

## بازیافت منسوجات در آستانه ورود به عصر تولید صنعتی

مقدمه:

تا همین چند سال پیش، بازیافت منسوجات بیشتر در حد پروژه‌های آزمایشی، تحقیقات دانشگاهی و طرح‌های آزمایشگاهی مطرح بود. اما اکنون شرایط به سرعت در حال تغییر است. در بسیاری از کشورهای اروپایی و آسیایی، بازیافت منسوج به منسوج از مرحله آزمون و خطا عبور کرده و به سمت تولید صنعتی حرکت می‌کند؛ مسیری که با سرمایه‌گذاری گسترده در حوزه تفکیک ضایعات، بازتولید الیاف، اتوماسیون و توسعه زیرساخت‌های بازیافت همراه شده است. در ایتامی ۲۰۲۳ میلان، بازیافت نساجی یکی از مهم‌ترین محورهای گفت‌وگو در میان فعالان صنعت بود. در آن مقطع، بحث‌ها دیگر صرفاً حول ضرورت بازیافت یا مزایای زیست‌محیطی آن نمی‌چرخید؛ بلکه بر حل چالش‌های فنی و مهندسی این فرآیند در مقیاس صنعتی متمرکز بود. از نحوه تفکیک و آماده‌سازی ضایعات گرفته تا بازتولید الیاف، ریسندگی مجدد و تضمین کیفیت مواد بازیافتی، همگی به موضوعاتی کلیدی برای آینده صنعت نساجی تبدیل شده بودند. این تحول تنها فرصت تازه‌ای برای سازندگان ماشین‌آلات نساجی ایجاد نکرده است. شرکت‌های فعال در حوزه هوش مصنوعی، سامانه‌های تفکیک هوشمند، فناوری‌های رهگیری مواد، اتوماسیون صنعتی و مهندسی محیط‌زیست نیز به بازیگران مهم این عرصه تبدیل شده‌اند.

مجموع این تحولات نشان می‌دهد که فناوری‌های بازیافت به تدریج از پروژه‌های محدود و مستقل فاصله گرفته و به بخشی از ساختار تولید صنعتی تبدیل می‌شوند.

### عبور از مقیاس آزمایشگاهی و ورود به مقیاس صنعتی

یکی از نمونه‌های قابل توجه این روند را می‌توان در فعالیت‌های شرکت RE&UP در شهر غازی‌آنتپ ترکیه مشاهده کرد.

این شرکت که همکاری خود را با Andritz از سال ۲۰۲۱ آغاز کرده است، تاکنون چندین خط بازیافت پنبه و پلی‌استر را راه‌اندازی کرده و ظرفیت تولید سالانه ۲۰۰ هزار تن را هدف‌گذاری کرده

این شرکت با مشارکت چند شریک صنعتی در فرانسه، زنجیره‌ای صنعتی برای تفکیک خودکار و بازیافت الیاف ایجاد کرده است.

در واحد تولیدی شرکت Nouvelles Fibres Textiles در نزدیکی شهر لیون، منسوجات مصرف‌شده پس از فرآوری به الیاف بازیافتی تبدیل می‌شوند که قابلیت استفاده در صنایع ریسندگی، منسوجات بی‌بافت و کامپوزیت را دارند.

فعالیت‌های Andritz تنها به فرانسه محدود نشده است.

این شرکت در سال‌های اخیر خطوط بازیافت متعددی را در کشورهای مختلف اروپایی راه‌اندازی کرده و همزمان روی توسعه فناوری‌های مورد نیاز نسل جدید تولیدکنندگان الیاف نیز کار می‌کند.

واقعیت این است که موفقیت بازیافت نساجی دیگر به یک دستگاه یا یک فناوری خاص وابسته نیست؛ بلکه به عملکرد هماهنگ مجموعه‌ای از فناوری‌های مرتبط از مرحله جمع‌آوری ضایعات تا تولید مجدد نخ و پارچه بستگی دارد. بخش قابل توجهی از این فناوری‌ها نخستین بار در ایتامی ۲۰۲۳ میلان مورد توجه جهانی قرار گرفتند.

در فاصله سه سال پس از آن نیز بسیاری از پروژه‌هایی که در آن زمان در مرحله معرفی قرار داشتند، وارد فاز اجرایی شده‌اند.

در این میان، شرکت Andritz یکی از فعال‌ترین مجموعه‌ها در توسعه فناوری‌های بازیافت مکانیکی به شمار می‌رود.



است.

با این حال برنامه توسعه آن بسیار فراتر از این ارقام است و مدیران شرکت اعلام کرده‌اند که قصد دارند تا سال ۲۰۳۰ ظرفیت تولید خود را به یک میلیون تن در سال برسانند.

چنین سرمایه‌گذاری‌هایی نشان می‌دهد که بازیافت دیگر یک فعالیت جانبی یا محدود به پروژه‌های تحقیقاتی نیست و به تدریج جایگاه خود را در زنجیره تأمین مواد اولیه صنعت نساجی پیدا می‌کند

### تفکیک؛ حلقه حساس زنجیره بازیافت

بسیاری از فعالان صنعت معتقدند مهم‌ترین مانع توسعه بازیافت نساجی در مقیاس وسیع، مرحله تفکیک ضایعات است.

کیفیت مواد ورودی تأثیر مستقیمی بر کیفیت محصول نهایی دارد و بدون تفکیک دقیق، دستیابی به الیاف بازیافتی باکیفیت دشوار خواهد بود.

در همین راستا، Andritz امسال سامانه هوشمند teXscan را معرفی کرده است؛ سیستمی مبتنی بر هوش مصنوعی که کیفیت پارچه را پیش از ورود به فرآیند بازیافت ارزیابی می‌کند.

این فناوری بدون آسیب رساندن به منسوج، ویژگی‌های کیفی آن را اندازه‌گیری کرده و بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، مناسب‌ترین مسیر فرآوری را پیشنهاد می‌دهد.

سیستم مذکور تنها در چند لحظه نوع عملیات مناسب برای هر ماده را مشخص می‌کند؛ از ریسندگی رینگ و این‌اند گرفته تا تولید منسوجات بی‌بافت یا بازیافت شیمیایی.

در سال‌های اخیر، تفکیک هوشمند به یکی از مهم‌ترین حوزه‌های سرمایه‌گذاری در صنعت بازیافت تبدیل شده است. شرکت بلژیکی Valvan نیز از جمله مجموعه‌هایی است که راهکارهای پیشرفته‌ای در این زمینه ارائه کرده است.

فناوری Fibersort این شرکت با استفاده از طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک، ترکیب الیافی منسوجات را شناسایی می‌کند. همچنین امکان دسته‌بندی ضایعات بر اساس رنگ نیز وجود دارد. در مرحله بعد، سامانه‌ای موسوم به Trimclean

با بهره‌گیری از هوش مصنوعی و بینایی ماشین، اجزایی مانند زیپ، دکمه و برچسب را از منسوجات جدا می‌کند. کارشناسان معتقدند دستیابی به خطوط بازیافت کاملاً خودکار بدون توسعه چنین فناوری‌هایی امکان‌پذیر نخواهد بود.

حرکت به سوی خطوط تمام‌اتوماتیک شرکت اسپانیایی Picvisa نیز از جمله مجموعه‌هایی است که در حوزه تفکیک هوشمند فعالیت می‌کند. فناوری Ecosort این شرکت قادر است پوشاک مصرف‌شده را بر اساس ترکیب



الیاف، رنگ و نوع محصول طبقه‌بندی کند و مواد همگن‌تری را برای بازیافت یا بازار پوشاک دست‌دوم فراهم آورد.

در حال حاضر این شرکت با Girbau، یکی دیگر از شرکت‌های اسپانیایی فعال در حوزه اتوماسیون صنعتی، برای راه‌اندازی یک واحد جدید در شمال اروپا همکاری می‌کند.

هدف از این پروژه، ایجاد یک خط کاملاً خودکار است که تمامی مراحل تغذیه، جداسازی و تفکیک مواد را به صورت پیوسته انجام دهد.

استفاده از چنین سیستم‌هایی علاوه بر افزایش بهره‌وری و دقت، وابستگی به نیروی انسانی را نیز کاهش می‌دهد و امکان پردازش حجم بالاتری از ضایعات را فراهم می‌سازد.

## بازیافت مکانیکی در مسیر تجاری‌سازی

همزمان با توسعه فناوری‌های تفکیک، بازیافت مکانیکی نیز به مرحله بلوغ بیشتری رسیده است.

شرکت آلمانی Trützschler در ایتامی ۲۰۲۳ میلان، سامانه TRUECYCLED را معرفی کرد؛ فناوری‌ای که برای تبدیل ضایعات نساجی پیش‌مصرف و پس‌مصرف به الیاف قابل ریسندگی طراحی شده است.

این سیستم با ترکیب فرآیندهای بازکردن، پاک‌سازی و اختلاط الیاف، ضایعات غنی از پنبه را به گونه‌ای فرآوری می‌کند که تا حد امکان طول الیاف حفظ شود. حفظ طول الیاف یکی از مهم‌ترین عوامل در تولید نخ با کیفیت مناسب محسوب می‌شود.

استقبال بازار از این فناوری چشمگیر بوده و تنها در هند ده خط تولید بر پایه این فناوری راه‌اندازی شده است.

## ریسندگی در خدمت الیاف بازیافتی

در کنار توسعه فناوری‌های بازیافت، سازندگان ماشین‌آلات ریسندگی نیز تلاش کرده‌اند تجهیزات خود را با ویژگی‌های الیاف بازیافتی سازگار کنند.

شرکت‌های Rieter و Saurer طی سال‌های اخیر راهکارهای متعددی برای استفاده مؤثر از

الیاف بازیافتی ارائه کرده‌اند.

الیاف بازیافتی معمولاً از نظر طول، استحکام و ظرافت یکنواختی کمتری نسبت به الیاف ویرجین دارند و همین موضوع فرآیند ریسندگی را با چالش‌هایی روبه‌رو می‌کند.

وجود ناخالصی‌ها، تفاوت در ویژگی‌های فیزیکی الیاف و کوتاه‌تر بودن آن‌ها می‌تواند کیفیت نخ را تحت تأثیر قرار دهد. با این حال، فناوری‌های جدید امکان استفاده از درصد بالاتری از مواد بازیافتی را در تولید نخ فراهم کرده‌اند.

در نمایشگاه CITME + ITMA ASIA ۲۰۲۲، شرکت Rieter مفهوم کارخانه ریسندگی کاملاً خودکار خود را معرفی کرد؛ طرحی که نشان می‌دهد بازیافت دیگر یک گزینه جانبی نیست، بلکه بخشی از برنامه‌ریزی کارخانه‌های نسل آینده به شمار می‌رود.

از سوی دیگر، شرکت Saurer نیز با معرفی فناوری‌های جدید برای ریسندگی الیاف بسیار کوتاه بازیافتی، گام مهمی در توسعه تولید صنعتی نخ‌های بازیافتی برداشته است.

استقبال بازار از این تجهیزات به‌ویژه در ترکیه و چین نشان می‌دهد که تقاضا برای تولید نخ‌های بازیافتی در مقیاس بالا رو به افزایش است.

## اقتصاد چرخشی؛ فراتر از فناوری

با وجود همه این پیشرفت‌ها، مسیر توسعه بازیافت منسوج به منسوج همچنان با موانع جدی روبه‌رو است.

جمع‌آوری، تفکیک و فرآوری منسوجات مصرف‌شده به‌مراتب پیچیده‌تر از استفاده از مواد اولیه بکر است. همچنین در بسیاری از کاربردها، قیمت الیاف بازیافتی هنوز توان رقابت کامل با مواد اولیه نو را ندارد.

از سوی دیگر، راه‌اندازی تأسیسات جدید نیازمند سرمایه‌گذاری‌های سنگین است و تأمین مستمر مواد اولیه با کیفیت یکنواخت نیز همچنان یکی از چالش‌های اصلی این صنعت محسوب می‌شود. در حوزه قانون‌گذاری نیز اگرچه طرح‌های مرتبط با مسئولیت تولیدکنندگان در بسیاری از کشورهای اروپایی در حال اجراست، اما تفاوت در شیوه اجرا و

نبود رویه‌های هماهنگ، همچنان ابهاماتی را برای سرمایه‌گذاران ایجاد می‌کند.

نبود شبکه‌های کارآمد جمع‌آوری و تفکیک ضایعات نساجی نیز یکی دیگر از موانع توسعه این صنعت است.

بدون وجود ارتباطی منسجم میان مصرف‌کنندگان، مراکز جمع‌آوری، واحدهای تفکیک و شرکت‌های بازیافت، حتی پیشرفته‌ترین فناوری‌ها نیز نمی‌توانند با ظرفیت کامل فعالیت کنند.

## از آمادگی فناوری تا همکاری گروهی

امروز صنعت نساجی جهان در نقطه‌ای قرار گرفته که دیگر بحث بر سر امکان‌پذیر بودن بازیافت نیست.

فناوری‌های مورد نیاز تا حد زیادی توسعه یافته‌اند و بسیاری از راهکارهای فنی در دسترس هستند.

چالش اصلی اکنون ایجاد زیرساخت‌های مناسب، تدوین سیاست‌های حمایتی، تأمین پایدار مواد اولیه و شکل‌گیری همکاری مؤثر میان تمامی حلقه‌های زنجیره ارزش است.

در چنین شرایطی، ایتامی ۲۰۲۷ هانوفر، می‌تواند بستری برای هم‌افزایی میان تولیدکنندگان فناوری، بازیافت‌کنندگان، برندها، سیاست‌گذاران و فعالان صنعت فراهم کند.

آینده بازیافت نساجی بیش از آنکه به یک نوآوری خاص وابسته باشد، به توانایی صنعت در ایجاد یک اکوسیستم منسجم و پایدار بستگی دارد؛ اکوسیستمی که بتواند اقتصاد چرخشی را از سطح ایده به بخشی از واقعیت روزمره تولید نساجی تبدیل کند.

مرجع:

textilefocus.com

تهیه و تنظیم: مهدیه درویش کوشالی