمونه در برابر شعله نشان داده شده است. نمونه به صورت عمودی در قسمت نگه‌دارنده دستگاه قرار گرفته و قسمت انتهایی آن ۱۵mm بالاتر از پایین‌ترین قسمت شعله قرار می‌گیرد.



شکل ۲-۳: نحوه قرارگیری نمونه در برابر آتش مطابق استاندارد FAR ۲۵,۸۵۳

۲-۸-۳- آزمایش میزان اکسیژن محدود LOI

میزان اکسیژن مورد نیاز از مخلوط اکسیژن/نیتروژن برای سوختن منسوج (LOI) که مطابق با استاندارد ASTM D 2863 به صورت عمودی آویخته شده و از انتهای نمونه آتش گرفت، بررسی شد.

۲-۸-۴- آزمون TGA

خواص و ثبات حرارتی منسوجات قبل و بعد از تکمیل به وسیله آنالیز حرارتی بررسی شد. مطابق با استاندارد ASTM E ۱۱۳۱-۰۸ نمونه تحت گاز نیتروژن و با سرعت $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ حرارت داده شد.

۲-۹- جمع‌بندی

در این تحقیق مواد و منسوجات به کارگرفته شده مطابق با روشهای مورد نظر تکمیل گردید و در نهایت با توجه به آزمون‌های اعلام شده بررسی شدند. نتایج بدست آمده از هر یک از آزمون‌ها در فصل سوم آمده است.

فصل سوم
تحلیل و بررسی ویژگی‌های
منسوجات منتخب ضد آتش شده

Archive of SID

۳-۱- مقدمه

جنس بیشتر الیافی که در منسوجات متداول مورد مصرف قرار می‌گیرد الیاف پلی‌استر، اکریلیک، نایلون و ترکیب پنبه/پلی‌استر می‌باشد. با توجه به مصرف گسترده این پارچه‌ها در مواردی چون پوشاک، رومبلی، پرده و ... در منازل و همچنین اماکن عمومی چون سینما، اتوبوس و ... نیازمند استفاده از تکمیل دیرسوز کردن بیش از پیش ضروری به نظر می‌رسد و باید تولیدشان با در نظر گرفتن این نوع تکمیل، انجام شود. در این فصل به بررسی خواص مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی پارچه‌های دیرسوز پرداخته می‌شود تا با دانستن تأثیر این مواد بر دیگر خواص منسوجات، امکان استفاده از آن ارزیابی شود.

۳-۲- دیرسوز کردن کالای پلی‌استری

جهت دیرسوز کردن کالای پلی‌استری از رزین‌های دیرسوز کننده متفاوت استفاده گردید. از دیگر مواد جانبی در کنار رزین دیرسوز کننده استفاده شد که در ادامه به بررسی نتایج هر یک از مواد بر کالای پلی‌استری می‌پردازیم.

۳-۲-۱- بررسی اثر رزین دیرسوز کننده بر منسوجات پلی‌استری

نتایج به دست آمده در این آزمایش در جدول ۳-۱ ارائه شده است. نتایج نشان داد که نحوه سوختن نمونه‌هایی که با رزین PR، تنها مرحله خشک را گذرانده بودند، تفاوت چندانی با نمونه‌هایی که خشک و تثبیت شده بودند نداشته و تکمیل مورد نظر با شستشو از سطح منسوجات جدا گردید. در حین آزمایش سوختن به صورت عمودی، با گذشت ۱۱ ثانیه اولین قطره همراه با آتش از نمونه جدا گردید و با دور کردن شعله، نمونه همچنان به سوختن خود ادامه داده و قطرات همراه با شعله از نمونه جدا می‌شد به عبارتی براساس استانداردهای اعلام شده منسوجات دارای سوختنی پایدار می‌باشد.

در دیرسوز کردن نمونه با ماده AS منسوجات با 120 g/lit از ماده مورد نظر آغشته و در دمای 120 به مدت ۳ دقیقه تثبیت گردید، نمونه بعد از عمل‌آوری مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج بدست آمده از این نمونه نشان داد که منسوجات دارای سوختن پایدار بوده و با دور شدن از نمونه به سوختن خود ادامه داد. در آزمایش دیگر نمونه پارچه پلی‌استری با استفاده از 120 g/lit رزین SP آغشته سپس در دمای 120 درجه به مدت ۳ دقیقه خشک و در دمای 190 درجه و به مدت ۳ دقیقه پخت گردید. در آزمایش سوختن عمودی پارچه و در طی سوختن قطره مذاب تولید نشد و بعد از گذشت ۱۲ ثانیه با دور شدن شعله، نمونه همچنان خاموش بود.

جدول ۳-۱: بررسی اثر رزین‌های دیرسوز در دیرسوز شدن منسوجاتی پلی‌استری

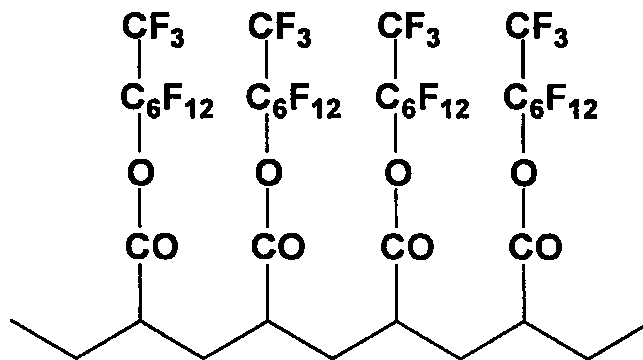
رزین	میزان مصرف (g/lit)	درصد اضافه وزن منسوجات (%)	مدت زمان خود خاموش شونده (s)	مدت زمان تولید اولین قطره مذاب (s)	طول سوختگی (mm)
رزین PR	۳۰۰	۱۱/۵۴	سوختن پایدار	۱۱ ثانیه	کامل سوخت
رزین AS	۱۲۰	۷/۸	سوختن پایدار	۵	کامل سوخت
رزین SP	۱۲۰	۱۴/۲	۰	-	۱۸

نتایج به دست آمده از نمونه‌های عمل‌آوری شده نشان داد که رزین SP برای دیرسوز شدن نمونه پلی‌استری گزینه بهتری بوده و منسوجات بعد از دور شدن از شعله خاصیت خود خاموش‌شوندگی داشته و مذاب کمتری را تولید می‌نماید. در ادامه اثر رزین پشت‌پوشی و نمک برای افزایش pH محلول، بر رفتار سوختن منسوجات مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۲-۲- اثر رزین پشت‌پوشی بر دیرسوز شدن منسوجات پلی‌استری

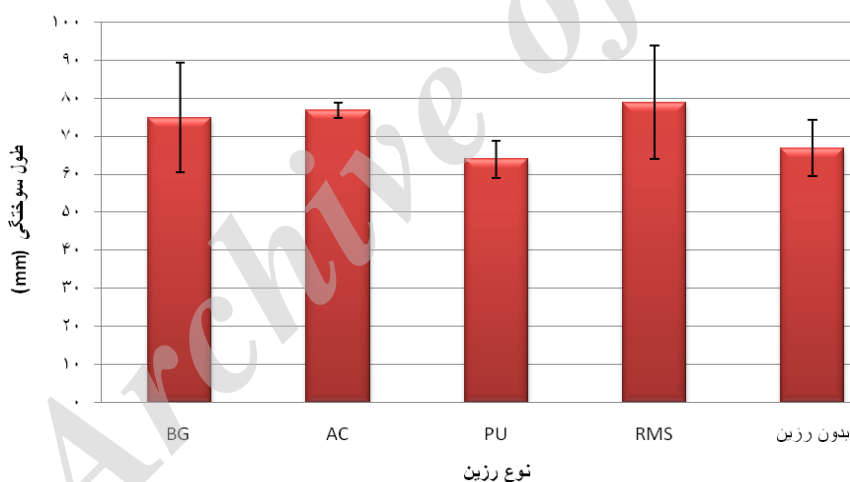
منسوجات پلی‌استری ساده (PS_3) با استفاده از ۱۵ g/lit از رزین‌ها به روش پشت‌پوشی به همراه ۱۲۰ g/lit رزین SP تکمیل شد. پس از آغشته‌سازی نمونه‌ها و برداشت ۱۰۰ درصد، منسوجات در دمای ۱۲۰ درجه به مدت ۳ دقیقه خشک و در دمای ۱۹۰ درجه به مدت ۳ دقیقه تثبیت گردید. به کارگیری این رزین‌ها در کنار ماده ضدآتش جهت دستیابی به جذب بهتر این ماده با پارچه بوده تا میزان برداشت و در نهایت خاصیت دیرسوز شدن کالا بیشتر گردد. این رزین‌ها آب پایه بوده و در آب براحتی حل می‌شوند. جهت بررسی اثر رزین‌ها در جذب ماده دیرسوزکننده، پارچه‌ها در دمای ۴۰ درجه و ۵ گرم در لیتر شوینده نانیونیک شسته شد. مقایسه بین نمونه‌ها با استفاده از آزمایش عمودی طول سوختگی و به صورت بصری انجام شد.

مطابق نمودار ۳-۱، بررسی نتایج بدست آمده از پارچه‌های تکمیل شده نشان داد که استفاده از رزین BG به عنوان رزین پشت‌پوش، موجب زرد شدن کالا شده و طی آزمایش طول سوختگی، نمونه‌ها آتش گرفت. ترکیبات فلئوئور و کربن که ساختمان شیمیایی آن در شکل ۳-۱ آمده است، علاوه بر خاصیت ضد آبی که به منسوجات می‌دهند و به همین منظور در تکمیل منسوجات بسیار استفاده می‌گردند، به علت غنی بودن از عناصر آتش‌گیر مانند کربن ممکن است موجب افزایش آتش‌پذیری نمونه شوند بنابراین استفاده از این ماده در کنار ماده دیرسوز موجب تسهیل در روند آتش‌پذیری نمونه شده است [21].



شکل ۳-۱: ترکیب فلئورو کربن پلی اکریلات [21]

در نمونه‌ای که از رزین AC استفاده شده بود پارچه در حین آزمایش به شدت محترق شد. بنابراین استفاده از این رزین نیز در کنار ماده دیرسوز رد گردید. در مقایسه بین دو رزین PU و RMS که هر دو دارای ترکیباتی نیتروژنی بوده و دارای قابلیت دیرسوز هستند، همانطور که در نمودار ۳-۱ نیز مشخص است طول سوختگی نمونه تکمیل شده با رزین RMS بیشتر از نمونه PU می‌باشد و این نمونه نیز کمی شعله‌ور گردید، بنابراین استفاده از این رزین نیز مناسب تشخیص داده نشد.



نمودار ۳-۱: بررسی اثر رزین‌های پشت‌پوشی بر طول سوختگی منسوجاتی پلی‌استری

با بررسی‌های بیشتر مشخص شد استفاده از رزین PU کمترین میزان طول سوختگی را در مقایسه با رزین‌های دیگر داشته است ولی تکمیل پارچه با این رزین بر زیر دست منسوجات تأثیر گذاشته و آن را سخت کرده بود، در نتیجه به کارگیری رزین PU نیز به عنوان رزین پشت‌پوشی رد گردید. در نهایت تکمیل منسوجات بدون استفاده از هیچگونه رزین کمکی و تنها با استفاده از ۱۲۰ g /lit رزین ضدآتش انجام شد. این نمونه پارچه در حین آزمایش آتش نگرفت و طول سوختگی آن نیز قابل قبول بوده است. در جدول ۳-۲، سرعت پیشروی شعله، درصد اضافه وزن نمونه به همراه طول سوختگی آنها، آمده است. مطابق نتایج بدست آمده بعد از شستشو درصد اضافه وزن منسوجات برای نمونه‌هایی که از رزین استفاده

شده است بیشتر بوده ولی این افزایش وزن تأثیری در شرایط سوختن نمونه نداشته و در بررسی نمونه‌ها به صورت بصری مشخص گردید که مقاومت نمونه بدون رزین در برابر آتش بیشتر است، بنابراین نمونه شماره ۵ انتخاب شد و منسوجات بدون رزین جانبی تکمیل گردید.

جدول ۳-۲: بررسی اثر رزین پشت‌پوشی در دیر سوز شدن منسوجاتی پلی‌استری

کد نمونه	نوع رزین پشت‌پوش	غلظت رزین پشت‌پوش (g/lit)	درصد اضافه وزن منسوجات بعد از شستشو (%)	طول سوختگی (mm)	سرعت پیشروی (mm/s)
۱	BG	۱۵	۳/۶۴	۷۵	۶/۲۵
۲	AC	۱۵	۳/۷	۷۷	۶/۴۱
۳	PU	۱۵	۳/۵۲	۶۴	۵/۳۳
۴	RMS	۱۵	۳/۸	۷۹	۶/۵۸
۵	-	-	۲/۹۲	۶۷	۵/۵۸

۳-۲-۳- بررسی اثر استفاده از نمک در دیرسوز کردن منسوجات پلی‌استری

مطابق دستورالعمل ذکر شده در مشخصات رزین موردنظر، جهت بالابردن pH محیط از نمک کربنات سدیم استفاده گردید. pH محلول مطابق دستورالعمل با اضافه کردن کربنات سدیم در حدود ۶ ثابت نگه داشته شد. نتایج بدست آمده از طول سوختگی و نحوه سوختن نمونه‌ها در پارچه پتویی که از نمک استفاده شده با نمونه‌هایی بدون استفاده از نمک مقایسه شد. در شکل ۳-۱ دو نمونه پارچه پتویی برای بررسی اثر طول سوختگی نشان داده شده است.



b



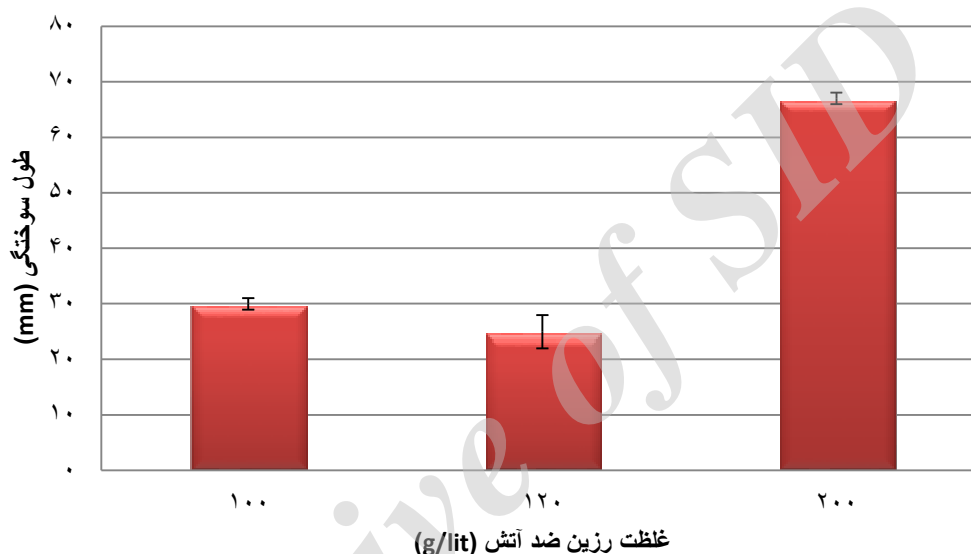
a

شکل ۳-۲: طول سوختگی پتو پلی‌استری (a) تکمیل شده بدون نمک (b) تکمیل شده به همراه نمک

همانطور که در شکل ۳-۲ نیز مشخص است طول سوختگی نمونه عمل‌آوری شده به همراه نمک (b) بیشتر از نمونه‌ای که تنها از رزین (a) استفاده شده است بنابراین در عمل‌آوری نمونه‌ها، از نمک جهت دیرسوز کردن استفاده نشد و نمونه تنها با رزین دیرسوز تکمیل شد.

۳-۲-۴- بررسی اثر غلظت ماده دیرسوز کننده بر منسوجات پلی‌استری

پتو پلی‌استری (PS۴) با استفاده از رزین دیر سوز کننده SP در ۳ غلظت متفاوت تکمیل شدند. میزان پیشنهاد شده توسط شرکت سازنده ماده، ۱۲۰-۲۰ g/lit بوده است. مطابق با نمودار ۳-۲، نتایج بدست آمده از بررسی استفاده از غلظت‌های متفاوت رزین و طول سوختگی نمونه‌ها نشان داد که مقاومت در برابر آتش منسوجات در غلظت ۱۲۰ g/lit در مقایسه با غلظت‌های دیگر بیشتر است، بنابراین منسوجات پلی‌استری با همین غلظت عمل‌آوری شدند. از طرفی با افزایش میزان ماده دیرسوز کننده زیر دست کالا کاهش یافت بنابراین استفاده از میزان بیشتری از ماده دیرسوز نیز رد گردید.



نمودار ۳-۲: بررسی اثر غلظت رزین دیرسوز در دیرسوز کردن منسوجاتی پلی‌استری

۳-۲-۵- بررسی اثر دما و زمان بر دیرسوز کردن منسوجات پلی‌استری

در بررسی اثر دما و مطابق دستورالعمل پیشنهادی از طرف سازنده رزین دیرسوز کننده برای منسوجات پلی‌استری، پس از آغشته سازی و برداشت ۱۰۰ درصد، در دمای ۱۲۰ درجه به مدت ۳ دقیقه خشک گردید. سپس در دو دمای ۱۸۰ به مدت ۴ دقیقه و ۱۹۰ به مدت ۳ دقیقه نمونه‌ها پخت شد. با مقایسه بین این ۲ نمونه مشخص گردید که استفاده از این دو دما تفاوت چندانی در خاصیت دیرسوز کردن کالا نداشته است و با توجه به زیر دست منسوجات، در نهایت نمونه‌ها در دمای ۱۹۰ به مدت ۳ دقیقه پخت گردید.

۳-۳- دیرسوز کردن منسوجات پنبه/پلی‌استر

با بررسی طول سوختگی و نحوه سوختن نمونه‌ها در طی آزمایش، مشاهده گردید که نمونه‌ها به طور کامل سوختند و اعلام طول سوختگی آنها روندی منطقی نبوده و نمونه‌ها با توجه به سوخته ذغالی تولید

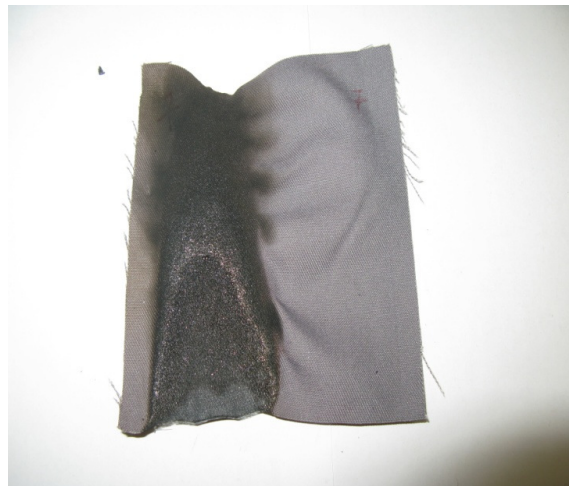
شده مورد مقایسه قرار گرفتند. شکل‌های ۳-۳، ۴-۳ و ۵-۳ چگونگی سوختن نمونه‌های منسوجات پنبه/پلی-استر را نشان می‌دهند.



شکل ۳-۳: پارچه پنبه/پلی‌استر خام



شکل ۴-۳: پارچه پنبه/پلی‌استر تکمیل شده با رزین SP



شکل ۵-۳: پارچه پنبه/پلی‌استر عمل‌آوری شده با رزین CE

با توجه به مشاهدات بدست آمده و همانطور که در شکل‌ها مشخص است نمونه خام با توجه به اثر داربستی و باقی ماندن مذاب تولید شده در محل سوختن، به طور کامل سوخت ولی نمونه‌های عمل‌آوری شده با رزین CE بعد از سوختن، ذغال به جای گذاشته و نتایج بدست آمده بهتر از رزین SP بوده است. این در حالی است که به کارگیری رزین SP بر کالای پنبه/پلی‌استر سوخته ذغالی به جای نگذاشته و نمونه‌ها کاملاً سوختند. ترکیب دو رزین با نسبت‌های ۲۰/۸۰ نیز جهت عمل‌آوری پارچه پنبه/پلی‌استری استفاده شد و نتایج بدست آمده مطابق شکل ۳-۶، در مقایسه با نمونه عمل‌آوری شده با رزین CE و نحوه سوختن آن چندان رضایت بخش نبوده و سرعت پیشروی آتش در نمونه زیاد بوده است.



شکل ۳-۶: پارچه پنبه پلی‌استر عمل‌آوری شده با مخلوط رزین SP و CE

با توجه به این نتایج و بررسی‌های انجام شده در حین سوختن، گزینه به کارگیری رزین CE جهت دیرسوز کردن کالای پنبه/پلی‌استر انتخاب گردید و کالا با استفاده از این رزین در دمای ۱۲۰ درجه به مدت ۳ دقیقه خشک و در دمای ۱۹۰ به مدت ۳ دقیقه پخت گردید.

۴-۳- دیرسوز کردن منسوج اکریلیکی

الیاف اکریلیکی هنگامی که در معرض حرارت قرار می‌گیرند قبل از آنکه ذوب شوند تخریب می‌گردند و استحکام و مدول آنها کاهش می‌یابد هرچند که دارای مقاومت حرارتی در دماهای کمتر از ۲۳۰ درجه هستند. در طی تحقیقاتی که در این زمینه انجام شد میزان زردی پارچه اکریلیکی بعد از قرار گرفتن در دماهای ۱۱۵ درجه به مدت ۳۰ دقیقه و ۱۳۰ درجه به مدت ۶ ساعت بررسی شد نتایج نشان داد که حرارت موجب افزایش زردی پارچه گردید. با بررسی نتایج بدست آمده از سوختن و همچنین زبردست منسوج ۱۰۰ درصد اکریلیکی در دو

دمای ۱۴۰ و ۱۲۰ درجه، منسوجات در دمای ۱۲۰ درجه و در یک مرحله تثبیت شد. زیرا افزایش دما تا ۱۴۰ درجه موجب کاهش نرمی و سخت شدن زیر دست منسوج اکریلیکی گردید.

۳-۵- دیرسوز کردن منسوج نایلونی

نتایج بدست آمده از پخت منسوجات نشان داد که پخت منسوجات در دماهای ۱۹۰ درجه به مدت ۳ دقیقه و ۱۶۰ درجه به مدت ۴ دقیقه تخریب و زرد گردید و جمع شدگی منسوجات به شدت زیاد بود. با بررسی دقیق‌تر جهت پخت منسوجات، دمای ۱۸۰ و زمان ۱ دقیقه جهت دیرسوز کردن منسوجات انتخاب شد. بدین صورت منسوجات در دمای ۱۲۰ به مدت ۳ دقیقه خشک و در دمای ۱۸۰ به مدت ۱ دقیقه پخت گردید.

۳-۶- دیرسوز کردن چهار منسوج منتخب

با بررسی‌های انجام شده بر ۴ نوع پارچه، بهینه نسخه و روش تکمیل برای دیرسوز کردن آنها مشخص گردید. برای دیرسوز کردن منسوجات پلی‌استری رزین SP بهترین گزینه برای انجام این کار انتخاب شد و استفاده از رزین جانبی برای افزایش میزان تثبیت بر منسوجات تأثیر چندانی نداشته و میزان شعله‌وری نمونه‌ها افزایش یافت. بنابراین منسوجات بدون رزین جانبی و ۱۲۰ g/lit رزین SP عمل‌آوری شدند. به کارگیری نمک برای تغییر pH طبق پیشنهاد سازنده ماده دیرسوز استفاده گردید که بر دیرسوز شدن منسوجات و دیگر خواص آن تأثیر چندانی نداشت. بنابراین در دیرسوز کردن این منسوجات از نمک نیز استفاده نشد. در نهایت منسوجات در دمای ۱۲۰ درجه به مدت ۳ دقیقه خشک و در دمای ۱۹۰ درجه برای ۳ دقیقه تثبیت گردید.

برای دیرسوز کردن منسوجات پنبه/پلی‌استر دو رزین CE، SP و همچنین ترکیب این دو رزین مورد مقایسه قرار گرفت که در نهایت رزین CE با توجه به مصرف این جنس پارچه و شستشوی مداوم آن، انتخاب شد. پارچه پنبه/پلی‌استر بیشتر در پوشاک مورد استفاده قرار می‌گیرد، بنابراین نیازمند شستشوی مکرر بوده و دیرسوز شدن این منسوجات با توجه به عملیات شستشوی موردنیاز مورد ارزیابی قرار گرفت. در عمل‌آوری نمونه‌ها نیز از رزین جانبی و نمک استفاده نشد زیرا منسوجات به علت وجود الیاف پلی‌استری از استحکام خوبی برخوردار است. پارچه پنبه/پلی‌استر پس از آغشته سازی با ۱۲۰ g/lit رزین CE در دمای ۱۲۰ به مدت ۳ دقیقه خشک و در دمای ۱۹۰ به مدت ۳ دقیقه تثبیت گردید.

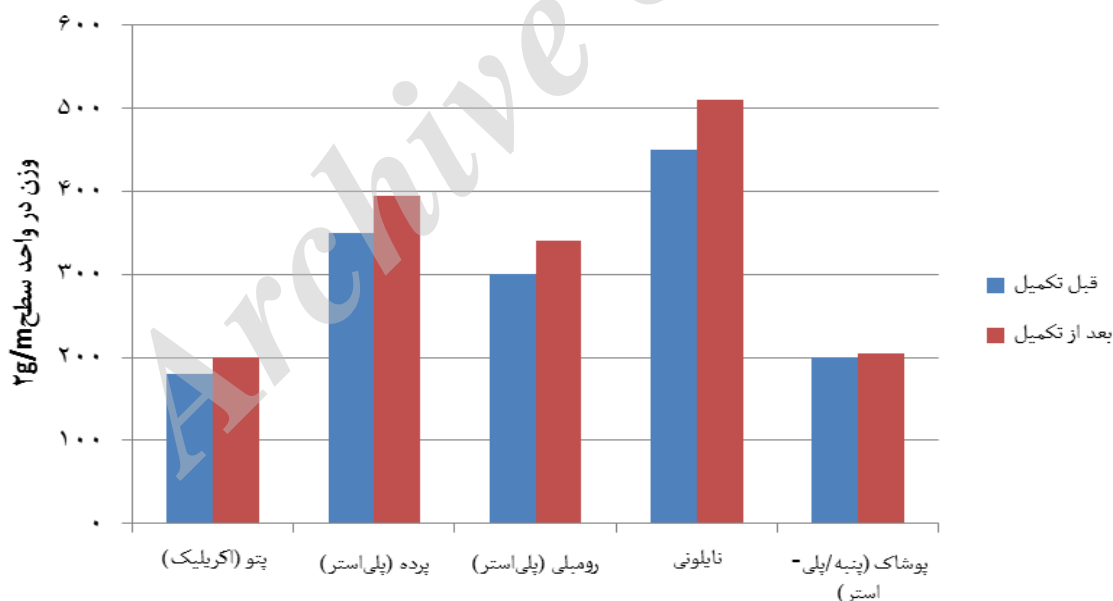
جهت دیرسوز کردن منسوجات اکریلیکی با توجه به حساسیت بالای این لیف به حرارت، میزان حرارت اعمال شده برای انجام فرآیند دیرسوز کردن آن مورد بررسی قرار گرفت. در دماهای بالا منسوجات کاملاً تخریب شد. بنابراین عملیات حرارتی در یک مرحله و در دمای ۱۲۰ درجه انجام گردید. بر همین اساس منسوجات با ۱۲۰ g/lit رزین با برداشت ۱۰۰ درصد آغشته و در دمای ۱۲۰ درجه به مدت ۴ دقیقه خشک و تثبیت شد. منسوجاتی نایلونی استفاده شده در این تحقیق نیز با برداشت ۷۰ درصد از محلول ۱۲۰ g/lit از رزین SP پد سپس در دمای ۱۲۰ به مدت ۳ دقیقه خشک و در دمای ۱۸۰ به مدت ۱ دقیقه تثبیت گردید.

۳-۷- آزمایش خواص فیزیکی منسوجات قبل و بعد از دیرسوز کردن

برای بررسی خواص فیزیکی منسوجات وزن واحد سطح و ضخامت نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت که در ادامه نتایج بدست آمده از هر یک از این آزمایش‌ها آمده است.

۳-۷-۱- وزن در واحد سطح منسوجات

مطابق نمودار ۳-۳، وزن در واحد سطح نمونه‌ها پس از تکمیل با مواد دیرسوز کننده، افزایش یافته است.



نمودار ۳-۳: نمودار وزن در واحد سطح نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل با مواد دیرسوز کننده

افزایش میزان وزن در واحد سطح نمونه‌ها برای پارچه‌های اکریلیک، پلی‌استر و نایلونی با توجه به کاربردشان، قابل توجه بوده ولی پارچه پنبه/پلی‌استر استفاده شده با توجه به کاربرد آن در پوشاک و بعد از شستشو، تغییر وزن کم بوده است. باید توجه داشت پارچه‌های پنبه/ پلی‌استری دیرسوز شده با همین درصد اضافه وزن، در اثر سوختن سوخته ذغالی به جا گذاشته که خود می‌تواند تأثیر بسیار مهمی محسوب شود.

۳-۷-۲- ضخامت پارچه

نتایج به دست آمده از ضخامت نمونه پارچه پنبه/پلی‌استر، پتو (اکریلیک)، پرده (پلی‌استری)، رومبلی (پلی‌استری) و نایلونی در جدول ۳-۳ گزارش شده است. با افزایش میزان مواد بر پارچه میزان ضخامت آنها نیز افزایش یافته است. افزایش ضخامت در نمونه پارچه پنبه/پلی‌استر، بیشترین میزان و در پارچه اکریلیکی کمترین میزان است. این افزایش به علت وجود مواد دیرسوز کننده‌ای است که بر سطح پارچه قرار گرفته است.

جدول ۳-۳: ضخامت نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل با مواد دیرسوز کننده آتش

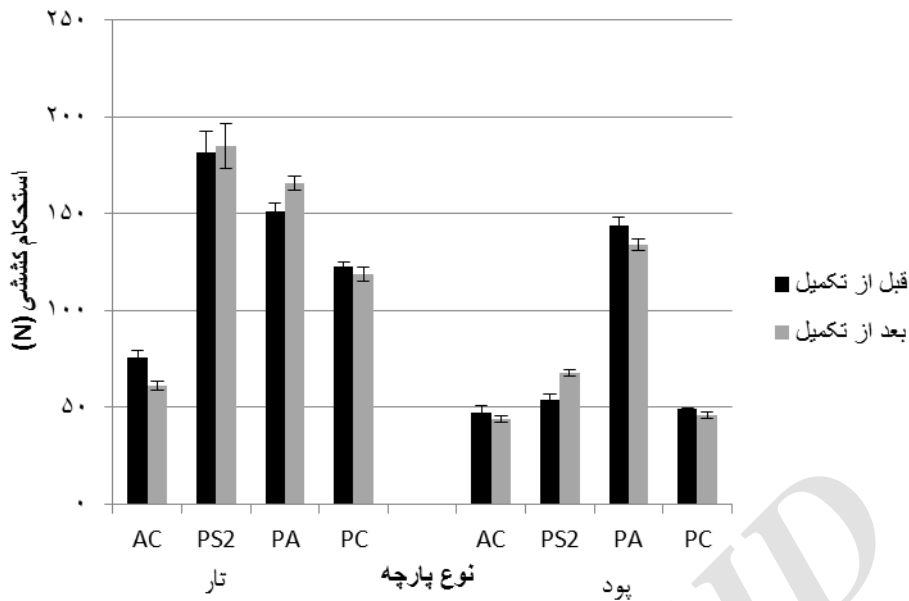
نوع پارچه	ضخامت پارچه شاهد (mm)	ضخامت پارچه تکمیل شده با مواد دیرسوز کننده (mm)	درصد افزایش ضخامت (%)
پتو (اکریلیکی)	۰/۸۰	۰/۸۳	۳/۷
پرده (پلی‌استر)	۱/۳۵	۱/۴۲	۵/۱
رومبلی (پلی‌استر)	۰/۸۵	۰/۹۱	۷
نایلونی	۱/۲۲	۱/۳۰	۶/۵
پوشاک (پنبه/پلی‌استر)	۰/۴۲	۰/۵۰	۱۹

۳-۸-۳ بررسی خواص مکانیکی منسوجات قبل و بعد از دیرسوز کردن

خواص مکانیکی مانند استحکام کششی منسوجات و استحکام در برابر جرخوردگی آنها قبل و بعد از تکمیل مورد بررسی قرار گرفت که در ادامه به بررسی هریک از آنها پرداخته می‌شود.

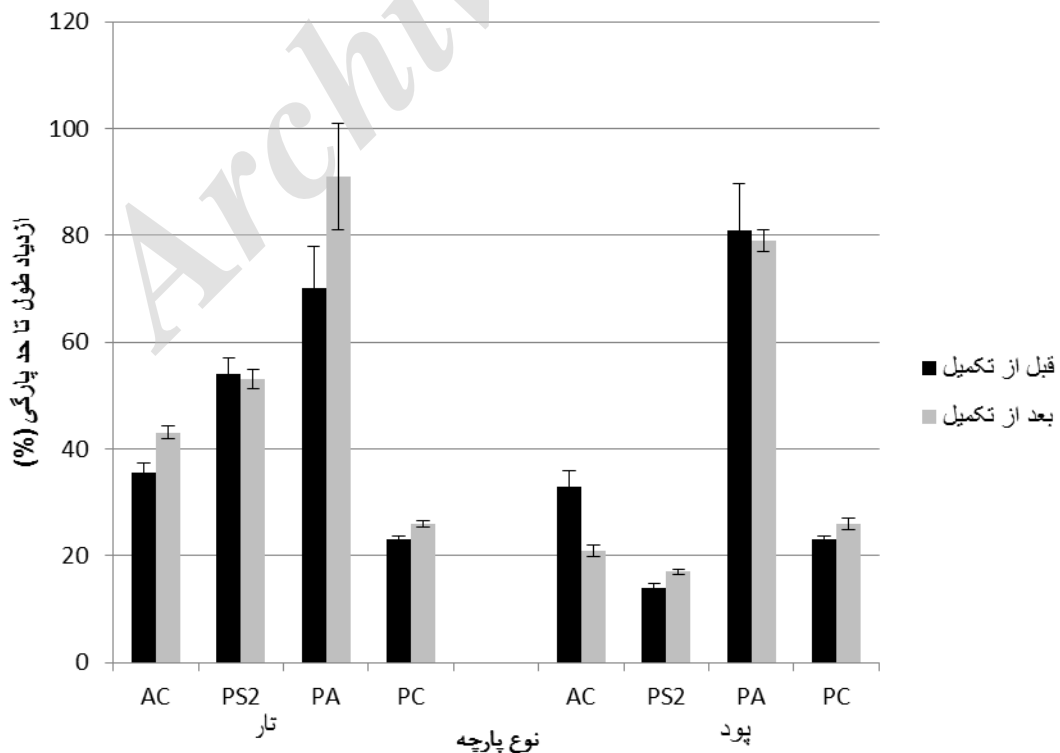
۳-۸-۳-۱- اندازه‌گیری استحکام کششی پارچه

در نمودار ۳-۴، استحکام کششی نمونه‌ها قبل و بعد تکمیل، مقایسه شد. همانطور که مشخص است استحکام کششی در جهت تار نمونه اکریلیکی، بعد از تکمیل تغییرات زیادی داشته است که این کاهش را می‌توان با کم کردن مدت زمان تثبیت از ۴ دقیقه به ۲ دقیقه جبران کرد. در نمونه‌های پلی‌آمیدی نیز در جهت تار استحکام افزایش یافته است که این افزایش استحکام مربوط به جمع‌شدگی نمونه‌ها در جهت تار و در دمای تثبیت می‌باشد. در بقیه نمونه‌ها تفاوت چندانی در استحکام آنها قبل و بعد از تکمیل دیده نشد. باید توجه داشت اعمال حرارت در دماهای بالا جهت تثبیت مواد، موجب کاهش استحکام منسوجات می‌شود ولی در اینجا نیز این میزان حرارت تغییر چندانی در استحکام نمونه‌ها نگذاشته و آن را کاهش نداده است.



نمودار ۳-۴: استحکام کششی نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل با مواد دیرسوز

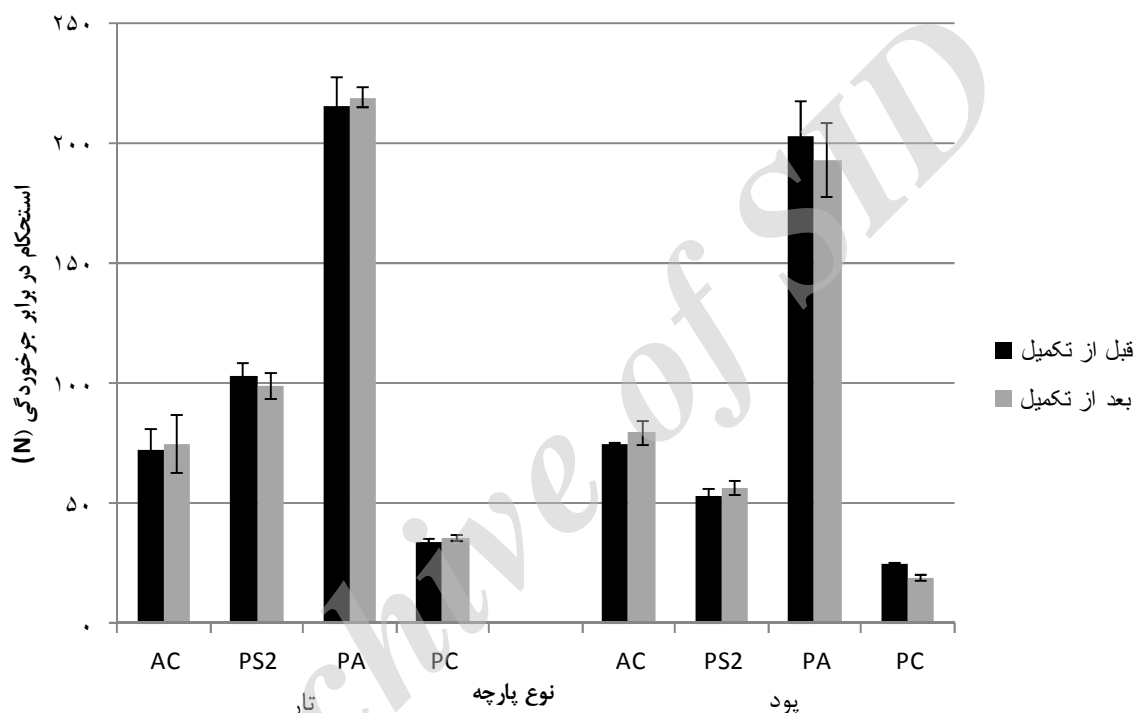
میزان ازدیاد طول تا حد پارگی نمونه‌ها نیز طی آزمون استحکام کششی اندازه‌گیری شد. مطابق نمودار ۳-۵، ازدیاد طول تا حد پارگی نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل تفاوت چندانی نداشته و استفاده از مواد دیرسوز تأثیر زیادی بر ازدیاد طول تا حد پارگی نمونه‌ها نگذاشته است. افزایش ازدیاد طول تا حد پارگی در جهت تار پارچه نایلونی، به جمع‌شدگی این پارچه مربوط می‌شود که همزمان با استحکام کششی، ازدیاد طول آن نیز افزایش یافته است.



نمودار ۳-۵: ازدیاد طول تا حد پارگی پارچه‌ها قبل و بعد از تکمیل با مواد دیرسوز

۳-۸-۲- استحکام پارچه در برابر جرخوردگی^۱

مطابق نمودار ۳-۶، نتایج بدست آمده از آزمون جرخوردگی نمونه‌ها، نشان داد که در بیشتر نمونه‌ها مقاومت پارچه در برابر جرخوردگی با تکمیل افزایش یافته است و استفاده از عملیات حرارتی و همچنین پایین بودن pH محلول بر استحکام آن تأثیر چندانی نداشته است. اینگونه به نظر می‌رسد قرارگیری مواد بر پارچه موجب گردید که این مواد به صورت فیزیکی در برابر نیروی وارد شده، مقاومت نشان داده و میزانی از این نیرو توسط این مواد تحمل گردید در نتیجه استحکام منسوجات افزایش یافت.



نمودار ۳-۶: استحکام در برابر جرخوردگی نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل با مواد دیرسوز کننده

۳-۹-۲- آزمایش خواص شیمیایی منسوجات قبل و بعد از دیرسوز کردن

ثبات منسوجات قبل و بعد از دیرسوز شدن در برابر نور و شستشو، مورد بررسی قرار گرفت تا تأثیر این مواد بر رنگ کالا تعیین گردد. نتایج بدست آمده بر هریک از نمونه‌ها در ادامه آمده است.

۳-۹-۱- ثبات نمونه‌ها در برابر نور

طبق این استاندارد نمونه‌های تکمیل شده و نمونه‌های شاهد در معرض نور قرار گرفت و نتایج بدست آمده با نمونه‌های شاهد مقایسه شد تا تأثیر مواد تکمیلی بر ثبات نوری پارچه مورد ارزیابی قرار گیرد. باید توجه داشت که نوع

ماده رنگزای استفاده شده برای پارچه‌هایی با جنس‌های متفاوت با یکدیگر فرق کرده و در نتیجه اثر رزین دیرسوز کننده بر تک تک پارچه‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۳-۴: ثبات نوری نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل

نوع پارچه	قبل از تکمیل	بعد از تکمیل
پتو (اکریلیکی)	۵	۵
رومبلی (پلی‌استر)	۵	۵
پرده (پلی‌استر)	۵	۵
پوشاک (پنبه/پلی‌استر)	۴-۵	۴-۵

مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۳-۴، رزین SP تأثیری بر ثبات نوری منسوجات پلی‌استری و اکریلیکی و رزین CE بر منسوجات پنبه/پلی‌استر نداشته است. در این آزمون چون از پارچه بدون رنگ نایلونی استفاده شد بنابراین خواص رنگی آن مورد آزمایش قرار نگرفت.

۳-۹-۲- ثبات شستشویی منسوجات

نتایج بدست آمده از ثبات شستشویی پارچه‌ها در جدول ۳-۵ ارائه شده است. همانطور که از اعداد بدست آمده از ثبات شستشویی نمونه‌ها مشخص است، رزین‌های استفاده شده تأثیر چندانی در ثبات شستشویی نمونه‌ها نداشته، فقط اندکی موجب کاهش ثبات شستشویی پارچه پنبه/پلی‌استری شد که این میزان چندان زیاد نبود. این کاهش اندک شاید مربوط به پایین بودن pH محلول است که بر منسوج پنبه/پلی‌استری تأثیر گذاشته و در نتیجه میزانی از رنگزا از سطح منسوج خارج شده است.

جدول ۳-۵: ثبات شستشویی نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل

نوع پارچه	عدد لکه‌گذاری روی پارچه غیر هم‌جنس (پنبه)		عدد لکه‌گذاری روی پارچه هم‌جنس		عدد تغییر رنگ	
	قبل از تکمیل	بعد از تکمیل	قبل از تکمیل	بعد از تکمیل	قبل تکمیل	بعد از تکمیل
پتو (اکریلیک)	۵	۵	۵	۵	۵	۵
پرده (پلی‌استر)	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۵	۵
پوشاک (پنبه/پلی‌استر)	۴	۳-۴	۴	۴	۴	۴

۳-۱۰-۱- آزمایش میزان اشتعال پذیری منسوجات قبل و بعد از دیرسوز کردن

براساس استانداردهای گوناگون خواص اشتعال‌پذیری نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه به بررسی رفتار هر یک از منسوجات در برابر شعله پرداخته و دیرسوز شدن آنها ارزیابی شد.

۳-۱۰-۱- اندازه‌گیری اشتعال‌پذیری افقی نمونه‌ها

نتایج جدول ۳-۶ نشان می‌دهد که شعله در نمونه پرده‌ای با توجه به تکمیل پارچه با مواد دیرسوز کننده و برخلاف نمونه بدون تکمیل گسترش نیافته و با گذشت زمان آزمون و با دور کردن شعله، خاموش شد. این در حالی است که نمونه شاهد در این مدت محترق شده و شعله با گذشتن از علامت اول و با سرعت ۸۵ میلی‌متر بر دقیقه پیشروی کرده و تا قبل از علامت دوم خاموش شده است.

جدول ۳-۶: آزمایش اشتعال‌پذیری افقی نمونه‌ها

نوع پارچه	نوع سوختن		سرعت سوختن (mm/min)	
	قبل تکمیل	بعد از تکمیل	قبل از تکمیل	بعد از تکمیل
پتو اکریلیکی	A	A	-	-
رومبلی (پلی‌استر)	A	A	-	-
پرده (پلی‌استر)	D	A	۸۵	-
نایلونی	A	A	-	-
پنبه پلی‌استر	E	E	۹۶	۶۴

در هر دو نمونه پنبه/ پلی‌استری، به محض رسیدن آتش به لبه پارچه، نمونه شروع به سوختن کرده و شعله تا رسیدن به دومین علامت ادامه داشته با این تفاوت که سرعت سوختن نمونه تکمیل شده کمتر از نمونه شاهد بود. برای پارچه‌های مانند نایلونی و رومبلی، شاید از آنجا که وزن در واحد سطح آنها زیاد بوده است آتش در همان مراحل اولیه متوقف شد و پیشرفتی نداشته است. نحوه سوختن پارچه اکریلیکی قبل و بعد از تکمیل در تست افقی تفاوتی چندانی با یکدیگر نداشت نتایج بدست آمده نشان داد که پارچه اکریلیکی، پلی‌استری و نایلونی بعد از تکمیل، در برابر سوختن از خود مقاومت نشان داده و متوقف شدند و آتش در آنها گسترش نیافت.

۳-۱۰-۲- تست عمودی نمونه‌ها براساس استاندارد FAR ۲۵,۸۵۳

این آزمایش برای ۴ نوع پارچه تکمیل شده و تکمیل نشده انجام شد و نتایج آن در جدول ۳-۷ ارائه شده است. نتایج نشان داد که نمونه پارچه اکریلیکی با اتمام زمان ۱۲ ثانیه با دور شدن از شعله در هر دو حالت

تکمیل شده و تکمیل نشده خاموش شده است. این الیاف قبل از آنکه ذوب شوند تخریب می‌گردند. با مقایسه میزان پیشروی شعله در پارچه معلوم گردید طول سوختگی نمونه تکمیل شده کمتر از نمونه شاهد می‌باشد در نتیجه میزان پیشروی شعله در آن کمتر بوده است.

جدول ۳-۷: نتایج تست عمودی نمونه‌ها براساس استاندارد FAR ۲۵,۸۵۳

طول سوختگی (mm)		مدت زمان تولید اولین قطره مذاب (s)		مدت زمان خود خاموش‌شوندگی (s)		درصد اضافه وزن	نوع پارچه
		قبل از تکمیل	بعد از تکمیل	قبل از تکمیل	بعد از تکمیل		
۳۵	۴۵	-	-	۰	۰	۱۱/۷	پتو (اکریلیک)
۱۸	سوختن پایدار	-	۸	۰	سوختن پایدار	۱۴/۲	پرده (پلی‌استر)
۳۵	۴۱	۱۱/۹۶	۶/۷۶	۰	۰	۱۱/۹	نایلونی
سوختن پایدار	سوختن پایدار	-	-	سوختن پایدار	سوختن پایدار	۲/۱	پوشاک (پنبه/پلی‌استر)

پارچه تکمیل نشده پلی‌استری در مدت زمان آزمایش شعله‌ور گردید و با دور کردن شعله نیز همچنان به سوختن خود ادامه داد و اولین قطره تولید شده در طی این آزمایش در زمان ۶/۷۶ ثانیه از زمان شروع آزمایش تولید شد این در حالی است که در مورد پارچه پلی‌استر تکمیل شده در طی آزمایش قطره مذابی تولید نشد و با گذشت ۱۲ ثانیه با دور شدن از شعله خاموش گردید به عبارتی خاصیت خود خاموش‌شوندگی داشت. طول سوختگی پارچه پرده‌ای تکمیل شده نیز بسیار کم بوده است ولی نمونه خام پارچه بعد از زمان احتراق به سوختن خود ادامه داده و خاموش نگردید.

پارچه نایلونی استفاده شده در این تحقیق، در طی آزمایش برای هر دو مورد تکمیل شده و تکمیل نشده اندکی با شعله سوخت ولی بعد از گذشت ۱۲ ثانیه با دور شدن از آتش، شعله‌ای در پارچه مشاهده نشد. طول سوختگی نمونه تکمیل شده از نمونه خام کمتر بود و در طی واکنش قطره مذاب بعد از گذشت ۱۱/۹۶ ثانیه تولید گردید این در حالی است که برای نمونه تکمیل نشده زودتر و در زمان ۶/۷۶ ثانیه تولید شد.

پارچه پنبه/پلی‌استری به دلیل وجود ۲۰ درصد از پنبه در ساختار خود بعد از قرار گرفتن در معرض شعله و ذوب شدن جز پلی‌استری، به علت حضور پنبه، مذاب تولید شده چکه نکرد و در ساختار باقی ماند. اینگونه پارچه‌ها با توجه به اثر داریستی سریعتر می‌سوزند در نتیجه موجب افزایش خاصیت شعله‌وری نمونه می‌-

گردند. نتایج نشان داد که سوختن پارچه با تکمیل رزین، CE سوختنی پایدار دارد و سوخته ذغالی به جای گذارد.

۳-۱۰-۳- آزمایش ضریب اکسیژن محدود (LOI)

بالا بودن میزان LOI بیانگر عملکرد بهتر منسوج و مقاومت بالای آن در برابر آتش می‌باشد. هنگامی که میزان $LOI < 21$ ، نمونه قابل اشتعال است، $LOI = 21$ در مرز پایداری، $LOI : 21-28$ نمونه به طور آهسته می‌سوزد و $LOI : 28-100$ خود خاموش شونده است. در جدول ۳-۸ نتایج بدست آمده از آزمایش LOI نمونه منسوج قبل و بعد از تکمیل آورده شده است. [23]

جدول ۳-۸: نتایج آزمون LOI براساس استاندارد ASTM D 2863

ضریب اکسیژن محدود % (LOI)		نوع پارچه
بعد از تکمیل	قبل از تکمیل	
۲۵/۲	۲۱/۷	پتو (اکریلیک)
۳۶/۲	۱۹/۷	پرده (پلی‌استر)
۲۰/۵	۱۹/۲	پوشاک (پنبه/پلی‌استر)

با مقایسه میزان LOI پارچه اکریلیکی بعد از تکمیل با مواد دیرسوز، همانطور که مشخص شد میزان آن بیشتر شده و میزان اکسیژن بیشتری نیاز گردید تا پارچه بسوزد. این عدد قبل از تکمیل ۲۱/۷ درصد گزارش شد که بعد از استفاده از مواد دیرسوز به ۲۵/۲ درصد افزایش یافت. نتایج نشان داد که استفاده از ترکیب فسفردار بر منسوج اکریلیکی موجب افزایش خاصیت دیرسوز نمونه و کاهش قابلیت آتش‌پذیری آن شد.

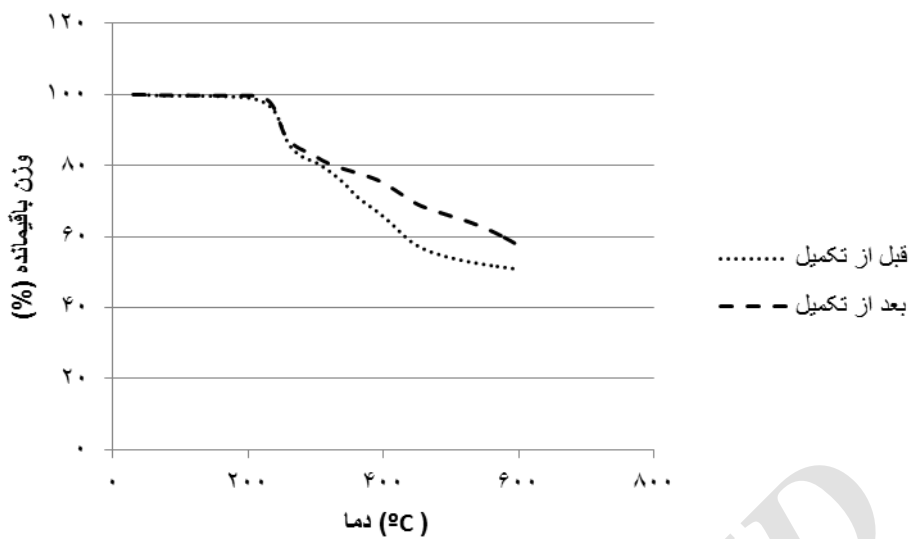
بالا بودن درصد LOI بعد از تکمیل منسوج پلی‌استری با مواد دیرسوز و افزایش آن از ۱۹/۷ درصد به ۳۶/۲ درصد بیانگر تأثیر مثبت این مواد بر کالا و ایجاد خاصیت خود خاموش‌شوندگی است. مواد کندکننده بر پایه فسفر این توانایی را دارند که با شرکت در فاز تراکم با مواد دارای اتم اکسیژن مانند پلی‌استر واکنش داده و عملیات تخریب منجر به تولید اسید فسفریک، ساختار پیروفسفات و رهایش آب شود و در نتیجه کالا دارای خاصیت دیرسوز گردد. در این تحقیق نیز منسوج پلی‌استری عمل‌آوری شده با مواد فسفری، دارای خاصیت دیرسوز شد و با دور شدن از شعله خاموش گردید.

در طی آزمایش LOI پارچه نایلونی، قطره مذاب تولید گردید و این قطرات تولید شده در طی آزمایش، با جدا شدن از نمونه موجب خاموش شدن نمونه گردیدند، در نتیجه میزان LOI افزایش یافت. بنابراین میزان عدد گزارش شده برای این آزمایش همراه با خطا بوده و قابل استناد نمی‌باشد. نتایج نشان داد که درصد LOI منسوج پنبه/ پلی‌استر افزایش یافت ولی این میزان چندان قابل توجه نبوده و با افزایش آن تا ۲۱/۵ درصد به مرز پایداری نزدیک شد و همانطور که در آزمایش طول سوختگی نمونه آمده بود سوخته ذغالی به جای گذاشت.

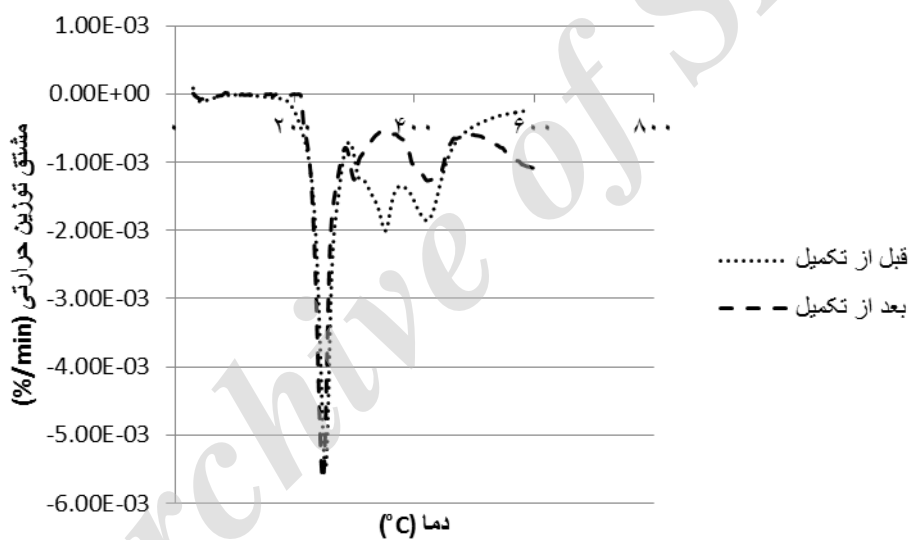
۳-۱۰-۴- آزمایش آنالیز توزین حرارتی (TGA)

به طور کلی در حالی که منسوج یا پلیمر حرارت داده می‌شود ابتدا با آتش گرفتن منسوج، گازهای قابل احتراق شکل می‌گیرد که تشکیل این محصولات به واسطه شکستن زنجیرها و کاهش وزن مولکولی آنها و تشکیل ترکیبات مونومری یا الیگومری است. نتایج بدست آمده از آزمایش TGA از چهار منسوج پلی‌استر، نایلون، اکریلیک و پنبه/پلی‌استر در نمودارهای ۳-۷، ۳-۸، ۳-۹ و ۳-۱۰ آمده است.

همانطور که در نمودار ۳-۷ آمده است تجزیه منسوج اکریلیکی قبل از تکمیل، در دمای ۱۷۷ درجه شروع می‌شود و بیشترین تخریب در دمای ۲۴۹ درجه اتفاق می‌افتد. مرحله اصلی پیرولیز کالای اکریلیکی قبل از تکمیل، تا دمای ۵۴۰ درجه ادامه داشت و بیشترین تغییرات در کالا در این مرحله گزارش شد. در انتهای مرحله پیرولیز حدود ۵۲ درصد از وزن کالا باقی ماند. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص شد که تخریب کالای اکریلیکی تکمیل شده، از دمای ۲۴۴ درجه شروع و در دمای ۲۴۴ درجه بیشترین تخریب کالا انجام شد. به طور کلی نتایج نشان داد که کالای اکریلیکی دیرسوز شده پایدارتر از نمونه شاهد بوده و مرحله پیرولیز تا دمای ۵۸۰ درجه ادامه یافت و حدود ۶۰ درصد از وزن کالا باقی ماند. سرعت تخریب کالای تکمیل شده به مراتب پایین‌تر از کالای شاهد گزارش شد و کالای تکمیل شده پایدارتر از کالای شاهد می‌باشد. کاهش وزن در منسوج اکریلیکی به علت خروج گاز هیدروژن، H_2O ، HCN ، NH_3 و تکه تکه شدن زنجیرها در دمای بالا می‌باشد. افزایش وزن باقی‌مانده در نمونه تکمیل شده می‌تواند به علت تشکیل گروههای کربونیل و یا هیدوکسی در زنجیر اصلی باشد که وجود هیدروژن زدایی در دماهای بالا امکان ایجاد گروههای کربن با باند دوگانه را ایجاد کرده، در نتیجه وزن نمونه در کالای تکمیل شده، با عملکرد فسفر در فاز تراکم افزایش یافته است. [۲۴]



(a)

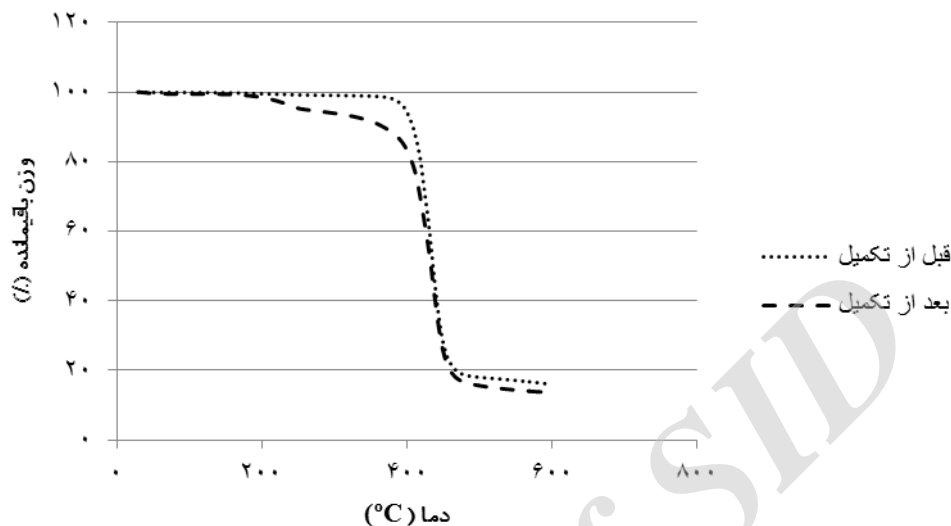


(b)

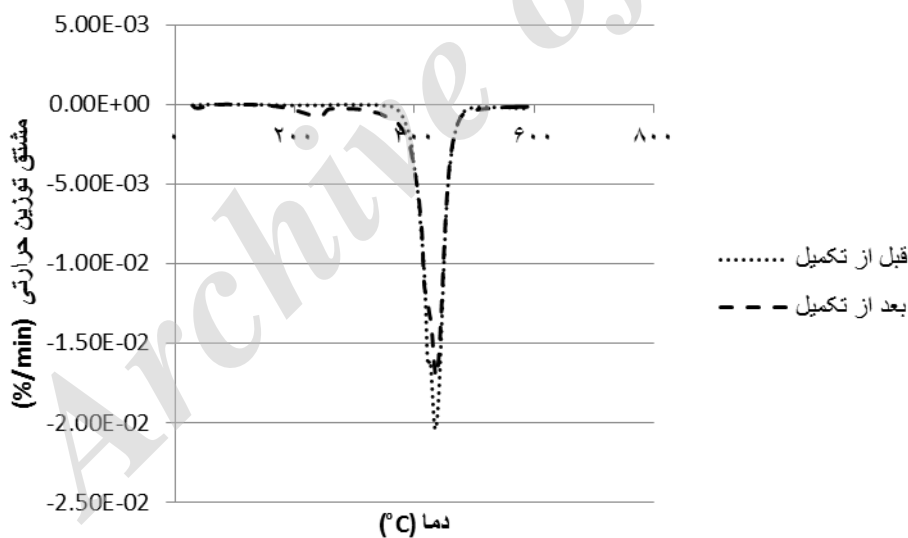
نمودار ۳-۷: نمودار (a) TGA و (b) DTG پتو (اکریلیک) قبل و بعد از تکمیل با مواد دیر سوز کننده

در نمودار ۳-۸ منحنی تغییرات حرارتی پارچه پلی استری قبل و بعد از تکمیل آمده است همانطور که مشخص شد تغییرات وزن برای نمونه شاهد قبل از تکمیل، در دمای ۳۵۰ درجه شروع و تا دمای ۴۸۹ درجه ادامه یافت. برای این نمونه بیشترین تخریب در دمای ۴۳۲ درجه با ۴۸ درصد وزن باقیمانده بوده است. برای پارچه تکمیل شده تغییرات وزن از دمای ۱۷۵ درجه شروع و تا دمای ۳۷۳ درجه با کاهش وزن کمتر آغاز و سپس تا دمای ۴۸۹ درجه و کاهش وزن ۱۷ درصد باقیمانده ادامه داشت. با تکمیل پارچه بیشترین تخریب در دمای ۴۳۳ درجه با ۵۱ درصد وزن باقیمانده اتفاق افتاده است. میزان ذغال تولید شده در این فرآیند

برای نمونه تکمیل نشده اندکی بیشتر از نمونه دیرسوز است و تفاوت چندانی در مرحله تخریب و تشکیل ذغال میان این دو نمودار مشاهده نشد و در انتهای مرحله پیرولیز نمودارها تقریباً دارای هم‌پوشانی بودند.



(a)

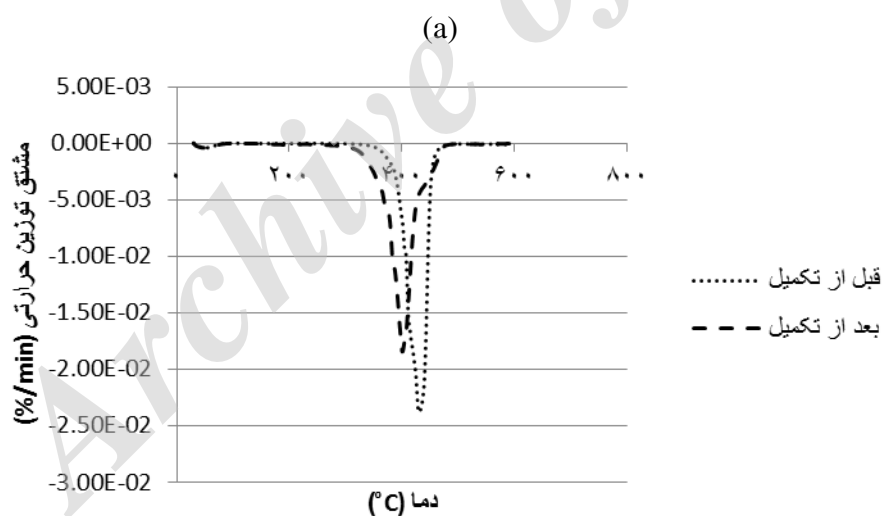
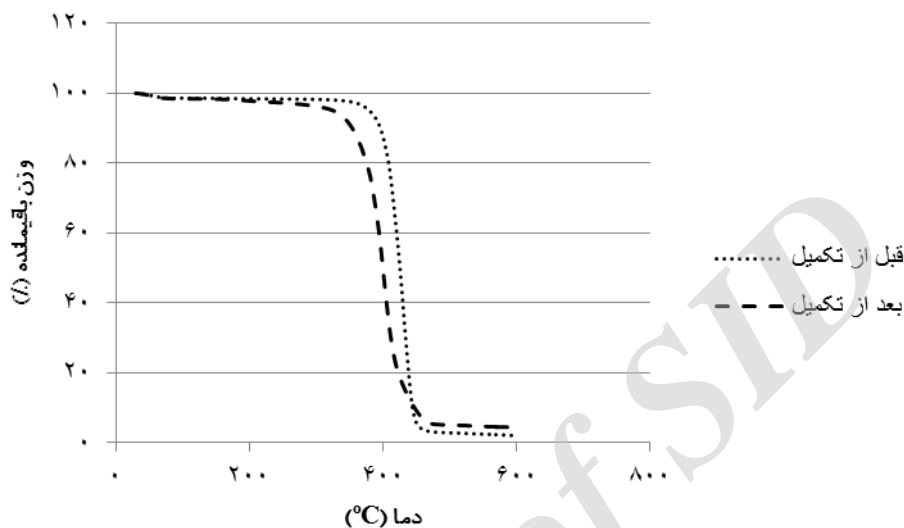


(b)

نمودار ۳-۸: نمودار (a) TGA و (b) DTG پلی‌استر قبل و بعد از تکمیل با مواد دیر سوز کننده

در نمودار ۳-۹ منحنی TGA منسوج نایلونی آمده است. همانطور که مشخص شد دمای شروع پیرولیز نمونه تکمیل شده کمتر از دمای نمونه شاهد گردید و برای نمونه تکمیل شده ۲۷۵ درجه و برای نمونه شاهد ۳۳۰ درجه گزارش شد. دمایی که بیشترین تخریب نمونه تکمیل شده در آن اتفاق می‌افتد ۳۹۸ درجه با ۴۹ درصد کاهش وزن می‌باشد که این میزان برای نمونه شاهد با دمای ۴۲۷ درجه و ۵۵ درصد کاهش

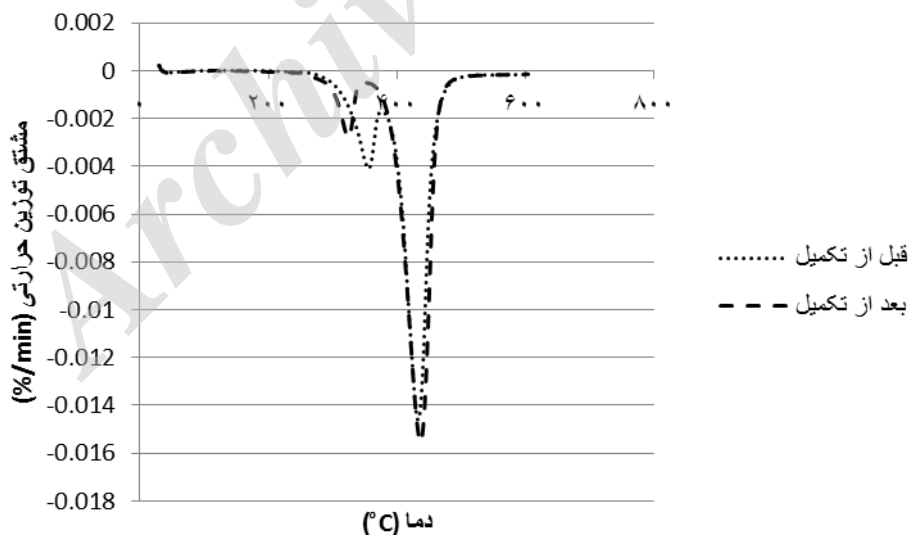
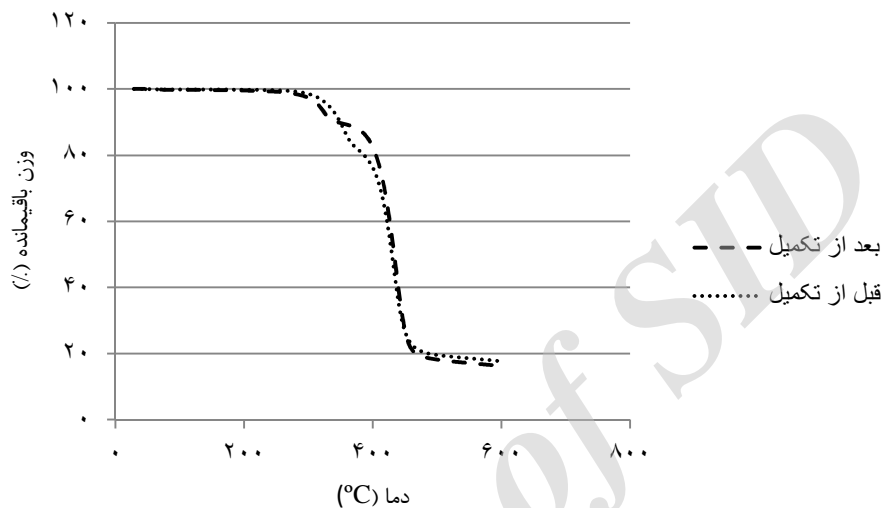
وزن، کمتر می‌باشد. مرحله پیرولیز تا دمای ۵۶۰ درجه برای کالای تکمیل شده و ۴۵۰ درجه کالای شاهد ادامه یافت. در انتهای کار تفاوتی در میزان ذغال تشکیل شده مشاهده نشد تنها برای نمونه تکمیل شده اندکی بیشتر بود و ثبات حرارتی هر دو نمونه تفاوت چندانی را نشان نداد.



نمودار ۳-۹: نمودار (a) TGA و (b) DTG نایلون قبل و بعد از تکمیل با مواد دیرسوز کننده

کالای پنبه/پلی‌استر تحت آزمون آنالیز حرارتی قرار گرفت. طبق نتایج بدست آمده که در نمودار ۳-۱۰ آمده است ابتدا کالای پنبه‌ای تخریب گردید. دمای ابتدایی تخریب هر دو منسوج، در دمای ۳۰۲ درجه آغاز شد و با افزایش دما، رفتار حرارتی متفاوتی برای جزء پلی‌استری دو نمونه مشاهده شد. در این مرحله آغاز تخریب برای پارچه قبل از تکمیل، ۳۶۶ درجه و بعد از تکمیل ۳۴۳ درجه گزارش شد. مرحله تخریب کالا تا

دمای ۴۵۹ درجه ادامه یافته و میزان وزن باقیمانده ۲۳ درصد گزارش شد. بیشترین تخریب جزء پنبه ای قبل از تکمیل در دمای ۳۴۸ درجه و بعد از تکمیل در دمای پایین‌تر و ۳۱۸ درجه اتفاق می‌افتد برای جزء پلی‌استری با افزایش دما هر دو نمودار دارای هم‌پوشانی شدند. بیشترین تفاوت در شروع تخریب جزء پلی-استری دو نمونه پارچه است، که ثبات حرارتی نمونه تکمیل شده بیشتر از نمونه قبل از تکمیل مشاهده شد.



نمودار ۳-۱۰: نمودار (a) TGA و (b) DTG پنبه/پلی‌استر قبل و بعد از تکمیل با مواد دیرسوز کننده

خلاصه نتایج به دست آمده از بررسی رفتار حرارتی هر یک از منسوجات پنبه/پلی‌استر، نایلون، پلی‌استر و اکریلیک در جدول ۳-۹ آمده است. مطابق جدول ۳-۹ همانطور که مشخص شد درصد وزن باقیمانده طی

آزمایش TGA کالا وابسته به نوع و رفتار حرارتی منسوج که بستگی به ساختمان شیمیایی و دمای اعمال شده دارد متفاوت است. میزان ذغال تولید شده در شرایط متفاوت برای هر یک از منسوجات متفاوت بوده و میزان آن کاهش یا افزایش داشته است. کالای اکریلیک و نایلونی در دماهای بالاتر ذغال بیشتری تولید کرده در حالی که در کالای پلی‌استر و پنبه/پلی‌استر این میزان کاهش یافته است [۲۵].

جدول ۳-۹: درصد وزن باقیمانده منسوجات در دماهای مختلف

درصد وزن باقیمانده						محیط	پارچه
500C		400C		300C			
بعد از تکمیل	قبل از تکمیل	بعد از تکمیل	قبل از تکمیل	بعد از تکمیل	قبل از تکمیل		
۱۵/۵۹	۱۸	۸۳/۱۶	۹۳/۸۵	۹۳/۸۹	۹۹/۰۴	N ₂	پلی‌استر
۵/۰۱	۲/۷۵	۴۸/۵۹	۸۶/۸۰	۹۶/۲۶	۹۸/۲۶	N ₂	نایلون
۶۵/۷۰	۵۳/۹۲	۷۴/۹۴	۶۵/۴۵	۸۲/۵۰	۸۰/۷۸	N ₂	اکریلیک
۱۸/۱۷	۱۹/۵۶	۸۲/۳۳	۷۵/۹۲	۹۷/۳۴	۹۸/۴۹	N ₂	پنبه/پلی‌استر

۳-۱۱- جمع بندی

در این فصل خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و اشتعال‌پذیری منسوجات بررسی شد و نتایج هر یک از این آزمون‌ها اعلام گردید. با توجه به داده‌های به دست آمده در نهایت به یک جمع بندی نهایی رسیده شد که در فصل چهارم کلیات آنها ذکر می‌شود.

فصل چهارم

نتیجه گیری

Archive of SID

۴-۱- مقدمه

در تحقیق حاضر، نمونه پارچه‌ها با توجه به مواد موجود در کشور و قابل دسترس تکمیل شدند. از آنجایی که رفتار حرارتی منسوجات به دلیل ساختار شیمیایی متفاوت، منحصر به فرد می‌باشد، در نتیجه عملکرد آنها نیز در مقابل آتش گوناگون است. اکثر الیاف مصنوعی در برابر آتش به شدت آتش گرفته و با خارج شدن از آتش نیز همچنان به سوختن ادامه می‌دهند. تولید قطرات در حین سوختن این مواد، به شدت خطرناک بوده و غالباً با شعله همراه می‌باشد و آسیب‌های ایجاد شده توسط آنها به شدت زیان‌آور است.

در این تحقیق مواد متفاوتی برای دیرسوز کردن منسوجات استفاده شد و در انتها رزین‌های مناسب با توجه به خاصیتی که به منسوجات می‌بخشیدند برای این کار انتخاب شدند. استفاده از این مواد در شرایط مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته و در انتها نسخه مناسب برای هر جنس پارچه تعیین گردید. بررسی‌ها نشان داد که رزین استفاده شده موجب به تأخیر انداختن شعله‌وری نمونه‌ها مخصوصاً پلی‌استر گردید و رفتار حرارتی آنها را تغییر داد. از آنجا که پارچه‌ها در حضور مواد شیمیایی رفتار منحصر به فرد خود را نشان می‌دهند آزمایشات دیگری از جمله تعیین خواص فیزیکی و شیمیایی نیز بر منسوجاتهای تکمیل شده انجام شد تا تأثیر بیشتر این مواد بر ساختار ماده مشخص گردد.

۴-۲- ارزیابی میزان اشتعال‌پذیری منسوجات منتخب دیرسوز شده

در این تحقیق به طور کلی چهار نوع پارچه مورد آزمایش قرار گرفت. این نوع پارچه‌ها در زندگی روزمره بیشتر مورد مصرف قرار می‌گیرند و کاربردهای متفاوتی را در منازل و اماکن عمومی چون وسایل حمل و نقل، سینماها، هتل‌ها و ... را در بر دارند. از آنجا که امکان آتش سوزی در این اماکن بسیار زیاد است و امکان تولید منسوجاتی که اصلاً آتش نگیرند با توجه به قیمت آنها و کاربرد روز افزونشان وجود ندارد بنابراین نیازمند استفاده از منسوجاتی خواهیم بود که در حضور آتش دیرتر آتش گرفته و یا در حضور آتش کمتر شعله‌ور شدند.

تکمیل منسوجات با مواد شیمیایی یکی از روشهایی است که جهت دیرسوز کردن پارچه‌هایی با الیاف مصنوعی استفاده می‌گردد. این روش مقرون به صرفه بوده و اعمال آن بر منسوجات نیازمند استفاده از دستگاه و تجهیزات خاصی نمی‌باشد. در اینجا نیز ما منسوجات را با رزین‌های دیرسوز تکمیل کرده و رفتار حرارتی منسوجات را با نمونه تکمیل نشده مورد مقایسه قرار دادیم.

همانطور که می‌دانیم پارچه پلی‌استری در حضور آتش به شدت شعله‌ور شده و با دور شدن از شعله با تولید جرقه و ایجاد قطرات مذاب همراه با آتش، به سوختن خود ادامه می‌دهد. برای کاهش میزان شعله‌وری این مواد ترکیبات زیادی استفاده شده است یکی از موادی که جهت دیرسوز کردن آنها بسیار استفاده می‌شود ترکیباتی فسفری است که در این تحقیق نیز از ترکیبات آلی فسفری جهت دیر سوز شدن پارچه‌های مصنوعی استفاده شد.

نتایج نشان داد که منسوجات پلی‌استر تکمیل شده طی انجام آزمایشات و در حضور شعله دیرتر آتش گرفته و با دور کردن شعله از پارچه، خاموش گردید. از جمله مواردی که در هنگام سوختن منسوجاتی پلی-استری اتفاق می‌افتد تولید قطرات مذاب می‌باشد که این قطرات بسیار خطرناک بوده و آسیب‌های وارده از آن جبران‌ناپذیر است. با دیرسوز کردن منسوجات پلی‌استری میزان تولید این قطرات به شدت کاهش یافت و برخلاف منسوجات بدون تکمیل، با گذشت زمان زیادی، قطرات مذاب تولید شده بدون آتش فرو ریختند. نتایج آزمایشات LOI قبل و بعد از تکمیل منسوج، نیز که با افزایش آن از ۱۹/۷٪ به ۳۶/۲٪ حاکی از آن بود جهت سوختن منسوج بعد از تکمیل به اکسیژن بیشتری احتیاج است تا کالا آتش بگیرد و آتش‌پذیری نمونه کاهش یافته است.

استفاده از منسوجاتی اکریلیکی در ااثیه و لوازم منزل مانند فرش، پتو، پوشاک و ... زیاد بوده و ترکیب آن با الیاف دیگر بسیار متداول می‌باشد از این رو دیرسوز کردن این پارچه‌ها نیز بسیار مورد توجه است. سوختن منسوجاتی اکریلیکی نیز همراه با دود و ایجاد جرقه‌هایی می‌باشد که از نوع سوختن پایدار بوده و با دور شدن از آتش، به سوختن خود ادامه می‌دهد. جهت دیرسوز کردن این پارچه‌ها نیز از رزین SP استفاده شد، درصد LOI این منسوج از ۲۱/۷ درصد برای منسوج قبل از تکمیل، به ۲۵/۲ بعد از تکمیل با مواد دیرسوز افزایش یافت و نمودار TGA نشان داد که کالا از ثبات حرارتی بیشتری نسبت به قبل از تکمیل برخوردار است. با انجام این عملیات تکمیلی بر منسوجات، تمایل به آتش گرفتن در آن کاهش یافت و منسوجاتی اکریلیکی تکمیل شده با دور شدن از شعله خاموش گردید به عبارتی منسوجات خاصیت خاموش‌شوندگی داشت و منسوجات دیرسوز شد.

پارچه نایلونی ۶ نیز در حضور آتش به شدت آتش گرفته و قطرات مذابی پرتاب شونده همراه با شعله‌های آتش تولید می‌کند. با تکمیل منسوجاتی پلی‌امیدی استفاده شده در کوله‌های نظامی، مشخص گردید استفاده از رزین SP بر منسوجات، موجب دیر سوز شدن آن گردید و مطابق با آزمایش عمودی شعله انجام شده بر منسوجات براساس استاندارد FAR ۲۵,۸۵۳، مدت زمان تولید اولین قطره تولید شده توسط منسوجات نیز

کاهش یافت. در این آزمایش طول سوختگی نمونه عمل‌آوری شده کمتر از نمونه تکمیل نشده بود و به عبارتی منسوجات دیرسوز شد. به علت تولید قطرات مذاب انجام آزمون LOI بر پارچه میسر نشد.

دیرسوز شدن منسوجات مخلوط پنبه/پلی‌استر (۸۰/۲۰) نیز آزمایش شد. از آنجا که مورد مصرف این پارچه بیشتر در زمینه البسه و پوشاک بوده و این پارچه نیازمند شستشوی مداوم می‌باشد، بنابراین خاصیت دیرسوز بعد از شستشو بررسی شد. نتایج بدست آمده نشان داد که استفاده از رزین CE بهتر از رزین SP و مخلوط این دو رزین بوده بنابراین در این آزمایش منسوجات با رزین CE تکمیل شد. نتایج بدست آمده از دیرسوز شدن منسوجات پنبه پلی‌استر نشان داد که منسوجات دیرسوز شده و بعد از سوختن، سوخته ذغالی به جای گذاشت.

با مطالعات و آزمایشات انجام شده متمادی بر این چهار نوع منسوجات به این نتیجه رسیده شد که به کارگیری رزین SP بر منسوجاتی پلی‌استر، نایلون و اکریلیک موثر بوده و رفتار حرارتی آنها تغییر کرده و منسوجات دیرسوز شده است. به کارگیری این مواد موجب ایجاد خاصیت خود خاموش‌شوندگی منسوجات گردیده و منسوجات با دور شدن از شعله خاموش شدند.

۴-۳- بررسی تأثیر عملیات ضدآتش کردن بر خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی منسوجات منتخب

با توجه به کاربرد متعدد این نوع پارچه‌ها در جاهای متفاوت، نیاز است تا خواصی مانند خواص شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی آنها نیز در کنار خاصیت دیرسوز مورد ارزیابی قرار گیرد. برای مثال منسوجاتی مانند پرده، نیاز است تا از ثبات نوری بالایی برخوردار باشد و با به کار بردن مواد دیرسوز بر منسوجات، جهت ایجاد خاصیت دیرسوز کنندگی این خاصیت تحت تأثیر قرار نگرفته و منسوجات همچنان از ثبات نوری بالایی برخوردار باشد. به همین منظور خواص شیمیایی و فیزیکی متفاوتی از پارچه‌ها مورد بررسی قرار گرفت تا توانایی پارچه در اینگونه از خواص نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

در بررسی خواص فیزیکی منسوجات، ضخامت نمونه و وزن در واحد سطح منسوجات مورد ارزیابی قرار گرفت. با تکمیل منسوجات با مواد دیرسوز، وزن در واحد سطح و ضخامت نمونه‌ها افزایش یافت که بیانگر وجود این مواد بر منسوجات می‌باشد. خواص مکانیکی پارچه‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت و مواردی چون استحکام کششی و استحکام در برابر جرخوردگی مد نظر قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که تکمیل منسوجات با مواد دیرسوز تأثیر چندانی بر استحکام منسوجات نداشته و در مواردی نیز موجب افزایش اینگونه خواص در منسوجات گردیده است این افزایش صرف‌نظر از جمع‌شدگی منسوجات در موردی مانند پارچه

نابلونی، به علت مانع فیزیکی ایجاد شده بر پارچه است که موجب می‌شود تا میزانی از نیروی اعمال شده بر منسوجات توسط این مواد تحمل گردد و در نتیجه استحکام منسوجات افزایش یابد.

اثرات متقابل مواد که در مراحل تکمیلی منسوجات بر آن اضافه می‌شود با بررسی خواص شیمیایی تعیین می‌شود. برای اینکار ثبات شستشویی و نوری منسوجات مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تکمیل دیرسوز منسوجات با رزین SP برای پارچه با جنس پلی‌استر و اکریلیک و رزین CE برای پارچه پنبه/پلی‌استر کمترین تأثیر را داشته و ثبات شستشویی و نوری منسوجات با اعمال این مواد تغییر چندانی نداشته است.

با توجه به دامنه وسیع مواد دیرسوزی که برای منسوجات استفاده می‌شود و خصوصیات متفاوتی که به منسوجات می‌بخشد نیاز است تا مواد گوناگونی برای دیرسوز کردن منسوجات استفاده گردد تا با بررسی آنها بهترین نتیجه به دست آید. باید توجه داشت که علاوه بر کارایی این مواد بر منسوجات باید قیمت آنها نیز مورد توجه باشد تا قیمت تمام شده آن نیز وابسته به استفاده زیاد اینگونه منسوجات بالا نبوده یا به عبارتی صرفه اقتصادی داشته باشد.

رزین SP استفاده شده در این تحقیق عملکرد خوبی در دیرسوز کردن منسوجاتی مصنوعی داشته و استفاده از آن بر منسوجات بسیار راحت و بدون استفاده از هرگونه ماده جانبی می‌باشد. تنها نکته، ثبات پایین این مواد بر منسوجات است که به شستشو حساس بوده و با انجام عملیات شستشویی از میزان آن بر منسوجات کاسته می‌شود. نتایج نشان داد که سازگاری منسوجاتی پلی‌استری در میان دیگر جنس پارچه‌های استفاده شده بیشتر بوده و نتایج دیرسوز کردن منسوجات با این رزین مطلوب تر از دیگر منسوجات بوده است. دیگر پارچه‌ها نیز سازگاری خوبی با این ماده از خود نشان داده‌اند و نتایج آنها نیز رضایت بخش می‌باشد. دیرسوز کردن پارچه پنبه/پلی‌استر با درصد بیشتری از جزء پنبه با رزین CE، بهتر از نمونه استفاده شده در این تحقیق می‌باشد که با جذب بیشتر این رزین بر منسوجات ثبات آن افزایش یافته و منسوجات دیرسوز تر می‌شود.

مراجع

- 1_ A. R. Horrocks, "Flame retardant challenges for textiles and fibres: New chemistry versus innovatory solutions", *Polymer Degradation and Stability* 96: 377-392 (2011).
- 2_ E. A. Dalton, "Durable Flame Retardant and Antimicrobial Nano-Finishing", A thesis submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science, (2009).
- 3_ M. S. Subbulakshmi, N. Kasturiya, Hansarje, "Production of Flame-Retardant Nylon 6 and 6.6", *Macromolecular Chemistry and Physics*, 85-104 (2000).
- 4_ توانایی، حسین: الیاف بشر ساخته، انتشارات ارکان، پاییز ۱۳۷۷.
- 5_ S.V. Levchik, E.D. Weil, "A review on thermal decomposition and combustion of thermoplastic polyesters", *Polymers for Advanced Technologies* 15: 691-700 (2004)
- 6_ R. C. NAMETZ, "Flame-retarding synthetic textile fibers", *Industrial and Engineering Chemistry* 62 (1970)
- 7_ S. Yu Lu, I. Hamerton, "Recent developments in the chemistry of halogen-free flame retardant polymers", *Progress in Polymer Science*. 27 1661-1712 (2002)
- 8_ Y. Chin Li, "Environmentally benign flame retardant for fabrics", Office of Graduate Studies of Texas A&M University, (2011).
- 9_ د. شیندلر، ولفگانگ. کمالی مقدم، مقداد؛ صفی، سمیه؛ مرتضوی، سید مجید: تکمیل شیمیایی منسوجات، انتشارات ارکان دانش، بهار ۱۳۸۹.
- 10_ J. Alongi, F. Carosio, G. Malucelli, "Current emerging techniques to impart flame retardancy to fabrics: An overview", *Polymer Degradation and Stability* 1-12 (2013).
- 11_ F. Laoutid, L. Bonnaud, M. Alexandre, J. M. Lopez-Cuesta, Ph. Dubois, "New prospects in flame retardant polymer materials: from fundamentals to nanocomposites",
- 12_ L. P. Salgaonkar, R. V. Jayaram, "Thermal and flame-retardant properties of polyester fabric grafted with polyanilines", *Applied Polymer Science* 93 1981-1988 (2004).
- 13_ F. Carosio, G. Laufer, J. Alongi, G. Camino, J. C. Grunlan, "Layer-by-layer assembly of silica-based flame retardant thin film on PET fabric", *Polymer Degradation and Stability* 96 745-750 (2011).
- 14_ P. Bajaj, A. Agrawal, A. Dhand, "Flame retardation of acrylic fibers", An Overview", *Macromolecular Chemistry and Physics* 40 309-337 (2000)
- 15_ M.J. Tsafack, J. Grqztmacher, "Plasma-induced graft-polymerization of flame retardant monomers onto PAN fabrics", *Surface & Coatings Technology* 200 3503- 3510(2006).

- 16_ M. Doan, E. Bayraml, "Effect of boron phosphate on the mechanical, thermal and fire retardant properties of polypropylene and polyamide_6 fibers", *Fibers and Polymers* 14 1595_1601(2013)
- 17_ M. Coquelle, S. Duquesne, M. Casetta, J. Sun, S. Zhang, S. Bourbigot, "Investigation of the decomposition pathway of polyamide 6/ammonium sulfamate fibers", *Polymer Degradation and Stability* 106 150_157(2014)
- 18_ X. Li, X. Gu, , S. Zhang, H. Li, Q. Feng, J. Sun, Q. Zhao, "Improving the fire performance of nylon 6,6 fabric by chemical grafting with acrylamide", *Industrial & Engineering Chemistry Research* 52 2290–2296 (2013)
- 19_ S. M. Kolhe, A. Kumar, "Radiation-induced grafting of vinyl benzyl trimethyl ammonium chloride onto nylon_6 fabric", *Radiation Physics and Chemistry* 76 901–906 (2007).
- 20_ H. Yang, C. Q. Yang, Q. He,"The bonding of a hydroxy-functional organophosphorus oligomer to nylon fabric using the formaldehyde derivatives of urea and melamine as the bonding agents", *Polymer Degradation and Stability* 94 1023–1031(2009)
- 21_ L. Li, G. Chen, W. Liu, J. Li, Sh. Zhang, "The anti-dripping intumescent flame retardant finishing for nylon_6,6 fabric", *Polymer Degradation and Stability* 94 996–1000 (2009).
- 22_ A R Horrocks, "Flame-retardant Finishing of Textiles", *Rev. Prog. Coloration* 16 (1986).
- 23_ S. S. Ugur, M. Sarıus, . A. H. Aktas, "Nano-Al₂O₃ multilayer film deposition on cotton fabrics by layer-by-layer deposition method" *Materials Research Bulletin* 46 1202–1206 (2011).
- 24_ K. Sen, P. Bajaj, T.V. Srekummar, "Thermal Behavior of Drawn Acrylic Fibers", *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics*, Vol. 41, 2949–2958 (2003).
- 25_ A. Richard Horrocks, M. Y Wang, M. E. Hall, Femi Sunmonu, J. S Pearson, "Flame retardant textile back_coatings. Part 2. Effectiveness of phosphorus-containing flame retardants in textile back coating formulations", *Polymer International*, 49:1079±1091 (2000).

Abstract

In this study, four types of fabric made of polyester, nylon, acrylic and cotton/polyester (20/80), being in the most common textiles were used. Nylon, polyester and acrylic textiles were finished by SP resin and a cotton/polyester textile was finished by CE resin. To evaluate the effect of back-coating resin, different resins were used. Horizontal and vertical flame test to assess the flammability of the samples were examined. Tear Strength, breaking strength, elongation, and color fastness to washing and light of samples were measured.

The results showed that the SP resin without any auxiliary had good performance to fire retardant of polyester, acrylic and nylon textile. Samples turned off when kept them out of fire and no molten droplets were observed during the test. The fire retardant – cotton/polyester textile had charred as well as flame speed was reduced in samples. Using fire resistance material didn't any changes of tear Strength, breaking strength, elongation, and color fastness to washing and light of samples.

Keywords: Ppolyester, nylon, Acrylic, cotton/Polyester, Fire Retardant, Flammability, Textile, Backcoating and Resin.



ACECR
Research and Technology Deputy



Islamic Republic of Iran

**Study and Present Various Method of Fire
Retardent Finishing for Conventional Textile
(Second Ver)**

(2176-11)

Amirkabir University of Technology Branch

Hamidreza Alibabaei

Textile Technology Research Group

Summer 2016