

## بازیافت ضایعات نساجی: پیش به سوی آینده پایدار

علاوه بر آن به گزارش آژانس محیط زیست اروپا، بیش از ۱/۴ میلیون تن از منسوجات ضایعاتی در سال ۲۰۲۰ به خارج از اتحادیه اروپا صادر شده است.

### \* چالش‌های موجود در صنایع نساجی

تمامی داده‌های مربوط به منسوجات ضایعاتی و ضعف مدیریت در رابطه با آن‌ها توسط آن‌چه به عنوان فست فشن یا مد سریع شناخته می‌شود، تشدید می‌گردد. صنایع برای دنبال کردن جدیدترین ترندهای مد اقدام به طراحی و تولید سریع و کم هزینه کالکشن‌های لباس کرده‌اند.

با این روش صنایع لباس‌های مد روز را به طور مداوم و با قیمتی قابل قبول به مصرف‌کنندگان عرضه و در نتیجه برای تولید ضایعات ایجاد انگیزه می‌کنند. نبود سیستم‌های جمع‌آوری جامدات باعث می‌شود تا نرخ سوزاندن ضایعات یا ریختن آن‌ها به زمین‌های دفن زباله در جهان افزایش پیدا کند.

علاوه بر آن تنوع گسترده در ترکیب الیاف به کاررفته در منسوجات (از پلیمرهای مصنوعی مانند پلی استر، پلی آمید و الاستان گرفته تا مواد اولیه طبیعی مانند پنبه، پشم و لینن)

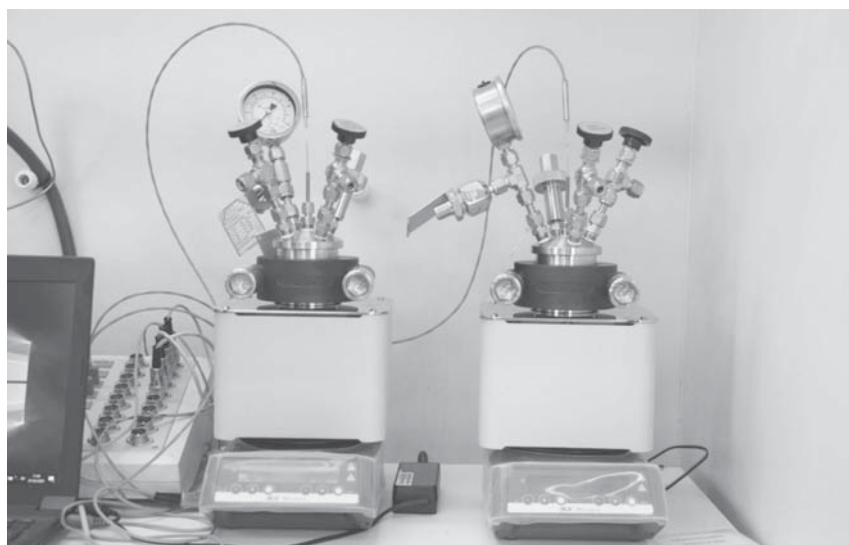
خرده فروشان نساجی به شکل مازاد تولید و بریده‌های صنعتی است.

در سال ۲۰۲۲ مطالعه‌ای توسط کنفدراسیون نساجی و پوشاک اروپا (یوراتکس) در رابطه با مدیریت ضایعات نساجی پس از مصرف انجام و مشخص شد که تنها ۳۳ درصد این ضایعات به طور جداگانه در اروپا جمع‌آوری می‌شوند و ۶۷ درصد باقیمانده یا سوزانده و یا به زمین‌های دفن زباله ریخته می‌شوند. ۶۰ درصد منسوجات ضایعاتی جمع‌آوری شده جداسازی و دسته‌بندی و به فروشگاه‌های لباس‌های دست دوم فرستاده شده و ۴۰ درصد آن نیز وارد جریان‌های بازیافتی می‌شود.

در حال حاضر صنعت نساجی که به دلیل چرخه‌های تولید و مصرف سریع آن شناخته می‌شود، باعث تولید بین ۷ تا ۷/۵ میلیون تن ضایعات نساجی در سال در اتحادیه اروپا شده است.

این میزان معادل تولید بیشتر از ۱۵ کیلوگرم ضایعات نساجی برای هر شخص در طول یک سال است.

همان‌طور که اخیراً در گزارش شرکت مکینزی آمده، حدود ۸۵ درصد این ضایعات مربوط به لباس‌ها و منسوجات خانگی دورریخته شده توسط مصرف‌کنندگان نهایی و ۱۵ درصد باقیمانده مربوط به صنایع و





تشویق به گردش کردن محصولات نساجی می کند.

با این حال تمرکز کمیته اروپایی تنها بر روی سیستم های جمع آوری نیست بلکه کارایی و اثربخشی فرایندهای سورتینگ، تعمیر، استفاده مجدد و بازیافت را نیز مورد توجه قرار می دهد. در نتیجه کارایی و موثر بودن فرایندهای سورتینگ و بازیافت نیز از اهمیت زیادی برخوردار است و لازم است تا برای افزایش نرخ قابلیت بازیافت ضایعات نساجی به آن توجه شود.

بیا باید در مورد فرایندهای بازیافت نساجی که در حال حاضر موجود هستند و همچنین آینده دارترین فناوری هایی که مراکز فناوری نظیر AIMPLAS به عنوان روش های نوآورانه در صنعت نساجی در حال مطالعه بر روی آن ها، توسعه آن ها و به کارگیری آن ها در بازار هستند، صحبت کنیم.

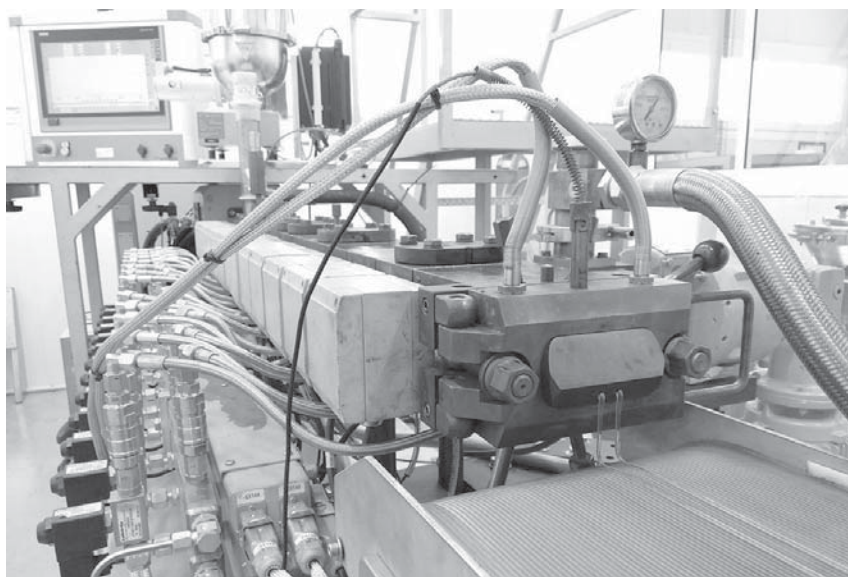
#### \*فرایندهای بازیافت نساجی\*

در صنعت نساجی فناوری های مختلفی برای بازیافت وجود دارد که بسته به نوع جریان منسوجات ضایعاتی به کار گرفته می شود. در نتیجه فرایندهای جداسازی و سورتینگ بالادستی برای تضمین بازیافت خوب و مناسب ضروری است.

#### \*فناوری های مختلف بازیافت:

بازیافت مکانیکی، در این روش نیروهای فیزیکی نظیر برش و خرد کردن برای تبدیل منسوجات به الیاف قابل استفاده به کار گرفته می شود. پس از آن فرایند ریسندگی بر روی الیاف حاصل انجام می شود که شامل تمیز کردن، باز کردن گره ها و موازی کردن الیاف بازیافتی، پالایش و تاب دادن الیاف برای تولید نخ بازیافتی می باشد.

این فرایند یک روش پر کاربرد در صنعت نساجی است که به دلیل مصرف انرژی پایین و اقتصادی بودن شناخته می شود. روش بازیافت مکانیکی را می توان برای



این تصمیم باعث شد تا کشورهای عضو اتحادیه اروپا تا اول ژانویه ۲۰۲۵ سیستم های جمع آوری جداگانه ای را راه اندازی کنند.

این کمیته در ژوئیه ۲۰۲۳ یک سری قوانین جدید را با هدف مسئول کردن تولیدکنندگان درباره کل چرخه عمر محصولات نساجی و حمایت از مدیریت پایدار ضایعات در اتحادیه اروپا عرضه کرده است.

به بیان دیگر آنها اجرای سیستم های اجباری مسئولیت گسترده تولیدکننده (EPR) را برای محصولات نساجی در تمامی کشورهای عضو اتحادیه اروپا پیشنهاد داده اند.

هدف از این کار سرعت بخشیدن به پیشرفت مراحل جمع آوری، دسته بندی، استفاده مجدد و بازیافت در راستای استراتژی منسوجات پایدار و گردش اتحادیه اروپا که در مارس ۲۰۲۲ به تصویب رسید، بوده است.

سیستم های EPR ثابت کرده اند که باعث بهبود در مدیریت ضایعات در محصولات مختلف از جمله محصولات بسته بندی، باتری ها و ابزار الکتریکی و الکترونیکی می شوند.

در واقع هزینه های مربوط به مدیریت ضایعات بر عهده تولیدکنندگان خواهد بود. به کارگیری این رویکرد در بخش نساجی باعث ایجاد انگیزه برای تولیدکنندگان می شود تا میزان ضایعات تولید شده خود را کاهش دهند و با ترویج طراحی محصولات پایدارتر آنها را

یکی دیگر از موانع موجود بر سر راه گردش شدن در این صنعت است.

تمامی این موارد دال بر توسعه فناوری های جدید جداسازی و سورتینگ به منظور تعیین مناسب ترین مقصد می باشد.

در حال حاضر هوش مصنوعی با ایجاد امکان سورتینگ موثر و دقیق نقش مهمی در اتوماسیون این فرایند ایفا می کند.

با این حال تولید و مصرف کنترل نشده و نیاز به فناوری های جداسازی و سورتینگ تنها موارد مهم در صنعت نساجی نمی باشند.

فرایندهای بازیافت نیز نیازمند نوآوری و بهبود است تا بتوانند پاسخگوی حجم بالای منسوجات ضایعاتی تولید شده در جهان باشند. تکمیل فناوری های بازیافت موجود (که در زیر به آنها اشاره می شود) نقش مهمی در افزایش پایداری در صنعت نساجی و پوشاک خواهد داشت.

#### \*استراتژی های اتحادیه اروپا\*

مواردی که در بالا به آن ها اشاره شد در کنار چالش های موجود در صنعت نساجی مقامات دولتی را بر آن داشته تا اقداماتی را با هدف تغییر دادن مسیر صنعت نساجی و جهت دهی آن به سمت یک مدل تجاری پایدارتر انجام دهند مانند اصلاح دستورالعمل چارچوب پسماند اتحادیه اروپا.



ارزش افزوده بالا از آن تهیه نمود. انجام فرایند پیرولیز در مقیاس صنعتی در سایر صنایع مانند پلاستیک ها رایج تر است. ضایعاتی که در ساختار شیمیایی خود اکسیژن داشته باشند باعث کاهش کیفیت روغن پیرولیز می شوند. به همین دلیل است که این فناوری ها در صنعت نساجی که پلی استر، پلی آمیدها و الاستان ها به وفور در آن یافت می شود، کاربرد گسترده ای ندارند.

برای تولید گاز مصنوعی از طریق اکسیداسیون بخشی پلیمرها از فرایند گازی سازی با مقادیر کنترل شده ای از اکسیژن استفاده می شود. از گاز مصنوعی بازیابی شده با کیفیت

ویرجین معمولاً برای تولید مواد صنعتی نظیر متانول، آمونیاک، سوخت های مصنوعی، اکسوالکل های به کاررفته در روان کننده ها و چسب ها استفاده می شود.

بازیافت ترموشیمیایی یک فناوری پایه است که در مقیاس تجاری به کار گرفته می شود. با این حال استفاده از این روش بر روی منسوجات ضایعاتی مانند فرایند پیرولیز شرایطی دارد.

در این حالت جریان ورودی می تواند تنوع بیشتری داشته باشد چون محدودیت های کمتری در رابطه با میزان اکسیژن موجود در ساختار شیمیایی ضایعات وجود دارد.

بازیافت شیمیایی. بازیافت شیمیایی شامل فناوری های مختلفی می باشد و هدف اصلی آن شکستن زنجیرهای پلیمری و استفاده از حلال ها برای بازیابی مونومرهای اولیه می باشد.

این روش ها به عنوان سولولیز یا حلال کافت شناخته می شوند و بسته به نوع حلال مورد استفاده با نام های گلیکولیز، هیدرولیز، متانولیز و غیره شناخته می شوند.

فرایندهای بازیافت شیمیایی در مقایسه با بازیافت مکانیکی نیازمند انرژی بیشتری هستند اما مزیتی که دارند این است که الیاف تولید شده به این روش از کیفیت بالاتری برخوردار بوده و خصوصیات آن تقریباً مشابه الیاف ویرجین می باشد.

دیگر مانند پلاستیک ها به کار گرفته می شود. با این حال این روش برای صنعت نساجی یک روش کمتر توسعه یافته است. مصرف انرژی در این روش نسبتاً پایین است و در مقایسه با روش بازیافت مکانیکی که در بالا به آن اشاره شده، مواد اولیه با کیفیت تری تولید می شود. با این وجود شرایط سختگیرانه ای برای منسوجات ضایعاتی که قرار است با این روش بازیافت و پردازش شوند، وجود دارد.

در ترکیب این مواد باید به مقدار ۹۹ درصد از یک ماده اولیه استفاده شده باشد و یا این که در صورت پردازش یک منسوج حاوی چند ماده اولیه سازگاری ۹۹ درصدی بین پلیمرها وجود داشته باشد.

برای مثال در پروژه OCEANETS از این روش بازیافت برای تولید محصولات با ارزش افزوده بالا از تورهای ماهیگیری در صنعت نساجی استفاده شده بود.

بازیافت ترموشیمیایی. بازیافت ترموشیمیایی شامل فناوری های بازیافت مختلفی است که به میزان اکسیژن مورد استفاده در فرایند بستگی دارد. فرایند پیرولیز در غیاب اکسیژن رخ می دهد و بیشتر برای به دست آوردن روغن پیرولیز یا نفت زیستی مورد استفاده قرار می گیرد.

از این روغن می توان به عنوان سوخت استفاده کرد و یا مواد اولیه خام جدیدی با

انواع منسوجات بازیافتی بسته به نوع ماده اولیه (طبیعی، مصنوعی یا ترکیبی)، نوع محصول (برای مثال نخ، پارچه، لباس استفاده شده، فرش) و ساختار (کشایف، تار پودی یا بی بافت) مورد استفاده قرار داد.

با این حال در طول فرایندهای پاره کردن، برش دادن و خرد کردن طول الیاف تا حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد کاهش می یابد که باعث کاهش نسبی کیفیت نخ نهایی شده و استفاده از آن را در محصولات نساجی جدید محدود می کند.

این یک چالش مهم در فرایندهای بازیافت مکانیکی به شمار می رود که صنعت با ترکیب الیاف بازیافتی کوتاه تر با الیاف ویرجین بلندتر با آن کنار آمده است.

### \* بازیافت ترمومکانیکی

در این روش بازیافت از فرایندهای اکستروژن استفاده می شود که در آن برای ذوب کردن منسوجات مصنوعی نظیر پلی استر و پلی آمید و به شکل گلوله درآوردن آنها شرایط دمایی و فشاری خاصی به کار گرفته می شود.

این فرایند مناسب الیاف طبیعی نظیر پنبه و پشم یا الیاف مصنوعی بر پایه سلولز نظیر ویسکوز نیست.

بازیافت ترمومکانیکی یک فناوری تکامل یافته است که در مقیاس صنعتی در بخش های



خصوصیات فنی مشخصی را در محصول نهایی ایجاد کنند، از یکدیگر جدا می شوند و در نتیجه می توان آنها را جداگانه بازیافت کرد و کارایی و اثربخشی فرایند را افزایش داد. این نوع از عملیات در راکتورهایی که در شکل مشخص شده است، انجام می شود.

فرایند انحلال را همچنین می توان برای جداسازی رنگرها و آلودگی ها از منسوجات ضایعاتی نیز به کار گرفت.

مرکز فناوری AIMPLAS همچنین در حال کار بر روی پروژه CISUTAC می باشد که در رابطه با جداسازی رنگرهاست.

موسسه تحقیقاتی CENTEXBEL VKC بلژیک مسئول هماهنگی های این پروژه اروپایی می باشد.

هدف از این پروژه برطرف کردن موانع موجود برای افزایش گردش شدن صنعت نساجی در اروپا است.

به حداقل رساندن تأثیرات زیست محیطی صنعت نساجی از طریق توسعه زنجیره های ارزش نوآورانه، پایدار، در مقیاس بزرگ و فراگیر در اروپا از دیگر اهداف این پروژه می باشد. تمرکز بر سه بخش مهم منجر به تحقق این هدف می شود: پیاده کردن و تعمیر دیجیتال ماشین آلات، فرایندهای بازیافت جدید و ایجاد تغییرات در صنعت و رفتارهای مصرف کنندگان. تحقیق و توسعه فناوری های جدید بازیافت صرف نظر از پیچیدگی آن برای بازیافت ضایعات بیشتر ضروری است.

در نتیجه رفع چالش های موجود در این صنعت و مدیریت منسوجات ضایعاتی از اهمیت زیادی برخوردار است. برای ترویج مدل های تجاری پایدارتر لازم است تا اقدامات لازم توسط اتحادیه های اروپایی انجام شود.

#### مرجع:

Mireia Fernandez, "Textile Waste Recycling: Weaving a Sustainable Future", International Fiber Journal, August 2024

تهیه و تنظیم: آزاده موحّد



منظور بازیابی و تبدیل به مونومرهای اولیه شکسته نمی شود.

در این روش از فرایندهای انحلال برای بازیابی اجزای پارچه به شکل پلیمر (در مواد اولیه پلیمری) یا پالپ (در مواد اولیه سلولزی) استفاده می شود. حالت دوم پالپینگ نام دارد و امکان بازیابی پنبه و به دست آوردن سلولز از آن را فراهم می کند.

از فناوری های فوق همچنین می توان برای حل کردن پلیمرهای تشکیل دهنده پارچه و استخراج چسب هایی که لایه های مختلف منسوجات فنی چندلایه را کنار هم نگه می دارند، استفاده کرد.

با این روش لایه های منسوج که معمولاً از ترکیبات مختلفی تشکیل می شوند تا

برای به دست آوردن الیاف بازیافتی به روش شیمیایی نخست باید مونومرهای به دست آمده در طول فرایند از نو پلیمریزه شوند.

این روش ها برای پلیمرهای مصنوعی تراکمی (برای مثال پلی استر، پلی آمیدها و پلی یورتان ها) انتخابی بوده و در نتیجه می توان آنها را بر روی پارچه های که از چند نوع ماده اولیه تشکیل می شوند به کار گرفت و اجزای غیرحساس به این روش ها را جداسازی کرد. مرکز فناوری AIMPLAS در حال توسعه پروژه های مختلفی در این رابطه می باشد نظیر پروژه Textended که در آن بر روی بازیافت منسوجات ضایعاتی شامل محصولات نساجی صنعتی و ترکیبات پلیمری مانند پلی استر/پلی یورتان با استفاده از فرایندهای سولولیز تحقیق می کند.

در واقع این مرکز در حال کار بر روی فعالیت هایی است که تضمین کننده قابل استفاده بودن محصولات بازیافتی به دست آمده از صنعت نساجی می باشد.

هماهنگی های این پروژه که بودجه آن توسط اتحادیه اروپا تأمین می شود بر عهده مرکز تحقیقات فنی فنلاند است. بازیافت فیزیکی یا انحلال. هرچند که در این روش نیز از حلال ها برای بازیافت استفاده می شود اما بر خلاف بازیافت شیمیایی زنجیر پلیمری به

