ابهام دانشمندان درباره سوخت آینده

آیا هیدروژن سبز جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی است؟

ترجمه و تدوین: لیا امیدوار*

هیدروژن سبز که صرفا با انرژی تجدیدپذیر تولید می‌شود، می‌تواند جایگزینی مناسب برای سوخت‌های فسیلی آلاینده در آینده باشد. اما این سوخت نوظهور که تبلیغات فراوانی برای آن انجام می‌گیرد، می‌تواند دامی جدید برای محیط زیست بگسترد. برخی دانشمندان معتقدند فقدان اطلاعات در مورد نشت و آسیب احتمالی این سوخت ممکن است نقطه کوری در این صنعت نوپا باشد. حداقل چهار مطالعه منتشرشده در سال گذشته میلادی نشان می‌دهد که نفوذ هیدروژن در جو سبب ایجاد مشکلاتی خواهد شد، به این معنا که هیدروژن غلظت مولکول‌هایی که گازهای گلخانه‌ای موجود در جو را از بین می‌برند، کاهش داده و به‌طور بالقوه به گرم‌شدن زمین کمک می‌کند. دانشمندان معتقدند فناوری مناسب برای رصد میزان نشت هیدروژن وجود ندارد و به این ترتیب پیش از سرمایه‌گذاری نهایی بر روی پروژه، تحقیقات بیشتری نیاز است تا تأثیر انتشار هیدروژن بر گرمایش جهانی مشخص شود. بااین‌حال، دولت‌ها و شرکت‌های بزرگ انرژی سرمایه‌های هنگفتی را برای هیدروژن سبز در نظر گرفته‌اند. در اروپا، بحران انرژی ناشی از تهاجم روسیه به اوکراین، دولت‌ها را مجبور کرده است تا به دنبال منابع انرژی جایگزین باشند که در این میان هیدروژن سبز بسیار مقرون‌به‌صرفه‌تر از سایر منابع انرژی است. اتحادیه اروپا در ماه سپتامبر ۲۰۲۲، یارانه‌ای حدود ۵٫۲ میلیارد یورو برای پروژه‌های هیدروژن سبز تصویب کرد. در همین حال، ایالات متحده میلیاردها دلار اعتبار مالیاتی هیدروژن سبز را در قانون کاهش تورم گنجانده است.

آیا ما آماده انتقال از سوخت فسیلی به هیدروژن سبز هستیم؟

دانشگاه‌های کلمبیا و کمبریج و تعدادی مؤسسه تحقیقاتی دیگر در مورد خطر نشت هیدروژن سبز که ممکن است فواید زیست‌محیطی آن را تحت‌الشعاع قرار دهد، مطالعاتی انجام داده‌اند. آنها معتقدند داده‌های بیشتری نیاز است تا میزان نشت هیدروژن را اندازه‌گیری کنند و نیز مقرراتی نیاز است تا بر میزان نشتی احتمالی اعمال شود. زمانی که هیدروژن به صورت گسترده مورد استفاده قرار بگیرد، تخمین زده می‌شود که نرخ نشت هیدروژن تا سال ۲۰۵۰ به ۵٫۶ درصد برسد. بنابراین دانشمندان معتقدند پیش از انتقال بزرگ از سوخت فسیلی به هیدروژن سبز باید از میزان نشت آگاه باشیم.

امکان نشت هیدروژن چقدر است؟

در گذشته هیچ‌گاه نیازی به کنترل نشت هیدروژن احساس نشده بود؛ چون هیدروژن نیز مانند بیشتر گازهای بی‌بو در همان جایی تولید می‌شد که مصرف می‌شد. اما اکنون که برنامه‌هایی برای لوله‌کشی و ارسال هیدروژن در فواصل بسیار طولانی طراحی شده، نیاز به برنامه‌ریزی برای کنترل میزان نشتی احساس می‌شود. صنعت سوخت‌های فسیلی امیدوار است که بتواند هیدروژن را از طریق زیرساخت‌های موجود مانند خطوط لوله گاز و پایانه‌های واردات و صادرات گاز طبیعی مایع منتقل کند. حدود یک درصد از گاز طبیعی (بیشتر متان) از طریق زیرساخت‌های اروپایی نشت می‌کند. بااین‌حال، به گفته تحلیلگران و تصاویر ماهواره‌ای، میزان نشت در برخی کشورها ازجمله روسیه بالاتر از این مقدار است. دانشمندان معتقدند چیز زیادی درباره هیدروژن نمی‌دانند؛ برای مثال هنوز نمی‌دانند آیا هیدروژن رفتار مشابهی مانند متان دارد یا خیر؟ نتایج اولیه آزمایشات بر روی خطوط لوله در سایت تحقیقاتی واقع در شمال انگلستان نشان می‌دهد که نشت هیدروژن در همان مکان‌ها و با همان سرعت گاز طبیعی اتفاق می‌افتد. بااین‌حال، شرکت‌هایی که بر روی پروژه‌های هیدروژن سبز کار می‌کنند، می‌گویند که نظارت دقیق‌تری لازم است؛ چون معتقدند مولکول‌های هیدروژن بسیار کوچک‌تر و سبک‌تر از مولکول‌های موجود در گاز متان هستند و به این ترتیب مهار آنها کار دشوارتری خواهد بود. با ورود به خط لوله، هیدروژن سبب تضعیف لوله‌های فلزی شده و به مرور در بدنه لوله ترک ایجاد می‌کند. به‌علاوه قابلیت انفجار هیدروژن بسیار بیشتر از گاز طبیعی است که این خود می‌تواند مشکلات ایمنی شدیدتری را سبب شود. دانشمندان می‌گویند اگرچه انتظار نمی‌رود نشت بالقوه هیدروژن در مقیاسی باشد که بخواهد همه طرح‌های هیدروژن سبز را از مسیر خارج کند، اما هرگونه نشت این گاز می‌تواند مزایای زیست‌محیطی آن را تحت‌الشعاع قرار دهد.

هیدروژن سبز در برابر هیدروژن خاکستری

هیدروژن گازی است بسیار قابل اشتعال که می‌تواند انرژی را ذخیره و رها کند. همچنین ساده‌ترین و فراوان‌ترین عنصر روی زمین است، اما به شکل آزاد وجود ندارد و باید از ترکیباتی که حاوی آن هستند استخراج شود؛ ترکیباتی همچون آب، زغال‌سنگ، گاز طبیعی یا زیست توده. تولید هیدروژنی که مدت‌ها در پالایشگاه‌های نفت، کارخانه‌های مواد شیمیایی و صنعت کود استفاده می‌شد، به گاز طبیعی یا زغال‌سنگ متکی است؛ فرایندی که مقادیر زیادی دی‌اکسیدکربن منتشر می‌کند. این نوع هیدروژن مبتنی بر سوخت فسیلی را هیدروژن خاکستری می‌نامند. کارشناسان این صنعت تخمین می‌زنند که در حال حاضر نزدیک به ۹۵ درصد از تولید هیدروژن به سوخت‌های فسیلی وابسته است و در نتیجه به اندازه مجموع انتشار بریتانیا و اندونزی گاز دی‌اکسیدکربن تولید می‌کند. در مقابل هیدروژن سبز با استفاده از الکترولیز و به‌کارگیری انرژی تجدیدپذیر، آب را به دو عنصر تشکیل‌دهنده خود -اکسیژن و هیدروژن- تجزیه کرده و هیچ نوع گاز گلخانه‌ای نیز تولید نمی‌کند. این نوع هیدروژن پاک می‌تواند جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی باشد؛ خصوصا در بخش‌هایی مانند صنایع فولادسازی و حمل‌ونقل سنگین که به راحتی نمی‌توان سوخت فسیلی را با برق جایگزین کرد. جذابیت اصلی استفاده از هیدروژن به‌عنوان سوخت این است که محصول جانبی آن بخار آب به همراه مقدار اندکی اکسید نیتروژن است که باعث می‌شود آلایندگی آن بسیار کمتر از سوخت‌های فسیلی باشد. امکان نشت تنها یکی از بسیار مسائلی است که استفاده از هیدروژن را دچار مشکل می‌کند؛ سایر معضلات استفاده از هیدروژن به عنوان سوخت عبارت‌اند از هزینه‌های بالای تولید، نگرانی‌های ایمنی، نیاز به سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر برای تولید هیدروژن و نیز تأمین زیرساخت برای ذخیره و انتقال گاز بی‌رنگ.

چگونه می‌توان خطرات ناشی از نشت هیدروژن را ارزیابی کرد؟

در دسامبر سال ۲۰۲۲ بروکسل برای انجام تحقیقات بیشتر بر روی خطرات ناشی از انباشت هیدروژن در مقیاس بزرگ درخواست کمک مالی کرد. این تحقیق تلاش کرد تا نشان دهد چگونه جایگزین‌کردن سوخت فسیلی با هیدروژن می‌تواند گرمایش جهانی را کاهش دهد. همچنین چگونه می‌تواند در صورت نشت به افزایش گرمایش جهانی کمک کند. در همین حال صندوق دفاع از محیط زیست از دولت‌ها و مراکز تحقیقاتی خواسته است ابتدا داده‌های مربوط به میزان نشت هیدروژن را جمع‌آوری کرده و سپس شناسایی کنند که در چه مناطقی میزان نشت بیشتر است و اینکه چگونه می‌توان آن را پیش از ساخت زیرساخت‌های مورد نیاز کاهش داد.

پروژه‌های استفاده از هیدروژن در سطح جهانی در حال افزایش است

داده‌های آژانس بین‌المللی انرژی نشان می‌دهد تقریبا ۳۰۰ پروژه هیدروژن در سرتاسر جهان در دست انجام است، اما اکثریت قریب به اتفاق آنها نیروگاه‌های کوچک نمایشی (آزمایشگاهی) هستند. بزرگ‌ترین این پروژه‌ها در چین است که در حال تولید هیدروژن به کمک انرژی خورشید است تا برای تولید مواد پتروشیمی مانند پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن استفاده شود. محققان پیش‌بینی می‌کنند هیدروژن سبز باید تا سال ۲۰۵۰ حدود ۱۲ درصد از تقاضای انرژی جهان را تأمین کند تا به اهداف معاهده تغییرات اقلیمی پاریس دست پیدا کند، اما بر اساس سرعت فعلی توسعه، جهان تنها در مسیر رسیدن به چهار درصد از این اهداف است. برای جایگزینی هیدروژن خاکستری که اکنون در پالایشگاه‌ها، کودها و کارخانه‌های شیمیایی استفاده می‌شود، تقریبا دو برابر برق تولیدشده توسط هر توربین بادی و پنل خورشیدی در سراسر جهان مورد نیاز است که این مقدار بدون درنظرگرفتن کاربرد هیدروژن برای صنایع فولادسازی، حمل‌ونقل و یا گرمایش است. درحالی‌که اتحادیه اروپا در حال بررسی دستورالعمل‌هایی است تا از هیدروژن سبز برای حمل‌ونقل استفاده کند، کشورهایی همچون کره‌جنوبی، ژاپن و چین در تلاش برای ساخت خودروهایی با سوخت هیدروژنی هستند. آنچه مسلم است این است که جهان خیلی زودتر از تصورات ما در حال حرکت به سمت انرژی‌های پاک است.

EuroNews, 29Dec. 2022

*** روزنامه‌نگار و سردبیر مجله کشاورزی و توسعه پایدار**

شیمی‌دان‌ها در حال بازیافت لباس‌های شما هستند

بازیافت لباس راهی به سوی توسعه پایدار

چگونه دانش شیمی نوین می‌تواند صنعت پوشاک را در حفظ زمین کمک کند

ترجمه و گردآوری: عبدالله مصطفایی

نساجی از مهم‌ترین صنایع در زمینه کالاهای مصرفی به شمار می‌رود. البته نباید از یاد برد که ضایعات حاصل از صنعت مد و لباس بسیار متنوع بوده و حتی بازیافت لباس‌های ساخته‌شده از نخ نیز کار سختی است. منسوجات علاوه بر سلولز معمولا شامل پلی‌استر یا سایر الیاف شیمیایی است. لباس‌های نخی در بسیاری از موارد سوزانده شده یا به‌عنوان زباله دفن می‌شوند؛ ولی دانشمندان در نظر دارند که با به‌کارگیری روش‌هایی مثل حل‌کردن و چرخش و فیلتراسیون بتوان لباس‌ها را چندین بار بازیافت کرد تا این صنعت از لحاظ محیط زیستی پایداری بیشتری داشته باشد.

بازیافت لباس، از تاناکورا تا فضای مجازی

در زمینه بازیافت این مواد به نکات فراوانی می‌توان اشاره کرد؛ ولی مهم‌ترین نکته آگاهی‌بخشی به جامعه است تا از خرید غیرضروری اجتناب کند و از داشته‌های خود بیشتر استفاده کند. در مرحله بعد می‌توان البسه و پوشاک اضافی را به بنیادهای خیریه داد. در این مرحله ایده «دیوار مهربانی» از مزایای ویژه‌ای برخوردار بود که گویا به فراموشی سپرده شد. البته در کشورهای پیشرفته لباس‌ها پس از مصرف در سطل‌هایی که در مکان‌های عمومی تعبیه شده‌اند قرار داده می‌شوند. پس از جمع‌آوری، لباس‌ها به سه گروه تقسیم می‌شوند. این سه گروه عبارت‌اند از: لباس‌هایی که مجددا قابل استفاده هستند، لباس‌های کهنه و الیاف. جداسازی و مرتب‌سازی این مواد از سوی گروه‌های داوطلب و خیریه انجام می‌شود. طبق گزارش‌ها در کشورهای پیشرفته تقریبا ۵۰ درصد لباس‌های اهدایی قابل استفاده مجدد هستند. ضمنا بعضی از شرکت‌های بازیافت این لباس‌ها را به کشورهای در حال توسعه صادر می‌کنند. گروهی از این لباس‌ها با منشأ خارجی یا داخلی سر از مراکز به اصطلاح تاناکورا درمی‌آورند و بعضی نیز در فضای مجازی خرید و فروش می‌شوند که رونق همه این امور متأثر از پارامترهای اقتصادی جوامع است. ضمنا از لباس‌های کهنه و الیاف نیز علاوه بر پاک‌سازی صنعتی در تولید بعضی محصولات مثل مواد داخلی مبل‌ها، تشک‌ها و تشک‌های صندلی خودرو یا بعضی روکش‌ها و محافظ‌ها استفاده می‌شود. با همه این موارد هنوز این صنعت تا همخوان‌شدن با محیط زیست راه طولانی در پی دارد. در اینجا بد نیست به آماری از سایت زومیت اشاره شود:

- به طور میانگین هر آمریکایی سالانه ۳۷ کیلوگرم لباس دور می‌ریزد.
- تقریبا ۸۵ درصد از کل لباس‌هایی که در آمریکا دور انداخته می‌شوند (نزدیک به ۱۳ میلیون تن در سال ۲۰۱۷)، در زباله‌دان‌های شهری تلنبار یا سوزانده شده‌اند.
- به طور میانگین ۱۲ درصد از لباس‌ها در کمد زنان، بی‌استفاده می‌مانند.
- در سراسر جهان سالانه ۹۲ میلیون تن ضایعات لباس تولید می‌شود. طبق پیش‌بینی‌ها تا سال ۲۰۳۰، آمار تولید زباله لباس به ۱۳۴ میلیون تن بالغ خواهد شد.
- سالانه در سراسر جهان، ۵۶ میلیون تن لباس خریداری می‌شود و انتظار می‌رود این آمار تا سال ۲۰۳۰ به ۹۳ میلیون تن و تا سال ۲۰۵۰ به ۱۶۰ میلیون تن برسد. با اینکه اغلب لباس‌ها معمولا چندین سال دوام می‌آوردند، تغییر سریع مد و سلیقه مشتری، عمر لباس‌ها را کوتاه می‌کند. طبق آمار، طول عمر پوشاک مدرن بین دو تا ۱۰ سال است. دراین‌میان طول عمر لباس‌هایی مثل تی‌شرت‌ها و لباس‌های زیر بین یک تا دو سال و لباس‌های دیگری مثل کت و پالتو بین چهار تا شش سال است.
- سرنوشت ۱۲ درصد از مواد به‌کاررفته در لباس‌های سراسر جهان به بازیافت ختم می‌شود. در مقابل، مثلا آمار بازیافت کاغذ، شیشه و بطری‌های پلاستیکی در ایالات متحده به ترتیب ۶۶، ۲۷ و ۲۹ درصد است. این آمار نشان‌دهنده عقب‌ماندگی بازیافت لباس از صنعت بازیافت است.
- صنعت جهانی مد، عامل ۱۰ درصد از نشر گازهای گلخانه‌ای است. تنها صنایع تولید پارچه، سالانه ۲٫۱ میلیارد تن گاز گلخانه‌ای را در جو آزاد می‌کنند. آب زیادی برای تولید لباس لازم است و صنعت مد، ۲۰ درصد از فاضلاب‌های جهانی را تولید می‌کند.
- افراد روزبه‌روز لباس‌های بیشتری را می‌خرند. امروزه خرید لباس یک مشتری به طور متوسط نسبت به ۱۵ سال پیش، ۶۰ درصد افزایش پیدا کرده است. در بریتانیا، در هر دقیقه بیش از دو تن لباس خریداری می‌شود.
- اغلب مواد پلی‌استری بازیافتی که در برندهای پیشتاز مد به کار می‌روند، از بطری‌ها به دست می‌آیند، نه لباس‌های قدیمی.

عشاق سلولز، شیمیست یا بیولوژیست؟

خانم «سونجا سالمون» از طرفداران پروپاقرص سلولز است و به‌همین‌دلیل می‌خواهد آن را از بین ببرد. او می‌گوید: «من عاشق سلولز هستم. من سلولز را از بین می‌برم؛ زیرا آن را دوست دارم». سلولز پلیمری است که به طور طبیعی در چوب و پنبه یافت می‌شود. ضمنا سلولز یک‌چهارم الیاف استفاده‌شده در ساخت منسوجات را تشکیل می‌دهد. این به آن معناست که اگر بخواهیم هر تلاشی برای اجرای اقتصاد چرخشی درباره بازیافت لباس‌ها و پارچه‌ها انجام دهیم، باید شامل راه‌هایی برای مقابله با تمام سلولز موجود باشد و ازاین‌رو سعی در جداسازی سلولز دارند. در اقتصاد چرخشی هدف آن است که مواد مورد استفاده مجدد قرار گرفته یا بازیافت شوند تا به مواد اولیه کمتری نیاز باشد و دورریزها نیز کاهش یابند. خانم سالمون، یک دانشمند پلیمر در کالج منسوجات ویلسون در دانشگاه ایالتی کارولینای شمالی است و با تیم تحقیقاتی خود در تلاش است تا سلولز موجود در منسوجات دور ریخته‌شده را تجزیه کرده و مجددا از آن استفاده کند. بسیاری از پارچه‌های لباس ترکیبی نیمه‌پلی‌استر و نیمه‌پنبه‌ای هستند: یعنی الیاف پنبه و الیاف پلی‌استر به‌شدت با یکدیگر در هم تنیده می‌شوند و نخی را ایجاد می‌کنند که سپس بافته می‌شود یا به صورت منسوجات درمی‌آید. جداکردن این ساختار به صورت مکانیکی چالش‌برانگیز است؛ بنابراین تیم خانم سالمون آن را با سلولازها واکنش می‌دهد. سلولازها گروهی از آنزیم‌ها هستند که سلولز را تجزیه می‌کنند. خانم سالمون می‌گوید: «ما می‌توانیم آن را به مولکول‌ها و قطعات کوچکی بجوییم که از بقیه ساختار پارچه خارج شود». در سایت این دانشگاه درخصوص فعالیت تیم خانم سالمون نوشته شده است: «با الهام از طبیعت، این تیم تحقیقاتی درگیر پیشرفت‌های جدید در منسوجات بیوتکنولوژی و پلیمرهای پایدار، با تمرکز ویژه بر تعاملات آنزیم-الیاف است که امکان استفاده بیشتر از مواد زیستی را برای کاربردهای نساجی فراهم می‌کند. کار آنها بر روی برهم‌کنش‌های آنزیم-الیاف شامل اصلاح آنزیمی، تخریب و پردازش الیاف، سنتز کاتالیزشده با آنزیم پلیمرهای تشکیل‌دهنده الیاف و تثبیت آنزیم در الیاف برای توسعه و تولید دسته جدیدی از مواد است که به آن منسوجات بیوکاتالیستی می‌گویند. آنها در حال بررسی ویژگی‌ها، مکانیسم‌ها، نمونه‌سازی و استفاده از منسوجات زیستی و بیوکاتالیستی برای کاربرد در منسوجات مطلوب و پایدار، مدیریت گاز دی‌اکسید کربن، تصفیه آب و پاک‌سازی زباله هستند». تمرکز آنها بر تحقیق بر روی موادی است که از فرایند تجزیه بیرون می‌آیند و تعیین بهترین موارد استفاده از آن. به‌عنوان مثال، آنزیم‌ها سلولز را به گلوکز تجزیه می‌کنند که می‌تواند به‌عنوان ماده اولیه برای تولید سوخت‌های زیستی استفاده شود. آنها همچنین تکه‌های کوچکی از الیاف پنبه را بر جای می‌گذارند که می‌تواند به‌عنوان تقویت‌کننده سبک‌وزن برای بتون استفاده شود. سالمون می‌گوید: «اگرچه الیاف پنبه دیگر آن‌قدر طویل نخواهد بود که مستقیما به نخ تبدیل شود؛ اما ما معتقدیم که این ماده دارای ارزش است». این طرز تفکر تغییر بزرگی نسبت به دیدگاه قدیمی استفاده از لباس‌ها و منسوجات مصرفی به‌عنوان پارچه‌های مبل یا لوازم داخلی و فرش و موکت است. به گفته بنیاد «الن مک آرتور»، سازمانی در بریتانیا که اقتصاد چرخشی را ترویج می‌کند، در سطح جهانی تنها ۱۳ درصد از مواد مورد استفاده برای تولید لباس بازیافت می‌شود. بیشتر ضایعات نساجی (تقریبا ۹۲ میلیون تن تنها از صنعت مد) تولیدشده در سال درنهایت دفن یا سوزانده می‌شوند. خانم سالمون می‌گوید: «ما چیزها را دور می‌ریزیم و مانند زباله با آنها رفتار می‌کنیم. ما به آن به‌عنوان چیزی که در واقع یک ماده خام است که می‌تواند دوباره استفاده شود، نگاه نمی‌کنیم». آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده تخمین زده است که در ایالات متحده در سال ۲۰۱۸، هر نفر به طور متوسط ۴۷ کیلوگرم منسوجات را دور می‌اندازد. حدود سه‌چهارم آن، یعنی ۳۶ کیلوگرم، مربوط به لباس و کفش است؛ درحالی‌که بقیه عمدتا حوله، ملافه، پارچه مبلمان و فرش است. در همین حال، منابع صرف ایجاد مواد خام می‌شود و در ادامه به آب و زمین برای رشد پنبه بیشتر و نفت برای تولید پلی‌استرهای بیشتر نیاز است. برای مقابله با همه این ضایعات، محققان و استارت‌آپ‌ها در حال توسعه روش‌هایی برای بازیابی و استفاده مجدد از مواد هستند. بیشتر تمرکز خانم سالمون بر بازیافت شیمیایی است که در آن مواد به اجزای اصلی خود تجزیه می‌شوند و برای ایجاد مواد جدید، ازجمله الیافی که بتوانند به لباس‌های جدید بافته شوند، استفاده می‌شود. چالش‌ها در توسعه فرایندهای چنین روش‌هایی نهفته است؛ ضمن آنکه آنها باید کاربردی باشند؛ اما همچنین باید حداقل به اندازه ساخت الیاف جدید، مقرون به صرفه نیز باشند.

بافتن منسوجات جدید

علاوه بر الیاف سلولز طبیعی در پنبه، برخی از منسوجات شامل الیاف سلولزی ساخته دست بشر نیز هستند. این الیاف از سلولز خمیر چوب به دست می‌آیند و می‌توان از آنها برای ساخت موادی مانند ویسکوز (ریون) و ماده‌ای مشابه به نام لیوسل استفاده کرد. براساس گزارش مؤسسه Textile Exchange در ایالت تگزاس که یک سازمان غیرانتفاعی ترویج‌دهنده مواد سازگار با محیط زیست است، الیاف سلولزی حدود شش درصد از کل الیاف منسوجات تولیدشده را تشکیل می‌دهند. Evrnu یک شرکت دانش‌بنیان در سیاتل واشنگتن است و آقای «کریستوفر استانف» یکی از بنیان‌گذاران و رئیس شرکت است. این شرکت در حال استفاده از تنوعی از فرایندها برای تولید لیوسل همزمان با حل مشکل زباله‌های نساجی است. یکی از تغییرات مهم این شرکت در این فرایند آن است که از منسوجات دور ریخته‌شده به جای چوب به عنوان منبع سلولز استفاده می‌کند. همچنین فرایند تولید الیافی را به نحوی اصلاح کرده است که آقای استانف می‌گوید نسبت به سایر سلولزها و پنبه برتری دارد و می‌تواند بارها بازیافت شود. استانف که خود یک مهندس نساجی است، می‌گوید: «ما می‌توانیم با استفاده از پنبه، الیاف بسیار قوی‌تری نسبت به آنچه از خمیر چوب تولید می‌شود، بسازیم». همانند فرایند استاندارد لیوسل، مواد خام با ان-متیل مورفولین ان-اکسید (NMMO) که یک ترکیب آلی برای حل‌کردن سلولز است، تصفیه می‌شود. این عملیات یک خمیر غلیظ تولید می‌کند که سپس فیلتر می‌شود. در این مرحله، فرایند مرسوم شامل اکستروژن سلولز از طریق دستگاهی به نام اسپینرت است که ابتدا وارد هوا شده و سپس به یک حمام متشکل از آب و مواد منعقدکننده است که در آن مواد به الیاف تبدیل می‌شوند. این در حالی است که شرکت Evrnu مولکول‌های سلولز را قبل از اکسترودشدن به کریستال‌های مایع تبدیل می‌کند و به آنها اجازه می‌دهد تا با یکدیگر هماهنگ شوند و ساختار کریستالی‌تری تولید کنند. آقای استانف می‌گوید: «با انجام این کار و داشتن یک ساختار کریستالی‌تر می‌توانید استحکام الیاف را افزایش دهید و همچنین می‌توانید عملکرد این الیاف را مهندسی کنید». او می‌گوید این فیبر حدود ۲۰ درصد قوی‌تر از لیوسل استاندارد است که خود آن نیز از پنبه قوی‌تر است. این کیفیت به معنای بیشتر بودن طول عمر مفید برای پارچه ساخته‌شده از این الیاف است و همچنین این الیاف می‌تواند چندین‌بار احیا شود. البته هر بار که این مولکول‌ها فرایند بازیافت را طی می‌کنند، کوتاه‌تر و نازک‌تر می‌شوند. اما به گفته استانف، از آنجایی که آنها از همان ابتدا قوی‌تر شروع می‌کنند، همان ماده باید بتواند حداقل پنج بار قبل از اینکه ضعیف‌تر از الیاف پنبه‌ای بکر شود، بازیافت و استفاده شود. برخی از آزمایشات در آزمایشگاه این شرکت نشان می‌دهد که این ماده تا ۱۰ بار قابل بازیافت است. این بیش از آن چیزی است که برای کاغذ میسر است که می‌تواند پنج تا هفت بار بازیافت شود، قبل از اینکه الیاف برای تولید یک محصول جدید و بادوام، بسیار کوتاه شوند. با این حال یک شرکت فنلاندی با یک مایع یونی کار می‌کند که توسط یکی از بنیان‌گذاران آن ساخته شده است. او «هربرت سیکستا» یک متخصص شیمی فیزیک از دانشگاه آلتو در اسپو در کشور فنلاند است. مایع مورد استفاده Ioncell (نام شرکت و نام فرایند)، یک ماده فوق باز است، یعنی یک ماده بسیار قلیایی است که پیوندهای هیدروژنی در مولکول‌های سلولز را می‌شکند. همانند هنگام استفاده از NMMO، این فرایند نیز یک خمیر را ایجاد می‌کند که می‌تواند از طریق یک اسپینرت تغذیه شود تا فیبر سلولزی جدید را بسازد. باید دقت داشت که NMMO ناپایدار است و نیاز به افزودن محلول‌های بافر دارد، اما مایع یونی این‌طور نیست. هربرت می‌گوید مایع یونی موجود در آن نیز کاملا قابل بازیافت است و این فرایند را با محیط زیست سازگار می‌کند و الیافی با خواص مکانیکی بهتر از پنبه تولید می‌شود. فرایند Ioncell می‌تواند از خمیر چوب استفاده کند و به همین دلیل است که هربرت می‌گوید این موضوع به عنوان بخشی از یک اقتصاد چرخشی به حساب می‌آید زیرا مواد خام آن از جنگل‌های فنلاند می‌آید. این جنگل‌های فنلاند از لحاظ زیست‌محیطی پایدار هستند چون به گونه‌ای مدیریت می‌شوند که رشد درختان از مقدار استخراج‌شده بیشتر شود. هربرت می‌گوید: «دانشگاه ما گروه بزرگی در طراحی پارچه دارد، بنابراین ما می‌توانیم چوب را پردازش کنیم، خمیر بسازیم، الیاف بسازیم، نخ بسازیم، پارچه بسازیم، لباس طراحی کنیم و لباس‌ها را در فشن‌شوها نشان دهیم». این فرایند همچنین می‌تواند زباله‌های نساجی را بپذیرد و لباس‌های قدیمی را به لباس‌های جدید تبدیل کند. شرکت Ioncell در حدود دو سال است که یک واحد پایلوت با هدف آزمایش چگونگی عملکرد فرایند آن در دنیای واقعی ساخته است. Evrnu در حال اجرای یک پروژه آزمایشی با شرکت‌های شریک در آلمان و جاهای دیگری در ایالات متحده است تا نشان دهد که با فرایند خود می‌تواند پارچه تولید کند. آنها امیدوارند که یک شرکت بزرگ نساجی بخواهد مجوز این فناوری را خریداری کند. در حال حاضر، این شرکت از NMMO استفاده می‌کند زیرا این ترکیب به‌راحتی در دسترس است، اما استانف امیدوار است که درنهایت به مایع یونی تبدیل شود، نمکی که در دمای زیر ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌صورت مایع است و از نظر شیمیایی پایدارتر از NMMO است و می‌تواند آلاینده‌های بیشتری را تحمل کند. البته این شرکت هنوز هیچ یک از این مایعات را برای فرایند تولید خود بهینه نکرده است.

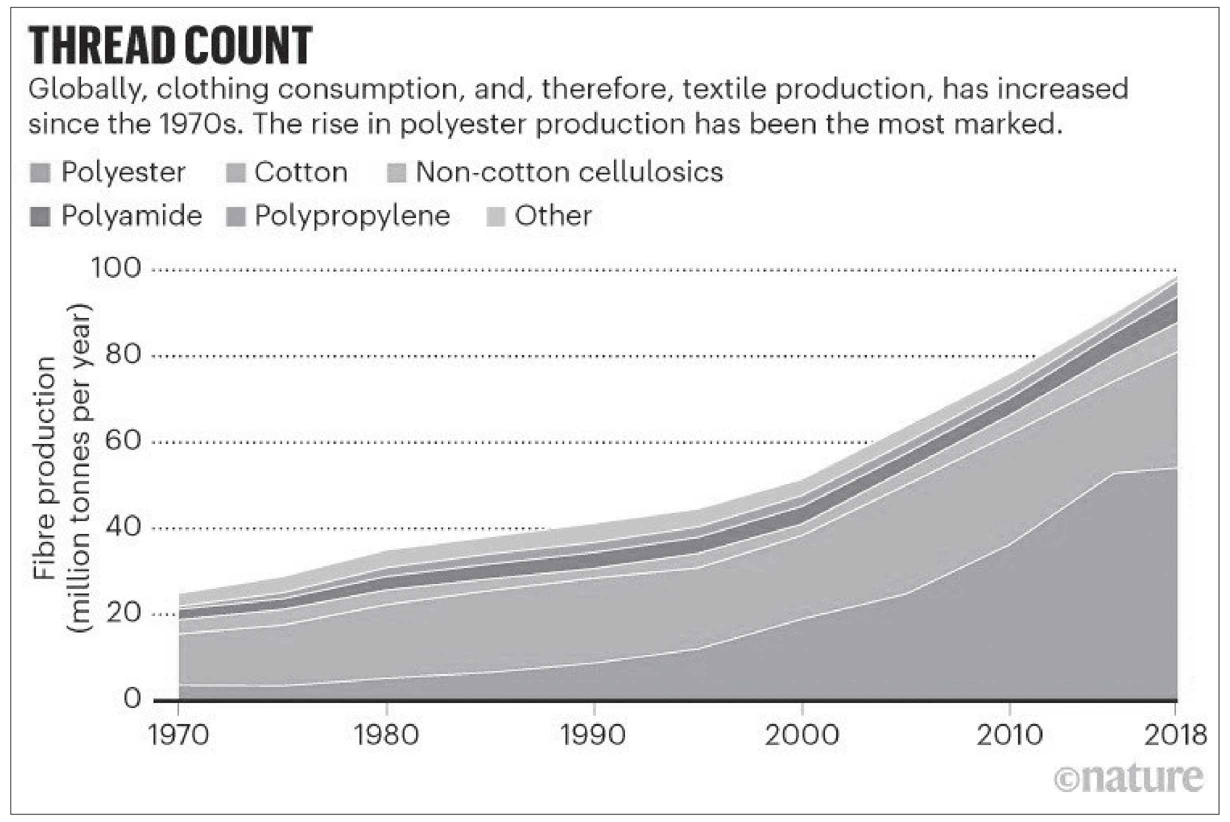
موضوع هزینه

«یوجیانگ وانگ» یک مهندس مواد در مؤسسه فناوری جورجیا در آتلانتا است. او در این خصوص می‌گوید اگرچه چالش‌های فنی فراوان است، اما مانع اصلی بازیافت گسترده منسوجات می‌تواند اقتصادی باشد. وانگ می‌گوید: «بیشتر مواد آن‌قدر ارزشمند نیستند. تولید پلی‌استر، پنبه و سایر پارچه‌ها آن‌قدر ارزان است که حاشیه سود کمی وجود دارد مگر اینکه فرایندهای بازیافت بسیار ارزان باشند». این در حالی است که زیرساخت‌های جمع‌آوری و دسته‌بندی منسوجات مستعمل به جز چند گروه خصوصی که در زمینه اهدای لباس فعالیت دارند نیز وجود ندارد. به علاوه ترکیب پیچیده مواد موجود در یک لباس که نه فقط الیاف مختلف طبیعی و مصنوعی هستند بلکه رنگ‌ها و روکش‌های شیمیایی، دکمه‌ها و زیپ‌ها و هرگونه مواد اضافه‌شده مانند چرم یا لاتکس نیز باید از هم جدا شوند تا اجزا به‌صورت جداگانه پردازش شود. وانگ استدلال می‌کند که سیاست‌گذاران باید بازیافتی را در نظر بگیرند که لباس‌های مستعمل را نه به لباس‌های جدید بلکه به سایر محصولات مفید، هرچند کم‌ارزش تبدیل کند. الیاف را می‌توان برای استفاده به عنوان تثبیت‌کننده خاک آسیا کرد یا سلولز می‌تواند به گلوکز تبدیل شود که به سوخت تبدیل شود. حتی سوزاندن پلی‌استر برای انرژی، به استخراج نفت بیشتر از زمین برای انرژی ارجحیت دارد. وانگ می‌گوید: «به نظر نمی‌رسد که فناوری بالایی داشته باشد، اما به‌طور کلی، شما از آن سود قابل توجهی می‌برید». وانگ می‌گوید اقتصاد چرخشی باید به‌عنوان راهی برای کاهش هرچه بیشتر تولید مواد خام در زمانی که محصولات قابل استفاده مجدد هستند، در نظر گرفته شود. او می‌گوید: «اگر واقعا می‌خواهید بازیافت برای محیط زیست بهتر باشد نه فقط برای تبلیغات، بنابراین ما باید فناوری‌های بیشتری را توسعه دهیم تا بتوانید تا حد امکان از آنچه جمع‌آوری می‌کنید، استفاده کنید. این دایره چرخش مواد را چرخشی‌تر می‌کند».

عشاق پلی‌استر به پیش

سلولز تنها پلیمری نیست که پژوهشگران می‌خواهند از آن استفاده مجدد کنند، بلکه آنها پلی‌استر را نیز هدف قرار داده‌اند. پلی‌استر یک اصطلاح عمومی برای طیف وسیعی از پلیمرهای مشتق‌شده از نفت است، اما در درجه اول به پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) اشاره دارد. در سطح جهانی، پلی‌استر PET حدود نیمی از الیاف تمام منسوجات را تشکیل می‌دهد. پنبه یک‌چهارم دیگر را شامل می‌شود و بقیه از الیاف دیگری با منشأ گیاهی مانند کتان و کنف تشکیل شده است. محصولات حیوانی، مانند پشم و آلپاکا، سایر مواد مصنوعی از جمله اکریلیک و نایلون و الیاف سلولز مصنوعی نیز در این میان قرار می‌گیرند. پلی‌استر PET را می‌توان مانند پنبه به الیاف جدید تبدیل کرد، اما الیاف تابیده‌شده با هر بار بازیافت، کوتاه‌تر و ضعیف‌تر می‌شوند. با این حال برخلاف پنبه این پلیمر را می‌توان به مولکول‌های ساده‌تری که آن را تشکیل می‌دهند، تجزیه کرد و آن مونومرها را به پلیمرهای جدید تبدیل کرد. خانم سونجا سالمون که دانشمند پلیمر در دانشگاه ایالتی کارولینای شمالی است، می‌گوید که اگر با PET ضایعاتی شروع کنید دقیقا می‌توانید چیزی را تولید کنید که اساسا از ماده خام PET تولید شده است. یعنی از PET ساخته‌شده از نفت قابل تشخیص نیست. با این حال PET بسیار پایدار است و این موضوع تبدیل آن به مونومر را دشوار می‌کند. برخی از دانشمندان در حال توسعه آنزیم‌هایی هستند که می‌تواند این مولکول‌ها را هدف قرار دهد. در سال ۲۰۱۶، یک تیم یک باکتری را کشف کردند که می‌تواند PET را تجزیه کند و از آن زمان به بعد دانشمندان آنزیم‌های دیگری را برای تجزیه آن توسعه دادند. کریستوفر استانف که یکی از بنیان‌گذاران Evrnu در سیاتل واشنگتن است، می‌گوید که این شرکت دانش‌بنیان علاوه بر تمرکز اصلی خود بر تجزیه سلولز، روی فرایندهایی برای تجزیه PET و پلی‌اورتان و نیز جداسازی مخلوط‌های پلی‌استر و پنبه نیز کار می‌کند. در نموداری که می‌بینید آمار جهانی تولید منسوجات از مواد مختلف در سالیان گذشته نشان داده شده است.

ScientificAmerican, 13Dec. 2022



• آمار تولید منسوجات از مواد مختلف در سالیان گذشته

علم و جامعه

صدای سوت صنعتی‌شدن

نگاهی کوتاه به برآمدن راه‌آهن و لوکوموتیو در جهان روبه‌پیشرفت

حسن فتاحی

داستان نوشتن این یادداشت پیشینه‌ای دارد. چند سال پیش که هنوز قیمت‌ها سرسام‌آور نشده بود و توان سفر رفتن و گشت‌وگذار در کشور عزیزمان آسان‌تر بود، به همراه دو دوست خوبم، با قطار از تهران رهسپار سفر بودیم؛ آن هم با قطار. در میانه راه دو دوست خوب دیگرمان درباره راه‌آهن و قطار دو دیدگاه در دو سوی طیف داشتند. یکی می‌گفت: بچه‌ها دنیا عوض شده و ما هنوز در حال سفر با این قطارهای داغان هستیم. دیگری هم می‌گفت: خدا پدر فلانی را بیامرزد که قطار را به ایران آورد که در زمان خودش فناوری برتر بود. بحث بالا گرفته بود و از شاه تا ایلان ماسک پایشان به بحث باز شد. این بحث شیرین در قطار، در شب زمستانی ایران، درحالی‌که آسمان پرستاره بود و برخورد کارکنان قطار بسیار محترمانه و حرفه‌ای ادامه یافت. اول ژانویه ۲۰۲۳ با دوستانم تلفنی گفت‌وگو می‌کردیم، قرار سفری گذاشتیم و خیلی زود فهمیدیم، اتوبوس خسته‌کننده است و هواپیما گران؛ بنابراین برای سفری که ماه بعد پیش‌رو داریم، گزینه قطار را برگزیدیم و تصمیم گرفتیم لذت سفر با قطار را با نوشتن این یادداشت برای خوانندگان عزیز به اشتراک بگذارم و نشان دهم ریشه‌های صنعت راه‌آهن چگونه شکل گرفته است.

آمدن راه‌آهن

درست در همان زمان که ساخت پل معلق (یا پلی که ابتدا و انتهای آن در دو سوی رودخانه‌ای یا دو کوه به بلندای اندک است و خود پل از یک صفحه ریل‌واری ساخته شده و میله‌هایی بین دو تسمه محکم، افقی کنار هم چیده شده‌اند) بزرگ تلفُرد به سال ۱۸۲۶م. به پایان رسید، فناوری جدیدی از آستین بشر هوشمند در غربِ پس از دوره صنعتی‌شدن، سر برآورد. اجازه دهید این نکته را یادآور شویم که سال ۱۸۲۶م. برابر است با دوره سلطنت فتحعلی‌شاه قاجار و اگر پرسونانه بگوییم، هشت سال مانده به پایان سلطنت کمتر از ۳۷ ساله او. بنابراین از دوره‌ای سخن می‌گوییم که ایرانی‌ها به مدد دلیرمرد نامدار و خردمند قاجاری، «عباس‌میرزا نایب‌السلطنه» با فناوری غربی و مزایای آن آشنا شده بودند. آن فناوری تازه سربرآورده، قطاری بود که با نیروی بخار کار می‌کرد. مسئله اصلی که در این زمینه رخ داده بود، پیشرفت‌هایی در ساخت و تولید آهن بود که اجازه می‌داد ریل‌های مقاوم‌تر و محکم‌تری ساخته شود. نخستین لوکوموتیو بخاری که در راه‌آهن به کار افتاد، به وسیله «ریچارد ترویتیک» به سال ۱۸۰۲م. و باز هم‌دوره با فتحعلی‌شاه قاجار، در کلبروک دیل، در شراپشر، ساخته شد. نخستین قدرت‌نمایی واقعی و متقاعدکننده لوکوموتیو ترویتیک استفاده‌شدنی، دو سال بعد در پنیدارن، جایی در ویلز انگلستان، صورت گرفت. ایراد کار آنجا بود که سنگینی لوکوموتیوها زیاد بود و خیلی وقت‌ها ریل‌ها می‌شکستند. در حدود سال ۱۸۱۲م. در برخی از راه‌های ریل‌گذاری‌شده معادن (برابر فارسی معدن، کان است) در شمال انگلستان که پیش از آن واگن‌ها را اسب‌ها می‌کشیدند، لوکوموتیوها به راه افتادند. این لوکوموتیوها روی ریل‌هایی که از چدن ریخته شده بود، به‌خوبی حرکت می‌کردند. پیشرفت اساسی بین سال‌های ۱۸۲۰-۱۸۲۱ م. رخ داد که ترابرد با قطار را برای مسافت‌های دور و دراز ممکن کرد. یک کارخانه نوردسازی که زیرمجموعه کارخانه ذوب‌آهن بود، ریل‌های محکم و مقاومی از آهن چکش‌خوار به طول ۴٫۶ متر بیرون داد. این ریل‌ها در راه‌آهن استاکتن و دارلینگتون که به سال ۱۸۲۵م. بازگشایی شد، به کار رفت. این خط راه‌آهن در اصل همچون بیشتر راه‌آهن‌های نخستینی، درواقع برای استفاده معدن‌های زغال‌سنگ ساخته شده بود؛ اگرچه مسافر هم جابه‌جا می‌کرد. با آنکه برای کشیدن قطار روی پاره‌ای از قسمت‌های خط از اسب استفاده می‌شد، لوکوموتیوها جایگاه ویژه‌ای یافتند. عده زیادی برای تماشای خط آهن می‌آمدند. ازجمله یک نفر از پنسیلوانیا و دو نفر از آلمان، که از طرفداران خط‌کشی راه‌آهن در پروس بودند. نفر دیگر هم «مارک سگوین»، مهندس فرانسوی بود که به سال ۱۸۲۴م. پل معلقی یا به زبان فارسی پل آونگان یا آویزان را با کابل مسی به‌جای زنجیر ساخته بود. اندیشه‌های ساخت قطار یا ترَن، برق‌آسا گسترش یافت و در بسیاری جاها که جابه‌جایی کند بود و راه‌ها ناایمن بود و راه دادوستد و تجارت بسته، برنامه‌هایی برای ساخت راه‌آهن ریخته شد. در اروپا چند جای دیگر راه‌آهن داشتند و در آمریکا راه‌آهن بالتیمور و اوهایو میان سال‌های ۱۸۲۷ تا ۱۸۳۰م. کشیده شد. تا جایی که نویسندگان این یادداشت می‌دانند در ایران اثری از پل‌های آونگان فلزی نظیر آنچه در اروپا و آمریکا بود، وجود نداشت؛ اگرچه ایرانی‌ها پل‌های آجری ثابت زیبایی ساخته بودند که قدمتی طولانی داشت. باز تا جایی که می‌دانیم، نخستین راه‌آهن کاربردی-سراسری ایران در دوره پهلوی اول ساخته شد. اجازه دهید این نکته را بیشتر توضیح دهیم. نخستین خط‌های راه‌آهن ایران در دوره قاجار ساخته شد. این فرایند از سال ۱۸۴۰م. یعنی دوره محمدشاه قاجار آغاز شد و تا پایان قاجار در بخش‌هایی از ایران ازجمله استان گیلان و شمال غرب کشور، خطوط راه‌آهن بودند؛ اما آنچه راه‌آهن سرتاسری است و به نماد تبدیل شده همان فرایند ساخت راه‌آهن سرتاسری است که با سختی و کمبود بودجه ساخته شده و سمبل آن پل ورسک است. در حوالی همان سال‌های ۱۸۳۰م. «جورج» و «رابرت استیفنسن»، دست به ابتکاری زدند. آنها دنباله‌ای از لوکوموتیوها را ساختند، ازجمله آنها لوکوموتیو معروف به راکت بود. راکت را به معنای رایج آن، یعنی موشک به کار می‌بردند و دلیل استفاده از آن جدیدبودن این جنگ‌افزار در غرب بود. با ساخت این رده از لوکوموتیوها، استیفنسن‌ها سرانجام مفهوم لوکوموتیو ترویتیک را پشت سر گذاشتند و مبنایی نو برای نسل جدیدی از لوکوموتیوها با دیگ بخار لوله‌ای و سیلندرهای افقی گذاشتند. فناوری‌های مربوط به راه‌آهن با بخش‌های دیگر صنعت گره خورد و در چندین بخش کار کردند. نخستین بخش آن ایمنی هرچه بیشتر بود، سپس به دنبال بهینه‌سازی ریل‌ها و خود واگن‌ها رفتند. پیشرفت در ساخت موتورها، بار دیگر قطارها را با جهش روبه‌رو کرد؛ هم سرعت افزوده شد و هم توان بالا رفت.

ساعت سحرآمیز

چگونه میخی کج در نعل اسب، لشکری را به قهقرا می‌برد

شیرین بقایی

بهانه نوشتن این یادداشت، به این روزهای پرتلاطم بازمی‌گردد که مدرسه‌ها یک‌خط در میان تعطیل است و مدام از کمبود گاز سخن می‌گویند. بی‌شک این جمله را بسیار شنیده‌اید و خوانده‌اید که چگونه است که کشوری همچون ایران، با داشتن دومین ذخایر گازی جهان، در فصل زمستان به چنین مشکلاتی گرفتار می‌شود. برای پسرم که نوجوان است و دبیرستانی، و برخلاف نسل من، نسل جهان اینترنتی است، شگفت‌انگیز می‌نماید که چرا کشورمان با چنین معضلاتی روبه‌روست. از یک سو با همین سن نوجوانی‌اش می‌فهمد چیزهایی سر جایش نیست و از سوی دیگر نمی‌داند ریشه‌های این مشکل که ایران به‌حد کافی گاز دارد؛ اما در زمستان دچار بحران تأمین گاز می‌شود، چیست. برحسب کارم که معلمی دانشگاه است، دریافته‌ام که دانش‌آموزان ایرانی و در مقیاسی فراخ‌تر، ایرانی‌ها از سه چیز دور مانده‌اند و این دورافتادگی سبب شده از تحلیل درست اوضاع ناتوان شوند. نخست اینکه شناختی از تاریخ ایران ندارند. نه از تاریخ ایران، نه از تاریخ ادبیات و نه از تاریخ تحولات سیاسی-اجتماعی. بنابراین نمی‌توانند از دریچه‌ای جدید به موضوع بنگرند که چه شد که به چنین نقطه‌ای رسیدیم. چیز دیگری که نمی‌دانند، تاریخ تحولات جهان در ۳۰۰ سال گذشته است. نمی‌دانند که چه شد ایران جا ماند و غرب پیش رفت. این نکته را حتی مسئولانی که سخن از زمستان سخت می‌گفتند هم نمی‌دانستند. آنها اگر شناخت درستی از تحولات فناوری داشتند، می‌دانستند که اروپا با تکیه بر سیاست و فناوری، راه‌حلی برای زمستان سخت خواهد یافت؛ بنابراین بحران اروپا را در سایه سیاست خردمندانه و ظرفیت‌های کشور به فرصت تبدیل می‌کردند. سومین چیزی که ایرانی‌ها با آن ناآشنا هستند، تاریخ علم است. شاید باورش سخت باشد؛ اما در کلاس‌های درس بارها پرسیده‌ام که ابوریحان بیرونی چه کتاب‌هایی نوشته و تخصصش چه بوده، دانشجویان نمی‌دانستند. دیگر انتظار ندارم بدانند، سنت ترجمه در ایران چگونه بوده و نخستین کارخانه برق در ایران چه زمانی تأسیس شد. شگفت آنکه بچه‌های ما و حتی بسیاری از مردم تاریخچه‌ای در حد نیم‌صفحه پروپیمان از صنعت نفت کشور را نمی‌دانند. بچه‌ها از صنعت نفت فقط نام محمد مصدق را می‌دانند و بس. حتی نمی‌دانند داستان اکتشاف نفت در ایران چه داستان دامنه‌داری بوده و چگونه در حدود نیم‌قرن نفت ایران محل قیل و قال بوده است. این مقدمه را نوشتم تا بگویم، نداشتن نگرش درست از بحران‌ها چگونه می‌تواند به حل‌نشدن آن منجر شود. شب گذشته، برای پسرم بخشی از یک کتاب را خواندم و توضیح دادم که سال‌ها پیش با نام پیوندها در ایران چاپ شده و نگاهی سیاسی، اجتماعی به تحولات علمی و فناوری دارد. این مقاله کوتاه هم در واقع گوشه‌هایی از آن روایتگری است که برای تمام فرزندان ایران بیان می‌کنم. امید آن دارم نسل‌های آینده ایران بیشتر بخوانند و بدانند تا بهتر بتوانند بحران‌های پیش‌روی ایران را حل کنند. دانایی امروز فرزندانمان که بر عهده ماست، توانایی آنها در سعادتمندکردن ایران است.

ماشه‌چکانده

در تاریکی فزاینده شبی زمستانی در نهم نوامبر ۱۹۶۵م. درست پیش از ساعت پنج و شانزده دقیقه و یازده ثانیه، وسیله کاسه‌ای‌شکل فلزی کوچکی درون جعبه مستطیل‌شکل سیاهی به آرامی شروع به دوران کرد. با گردش کاسه، میله‌ای که در مرکز کاسه قرار داشت و به بازوی کوچکی متصل بود نیز شروع به چرخش کرد و بازو را به آرامی به کلید فلزی مجاورش نزدیک کرد. تنها افراد انگشت‌شماری از محل دقیق این کاسه خبر داشتند و هیچ‌یک هم نمی‌دانستند که ماشه این دستگاه چکانده شده است. درست ۱۱ ثانیه پس از این لحظه، دو برآمدگی کوچک فلزی با یکدیگر تماس یافتند و این‌گونه بود که دنباله‌ای از رویدادها آغاز شد؛ آن‌چنان که ظرف ۱۲ دقیقه به هرج‌ومرج تبدیل شد. طی این مدت زندگی در منطقه‌ای به مساحت ۲۰۰ هزار کیلومتر مربع از ثروتمندترین، صنعتی‌ترین و البته پرجمعیت‌ترین مناطق جهان غرب به توقف کامل کشیده شد. بیش از ۳۰ میلیون نفر بین سه دقیقه تا ۱۳ ساعت گرفتار این حوادث شدند. برخی به سبب این حادثه جان باختند و زندگی هیچ‌یک از آنان هرگز به همان صورتی که در گذشته بود، درنیامد. کاسه متحرکی که موجب چنین ویرانی بی‌سابقه‌ای در تاریخ زندگی شهری در آمریکای شمالی شد، داخل رله حفاظتی نیروگاه برق آدام‌بِک در آبشار نیاگارا نصب شده بود. رله در صورت افزایش شدید مصرف برق شمال واکنش نشان می‌داد. درجه رله دو سال پیش تنظیم شده بود و با وجود افزایش توان مصرفی در این مدت دوباره تنظیم نشده بود. از این رو هنگامی که توان مصرفی یکی از خطوط انتقال نیرو از نیروگاه آدام‌بک به تورنتوی کانادا برای مدت کوتاهی از مرز ۳۷۵ مگاوات فزونی یافت، آهنرباهای داخل جعبه مستطیل‌شکل به واکنش درآمدند و موجب چرخش کاسه شدند. با برقراری تماس بازوی میله، علامتی برای خروج این خط نیرو از مدار که بار زیادی بر آن تحمیل شده بود، ارسال شد. بی‌درنگ بار این خط روی چهار خط دیگر انتقال برق در شمال منتقل شد و اضافه‌بار شدیدی روی آنها اعمال کرد. بر اثر این بار اضافه، آن چهار خط هم از مدار خارج شدند و جریان برق به شمال قطع شد. کمتر از سه ثانیه از عملکرد رله، کل نیروی مصرفی در شمال به‌طور خودکار تغییر جهت داد و به خطوطی که به سمت جنوب و شرق، یعنی ایالت نیویورک و شهر نیویورک، می‌رفتند، منتقل شد و افزایش جریان شدیدی بسیار بیش از توان این خطوط بر آنها وارد کرد. این واقعه چنان که بعدها در گزارش ریاست‌جمهوری مطرح شد، در زمانی از روز روی داد که در این ناحیه بسیار با جمعیت بالا و تراکم جمعیتی زیاد، بیشینه نیاز به نیروی برق وجود داشت؛ بنابراین زمینه ویرانی فراوانی را پدید آورد.

پیامدها

نخستین پیامدها، ازکارافتادن تقریبا کامل شبکه برق در سراسر شمال و شمال شرق کانادا و آمریکا بود. نیروی برق برای گرمایش، روشنایی، برای مخابرات و بنزین و برای به‌کارانداختن دستگاه‌های الکترونیکی، مانند خون جاری در رگ‌های جامعه صنعتی است. از آنجا که بشر خواهان هوای تمیز و طبیعت بکر است، نیروگاه‌ها اصولا دور از شهرها ساخته می‌شوند و صنایع ریز و درشت از طریق خطوط انتقالی با نیروگاه‌ها ارتباط می‌گیرند. ماهیت پیچیده جامعه صنعتی امروز که می‌توان ایران و شهرهای بسیاری از آن را در این مجموعه قرار داد، در زمان‌های گوناگون و در نواحی مختلف به برق با شدت‌های متفاوت نیاز دارند. از این رو خطوط انتقال برق شبکه بزرگی را تشکیل می‌دهند که نیروگاه‌های متعدد آن را تغذیه می‌کنند. بسته به نیاز هر منطقه خاص، هر نیروگاه برق مازاد به شبکه می‌دهد یا از آن می‌گیرد. وجود این شبکه به این معناست که خرابی در یک ناحیه می‌تواند به معنای خرابی در تمام نواحی قلمداد شود. مولدها که در خطوط انتقال برق تولید می‌کنند، می‌توانند با سرعت‌های گوناگونی کار کنند. همین سرعت‌ها هستند که بسامد جریان را تعیین می‌کنند. بسامدهای جریان برقی که از نیروگاه‌های مختلف به شبکه وارد می‌شود، باید یکسان باشند تا شبکه دچار اختلال نشود. بنابراین مولدها باید با سرعت طراحی‌شده کار کنند تا بسامد موردنیاز را تولید کنند. درنتیجه آنچه «نظم پایدار» نامیده می‌شود، حفظ می‌گردد. با بروز ایرادهایی مانند بار اضافه بسیار زیاد همچون نهم نوامبر که در ابتدا درباره‌اش سخن گفتیم، این نظم پایدار، ناپایدار می‌شود. برای حفاظت از نیروگاه‌ها در برابر اضافه‌بار، دستگاه‌های حفاظتی به طور خودکار وارد عمل می‌شوند و نیروگاه‌ها را از مدار یا شبکه خارج می‌کنند. این بدان معنی است که تولید نیروگاه بسیار بیشتر یا بسیار کمتر از نیاز محلی بوده است. تغییر ناگهانی سرعت مولدها برای تنظیم میزان برق تولیدی با شرایط جدید می‌تواند خسارت‌هایی جدی به بار آورد، ازاین‌رو مولدها باید کاملا از مدار خارج شوند. این همان رویدادی بود که طی ۱۲ دقیقه پس از عملکرد رله نیروگاه آدام‌بک در بیشتر مناطق شمال شرق آمریکا روی داد. در شهر نیویورک تقریبا تمام چراغ‌ها، بعد از چندبار چشمک‌زدن خاموش شدند. برق خدمات شهری قطع شد. حدود ۸۰۰ هزار نفر در قطارهای زیرزمینی گرفتار شدند. در این میان تنها نیمی از ۱۵۰ بیمارستانی که در خاموشی کامل به‌سر می‌بردند، دستگاه برق اضطراری داشتند. ۲۵۰ پرواز به مقصد فرودگاه جان‌اف کندی، به فرودگاه‌های دیگر راهنمایی شدند. یکی از هواپیماهای مسافربری در حال نشستن روی باند پرواز در فرودگاه بود که ناگهان چراغ‌های باند خاموش شدند و ارتباط خلبان با برج مراقبت قطع شد. در همین حین در آسمان‌خراش‌ها، آسانسورها یا به فارسی بگوییم، آسان‌بر یا بالابرها از کار ایستادند و تصور کنید چه فشار روانی‌ای به کسانی که داخل آسانسور بودند، وارد شده بود. یادمان باشد که آن زمان آسانسورها مانند امروز به انواع ابزارهای هوشمند مواقع بحرانی مجهز نبودند و حتی جعبه کلید آنها آنالوگ بود. مخازن آب خالی شدند و خاموشی چراغ‌های راهنمایی در خیابان‌های شهرها راهبندان‌های بزرگی را رقم زد که برای ساعت‌ها گره کور آن باز نشد. تمام چراغ‌های خیابان‌های شهری با چیزی در حدود هشت میلیون نفر خاموش شد.

دوروی سکه

داستان بالا را روایت کردم تا بگویم ساختار زندگی فناورانه چه پیامدهایی هم می‌تواند داشته باشد. زندگی امروز بشر به شدت به فناوری گره خورده و به آن بسته است. امروزه زندگی بدون اتومبیل ممکن نیست و اگر در سوخت‌رسانی به جایگاه‌ها خللی وارد شود، تصور کنید تا چه حد شهر آشفته خواهد شد. قطع برق در نوامبر ۱۹۶۵ نمونه‌ای کوچک بود از اینکه چگونه اختلالی کوچک، یک خرابی اندک می‌تواند نمونه تمام‌عیاری از یک آشفتگی شهری را رقم بزند. داستان گاز هم در ایران از این اصل پیروی می‌کند. ناکارآمدی در بخشی فنی، می‌تواند منجر به گرفتارشدن هم‌میهنان خوبمان در سرمای جان‌سوز این زمستان سخت باشد. اما نکته مهم این است که این بحران‌ها را نه با کارهای شعارزده که باید با کارهای شعورمحور حل کنیم. خرابی و بحران بخشی از زندگی مدرن انسان است و چگونه رویکردی در برابر آن داشتن هنر انسان خردمند. فناوری پیچیده می‌تواند دو روی یک سکه باشد. یک رو رفاه و آسایش و روی دیگر بحران گسترش‌یابنده. این افراد و سازمان‌ها و نهادها هستند که باید بدانند با آن چگونه برخورد کنند.