



گزارش های دوره ای

بررسی جامع نقش ابتکارات دولتی در نوآوری نانوفناوری برای توسعه
اقتصادی پایدار و پیشرفت پژوهش

شهریور ۱۴۰۴

هلدینگ صنایع نانو تک آینده

فهرست مطالب

۳	مقدمه
۶	ابتکارات جهانی نانو فناوری
۱۱	ابتکارات داخلی نانو فناوری
۱۲	نانو فناوری و نقش آن در دستیابی به اهداف توسعه پایدار
۱۹	سرمایه‌گذاری جهانی در نانو فناوری
۲۲	ایران: ستاد نانو
۲۷	نقش همکاری بین شرکت‌ها و دانشگاه‌ها
۳۲	پیامدهای اقتصادی نانو فناوری
۳۵	چارچوب مقرراتی
۳۶	جمع بندی

بررسی جامع نقش ابتکارات دولتی در نوآوری نانوفناوری برای توسعه اقتصادی پایدار و پیشرفت پژوهش

فناوری نانوذرات به عنوان یک عنصر بنیادین در صنایع مختلف از جمله الکترونیک، انرژی‌های تجدیدپذیر، نساجی و بیوتکنولوژی پزشکی، به‌ویژه در زمینه‌های دارورسانی هدفمند، ظهور کرده است. تجاری‌سازی این فناوری تاثیر عمیقی بر رشد اقتصادی داشته است، به‌ویژه در صنایع دارویی و الکترونیکی. علاوه بر این، آموزش و تربیت نیروی کار را بهبود بخشیده و میلیون‌ها فرصت شغلی مرتبط با توسعه نانوفناوری ایجاد کرده است. سازمان همکاری و توسعه اقتصادی پیش‌بینی می‌کند که تا سال ۲۰۲۴، بازار جهانی محصولات نانوفناوری به ارزشی بین ۱ تا ۳ تریلیون دلار برسد و بیش از ۲ میلیون شغل جدید در سراسر جهان ایجاد شود. پیشرفت سریع فناوری نانوذرات در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ عمدتاً توسط سرمایه‌گذاری گسترده صنعتی در پژوهش و توسعه و همکاری‌های دانشگاهی هدایت شده است. ابتکار ملی نانوفناوری در ایالات متحده آمریکا سرمایه‌گذاری قابل توجهی در این حوزه انجام داده است، به طوری که تأمین مالی فدرال این برنامه از زمان تأسیس در سال ۲۰۰۱ تا سال ۲۰۲۴ بیش از ۳۰ میلیارد دلار آمریکا بوده است. این بودجه موجب پیشرفت‌های چشمگیر در کاربردهای تجاری و پژوهشی نانوفناوری شده است. داده‌های پتنت این رشد را نشان می‌دهد، به گونه‌ای که چین خود را به عنوان پیشرو در ثبت پتنت‌های نانوتکنولوژی معرفی کرده است؛ از ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴، سهم چین از پتنت‌های نانوتکنولوژی به طور پیوسته افزایش یافته و تقریباً به ۴۰ درصد از کل جهانی در سال ۲۰۲۴ رسیده است. ایالات متحده، ژاپن، آلمان و جمهوری کره نیز به عنوان بازیگران مهم این حوزه، مرزهای نوآوری نانوفناوری را پیش می‌برند. در این دوره، تعداد پتنت‌های مرتبط با نانوفناوری بیش از ۱۵۰ درصد افزایش یافته است که نشان‌دهنده رشد سریع این صنعت است. تنظیم مقررات نانوفناوری در کشورهایی مانند آمریکا عمدتاً توسط سازمان غذا و دارو (FDA) انجام می‌شود، به ویژه در ارتباط با کاربردهای بهداشتی و بیوتکنولوژی. با گسترش دامنه استفاده از نانوفناوری، نیاز به مقررات گسترده‌تر در خصوص آثار زیست‌محیطی و بهداشتی بلندمدت نیز افزایش یافته است. مسیر آینده نانوفناوری، در سطح جهانی، وابسته به نوآوری مداوم، توسعه اقتصادی و پیشرفت سیاست‌های دولتی است. با حفظ چارچوب‌های مقرراتی قوی و ترویج همکاری مستمر بین دانشگاه‌ها و صنعت، می‌توان بالقوه کامل نانوفناوری را در پیشبرد پیشرفت‌های صنعتی و اجتماعی محقق کرد.

مقدمه

فناوری نانوذرات به عنوان یک تحول انقلابی در صنایع مختلف پدید آمده است، که این امر به دلیل توانایی آن در تغییر ویژگی‌های مواد در مقیاس نانو است و از این طریق کاربردهای تجاری جدیدی را ممکن می‌سازد. مواد نانوذرات در کاربردهای متنوعی از جمله پارچه‌ها، تجهیزات ورزشی، کلاه ایمنی، محصولات آرایشی و لوازم الکترونیکی استفاده می‌شوند. علاوه بر کاربردهای صنعتی، نانوذرات در زمینه‌های پزشکی به ویژه در دارورسانی هدفمند نقش حیاتی دارند. ابتکار ملی نانوفناوری یا National Nanotechnology Initiative (NNI) نانوفناوری را به عنوان دستکاری ماده در ابعادی بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر تعریف می‌کند که بر ویژگی‌ها در سطوح اتمی، مولکولی و ماکرو مولکولی تأثیر می‌گذارد. ویژگی‌های منحصر به فرد نانوذرات که شامل خصوصیات ساختاری، حرارتی، کوانتومی و الکترومغناطیسی است، آن‌ها را برای کاربرد در حوزه‌های مختلف ضروری می‌سازد. اندازه کوچک این ذرات به آن‌ها امکان عبور از غشاهای بیولوژیکی را می‌دهد که این موضوع آن‌ها را مناسب برای مصارف پزشکی نظیر دارورسانی می‌کند. در مقیاس نانو، ویژگی‌های حرارتی مواد با اشکال حجیم آن‌ها متفاوت است، که

این امر نانوذرات را برای کاربردهایی مانند تغییر نقطه ذوب و بهبود عملکرد موادی مانند سرامیک‌ها مطلوب می‌سازد. ویژگی‌های الکترونیکی نانوذرات همراه با اندازه کوچک آن‌ها، امکان ساخت دستگاه‌های الکترونیکی کوچک و با عملکرد بالا را فراهم کرده است. اثرات کوانتومی عملکرد مواد را در بخش‌هایی مانند الکترونیک، انرژی و بهداشت افزایش می‌دهد.

گسترش جهانی نانوفناوری از افزایش چشمگیر درخواست‌های ثبت اختراع نشان داده می‌شود که چین به عنوان رهبر برتر این حوزه مطرح شده است. بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴، تعداد پتنت‌های مرتبط با نانوفناوری به طور قابل توجهی افزایش یافته است، به ویژه در کشورهای پیشروی تحقیق و تجاری‌سازی مانند چین و آمریکا. در سال ۲۰۲۴، چین سهم قابل توجهی از پتنت‌های نانوفناوری را به خود اختصاص داده و موقعیت برجسته‌ای در این زمینه دارد.

از زمان تأسیس در سال ۲۰۰۰، NNI به عنوان محرکی برای پیشرفت سریع نانوفناوری در ایالات متحده عمل کرده است. تا سال ۲۰۲۴، سرمایه‌گذاری فدرال کل در حوزه نانوفناوری از طریق NNI بیش از ۴۳ میلیارد دلار بوده است و از سال ۲۰۱۵ تأمین مالی سالانه فدرال همواره بیش از ۱٫۵ میلیارد دلار آمریکا بوده است. این بودجه موجب پیشرفت‌های نوآورانه در حوزه‌های مختلفی مانند الکترونیک، انرژی، کشاورزی، بهداشت، زیرساخت‌ها و نانوبیولوژی شده است. یکی از پروژه‌های مهم تحت حمایت NNI توسعه درمان تومورهای مغزی در حین جراحی با استفاده از نانوذرات فوتودینامیک دو فوتونی غیر سمی بود که به‌طور دقیق تومورها را شناسایی می‌کرد. طی بیست سال گذشته، نانوفناوری مراحل مختلفی را پشت سر گذاشته است. در پنج سال اول پس از تأسیس NNI، ساختارهای نانویی منفعل مانند پوشش‌ها و نانوذرات بروز کردند. در دهه بعد، تمرکز به ساختارهای نانویی فعال مانند تقویت‌کننده‌ها و دستگاه‌های دارورسانی هدفمند منتقل شد. تا سال ۲۰۲۴، این حوزه به سمت سیستم‌های نانویی قابل استفاده در رباتیک، دستگاه‌های مولکولی و مواد نسل بعد حرکت می‌کند.

تأثیر نانوفناوری بر اقتصاد قابل توجه است، به طوری که سازمان همکاری و توسعه اقتصادی یا Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) پیش‌بینی می‌کند که تا سال ۲۰۲۴ ارزش بازار جهانی نانوفناوری بین ۱ تا ۳ تریلیون دلار خواهد بود و بیش از ۲ میلیون شغل جدید در سراسر جهان ایجاد خواهد کرد. آینده نانوفناوری تحت تأثیر همکاری مستمر میان مؤسسات علمی، رهبران صنعت و حکومت‌ها قرار دارد و نوآوری و سیاست‌های مقرراتی برای ترویج رشد پایدار و پاسخ به نگرانی‌های ایمنی و محیط زیستی بلندمدت ضروری هستند.

نانوفناوری قرار است به عنوان عنصری بنیادی در پیشرفت‌های صنعتی و اقتصادی باقی بماند و راه‌حلی برای مشکلات معاصر در صنایع مختلف ارائه دهد، در حالی که خود را با عوامل اقتصادی، تکنولوژیکی و مقرراتی سازگار می‌کند. آغاز علم و مهندسی در مقیاس نانو در آمریکا در سال ۱۹۹۸ با تشکیل گروه کاری میان‌دستگاهی علوم، مهندسی و فناوری نانو تحت شورای ملی علوم و فناوری آغاز شد. این برنامه پایه و اساس NNI را شکل داد که رسماً در سال ۲۰۰۰ راه‌اندازی شد NNI. بودجه فدرال قابل توجهی را اختصاص داد که عمدتاً بر تحقیقات بلندمدت، پیشرفت فنی، آموزش و درک اثرات اجتماعی تمرکز داشت. جدول زیر ۲۰ شرکت برتر دنیا با محصولات نانو را نشان می‌دهد.

شركت	كشور	تعداد كل محصولات	حوزه فعاليت
Amphenol Corporation	اياتلات متحده آمریکا	٢٠٦	الکترونیک
NanoWorld	سوئیس	١٩٧	الکترونیک
Intel	اياتلات متحده آمریکا	١٨٩	الکترونیک
Analog Devices, Inc.	اياتلات متحده آمریکا	١٨٦	الکترونیک
Alpes Lasers	سوئیس	١٤٨	الکترونیک
Samsung Electronics Co., Ltd.	جمهوری کره	١٣٨	لوازم خانگی، محیط زیست، الکترونیک
OMRON Corporation	ژاپن	١٣٥	الکترونیک
Donaldson Company Inc.	اياتلات متحده آمریکا	١٠٠	خودرو، لوازم آرایشی
Merit Medical Systems, Inc	اياتلات متحده آمریکا	٨٧	الکترونیک
Sensor Electronic Technology, Inc.	اياتلات متحده آمریکا	٧٠	الکترونیک
Texas Instruments Inc.	اياتلات متحده آمریکا	٦٠	الکترونیک

شرکت	کشور	تعداد کل محصولات	حوزه فعالیت
Nuvoton Technology Corporation	تایوان	۵۷	الکترونیک
Shanghai Huzheng Nanotechnology Co., Ltd.	چین	۵۰	ساخت و ساز، نساجی، پزشکی
BaByliss PRO	فرانسه	۵۰	لوازم آرایشی
Beiersdorf AG	آلمان	۴۳	لوازم آرایشی، پزشکی
Hitachi Ltd.	ژاپن	۳۸	لوازم خانگی، محیط زیست، انرژی‌های تجدیدپذیر
NANOSKIN Car Care	ایالات متحده آمریکا	۳۸	خودرو
QD Laser Inc.	ژاپن	۳۵	الکترونیک
Pfizer Inc.	ایالات متحده آمریکا	۳۵	پزشکی
Nanogist Co., Ltd.	جمهوری کره	۳۵	لوازم آرایشی، پزشکی، لوازم خانگی

ابتکارات جهانی نانوفناوری

ابتکارات نانوفناوری در سراسر جهان نقش محوری در مقابله با چالش‌های توسعه پایدار از طریق راهکارهای نوآورانه در حوزه‌های انرژی، بهداشت، کشاورزی و حفاظت از محیط زیست ایفا می‌کنند. دولت‌ها توانمندی تحول‌آفرین این فناوری را به رسمیت شناخته و در تحقیقات و توسعه سرمایه‌گذاری می‌کنند تا ضمن تقویت رشد اقتصادی، پایداری را نیز ترویج دهند. کشورهایی مانند ایالات متحده، چین و اعضای اتحادیه اروپا نانوفناوری را در استراتژی‌های ملی خود ادغام کرده‌اند و تمرکز بر سیستم‌های

انرژی تجدیدپذیر، روش‌های کارآمد تصفیه آب و کاهش اثرات کربنی دارند. این تلاش‌ها با اهداف جهانی مانند اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد هماهنگ است.

کشور	مرور کلی	طرح/ابتکار	سازمان‌های کلیدی	هدف	تأثیر
ایالات متحده آمریکا	ایجاد رهبری در تحقیقات و کاربردهای نانوفناوری	ابتکار ملی نانوفناوری (NNI) در سال ۲۰۰۰	بنیاد ملی علوم (NSF)، دفتر همه‌نگی نانوفناوری (NNCO)، وزارت انرژی (DoE)، وزارت دفاع (DoD)	حمایت از تحقیقات پایه، همه‌نگی فعالیت‌ها، تمرکز بر انرژی و دفاع	ارتقاء جایگاه جهانی آمریکا در نانوفناوری؛ پیشرفت در تولید و پزشکی
چین	اولویت‌دهی به نانوفناوری از طریق طرح‌های دولتی مانند برنامه ۸۶۳ از ۱۹۸۶	برنامه ۸۶۳	آکادمی علوم چین (CAS)، مرکز ملی علوم و فناوری نانو (NCNT)، مؤسسه نانوفناوری و نانو بیونیک سوجو	رهبری تحقیقات بنیادی، تحقیق و توسعه کاربردی	تبدیل شدن سریع به رهبر جهانی در مواد، الکترونیک و پزشکی
اتحادیه اروپا	برنامه‌های چارچوبی تأکید بر نانوفناوری به عنوان فناوری کلیدی	برنامه‌های چارچوبی ۲۰۰۴، معاهده سبز اروپایی، استراتژی شیمیایی پایداری	سکوی فناوری اروپایی برای نانومدیسین (ETPN)، Horizon Europe	نوآوری‌های حوزه بهداشت، حمایت از تحقیقات میان‌رشته‌ای	تسهیل همکاری میان کشورهای عضو و پیشرفت‌های مهم در انرژی تجدیدپذیر و مواد پایدار

کشور	مرور کلی	طرح/ابتکار	سازمان‌های کلیدی	هدف	تأثیر
هند	تبدیل شدن به بازیگر مهم جهانی	ماموریت نانو در سال ۲۰۰۷	مؤسسه فناوری هند (IIT)، مؤسسه علوم هند (IISc)، کنسرسیوم علوم و فناوری نانو (NSTC)	تمرکز بر بهداشت مقرون به صرفه، انرژی پاک و تصفیه آب	ایجاد پل ارتباطی بین دانشگاه و صنعت
برزیل	تمرکز بر ادغام نانوفناوری با بخش‌های صنعتی	برنامه ملی نانوفناوری ۲۰۰۵	آزمایشگاه ملی نانوفناوری (LNNano)، وزارت علوم، فناوری و نوآوری (MCTI)	نوآوری، نظارت استراتژیک	پیشرفت قابل توجه در کشاورزی و فناوری‌های بهداشت
آفریقای جنوبی	برنامه‌هایی با تأکید بر توسعه پایدار	استراتژی ملی نانوفناوری آفریقای جنوبی در ۲۰۰۵	ابتکار نانوفناوری آفریقای جنوبی (SANi)، اتحادیه آفریقا	ترویج همکاری و تأمین مالی	پیشرفت در تصفیه آب و انرژی‌های تجدیدپذیر برای حل مشکلات منطقه‌ای
ژاپن	ادغام نانوفناوری در صنایع پیشرفته موجود	NanoTech Japan در ۲۰۰۱	آژانس علوم و فناوری ژاپن (JST)، ابتکار ایجاد کسب‌وکار نانوفناوری (NBCI)، مؤسسه ملی علوم صنعتی پیشرفته (AIST)	حمایت از تحقیقات پایه و کاربردی، پل زدن بین تحقیق و تجاری‌سازی	پیشرو در نیمه‌هادی‌ها و الکترونیک با استفاده از نانوفناوری

کشور	مرور کلی	طرح/ابتکار	سازمان‌های کلیدی	هدف	تأثیر
روسیه	تأکید بر نانوفناوری از طریق راهبرد توسعه نانوفناوری روسیه	برنامه توسعه نانوفناوری ۲۰۰۷	روس‌نانو (RUSNANO)، مؤسسه کورچاتوف	تأمین مالی و تجاری‌سازی پروژه‌ها، تمرکز بر انرژی، هوافضا و پزشکی	ایجاد مرکز تحقیقاتی در حوزه نانوفناوری
جمهوری کره	تحقیق و توسعه و تجاری‌سازی کاربردهای نانوفناوری در نیمه‌هادی‌ها و بیومدیسین	برنامه نانو ۲۰۲۰	مرکز نانوآفاب ملی (NNFC)، وزارت علوم و فناوری اطلاعات	حمایت از تحقیقات نانوفناوری، برنامه‌ریزی استراتژیک	توسعه برنامه‌های کاربردی در بخش الکترونیک
آلمان	ادغام نانوفناوری در استراتژی‌های صنعتی و نوآوری	برنامه اقدام نانوفناوری ۲۰۱۰	وزارت فدرال آموزش و پژوهش (BMBF)، مؤسسات فراون‌هوفر	تمرکز بر تحقیقات پایه و کاربردی	مشارکت‌های قابل توجه در خودرو، سلامت و فناوری‌های زیست‌محیطی
کانادا	هماهنگی تحقیقات و نوآوری از طریق همکاری دانشگاه، دولت و صنعت	نانوکانادا ۲۰۱۲	نانوکانادا، شورای تحقیقات ملی کانادا (NRC)	مرکز نانوفناوری، تأمین مالی تحقیقات	پیشرفت در رایانش کوانتومی، نانومدیسین و علم مواد

کشور	مرور کلی	طرح/ابتکار	سازمان‌های کلیدی	هدف	تأثیر
استرالیا	حرکت به سوی پایداری محیط زیست و نوآوری‌های بهداشتی	استراتژی نانوفناوری ۲۰۱۲	شورای تحقیقات استرالیا (ARC)، مرکز ساخت ملی استرالیا (ANFF)	تأمین مالی تحقیقات و حمایت از نمونه‌سازی و نوآوری	پیشرفت در راهکارهای انرژی کارآمد و سیستم‌های دارورسانی
مالزی	تمرکز بر پژوهش، کاربردهای صنعتی و توسعه پایدار	برنامه نانومالزی ۲۰۱۱	نانومالزی برهاد، مرکز ملی نانوفناوری (NNC)، نانوریفای	هماهنگی پروژه‌ها، ترویج صنعتی‌سازی، نظارت بر سیاست‌ها، صدور گواهی	ادغام نانوفناوری در صنایع کلیدی چون بهداشت، انرژی، الکترونیک و کشاورزی

نگاهی به آینده، نانوفناوری وعده‌ساز ایجاد صنایع سبزتر و پاسخگویی به نیازهای فوری جامعه است. دولت‌ها با اولویت دادن به ملاحظات اخلاقی و ایمنی در توسعه نانوفناوری از طریق چارچوب‌های مقرراتی سخت‌گیرانه، به پیشرفت این فناوری کمک می‌کنند. برنامه‌هایی مانند ابتکار ملی نانوفناوری ایالات متحده (NNI) و چارچوب نانوتک ژاپن بر پژوهش‌های چندرشته‌ای و تجاری‌سازی تمرکز دارند تا اطمینان حاصل کنند که پیشرفت‌ها به نفع اقتصاد و محیط زیست است. با تقویت همکاری‌های بین‌المللی و شراکت‌های عمومی-خصوصی، این طرح‌ها هدف دارند که نانوفناوری را به عنوان سنگ‌بنای توسعه پایدار جهانی مطرح کنند.

نانوفناوری نقش تحول‌آفرینی در کشاورزی و امنیت غذایی دارد، به گونه‌ای که دولت‌ها از نوآوری‌هایی برای بهبود بازده محصولات و کاهش تأثیرات زیست‌محیطی حمایت می‌کنند. نانوکودها و نانوأفت‌کش‌ها که مواد مغذی و حفاظت را در مقیاس نانو ارائه می‌دهند، در جهت افزایش کارایی و کاهش آسیب زیست‌محیطی توسعه یافته‌اند. کشورهایی مانند برزیل و مالزی در حوزه پایداری کشاورزی سرمایه‌گذاری می‌کنند و تمرکز خود را بر کاربردهایی مانند حسگرهای هوشمند برای پایش سلامت خاک و نانومواد برای کودهای کنترل‌شده قرار داده‌اند. این نوآوری‌ها با روش‌های کشاورزی پایدار هماهنگ هستند که مصرف منابع را کاهش و بهره‌وری را افزایش می‌دهند.

در بخش انرژی، نانوفناوری بهره‌وری پنل‌های خورشیدی، ذخیره‌سازی انرژی و تولید هیدروژن را بهبود بخشیده است. دولت‌ها تحقیقات خود را بر روی نانومواد نظیر گرافن و نقاط کوانتومی جهت ساخت سلول‌های فوتوولتائیک کارآمدتر و باتری‌های نسل

بعدی متمرکز کرده‌اند. برای مثال، برنامه Horizon Europe اتحادیه اروپا و ابتکارات دولتی چین بر فناوری‌های انرژی پاک مبتنی بر نوآوری‌های نانومقیاس تأکید دارند. به طور مشابه، سیستم‌های تصفیه آب مبتنی بر نانومواد مانند دی‌اکسید تیتانیوم و نانولوله‌های کربنی در کشورهایی مانند هند و آفریقای جنوبی توسعه یافته است که راه‌حلهایی مقرون به صرفه و مقیاس‌پذیر برای مشکل کم‌آبی ارائه می‌دهند.

علاوه بر این، حوزه سلامت و پزشکی نیز از پیشرفت‌های نانوفناوری بهره‌مند شده است، به طوری که دولت‌ها بودجه‌هایی را به پژوهش در حوزه نانوداروها، تشخیص‌های نانومقیاس و ایمپلنت‌های نانو ساختار اختصاص داده‌اند. به عنوان مثال، پروژه‌های نانودارو در اتحادیه اروپا و ماموریت نانو هند منجر به پیشرفت‌هایی در سیستم‌های دارورسانی هدفمند شده‌اند که عوارض جانبی را کاهش و نتایج درمان را بهبود بخشیده‌اند. تکنولوژی‌های تشخیص مبتنی بر نانوفناوری امکان شناسایی زودهنگام بیماری‌ها از جمله سرطان، بیماری‌های عفونی و اختلالات عصبی را فراهم آورده‌اند. در حالی که کشورها نانوفناوری را در راهبردهای بهداشتی خود ادغام می‌کنند، تمرکز بر مقرون به صرفه بودن و دسترسی عادلانه باقی می‌ماند تا مزایای آن به طور برابر توزیع شود.

در مجموع، کشورهای جهان نانوفناوری را به عنوان حوزه‌ای استراتژیک پذیرفته و سازمان‌های ویژه‌ای را برای پیشبرد تحقیقات، نوآوری و تجاری‌سازی به کار گرفته‌اند. همکاری میان دانشگاه، صنعت و دولت همچنان پایه و اساس این ابتکارات است تا استفاده اخلاقی و مسئولانه از نانوفناوری تضمین شود.

ابتکارات داخلی نانوفناوری

ثر ایران نیز ستاد نانو به عنوان متولی اصلی توسعه علم و فناوری نانو در ایران نقش کلیدی در حمایت از این صنعت ایفا می‌کند. از سال ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۲، ستاد بیش از ۷۶۰ میلیارد تومان بودجه اختصاص داده و محصولات نانویی تولید شده بیش از ۱۳۳ هزار میلیارد تومان فروش داشته‌اند. همچنین صادرات نانویی کشور طی این دوره به حدود ۴۷۴ میلیون دلار رسیده است. اقدامات ستاد شامل تدوین استانداردهای ملی، ارزیابی کیفیت محصولات و اعطای گواهی‌نامه‌های تخصصی است که به حفظ و ارتقای کیفیت محصولات نانو کمک کرده است.

از دیگر دستاوردهای توسعه فناوری نانو در ایران، صرفه‌جویی اقتصادی قابل توجه در حوزه‌های مختلف بوده است، به طور نمونه، تولید نانوکاتالیست‌ها و نانوداروهای ساخت داخل تا سال ۱۴۰۲ موجب صرفه‌جویی حدود ۸۵۴ میلیون دلار ارزی شده است. همچنین بهره‌گیری از فناوری نانو در تولید انرژی باعث کاهش هزینه‌های دولت در این بخش و در حوزه بهداشت نیز کاهش هزینه‌های درمان و بیمه‌ها شده است. توسعه فناوری نانو در ایران علاوه بر جنبه اقتصادی، تأثیرات اجتماعی مثبتی مانند افزایش دسترسی اقشار کم‌درآمد به درمان‌های نوین داشته و در زمینه‌های امنیتی و تأمین آب و غذای سالم نیز نقش مهمی ایفا می‌کند.

نانوفناوری و نقش آن در دستیابی به اهداف توسعه پایدار

اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد چارچوبی جهانی برای مقابله با چالش‌های حیاتی جهانی تا سال ۲۰۳۰ است که شامل ۱۷ هدف مرتبط با رشد اقتصادی، شمول اجتماعی و پایداری محیط زیست می‌شود. این اهداف به دنبال ریشه‌کنی فقر، تضمین دسترسی عادلانه به خدمات بهداشت و آموزش، ترویج صنایع پایدار و کاهش تغییرات اقلیمی برای ایجاد آینده‌ای بهتر برای بشریت هستند. دستیابی به این اهداف نیازمند راه‌حل‌های نوآورانه و مقیاس‌پذیر است که بتوانند چالش‌های پیچیده را به طور کارآمد و عادلانه حل کنند.

فناوری و نوآوری نقش حیاتی در پر کردن فاصله موجود بین محدودیت‌ها و اهداف بلندپروازانه توسعه پایدار دارند. در این میان، نانوفناوری به عنوان ابزاری تحول‌آفرین برجسته است، زیرا قادر است ماده را در سطوح اتمی و مولکولی دستکاری کند و پیشرفت‌های بزرگی در حوزه‌های انرژی، تصفیه آب، سلامت، کشاورزی و مدیریت محیط زیست به ارمغان بیاورد. با بهره‌گیری از نانوفناوری، دولت‌ها، صنایع و پژوهشگران می‌توانند راه‌حل‌هایی مقرون‌به‌صرفه، پایدار و با عملکرد بالا را متناسب با اهداف خاص توسعه پایدار ایجاد کنند.

هدف توسعه پایدار (SDG)	هدف	محدودیت‌های کنونی	نقش نانوفناوری
ریشه‌کن کردن فقر مطلق برای همه مردم در همه جا	ریشه‌کن کردن فقر	نبود دسترسی به منابع پایه، انرژی و فرصت‌های اقتصادی	ارائه راهکارهای مقرون‌به‌صرفه مانند پنل‌های خورشیدی کم‌هزینه برای بهبود دسترسی به انرژی و توسعه اقتصادی مناطق دورافتاده
پایان دادن به گرسنگی، تأمین امنیت غذایی و ترویج کشاورزی پایدار	مقابله با گرسنگی و بهبود کشاورزی	روش‌های ناکارآمد کشاورزی، هدررفت منابع، تخریب خاک	سیستم‌های هوشمند در تحویل کود و آفت‌کش‌ها جهت کاهش هدررفت؛ نانوسنسورها برای پایش سلامت محصولات و افزایش بازده کشت با اثرات زیست‌محیطی کمتر
تضمین سلامت و ارتقاء بهزیستی برای همه در همه سنین	بهبود سلامت عمومی	دسترسی محدود به خدمات بهداشتی مقرون‌به‌صرفه، تشخیص و درمان هدفمند	پیشرفت در نانومدیسین برای دارورسانی دقیق، تشخیص زودهنگام بیماری‌ها با نانوسنسورها و

هدف توسعه پایدار (SDG)	هدف	محدودیت‌های کنونی	نقش نانوفناوری
			ایمپلنت‌های مقرون به صرفه و نانو ساختاری
تضمین آموزش کیفی فراگیر و برابر و ترویج فرصت‌های یادگیری مادام‌العمر برای همه	آموزش فراگیر و کیفی	دسترسی محدود به ابزارهای آموزشی، به ویژه در مناطق محروم	دستگاه‌های آموزش الکترونیکی مبتنی بر نانوفناوری برای افزایش دسترسی و دوام؛ کاهش هزینه تولید ابزار آموزشی با نانومواد
توانمندسازی همه زنان و دختران	توانمندسازی زنان	دسترسی ناکافی به مراقبت‌های بهداشتی، آب پاک و بهداشت که زنان را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد	نوآوری‌های نانوفناوری مانند تصفیه‌گرهای آب قابل حمل و نانو سنسورهای سیستم‌های بهداشتی برای کاهش بار کاری زنان در مناطق کم‌آب
تضمین دسترسی به آب و مدیریت پایدار آن برای همه	مدیریت پایدار آب و بهداشت	کمبود آب، آلودگی و عدم کارایی سیستم‌های تصفیه آب	استفاده از نانومواد مانند اکسید گرافن و نانولوله‌های کربنی برای تصفیه آب، نمک‌زدایی و حذف آلودگی‌ها
تضمین دسترسی به انرژی مقرون به صرفه، قابل اعتماد، پایدار و مدرن برای همه	ارتقاء انرژی پایدار	هزینه‌های بالا و ناکارآمدی فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر	نانوذرات کوانتومی و مواد نانوبی ساختار برای بهبود کارایی سلول‌های خورشیدی و باتری‌های نسل جدید
ترویج رشد اقتصادی پایدار، فراگیر و اشتغال	رشد اقتصادی و اشتغال	ایجاد محدود شغل در صنایع نوظهور و ناکارآمدی منابع	نانوفناوری موجب نوآوری در مشاغل سبز مانند ساخت دستگاه‌های انرژی

نقش نانوفناوری	محدودیت‌های کنونی	هدف	هدف توسعه پایدار (SDG)
مبتنی بر نانو و ایجاد نیروی کار پایدار می‌شود			کامل و مناسب برای همه
نانوکامپوزیت‌ها برای افزایش استحکام و دوام مواد؛ نانوسنسورها برای پایش سلامت سازه و کاهش هزینه‌های نگهداری	فرسودگی زیرساخت‌ها، پذیرش محدود فناوری‌های پیشرفته	توسعه زیرساخت و نوآوری پایدار	ایجاد زیرساخت‌های مقاوم، ترویج صنعتی پایدار و نوآوری
دستگاه‌های پزشکی و راه‌حل‌های انرژی مقرون به صرفه بر پایه نانوفناوری، پل‌های فناوری برای مناطق کمتر توسعه یافته	دسترسی محدود به فناوری و خدمات بهداشتی در جوامع محروم	کاهش نابرابری	کاهش نابرابری‌ها درون و میان کشورها
ارائه راهکارهای پاکسازی هوا و آب با نانوفناوری؛ بهبود مواد ساختمانی برای افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش اثرات محیطی	آلودگی شهری، مدیریت ناکارآمد زباله و مواد نامناسب ساختمان	توسعه شهری پایدار	ساخت شهرها و سکونت‌گاه‌های انسانی فراگیر، امن، مقاوم و پایدار
مواد بازیافتی مبتنی بر نانو و نانو-موانع در بسته‌بندی برای کاهش ضایعات غذایی؛ تسهیل بازیافت مواد حیاتی مانند فلزات نادر	تولید بیش از حد زباله، نرخ پایین بازیافت، وابستگی به مواد غیرقابل تجزیه	مصرف و تولید پایدار	تضمین الگوهای مصرف و تولید پایدار
کاتالیست‌های نانوفناوری مانند MOFs برای افزایش جذب و ذخیره	انتشار زیاد گازهای گلخانه‌ای و ناکارآمدی در	مقابله با تغییرات اقلیمی	اقدام فوری برای مقابله با تغییرات اقلیمی و پیامدهای آن

هدف توسعه پایدار (SDG)	هدف	محدودیت‌های کنونی	نقش نانوفناوری
		فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر	کربن؛ کاربرد نانومواد در راهکارهای انرژی پاک برای کاهش ردپای کربن
حفاظت و استفاده پایدار از اقیانوس‌ها، دریاها و منابع دریایی	حفظ منابع دریایی	آلودگی دریایی، صید بی‌رویه و تخریب اکوسیستم‌های آبی	استفاده از نانومواد در سنسورها برای پایش کیفیت آب و روش‌های پاکسازی لکه‌های نفتی و میکروپلاستیک‌ها
حفاظت، احیاء و بهره‌برداری پایدار از اکوسیستم‌های زمینی، جنگل‌ها و مقابله با بیابان‌زایی	حفظ اکوسیستم‌های زمینی	جنگل‌زدایی، آلودگی خاک و تخریب زیستگاه‌ها	بازسازی خاک با نانوذرات اکسید آهن و ترویج مدیریت پایدار زمین از طریق کشاورزی دقیق
ترویج جوامع صلح‌آمیز، فراگیر و دستیابی به عدالت برای همه	عدالت و شفافیت	نابرابری در دسترسی به فناوری و شفافیت حکمرانی	ذخیره‌سازی امن داده بر پایه نانوفناوری و یکپارچه‌سازی بلاک‌چین برای افزایش شفافیت و پاسخ‌گویی
تقویت وسایل اجرایی و احیای مشارکت جهانی برای توسعه پایدار	همکاری و مشارکت جهانی	همکاری و انتقال فناوری محدود میان کشورها و بخش‌ها	نانوفناوری ترویج همکاری‌های بین‌رشته‌ای و بین‌المللی در پژوهش‌ها و ایجاد شراکت برای توسعه نوآوری‌های مقرون‌به‌صرفه و مقیاس‌پذیر

نانوفناوری به چالش‌های کلیدی پایداری پاسخ می‌دهد و با بهبود کارایی و کاهش ضایعات، نقش مهمی ایفا می‌کند. به عنوان مثال، در بخش انرژی، نانوفناوری بازده سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر مانند پنل‌های خورشیدی و باتری‌ها را افزایش می‌دهد و وابستگی به سوخت‌های فسیلی را کاهش می‌دهد. در حوزه سلامت، نانومدیسین موجب توسعه سیستم‌های دارورسانی هدفمند

و تشخیص‌های زودهنگام شده است که اثربخشی درمان را افزایش و هزینه‌ها را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، نانومواد در پاکسازی محیط زیست، از جمله سیستم‌های تصفیه آب با استفاده از اکسید گرافن و بهبود خاک با نانوذرات، نقش کلیدی دارند که مستقیماً به توسعه پایدار کمک می‌کند.

طبیعت میان‌رشته‌ای نانوفناوری، همکاری جهانی میان دانشگاه‌ها، صنعت و دولت‌ها را تسهیل می‌کند و شراکت‌های لازم برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار را تقویت می‌کند. این همکاری‌ها موجب تسریع بهره‌برداری از راهکارهای مبتنی بر نانوفناوری در مناطق در حال توسعه می‌شود و دسترسی عادلانه به منابع حیاتی مانند آب پاک، انرژی مقرون‌به‌صرفه و خدمات بهداشتی را تضمین می‌کند. در حالی که نانوفناوری همچنان پیشرفت می‌کند، توسعه اخلاقی و مسئولانه آن کلید بهره‌برداری حداکثری از پتانسیل‌ها و پاسخ به نگرانی‌هایی مانند ایمنی محیط زیست و دسترسی برابر خواهد بود و اطمینان می‌دهد که نانوفناوری محرک پیشرفت پایدار جهانی باقی می‌ماند.

خلاصه اینکه، توانایی نانوفناوری در مقابله با چالش‌های پیچیده، آن را به ابزاری قدرتمند برای تحقق اهداف توسعه پایدار تبدیل کرده است. از تضمین امنیت غذایی و بهبود نتایج سلامت گرفته تا پیشرفت انرژی پاک و حفاظت محیط زیست، نانوفناوری راه را برای آینده‌ای پایدار هموار کرده است. با ادغام نوآوری‌های نانوفناوری در استراتژی‌های جهانی، کشورها می‌توانند پیشرفت در دستیابی به این اهداف را تسریع کنند. سرمایه‌گذاری پیوسته، همکاری میان‌رشته‌ای و ملاحظات اخلاقی تضمین خواهند کرد که مزایای نانوفناوری به طور عادلانه در سراسر جهان به اشتراک گذاشته شود.

مقابله با «دره مرگ» در نانوفناوری

{دره مرگ} یا Valley of Death به فاصله بحرانی میان پژوهش و تجاری‌سازی اشاره دارد که در آن کشفیات علمی امیدوارکننده قادر به انتقال به فناوری‌های آماده بازار نیستند. در نانوفناوری این چالش به دلیل هزینه‌های بالای افزایش تولید، موانع قانونی و پیچیدگی ادغام نانومواد در سیستم‌های صنعتی موجود، به‌ویژه برجسته است. باوجود پیشرفت‌های چشمگیر در علوم نانومقیاس، بسیاری از نوآوری‌ها قادر به عبور از مرحله آزمایشگاه نیستند که این امر باعث تأخیر در تأثیرات اجتماعی و اقتصادی آن‌ها می‌شود.

نانوفناوری با موانع ویژه‌ای در عبور از «دره مرگ» مواجه است؛ این موانع شامل نیاز به زیرساخت‌های تخصصی مانند اتاق‌های تمیز و مراکز پیشرفته ساخت است که هزینه‌بر و دشوار در راه‌اندازی و نگهداری هستند. همچنین، ماهیت میان‌رشته‌ای نانوفناوری نیازمند همکاری میان حوزه‌های مختلف است که هماهنگی برای تجاری‌سازی را پیچیده می‌کند. عدم قطعیت‌های مقرراتی درباره ایمنی و تأثیرات زیست‌محیطی نانومواد نیز سرمایه‌گذاری بخش خصوصی را محدود کرده و چرخه توسعه را طولانی‌تر می‌کند.

رفع این فاصله نیازمند رویکردی چندوجهی شامل تأمین مالی، زیرساخت و حمایت سیاست‌گذاری است. دولت‌ها و بخش خصوصی می‌توانند با ایجاد شراکت‌های عمومی-خصوصی ریسک سرمایه‌گذاری در استارت‌آپ‌های نانوفناوری را کاهش دهند. مراکز رشد و برنامه‌های تسریع‌کننده اختصاصی، سکویی برای انتقال پژوهش به محصول فراهم می‌آورند. استانداردسازی و چارچوب‌های مقرراتی شفاف نیز برای کاهش نگرانی‌های ایمنی نانومواد و افزایش اعتماد سرمایه‌گذاران ضروری است.

روش‌ها و رویکردها	توضیحات	استراتژی
کمک‌های دولتی مثلاً NSF SBIR/STTR ، سرمایه‌گذاران فرشته، پلتفرم‌های سرمایه‌گذاری جمعی مانند کیک‌استارتر یا ایندیگوگو برای محصولات نانوفناوری	تأمین بودجه اولیه برای پر کردن شکاف بین پژوهش نانوفناوری و تجاری‌سازی	تأمین مالی و کمک‌های اولیه
همکاری با شرکت‌های مطرح در صنایع الکترونیک، بهداشت یا مواد؛ همکاری با دانشگاه‌ها برای پژوهش‌های پیشرفته	همکاری با رهبران صنعت، مؤسسات پژوهشی و سرمایه‌گذاران برای کاهش ریسک	شراکت‌های استراتژیک
پروژه‌های پایلوت با نانومواد در کاربردهای صنعتی؛ شبیه‌سازی‌های آزمایشگاهی برای ارزیابی قابلیت محصول (مانند نانوبوشش‌ها و سیستم‌های دارورسانی)	توسعه و اعتبارسنجی نمونه‌های اولیه یا پروژه‌های آزمایشی برای اثبات قابلیت نانوفناوری	اثبات مفهوم و پروژه‌های پایلوت
آغاز با بازارهای هدف کوچک مثل الکترونیک مصرفی و افزایش مقیاس تولید؛ تمرکز بر کاربردهای خاص مانند نانوفناوری در انرژی پاک، سنسورها یا پزشکی	افزایش تدریجی تولید از پژوهش و توسعه به تولید تجاری کامل	توسعه تدریجی و مقیاس‌بندی
شرکت‌های سرمایه‌گذاری ریسک‌پذیر فعال در مواد پیشرفته؛ شراکت با شرکت‌های چندملیتی بزرگ؛ حمایت مالی تحقیقاتی شرکت‌ها	استفاده از منابع متعدد مالی برای کاهش ریسک مالی در توسعه کسب‌وکارهای نانوفناوری	منابع مالی متنوع
آزمون‌های جامع ویژگی‌های نانومواد (مانند استحکام و رسانایی)؛ فرآیندهای تصویب قانونی برای دستگاه‌ها یا درمان‌های پزشکی مبتنی بر نانو	کاهش عدم قطعیت‌های فنی از طریق آزمایش و اعتبارسنجی گسترده	کاهش ریسک فناوری

روش ها و رویکردها	توضیحات	استراتژی
شناسایی کاربردهای تجاری اولیه (مثلاً دارورسانی، تصفیه آب)؛ ایجاد مدل های کسب و کار مبتنی بر مجوزدهی مالکیت معنوی یا فروش مستقیم محصول	ایجاد طرح کسب و کار مستحکم با درآمد مشخص و مسیر سودآوری	توسعه مدل کسب و کار قوی
ثبت اختراع برای نانومواد و فرایندهای نوین؛ ایجاد قراردادهای مجوزدهی؛ ثبت علائم تجاری برای محصولات یا راهکارهای نانوفناوری	حفظ مالکیت معنوی برای حفظ مزیت رقابتی و جذب سرمایه گذاران	حفاظت مؤثر از مالکیت معنوی
انجام تحقیقات بازار در صنایع الکترونیک، بهداشت یا انرژی؛ توسعه شخصیت های مشتری و گروه های تمرکز برای محصولات نانوفناوری	اطمینان از تطابق فناوری با نیازهای بازار و جمع آوری بازخورد مشتری برای بهبود محصولات	آماده سازی بازار و تمرکز بر مشتری
همکاری با نهادهای نظارتی مانند FDA و EPA برای تصویب نانوفناوری در داروها و کالاهای مصرفی؛ به روزرسانی مداوم با قوانین جهانی در حال ظهور نانوفناوری	Navigate complex regulations and ensure compliance with nanotechnology-related laws	تعامل با دولت و مقررات
توسعه استراتژی ورود به بازار برای محصولات نانوفناوری (مانند نانوالکترونیک، نانومواد)؛ استفاده از همکاری با رهبران صنعت برای توزیع	ایجاد استراتژی فروش جامع و برنامه بازاریابی برای محصولات نانوفناوری	توسعه کسب و کار و فروش
جذب کارشناسان نانومواد، شیمی و مهندسی؛ ارائه سهام یا مشارکت در سود به اعضای کلیدی تیم جهت انگیزش	استخدام و حفظ نیروی کار ماهر برای پیشبرد تجاری سازی نانوفناوری	جذب و نگهداشت استعداد

روش‌ها و رویکردها	توضیحات	استراتژی
توسعه مدل‌های مالی متناسب با سرمایه‌گذاری اولیه بالا در نانوفناوری؛ رصد هزینه‌های توسعه محصول، زمان‌بندی تجاری‌سازی و بازگشت سرمایه (ROI)	نظارت مالی دقیق و تعیین شاخص‌های کلیدی عملکرد جهت رصد پیشرفت	مدیریت مالی و شاخص‌های عملکرد
راه‌اندازی کانال‌های پشتیبانی مشتری؛ به‌روزرسانی و بهبود محصولات بر اساس بازخورد کاربران و پیشرفت‌های پژوهشی نانوفناوری	بهبود مستمر و پشتیبانی از محصولات پس از عرضه برای تضمین موفقیت درازمدت	پشتیبانی و بهبود بعد از عرضه

برای مقابله مؤثر با «دره مرگ» در نانوفناوری، تقویت همکاری میان دانشگاه‌ها، صنعت و سیاست‌گذاران حیاتی است. تشویق به برقراری مشارکت‌های بین‌المللی و به اشتراک‌گذاری بهترین روش‌ها می‌تواند هزینه‌ها را کاهش داده و روند تجاری‌سازی را سرعت بخشد. همچنین تمرکز بر کاربردهای مقیاس‌پذیر و اثرگذار مانند نانومواد انرژی‌کارا یا دستگاه‌های پزشکی مبتنی بر نانو، می‌تواند موفقیت‌های اولیه‌ای ایجاد کند که سرمایه‌گذاری‌های بیشتری را جذب نماید. پرکردن این شکاف تضمین می‌کند که نانوفناوری به تمام ظرفیت خود برسد، نوآوری را پیش ببرد و به پایداری جهانی کمک کند.

سرمایه‌گذاری جهانی در نانوفناوری

از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴، سرمایه‌گذاری جهانی در نانوفناوری به طور قابل توجهی افزایش یافته است. دولت ایالات متحده نقش مهمی در تأمین بودجه را حفظ کرده و تا سال ۲۰۲۴ سهم قابل توجهی داشته است. کمیسیون اروپا بین سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶ مبلغ ۱٫۳ میلیارد یورو در تحقیقات نانوفناوری در اروپا سرمایه‌گذاری کرده و این روند در سال‌های بعد نیز ادامه داشته است. ژاپن، جمهوری کره و آلمان نیز به عنوان سرمایه‌گذاران مهم مطرح شده‌اند، که بخش خصوصی ژاپن بیش از دو سوم کل سرمایه‌گذاری‌ها را تشکیل می‌دهد.

چشم‌انداز جهانی سرمایه‌گذاری در نانوفناوری

نانوفناوری یکی از هیجان‌انگیزترین و تحول‌آفرین‌ترین حوزه‌های پژوهشی است که باعث پیشرفت سریع در صنایعی مانند بهداشت، انرژی، الکترونیک و علم مواد شده است. چشم‌انداز سرمایه‌گذاری جهانی در نانوفناوری طی دو دهه گذشته به طور چشمگیری تغییر کرده زیرا دولت‌ها، شرکت‌ها و سرمایه‌گذاران بخش خصوصی پتانسیل آن را برای هدایت نوآوری و رشد اقتصادی شناخته‌اند. بر اساس برآوردهای اخیر، بازار جهانی نانوفناوری تا سال ۲۰۲۴ بیش از ۱۲۵ میلیارد دلار ارزش خواهد

داشت. رشد شناخت توانایی‌های تحول‌آفرین این فناوری، موجب افزایش بودجه پژوهش و تجاری‌سازی نانوفناوری شده است. دولت‌ها منابع قابل توجهی برای تأمین مالی این حوزه اختصاص داده‌اند و سرمایه‌گذاری‌های ریسک‌پذیر و شرکت‌های بزرگ نیز شکاف بین پژوهش و کاربرد عملی را پر کرده‌اند.

بودجه دولتی و برنامه‌های ملی

دولت‌ها نقش مهمی در تأمین مالی تحقیقات نانوفناوری دارند و از طریق اعطای کمک‌های مالی، برنامه‌های پژوهشی اختصاصی و ابتکارات ملی به ترویج نوآوری کمک می‌کنند. ایالات متحده یکی از سرمایه‌گذاران پیشرو در این حوزه است و ابتکار ملی نانوفناوری (NNI) را در سال ۲۰۰۰ تأسیس کرده است. این ابتکار سالانه بیش از ۱٫۵ میلیارد دلار برای پژوهش و توسعه نانوفناوری تخصیص می‌دهد و بیش از ۲۰ نهاد فدرال، از جمله وزارت انرژی و مؤسسات ملی سلامت را حمایت می‌کند. چین که بزرگ‌ترین سرمایه‌گذار جهانی است، میلیاردها دلار در قالب برنامه‌های پنج‌ساله ملی به پژوهش‌های نانوفناوری اختصاص داده است. تا سال ۲۰۲۰، سرمایه‌گذاری سالانه چین در این حوزه بیش از ۱٫۵ میلیارد دلار بوده و کشورهای فعال در پروژه‌های مرتبط با نانومواد، نانومدیسین و کاربردهای انرژی هستند. در اروپا، اتحادیه اروپا برنامه Horizon 2020 را برای بودجه‌دهی به نانوفناوری برگزار می‌کند که بیش از ۲٫۷ میلیارد یورو در پروژه‌های مرتبط بین سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۰ اختصاص یافته است. این مدل سرمایه‌گذاری مشارکتی نقش مهمی در پیشبرد پژوهش و کاربردهای نانوفناوری داشته است.

سرمایه‌گذاری‌های سرمایه‌گذاری ریسک‌پذیر (Venture Capital)

سرمایه‌گذاری‌های ریسک‌پذیر نقش کلیدی در پیشبرد تجاری‌سازی نانوفناوری ایفا کرده‌اند، به ویژه در حوزه‌های بهداشت، مواد و انرژی. این شرکت‌ها به پتانسیل نانوفناوری برای تغییر صنایع سنتی و ارائه راه‌حل‌های نوآورانه جذب شده‌اند. تنها در سال ۲۰۲۰، سرمایه‌گذاری سرمایه‌گذاری ریسک‌پذیر جهانی در استارت‌آپ‌های نانوفناوری بیش از ۱٫۹ میلیارد دلار بود که بخش عمده‌ای از آن به شرکت‌هایی با تمرکز بر نانومدیسین، نانو الکترونیک و انرژی پاک اختصاص یافته است. به عنوان نمونه، شرکت Nanobiotix که در حوزه درمان‌های رادیوتراپی مبتنی بر نانوفناوری فعالیت دارد، در یک دور سرمایه‌گذاری سری D، ۷۰ میلیون دلار جذب کرده است. همچنین شرکت Nanosys که در زمینه فناوری نقاط کوانتومی برای نمایشگرها پیشرو است، حمایت مالی از سوی شرکت‌هایی مانند سامسونگ و اینتل دریافت کرده است. سرمایه‌گذاری‌های ریسک‌پذیر معمولاً به شرکت‌هایی اختصاص می‌یابد که نیازهای بازار را سریع برطرف کرده و مسیر روشنی برای گسترش فناوری‌های خود دارند، مانند توسعه نانومواد برای باتری‌ها، ذخیره‌سازی انرژی و سنسورهای هوشمند.

سرمایه‌گذاری‌های شرکت‌ها و بودجه مخصوص صنعت

شرکت‌های چندملیتی بزرگ نقش کلیدی در تأمین مالی نوآوری‌های نانوفناوری داشته‌اند، زیرا می‌خواهند با بهره‌گیری از نانوفناوری محصولات خود را ارتقا داده و مزیت رقابتی خود را حفظ کنند. شرکت‌های فعال در حوزه‌هایی مانند الکترونیک، داروسازی و مواد در این زمینه سرمایه‌گذاری‌های سنگینی انجام داده‌اند. برای مثال، IBM و اینتل در توسعه نیمه‌هادی‌های کوچک‌تر و قدرتمندتر مبتنی بر نانوفناوری سرمایه‌گذاری کرده‌اند. در سال ۲۰۱۹ اینتل اعلام کرد بیش از یک میلیارد دلار برای توسعه فناوری‌های جدید مبتنی بر نانو هزینه خواهد کرد. در صنعت داروسازی، شرکت‌هایی مانند فایزر و نووارتیس در

زمینه نانومدیرین سرمایه‌گذاری کرده‌اند تا سیستم‌های دارورسانی هدفمند توسعه دهند؛ فایز بیش از ۱۰۰ میلیون دلار از طریق همکاری با دانشگاه‌ها و استارت‌آپ‌ها در این حوزه هزینه کرده است. در حوزه انرژی نیز شرکت‌هایی مانند شل و اکسون‌موبیل پروژه‌هایی را حمایت می‌کنند که استفاده از نانومواد برای سلول‌های خورشیدی، باتری‌ها و پیل‌های سوختی با بهره‌وری بالاتر را مورد بررسی قرار می‌دهد.

مدل‌های سرمایه‌گذاری مشارکتی و همکاری بین‌المللی

همکاری بین‌المللی منبع روزافزونی از تأمین مالی در نانوفناوری است که به مؤسسات پژوهشی و شرکت‌ها در کشورهای مختلف اجازه می‌دهد منابع و دانش خود را به اشتراک بگذارند. برنامه‌هایی مانند برنامه همکاری نانوفناوری اتحادیه اروپا و چین نقش مهمی در تسهیل پروژه‌های مشترک پژوهشی ایفا کرده‌اند. علاوه بر این، سازمان توسعه صنعتی سازمان ملل و سازمان جهانی مالکیت معنوی از طرح‌هایی حمایت کرده‌اند که هدف آن‌ها ترویج نانوفناوری برای توسعه پایدار در اقتصادهای نوظهور است. چنین همکاری‌هایی امکان تقسیم هزینه‌ها و تسهیل انتقال دانش را فراهم کرده و سرعت پیشرفت‌های پژوهشی و توسعه‌ای را افزایش می‌دهد. در سال ۲۰۲۱، اتحادیه اروپا مبلغ ۱ میلیارد یورو از طریق برنامه Horizon Europe به نانوفناوری اختصاص داد که تمرکز آن بر پایداری و کاربردهای بهداشتی است. انتظار می‌رود مشارکت‌های بین‌المللی نقش بیشتری در پیشرفت تأثیر نانوفناوری جهانی داشته باشند.

چالش‌ها و چشم‌انداز آتی سرمایه‌گذاری

با وجود افزایش قابل توجه سرمایه‌گذاری، چالش‌هایی وجود دارد که می‌تواند بر رشد نانوفناوری تأثیرگذار باشد، به ویژه در زمینه تجاری‌سازی و پذیرش عمومی. هزینه‌های بالای تولید، موانع فنی و عدم قطعیت‌های مقرراتی همچنان از موانع مهم برای افزایش مقیاس کاربردهای نانوفناوری هستند. همچنین نگرانی‌ها درباره ایمنی زیست‌محیطی و بهداشتی نانومواد باعث شده درخواست‌هایی برای مقررات سخت‌گیرانه‌تر مطرح شود که ممکن است هزینه توسعه را افزایش دهد. اما آگاهی جهانی در حال رشد در مورد مزایای نانوفناوری سبب می‌شود سرمایه‌گذاری در این زمینه ادامه یافته و تمرکز بر کاهش ریسک‌های فناورانه و تضمین استانداردهای ایمنی قرار گیرد. تا سال ۲۰۲۴، کارشناسان پیش‌بینی می‌کنند سرمایه‌گذاری در نانوفناوری به ویژه در زمینه زیرساخت‌های سبز و کاربردهای آن در مواجهه با چالش‌های جهانی مانند تغییرات اقلیمی، بهره‌وری انرژی و بهداشت همچنان افزایشی خواهد بود. تلاش‌های مشترک دولت‌ها، سرمایه‌گذاران خصوصی و همکاری‌های بین‌المللی برای رشد پایدار بازار نانوفناوری در سال‌های آتی حیاتی خواهد بود.

همکاری بین بخش‌های عمومی و خصوصی

پیشرفت نانوفناوری با مشارکت سازمان‌های مختلف، شرکت‌ها و مؤسسات دانشگاهی سرعت گرفته است. برای مثال در ایالات متحده، بخش خصوصی ۶۰ درصد از هزینه‌های نانوفناوری را تشکیل می‌دهد، در حالی که در ژاپن سرمایه‌گذاری خصوصی بیش از دو سوم کل بودجه است. ترکیب بودجه‌های عمومی و خصوصی باعث شده است که این دو کشور موقعیت پیشرو خود را در نانوفناوری حفظ کرده و پیشرفت‌هایی در حوزه‌های نانوبیوتکنولوژی، نانومواد و نانودستگاه‌ها رقم بزنند.

اهمیت همکاری بخش عمومی و خصوصی در نانوفناوری

توسعه نانوفناوری به شدت تحت تاثیر همکاری میان بخش‌های عمومی و خصوصی است، به ویژه در کشورهایی که سرمایه‌گذاری قابل توجهی در تحقیقات و توسعه فناوری‌های پیشرفته دارند. چالش‌ها و فرصت‌های ویژه نانوفناوری از اکتشافات علمی پایه تا تولید انبوه و تجاری‌سازی نیازمند ترکیب حمایت‌های مالی دولتی، سیاست‌گذاری و نوآوری بخش خصوصی است. دولت‌ها معمولاً زیرساخت‌های مورد نیاز، چارچوب‌های قانونی و سرمایه‌گذاری اولیه در تحقیقات پایه را تامین می‌کنند، در حالی که شرکت‌های خصوصی تخصص فناوری و سرمایه لازم برای تبدیل نوآوری‌ها به محصولات بازار را فراهم می‌آورند. این همکاری برای پیشبرد راهکارهای نانوفناوری که می‌توانند صنعت‌هایی مانند بهداشت، انرژی و الکترونیک را متحول کنند و چالش‌های جهانی مانند پایداری زیست‌محیطی و تغییرات اقلیمی را رفع نمایند، حیاتی است.

ایران: ستاد نانو

صنعت نانوفناوری در ایران طی سال‌های اخیر رشد سریع و قابل توجهی را تجربه کرده است. بر اساس گزارش‌های رسمی، حجم بازار فروش محصولات نانو در سال ۱۴۰۲ به حدود ۶۲۰ هزار میلیارد ریال (معادل حدود ۱,۶۲ میلیارد دلار) رسیده که نسبت به سال قبل بیش از ۱۰۰ درصد افزایش داشته است. این رشد چشمگیر با توجه به افزایش تعداد شرکت‌های فعال به تعداد ۴۳۸ شرکت در این حوزه و تولید بیش از ۱۵۷۷ محصول نانومقیاس نشان‌دهنده پویایی و توسعه بی‌وقفه صنعت نانو است. بیش از ۹ درصد از این بازار به صادرات اختصاص دارد که محصولات نانو ایرانی به ۴۹ کشور جهان صادر شده‌اند، با تمرکز صادرات به کشورهایی مانند عراق، سوریه، هند، چین و ترکیه.

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو به عنوان متولی اصلی این حوزه در ایران نقش کلیدی ایفا می‌کند و علاوه بر حمایت‌های مالی و نظارتی، در توسعه زیرساخت‌ها، تدوین استانداردها و آموزش نیروی متخصص نیز فعال بوده است. این ستاد در سال ۱۴۰۲ بیش از ۳۵۱ محصول را گواهی‌نامه نانو مقیاس اعطا کرده و به مدیریت جنبه‌های ایمنی و اخلاقی فناوری نانو توجه ویژه‌ای داشته است. رشد سریع صنعت نانو همچنین منجر به صرفه‌جویی‌های اقتصادی قابل توجهی در بخش‌های مختلف از جمله داروهای ضدسرطان و نانوکاتالیست‌ها شده و حضور مؤثر این فناوری در حوزه‌های صنعتی مختلف را تقویت کرده است. این تغییرات نشان می‌دهد که نانوفناوری به یکی از موتورهای مهم رشد اقتصادی و توسعه صنعتی کشور تبدیل شده است.

ایالات متحده: ابتکار ملی نانوفناوری

در آمریکا، NNI به عنوان سکوی اصلی برای ترویج همکاری‌های بخش عمومی و خصوصی عمل می‌کند. این ابتکار بیش از ۲۰ نهاد فدرال از جمله وزارت انرژی، مؤسسات ملی سلامت و بنیاد ملی علوم را در بر می‌گیرد که از تحقیقات پایه و کاربردی نانوفناوری حمایت می‌کنند. NNI، میلیاردها دلار برای پروژه‌های نانوفناوری تخصیص داده که برخی از آن‌ها شامل همکاری با شرکت‌های خصوصی برای تجاری‌سازی دستاوردها است. در یک نمونه، شرکت نانوسیس است که در زمینه توسعه نقاط کوانتومی برای الکترونیک و نمایشگرها فعالیت دارد. نانوسیس از طریق NNI بودجه دریافت کرده و با شرکت‌هایی مثل سامسونگ و ال‌جی همکاری دارد تا فناوری‌های مبتنی بر نانومواد خود را به بازار عرضه کند. چنین مشارکت‌هایی برای تبدیل پژوهش‌های دولتی به محصولات تجاری قابل رقابت و کمک به گسترش تولید و ورود به بازارهای جهانی حیاتی است.

چین: نوآوری‌های نانوفناوری هدایت‌شده توسط دولت

چین به دلیل سرمایه‌گذاری‌های کلان عمومی و همکاری قوی بین بخش‌های عمومی و خصوصی به رهبر جهانی در نانوفناوری تبدیل شده است. دولت چین نانوفناوری را در برنامه‌های پنج‌ساله خود گنجانده و منابع قابل توجهی را به توسعه آن اختصاص داده است. در سال ۲۰۱۹ میلادی، چین بیش از ۱,۵ میلیارد دلار در تحقیقات نانوفناوری سرمایه‌گذاری کرده که حوزه‌هایی مانند نانومواد، نانو الکترونیک و نانومدیسین را شامل می‌شود. دولت با شرکت‌های خصوصی از جمله شرکت‌های فناوری عظیم مانند هواوی و تنسنت همکاری نزدیکی دارد تا تجاری‌سازی نوآوری‌های نانوفناوری را تسریع کند. برای مثال، هواوی با دانشگاه‌ها و مؤسسات تحقیقاتی دولتی چین همکاری دارد تا مواد پیشرفته برای کاربرد در ارتباطات و الکترونیک توسعه دهد. در حوزه پزشکی نیز شرکت‌هایی مانند بایوسینو با دولت همکاری می‌کنند تا ابزارهای تشخیصی مبتنی بر نانوفناوری را توسعه دهند. این همکاری‌ها چین را قادر ساخته‌اند که صنعت نانوفناوری خود را به سرعت توسعه داده و محصولات پیشرفته را در سطح جهانی تجاری‌سازی نماید.

اتحادیه اروپا: هورایزن اروپا و همکاری با صنعت

در اروپا، برنامه Horizon Europe وسیله اصلی همکاری بخش عمومی و خصوصی برای پیشبرد نانوفناوری است. با بودجه‌ای بیش از ۵,۴ میلیارد یورو در دوره ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۷، هورایزن اروپا پروژه‌های گسترده‌ای را در زمینه تحقیقات و توسعه حمایت می‌کند که بسیاری از آن‌ها بر نانوفناوری و کاربردهای آن در صنایع بهداشت، انرژی و تولید متمرکز است. نمونه شاخص، پروژه Graphene Flagship است که هدف آن توسعه فناوری‌های مبتنی بر گرافن است. این پروژه همکاری میان مؤسسات آکادمیک، سازمان‌های پژوهشی و شرکت‌های خصوصی مانند بوش، ایرباس و زیمنس است که تخصص و سرمایه خود را فراهم می‌آورند. این مشارکت‌ها تاکنون منجر به چندین کاربرد تجاری گرافن در صنایع الکترونیک، خودرو و هوافضا شده است. تأکید اتحادیه اروپا بر همکاری بخش عمومی و خصوصی تضمین می‌کند که پژوهش‌های نانوفناوری سریعاً از آزمایشگاه به بازار منتقل شده و به نفع صنایع اروپایی و مصرف‌کنندگان جهانی باشد.

هند: مشارکت‌های بخش عمومی و خصوصی در نانوفناوری بهداشت

هند به سرعت به بازیگری مهم در صحنه جهانی نانوفناوری، به ویژه در حوزه بهداشت، تبدیل شده است. دولت هند مأموریت نانو را تحت وزارت علوم و فناوری ایجاد کرده که از پژوهش و تجاری‌سازی نانوفناوری حمایت می‌کند، با سرمایه‌گذاری ده ساله حدود ۱۴۰ میلیون دلار آمریکا. این ابتکار تشویق می‌کند به ایجاد شراکت میان سازمان‌های پژوهشی دولتی و شرکت‌های خصوصی. این همکاری‌ها نه تنها راهکارهای نوآورانه نانوفناوری را در حوزه سلامت پیش می‌برند بلکه به هند کمک می‌کنند تا در بازارهای جهانی نانوفناوری رقابتی باشد. حمایت مالی و مقرراتی بخش عمومی برای تحقق این راهکارهای نوآورانه حیاتی است.

ژاپن: پرکردن فاصله میان پژوهش و تجاری‌سازی

ژاپن سابقه طولانی در همکاری میان دولت و بخش خصوصی در فناوری‌های پیشرفته، از جمله نانوفناوری دارد. آژانس علوم و فناوری ژاپن نقش مرکزی در تأمین مالی پژوهش‌های نانوفناوری از طریق برنامه‌هایی مانند مرکز جهانی پژوهش برجسته ایفا می‌کند. بخش خصوصی ژاپن، از جمله شرکت‌های جهانی مانند سونی، هیتاچی و تویوتا، در این برنامه‌ها فعالانه شرکت دارند و تلاش می‌کنند پژوهش‌های دانشگاهی را به محصولات قابل فروش تبدیل کنند. هدف این همکاری‌ها تجاری‌سازی فناوری‌های نسل بعدی باتری است که می‌تواند به طور قابل توجهی بهره‌وری ذخیره انرژی را بهبود بخشد، که برای صنایع خودروهای الکتریکی و انرژی‌های تجدیدپذیر حیاتی است. این تلاش‌های مشترک نمونه‌ای از همکاری موفق بخش عمومی و خصوصی در تبدیل کشفیات علمی به محصولات کاربردی است.

خلاصه این‌که نمونه‌های متعدد از کشورهای مختلف نشان می‌دهد همکاری موثر میان بخش‌های عمومی و خصوصی برای پیشبرد فناوری نانوفناوری ضروری است. ترکیب حمایت‌های دولتی با تخصص و سرمایه بخش خصوصی می‌تواند روند انتقال تحقیقات به تجاری‌سازی را تسریع کرده و نوآوری و رشد اقتصادی در صنایع مرتبط با نانوفناوری را پیش ببرد. با ادامه روند رشد بازار نانوفناوری جهانی، این مشارکت‌ها برای حل چالش‌های فناورانه، مقرراتی و مالی در توسعه کاربردهای نانو حیاتی باقی خواهند ماند.

ارزیابی پیشرفت‌های نانوفناوری

در نانوفناوری می‌تواند از طریق چارچوب شبکه تکنوافزاری-اقتصادی ارزیابی شود که توسعه در زمینه‌های پژوهش، فناوری و کاربردهای بازار را می‌سنجد. پیشرفت علمی از طریق انتشار مقالات، پیشرفت‌های فناوری از طریق ثبت اختراعات و توسعه بازار از طریق تجاری‌سازی محصولات نانوفناوری قابل اندازه‌گیری است. بررسی این سه عنصر نشان می‌دهد که نانوفناوری از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ در هر دو حوزه پژوهشی و کاربردی دستاوردهای قابل توجهی داشته است.

جنبه علمی نوآوری نانوفناوری عمدتاً توسط پژوهش‌های انجام شده در آزمایشگاه‌های صنعتی و دانشگاهی هدایت شده است، که انتشار مقالات شاخص مهمی برای اندازه‌گیری بهره‌وری علمی به شمار می‌رود. تعداد مقالات معیار مهمی است، اما کیفیت آن‌ها که اغلب با تعداد استنادها نشان داده می‌شود، تاثیر آنها بر حوزه تخصصی را ارزیابی می‌کند. رشد پیوسته انتشار مقالات مرتبط با نانوفناوری با افزایش قابل توجه در کشورهایمانند چین و هند مشاهده شده است.

جدول ۲۰ کشور برتر در حوزه نانوفناوری از سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۳ بر اساس معیارهای مختلف:

رتبه	کشور	(الف) تعداد انتشارات نانوفناوری	(ب) انتشارات نانوفناوری در مجلات Q1	(ج) انتشارات نانوفناوری در ۱۰٪ مجلات برتر	(د) تعداد اسنادها به مقالات نانوفناوری	(هـ) شاخص h مقالات نانوفناوری	(و) شاخص h پنج ساله
۱	چین	پیش‌تاز با بیش از ۹۱۵,۵۴۱ مقاله	بالا	بالا	بالا	۳۶۸	برتر
۲	ایالات متحده آمریکا	حدود ۴۳۳,۰۲۱ مقاله	بالا	بالا	بالا	۳۲۶	بالا
۳	هند	حدود ۲۰۵,۹۱۵ مقاله	قابل توجه	قابل توجه	قابل توجه	۱۵۲	قابل توجه
۴	آلمان	حدود ۱۵۵,۴۴۴ مقاله	بالا	بالا	بالا	۱۹۱	بالا
۵	ژاپن	حدود ۱۵۱,۱۹۷ مقاله	قابل توجه	قابل توجه	قابل توجه	۱۷۹	بالا

رتبه	کشور	(الف) تعداد انتشارات نانوفناوری	(ب) انتشارات نانوفناوری در مجلات Q1	(ج) انتشارات نانوفناوری در ۱۰٪ مجلات برتر	(د) تعداد استنادها به مقالات نانوفناوری	(هـ) شاخص h مقالات نانوفناوری	(و) شاخص h پنج ساله
۶	کره جنوبی	حدود ۱۴۹,۴۹۷ مقاله	قابل توجه	قابل توجه	قابل توجه	۱۸۶	بالا
۷	ایران	حدود ۱۱۵,۰۶۴ مقاله	کاهش رتبه به پنجم در ۲۰۲۳	قابل توجه	قابل توجه	۱۵۴	در بین ۱۵ کشور برتر
۸	فرانسه	حدود ۱۰۴,۳۱۰ مقاله	قابل توجه	قابل توجه	قابل توجه	۱۳۷	قابل توجه
۹	انگلستان	حدود ۹۳,۳۴۴ مقاله	بالا	بالا	بالا	۱۷۶	بالا
۱۰	روسیه	حدود ۸۷,۸۵۸ مقاله	-	-	-	-	-

این رتبه‌بندی‌ها بر اساس تعداد مقالات، کیفیت مجلات، تعداد استنادها و شاخص h از منابعی مانند پایگاه داده Web of Science و بررسی‌های تخصصی StatNano و Scimago ترتیب یافته‌اند. در این میان چین با درصد بیش از ۴۶٪ از مقالات منتشر شده جهانی در حوزه نانوفناوری، در صدر قرار دارد و ایران در رده‌های بالای جدول جای گرفته است.

جنبه تکنولوژیک نوآوری در نانوفناوری به طور مؤثر از طریق آمار ثبت اختراع ارزیابی می‌شود که نشان‌دهنده توانایی تبدیل یافته‌های علمی به کاربردهای فناورانه و کالاهای تجاری است. پتنت‌ها به عنوان پلی میان پژوهش و تجاری‌سازی عمل می‌کنند.

داده‌های دفتر ثبت اختراع اروپا (EPO) نشان می‌دهد که تعداد خانواده‌های پتنت نانوفناوری از سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۴ به طور مداوم افزایش یافته است. رشد اولیه در ثبت پتنت‌ها تا سال ۲۰۰۶ کند بود، اما از سال ۲۰۱۹ به بعد افزایش قابل توجهی دیده شده است که عمدتاً ناشی از بهبود همکاری‌ها میان مؤسسات پژوهشی و صنایع جهانی است.

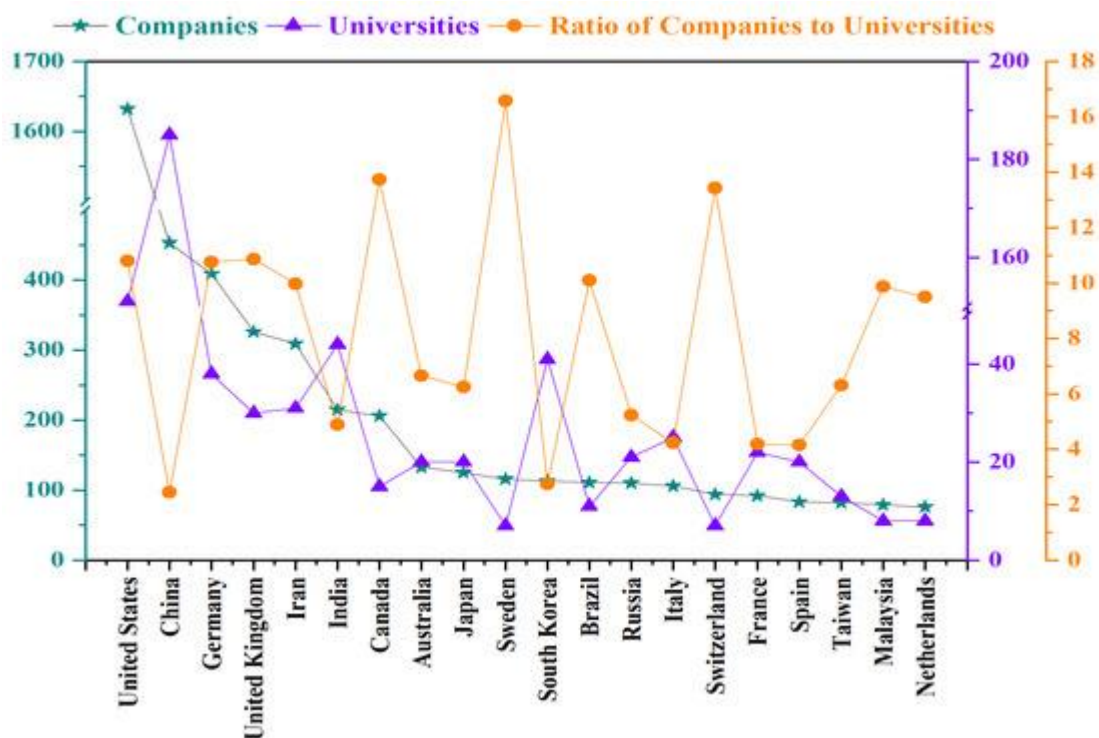
در سال ۲۰۲۴، دفتر ثبت اختراع اروپا نزدیک به ۲۰۰ هزار درخواست ثبت اختراع دریافت کرده است، با ثبات نسبت به سال قبل. بیشترین رشد درخواست‌ها در حوزه ماشین‌آلات الکتریکی، تجهیزات و انرژی بوده است (+۸,۹٪)، که ناشی از نوآوری‌های مداوم در باتری‌ها و فناوری‌های انرژی پاک است. فناوری‌های کامپیوتری، از جمله هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی نیز رشد قابل توجهی داشته‌اند (+۳,۳٪). (در مقابل، درخواست‌ها در بخش فناوری‌های پزشکی، ارتباطات دیجیتال و داروسازی کاهش یافته است. سامسونگ در سال ۲۰۲۴ بیشترین درخواست ثبت اختراع را داشته و پس از آن هواوی و ال جی قرار دارند.

این داده‌ها نشان‌دهنده افزایش سرمایه‌گذاری و نوآوری در حوزه نانوفناوری و تأثیر همکاری بین‌المللی و صنعتی در توسعه فناوری است. همچنین استانداردهای یکپارچه ثبت اختراع اروپایی و افزایش درخواست‌های مربوط به پتنت‌های یکپارچه نشان می‌دهد که روند تجاری‌سازی فناوری‌های نوین نانو در اروپا رو به افزایش است.

بنابراین، ثبت اختراع یکی از شاخص‌های کلیدی برای اندازه‌گیری پیشرفت تکنولوژیکی در نانوفناوری است و افزایش قابل توجه ثبت‌ها از سال ۲۰۱۹ به بعد نمایانگر توسعه سریع این زیست‌بوم فناوری است که به وسیله همکاری‌های بین‌المللی و هم‌افزایی دانشگاه و صنعت تقویت شده است

نقش همکاری بین شرکت‌ها و دانشگاه‌ها

شراکت میان شرکت‌ها و دانشگاه‌ها نقش محوری در پیشبرد کاربردهای نانوفناوری دارد که از طریق تقویت نوآوری، پل زدن بین تحقیقات نظری و اجرای عملی، و تسریع تجاری‌سازی صورت می‌گیرد. این همکاری‌ها به دانشگاه‌ها اجازه می‌دهد تا بر تحقیقات بنیادی تمرکز کنند، در حالی که صنایع مسیر کاربرد این یافته‌ها را به محصولاتی آماده برای عرضه در بازار هدایت می‌کنند. بر اساس گزارش سال ۲۰۲۳ ابتکار ملی نانوفناوری (NNI)، تقریباً ۶۵ درصد از پیشرفت‌های نانوفناوری ناشی از همکاری‌های دانشگاه و صنعت است. این هم‌افزایی اطمینان می‌دهد که فناوری‌های نوآورانه‌ای مانند نانولوله‌های کربنی و نقاط کوانتومی به طور مؤثری از آزمایشگاه‌ها به بخش‌هایی مانند بهداشت، الکترونیک و انرژی‌های تجدیدپذیر منتقل می‌شوند.



یک مثال برجسته، همکاری بین شرکت IBM و مؤسسه فناوری ماساچوست (MIT) است. تحقیقات مشترک آن‌ها در زمینه دستگاه‌های نانومقیاس به طور قابل توجهی کارایی ترانزیستورها و میکروپروسورها را بهبود بخشیده و بر صنعت نیمه‌هادی‌ها تأثیر گذاشته است. به طور مشابه، همکاری بین دانشگاه رایس و شرکت شل منجر به بهبود روش‌های جذب کربن با استفاده از نانومواد شده است که به تلاش‌های جهانی برای مقابله با تغییرات اقلیمی کمک می‌کند. این موارد نقش حیاتی به اشتراک‌گذاری تخصص‌ها و منابع را برجسته می‌کنند.

علاوه بر این، شراکت‌ها توسعه نیروی کار و انتقال دانش را تسهیل می‌کنند. شرکت‌ها اغلب برنامه‌های دانشگاهی را با تأمین مالی بورس‌ها و امکانات پژوهشی حمایت می‌کنند و نیروی کاری ماهر در زمینه نانوفناوری پرورش می‌دهند. به عنوان نمونه، همکاری دانشگاه منچستر با پروژه Graphene Flagship نه تنها فناوری‌های مبتنی بر گرافن را پیش برده بلکه هزاران پژوهشگر را در کاربردهای علوم نانو آموزش داده است. این همکاری‌های متقابل تضمین می‌کند که هر دو حوزه دانشگاهی و صنعتی در حفظ برتری رقابتی موفق بوده و صناعی مانند دارورسانی و ذخیره‌سازی انرژی را به سوی دستاوردهای انقلابی سوق می‌دهند.

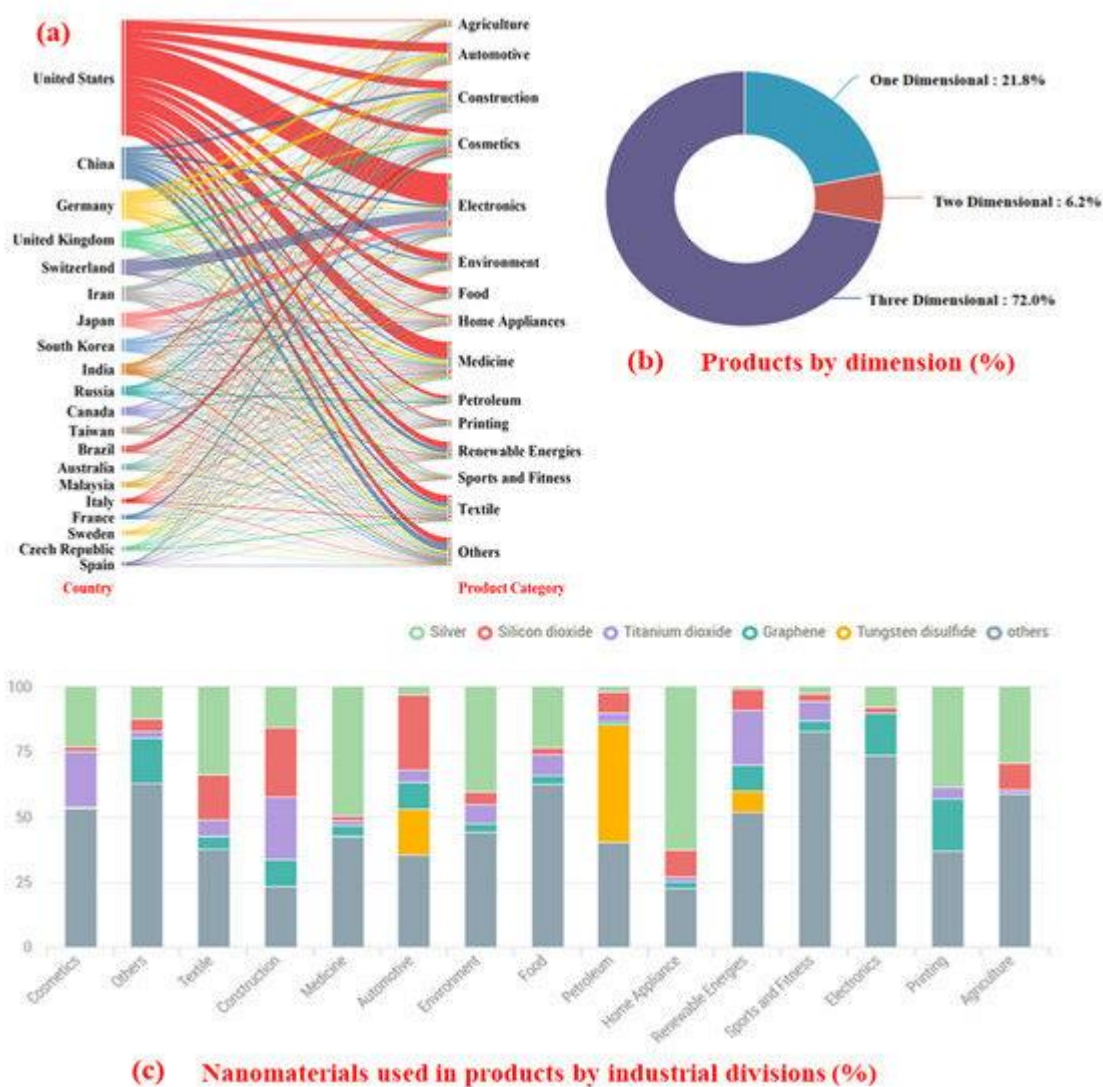
مشارکت‌های مشترک بین شرکت‌ها و دانشگاه‌ها در نانوفناوری نقش حیاتی در حل چالش‌های جهانی نظیر بهداشت، پایداری انرژی و حفاظت محیط زیست ایفا می‌کنند. برای مثال، مؤسسه نانوسیستم‌های کالیفرنیا در دانشگاه کالیفرنیا، لس‌آنجلس، با شرکت NanoPacific Holdings همکاری می‌کند تا فناوری‌های مبتنی بر نانوذرات برای بهبود درمان سرطان تجاری‌سازی شود. این همکاری بر ایجاد نانوذرات مکانیکی متمرکز است که قادر به دارورسانی هدفمند بوده و به بهبود اثربخشی و کاهش عوارض شیمی‌درمانی کمک می‌کند. بر اساس گزارش بازار جهانی نانوفناوری ۲۰۲۳، بیش از ۳۰ درصد سرمایه‌گذاری نانوفناوری

مربوط به حوزه بهداشت است که سهم قابل توجهی از آن ناشی از همکاری‌های دانشگاه و صنعت است. این پروژه‌های مشترک تضمین می‌کنند که نتایج پژوهشی با استانداردهای نظارتی سازگار بوده و برای استفاده عملی بهینه شده باشند.

یکی دیگر از تأثیرات مهم این شراکت‌ها، کمک به نمونه‌سازی سریع و تجاری‌سازی محصولات مبتنی بر نانوفناوری است. دانشگاه‌ها اغلب پژوهش‌های بنیادی و امکانات آزمایشی را فراهم می‌کنند، در حالی که شرکت‌ها تخصص لازم برای افزایش تولید و مدیریت بازار را تأمین می‌کنند. برای نمونه، همکاری دانشگاه استنفورد و شرکت اینتل منجر به تجاری‌سازی فناوری‌های محاسباتی نانومقیاس شده است که عملکرد و بهره‌وری انرژی پردازنده‌ها را بهبود می‌بخشد. این امر صنعت فناوری را قادر ساخته است تا به نیازهای رو به رشد بازار برای دستگاه‌های کوچک‌تر، سریع‌تر و پایدارتر پاسخ دهد. گزارش‌ها نشان می‌دهد که محصولات مبتنی بر نانوفناوری در سال ۲۰۲۲ ارزشی بین ۶۷ تا ۸۳ میلیارد دلار ایجاد کرده‌اند که بخش عمده‌ای از آن توسط طرح‌های همکاری توسعه یافته است.

توسعه اقتصادی منطقه‌ای نیز از این شراکت‌ها به طور چشمگیری بهره‌مند می‌شود، زیرا سرمایه‌گذاری جذب کرده، اشتغال ایجاد می‌کند و مراکز نوآوری می‌سازد. پارک‌های تحقیقاتی و مراکز رشد که اغلب از همکاری‌های دانشگاه و صنعت شکل می‌گیرند، اکوسیستمی لازم برای شکوفایی استارت‌آپ‌ها فراهم می‌کنند. کنسرسیوم تولید نانو-بیو در آمریکا مثالی از نحوه رانش نوآوری محلی توسط چنین شراکت‌هایی است. با تمرکز بر الکترونیک انعطاف‌پذیر و حسگرهای پوشیدنی، این کنسرسیوم نه تنها کاربردهای نانوفناوری را پیش برده بلکه اقتصادهای منطقه‌ای را از طریق ایجاد شغل و توسعه زیرساخت‌ها تقویت کرده است.

در نهایت، این شراکت‌ها رقابت جهانی را با تضمین پیشگامی صنایع ملی در پیشرفت‌های فناورانه تقویت می‌کنند. کشورهایی مانند آلمان، ژاپن و آمریکا که پیشگام نوآوری در نانوفناوری هستند، عمدتاً به دلیل همکاری‌های قوی بین دانشگاه‌ها و صنعت به این موقعیت دست یافته‌اند. در آلمان، مؤسسات فراون‌هوفر با شرکت‌هایی مانند BASF در زمینه‌هایی نظیر نانومواد و پوشش‌ها همکاری نزدیک دارند. به طور مشابه، دانشگاه توکیو با شرکت تویوتا برای توسعه فناوری‌های باتری نسل بعدی با بهره‌گیری از نانومواد همکاری می‌کند. این همکاری‌ها تضمین می‌کند که این کشورها در بخش‌های فناوری پیشرفته پیشرو باقی بمانند در حالی که به چالش‌های حیاتی انرژی، محیط زیست و پزشکی پاسخ می‌دهند. با شدت گرفتن رقابت جهانی، ادغام تخصص‌های دانشگاهی و صنعتی به عنوان پایه موفقیت در عرصه نانوفناوری باقی خواهد ماند.



نانومواد در الکترونیک: نقاط کوانتومی و نمایشگرهای انعطاف پذیر

یکی از موفق ترین انتقال ها از نوآوری به تولید صنعتی در زمینه نقاط کوانتومی برای الکترونیک رخ داده است. این نانوکریستال های نیمه هادی دارای خواص نوری یکتایی هستند که برای فناوری های نمایشگر ایده آل می باشند. شرکت Nanosys، که در این حوزه پیشرو است، با غول های صنعت مانند سامسونگ و ال جی به طور نزدیک همکاری کرده است تا نقاط کوانتومی را در نمایشگرهای QLED LED نقاط کوانتومی به کار گیرد. این گذار از تحقیقات آزمایشگاهی به تولید انبوه با غلبه بر چالش هایی مانند کنترل اندازه و یکنواختی نقاط کوانتومی برای اطمینان از عملکرد همسان در نمایشگرهای بزرگ انجام شده است. فرآیند صنعتی سازی شامل تکنیک های تولید مقیاس پذیر مانند رسوب شیمیایی بخار و روش های تزریق داغ است که اجازه تولید انبوه نقاط کوانتومی با کیفیت بالا را می دهد. این نمایشگرها اکنون به صورت تجاری در سراسر جهان عرضه می شوند و نمونه ای موفق از کاربرد نانوفناوری در الکترونیک مصرفی محسوب می شوند.

نانولوله‌های کربنی در هوافضا و تولید خودرو

نمونه دیگری از جهش نانوفناوری به تولید صنعتی، نانولوله‌های کربنی CNT ها هستند که در صنایع هوافضا و خودروسازی برای ساخت کامپوزیت‌های سبک و با استحکام بالا به کار می‌روند. نانولوله‌های کربنی دارای خواص مکانیکی برجسته‌ای مانند استحکام کششی بالا و رسانایی الکتریکی عالی هستند. در بخش هوافضا، شرکت‌هایی مانند بوئینگ و ایرباس شروع به استفاده از CNT ها در مواد کامپوزیتی مورد استفاده در ساختار هواپیما کرده‌اند که باعث کاهش وزن و بهبود بهره‌وری سوخت شده است. این کامپوزیت‌های به تقویت نانو، با استفاده از تکنیک‌هایی مانند ترکیب مذاب و نفوذاتریکس پلیمری تولید شده‌اند که تولید مقیاس‌پذیر را امکان‌پذیر می‌کند. این کامپوزیت‌ها همچنین برای قطعات خودرو به منظور بهبود عملکرد، دوام و بهره‌وری سوخت استفاده می‌شوند. ادغام موفقیت‌آمیز نانولوله‌های کربنی در این صنایع نشان می‌دهد که چگونه نانومواد که زمانی محدود به آزمایشگاه بودند، اکنون جزئی جدایی‌ناپذیر از کاربردهای صنعتی حیاتی هستند.

نانوپوشش‌ها برای افزایش دوام و مقاومت در برابر خوردگی

نانوپوشش‌ها به دلیل توانایی ایجاد ویژگی‌های منحصربه‌فرد مانند ضد خوردگی، مقاومت در برابر خراش و خودتمیز شوندگی، به طور گسترده‌ای در صنایع مختلف به‌ویژه هوافضا، خودروسازی و الکترونیک مورد استفاده قرار گرفته‌اند. شرکت P2i که در فناوری‌های نانوپوشش تخصص دارد، پوشش‌های آب‌گریز ساخته که از الکترونیک و منسوجات محافظت می‌کند. این پوشش‌ها با استفاده از تکنیک‌هایی مانند رسوب لایه اتمی یا رسوب شیمیایی بخار با پلاسمای تقویت شده ساخته می‌شوند. برای مثال، شرکت اپل این نانوپوشش‌ها را در گوشی‌های هوشمند خود به کار برده است تا آن‌ها را مقاوم در برابر آب و آلودگی کرده و دوام بیشتری داشته باشند. صنعتی‌سازی نانوپوشش‌ها نیازمند غلبه بر چالش‌های مرتبط با یکنواختی پوشش و بهینه‌سازی هزینه است، اما با تکامل فرایندهای تولید مانند پوشش پاششی و پوشش غوطه‌وری، این فناوری‌ها در حال مقیاس‌پذیری برای تولید انبوه هستند.

نانومدیسین: نانوذرات برای سیستم‌های دارورسانی

تأثیر نانوفناوری بر حوزه بهداشت و داروسازی با توسعه نانوذرات برای سیستم‌های دارورسانی نمایان شده است. یکی از نمونه‌های برجسته و واقعی انتقال نانوذرات لیپیدی استفاده شده در واکسن‌های mRNA مانند واکسن‌های COVID-19 است. شرکت‌هایی مانند مدرنا و فایزر-بایون‌تک از نانوذرات لیپیدی برای کپسوله‌سازی mRNA و رساندن مؤثر آن به سلول‌ها بهره برده‌اند. تولید موفقیت‌آمیز انبوه این واکسن‌ها مستلزم غلبه بر چالش‌های بزرگی از جمله حفظ پایداری نانوذرات در طول فرایند تولید و توزیع بوده است. فرمولاسیون‌های نانوذرات لیپیدی با استفاده از تکنیک‌هایی مانند هموژن‌سازی تحت فشار بالا ساخته شده‌اند که قابلیت مقیاس‌پذیری دارند و در تولید انبوه واکسن‌ها و داروهای دیگر کاربرد دارند. این پیشرفت نمونه‌ای مهم از چگونگی تحول سیستم‌های دارورسانی توسط نانوفناوری است که از مفاهیم آزمایشگاهی به محصولاتی نجات‌بخش زندگی انسان‌ها در سطح جهانی تبدیل شده‌اند.

کاتالیزورهای نانو ساختار در تولیدات شیمیایی

در عرصه تولیدات شیمیایی، انتقال کاتالیزورهای نانوساختار از نوآوری آزمایشگاهی به تولید صنعتی تغییر شگرفی ایجاد کرده است. نانوکاتالیزورها که از فلزاتی مانند پلاتین، پالادیوم یا طلا ساخته می‌شوند، به دلیل سطح ویژه بالا و افزایش کارایی در تسریع واکنش‌های شیمیایی شناخته شده‌اند. در صنایعی مانند پتروشیمی و داروسازی، نانوکاتالیزورها با افزایش سرعت واکنش‌ها و کاهش مصرف انرژی بهبود یافته‌اند. به عنوان مثال، جانسون متی به‌عنوان یکی از تولیدکنندگان پیشرو کاتالیزور، نانوکاتالیزورهایی برای تولید سوخت پاک‌تر و واکنش‌های شیمیایی کارآمد توسعه داده است. گرایش به تولید در مقیاس صنعتی با استفاده از فرایندهایی مانند سنتز سال-ژل و هم‌رسوب‌گذاری صورت گرفته است که روش‌های مقیاس‌پذیری برای تولید نانوذرات همگن هستند. این پیشرفت‌ها در نانوکاتالیزورها به کاهش تأثیرات محیطی تولیدات شیمیایی و افزایش بازدهی تولید کمک می‌کنند.

آینده ساخت نانو: خودکارسازی و فناوری‌های سبز

نگاه به آینده، ادغام خودکارسازی و ساخت سبز نانو نقش مهمی در مقیاس‌بندی نانوفناوری برای کاربردهای صنعتی ایفا خواهد کرد. نوآوری‌هایی مانند فرایندهای خودسازماندهی، جایی که نانوذرات به‌طور خودجوش به ساختارهای دلخواه سازماندهی می‌شوند، وعده کاهش هزینه‌ها و مصرف انرژی در تولید را می‌دهند. علاوه بر این، فناوری‌های ساخت سبز مانند روش‌های سنتز آبی و رویکردهای زیست‌فناوری به کاهش ردپای زیست‌محیطی تولید نانوفناوری کمک می‌کنند. شرکت‌ها همچنین فرایندهایی مانند تولید رول-تو-رول که معمولاً در الکترونیک انعطاف‌پذیر به کار می‌رود را برای تولید کارآمد نانومواد در مقیاس وسیع بررسی می‌کنند. برای مثال، Applied Materials که در تجهیزات نیمه‌هادی پیشرو است، روی سیستم‌های خودکار برای تولید نانوالکترونیک کار می‌کند که می‌تواند هزینه‌های تولید را به‌طور قابل توجهی کاهش و در عین حال دقت و کیفیت را حفظ کند. این پیشرفت‌ها نه تنها صنعتی‌سازی نانوفناوری را تسهیل می‌کنند بلکه تضمین می‌کنند که ساخت نانو با استانداردهای تولید پایدار و دوستدار محیط زیست هماهنگ باشد.

خلاصه اینکه، انتقال نانوفناوری از آزمایشگاه به تولید صنعتی با نمونه‌های واقعی مشخص شده است که نوآوری علمی منجر به تولید محصولاتی شده که اکنون بخشی از زندگی روزمره ما هستند. از نانومواد در الکترونیک و هوافضا تا نانوداروها و راهکارهای ساخت سبز، پیشرفت در مقیاس‌بندی نوآوری‌های نانو نشان‌دهنده ظرفیت آن برای بازتعریف صنایع است. با غلبه بر چالش‌های مقیاس‌پذیری، تکرارپذیری و بهینه‌سازی هزینه، نانوفناوری آینده ساخت را رهبری کرده و افق‌های جدیدی در توسعه محصول و کاربردهای صنعتی باز می‌کند.

پیامدهای اقتصادی نانوفناوری

ویژگی متمایز فناوری نانوذرات ناشی از خواص مواد در مقیاس نانو (۱ تا ۱۰۰ نانومتر) است که معمولاً با خواص مواد حجیم متفاوت است. این ویژگی‌ها امکان کاربردهای متنوعی در بخش‌هایی مانند کالاهای مصرفی، الکترونیک، انرژی‌های تجدیدپذیر و فناوری پزشکی فراهم می‌آورد. نانوفناوری به طور چشمگیری ترانزیستورها، تراشه‌های حافظه و فناوری‌های نمایشگر را بهبود داده و در توسعه پنل‌های خورشیدی با بازده بالا، باتری‌ها و تیغه‌های توربین‌های بادی نیز نقش داشته است. پیشرفت سریع نانوذرات در دارورسانی و تصویربرداری مولکولی بخش پزشکی را متحول کرده است.

تا سال ۲۰۲۴، نانوفناوری به بخشی اساسی از چندین کسب‌وکار تبدیل شده و میلیاردها دلار برای بازارهای جهانی ایجاد کرده است. نوآوری در نانومواد برای ذخیره انرژی، به ویژه در فناوری باتری، انتظار می‌رود تأثیر چشمگیری بر صنایع خودروهای برقی و انرژی تجدیدپذیر داشته باشد. بازار جهانی محصولات مصرفی مبتنی بر نانوفناوری، از جمله لوازم آرایشی و کالاهای خانگی، به دلیل پیشرفت در طراحی مواد و ساخت در حال گسترش است.

نانوفناوری پتانسیل تحول اقتصادها را از طریق پیشبرد نوآوری، افزایش بهره‌وری و ایجاد صنایع جدید دارد. با گذر زمان، انتظار می‌رود سهم قابل توجهی در رشد اقتصادی به ویژه در بخش‌های فناوری پیشرفته مانند الکترونیک، انرژی، بهداشت و تولید داشته باشد. با این حال، در کنار فرصت‌های گسترده اقتصادی، چالش‌هایی مانند ریسک سرمایه‌گذاری، موانع مقرراتی و احتمال از دست رفتن مشاغل به خاطر خودکارسازی نیز مطرح است. نانومواد در الکترونیک: نقاط کوانتومی و نمایشگرهای انعطاف‌پذیر یکی از موفق‌ترین انتقال‌ها از نوآوری به تولید صنعتی در زمینه نقاط کوانتومی برای الکترونیک رخ داده است. این نانوکریستال‌های نیمه‌هادی خواص نوری منحصر به فردی دارند که برای فناوری‌های نمایشگر بسیار مناسب هستند. شرکت Nanosys، یکی از پیشروهای این حوزه، با شرکت‌های بزرگی مانند سامسونگ و ال‌جی الکترونیکس همکاری نزدیک داشته است تا نقاط کوانتومی را در نمایشگرهای QLED به کار گیرد. انتقال از پژوهشگاه به تولید انبوه شامل غلبه بر چالش‌هایی مانند کنترل اندازه و یکنواختی نقاط کوانتومی برای عملکرد یکسان در نمایشگرهای بزرگ بوده است. فرآیند صنعتی‌سازی با استفاده از تکنیک‌های تولید مقیاس‌پذیری مانند رسوب شیمیایی بخار و روش‌های تزریق داغ انجام شده که امکان تولید گسترده و با کیفیت عالی را فراهم کرده‌اند. این نمایشگرها اکنون به‌صورت تجاری در سراسر جهان عرضه شده‌اند و نمونه موفق از کاربرد نانوفناوری در الکترونیک مصرفی هستند.

نانولوله‌های کربنی در صنایع هوافضا و خودرو

نمونه دیگر از ورود نانوفناوری به تولید صنعتی، نانولوله‌های کربنی (CNT) است که در صنعت هوافضا و خودرو برای ساخت کامپوزیت‌های سبک و مقاوم استفاده می‌شوند. نانولوله‌های کربنی ویژگی‌های مکانیکی برجسته‌ای مانند استحکام کششی بالا و رسانایی الکتریکی عالی دارند. شرکت‌هایی مانند بوئینگ و ایرباس این مواد را در ساختار هواپیماها به کار می‌برند تا وزن را کاهش داده و بهره‌وری سوخت را افزایش دهند. این کامپوزیت‌های نانو از روش‌هایی مانند ترکیب ذوبی و نفوذ ماتریکس پلیمری تولید می‌شوند که تولیدشان مقیاس‌پذیر است. این مواد همچنین در قطعات خودرو برای بهبود عملکرد، دوام و مصرف سوخت به کار می‌روند. حضور موفق نانولوله‌های کربنی در این صنایع نشان‌دهنده اهمیت راه‌حل‌های نانومقیاس در کاربردهای صنعتی حیاتی است.

نانوپوشش‌ها برای افزایش دوام و مقاومت در برابر خوردگی

نانوپوشش‌ها به دلیل دارا بودن خواص منحصربه‌فردی مانند مقاومت در برابر خوردگی، خراش و قابلیت خودتعمیرشوندگی، به طور گسترده‌ای در صنایع هوافضا، خودرو و الکترونیک مورد استفاده قرار می‌گیرند. شرکت P2i در توسعه پوشش‌های ضدآب و محافظ برای الکترونیک و منسوجات تخصص دارد. این پوشش‌ها با فناوری‌های رسوب لایه اتمی و رسوب شیمیایی بخار تقویت‌شده با پلاسما ساخته می‌شوند. علاوه بر این، شرکت اپل از این نانوپوشش‌ها در گوشی‌های هوشمند خود استفاده کرده

تا مقاومت آن‌ها را در برابر آب و آلودگی بالا ببرد و دوام دستگاه را افزایش دهد. صنعتی‌سازی نانوپوشش‌ها با چالش‌هایی مانند تضمین یکنواختی پوشش و بهینه‌سازی هزینه‌ها مواجه است، اما با توسعه فناوری‌های پوشش دهی مانند اسپری و دیپ کوتینگ، قابلیت تولید انبوه این پوشش‌ها فراهم شده است.

نانومدیسین: نانوذرات برای سیستم‌های دارورسانی

تأثیر نانوفناوری در حوزه سلامت و داروسازی با توسعه نانوذرات برای سیستم‌های دارورسانی مشهود است. نمونه بارز آن کاربرد نانوذرات لیپیدی در ساخت واکسن‌های mRNA مانند واکسن کووید-۱۹ است. شرکت‌هایی مانند مدرنا و فایزر-بایون‌تک از این نانوذرات برای پوشش mRNA و انتقال موثر آن به سلول‌ها بهره برده‌اند. تولید انبوه این واکسن‌ها با چالش‌هایی همچون حفظ پایداری نانوذرات در طول تولید و توزیع مواجه بود که با استفاده از فناوری هموژنیزاسیون با فشار بالا برطرف شد. این دستاورد نمونه‌ای بزرگ از تحول نانوفناوری در دارورسانی از آزمایشگاه به محصولات حیات‌بخش است.

کاتالیزورهای نانو ساختاری در تولید شیمیایی

کاتالیزورهای نانو ساختار که از فلزاتی مانند پلاتین، پالادیوم و طلا ساخته می‌شوند، به دلیل سطح مقطع بالا و کارایی بیشتر در واکنش‌های شیمیایی، تحولی در صنعت پتروشیمی و داروسازی ایجاد کرده‌اند. شرکت‌هایی مانند جانسون متی در حال توسعه نانو کاتالیزورهای پیشرفته برای تولید سوخت پاک و بهینه‌سازی واکنش‌های شیمیایی هستند. فناوری‌هایی همچون سنتز سال-ژل و هم‌رسوبی امکان تولید گسترده و یکنواخت این نانوذرات را فراهم کرده است. این پیشرفت‌ها باعث کاهش اثرات زیست‌محیطی و افزایش کارایی تولید در صنایع شیمیایی شده است.

آینده ساخت نانو: خودکارسازی و فناوری‌های سبز

ادغام خودکارسازی و فناوری‌های ساخت سبز در نانوفناوری، آینده تولید صنعتی این فناوری را رقم خواهد زد. فرایندهای خودسازمانی در nanoscale نوید کاهش هزینه و مصرف انرژی را می‌دهند. همچنین روش‌های سبز ساخت، مانند سنتز آب‌محور و زیست‌فناوری، به کاهش اثرات زیست‌محیطی تولید کمک می‌کنند. شرکت‌ها روش‌های تولید نواری مانند roll-to-roll را برای تولید نانومواد در مقیاس بالا بررسی می‌کنند. برای نمونه، شرکت Applied Materials در حال توسعه سیستم‌های خودکار برای تولید نانو الکترونیک است که ضمن حفظ دقت و کیفیت، هزینه تولید را کاهش می‌دهد. این تحولات، صنعتی‌سازی نانوفناوری را تسهیل و با استانداردهای پایداری و محیط‌زیستی هماهنگ می‌سازند.

چشم‌انداز آینده و گسترش جهانی نانوفناوری

انتظار می‌رود جهانی‌شدن نانوفناوری با ادامه پیشرفت‌های تکنولوژیکی که هزینه‌های تحقیق و توسعه را کاهش می‌دهد، تسریع شود و به کشورهای بیشتری امکان دسترسی دهد. گسترش نانوفناوری احتمالاً با سرمایه‌گذاری‌های فرامرزی، هماهنگی سیاست‌ها و دسترسی بیشتر به ابزارهای تحقیقی مقرون‌به‌صرفه هدایت خواهد شد. کاهش موانع ورود به نوآوری‌های نانو به کشورها و اقتصادهای نوظهور فرصت بیشتری برای مشارکت در اکوسیستم جهانی نانو می‌دهد. آینده نانوفناوری در مدل نوآوری توزیع‌شده‌تر است که دانش و توانمندی‌های فناوری به اشتراک گذاشته شوند و مزایای آن به بخش گسترده‌تری از جمعیت

جهان برسد. این امر نیازمند تلاش‌های بین‌المللی برای تضمین دسترسی عادلانه به نانوفناوری، حمایت از روش‌های پایدار و حل مسائل مالکیت فکری، مقررات و ایمنی است. توزیع فضایی نانوفناوری به سرعت در حال تحول است و مراکز اصلی نوآوری در آمریکا، اروپا و آسیا قرار دارند، در حالی که کشورهای در حال توسعه در به‌کارگیری فناوری نانو برای توسعه محلی پیشرفت می‌کنند. همکاری‌های جهانی برای رفع اختلافات منطقه‌ای و تضمین توزیع عادلانه مزایای این فناوری تحول‌آفرین حیاتی خواهد بود. آینده نانوفناوری جهانی متصل‌تر را نوید می‌دهد که در آن نوآوری و دانش آزادانه در سراسر مرزها جریان یافته و به چالش‌های فوری قرن بیست‌ویکم پاسخ می‌دهد.

چارچوب مقرراتی

با ادامه توسعه و نفوذ نانوفناوری در صنایع مختلف، نیاز به چارچوب‌های مقرراتی قوی برای تضمین توسعه، تجاری‌سازی و استفاده ایمن آن حیاتی شده است. نانوفناوری پتانسیل زیادی برای تحول بخش‌هایی مانند بهداشت، انرژی، تولید و الکترونیک دارد، اما ویژگی‌های نوآورانه آن ریسک‌های منحصربه‌فردی برای سلامت انسان و محیط زیست ایجاد می‌کند. سازمان‌های نظارتی جهانی در تلاش برای تدوین مقررات متعادل میان نوآوری و ایمنی هستند. با توجه به پیشرفت سریع نانوفناوری، ضروری است که دولت‌ها و سازمان‌های بین‌المللی دستورالعمل‌های روشنی ایجاد کنند که همزمان با پیشرفت علمی به مسائل سم‌شناسی، تأثیرات محیطی و مباحث اخلاقی پاسخ دهد.

سرمایه‌گذاری و تجاری‌سازی روزافزون نانوذرات و نانومواد نیازمند ایجاد چارچوب‌های مقرراتی برای مدیریت مسائل زیست‌محیطی، بهداشتی و ایمنی است. در آمریکا، سازمان غذا و دارو (FDA) وظیفه نظارت بر نانوفناوری در کاربردهای پزشکی را بر عهده دارد، در حالی که صنایع دیگر نیازمند نظارت‌های دقیق‌تری هستند. سازمان‌های بین‌المللی مانند OECD و شورای حکمرانی بین‌المللی ریسک نقش مهمی در تدوین معیارهای ارزیابی ریسک نانوفناوری و مشارکت عمومی دارند تا تضمین کنند که پیشرفت نانوفناوری با ایمنی و پایداری همراه است.

در کشورهای توسعه‌یافته مانند آمریکا، اتحادیه اروپا و ژاپن، چارچوب‌های مقرراتی نسبتاً پیشرفته‌تر و در حال تحول وجود دارد. در آمریکا، FDA و آژانس حفاظت محیط زیست (EPA) بر ایمنی نانومواد نظارت می‌کنند، اگرچه قانون جامعی برای نانوفناوری وجود ندارد و چارچوب‌های فعلی پراکنده‌اند. در اتحادیه اروپا، آژانس شیمی اروپا و سازمان ایمنی غذایی اروپا نظارت بر نانومواد، به‌ویژه در زمینه ایمنی مصرف‌کننده و تأثیرات محیطی دارند و مقررات REACH تضمین‌کننده ارزیابی ایمنی نانومواد پیش از ورود به بازار است. در ژاپن، وزارت اقتصاد، تجارت و صنعت نقش اصلی را در ایمنی نانوفناوری ایفا کرده و تلاش می‌کند مقررات را به گونه‌ای تعدیل کند که نوآوری را تشویق و ایمنی عمومی را تأمین نماید.

در کشورهای در حال توسعه، چارچوب مقرراتی کمتر توسعه یافته و متنوع‌تر است. کشورهایمانند هند، برزیل و آفریقای جنوبی اهمیت تنظیم نانومواد را درک کرده‌اند اما معمولاً فاقد چارچوب جامع هستند. در هند، وزارت زیست‌فناوری و وزارت محیط زیست در زمینه مقررات نانوفناوری فعالند لیکن قوانین اختصاصی وجود ندارد و نانومواد معمولاً تحت مقررات ایمنی شیمیایی بررسی می‌شوند. در برزیل، سازمان ملی نظارت بهداشتی مسئول تنظیم نانومواد در محصولات مرتبط با سلامت است اما ایجاد روش‌های استاندارد ارزیابی ایمنی هنوز چالش دارد. در آفریقای جنوبی، دولت بر افزایش آگاهی عمومی و توسعه

پروتکل‌های ایمنی تمرکز کرده بویژه در معدن و کشاورزی. با گسترش تحقیقات و صنعت نانوفناوری در این کشورها، نیاز به استراتژی‌های قانونی شفاف و انسجام یافته که ایمنی و اخلاق را پوشش دهد و نوآوری را نیز ترویج کند، رو به افزایش است.

با توجه به ماهیت جهانی تحقیق و تجاری‌سازی نانوفناوری، ضرورت همکاری‌های بین‌المللی برای ایجاد استانداردهای هماهنگ و یکپارچه مقرراتی به خوبی احساس می‌شود. سازمان‌هایی مانند OECD و سازمان بین‌المللی استانداردسازی برای تدوین دستورالعمل‌ها و استانداردهای ایمنی نانومواد فعالیت می‌کنند. همسان‌سازی مقررات در سطح بین‌المللی برای تسهیل تجارت، تضمین پروتکل‌های ایمنی یکنواخت و جلوگیری از شکاف‌های قانونی ضروری است. همچنین، با افزایش نفوذ نانوفناوری در محصولات مصرفی و بهداشت، مباحث اخلاقی مانند حفظ حریم خصوصی، دسترسی و توزیع عادلانه باید مورد توجه قرار گیرد. آینده تنظیم مقررات نانوفناوری نیازمند رویکردی پویا و سازگار با پیشرفت‌های علمی و همچنین تقویت همکاری‌های جهانی برای به حداکثر رساندن بهره‌مندی‌ها و کاهش ریسک‌ها است.

جمع بندی

نانوفناوری به حوزه‌ای چندوجهی با کاربردهای گسترده در صنایع مختلف از جمله انرژی، الکترونیک، بهداشت و کالاهای مصرفی تبدیل شده است. تأثیر اقتصادی نانوفناوری با نوآوری مستمر، همکاری جهانی و حمایت‌های دولتی در حال گسترش است. تا سال ۲۰۲۴، نانوفناوری سهمی قابل توجه در اقتصاد جهانی داشته است که چین در صدر در درخواست‌های ثبت اختراع و مقالات علمی قرار دارد و پس از آن آمریکا، ژاپن و جمهوری کره قرار دارند. با پیشرفت این رشته، سرمایه‌گذاری بیشتر در حوزه‌های پژوهش، توسعه نیروی کار و ساختارهای مقرراتی برای تضمین رشد پایدار و ورود آن به بخش‌های متنوع ضروری خواهد بود. آینده نانوفناوری متکی بر سرمایه‌گذاری پیوسته بخش‌های عمومی و خصوصی و همکاری‌های بین‌المللی برای مقابله با چالش‌های ایمنی، مقررات و تجاری‌سازی است. با تشدید رقابت جهانی در نانوفناوری، کشورها و شرکت‌ها باید به سرعت خود را با محیط متغیر وفق داده تا جایگاه رقابتی خود را حفظ کنند.

دولت‌ها نقش حیاتی در تقویت نوآوری نانوفناوری دارند که پتانسیل قابل توجهی برای رشد اقتصادی پایدار دارد. از طریق تأمین مالی هدفمند، چارچوب‌های سیاستی و ابتکارات استراتژیک، دولت‌ها می‌توانند رشد فناوری تحول‌آفرین را حمایت کنند تا از مزایای آن در بخش‌هایی مانند بهداشت، انرژی، کشاورزی و تولید بهره‌مند شوند. برنامه‌های دولتی علاوه بر حمایت مالی اولیه برای پژوهش و توسعه، به کاهش ریسک‌ها و هدایت استفاده مسئولانه از نانومواد کمک می‌کنند. این تلاش‌ها می‌توانند بستر اکوسیستم نوآوری را فراهم کنند که هم پیشرفت فناوری و هم شکوفایی اقتصادی بلندمدت را ترویج می‌دهد.

یکی از جنبه‌های کلیدی ابتکارات دولتی، ایجاد مشارکت‌های بخش عمومی و خصوصی است. این همکاری‌ها به دولت‌ها اجازه می‌دهد تا از تخصص، منابع و دسترسی بازار بخش خصوصی بهره ببرند و در عین حال اطمینان حاصل کنند که نوآوری‌ها با ایمنی عمومی و استانداردهای مقرراتی هماهنگ است. در نانوفناوری، مشارکت‌های عمومی-خصوصی می‌توانند ترجمه پژوهش‌ها از آزمایشگاه به تجاری‌سازی را تسریع کرده و توسعه محصولات نانو را برای کاربردهای صنعتی و مصرفی ممکن سازند. برای مثال، برنامه‌های سرمایه‌گذاری دولتی برای شرکت‌های کوچک و متوسط در حوزه نانوفناوری، به آن‌ها امکان نوآوری و گسترش سریع‌تر را می‌دهد که به ایجاد شغل و رشد اقتصادی پایدار کمک می‌کند.

برای اینکه نانوفناوری توسعه پایدار را پیش ببرد، دولت‌ها باید بر آموزش و توسعه نیروی کار تمرکز کنند تا نیروی کاری ماهر و متخصص در زمینه‌های علم مواد، فیزیک، مهندسی و زیست‌شناسی ایجاد کنند. حمایت از آموزش‌های STEM و برنامه‌های تخصصی می‌تواند روند تحقیق و تجاری‌سازی را تسریع کند. همچنین توسعه همکاری‌های آموزشی میان دانشگاه‌ها، مؤسسات پژوهشی و صنایع تضمین می‌کند که نیروی کار برای چالش‌های فناوری‌های نوظهور مجهز باشد.

برای تضمین پایداری نوآوری نانوفناوری، دولت‌ها باید چارچوب‌های مقرراتی محکمی ایجاد کنند که رشد اقتصادی را با حفظ ایمنی محیطی و بهداشتی تعادل بخشد. نظارت مقرراتی برای جلوگیری از خطرهای احتمالی ناشی از سمیت نانومواد و تأثیرات زیست‌محیطی آن‌ها ضروری است. سیاست‌هایی که نوآوری را تشویق و راهنمایی‌های واضح برای استفاده ایمن از نانومواد ارائه می‌دهند، باید اجرا شوند تا اعتماد عمومی به این فناوری‌ها حفظ شود. همچنین حمایت از پایداری محیطی از طریق نانوفناوری، مانند مواد انرژی‌کارا و فرآیندهای ساخت سبز، می‌تواند تأثیرات مثبت اجتماعی این نوآوری‌ها را افزایش دهد.

نگاهی به آینده، پیشرفت‌های نانوفناوری بیش از پیش به همکاری جهانی و پروژه‌های تحقیقاتی فرامرزی وابسته خواهد بود، زیرا کاربردهای گسترده این فناوری چالش‌ها و فرصت‌های مشترکی برای بسیاری از کشورها به همراه دارد. دولت‌ها باید همکاری بین‌المللی در پژوهش و سیاست‌گذاری را ادامه دهند، استانداردهای مشترک ایجاد کنند و اطمینان حاصل نمایند که نانوفناوری به گونه‌ای توسعه می‌یابد که به نفع همه باشد. تأکید فزاینده بر اهداف توسعه پایدار سازمان ملل، فرصت‌های جدیدی برای نانوفناوری جهت حل مشکلات جهانی مانند انرژی پاک، دسترسی به بهداشت و حفاظت محیط زیست فراهم می‌کند. با همسو کردن سیاست‌های ملی با این اهداف جهانی، دولت‌ها می‌توانند تضمین کنند که نانوفناوری عامل محرک تغییرات مثبت طولانی‌مدت اقتصادی و اجتماعی باقی بماند.



Santa-co.ir



Info@santa-co.ir



۰۲۱-۵۸۱۵۶۱۰۰



خیابان شهید بهشتی، خیابان یکم بخارست،
پلاک ۲۱



صنایع نانوتک آینده