

رصد فناوری سامانه‌های تمیزکاری پنل‌های خورشیدی با تأکید بر پوشش‌های نانوساختار خودتمیزشونده ضد گرد و خاک

چکیده گزارش:

بازار جهانی فتوولتائیک که شامل پنل‌های خورشیدی، اینورترها و سایر تجهیزات جانبی می‌شود، در سال ۲۰۲۳ ارزشی برابر با ۹۶.۵ میلیارد دلار داشته است. این بازار با نرخ رشد مرکب سالانه ۱۰ درصد در حال گسترش است و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۸ به ۱۵۵.۵ میلیارد دلار برسد. اما آنچه برای موضوع ما اهمیت حیاتی دارد، بررسی حوزه مدیریت و نگهداری نیروگاه‌های خورشیدی است. براساس آخرین داده‌های ثبت اختراع که معتبرترین شاخص برای سنجش جهت‌گیری نوآوری و سرمایه‌گذاری در بازارهای آینده هستند، حوزه مدیریت و نگهداری پنل‌های خورشیدی یکی از سریع‌ترین حوزه‌های رشد فناوری در جهان است. طبق گزارش اداره ثبت اختراعات اروپا (EPO) که در ژوئیه ۲۰۲۵ منتشر شده، سهم فناوری‌های مرتبط با مدیریت از کل نوآوری‌های جهانی در صنعت خورشیدی از تنها ۳.۲ درصد در دهه ۱۹۹۰ به بیش از ۱۰ درصد در سال‌های اخیر رسیده است. این یعنی بازار ابزارها و روش‌های تمیزکاری، پایش و نگهداری پنل‌ها در حال تبدیل شدن به یک فرصت بزرگ مستقل از بازار خود پنل‌هاست. در میان تمام زیرشاخه‌های حوزه مدیریت، فناوری تمیزکاری پنل‌ها (Cleaning panels) با اختلاف بزرگترین و داغ‌ترین بخش است. این حوزه با ثبت بیش از ۲۸,۵۲۶ خانواده اختراع در سراسر جهان، نشان‌دهنده عطش عظیم صنعت برای حل چالش گردوخاک و آلودگی سطح پنل‌هاست. پوشش‌های خودتمیزشونده نانوساختار، به عنوان زیرمجموعه‌ای از این فناوری‌های تمیزکاری، در آستانه جهش تجاری قرار دارند.

شناسنامه گزارش رصد فناوری

عنوان گزارش	رصد فناوری سامانه‌های تمیزکاری پنل‌های خورشیدی با تأکید بر پوشش‌های نانوساختار خودتمیزشونده ضد گرد و خاک
حوزه تخصصی	فناوری نانو و پوشش‌های پیشرفته در صنعت فتوولتائیک
مخاطبان اصلی	وزارت نیرو-پژوهشگاه نیرو-کارشناسان بهره‌برداری ساتبا، سرمایه‌گذاران حوزه تجدیدپذیر و شرکت‌های دانش‌بنیان فعال در پوشش‌های صنعتی-معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری-ستاد توسعه فناوری نانو
سفارش دهنده	پژوهشگاه نیرو
نویسندگان	دکتر مجید میرزایی (ایمیل سازمانی: mjmirzaei@nri.ac.ir)
ناظر	پژوهشکده تولید
پژوهشکده، گروه پژوهشی	پژوهشکده تولید-مرکز تخصصی نوآوری و توسعه فناوری نانو
تاریخ مطالعه	اردیبهشت ۱۴۰۵

۱. منطق بازار: چرا پوشش‌های خودتمیزشونده ضد گردوخاک؟

گزارش EPO به صراحت اشاره می‌کند که سنجش میزان آلودگی (Measuring soiling) و تمیزکاری پنل‌ها (Cleaning panels) دو چالش اصلی هستند که رشد بازار تجهیزات جانبی خورشیدی را هدایت می‌کنند. رشد اختراعات در حوزه سنجش آلودگی به تنهایی ۲۳۹۰ درصد در بازه مورد بررسی بوده است. این عدد شگفت‌انگیز نشان می‌دهد که کل صنعت به دنبال راهکاری برای فهمیدن میزان کثیفی پنل‌ها و حذف آن است. در این میان، پوشش‌های خودتمیزشونده ضد گردوخاک یک مزیت راهبردی بی‌نظیر دارند: آنها یک راهکار پیشگیرانه و غیرفعال هستند. به جای اینکه پس از وقوع آلودگی، انرژی و هزینه صرف تمیزکاری کنیم (مانند ربات‌ها یا شستشوی دستی)، این پوشش از همان ابتدا از چسبیدن گردوخاک جلوگیری کرده و در اولین بارندگی یا حتی شبنم، سطح را کاملاً تمیز می‌کند. گزارش EPO در بخش فناوری‌های کاربردی (Applications) و مدیریت (Management) بارها به این نکته اشاره دارد که خودتمیزشوندگی، به ویژه در مناطقی با محدودیت منابع آبی و نیروی انسانی، به یک مزیت رقابتی کلیدی برای نیروگاه‌های خورشیدی تبدیل شده است.

۲. جغرافیای بازار و فرصت ایران (بر اساس داده‌های EPO)

گزارش EPO یک تغییر بنیادین را در نقشه نوآوری جهان نشان می‌دهد: قدرت مطلق چین. بر اساس این گزارش، سهم چین از تولید پنل‌های خورشیدی جهان به نزدیک ۸۵ درصد رسیده است. حتی مهم‌تر از آن، در سال ۲۰۲۲، ۸۰ درصد از کل اختراعات جدید دنیا در حوزه فتوولتائیک صرفاً در چین ثبت شده است. این یک هشدار و یک فرصت همزمان است. هشدار از این جهت که رقابت در سطح تولید پنل تمام شده است و چین حرف اول و آخر را می‌زند. اما فرصت از این جهت که زنجیره ارزش جانبی، یعنی تجهیزات و خدماتی که برای راه‌اندازی و نگهداری نیروگاه‌ها نیاز است، هنوز به همان میزان در انحصار چین نیست. در سوی دیگر جهان، اروپا تخصص خود را نه در ساخت پنل، بلکه در "کاربردها و یکپارچه‌سازی" (Applications and Integration) حفظ کرده است. گزارش EPO نشان می‌دهد که اروپا در فناوری‌هایی مانند نیروگاه‌های شناور خورشیدی (Floating PV)، کشاورزی-خورشیدی (Agrivoltaics) و نصب روی پشت بام‌ها و ساختمان‌ها (Roofs and BIPV) برتری شاخص (Revealed Technology Advantage) دارد.

۳. فرصت برای ایران کجاست؟

ایران دقیقاً در نقطه تلاقی "نیاز شدید به راهکارهای نگهداری کم‌آب‌خواه" و "دسترسی به زنجیره ارزش جانبی" قرار دارد. از یک سو، اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران با طوفان‌های گردوخاک مکرر، پنل‌های وارداتی از چین را به شدت در معرض افت راندمان قرار می‌دهد. از سوی دیگر، ایران می‌تواند با توسعه فناوری پوشش‌های نانو، یک لایه ارزش افزوده روی پنل‌های

چینی ایجاد کرده و سپس از آنها در نیروگاه‌های داخلی یا حتی صادرات مجدد به کشورهای همسایه استفاده کند. گزارش EPO تأکید می‌کند که علی‌رغم سلطه چین، اروپا هنوز در فناوری‌های "تمایزکننده" مانند پوشش‌های پیشرفته و سیستم‌های ردیاب خورشیدی (Sun-tracking) حرف برای گفتن دارد. ایران نیز می‌تواند همین مسیر را دنبال کند: رقابت نکردن در تولید پنل ارزان، اما رقابت در افزایش دوام و کارایی پنل‌ها در شرایط سخت اقلیمی.

۴. بازیگران کلیدی بازار (بر اساس روندهای ثبت اختراع)

گزارش EPO فهرستی از بازیگران اصلی نوآوری در صنعت خورشیدی ارائه می‌دهد. اگرچه این فهرست بر اساس ثبت اختراع است، اما به وضوح نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری خصوصی در کدام مسیرها جریان دارد. در سطح جهانی، غول‌های ژاپنی مانند کانن (Canon)، سونی (Sony) و پاناسونیک (Panasonic) پیش‌تاز ثبت اختراعات بین‌المللی هستند. وجود نام شرکت‌های ژاپنی در صدر جدول، نشان‌دهنده اهمیت کیفیت و دوام فناوری در این بازار است. در کنار ژاپن، شرکت‌هایی مانند سامسونگ (Samsung) از کره جنوبی و CEA از فرانسه (یک سازمان بزرگ دولتی-پژوهشی) جزو فعال‌ترین نهادها هستند.

اما نکته جالب توجه، ظهور سریع شرکت‌های چینی مانند JinkoSolar، LONGi Group و CATL است. این شرکت‌ها که عمدتاً تولیدکننده پنل و باتری هستند، در سال‌های اخیر جهش عظیمی در ثبت اختراعات داخلی چین داشته‌اند. این یعنی آنها به طور جدی وارد فاز نوآوری شده‌اند و به زودی محصولات نسل بعدی خود را با قابلیت‌های بالاتر روانه بازار خواهند کرد.

نکته قابل تأمل این است که در میان ۲۰ شرکت برتر ثبت اختراعات بین‌المللی، نام یک تولیدکننده تخصصی "پوشش خودتمیزشونده" به چشم نمی‌خورد. این نشان می‌دهد که بازار این فناوری هنوز در مرحله "کمتر از یک دهکده" است؛ یعنی هنوز شرکت‌های بزرگ وارد آن نشده‌اند و عمدتاً استارت‌آپ‌ها و مراکز تحقیقاتی دانشگاهی در آن فعال هستند.

گزارش EPO در بخش دیگری تأیید می‌کند که استارت‌آپ‌های اروپایی عمدتاً روی فناوری‌های مرتبط با مواد جدید (مواد فتوولتائیک) و دستگاه‌ها (دستگاه‌های فتوولتائیک) متمرکز هستند. اما فعالیت آنها در حوزه مدیریت (که پوشش خودتمیزشونده در آن قرار می‌گیرد) هنوز اندک است. این یعنی رقابت در این حوزه بسیار کمتر است و پنجره فرصت برای ورود باز است.

۵. پیش‌بینی روندها و جایگاه پوشش نانو

بر اساس تحلیل روندهای گزارش EPO، سه تحول بزرگ در بازار آینده پوشش‌های خودتمیزشونده تأثیرگذار خواهند بود:

اول، انقلاب سلول‌های پروسکایت: گزارش EPO سلول‌های خورشیدی پروسکایت را به عنوان "نسل بعدی" معرفی می‌کند که می‌توانند راندمان بالاتر از ۳۰ درصد و هزینه تولید بسیار پایین‌تری داشته باشند. اما این سلول‌ها ذاتاً در برابر رطوبت و آلودگی شیمیایی حساس هستند. این یک فرصت طلایی برای پوشش‌های نانو است. پوشش خودتمیزشونده ضد گردوخاک می‌تواند نقش "زره محافظ" برای این سلول‌های حساس را ایفا کند. هر چه پروسکایت بیشتر به بازار بیاید، نیاز به پوشش‌های محافظ و خودتمیزشونده بیشتر خواهد شد.

دوم، رشد شناورهای خورشیدی (Floating PV): یکی از حوزه‌های تخصصی اروپا که در گزارش ESO به آن اشاره شده، نیروگاه‌های خورشیدی شناور روی آب هستند. این نیروگاه‌ها در معرض رطوبت بسیار بالا، رشد جلبک و نشست ذرات معلق روی آب هستند. پوشش‌های خودتمیزشونده ضد گردوخاک، با خاصیت فوق‌آبگریزی، می‌توانند مشکل رطوبت و نشست آلودگی را در این نیروگاه‌ها نیز حل کنند. بازار شناورهای خورشیدی در جنوب شرق آسیا و اروپا در حال انفجار است و نیازمند پوشش‌های خاص خود است.

سوم، یکپارچگی با ساختمان و خودرو (BIPV و VIPV): گزارش EPO نشان می‌دهد که فناوری‌های خودرو-خورشیدی (Vehicle-integrated PV) و ساختمان-خورشیدی (Building-integrated PV) جزو پنج فناوری برتر از نظر تعداد اختراعات در سال‌های اخیر بوده‌اند. در این کاربردها، امکان شستشوی دستی یا مکانیزه پنل‌ها بسیار محدود است. بنابراین وجود پوشش خودتمیزشونده نه یک مزیت، بلکه یک الزام خواهد بود. خودرویی که روی سقف آن پنل خورشیدی نصب شده، باید بتواند با حرکت هوا و باران، خود را تمیز کند. بازار این کاربردها (BIPV و VIPV) در اروپا و چین در حال شکل‌گیری است و محرک اصلی تقاضا برای پوشش‌های نانو خواهد بود.

۶. تحلیل شکاف: فرصت یک شرکت دانش‌بنیان ایرانی

با جمع‌بندی داده‌های گزارش EPO، تصویر زیر به دست می‌آید:

از یک سو، چین با تولید ۸۵ درصد پنل‌های جهان، کارخانه دنیاست. از سوی دیگر، اروپا در فناوری کاربردها و یکپارچه‌سازی تخصص دارد. اما هیچ کدام از این دو قطب، تمرکز ویژه‌ای روی توسعه تجاری پوشش‌های خودتمیزشونده ضد گردوخاک برای شرایط سخت اقلیمی (مانند خاورمیانه) ندارند.

چین درگیر رقابت بر سر قیمت و راندمان سلول است. اروپا درگیر یکپارچه‌سازی با ساختمان و کشاورزی است. در این میان، خاورمیانه و شمال آفریقا (MENA) یکی از بالاترین پتانسیل‌های نصب نیروگاه خورشیدی در جهان را دارد، اما با مشکل جدی گردوخاک و کمبود آب مواجه است.

اینجا دقیقاً همان نقطه‌ای است که یک شرکت دانش‌بنیان ایرانی می‌تواند وارد شود. با داشتن مواد اولیه در دسترس (سیلیس برای تولید نانوذرات)، نیروی انسانی متخصص و دسترسی به بازار بزرگ کشورهای همسایه (عراق، عربستان، امارات، پاکستان، افغانستان)، ایران می‌تواند به قطب تولید پوشش‌های نانو ضد گردوخاک برای کل منطقه تبدیل شود.

این گزارش EPO به وضوح نشان می‌دهد که ثبت اختراعات بین‌المللی در این حوزه در حال کاهش است و شرکت‌ها بیشتر به دنبال ثبت اختراع داخلی در چین هستند. این یعنی بازار بین‌المللی برای فناوری‌های "حل مسئله گردوخاک" خلوت‌تر از قبل شده و زمان مناسبی برای ورود یک بازیگر جدید با محصولی اثبات‌شده است.

نتیجه نهایی:

بازار پوشش‌های خودتمیزشونده نانو، یک بازار میان‌مدت با رشد انفجاری است که محرک اصلی آن سه عامل است: افت راندمان ناشی از گردوخاک، کمبود آب برای شستشو، و رشد کاربردهای یکپارچه شهری (BIPV/VIPV). ایران نه تنها یک بازار مصرف بزرگ برای این محصول است، بلکه می‌تواند به یکی از تولیدکنندگان اصلی آن برای منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان تبدیل شود.

فهرست منابع

European Patent Office (EPO), "Advances in photovoltaics: Technology trends for solar energy", July 2025