



معماری نوین حکمرانی فناوری‌های نوظهور؛ منطق مداخله هوشمند دولت در شکل‌دهی اکوسیستم‌های فناوری

مهرداد بذریاش^۱

۳۵

دوره ۹، شماره ۴، پیاپی ۳۵
زمستان ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۱۰/۲۱

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۱۲/۲۸

صص: ۴۱۲-۳۹۳

شاپا چاپی: ۴۵۶۵-۲۵۸۸

الکترونیکی: ۳۸۱-۲۷۱۷



چکیده

در دهه پیش‌رو، فناوری از یک موضوع صرفاً علمی به مؤلفه‌ای کلیدی از قدرت اقتصادی، صنعتی و ژئوپلیتیک کشورها تبدیل خواهد شد. نسل جدید فناوری‌های نوظهور، از هوش مصنوعی فیزیکی و مدل‌های شناختی جهان گرفته تا رمزنگاری مبتنی بر شبکه‌های جبری و تخمیر دقیق، همگی فراتر از نوآوری‌های منفرد، زمینه‌ساز شکل‌گیری صنایع، بازارها و زنجیره‌های ارزش جدید هستند. این مقاله مبتنی بر روش توصیفی-تحلیلی و با بهره‌گیری از چارچوب‌های نظری نظام ملی نوآوری، مدل سه‌گانه دانشگاه-صنعت-دولت و رویکرد اکوسیستم صنعتی، تحول در منطق حکمرانی فناوری را تحلیل می‌کند. استدلال اصلی آن است که در عصر فناوری‌های پیچیده و هم‌گرا، نقش دولت از «تولیدکننده فناوری» به «تسهیل‌کننده اکوسیستم فناوری» تغییر یافته است و موفقیت در رقابت فناوری آینده به توانایی کشورها در ایجاد پیوند میان پژوهش، تولید، بازار و تنظیم‌گری وابسته است. این پژوهش با بررسی تجارب کشورهای پیشرو و تحلیل الزامات حکمرانی برای کشور ایران، راهبرد مرحله‌ای مبتنی بر مزیت‌های نسبی را به‌عنوان مسیری واقع‌بینانه برای مشارکت در اقتصاد فناوری آینده پیشنهاد می‌کند.

کلیدواژه‌ها: حکمرانی فناوری، فناوری‌های نوظهور، اکوسیستم نوآوری، سیاست صنعتی، هوش مصنوعی

فیزیکی، نظام ملی نوآوری.

۱. استادیار گروه مدیریت رسانه، دانشکده ارتباطات و رسانه، دانشگاه صدا و سیما، تهران، ایران (نویسنده مسئول)

مقدمه

فناوری در دهه‌های اخیر نقشی فزاینده در تحول اقتصاد و جامعه ایفا کرده است، اما آنچه دوران کنونی را از دوره‌های پیشین متمایز می‌سازد، نه صرفاً سرعت پیشرفت علمی، بلکه دگرگونی بنیادین در ماهیت فناوری‌ها و منطق حاکم بر توسعه و کاربرد آنهاست. فناوری امروز دیگر یک ابزار افزایش بهره‌وری یا موضوعی صرفاً علمی نیست؛ بلکه به یکی از مؤلفه‌های اصلی قدرت اقتصادی، صنعتی و ژئوپلیتیک کشورها تبدیل شده است (OECD, 2025a; European Commission, 2025). روند فناوری‌های نوظهور نشان می‌دهد که رقابت آینده بر سر توانایی کشورها در تبدیل نوآوری به ظرفیت تولید، زنجیره ارزش و مزیت صنعتی شکل خواهد گرفت. در این شرایط، منطق سستی حکمرانی فناوری که عمدتاً بر حمایت از پژوهش و توسعه علمی متمرکز بود، نیازمند بازتعریف اساسی است (OECD, 2024). موفقیت در اقتصاد فناوری آینده به توانایی ایجاد اکوسیستم‌های فناورانه، پیوند میان دولت، صنعت و دانشگاه و شکل‌دهی زیرساخت‌های لازم برای تجاری‌سازی و مقیاس‌پذیری وابسته خواهد بود (OECD, 2025b; Etzkowitz & Leydesdorff, 2000). نظام‌های نوآوری ملی در کشورهای صنعتی و به‌طور فزاینده در کشورهای تازه‌توسعه‌یافته به‌عنوان چارچوبی نظام‌مند برای تدوین سیاست فناوری مورد توجه قرار گرفته‌اند (OECD, 2025a). این چارچوب نشان می‌دهد که نوآوری نتیجه تعامل شبکه‌ای از بازیگران شامل دانشگاه‌ها، صنایع، دولت و نهادهای مالی است و موفقیت فناورانه زمانی حاصل می‌شود که این بازیگران در یک نظام هماهنگ و منسجم عمل کنند (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000). با این حال، پیچیدگی روزافزون فناوری‌های نوظهور و هم‌گرایی حوزه‌های مختلف علمی و صنعتی، ضرورت بازنگری در این چارچوب‌ها را نیز افزایش داده است (OECD, 2025b). این مقاله در پی پاسخ به این پرسش اساسی است که در عصر فناوری‌های پیچیده و هم‌گرا، چه منطقی بر حکمرانی فناوری حاکم باید باشد و دولت‌ها چگونه می‌توانند با مداخله‌ای هوشمندانه به شکل‌دهی اکوسیستم‌های فناوری بپردازند. برای پاسخ به این پرسش، ابتدا ماهیت نسل جدید فناوری‌های نوظهور و ویژگی‌های متمایز آنها بررسی می‌شود. سپس تحول در منطق حکمرانی فناوری و گذار از رویکردهای سستی به رویکردهای اکوسیستم‌محور تحلیل می‌گردد. در ادامه، هوش مصنوعی فیزیکی به‌عنوان نمونه‌ای عینی از تجلی پارادایم جدید فناوری و صنعت مورد

مطالعه قرار می‌گیرد. در نهایت، الزامات حکمرانی در پیش‌برد فناوری‌های راهبردی و راهبرد نقش‌آفرینی کشور در زنجیره ارزش فناوری‌های آینده ارائه می‌شود.

پیشینه تحقیق و مبانی نظری

پیشینه تحقیق

هاشمی و غمامی (۱۴۰۴) در پژوهشی مطرح می‌کنند هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء، رایانش ابری، زنجیره بلوکی، رباتیک، واقعیت مجازی و افزوده، رایانش کوانتومی و... روزبه‌روز در سراسر جهان در حال گسترش است. تحولات سریع فناوری و تطورات الگوهای کسب‌وکار نوین، به‌ویژه در فضای دیجیتال، توسعه روزافزون فناوری‌های تخریب‌گر، غیرملموس بودن، پویایی و تغییر دائمی فضا، تحقق حاکمیت و اصول و قواعد حکمرانی به شکل مرسوم و سنتی آن را ناممکن کرده است. در چنین فضایی نمی‌توان به فرایندهای تقنین و اعمال قانون از طرق قضایی مطابق نظام تفکیک قوای سنتی و شکلی اتکای چندانی کرد. از سوی دیگر، تشکیل شوراهای و کمیسیون‌های متشکل از بخش‌های دولتی، بدون توجه کافی به ارتقاء فرهنگ حقوقی، حاکمیت قواعد و هنجارهای ماهوی، شفافیت و مسئولیت‌پذیری کنشگران این زیست‌بوم وضعیت مذکور را پیچیده‌تر کرده است. نظام‌های حکمرانی با استفاده از الگوها و سازوکارهای جدید تنظیم‌گری و با ابزارهای متنوع آن، از سویی به دنبال حداکثرسازی توسعه این فناوری‌ها و از سوی دیگر حفظ و تضمین حقوق شهروندان و کنترل مخاطرات آن‌ها هستند. این مقاله با اتخاذ روش توصیفی تحلیلی، در پی پاسخ به این پرسش است که چالش‌های حقوقی نظام تنظیم‌گری فناوری‌های نوظهور مجازی در ایران چیست؟ برون‌داد پژوهش نمایان‌گر این است که تنظیم‌گری فناوری‌های جدید ایران غیرساختارمند، جزیره‌ای، نامنسجم و ناهماهنگ است، که از سویی ریشه در فقدان جایگاه مناسب برای تنظیم‌گران در نظام حکمرانی دارد، و از دیگر سو ناشی از محدودیت کسب‌وکارهای حوزه فناوری در دسترسی به اطلاعات، فقدان قوانین جامع حفاظت از داده‌ها و فقدان حمایت حقوقی از مالکیت فکری و هوش مصنوعی است. ازاین‌رو، تغییر چیدمان و آرایش نظام حقوقی از حیث قواعد، ساختارها، رویه‌ها و ابزارهای تنظیمی، از مهم‌ترین الزامات حقوقی پیش‌روی نظام تنظیم‌گری فناوری‌های نوظهور مجازی در ایران است.

نادری و همکاران (۱۴۰۴) در پژوهشی مطرح می‌کنند ظهور پرشتاب فناوری‌های مالی و دگرگونی‌های بنیادین در اکوسیستم خدمات مالی، پارادایم‌های سنتی تنظیم‌گری را با معضل همگامی مواجه ساخته است؛ وضعیتی که در آن سرعت نوآوری‌های فناورانه از ظرفیت‌های نهادی قانون‌گذاری و نظارت پیشی گرفته و زمینه‌ساز بروز ریسک‌های سیستمی نوظهور می‌شود. در چنین شرایطی، اتکای صرف به رویکردهای واکنشی و پسینی سیاست‌گذاری، کارایی لازم برای مدیریت آینده‌های نامطمئن را ندارد. از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف تبیین نقش راهبردی آینده‌پژوهی در گذار از حکمرانی واکنشی به حکمرانی پیش‌دستانه در حوزه فناوری‌های مالی انجام شده است. بدین منظور، پژوهش حاضر در دو مرحله انجام شد: در مرحله نخست، با استفاده از روش فراترکیب بر روی ۳۸ مقاله منتخب از پایگاه Web of Science، چارچوب نظری اولیه استخراج گردید. در مرحله دوم، این چارچوب به‌عنوان مبنایی برای تحلیل مضمون جهت‌دار بر روی ۱۰ گزارش سیاستی از نهادهای مرجع جهانی به‌عنوان داده‌های میدانی مورد استفاده قرار گرفت تا دلالت‌های سیاستی دقیق‌تری استخراج شود. یافته‌های پژوهش در سه محور اصلی سازمان‌دهی شدند. نخست، شناسایی یک گذار روش‌شناختی در آینده‌پژوهی فین‌تک از پیش‌بینی نقطه‌ای به سمت پارادایم تاب‌آوری و تست استرس برای مدیریت عدم قطعیت. دوم، شناسایی کلان‌روندهای شکل‌دهنده آینده نظام مالی، به‌ویژه گذار به هوش مصنوعی عامل‌گرا و استقرار زیرساخت‌های دفتر کل یکپارچه برای ادغام دارایی‌های دیجیتال. سوم، تبیین مکانیزم‌های حکمرانی تطبیقی شامل گذار از نقش ناظر کلاسیک به معمار زیست‌بوم و استفاده از ابزارهایی نظیر رژیم‌های پیشگامانه و نظارت هوشمند. در نهایت، پژوهش با ارائه یک مدل مفهومی از چرخه سیاست‌گذاری مبتنی بر آینده‌پژوهی نشان می‌دهد که چگونه فرآیندهای حسگری، تفسیر و اقدام می‌توانند به‌صورت پیوسته و یادگیرنده، زمینه‌ساز برقراری تعادلی پایدار میان تشویق نوآوری‌های فناورانه و حفظ ثبات مالی شوند.

مرادی فر و نصر اصفهانی (۱۴۰۴) مطرح می‌کنند جهان در آستانه ورود به نظم نوین دیجیتالی است که آمریکا دیگر تنها بازیگر اصلی و دولتی آن محسوب نمی‌شود. چین نیز توانست به عنوان یک بازیگر اثرگذار بواسطه رقابت در کسب و توسعه فناوری‌های نوظهور وارد این نظم جدید شود. با این حال بازیگران جدید غیر دولتی نظیر گامام/گافام آمریکا و «بی.اچ.ای.تی.ایکس» چین هم نیز همراه با این نظم جدید وارد نظام بین‌الملل شده‌اند. این مطالعه با هدف ترسیم نظم دیجیتال در حال

شکلگیری و توصیف جایگاه ایران با توجه به پیشرفت فناوریها و ظهور بازیگران جدید صورت گرفته است. در این مطالعه برای شناسایی بازیگران جدید و سیاست فناوری آمریکا و چین در جهت‌دهی به نظم ژئوپلیتیکی جدید از روش توصیفی-تحلیلی استفاده شده است. سیاست‌های فناوری آمریکا و چین و نوع جهان‌بینی انتخابی شرکت‌های فناوری بزرگ منجر به شکلگیری نظم نوینی در بُعد دیجیتال به موازات جهان فیزیکی شده است. به گونه‌ای که با افزایش قدرت گامام و «بی.اچ.ای.تی.ایکس»، نوع جدیدی از حاکمیت در بُعد دیجیتال با کنترل داده‌ها، زیرساخت‌ها و فناوری‌های نوین در حال شکلگیری است که در نتیجه این تغییرات، مفهوم حاکمیت و نظم دیگر تنها در بعد فیزیکی نمود نمی‌یابد. این موضوع می‌تواند به نوبه خود بر روی جایگاه کشورها از جمله ایران اثرگذار و آن را تبدیل به بازیگر فعال یا منفعل در نظام بین‌الملل کند. یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که گامام و «بی.اچ.ای.تی.ایکس» با پیشرفت فزاینده فناوری‌ها بویژه هوش مصنوعی و تغییر جهان‌بینی خود از ملی‌گرایی به عنوان ابزار دولت‌ها به سمت جهانگرایی و آرمان‌شهر فناوری می‌توانند بر روی جایگاه و قدرت آمریکا و چین در آینده اثرگذارند و خود را به عنوان بازیگران ژئوپلیتیکی جدید معرفی کنند.

مصلح و باقری مقدم (۱۴۰۳) مطرح می‌کنند که حکمرانی فناوری در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است و پژوهشگران از آن برای تبیین و توصیف توسعه فناوری استفاده کرده‌اند. هدف این پژوهش تبیین حکمرانی نانوفناوری (تبیین چگونگی مشارکت در حکمرانی فناوری نانو؛ تبیین سازوکار (چگونگی) اداره حکمرانی فناوری نانو و تبیین کارکردهای هدف در حکمرانی نانو) در ایران است. این پژوهش از دید رویکرد، قیاسی و از لحاظ هدف کاربردی و از لحاظ راهبرد پژوهش، مطالعه تک موردی جزءنگر است. برای جمع‌آوری داده از گزارش‌های عملکرد، اسناد سیاستی، مصاحبه نیمه ساختاریافته، پرسشنامه و مشاهده مستقیم و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از تحلیل روند، تحلیل محتوا و آمار توصیفی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که ترتیبات حکمرانی نانو فناوری در ایران بیشتر در «سطح ملی» و با سبک مشارکت «حاکمیت مطلق دولت» و «کورپوریسم» صورت پذیرفته است؛ هم‌چنین در بیش از ۵۰٪ موارد از سازوکار «مبتنی بر بازار» استفاده کرده، تمایل به «تمرکز در قدرت» داشته و در بیش از ۷۰٪ موارد از رویکرد «منعطف در اجرا» برخوردار بوده است؛ هم‌چنین ترتیباتی که «ضمانت اجرایی» داشته است، سهم کمتری را به نسبت ترتیبات بدون ضمانت

اجرا به‌خود اختصاص داده است و کارکردهای «مقبولیت بخشی» و «تأمین و تسهیل منابع» سهم بیشتری را نسبت به دیگر کارکردها در تأثیرپذیری از ترتیبات حکمرانی این حوزه داشته است. دانایی‌فرد (۱۴۰۳) در پژوهشی می‌گوید کشورداری هوشمند مفهومی است که به تزریق فناوری‌های پیشرفته در سه ساحت اصلی اداره یک کشور (حکمرانی، مدیریت دولتی و عملیات اجرایی) می‌پردازد. این نوشته با ارائه چارچوب مفهومی کشورداری هوشمند، روندهای تحول دیجیتال در اداره جامعه را بررسی کرده و تأثیرات فناوری‌هایی نظیر هوش مصنوعی، رایانش ابری، یادگیری ماشین و اینترنت اشیا بر فرایندهای کشورداری را تحلیل می‌کند. حکمرانی هوشمند با تأکید بر خط‌مشی‌گذاری، تنظیم مقررات و تدوین استانداردهای ملی بر مبنای شفافیت، مشارکت شهروندی و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده، نقش مهمی در بهینه‌سازی فرایندهای دولت و افزایش پاسخگویی ایفا می‌کند. مدیریت دولتی هوشمند از طریق خودکارسازی و استفاده از داده‌های کلان در برنامه‌ریزی، سازماندهی، هدایت و کنترل بخش دولتی، کارایی سیستم‌های دولتی را افزایش می‌دهد و تعامل‌پذیری سازمان‌های دولتی را تقویت می‌کند. عملیات اجرایی هوشمند نیز با بهینه‌سازی زیرساخت‌های شهری، حمل‌ونقل هوشمند، مدیریت انرژی و سیستم‌های پایش محیطی، بهره‌وری و پایداری را ارتقا می‌دهد. این نوشته همچنین چالش‌ها و ریسک‌های کشورداری هوشمند نظیر تهدیدات امنیت سایبری، شکاف دیجیتال، مقاومت‌های نهادی و ملاحظات اخلاقی را بررسی کرده و راهبردهایی برای پیاده‌سازی موفق آن ارائه می‌دهد. در نهایت، بر ضرورت یکپارچگی این سه ساحت در قالب یک مدل جامع برای تحقق کشورداری هوشمند تأکید می‌کند.

نسل جدید فناوری‌های نوظهور

فناوری‌های نوظهور را می‌توان موتورهای شکل‌گیری نسل جدید صنایع دانست (NYU DRI, 2025; World Economic Forum & Frontiers, 2026). تحلیل‌های سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (OECD) نیز نشان می‌دهد که هم‌گرایی فناوری‌های نوظهور و رویکردهای اکوسیستمی در سیاست صنعتی، نقشی کلیدی در گسترش منافع علم، فناوری و نوآوری، پیشبرد فناوری‌های مرزی، تقویت تاب‌آوری و کمک به دولت‌ها برای باقی‌ماندن چابک در شرایط نامطمئن ایفا می‌کند (OECD, 2025a; OECD, 2025b).

تحول در منطق حکمرانی فناوری

فناوری‌های راهبردی و روندهای طی‌شده در جهان نشان می‌دهد که منطق توسعه فناوری در حال تغییر اساسی است (NYU DRI, 2025; OECD, 2025a). در الگوی سنتی، قدرت فناورانه عمدتاً با تولید دانش، ظرفیت تحقیق و توسعه و توانایی خلق نوآوری سنجیده می‌شد. اما تجربه سال‌های اخیر در حوزه‌هایی مانند هوش مصنوعی، نیمه‌هادی‌ها، زیست‌فناوری و انرژی‌های نو نشان داده است که فاصله میان توان علمی و قدرت صنعتی به توانایی کشورها در تجاری‌سازی، مقیاس‌پذیری، ایجاد زنجیره ارزش و شکل‌دهی بازار وابسته است (RAND Corporation, 2025; The Diplomat, 2025). فناوری‌های جدید دیگر محصولات منفرد نیستند؛ بلکه مجموعه‌ای از قابلیت‌های به‌هم‌پیوسته در حوزه‌های سخت‌افزار، نرم‌افزار، داده، مواد، زیرساخت و تولید هستند. بنابراین رقابت فناوری از تلاش برای توسعه یک فناوری خاص، به رقابت برای ساخت و مدیریت اکوسیستم‌های فناورانه تغییر یافته است (OECD, 2025b). در واقع، هزینه توسعه بسیاری از فناوری‌های راهبردی به اندازه‌ای افزایش یافته که هیچ بازیگر منفردی، اعم از دولت یا بخش خصوصی، قادر به توسعه مستقل همه اجزای آن نیست. شاید مهم‌ترین نمونه اخیر، وضعیت شرکت‌های فناوری حوزه هوش مصنوعی باشد که با کمبود شدید نقدینگی برای سرمایه‌گذاری آتی و جمع‌آوری سهام خود روبه‌رو هستند (The Korea Times, 2025). به همین دلیل، مزیت رقابتی بیش از گذشته در توانایی هماهنگ‌سازی شبکه‌ای از شرکت‌ها، دانشگاه‌ها، سرمایه‌گذاران و نهادهای تنظیم‌گر شکل می‌گیرد (OECD, 2024; OECD, 2025b). این تحول، نقش دولت و سیاستگذاری فناوری را نیز بازتعریف کرده است. دولت‌ها علاوه بر حمایت از پژوهش و توسعه علمی، به سمت ایجاد زیرساخت، کاهش ریسک سرمایه‌گذاری، توسعه بازارهای اولیه، تدوین استانداردها و هماهنگی میان بازیگران صنعتی حرکت کرده‌اند (OECD, 2024; OECD, 2025a).

نظام ملی نوآوری و مدل سه گانه

برای تحلیل این تحول، دو چارچوب نظری کلیدی قابل طرح است: نظام ملی نوآوری و مدل سه گانه دانشگاه-صنعت-دولت. نظام ملی نوآوری (به عنوان رویکردی نظام مند، چارچوبی مفید برای تدوین سیاست فناوری فراهم می آورد (OECD, 2025a; Etzkowitz & Leydesdorff, 2000). این مفهوم بر این اصل استوار است که نوآوری نتیجه تعامل شبکه‌ای از نهادها و بازیگران شامل دانشگاه‌ها، مؤسسات تحقیقاتی، صنایع، دولت و نهادهای مالی است. کارایی نظام نوآوری به کیفیت ارتباطات و همکاری‌های میان این بازیگران بستگی دارد (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000). در ایران نیز پژوهش‌های متعددی به بررسی چالش‌های سیاست‌گذاری فناوری‌های نوظهور در چارچوب نظام ملی نوآوری پرداخته‌اند (مصلح، ۱۴۰۳؛ منطقی، ۱۳۸۹؛ سلطان‌زاده، ۱۳۹۶).

مدل سه گانه که در دهه ۱۹۹۰ معرفی شد، تعامل میان دانشگاه، صنعت و دولت را نظریه پردازی می‌کند (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000). بر اساس این مدل، نوآوری زمانی شکوفا می‌شود که این سه حوزه در یک رابطه پویا و تعاملی قرار گیرند و نقش‌های سنتی خود را بازتعریف کنند. پژوهش‌های اخیر نشان داده است که مدل چهارگانه با افزودن بعد «عموم» به این مدل، قدرت تبیینی بیشتری در حکمرانی فناوری‌های نوظهور دارد و بر اهمیت دموکراسی در جامعه دانش محور تأکید می‌کند. با این حال، پیچیدگی روزافزون فناوری‌های نوظهور و هم‌گرایی حوزه‌های مختلف، ضرورت حرکت به سوی رویکرد اکوسیستم صنعتی را ایجاب کرده است. رویکرد اکوسیستم صنعتی، همه بازیگران مرتبط با یک فناوری یا محصول خاص، از شرکت‌های بزرگ و کوچک، استارت‌آپ‌ها، تأمین‌کنندگان فناوری، کارگران، شرکای تجاری و سرمایه‌گذاران را شناسایی کرده و روابط میان آن‌ها را مورد توجه قرار می‌دهد (OECD, 2025b).

تجربه چین در حوزه‌هایی مانند انرژی‌های تجدیدپذیر، باتری، خودروهای برقی، مخابرات و هوش مصنوعی نشان داد که مزیت فناوری زمانی به قدرت اقتصادی تبدیل می‌شود که با سیاست صنعتی هوشمند، ظرفیت تولید، زنجیره تامین و بازار داخلی پیوند قدرتمندی برقرار کند (RAND Corporation, 2025; China Government, 2025). برنامه «ساخت چین ۲۰۲۵» که در

1- National Innovation System.

2- Triple Helix.

3- Quadruple Helix.

سال ۲۰۱۵ معرفی شد، دارای نه هدف راهبردی شامل؛ ترویج نوآوری، ترویج تولید یکپارچه با استفاده از فناوری دیجیتال و فناوری پیشرفته، تقویت پایه صنعتی عمومی و ایجاد مشوق‌هایی برای نوآوری‌های بومی و خودکفایی در بخش‌های راهبردی بود (RAND Corporation, 2025). با اجرای این برنامه، چین در حوزه‌هایی مانند خودروهای برقی، پنل‌های خورشیدی و رباتیک صنعتی به جایگاه رهبری جهانی دست یافت و ساختار هزینه‌ها را در سطح جهانی دگرگون کرد و پذیرش این فناوری‌ها را در سراسر جهان تسریع بخشید (China Government, 2025). مرحله بعدی سیاست صنعتی چین بر هوش مصنوعی، رایانش پیشرفته، تولید هوشمند و سبز و بومی‌سازی عمیق‌تر فناوری‌های راهبردی تأکید دارد. در حوزه نیمه‌هادی‌ها، چین با ایجاد «صندوق بزرگ III سرمایه‌گذاری عظیمی در صنعت نیمه‌هادی داخلی انجام داده و به‌طور مشخص هدف خودکفایی را دنبال می‌کند (The Diplomat, 2025). البته تجربه چین نشان داده است که سیاست صنعتی فعال نیز بدون ارزیابی مستمر، رقابت و اصلاح سیاست‌ها می‌تواند به تخصیص غیربهبه منابع و ایجاد ظرفیت‌های مازاد در برخی صنایع منجر شود (RAND Corporation, 2025). بنابراین، موفقیت این رویکرد به کیفیت حکمرانی و سازوکارهای اصلاح سیاست نیز وابسته است.

سایر اقتصادهای بزرگ نیز سیاست‌های فعال‌تری در پیش گرفته‌اند. از حمایت از تولید داخلی نیمه‌هادی‌ها و توسعه زنجیره تامین فناوری‌های حساس در آمریکا و اروپا تا برنامه‌های گسترده برای توسعه رباتیک، هوش مصنوعی و اتوماسیون تولید در کشورهای صنعتی (European Commission, 2025) اتحادیه اروپا با رویکرد «حاکمیت فناوری» و «خودمختاری راهبردی» به دنبال کاهش وابستگی به تأمین‌کنندگان خارجی در حوزه‌های فناوری کلیدی است (European Commission, 2025) سیاست حاکمیت دیجیتال اتحادیه اروپا در پاسخ به سیاست‌های صنعتی دولت‌محور چین و ایالات متحده، از جمله یارانه‌ها و تعرفه‌ها در بخش دیجیتال، شکل گرفته است. رویکرد اروپا بر «تمرکز انسانی» با اولویت‌بندی استانداردهای سختگیرانه برای حفاظت از داده‌ها، حقوق اساسی، ایمنی و امنیت سایبری تأکید دارد (European Commission, 2025). کره جنوبی نیز به‌عنوان یکی از پیشگامان صنعت نیمه‌هادی و فناوری اطلاعات، استراتژی‌های فعالی برای توسعه هوش مصنوعی فیزیکی در پیش گرفته است (Asiae, 2025; The Korea Times, 2025). این روند نشان می‌دهد که رقابت فناوری آینده بیش از آنکه صرفاً بر خلق نوآوری متمرکز

باشد، بر توان دولت‌ها در هدایت سرمایه، ایجاد زیرساخت و حمایت از تبدیل فناوری به ظرفیت صنعتی استوار خواهد بود (Harvard Kennedy School, 2025; OECD, 2025a).

تجلی پارادایم جدید فناوری و صنعت در هوش مصنوعی فیزیکی

هوش مصنوعی فیزیکی امرحله جدیدی از تحول هوش مصنوعی است که در آن قابلیت‌های ادراک، یادگیری و تصمیم‌گیری از فضای دیجیتال به محیط واقعی منتقل می‌شود (Asiae, 2025). (The Korea Times, 2025) در حالی که موج نخست هوش مصنوعی مولد عمدتاً بر پردازش اطلاعات و تولید محتوا متمرکز بود، هوش مصنوعی فیزیکی به ماشین‌ها امکان می‌دهد محیط را درک کنند، شرایط را تحلیل کنند و به صورت مستقل اقدام کنند (The Korea Times, 2025). ربات‌های صنعتی نسل جدید، ربات‌های انسان‌نما، خودروهای خودران، پهپادها و سامانه‌های خودمختار نمونه‌هایی از این نسل فناوری هستند که می‌توانند ساختار تولید، حمل‌ونقل، دفاع و بسیاری از صنایع راهبردی را دگرگون کنند (Asiae, 2025). اهمیت این حوزه در زنجیره گسترده‌ای از فناوری‌ها شامل هوش مصنوعی، رباتیک، نیمه‌هادی‌ها، حسگرها، سیستم‌های کنترل، ارتباطات و تولید پیشرفته نهفته است. به همین دلیل هوش مصنوعی فیزیکی نمونه‌ای روشن از فناوری‌های جدیدی است که ارزش اقتصادی آن‌ها در یک محصول منفرد شکل نمی‌گیرد، بلکه در کل زنجیره ارزش و اکوسیستم مرتبط با آن توزیع می‌شود (OECD, 2025b).

روند سرمایه‌گذاری جهانی و رویکرد دولت‌ها نشان می‌دهد که هوش مصنوعی فیزیکی در حال عبور از مرحله آزمایش‌های فناورانه و ورود به مرحله تجاری‌سازی و مقیاس صنعتی است. معیار موفقیت در توانایی تولید، استقرار در محیط واقعی و ایجاد کاربرد اقتصادی شکل گرفته است. در اجلاس تابستانی ۲۰۲۶ مجمع جهانی اقتصاد در دالیان چین، گزارش «ده فناوری نوظهور ۲۰۲۶» با همکاری مجمع جهانی اقتصاد و انتشارات فرانتیرز منتشر شد (World Economic Forum & Frontiers, 2026). این گزارش، تصویری از جهت‌گیری اقتصاد و صنعت جهانی در سال‌های پیش‌رو ارائه می‌دهد و فناوری‌هایی را معرفی می‌کند که بیش از همه احتمال دارد صنعت، سیاست و جامعه را در پنج سال آینده شکل دهند. این فناوری‌ها بر اساس ظرفیت اثرگذاری اقتصادی، آمادگی

برای تجاری سازی در افق ۳ تا ۱۰ سال و توانایی پاسخ گویی به چالش های کلیدی جهان مانند انرژی، سلامت، امنیت و پایداری انتخاب شده اند. ده فناوری برتر ۲۰۲۶ عبارت اند از: (World Economic Forum & Frontiers, 2026).

Economic Forum & Frontiers, 2026)

حوزه انرژی و زیرساخت: یکپارچه سازی همه منابع انرژی با شبکه برق، امکان ذخیره سازی برق در خودروهای برقی، ساختمان ها و مراکز داده و بازگرداندن آن به شبکه در زمان اوج مصرف. استخراج مستقیم لیتیوم^۱: جایگزینی حوضچه های تبخیر سنتی با سامانه های مهندسی شده که لیتیوم درجه باتری را در عرض چند ساعت از شوره زارها استخراج می کنند. مواد سرمایش تابشی غیرفعال^۲: رنگ ها، فیلم ها، پوشش ها و مصالح ساختمانی که نور خورشید را بازتاب و گرما را بدون مصرف برق دفع می کنند. شکستن مواد پرفلوروآلکیل^۳: روش هایی برای تجزیه «مواد شیمیایی جاودان» به مواد بی خطر طبیعی.

تخمیر دقیق^۴: برنامه ریزی میکروب ها برای تولید پروتئین ها، ترکیبات غذایی، مواد شیمیایی و ترکیبات دارویی در مخازن تخمیر. دارورسانی مبتنی بر اگزوزوم^۵: استفاده از بسته های سلولی طبیعی بدن برای حمل درمان ها به طور دقیق به سلول های بیمار.

واکسن های شخصی سازی شده سرطان مبتنی بر mRNA: واکسن های ساخته شده از نیمرخ تومور بیمار برای آموزش سیستم ایمنی به هدف گیری سلول های سرطانی خاص. شبیه سازی کوانتومی برای کشف دارو^۶: استفاده از رایانش کوانتومی برای مدل سازی رفتار مولکولی و تسریع جستجوی داروهای جدید.

مدل های شناختی جهان^۷: سامانه های هوش مصنوعی پیشرفته که نحوه رفتار جهان فیزیکی را یاد می گیرند و می توانند سناریوهای واقعی را پیش بینی کنند.

- 1 - Direct Lithium Extraction.
- 2 - Passive Radiative Cooling Materials.
- 3 - PFAS Destruction.
- 4 - Precision Fermentation.
- 5 - Exosome Drug Delivery.
- 6 - Quantum Simulation for Drug Discovery.
- 7 - World Models

رمزنگاری مبتنی بر شبکه‌های جبری^۱: رمزنگاری نسل بعدی طراحی شده برای محافظت از داده‌های حساس در برابر رایانه‌های کوانتومی آینده (World Economic Forum & Frontiers, 2026).

وجه مشترک این فناوری‌ها آن است که هر یک فراتر از یک نوآوری منفرد، زمینه‌ساز شکل‌گیری صنایع، بازارها و زنجیره‌های ارزش جدید هستند (World Economic Forum & Frontiers, 2026). این فناوری‌ها را می‌توان در قالب سه روند کلان نیز طبقه‌بندی کرد: گذار انرژی، تحول دیجیتال و انقلاب زیستی. بسیاری از فناوری‌های معرفی شده، اگرچه در ظاهر مستقل به نظر می‌رسند، اما در عمل اجزای مکمل همین سه روند هستند و هم‌گرایی آن‌ها ساختار صنایع آینده را شکل خواهد داد (OECD, 2025b). گزارش مجمع جهانی اقتصاد نشان می‌دهد که پس از سال‌ها توسعه هوش مصنوعی نرم‌افزارمحور، فناوری‌های با تأثیرگذاری عظیم در حال حرکت از صفحه‌نمایش‌ها به سمت سامانه‌های فیزیکی هستند که اقتصادهای مدرن را پشتیبانی می‌کنند: انرژی، پزشکی، غذا و مواد (World Economic Forum & Frontiers, 2026). این گزارش چارچوب جدیدی را حول سه موضوع اقتصادی ترسیم می‌کند: فناوری‌ها در حال غیرمتمرکزتر شدن، شخصی‌سازی شده‌تر شدن و توانایی ارائه خروجی بیشتر با منابع کمتر هستند (World Economic Forum & Frontiers, 2026).

ویژگی‌های متمایز فناوری‌های نسل جدید ویژگی مشترک این فناوری‌ها آن است که هر کدام یک پلتفرم فناورانه هستند که مجموعه‌ای از صنایع، فناوری‌ها و بازیگران را به یکدیگر متصل می‌کنند. توسعه آن‌ها مستلزم هم‌گرایی حوزه‌هایی مانند هوش مصنوعی، علوم مواد، زیست‌فناوری، انرژی، نیمه‌هادی‌ها و سامانه‌های پیشرفته تولید است و ارزش اقتصادی آن‌ها نیز در کل زنجیره ارزش، از مواد اولیه و تجهیزات تا نرم‌افزار، تولید و خدمات، توزیع می‌شود.

کره جنوبی یکی از کشورهای پیشگام در این حوزه است. وزارت علوم و فناوری اطلاعات کره جنوبی در سپتامبر ۲۰۲۵ از تأسیس «اتحاد جهانی هوش مصنوعی فیزیکی» با هدف کسب رهبری جهانی در این حوزه خبر داد (Asiae, 2025). این اتحاد با مشارکت شرکت‌های بزرگی مانند هیوندای موتور، ال‌جی و اچ‌دی هیوندای هوی اینداستریز، به‌عنوان بستر همکاری صنعت، دانشگاه و پژوهش عمل خواهد کرد. اتحاد مذکور در قالب ۱۰ کمیته فرعی در حوزه‌هایی مانند فناوری،

1 - Lattice-based Cryptography.

راه‌حل‌ها، حکمرانی، استعداد و همکاری جهانی سازماندهی شده است (Asiae, 2025). دولت کره جنوبی نیز استقرار و گسترش هوش مصنوعی فیزیکی را به عنوان یک وظیفه سیاست ملی ترویج می‌کند و با وزارتخانه‌های مرتبط مانند وزارت بازرگانی، صنعت و انرژی و وزارت شرکت‌های کوچک و متوسط و استارت‌آپ‌ها سیستم همکاری ایجاد کرده است. این تحول نشان می‌دهد که رقابت آینده در این حوزه میان کشورها و شرکت‌هایی خواهد بود که بتوانند حلقه‌های بیشتری از زنجیره ارزش، از طراحی تراشه و توسعه نرم‌افزار تا تولید تجهیزات، ایجاد بازار و توان دولت در پیشبرد سریع‌تر را در اختیار داشته باشند (OECD, 2025b; The Korea Times, 2025).

نقش بخش دفاعی در توسعه این فناوری‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. سامانه‌های خودران و هوشمند ابتدا در محیط‌هایی با نیازهای عملیاتی بالا توسعه یافته و سپس به کاربردهای صنعتی و تجاری منتقل شده‌اند. این الگوی دوگانه کاربردی که از دوران جنگ سرد در حوزه‌هایی مانند فناوری فضایی و اینترنت مشاهده شد، در عصر هوش مصنوعی فیزیکی نیز تکرار می‌شود (NYU DRI, 2025). پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که هوش مصنوعی به عنوان فناوری دوگانه کاربردی نقشی راهبردی در پیشبرد سامانه‌های دفاعی و فضایی ایفا می‌کند و سیاستگذاران را به تقویت ظرفیت‌های دفاعی و تأمین حاکمیت فناورانه و خودمختاری راهبردی ترغیب می‌کند (NYU DRI, 2025).

هوش مصنوعی فیزیکی یکی از روشن‌ترین نمودهای تغییر پارادایم حکمرانی فناوری است؛ زیرا موفقیت در آن نه صرفاً به توسعه الگوریتم‌ها، بلکه به یکپارچگی نرم‌افزار، سخت‌افزار، نیمه‌هادی‌ها، حسگرها، زیرساخت تولید و بازار وابسته است. به عبارت دیگر، هوش مصنوعی فیزیکی نمونه‌ای از فناوری‌هایی است که در آن‌ها «رقابت فناوری» عملاً به «رقابت اکوسیستم» تبدیل شده است (OECD, 2025b).

الزامات حکمرانی در پیشبرد فناوری‌های راهبردی

فناوری‌های راهبردی نسل جدید، دولت‌ها را با چالشی متفاوت از دوره‌های گذشته مواجه کرده‌اند. پیچیدگی این فناوری‌ها، هزینه بالای توسعه، وابستگی میان حوزه‌های مختلف و سرعت بالای تحول، نشان می‌دهد که سیاست‌های سنتی نوآوری مبتنی بر حمایت از پژوهش به تنهایی نمی‌تواند تضمین‌کننده موفقیت باشد (Nature Reviews Clean Technology, 2025).

(OECD, 2024) چارچوب حکمرانی پیش‌بینی‌کننده برای فناوری‌های نوظهور، پنج عنصر کلیدی را برای حکمرانی مؤثر این فناوری‌ها شناسایی کرده است: ترویج ارزش‌ها در سراسر فرآیند نوآوری، هماهنگی بین بخش‌های مختلف دولت، مشارکت ذی‌نفعان متنوع، ارزیابی مستمر و انطباق‌پذیری سیاست‌ها (OECD, 2024). در حوزه‌هایی مانند هوش مصنوعی، نیمه‌هادی‌ها، رباتیک، زیست‌فناوری و انرژی‌های نو، دولت‌ها ناگزیرند علاوه بر توسعه دانش بر ایجاد زیرساخت، شکل‌دهی بازار، کاهش ریسک سرمایه‌گذاری، توسعه سرمایه انسانی و هماهنگی میان بخش‌های مختلف اقتصادی تمرکز کنند. در این چارچوب، نقش دولت از «تولیدکننده فناوری» به «تسهیل‌کننده اکوسیستم فناوری» تغییر یافته است (OECD, 2025a) دولت بیش از آنکه جایگزین بازار باشد، وظیفه کاهش عدم‌قطبیت، هماهنگ‌سازی بازیگران، ایجاد زیرساخت‌های عمومی و شکل‌دهی تقاضای اولیه را بر عهده دارد و به عبارتی مداخله‌ای هوشمند در جهت تسهیل و تسریع ارتقای جایگاه فناوری انجام می‌دهد (Harvard Kennedy School, 2025; OECD, 2024).

استانداردگذاری، تنظیم‌گری و ایجاد تقاضای اولیه در فناوری‌های نوظهور اهمیت بالایی پیدا کرده است (Nature Reviews Clean Technology, 2025). بسیاری از این فناوری‌ها در مراحل ابتدایی توسعه با عدم قطعیت بالا و ریسک تجاری مواجه‌اند و بدون نقش‌آفرینی دولت ممکن است نتوانند از مرحله آزمایشگاهی با سرعت مناسب به مرحله صنعتی برسند (Harvard Kennedy School, 2025; OECD, 2025a).

سیاست‌ها در مراحل اولیه توسعه فناوری‌های پاک نقش حیاتی در غلبه بر موانع فنی و بازار ایفا می‌کنند. درک چگونگی هم‌ترازی و تکامل عناصر مختلف سیاستی برای حکمرانی مؤثر ضروری است و چارچوب تحلیل سیاست باید بر فرآیندهای سیاستی - یعنی چگونگی توسعه، رقابت و سازگاری ابزارهای سیاستی در طول زمان - تأکید داشته باشد (Nature Reviews Clean Technology, 2025).

با توجه به ماهیت بین‌رشته‌ای و فرابخشی فناوری‌های نوظهور، حکمرانی مؤثر نیازمند هماهنگی بین سطوح مختلف حکمرانی (محلی، ملی و بین‌المللی) و بین بخش‌های مختلف سیاستی (علم و فناوری، صنعت، انرژی، بهداشت، دفاع و آموزش) است (OECD, 2024; OECD, 2025a). پژوهش‌های تطبیقی در حوزه مراکز تعالی علمی در استرالیا و نیوزیلند نشان داده است که ترکیب

مدل سه‌گانه دانشگاه-صنعت-دولت با حکمرانی چندسطحی، چارچوبی مؤثر برای تحلیل ابعاد سیاستی، ساختارهای حکمرانی و فرآیندهای عملیاتی این مراکز فراهم می‌آورد (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000). OECD همچنین بر اهمیت هم‌افزایی بین حوزه‌های سیاستی علم و فناوری و سایر حوزه‌های سیاستی تأکید کرده و هماهنگی بین این حوزه‌ها را برای افزایش کارایی و اثربخشی سیاست‌های نوآوری ضروری می‌داند (OECD, 2025a).

حکمرانی فناوری در ایران

وضعیت موجود و چشم‌انداز در ایران نیز حکمرانی فناوری در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته و پژوهشگران از آن برای تبیین و توصیف توسعه فناوری استفاده کرده‌اند (مصلح، ۱۴۰۳؛ علیزاده، ۱۴۰۲؛ منطقی، ۱۳۸۹). مطالعات متعددی به بررسی ساختار حکمرانی فناوری در ایران، تحلیل چالش‌های نهادی و الزامات سیاستی برای بهبود کارآمدی پرداخته‌اند. بر اساس گزارش بررسی سیاست علم، فناوری و نوآوری سازمان ملل متحد درباره ایران (۲۰۲۶)، ایران در دو دهه گذشته خود را متعهد به توسعه یک نظام ملی نوآوری پویا کرده و به‌طور پیوسته به سوی اقتصادی مبتنی بر دانش و نوآوری حرکت کرده است (UNCTAD, 2026). با این حال، این گزارش توصیه‌هایی برای تقویت حکمرانی نظام نوآوری و رفع موانع سیاستی خاص توسعه علم، فناوری و نوآوری ارائه می‌دهد (UNCTAD, 2026). معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری بر توجه ویژه به فناوری‌های نوظهور تأکید کرده و اعلام داشته که دولت هدایتگر تلاش می‌کند با شکل‌گیری میدان‌ها و خوشه‌های صنعتی، پارک‌های علم و فناوری و صندوق‌ها، ظرفیت شرکت‌های دانش‌بنیان را برای حل چالش‌های ملی و توسعه فناوری‌های نوظهور به‌کار گیرد (معاونت علمی ریاست جمهوری، ۱۴۰۵). حوزه‌های اولویت‌دار کشور در پارادایم جدید شامل هوش مصنوعی، فناوری کوانتوم، امنیت سایبری، میکروالکترونیک، علوم شناختی و زیست‌فناوری است (معاونت علمی ریاست جمهوری، ۱۴۰۵). با این حال، شاخص‌های موجود نشان می‌دهد که سهم فعالیت‌های دانش‌بنیان از تولید ناخالص داخلی کمتر از ۲ درصد، شدت تحقیق و توسعه دولت کمتر از ۰/۵ درصد و رتبه نوآوری ایران در آخرین به‌روزرسانی، ۷۰ در میان ۱۳۹ کشور است (روزنامه جهان صنعت، ۱۴۰۴). این ارقام

نشان می‌دهد که فاصله قابل توجهی با کشورهای پیشرو وجود دارد و نیاز به بازنگری اساسی در سیاست‌های علم، فناوری و نوآوری احساس می‌شود.

راهبرد نقش‌آفرینی کشور در زنجیره ارزش فناوری‌های آینده موید ضرورت بازنگری در اولویت‌بندی فناوری است. تحولات توضیح داده شده به معنای ضرورت بازنگری در شیوه نگاه به فناوری‌های آینده است (مصلح، ۱۴۰۳). تجربه رقابت فناوری در سال‌های اخیر نشان می‌دهد که ورود موفق به حوزه‌های راهبردی نیازمند انتخاب اولویت‌ها، تمرکز منابع و ایجاد پیوند میان ظرفیت‌های علمی، صنعتی و اقتصادی است (OECD, 2025a; OECD, 2025b). تلاش برای توسعه کامل همه اجزای فناوری‌های پیچیده از نقطه صفر، در بسیاری از حوزه‌ها نه اقتصادی و نه امکان‌پذیر است، زیرا برخی فناوری‌ها به زنجیره‌ای گسترده از زیرساخت، سرمایه، دانش تخصصی انباشته و ظرفیت تولید انبوه وابسته‌اند (RAND Corporation, 2025; The Diplomat, 2025). (افزون بر این، محدودیت منابع مالی، تحریم‌های فناوری، مقیاس بازار داخلی و سرعت بالای تغییرات فناورانه، ایجاب می‌کند که انتخاب اولویت‌ها بر مبنای مزیت نسبی و امکان حضور در حلقه‌های مشخص زنجیره ارزش انجام شود، نه بر اساس هدف‌گذاری برای خودکفایی کامل در همه فناوری‌های پیشرفته (منطقی، ۱۳۸۹).

شناسایی حلقه‌هایی که کشور در آن‌ها از مزیت نسبی یا ظرفیت ایجاد مزیت برخوردار است می‌تواند مسیر واقع‌بینانه‌تری برای مشارکت در اقتصاد فناوری آینده ایجاد کند. راهبرد مناسب برای کشورمان می‌تواند اتخاذ یک رویکرد مرحله‌ای در مواجهه با فناوری‌های آینده باشد. گام نخست: بهره‌گیری از ظرفیت مواد اولیه و منابع معدنی در شرایط فعلی یکی از در دسترس‌ترین فرصت‌ها بهره‌گیری از ظرفیت کشور در حوزه مواد اولیه و منابع معدنی مورد نیاز صنایع آینده است. رشد فناوری‌هایی مانند هوش مصنوعی فیزیکی، خودروهای برقی، انرژی‌های نو و زیرساخت‌های دیجیتال، تقاضای جهانی برای موادی مانند مس، عناصر معدنی راهبردی و مواد مورد نیاز تجهیزات پیشرفته را افزایش داده و خواهد داد (NYU DRI, 2025; World Economic Forum & Frontiers, 2026). فرصت‌های پیش روی کشور صرفاً ورود مستقیم به تولید فناوری‌های نهایی نیست و می‌توانیم از طریق حضور هوشمندانه در بازار مواد اولیه حیاتی، استفاده از روندهای جهانی افزایش تقاضا و قیمت و تبدیل مزیت منابع به درآمد، راه را برای سرمایه‌گذاری بیشتر در این حوزه

هموار سازیم. گام دوم: توسعه فرآوری و تولید مواد با ارزش افزوده بالاتر این مسیر می‌تواند با توسعه فرآوری، تولید مواد با ارزش افزوده بالاتر و ایجاد ظرفیت‌های صنعتی مرتبط تکمیل شود. به عنوان مثال، به جای صادرات مواد خام معدنی، می‌توان بر فرآوری و تولید مواد با خلوص بالا برای صنایع نیمه‌هادی، باتری‌سازی و تجهیزات پیشرفته متمرکز شد (RAND Corporation, 2025). گام سوم: حرکت به سوی حوزه‌های پیچیده‌تر حرکت به سمت حوزه‌های پیچیده‌تر مانند نرم‌افزارهای هوش مصنوعی، سامانه‌های هوشمند و کاربردهای صنعتی نیز باید بر پایه همین ظرفیت‌سازی تدریجی و تقویت توانمندی‌های داخلی با حمایت هوشمندانه دولت دنبال شود. پژوهش‌های آینده‌پژوهی در ایران نیز نشان می‌دهد که رویکردهای ساختاریافته برای شناسایی و اولویت‌بندی فناوری‌های با اهمیت راهبردی برای توسعه ملی، می‌تواند مدلی شفاف و قابل تکرار برای هم‌ترازی اولویت‌های ملی علم، فناوری و نوآوری با قابلیت‌های نهادی فراهم آورد.

در نهایت، رقابت فناوری در دهه پیش‌رو بیش از آنکه رقابت بر سر تولید دانش یا ثبت اختراع باشد، رقابت بر سر تسلط بر حلقه‌های کلیدی زنجیره ارزش جهانی خواهد بود (OECD, 2025a; OECD, 2025b). 2025a; OECD, 2025b کشورهایی که بتوانند میان سیاست فناوری، سیاست صنعتی، سرمایه‌گذاری و توسعه بازار پیوندی منسجم برقرار کنند، از فناوری نه فقط به‌عنوان دستاورد علمی، بلکه به‌عنوان منبع قدرت اقتصادی و ژئواکونومیک بهره خواهند برد. سیاست صنعتی از نظر اقتصادی و سیاسی برای گذار سبز ضروری است و قیمت‌گذاری کربن به‌تنهایی کافی نیست (Harvard Kennedy School, 2025). از نظر اقتصادی، سیاست صنعتی به رفع پیامدهای خارجی، عدم‌قطبیت‌ها و مسائل هماهنگی در زمینه کاهش انتشار کربن کمک می‌کند. همان‌طور که در مورد بسیاری از فناوری‌های نوظهور صدق می‌کند، نوآوری‌های سبز مانند سوخت‌های هوانوردی پایدار دارای پیامدهای خارجی مثبت هستند اما با عدم‌قطعیت‌ها و ریسک‌های عمده‌ای همراه‌اند. اصل شرط‌مندی در سیاست صنعتی به این معناست که دولت‌ها در ازای حمایت خود، انتظار بازدهی از صنعت دارند (Harvard Kennedy School, 2025). این اصل می‌تواند در طراحی سیاست‌های حمایتی برای فناوری‌های نوظهور در ایران نیز مورد توجه قرار گیرد تا از تخصیص غیربهبینه منابع جلوگیری شود.

نتیجه‌گیری

تحول در ماهیت فناوری‌های نوظهور و منطق حاکم بر توسعه آن‌ها، دولت‌ها را با چالشی اساسی در بازتعریف نقش و کارکردهای خود در نظام نوآوری مواجه کرده است. نسل جدید فناوری‌ها - از هوش مصنوعی فیزیکی و مدل‌های شناختی جهان گرفته تا رمزنگاری مبتنی بر شبکه‌های جبری و تخمیر دقیق - همگی فراتر از نوآوری‌های منفرد، پلتفرم‌هایی هستند که مجموعه‌ای از صنایع، فناوری‌ها و بازیگران را به یکدیگر متصل می‌کنند. این مقاله نشان داد که در عصر فناوری‌های پیچیده و هم‌گرا، نقش دولت از «تولیدکننده فناوری» به «تسهیل‌کننده اکوسیستم فناوری» تغییر یافته است. موفقیت در رقابت فناوری آینده به توانایی کشورها در ایجاد پیوند میان پژوهش، تولید، بازار و تنظیم‌گری وابسته است. تجربه کشورهای پیشرو - از چین با برنامه «ساخت چین ۲۰۲۵» و سرمایه‌گذاری عظیم در نیمه‌هادی‌ها، تا کره جنوبی با تأسیس «اتحاد جهانی هوش مصنوعی فیزیکی» و اتحادیه اروپا با راهبرد «حاکمیت فناوری» همگی گواه این تحول هستند. چارچوب‌های نظری نظام ملی نوآوری، مدل سه‌گانه دانشگاه-صنعت-دولت و رویکرد اکوسیستم صنعتی، ابزارهای تحلیلی مناسبی برای درک این تحول و طراحی سیاست‌های مؤثر فراهم می‌آورند. با این حال، هیچ یک از این چارچوب‌ها به تنهایی پاسخگوی همه ابعاد پیچیدگی فناوری‌های نوظهور نیست و نیاز به ترکیب و توسعه آن‌ها با توجه به شرایط خاص هر کشور وجود دارد. برای کشور ایران، این تحولات به معنای ضرورت بازنگری اساسی در شیوه نگاه به فناوری‌های آینده و اتخاذ رویکردی مرحله‌ای و واقع‌بینانه است. شناسایی حلقه‌هایی از زنجیره ارزش که کشور در آن‌ها از مزیت نسبی برخوردار است - از مواد اولیه و منابع معدنی گرفته تا فرآوری و تولید مواد با ارزش افزوده بالاتر - می‌تواند مسیری عملی برای مشارکت در اقتصاد فناوری آینده ایجاد کند. در گام بعد، حرکت به سمت حوزه‌های پیچیده‌تر باید بر پایه ظرفیت‌سازی تدریجی و تقویت توانمندی‌های داخلی با حمایت هوشمندانه دولت دنبال شود. در نهایت، رقابت فناوری در دهه پیش‌رو، رقابت بر سر تسلط بر حلقه‌های کلیدی زنجیره ارزش جهانی خواهد بود. کشورهایی که بتوانند میان سیاست فناوری، سیاست صنعتی، سرمایه‌گذاری و توسعه بازار پیوندی منسجم برقرار کنند، از فناوری نه فقط به عنوان دستاورد علمی، بلکه به عنوان منبع قدرت اقتصادی و ژئواکونومیک بهره خواهند برد. این همان معنای واقعی «حکمرانی هوشمند فناوری» در عصر فناوری‌های نوظهور است.

فهرست منابع

- دانایی فرد، حسن (۱۴۰۳). کشورداری هوشمند: درهم تنیدگی حکمرانی ملی، مدیریت بخش دولتی و عملیات اجرایی در پرتو فناوری های جدید، مطالعات مدیریت دولتی ایران، ۷(۲)، ۴۶-۱.
- مرادی فر، سعیده و نصر اصفهانی، علیرضا (۱۴۰۴). تاثیر فناوری های نوظهور بر شکل گیری نظم دیجیتال و جایگاه ایران، دانش حکمرانی، ۳(۶)، ۱۶۳-۱۴۰.
- مصلح، عرفان و باقری مقدم، ناصر (۱۴۰۳). تبیین الگوی حکمرانی فناوری های نوظهور در ایران (مطالعه موردی: فناوری نانو)، حکمرانی متعالی، ۵(۱)، ۱۱۰-۸۳.
- نادری، حامد؛ کریم میان، زهره؛ شهابی تاکامی، سیدجواد و عنایتی هتکه لوئی، حسین (۱۴۰۴). نقش آینده پژوهی در حکمرانی پیش دستانه فناوری های نوظهور با تمرکز بر فناوری های مالی، رهیافت، ۳۵(۴).
- هاشمی، سیدحسین و غمامی، سیدمحمد مهدی (۱۴۰۴). چالش های حقوقی نظام تنظیم گری فناوری های نوظهور مجازی در ایران، پژوهشنامه حقوق اسلامی، ۲۶(۴)، ۱۴۰۸-۱۳۷۳.
- Asiae (2025, September 25). "Physical AI Global Alliance Launched: Industry, Academia, Research, and Government Join Forces." Asiae.co.kr.
- China Government (2025). "China Sets 2025 Auto Sales Target at 32.3 mln Units." english.www.gov.cn.
- Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). "The Dynamics of Innovation: From National Systems and 'Mode 2' to a Triple Helix of University–Industry–Government Relations." *Research Policy*, 29(2), 109-123.
- European Commission (2025). *Strategic Autonomy: Technological Sovereignty, Industrial Capacity and Governance of Critical Infrastructures*. Brussels: European Commission.
- Harvard Kennedy School (2025). "Industrial Policy for the Green Transition." Cambridge, MA: Harvard Kennedy School.
- Nature Reviews Clean Technology (2025). "Policy Mix Analysis for Emerging Technologies." *Nature Reviews Clean Technology*.
- NYU DRI (2025). "Sparking an Industrial Reawakening." NYU Development Research Institute.
- OECD (2024). *Framework for Anticipatory Governance of Emerging Technologies*. Paris: OECD Publishing.
- OECD (2025a). *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2025: Driving Change in a Shifting Landscape*. Paris: OECD Publishing.

- OECD (2025b). "An Ecosystems Approach to Industrial Policy." In OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2025. Paris: OECD Publishing.
- RAND Corporation (2025). "China's Evolving Industrial Policy for AI." Santa Monica: RAND Corporation.
- The Diplomat (2025, November 19). "Semiconductors: China's Industrial Policy Steamroller in Motion." The Diplomat.
- The Korea Times (2025, August 26). "Utopia or Dystopia? Governance, Social Consensus to Shape Future Led by Physical AI." The Korea Times.
- UNCTAD (2026). Science, Technology and Innovation Policy Review: Iran. Geneva: United Nations Conference on Trade and Development.
- World Economic Forum & Frontiers (2026). Top 10 Emerging Technologies of 2026. Geneva: World Economic.