



نشریه علمی - ترویجی



مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری



پایگاه استنادی علوم جهان اسلام



fast-Iran

بنیاد پیشبرد علم و فناوری

- سخن نخست: راهبرد ملی: علوم و فناوری‌های تاب‌آور
- شبکه‌سازی و هم‌افزایی نهادی انجمن‌های علمی
- نقش علم و فناوری در تقویت قدرت ملی و اعتبار جهانی
- آینده نشر علمی در آیین دیدگاه سردبیران
- فرصت‌ها و چالش‌های استفاده از هوش مصنوعی در نوشتن مقالات علمی
- از آزمایشگاه‌های ساده‌ی علوم پایه تا آینده‌ی ثروت و قدرت (بررسی پنج خطای رایج درباره‌ی علوم پایه)
- پروژه‌های علم بزرگ: الگوهای نوین همکاری‌های جهانی در دنیای معاصر
- از شیمی شبکه‌ای تا پزشکی نوین: روایت نوبل شیمی ۲۰۲۵
- چالش‌های محیط‌زیستی تأسیسات نمک‌زدایی آب دریا
- بسترسازی بازیافت ضایعات مواد کامپوزیتی در صنایع ایران
- توسعه پایدار با فتوولتائیک‌های یکپارچه: از فناوری تا حکمرانی پروژه‌ها
- ریاضی، درس زندگی
- انقلاب صنعتی پنجم: پیشران‌ها، روندها و دلالت‌های سیاستی

نشاء علم

نشریه فرهنگ‌سازی و سیاست‌گذاری علم، نوآوری و فناوری
سال شانزدهم، شماره اول - خرداد ماه ۱۴۰۵، قیمت ۱۵۰۰۰ ریال

بِسْمِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

صاحب امتیاز: بنیاد علم و فناوری در ایران
سر دبیر: علی اکبر موسوی موحدی
مدیر مسئول: عباسعلی زالی
مدیر اجرایی: ابوالفضل کیانی بختیاری

هیات تحریریه:

حسین احمدی نوبری، محسن بهرامی، مهدی بهزاد، جعفر توفیقی، غلامرضا حبیبی،
عباسعلی زالی، محمد علی زلفی گل، سعید سهراب پور، عباس شکروی، مجتبی شمس
پور، علی اکبر صوری، نصرت ا.... ضرغام، محمدرضا عارف، محمدمهدی علویان مهر،
محمد فرهادی، مهدی محقق، عباس مصلی نژاد، رضا ملک زاده، حمید میرزاده، جعفر
مهراد، علیرضا نوروزی، صادق واعظ زاده



نشریه نشاء علم، بر اساس مجوز شماره ۱۲۴۹۹۵ مورخ ۹۱/۶/۱۵ وزارت علوم، تحقیقات و فناوری از نخستین شماره دارای اعتبار علمی-ترویجی است.

* فصلنامه «نشاء علم» توسط بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران منتشر می شود.
* هدف از انتشار این فصلنامه، فرهنگ سازی و کمک در راستای سیاست گذاری علم، پژوهش و فناوری، اطلاع رسانی، ترویج علم، کمک به مدیران مراکز تصمیم ساز و تصمیم گیر علمی و همچنین جهت دهی به نخبگان، پژوهشگران و علاقه مندان به نوآوری های علمی، پژوهشی و فناوری در کشور می باشد.
* آرا و نقطه نظرهای مندرج در مقالات و گزارش های منتشر شده در این فصلنامه، لزوماً بازگوکننده رأی و نظر بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران نمی باشد.
* فصلنامه در ویرایش و حذف مطالب آزاد است و مقاله های فرستاده شده به دفتر نشریه، برگردانده نمی شود.
* نشریه نشاء علم از حمایت های معنوی و مادی بنیاد فرهنگی مصلی نژاد سپاسگزار است.
* نشریه نشاء علم از حمایت های معنوی و مادی بنیاد ملی علم ایران تقدیر و تشکر می نماید.

ISSN: X8003539

ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران
مسئول وبگاه: زهرا موسوی موحدی
نشانی: دانشگاه تهران - مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک
تلفکس: ۶۱۱۱۳۳۸۱ (+۹۸۲۱)

<http://fast-iran.ir>
<https://isobc.com>
<http://sciencecultivation.ir>
info@sciencecultivation.ir

وبگاه بنیاد:
وبگاه انجمن:
وبگاه نشریه نشاء علم:
نشانی الکترونیک نشریه نشاء علم:

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
راهبرد ملی: علوم و فناوری‌های تاب‌آور/علی اکبر موسوی موحدی	۱
شبکه‌سازی و هم‌افزایی نهادهی انجمن‌های علمی /مهران حبیبی رضایی، سیدعبدالامیر نبوی، علی اکبر موسوی موحدی	۲
نقش علم و فناوری در تقویت قدرت ملی و اعتبار جهانی/فائزه موسوی موحدی، علی اکبر موسوی موحدی، رضا یوسفی	۱۷
آینده نشر علمی در آیین دیدگاه سردبیران/نرجس ورع، محمدرضا قانع	۲۷
فرصت‌ها و چالش‌های استفاده از هوش مصنوعی در نوشتن مقالات علمی/علی اکبر صبور	۳۶
از آزمایشگاه‌های ساده‌ی علوم‌پایه تا آینده‌ی ثروت و قدرت (بررسی پنج خطای رایج درباره‌ی علوم‌پایه)/محمدرضا تقی‌دخت	۴۷
پروژه های علم بزرگ: الگوهای نوین همکاری های جهانی در دنیای معاصر/فرید نصیری، رضا یوسفی	۵۲
از شیمی شبکه‌ای تا پزشکی نوین: روایت نوبل شیمی ۲۰۲۵/محمد ادیسی، حسین دانشگر	۶۲
چالش‌های محیط‌زیستی تأسیسات نمک‌زدایی آب دریا/اسماعیل پاریزی، صمد حمزه ئی، سیدموسی حسینی	۶۹
بستر سازی بازیافت ضایعات مواد کامپوزیتی در صنایع ایران/رهام رفیعی، فائزه صفایی	۷۸
توسعه پایدار با فتوولتائیک‌های یکپارچه: از فناوری تا حکمرانی پروژه‌ها/مهدی پاک نژاد، سیدفرید قنادپور	۸۸
ریاضی، درس زندگی/هاجر علی‌مراد، زهرا حسینی	۹۵
انقلاب صنعتی پنجم: پیشران‌ها، روندها و دلالت‌های سیاست/مجید برزنونی، جلیل حیدری دهویی، احمد جعفرنژاد چقوشی، مهدی محمدی، ایوب محمدیان	۱۰۴

راهبرد ملی: علوم و فناوری‌های تاب‌آور

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

سخن سردبیر

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت

۲۹ خرداد ۱۴۰۵

تاریخ بازنگری

۲۹ خرداد ۱۴۰۵

تاریخ پذیرش

۲۹ خرداد ۱۴۰۵

تاریخ انتشار

۳۱ خرداد ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:

علوم و فناوری‌های تاب‌آور

سرمایه انسانی

سیاست‌گذاری علمی

علوم پایه و پژوهش‌های

میان‌رشته‌ای

حکمرانی علم و نوآوری

جهان امروز در نقطه عطفی از تحول علمی و فناورانه قرار دارد؛ جایی که توانایی کشورها در توسعه علوم و فناوری‌های تاب‌آور، معیار اصلی قدرت، پایداری و آینده‌سازی آنان محسوب می‌شود. تاب‌آوری دیگر مفهومی صرفاً زیست‌محیطی یا بحران‌محور نیست، بلکه به راهبردی ملی برای مدیریت پیچیدگی‌های علمی، اقتصادی، اجتماعی و مواجهه با عدم قطعیت‌های فزاینده تبدیل شده است. مهم‌ترین اصل این راهبرد آن است که بحران صرفاً پدیده‌ای نامطلوب و تهدیدآمیز تلقی نشود؛ بلکه باید با تکیه بر عقلانیت، دانش و فناوری‌های زیست‌سازگار، آن را به فرصتی برای نوآوری، ایجاد ارزش و تولید محصولات پربازده و مطلوب تبدیل کرد. از این منظر، تاب‌آوری علمی و فناورانه نه تنها ظرفیت کشورها را برای مقابله با بحران‌ها افزایش می‌دهد، بلکه زمینه‌ساز رشد پایدار، استقلال علمی و ساختن آینده‌ای توانمند و امیدبخش خواهد بود. در این چارچوب، سیاست‌گذاری علمی کشور می‌باید بر پایه همگرایی میان علوم پایه، مهندسی، زیست‌فناوری، علوم داده، اقتصاد زیستی و علوم انسانی بازطراحی شود. باین حال، نقطه کانونی این راهبرد، سرمایه انسانی دانا، خلاق و توانمند و با اخلاق است. پرورش نسل جدیدی از دانشمندان و پژوهشگران توانمند در تفکر سیستمی و علوم نوین تاب‌آور و اخلاق‌محور نیاز اداره کشور می‌باشد. از این رو، سرمایه‌گذاری هدفمند در علوم پایه به مفهوم غواصی علمی در نامرئی‌ها زیربنای گسترش دانش راهبردی و فناوری‌های تاب‌آور پیشرفته است. هم‌زمان، توسعه زیرساخت‌های پژوهشی، حمایت پایدار از پژوهش‌های میان‌رشته‌ای و ایجاد مسیرهای شغلی جذاب برای استعدادهای علمی، شرط ضروری جلوگیری از مهاجرت آنها و تقویت زیست‌بوم نوآوری و امنیت ملی کشور است. در حوزه حکمرانی علم، شفافیت در سیاست‌گذاری علمی، پیوند واقعی دانشگاه و صنعت، و نظام عادلانه حمایت، رضایت و نگهداشت استعدادهای علمی می‌باید به عنوان اولویت‌های ملی دنبال شود. آموزش نیروی انسانی شایسته است به گونه‌ای طراحی شود که آموزش تفکر سیستمی، خلاقیت، یادگیری مادام‌العمر و سازگاری با تغییرات و تاب‌آوری را تقویت کند. علوم و فناوری‌های تاب‌آور ضرورتی است که در گرو توجه به انسان دانا، دانش پایه و سرمایه‌گذاری بلندمدت در آینده علم و تحقیقات پیشرو است.

علی اکبر موسوی موحدی

سردبیر

استناد: موسوی موحدی، علی اکبر؛ (۱۴۰۵). سخن نخست: راهبرد ملی: علوم و فناوری‌های تاب‌آور. *نشاء علم*، ۱۶ (۱)، ۱-۱.



ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران

© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

شبکه سازی و هم‌افزایی نهادهای انجمن های علمی

مهران حبیبی رضائی^{۳،۲،۱*}، سیدعبدالامیر نبوی^۴، علی اکبر موسوی موحدی^{۳،۲،۵}

چکیده

در عصر تخصصی شدن علم و ظهور و گسترش مسائل پیچیده و چندرشته‌ای، گذار از فعالیت جزیره‌ای انجمن‌های علمی به‌سوی شبکه‌سازی و هم‌افزایی نهادهای، یک ضرورت راهبردی است. این مقاله با رویکردی تاریخی-تحلیلی به بررسی ریشه‌های شکل‌گیری انجمن‌های علمی در جهان و ایران می‌پردازد و تکوین ساختارهای شبکه‌ای متشکل از انجمن‌های علمی با مفهوم «انجمن انجمن‌ها» را به‌مثابه پاسخی به این ضرورت تبیین می‌کند. تجربه جهانی از شورای بین‌المللی علوم (ISC) و اتحادیه‌های تخصصی مانند IUPAC و FASEB نشان می‌دهد که همگرایی نهادهای، ضمن حفظ استقلال اعضا، ظرفیت حل مسائل پیچیده را فراهم می‌آورد.

در ایران، سیر تحول انجمن‌های علمی از دوره فعالیت دانشگاه جامع گندی شاپور تا نظامیه‌ها و در ادامه از دارالفنون تاکنون، به مرحله‌ای از بلوغ کمی (بالغ بر ۶۰۴ انجمن علمی) رسیده که امروز ضرورت شبکه‌سازی را بیش‌ازپیش آشکار ساخته است. شکل‌گیری شورای انجمن‌های علمی ایران (CISA) و تجربه پیش‌گام اتحادیه انجمن‌های علوم زیستی ایران (FIrBS) به‌عنوان الگوی جدید در ایران و اتحادیه‌های تشکیل‌شده پس از آن به‌عنوان نهادهای غیردولتی، الگویی عملی برای این هم‌افزایی ارائه داده است. این مقاله تأکید می‌کند که شبکه‌سازی نهادهای در قالب سه‌گانه؛ «شورای انجمن‌های علمی (به‌عنوان چتر عمومی)»، «اتحادیه‌های انجمن‌های علمی همگرا» و «انجمن‌های تخصصی»، راهکاری اثربخش برای سازماندهی ساختار علمی و ارتقای آن در کشور است. در این راستا، ارائه تعریف جامع‌و‌مانع هر کدام از سه‌گانه‌های مزبور، تبیین مفهوم وجودی و شرح افتراقی وظایف هر کدام در شبکه موردنظر، مدنظر این مقاله است. در پایان، پیشنهادهایی برای تدوین چارچوب‌های قانونی و تقویت ارتباط با شبکه‌های بین‌المللی ارائه می‌شود تا زیست‌بوم علم ایران به سمت پویایی و اثربخشی بیشتر سوق یابد.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت

۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۵

تاریخ بازنگری

۳۱ اردیبهشت ۱۴۰۵

تاریخ پذیرش

۲ خرداد ۱۴۰۵

تاریخ انتشار

۱۶ خرداد ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:

شبکه‌سازی نهادهای

هم‌افزایی

اتحادیه انجمن‌های علمی ایران

انجمن انجمن‌ها

شورای انجمن‌های علمی ایران

همگرایی

سیاست‌گذاری علم

زیست‌بوم علم ایران

استناد: حبیبی رضائی، مهران؛ نبوی، سیدعبدالامیر؛ موسوی موحدی، علی اکبر؛ (۱۴۰۵). شبکه سازی و هم‌افزایی نهادهای انجمن های علمی. *نشاء علم*، ۱۶، (۱)، ۲-۱۶.



ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران

© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

* عهده‌دار مکاتبات: استناد. تلفن: ۶۱۱۳۲۱۴ (+۹۸۲۱)، دورنگار: ۶۶۹۷۱۹۴۱ (+۹۸۲۱)، آدرس الکترونیکی: mhabibi@ut.ac.ir

^۱ دانشکده زیست‌شناسی، دانشکده‌گان علوم- دانشگاه تهران، تهران، ایران.

^۲ شاخه شیمی، فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران، تهران، ایران

^۳ انجمن بیوشیمی فیزیک ایران

^۴ گروه مطالعات منطقه‌ای، دانشکده حقوق، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۵ مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۱. مقدمه

تخصصی در یک حوزه معین و درعین حال فراگیر در آن حوزه را ترسیم کرد تا ضمن حفظ استقلال نهادهای علمی عضو، از ظرفیت‌های هم‌افزایی حداکثری بهره‌مند شد؟

فرانک گرین‌اوی^۲ در کتاب «علم بین‌المللی: تاریخچه شورای بین‌المللی اتحادیه‌های علمی^۳» با روایت سیر تحول نهادهای علمی بین‌المللی با جزئیاتی کم‌نظیر، شکل‌گیری شورای بین‌المللی اتحادیه‌های علمی (ICSU) و ارتقای آن به شورای بین‌المللی علوم (ISC) را نقطه عطفی در همگرایی علوم طبیعی، اجتماعی و انسانی در یک نهاد چتر جهانی اعلام می‌کند [۲]. در جهت فراهم‌سازی امکان درک بهتر چالش‌های تشکیل و فعالیت اتحادیه‌های علمی تخصصی و تشریح جایگاه و نقش آنها در ساختار همگرایی علمی در سطوح ملی و بین‌المللی، گزارش‌های رسمی منتشرشده توسط (ICSU) [۳] و اسناد اتحادیه‌های تخصصی عضو آن از جمله اتحادیه بین‌المللی علوم زیستی (IUBS) [۵] و اتحادیه بین‌المللی شیمی محض و کاربردی (IUPAC) [۶]، هر کدام متشکل از همراهی و هم‌افزایی انجمن‌های مرتبط و همگرا، منابع ارزشمندی محسوب می‌شوند. برای مثال، این اسناد نشان می‌دهند که چگونه IUBS و IUPAC از همان سال‌های نخستین تأسیس به ترتیب در سال‌های خ ۱۳۹۹/م ۱۹۲۰ و خ ۱۳۰۴/م ۱۹۲۵ به شورای بین‌المللی پژوهش (IRC) پیوستند و پس از تبدیل آن به ICSU در سال خ ۱۳۱۰/م ۱۹۳۱، همکاری خود را با این نهاد چتر ادامه دادند.^۴ در ایران نیز، شکل‌گیری مفاهیم شورای انجمن‌های علمی و اتحادیه‌های انجمن‌های علمی در دهه هشتاد خورشیدی، پاسخی طبیعی به پیچیدگی فزاینده علم و نیازهای چندبعدی جامعه بوده است. این ساختارها برای انجام «امور بین‌انجمنی» و اموری که پرداختن به آنها مستلزم همکاری و هماهنگی فراتر از سطح یک انجمن تخصصی است، تشکیل و فعالیت می‌کنند. این همان شعار محوری این مقاله است که باید به‌عنوان خط قرمز و اصل راهنمای

در عصر انفجار اطلاعات و تخصصی‌شدن فزاینده علوم، نهادهای علمی با چالشی دوگانه مواجه هستند: از یک‌سو، پیشرفت دانش نیازمند تمرکز فزاینده بر حوزه‌های تخصصی است و از سوی دیگر، حل مسائل پیچیده جامعه بشری از تغییرات اقلیمی و بحران انرژی تا چالش‌های اخلاقی فناوری‌های نوظهور، مستلزم نگاهی یکپارچه و میان‌رشته‌ای است [۱]. از این‌رو، در عصر کنونی، گذار از فعالیت جزیره‌ای به هم‌افزایی نهادهای در شبکه همکاری‌های علمی در عین حفظ استقلال انجمن‌های علمی، مؤکداً توصیه می‌شود.

این مقاله می‌کوشد تا با مرور پیشینه تشکیل و فعالیت انجمن‌های علمی در ایران و جهان، با رویکرد تاریخی-تحلیلی، ضرورت شبکه‌سازی نهاد علم در ایران با آموزه سرمایه ارزشمند تجربیات پیشین، بهره‌مندی از ظرفیت‌های ساختاری موجود، شامل شورای انجمن‌های علمی؛ به‌مثابه نهاد چتر^۱ و اتحادیه‌های انجمن‌های علمی با مفهوم انجمن‌ها را تبیین کند. مفهوم محوری که در این نوشتار پی‌گرفته می‌شود، آن است که اتحادیه‌های مزبور تنها در اموری ورود می‌کنند که پرداختن به آنها مستلزم همکاری فراتر از توان و حیطه یک انجمن علمی باشد. این تمایز مفهومی میان وظایف انجمن‌های تخصصی و اتحادیه‌های فراگیر، نه تنها از موازی‌کاری و تداخل وظایف جلوگیری می‌کند، بلکه منطق وجودی این نهادهای فرادست در قالب ضرورت شبکه‌سازی در نهاد علم را نیز مورد تأکید قرار می‌دهد.

پرسش‌های محوری که این مقاله درصدد پاسخ‌گویی به آنهاست عبارت‌اند از: ریشه‌های تاریخی همکاری فرارشته‌ای انجمن‌های علمی چیست؟ تجربه جهانی شبکه‌سازی در نهاد علم در قالب تشکیل اتحادیه‌های علمی یا همان «انجمن انجمن‌ها» چیست و چه درس‌هایی برای ایران دارد؟ چگونه می‌توان مرز میان وظایف انجمن‌های تخصصی و اتحادیه‌های تخصصی انجمن‌های علمی

^۱Umbrella Organization

^۲ Frank Greenaway

^۳ این کتاب که در سال ۱۹۹۶م توسط انتشارات دانشگاه کمبریج منتشر شده، به‌عنوان معتبرترین و جامع‌ترین منبع در زمینه تاریخ نهادهای همگرایی علمی بین‌المللی شناخته می‌شود.

^۴ شایان ذکر است که دانشگاه تهران در سال ۱۳۴۳ با تصویب مجلس شورای ملی (مجلس شورای اسلامی امروز) به عضویت ICSU انتخاب شد. در سال ۱۳۸۲ ICSU فعالیت قاره‌ای را آغاز نمود و در همین سال دانشگاه تهران نماینده خود را در شورای بین‌المللی علم ICSU در آسیا و اقیانوسیه که دفتر مرکزی آن در کولامپور قرار داشت معرفی نمود و با انتخاب نمایندگان کشورهای آسیایی و اقیانوسیه نماینده دانشگاه تهران به‌عنوان یک عضو از شورای علمی-اجرایی ICSU انتخاب شد. در این دوران فعالیت‌های گسترده‌ای انجام و جلسات این شورا در کشورهای گوناگون آسیایی و اقیانوسیه برگزار می‌شد.

آکادمی خود برگزیدند [۸]. این آکادمی که بر اساس منابع تاریخی به‌عنوان نخستین آکادمی علمی جهان شناخته می‌شود، به مطالعه علوم طبیعی و رویکردی مبتنی بر روش‌های تجربی جدید اختصاص داشت. یکی از نخستین اعضای برجسته آن، گالیلئو گالیله^۴ بود که مهم‌ترین آثار علمی او از جمله "تاریخ و برهان‌هایی پیرامون لکه‌های خورشیدی" (ش ۹۹۲/م ۱۶۱۳) و "محک طلا" II Saggiatore (ش ۱۰۰۲/م ۱۶۲۳) توسط این آکادمی منتشر می‌شد [۹]. باین‌حال، این آکادمی و نمونه‌های مشابه آن مانند آکادمی سیمتو^۵ در فلورانس (خ ۱۰۳۶/م ۱۶۵۷)، عمدتاً گروه‌هایی کوچک و وابسته به حامیان و اشخاص خاص بودند و به همین دلیل عمر کوتاهی داشتند و با مرگ حامی یا بنیان‌گذار خود از میان می‌رفتند [۷]. آکادمی لینچی نیز در ش ۱۰۰۹/م ۱۶۳۰ با مرگ حامی آن منحل شد [۸].

گذار از این انجمن‌های ناپایدار، غیررسمی و وابسته به نهادهای علمی پایدار، رسمی و مستقل، با تأسیس انجمن سلطنتی لندن^۶ در انگلستان در ۲۸ نوامبر م ۱۶۶۰ (۱۸ آذر خ ۱۰۳۹) و آکادمی سلطنتی علوم پاریس^۷ در فرانسه در سال خ ۱۰۴۵/م ۱۶۶۶ تحقق یافت. این دو نهاد قدیمی‌ترین انجمن‌های علمی با تداوم حیات تا به امروز محسوب می‌شوند [۱۰]. انجمن سلطنتی لندن، توسط گروهی از دانشمندان در محل کالج گرشام در لندن، برای ترویج یادگیری فیزیک-ریاضی و سایر علوم تجربی بنیان نهاده شد [۱۱]. در ۱۵ ژوئیه م ۱۶۶۲ (۴ تیر خ ۱۰۴۱) منشور سلطنتی^۸ رسمی به این نهاد اعطا شد و نام «انجمن سلطنتی لندن»^۹ را برای آن به ارمغان آورد و منشور دوم در م ۱۶۶۳ (۱۳ اردیبهشت خ ۱۰۴۲) نام آن را به «انجمن سلطنتی لندن برای بهبود دانش طبیعی»^{۱۰} تغییر داد و شاه را به‌عنوان بنیان‌گذار آن معرفی کرد. شعار انجمن مزبور، «بر گفتار هیچ‌کس»^{۱۱} انتخاب شد که بیانگر تعهد این نهاد به کشف حقیقت در مسائل علمی از طریق آزمایش و نه استناد به مرجعیت‌های سنتی است [۱۲] (۴). اگرچه این امر امروزه بدیهی به نظر می‌رسد، اما بنیان فلسفی انجمن سلطنتی با فلسفه‌های پیشین مانند مکتب

فعالیت به‌ویژه «اتحادیه‌های انجمن‌های علمی»، مورد تأکید قرار گیرد. افزایش چشمگیر تعداد «انجمن‌ها» در سال‌های اخیر، از یک‌سو و ظرفیت مفهومی نهادهای علمی غیردولتی شکل‌گرفته در قالب «شورای انجمن‌های علمی ایران» به‌عنوان چتر عمومی انجمن‌های علمی، فارغ از حوزه‌های تخصصی آنها و نیز «اتحادیه‌های انجمن‌های علمی» به‌عنوان انجمن انجمن‌های همگرا و فعال در یک حوزه تخصصی معین، ازسوی دیگر، امکان تحقق امر الزامی، شبکه‌سازی فعالیت انجمن‌های علمی در سلسله‌مراتب شورا، اتحادیه‌ها و انجمن‌ها را فراهم نموده است. بدیهی است این موضوع مرهون ایفای نقش‌های سیاست‌گذاری، تسهیل‌گری و نظارت «کمیسیون‌های انجمن‌های علمی» به‌عنوان نهادهای دولتی، در نظر گرفته می‌شود.

۲. زمینه‌های تاریخی پیدایش انجمن‌های علمی در جهان

پیدایش انجمن‌های علمی به‌عنوان نهادهای سازمان‌یافته همکاری دانشمندان و دانشوران، در تولید و اشاعه دانش، یکی از نقاط عطف در تاریخ علم به شمار می‌رود. این نهادها که امروزه از ستون‌های اصلی جامعه علمی جهانی محسوب می‌شوند، ریشه در تحولات فکری و اجتماعی اروپای قرن هفدهم دارند. جین مابینشن^۱، مورخ و فیلسوف علم دانشگاه ایالتی آریزونا، از علل پیدایش انجمن‌ها در آن دوره، بر فراهم کردن امکان گردهمایی مردم و گفتگو درباره چیزی که در آن زمان پدیده‌ای نوین محسوب می‌شد، یعنی علم یا فلسفه طبیعی، تأکید می‌کند. به باور وی، اعضای این انجمن‌ها می‌خواستند جزئی از جنبشی به‌سوی شیوه‌ای منطقی‌تر از تفکر به شمار آیند و با آخرین تحولات حوزه‌های علمی آشنا باشند [۷].

نخستین گام مستند شده در پیدایش مفهوم اولیه انجمن‌ها، با تأسیس آکادمی ملی لینچی^۲ خ ۹۸۳/م ۱۶۰۳ در رم برداشته شد. مؤسسين این نهاد علمی، نشان سیاه‌گوش (lynx) که نمادی از شور و اشتیاق آنان به علم و میل به دیدن اسرار طبیعت با بینشی به تیزبینی چشم سیاه‌گوش بود را با «شعار تیزبین‌تر از این»^۳، برای

¹Jane Maienschein

²Accademia Nazionale dei Lincei

³Sagacius ista

⁴Galileo Galilei

⁵Accademia del Cimento

⁶Royal Society of London

⁷Académie Royale des Sciences

⁸Royal charter

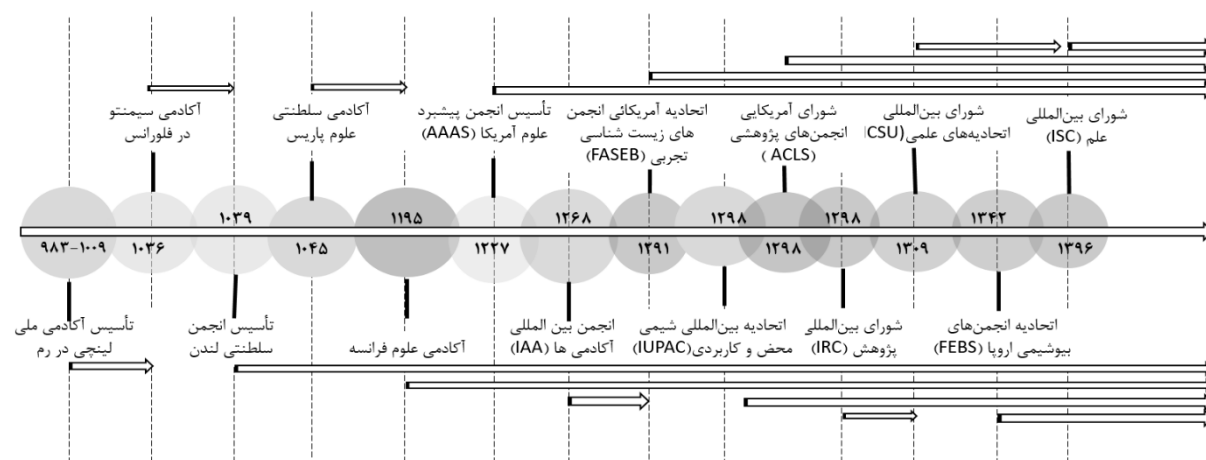
⁹The Royal Society of London

¹⁰The Royal Society of London for Improving Natural Knowledge

¹¹Nullius in Verba

اسکولاستیک^۱ که حقیقت علمی را بر پایه سازگاری با عقاید دینی و استناد به مراجع باستانی مانند ارسطو بنا می‌کردند، تفاوت اساسی داشت. این انجمن در سال خ ۱۰۴۴/م ۱۶۶۵ نخستین شماره مجله Philosophical Transactions را منتشر کرد که امروزه از قدیمی‌ترین نشریات علمی جهان محسوب می‌شود. آکادمی سلطنتی علوم پاریس پس از فرازوفرودهای بسیار از سال ش ۱۱۹۵/م ۱۸۱۶ تحت عنوان آکادمی علوم^۲ و به‌عنوان یکی از پنج آکادمی تشکیل‌دهنده انستیتو فرانسه^۳ همچنان به فعالیت خود ادامه می‌دهد [۱۰].

در تاریخ انجمن‌های علمی، قرن نوزدهم نقطه عطف محسوب می‌شود. در پایان قرن نوزدهم دانشمندانی که عمدتاً در دانشگاه‌ها مستقر بودند، انجمن‌های علمی حرفه‌ای را که به طور خاص بر یک رشته تخصصی متمرکز بودند، ایجاد کردند. این روند تخصصی‌شدن، با رشد علاقه ملی به علم و پیشرفت‌گرایی در آغاز قرن بیستم، شتاب بیشتری گرفت [۷]. نمونه بارز این تحول، تأسیس انجمن پیشبرد علوم آمریکا^۴ (AAAS) در خ ۱۲۲۷/م ۱۳۴۸



۳. تکوین ایده اتحادیه انجمن‌های علمی همگرا در جهان

پس از تثبیت انجمن‌های علمی تخصصی در قرن نوزدهم،

⁴ American Association for the Advancement of Science

۲-۳. گام دوم، دوره بین دو جنگ (ش ۱۳۱۸/م ۱۹۳۹ - ش ۱۲۹۷/م ۱۹۱۸): شورای بین‌المللی پژوهش (IRC^۶)

با پایان جنگ جهانی اول، دانشمندان کشورهای پیروز به رهبری فرانسه و بریتانیا، با همکاری هیئت‌هایی از دوازده کشور متفق، طی سه کنفرانس متوالی طرحی نو برای سازمان‌دهی همکاری‌های علمی بین‌المللی درانداختند و نهاد جدیدی به نام شورای بین‌المللی پژوهش (IRC) را در سال خ ۱۲۹۸/م ۱۹۱۹ تأسیس کردند [۱۶]. هدف این شورا، کنترل روابط بین‌المللی در علم از طریق اتحادیه‌های فرعی برای رشته‌های مختلف علمی بود. چهار مورد از این اتحادیه‌ها در کنفرانس بروکسل تأسیس شدند که IUPS^۷ و IUPAC^۸ از جمله آن‌ها بودند [۱۶]. تا سال خ ۱۳۰۲/م ۱۹۲۳، قدرت‌های مرکزی شکست‌خورده در جنگ جهانی اول (آلمان، اتریش، بلغارستان و بقایای امپراتوری عثمانی) هیچ جایگاهی در ساختارهای جدید IRC و اتحادیه‌های وابسته به آن نداشتند و دانشمندان این کشورها از شرکت در کنگره‌ها محروم بودند. تا اینکه در این سال، زمان پذیرش شیمی دانان آلمانی در IRC و IUPAC فرا رسید. در ادامه، پس از پیمان لوکارنو در سال خ ۱۳۰۳/م ۱۹۲۵ که راه را برای آشتی فرانسه و آلمان و پیوستن همه کشورها از جمله قدرت‌های مرکزی سابق، به جامعه ملل گشود، IRC چاره‌ای جز بازنگری در اساسنامه خود نداشت و این کار را در مجمع عمومی ویژه‌ای در سال خ ۱۳۰۵/م ۱۹۲۶ انجام داد؛ اقدامی که امکان عضویت انجمن‌های سایر کشورها را هموار کرد [۱۶].

محافل علمی جهان مطرح شد. این ایده که بعدها به «اتحادیه انجمن‌های علمی» یا «انجمن انجمن‌ها»^۱ شهرت یافت، ریشه در تلاش‌هایی داشت که از اواخر قرن نوزدهم برای سازماندهی بین‌المللی علم آغاز شد. فرانک گرین‌اوی، در کتاب «علم بین‌الملل: تاریخچه شورای بین‌المللی اتحادیه‌های علمی» (خ ۱۳۷۵/م ۱۹۹۶)، به تفصیل به این سیر تحول پرداخته است [۲]. براین اساس، همگرایی نهادی علم مشتمل بر چهار گام است:

۱-۳. گام نخست (خ ۱۲۹۳/م ۱۹۱۴ - خ ۱۲۷۸/م ۱۸۹۹): شکل‌گیری انجمن (اتحادیه) بین‌المللی آکادمی‌ها (IAA^۲)
زمینه‌سازی برای تشکیل انجمن بین‌المللی آکادمی‌ها به عنوان نخستین کوشش برای ایجاد یک نهاد فرادست بین‌المللی، از چند سال پیش‌تر از سال تأسیس آن در خ ۱۲۶۸/م ۱۸۹۹ آغاز شده بود [۲]. در سال خ ۱۲۷۲/م ۱۸۹۳، چهار آکادمی آلمانی‌زبان (گوتینگن، وین، لایپزیگ و مونیخ)، کارتل (اتحادیه) آکادمی‌ها^۳ را تشکیل دادند که اتحادیه‌ای منطقه‌ای و محدود به آکادمی‌های آلمانی بود [۱۵]. پس از چندین نشست مقدماتی در لایپزیگ (خ ۱۲۷۶/م ۱۸۹۷) و گوتینگن (خ ۱۲۷۷/م ۱۸۹۸)، سرانجام در سال خ ۱۲۶۸/م ۱۸۹۹ در ویسبادن، این اتحادیه باهدف حمایت از پروژه‌های علمی با منافع عمومی و تسهیل تبادلات علمی میان کشورهای عضو و با ابتکار عمل انجمن سلطنتی لندن، با مشارکت ده آکادمی^۴ در دو بخش علوم طبیعی و علوم انسانی تأسیس شد. تا جنگ جهانی اول، اعضای دیگری از ژاپن، سوئیس، اسکاتلند و فنلاند نیز به آن پیوستند^۵. با این حال، جنگ جهانی اول به فعالیت‌های IAA پایان داد [۱۵].

^۱ Society of societies

^۲ International Association of Academies

^۳ Kartell der Akademien

^۴ آکادمی سلطنتی علوم پروس در برلین، انجمن سلطنتی علوم در گوتینگن، انجمن سلطنتی علوم در لایپزیگ، انجمن سلطنتی لندن، آکادمی سلطنتی علوم بایرن در مونیخ، آکادمی علوم انستیتو فرانسه در پاریس، آکادمی علوم امپراتوری در سن‌پترزبورگ، آکادمی ملی لینچی در رم، آکادمی ملی علوم در واشینگتن و آکادمی علوم امپراتوری در وین.

^۵ تا سال ۱۹۱۴/م ۱۲۹۳ اجرای ۳۱ پروژه علمی شامل ۱۹ پروژه در علوم طبیعی، ۱۱ پروژه در علوم انسانی و یک پروژه میان‌رشته‌ای (تصحیح آثار لایبنتس) را تصویب نمود. انجمن بین‌المللی آکادمی‌ها زیرساخت‌های لازم برای تبادل اطلاعات بین‌المللی درباره نتایج سفرهای علمی، تدوین کتاب‌شناسی بین‌المللی ادبیات علمی و برنامه‌ای برای تحقیقات زلزله‌شناسی و زمین‌سنجی را فراهم آورد.

^۶ International Research Council

^۷ International Union of Biological Sciences

^۸ International Union of Pure and Applied Chemistry

۳-۳. گام سوم، دوره تشکیل و فعالیت شورای بین‌المللی اتحادیه‌های علمی (ICSU)

در ژوئیه م ۱۹۳۰ (۱۵ تیر خ ۱۳۰۹) با تضعیف اقتدار IRC، این شورا روندی را آغاز کرد که یک سال بعد به انحلال آن و جایگزینی‌اش با نهاد جدید به نام «شورای بین‌المللی اتحادیه‌های علمی» (ICSU) انجامید. این گذار، بسیار فراتر از یک تعدیل اداری بود و گامی قاطع به سوی شکل‌گیری تشکیلی متشکل از اتحادیه‌های تخصصی خودمختار بود به‌شمار می‌رفت، وضعیتی که ICSU و (اکنون ISC) تا به امروز حفظ کرده‌اند [۱۶].

در سال ش ۱۳۹۶/۲۰۱۸، ICSU و شورای بین‌المللی علوم اجتماعی^۲ (ISSC) با یکدیگر ادغام شدند و شورای بین‌المللی علم^۳ (ISC) را تأسیس کردند. این رویداد، نماد همگرایی نهایی علوم طبیعی، اجتماعی و انسانی در یک «نهاد چتری» بود. ISC یک سازمان غیردولتی جهانی است که نهادهای علمی بین‌المللی، منطقه‌ای و ملی را بر اساس گزارش وبسایت انجمن بین‌المللی دانشگاه‌ها^۴ نمایندگی می‌کند [۱۷]. چشم‌انداز ISC، پیشبرد علم به‌عنوان یک واژه عمومی جهانی^۵ است و مأموریت آن، تبدیل شدن به تأثیرگذارترین و معتبرترین صدای علم در سطح جهان است. در سال خ ۱۳۹۸/۲۰۱۹ مجمع جهانی علم^۶ (WSF) تشکیل شد و طی آن فعالیت اتحادیه‌های علمی در مواجهه با چالش‌های جهانی امروز حیاتی قلمداد شد و بر لزوم کنار هم قرار دادن رشته‌های مختلف برای رویارویی با چالش‌های چندرشته‌ای تأکید شد [۱۸]. به این ترتیب، سیر تحول از انجمن (اتحادیه) بین‌المللی آکادمی‌ها در خ ۱۲۷۸/۱۸۹۹ تا شورای بین‌المللی علوم در خ ۱۳۹۷/۲۰۱۸، نشان‌دهنده پویایی چشمگیر ایده «اتحادیه انجمن‌های علمی» و تطبیق آن با شرایط متغیر ملی، منطقه‌ای و جهانی است. این تجربه تاریخی، درس‌های ارزشمندی برای کشورهای هم‌چون ایران دارد که به دنبال شبکه‌سازی و ایجاد ساختارهای هم‌افزا در میان انجمن‌های علمی خود هستند.

۴. نمونه‌های تطبیقی از اتحادیه‌های انجمن‌های همگرا در یک حوزه کلان

در کنار این تحولات کلان در سطح بین‌المللی، اتحادیه‌های علمی ملی و بین‌المللی متعددی در حوزه‌های علمی خاص شکل گرفتند که هر یک به نوبه خود الگویی از هم‌افزایی میان انجمن‌های علمی تخصصی و همگرا به شمار می‌روند.

۴-۱. اتحادیه آمریکایی انجمن‌های زیست‌شناسی تجربی^۷ (FASEB): این اتحادیه در سال خ ۱۲۹۱/۱۹۱۲، باهدف برگزاری جلسات آموزشی، توسعه انتشارات و عمومی‌سازی نتایج پژوهش‌های زیست‌شناسی، ابتدا توسط سه انجمن مستقل در سطح ملی بنیان‌گذاری شد. آنچه در قالب یک اتحاد کوچک آغاز شد، به‌صورت بزرگترین همراهی و هم‌افزایی پژوهشگران زیست‌پزشکی ملل رشد کرد به‌گونه‌ای که امروزه متجاوز از ۳۰ انجمن علمی و ۱۲۵ هزار پژوهشگر از سرتاسر دنیا را نمایندگی می‌کند. اکنون، FASEB به‌عنوان بازتاب اجتماعی پژوهشگران علوم زیستی و زیست‌پزشکی شناخته می‌شود [۱۹].

۴-۲. اتحادیه بین‌المللی شیمی محض و کاربردی (IUPAC): بر اساس اعلام وبگاه IUPAC، شکل‌گیری این اتحادیه ریشه در اولین تلاش بین‌المللی برای سازماندهی نام‌گذاری شیمی آلی توسط دانشمند آلمانی فردریش ککوله فون استرادونیتز^۸ در سال خ ۱۲۳۹/۱۸۶۰ و برگزاری مجموعه‌ای از نشست‌های بین‌المللی دارد. نتیجه این اقدامات انتشار نخستین نام‌گذاری علمی مواد شیمیایی موسوم به «نام‌گذاری ژنو» در سال ۱۸۹۲ است [۲۰]. این اتحادیه در سال خ ۱۲۹۸/۱۹۱۹، توسط شیمی‌دانانی از صنعت و دانشگاه تشکیل شد که نیاز به استانداردسازی بین‌المللی در شیمی را تشخیص داده بودند. پیش از ایجاد IUPAC، نهاد پیشین آن یعنی انجمن بین‌المللی انجمن‌های شیمی^۹ (IACS) در سال خ ۱۲۹۰/۱۹۱۱ در پاریس تشکیل جلسه داده بود و مجموعه‌ای از طرح‌ها را برای کارهایی که انجمن جدید باید به آن بپردازد، ارائه کرده بود [۲۰]. این طرح‌ها شامل مواردی چون نام‌گذاری شیمی آلی و معدنی، استانداردسازی وزن‌های اتمی، استانداردسازی

^۱ International Council of Scientific Unions

^۲ International Social Science Council

^۳ International Council for Science

^۴ IAU, International Associations of Universities

^۵ Global public good

^۶ World Science Forum

^۷ Federation of American Societies for Experimental Biology

^۸ Friedrich August Kekulé von Stradonitz

^۹ International Association of Chemical Societies

انجمن‌های علمی در ایران، مسیری پرفرازونشیب را پیموده و امروز در مقطعی از بلوغ و تعداد قرار دارند که با رویکرد شبکه‌سازی در نهاد علم، امکان و ضرورت تحقق هماهنگی و هم‌افزایی کلان بین انجمن‌ها را بیش‌ازپیش آشکار می‌سازد.

در ایران «باستان» به معنای دوران پیشامدرن (به‌مثابه پیش از آنچه به‌عنوان شالوده انجمن‌های علمی مدرن یعنی تأسیس آکادمی ملی لینیچی در سال‌های نخست قرن هفده میلادی اشاره شد)، ساختارهایی که کارکرد انجمن علمی داشته باشند وجود داشت، اما معمولاً با نام‌هایی مانند حلقه، مدرسه، دارالعلم و ... شناخته می‌شدند. سابقه انجمن‌های علمی در ایران، ریشه در نهادهایی مانند بیمارستان و مدرسه «گندی‌شاپور» در دوره ساسانی (حدود ۱۷۵۰ سال قبل) به‌عنوان اولین دانشگاه‌های جامع در جهان دارد که کارکردهایی شبیه به مجامع علمی عصر کنونی داشتند. بااین‌حال، این نهادها عمدتاً دولتی، متمرکز و فاقد استقلال رأی و ساختار صنفی بودند [۲۴].

شهر گندی‌شاپور در دوره امپراتوری پادشاه دوم ساسانی، شاپور یکم (۲۷۲-۲۴۰م)، و پس از پیروزی در نخستین نبرد با رومیان، در محل شهر باستانی بیلاب پدید آمد [۲۴]. در دوره شاپور دوم (۳۰۹-۳۷۹م)، در این شهر مدرسه و بیمارستان تأسیس شد. استقرار دانشمندان نسطوری اخراج شده از شهر ادسا توسط رومیان در دانشگاه گندی‌شاپور (۴۸۹م)، انتقال تجربیات و میراث علمی هند به آن توسط ابن‌بوزروئیه در زمان وزارت بزرگمهر در دوره پادشاه بیست‌وسوم ساسانی، خسرو یکم (خسرو انوشیروان، ۵۷۹-۵۳۱م)، و استمرار مهاجرت حکما و دانشمندان رومی به آنجا در دهه ۵۵۰م، فضای بازفکری لازم برای ایجاد تشکلهای علمی را فراهم کرد. در این تشکلهای، مناظره‌ها و هماهنگی‌های علمی میان دانشمندان بین‌المللی در حوزه‌های متنوع علوم زمان صورت می‌گرفت.

اگر چه، پس از فتح ایران توسط مسلمانان (۶۳۸م)، فعالیت‌های دانشگاه گندی‌شاپور رو به افول نهاد، بااین‌حال این دانشگاه برای حدود دو سده دیگر نیز فعال ماند و میراث علمی آن به‌صورت نظام‌مند به جهان اسلام انتقال یافت. به‌گونه‌ای که مأمون (خلیفه عباسی)، در سال خ ۲۱۱/م ۸۳۲ «بیت‌الحکمه» (خانه حکمت) را در

ثابت‌های فیزیکی، تدوین جداول خواص مواد، ایجاد کمیسیون برای بررسی آثار، استانداردسازی قالب‌های انتشارات و اقدامات لازم برای جلوگیری از تکرار مقالات مشابه بود. این اتحادیه امروزه یکی از معتبرترین و اثرگذارترین نهادهای علمی جهان محسوب می‌شود.

۳-۴. **شورای آمریکایی انجمن‌های پژوهشی^۱ (ACLS):** این شورا در پی جنگ جهانی اول و در فضای تلاش دولتمردان اروپایی برای بازسازی پیوندهای بین‌المللی جامعه مدنی شکل گرفت [۲۱]. در بهار خ ۱۲۹۸/م ۱۹۱۹، نمایندگانی از ۱۰ انجمن علمی در پاریس گرد هم آمدند تا اتحادیه بین‌المللی آکادمی‌ها^۲ (UAI) را برنامه‌ریزی کنند. در ۱۹ سپتامبر م ۱۹۱۹، (۲۸ شهریور خ ۱۲۹۸) نمایندگان همان ده انجمن در آکادمی هنر و علوم آمریکا در بوستون گرد آمدند و شورای آمریکایی انجمن‌های پژوهشی (ACLS) را تأسیس کردند. مأموریت این شورا، پیشبرد مطالعات علوم انسانی در همه حوزه‌های علوم انسانی و اجتماعی و حفظ و تقویت انجمن‌های ملی اختصاص‌یافته به این مطالعات بود. این شورا از سال خ ۱۳۰۵/م ۱۹۲۶ شروع به اعطای کمک‌هزینه و گرنت به پژوهشگران کرده است [۲۱].

۴-۴. **اتحادیه انجمن‌های بیوشیمی اروپا^۳ (FEBS):** براساس گزارش مندرج در وبگاه انجمن بیوشیمی و زیست‌شناسی مولکولی فرانسه^۴ (SFBBM)، این اتحادیه رسماً در ۱ ژانویه م ۱۹۶۴ (۱۱ دی خ ۱۳۴۲) تأسیس شد و هدف اولیه آن تسهیل برگزاری نشست‌های درون‌اروپایی در زمینه بیوشیمی بود [۷]. امروزه FEBS یکی از بزرگترین سازمان‌های علمی انجمن‌های همگرا در اروپا در حوزه علوم زیستی مشتمل بر ۳۹ انجمن علمی ملی است که ۳۵۰۰۰ دانشمند در سراسر اروپا را نمایندگی می‌کند [۲۲].

۵. دوره‌های تشکیل و فعالیت انجمن‌ها و مجامع علمی در ایران

برای درک ضرورت شبکه‌سازی انجمن‌های علمی در ایران مبتنی بر ظرفیت‌سازی صورت‌گرفته در قالب سه‌گانه انجمن‌های علمی، اتحادیه‌های انجمن‌های همگرا و شورای انجمن‌های علمی، سیر تحول، کارکردها و چالش‌های این نهادها از بدو پیدایش تاکنون مورد واکاوی قرار می‌گیرد. این بررسی تاریخی نشان می‌دهد که

¹ American Council of Learned Societies

² Union Académique Internationale

³ Federation of European Biochemical Societies

⁴ Société Française de Biochimie et Biologie Moléculaire

در ادامه این مسیر، مراکز علمی متعددی مانند «دارالعلم»^۱ها در مصر و در سال خ ۶۷۹/م ۱۳۰۰، «ربع رشیدی»^۱ به‌عنوان جامع‌ترین شهرک دانشگاهی در سده‌های میانه اسلامی در تبریز به‌عنوان حلقه‌های واسط میان سنت نظامیه‌ها و تحولات دوره قاجار عمل کردند [۲۵]، تا آنکه سرانجام در سال ۱۲۳۰ خورشیدی (۱۸۵۱ میلادی) با همت میرزا تقی‌خان امیرکبیر، «دارالفنون» در تهران به‌عنوان نخستین مؤسسه آموزش عالی و بنیان شکل‌گیری انجمن‌های علمی به سبک نوین در ایران گشایش یافت و پیوندی دوباره میان میراث دیروز و ضرورت‌های امروز برقرار ساخت [۲۴].

در زمان معاصر، تشکیل و فعالیت انجمن‌های علمی در ایران را می‌توان به دوره‌های شش‌گانه به‌شرح زیر دسته‌بندی کرد. گاه‌شمار پیدایش و فعالیت انجمن‌های علمی در قالب دوره‌های مزبور به همراه دو دوره باستان و پیشامدرن در ایران، در شکل ۲ خلاصه شده است.

دوره ششم بلوغ و شبکه سازی	دوره پنجم ساماندهی حقوقی و شکوفایی کمی انجمن‌ها	دوره چهارم بازتعریف و بازنگری در ساختار و مأموریت‌ها	دوره سوم توسعه سازمان یافته علمی	دوره دوم گسترش و تثبیت اولیه	دوره یکم آغاز نهاد سازی علمی مدرن	دوره پیشامدرن دانشگاه	دوره باستان دانشگاه
۱۳۸۰- تاکنون	۱۳۷۰-۱۳۸۰	۱۳۵۷-۱۳۷۰	۱۳۵۷-۱۳۴۰	۱۳۴۰-۱۳۲۰	۱۳۲۰-۱۳۳۰	۶۷۹	۲۸۰-
• تعداد انجمن‌های علمی > ۵۰۰ • تأسیس و فعالیت CICA (۱۳۸۲) • تأسیس و فعالیت FIRBS (۱۳۸۹) • صدور مجوز فعالیت ۱۷ اتحادیه علمی از سال ۱۳۹۰ به بعد	• تعداد انجمن‌های علمی ~ ۱۵۰ • تأسیس و فعالیت انجمن‌های علمی • ایجاد کمیسیون انجمن‌های علمی وزارت عتف (۱۳۶۶) • تصویب چارچوب قانونی تشکیل و فعالیت انجمن‌های علمی توسط شورای عالی انقلاب فرهنگی در سال (۱۳۷۰)	• تصویب «ابین‌نامه تأسیس و فعالیت انجمن‌های علمی» • ایجاد کمیسیون انجمن‌های علمی وزارت عتف (۱۳۶۶) • تصویب چارچوب قانونی تشکیل و فعالیت انجمن‌های علمی توسط شورای عالی انقلاب فرهنگی در سال (۱۳۷۰)	• تأسیس و افزایش شمار دانشگاهها • افزایش شمار انجمن‌های تخصصی بین المللی • شروع برگزاری سمپوزیوم‌های علمی توسط انجمن‌ها	• تأسیس انجمن‌های علمی • انتشار مجلات علمی-تخصصی بین المللی • شروع برگزاری سمپوزیوم‌های علمی توسط انجمن‌ها	• تأسیس دارالفنون (۱۳۳۰) • تشکیل مجامع و انجمن‌های علمی تخصصی • انجمن معارف (با دارالمعلمین مرکزی که بعدها تبدیل به دانشسرای عالی (۱۲۷۶)	• دانشگاه رشیدی نظامیه‌ها بیت الحکمه	• دانشگاه گندی شاپور

شکل ۲) گاه‌شمار دوره‌های هشت‌گانه پیدایش و شبکه‌سازی انجمن‌های علمی در ایران (تاریخ‌های درج شده، هجری- خورشیدی هستند).

شکل‌گیری جامعه علمی ایران انکارناپذیر است. دارالفنون را می‌توان نخستین گام نظام‌مند برای آشنایی ایرانیان با دانش جدید و شکل‌گیری قشر تحصیل‌کرده دانست. هدف اصلی دارالفنون، آموزش علوم و فنون جدید به جوانان ایرانی بود که فعالیت خود را با دعوت از استادان خارجی (به‌ویژه از اتریش) آغاز کرد. دانش‌آموختگان دارالفنون بعدها به‌عنوان پیش‌گامان علوم و فنون جدید در ایران، نقش مهمی در تأسیس نهادهای علمی مدرن، از جمله انجمن‌های علمی، ایفا کردند. پس از تجربه دارالفنون،

دوره نخست) نقطه آغاز: دارالفنون و نهادسازی علمی مدرن (۱۳۳۰-۱۳۲۰) - ریشه‌یابی حیات نهادی علم در ایران معاصر، به‌پیش از تشکیل انجمن‌های علمی به معنای امروزی بازمی‌گردد و بی‌تردید باید آن را در تأسیس دارالفنون به‌عنوان نخستین سازمان آموزش عالی نوین در ایران در دوران ناصرالدین‌شاه قاجار در ششم دی‌ماه ۱۲۳۰ خورشیدی (۱۸۵۱ میلادی)، به ابتکار میرزا تقی‌خان امیرکبیر جستجو کرد. هرچند دارالفنون یک نهاد آموزشی بود و انجمن علمی نبود، بااین‌حال نقش آن در زمینه‌سازی برای

^۱ تأسیس مجموعه دانشگاهی، پژوهشی و خیریه ربع رشیدی، به اهتمام خواجه رشیدالدین فضل‌اله همدانی وزیر دانشمند و تاریخ‌نگار سلطان محمد خدابنده (الجاتو) (خ ۶۹۵/م ۱۳۱۶-خ ۶۸۲/م ۱۳۰۳) در دربار ایلخانی صورت گرفت. این مجموعه پس از اعدام رشیدالدین در سال خ ۶۹۷/م ۱۳۱۸ رو به افول نهاد و غارت شد.

به تدریج زمینه برای تشکیل مجامع و انجمن های علمی تخصصی فراهم آمد. نمونه بارز آن «انجمن معارف» (دارالمعلمین مرکزی که بعدها به دانشسرای عالی تبدیل شد) در سال ۱۲۷۶ است که در گسترش مدارس جدید و تألیف کتب درسی نقش داشت. این نهادها ساختار حقوقی مدونی نداشتند [۲۳].

در جریان شکل گیری نظام آموزش عالی مدرن، در فرایند تأسیس دانشگاه تهران در سال های ۱۳۰۷ الی ۱۳۱۳ و فرهنگستان علوم^۱ در سال ۱۳۱۴، ضرورت گردهم آیی متخصصان و استادان دانشگاهی برای تبادل نظر و پیشبرد مرزهای دانش، به تدریج احساس شد و نخستین انجمن های علمی پا به عرصه وجود نهادند. به گونه ای که در سال ۱۳۱۰ «جمعیت فیزیک و شیمی ایران» توسط جمعی از تحصیل کرده های علوم طبیعی در دانشسرای عالی، شکل گرفت (۵). همچنین در این دوره، انجمن های اولیه در حوزه های دیگر با برگزاری جلسات گفتمان علمی و انتشار مجلات تخصصی آغاز به کار کردند.

دوره دوم) گسترش و تثبیت اولیه (۱۳۴۰-۱۳۲۰) - با گسترش دانشگاه ها و افزایش تعداد دانش آموختگان، انجمن های علمی تخصصی در رشته های مختلف مانند پزشکی، مهندسی، حقوق و علوم پایه شکل گرفتند. از مهمترین آنها کانون مهندسين، مجمع وکلای دادگستری، انجمن های پزشکی و مامائی در اواخر دهه سی شروع به فعالیت نمودند. همچنین در این دوره، تأسیس دانشکده های علوم در دانشگاه ها از جمله تهران، تبریز و اصفهان، زمینه برای تشکیل انجمن های تخصصی علوم از جمله انجمن بیوشیمی ایران در دهه سی را فراهم کرد. در تاریخ ۲۴ بهمن ماه ۱۳۳۶ بیست و یک نفر از دانشگاهیان و کارشناسان دانش بیوشیمی به منظور تشکیل یک انجمن بیوشیمی در دانشگاه تهران گرد هم آمدند. در این گردهمایی پس از تصویب اساسنامه انتخابات هیئت مدیره برگزار شد. در سال خ ۱۳۴۱/م ۱۹۶۲، مجله بیوشیمی ایران (Acta biochimica Iranica) به کوشش دکتر گایک مانوئلی هواکیمیان رئیس وقت انجمن بیوشیمی و سردبیر این مجله

بنیان گذاری شد [۲۶]. نخستین شماره این مجله سه زبانه (فارسی، انگلیسی، فرانسه) در شهریور ۱۳۴۱ در سازمان وقت چاپ انتشارات کیهان به چاپ رسید. با این حال، نظارت و حمایت ساختاری از سوی دولت، به شکل منسجم امروزی وجود نداشت. **دوره سوم) توسعه سازمان یافته علمی (۱۳۵۷-۱۳۴۰) -** در این دوره با اضافه شدن دانشگاه های بیشتر به شمار دانشگاه های کشور از جمله دانشگاه های شیراز، صنعتی شریف، اصفهان، فردوسی مشهد و صنعتی اصفهان، انجمن های دیگر از جمله انجمن های فیزیولوژی-فارماکولوژی (۱۳۴۷)، ریاضی (۱۳۵۰)، فیزیک (۱۳۵۱)^۲، ژنتیک (۱۳۴۵)، زیست شناسی (۱۳۵۲)، اقتصاددانان (۱۳۵۳) شکل گرفتند. این انجمن ها فعالیت خود را با برگزاری سخنرانی های تخصصی و در برخی موارد، انتشار مجلات علمی آغاز کردند. از جمله انجمن ژنتیک ایران تا اسفند ۱۳۵۶ اقدام به برگزاری هفت همایش تخصصی در حوزه ژنتیک نمود که اولین آنها در مهرماه ۱۳۴۹ بوده است [۲۸][۲۷]. همچنین انجمن بیوشیمی ایران در این دوره در مهرماه ۱۳۵۰ اقدام به برگزاری اولین سمپوزیوم بیوشیمی کرد. پنجمین سمپوزیوم بین المللی بیوشیمی ایران توسط این انجمن در ۱۳۵۴ برگزار گردید^۳ (شکل ۳).



شکل ۳) روی جلد کتابچه مقالات اولین سمپوزیوم بیوشیمی ایران (الف) و تمبر یادبود پنجمین سمپوزیوم بیوشیمی ایران (ب) به ترتیب در سال های ۱۳۵۰ و ۱۳۵۴.

^۱ فرهنگستان علوم ایران در ۲۹ اردیبهشت ۱۳۱۴ در ابتدا با نام فرهنگستان ایران با مصوبه هیئت وزرا وقت باهدف حفظ و پالایش زبان فارسی، وضع و نشر واژگان فنی و علمی مناسب به جای واژه های بیگانه، و تقویت هویت ملی از طریق زبان، تأسیس ونخستین جلسه آن در روز دوشنبه ۱۲ خرداد ۱۳۱۴ تشکیل شد.

^۲ دوره نخست انجمن فیزیک ایران در فروردین ۱۳۱۰، با راهنمایی دکتر محمود حسایی، و با هدف بهبود و گسترش دانش فیزیک در ایران با نام اولیه جمعیت فیزیک و شیمی ایران راه اندازی شد و در آزمایشگاه فیزیک دانشسرای عالی آغاز به کار کرد.

^۳ در بیانیه نهایی این سمپوزیوم متشکل از دانشمندان طراز اول جهان از جمله برنده جایزه نوبل؛ فرانسیس کریک (Francis Crick)، پیشنهاد شد، مرکز بین المللی تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک (IBB) در ایران تشکیل شود.

دوره چهارم) بازتعریف و بازنگری در ساختار و مأموریت‌ها

(۱۳۵۷-۱۳۷۰). در ابتدای این دوره، تحولات سیاسی-اجتماعی ناشی از انقلاب اسلامی و جنگ تحمیلی، باعث توقف یا رکود فعالیت بسیاری از انجمن‌های پیش از انقلاب شد. این دوره را می‌توان دوران سکوت و انتظار برای بازآفرینی نهادهای علمی بر اساس ارزش‌های نوین کشور دانست. با پایان جنگ و آغاز دوره سازندگی، زمینه برای احیای سازمان‌یافته انجمن‌ها فراهم شد. در سال ۱۳۶۲ مسئولیت انجمن‌ها و مجامع علمی کشور به وزارت علوم وقت واگذار شد و دفتر همکاری‌های علمی و بین‌المللی، زیر نظر معاونت پژوهشی عهده‌دار امور انجمن‌ها گردید. انجمن شیمی ایران در سال ۱۳۶۳ [۲۴] و انجمن بیوشیمی ایران در تیرماه سال ۱۳۶۶ [۲۶] فعالیت خود را مجدداً شروع کردند. از اقدامات کلیدی در این دوره، تصویب «آیین‌نامه تأسیس و فعالیت انجمن‌های علمی» در وزارت علوم، ایجاد کمیسیون انجمن‌های علمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری در سال ۱۳۶۶، و تصویب چارچوب قانونی تشکیل و فعالیت انجمن‌های علمی توسط شورای عالی انقلاب فرهنگی در سال ۱۳۷۰ بود. بر اساس این مصوبه، صدور مجوز تأسیس، تمدید مجوز و نظارت بر حسن انجام کار انجمن‌های علمی، برعهده وزارتخانه‌های علوم و بهداشت نهاد شد. این رویدادها چارچوب حقوقی و نظارتی فعالیت انجمن‌ها را برای اولین بار به طور رسمی مشخص کرد و منجر به احیا تدریجی فعالیت انجمن‌ها در کشور شد. بدین ترتیب، مهمترین تحول در این دوره، نهادینه شدن ساختار حمایتی و نظارتی انجمن‌های علمی بود و طی آن مسئولیت ساماندهی انجمن‌های علمی کشور در حوزه‌های علوم انسانی، علوم پایه، فنی و مهندسی، کشاورزی و هنر، تحت پوشش وزارت علوم، تحقیقات و فناوری (عتف) و انجمن‌های علمی حوزه پزشکی و علوم وابسته به آن، عمدتاً زیر نظر وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی قرار گرفت.

دوره پنجم) ساماندهی حقوقی و شکوفایی کمی انجمن‌ها

(۱۳۷۰-۱۳۸۰). این دوره با تثبیت جایگاه حقوقی انجمن‌ها، شاهد احیای فعالیت برخی دیگر از انجمن‌ها از جمله زیست‌شناسی (۱۳۷۱) و ژنتیک (۱۳۷۸) و رشد تصاعدی تعداد و فعالیت‌های آن‌ها بودیم. بر اساس آمار مستند وزارت علوم، تعداد انجمن‌های

علمی تحت پوشش این کمیسیون در وزارتخانه مزبور از ۶۲ انجمن در سال ۱۳۷۶ به ۱۵۵ انجمن در سال ۱۳۸۳ افزایش یافت. بدین ترتیب، هم‌زمان با رشد چشمگیر تولیدات علمی کشور، این دوره را می‌توان دوره شکوفایی کمی انجمن‌ها دانست. که طی آن بر تعداد و تنوع انجمن‌های علمی نیز افزوده شد. در این دوره، برخی از این انجمن‌ها در کنار فعالیت‌های آموزشی و پژوهشی در دانشگاه‌ها، نقش‌آفرینی مؤثری در همکاری با نهادهای تبیینی و اجرایی و نیز برقراری پیوند دانشگاه با صنعت و جامعه را در دستور کار خود قرار دادند.

دوره ششم) بلوغ و شبکه‌سازی (تاکنون-۱۳۸۰). انجمن‌های

علمی ایران به‌ویژه در ابتدای این دوره در وضعیتی قرار داشتند که می‌توان آن را «بلوغ کمی توأم با پراکندگی» نامید. بااین‌حال در این دوره، شاهد تلاش‌ها و پیگیری‌های صورت‌گرفته در جهت هماهنگی و شبکه‌سازی هم‌افزایی انجمن‌ها هستیم. در این دوره رشد کمی، با شتاب بیشتری پیگیری شد، به‌گونه‌ای که تعداد انجمن‌ها در وزارت عتف از حدود ۱۵۰ انجمن در ابتدای دهه هشتاد به ۳۲۲ انجمن در سال ۱۳۹۲ و ۳۹۸ انجمن در سال ۱۴۰۵ افزایش یافته است. در همین سال، در وبگاه رسمی وزارت بهداشت (۱) تعداد ۲۰۸ انجمن معرفی شده است. گرچه تعداد قابل‌توجه انجمن‌های علمی ثبت شده (بالغ بر ۶۰۶ انجمن علمی مشتمل بر انجمن‌های وزارت عتف و پزشکی) نشان‌دهنده پویایی جامعه علمی ایران است، درعین‌حال، تخصصی‌شدن نامتعارف و تعدد انجمن‌ها در یک حوزه تخصصی با قریب موضوعی و در بسیاری موارد موانع، نیازمندی‌ها، اهداف و مأموریت‌های مشترک تعداد قابل‌توجهی از انجمن‌ها با هم، ضرورت هماهنگی و هم‌افزایی میان انجمن‌ها به‌ویژه در یک حوزه تخصصی را بیش‌ازپیش آشکار می‌سازد. در این دوره باهدف ایجاد هماهنگی و وحدت رویه میان انجمن‌های علمی ایران، در سال ۱۳۸۱ شورای انجمن‌های علمی ایران^۱ (CISA) به‌عنوان چتر غیردولتی همه انجمن‌های برخوردار از مجوزهای دولتی فارغ از حوزه‌های تخصصی آنها، تأسیس شد. در این دوره همچنین ایده تشکیل اتحادیه‌های علمی در راستای هم‌افزایی علمی و بسترسازی برای تقویت علوم جدید بین‌رشته‌ای و برقراری ارتباط مؤثر میان انجمن‌های علمی حوزه‌های تخصصی، برای اولین بار در حوزه علوم زیستی و علوم پایه پزشکی در

^۱ Council of Iranian Scientific Association

هیئت‌مدیره انجمن بیوشیمی فیزیک ایران در سال ۱۳۸۶ مطرح شد (۲). با این حال، اولین جلسه بررسی پیش‌نویس اساسنامه اتحادیه انجمن‌های علوم زیستی ایران^۱ (FIRBS) در تاریخ پانزدهم بهمن‌ماه ۱۳۸۷ با حضور هشت انجمن مؤسس، برگزار و اساسنامه مزبور در سال ۱۳۸۹ به تصویب کمیسیون انجمن‌های علمی ایران رسید (۳). بدین ترتیب زمینه برای صدور مجوز فعالیت اتحادیه‌های دیگر فراهم شد. در هماهنگی با رویکرد کمیسیون انجمن‌های علمی وزارت عتف مرتبط با تصویب صدور مجوز فعالیت برای اتحادیه‌های انجمن‌های علمی، در بازنگری اساسنامه شورای انجمن‌های علمی ایران در شهریورماه ۱۳۹۲ علاوه بر انجمن‌ها، هماهنگی بین اتحادیه‌های عضو، به اهداف شورا اضافه شد. افزایش چشمگیر تعداد انجمن‌ها در این دوره، از یک‌سو و ظرفیت مفهومی شکل‌گرفته در قالب شورای انجمن‌های علمی ایران به‌عنوان چتر عمومی انجمن‌های علمی فارغ از حوزه‌های تخصصی آنها و نیز اتحادیه‌های انجمن‌های علمی به‌عنوان انجمن انجمن‌های همگرا و فعال در یک حوزه تخصصی معین، ازسوی دیگر، امکان تحقق امر الزامی، شبکه‌سازی فعالیت انجمن‌های علمی در سلسله‌مراتب شورا، اتحادیه‌ها و انجمن‌ها در ایران را، فراهم نموده است.

۱-۵. شورای انجمن‌های علمی ایران^۲ (CISA): باهدف حمایت از انجمن‌های علمی ایران و با پیشنهاد معاونت پژوهشی وقت وزارت عتف، اولین نشست هیئت مؤسس با موضوع تشکیل (احیا) و تهیه اساسنامه شورای انجمن‌های علمی ایران به‌عنوان چتر غیردولتی همه انجمن‌های مجاز، فارغ از حوزه‌های تخصصی آنها، در تاریخ ۲۵ تیرماه ۱۳۸۲ در محل دفتر آن معاونت برگزار و تأسیس شورای مزبور در ۲۵ آذرماه همان سال در روزنامه رسمی اعلان شد. این شورا در دوره دوم فعالیت خود با درک اهمیت سازماندهی و همکاری انجمن‌های همگرا در یک حوزه تخصصی (برگرفته از ایده تشکیل اتحادیه انجمن‌های علوم زیستی ایران (FIRBS) که از اواسط دهه هشتاد پیگیری می‌شد)، تشکیل کارگروه‌های تخصصی متشکل از انجمن‌های عضو پیوسته در حوزه‌های کشاورزی و علوم پایه را در دستور کار خود قرار داد. اولین جلسات کارگروه‌های مزبور به ترتیب در آذر و دی‌ماه ۱۳۸۹

در محل آن شورا برگزار شد و در پانزدهمین جلسه کارگروه کشاورزی در ۱۹ آذرماه ۱۳۹۰، و با الگوبرداری از روند در دست اقدام تشکیل FIRBS، و اساسنامه آن، تشکیل اتحادیه انجمن‌های علمی تخصصی کشاورزی و منابع طبیعی مطرح و اساسنامه آن مورد بررسی قرار گرفت [۲۵]. این شورا از ابتدای تأسیس اقدام به برگزاری همایش‌های سالیانه پیشرفت و توسعه کشور نموده است و طی هشت دوره سابقه فعالیت تاکنون، ۱۳ همایش در موضوعات اولویت‌دار ملی را برگزار نموده است. برگزاری همایش دوم در سومین دوره شورا در هجدهم دی‌ماه ۱۳۹۱ بوده است [۲۹]. هم‌اکنون ۱۴۰ انجمن و چهار اتحادیه انجمن‌های علمی اعضای پیوسته شورا هستند.

۲-۵. اتحادیه انجمن‌های علوم زیستی ایران (FIRBS): در اوایل دهه هشتاد عضویت هم‌زمان در هیئت‌مدیره چند انجمن علمی حوزه علوم زیستی و مشاهده تشابه و در بسیاری از موارد یکی بودن مأموریت‌ها، اهداف، محدودیت‌ها و الزامات فعالیت انجمن‌های همگرا و باهدف هماهنگی و هم‌افزایی میان انجمن‌های مزبور، ایده اقدام در جهت شکل‌گیری تشکل هم‌افزایی انجمن‌های علوم زیستی در دستور کار هیئت‌مدیره وقت انجمن بیوشیمی فیزیک ایران^۳ (ISOBC) قرار گرفت. با بررسی تجربیات بین‌المللی در این زمینه و تهیه پیش‌نویس اولین اساسنامه اتحادیه انجمن‌های علمی همگرا در ایران اولین نشست تبادل نظر برای بررسی پیش‌نویس اساسنامه شکل‌گیری اتحادیه انجمن‌های علوم زیستی ایران در روز سه‌شنبه ۱۵ بهمن‌ماه ۱۳۸۷ برگزار و پس از چند جلسه و نهائی شدن آن، اساسنامه مزبور در ابتدای سال ۱۳۸۹ برای طی مراحل ثبت رسمی به کمیسیون انجمن‌های علمی وزارت عتف، ارسال و در همان سال مجوز فعالیت آن صادر شد. پس از اخذ تأییدیه تشکیل اتحادیه‌های علمی در کمیسیون مزبور، اولین جلسه رسمی نمایندگان هشت انجمن مؤسس، در تاریخ ۲۸ آبان‌ماه ۱۳۹۲ و مجمع عمومی آن با عنوان اتحادیه انجمن‌های علوم زیستی ایران (FIRBS) با دستور کار برگزاری انتخابات هیئت‌مدیره در تاریخ ۱۹ آذرماه همان سال در محل مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک دانشگاه تهران برگزار شد. مفهوم محوری موردتأکید این اتحادیه در عبارت: «اتحادیه‌ها تنها در امور ورود می‌کنند که

^۱ Federation of Iran Bioscience Societies

^۲ Council of Iranian Science Association

^۳ Iran Society of Biophysical Chemistry

دیگر، پیش‌نویس «آئین‌نامه مفهومی تشکیل و فعالیت اتحادیه‌های علمی»، در ۴ مردادماه ۱۴۰۰، نهائی و به کمیسیون وزارت عتف ارسال شد. همچنین برای هماهنگی بین اتحادیه‌های ثبت‌شده در کمیسیون، با ابتکار اتحادیه مزبور اولین جلسه هماهنگی و تشکیل «اتاق فکر اتحادیه‌های علمی»، در تاریخ دوم آذرماه ۱۴۰۲ برگزار شد.

۶. شبکه‌سازی علمی: از ساختارهای موازی تا زیست‌بوم هم‌افزا

در ادبیات امروز مدیریت علم و فناوری، مفهوم «شبکه‌سازی»^۱ به‌عنوان یک امر ضروری، جایگزین رویکرد ساختارهای سلسله‌مراتبی و موازی شده است. شورای انجمن‌های علمی و اتحادیه انجمن‌های علمی در حقیقت، مصداق عینی ظرفیت‌سازی مؤثر در شبکه‌سازی نهادهای در زیست‌بوم علمی کشور محسوب می‌شوند. شبکه‌سازی علمی به معنای ایجاد پیوند نظام‌مند و هدفمند میان بازیگران مختلف علم (انجمن‌ها، دانشگاه‌ها، پژوهشگاه‌ها و نهادهای اجرایی) برای دستیابی به اهدافی است که توسط هر کدام از آنها به‌تنهایی قابل حصول نیستند. سیر تحول نهادهای علمی در جهان و ایران، روایتی روشن از حرکت از فردگرایی علمی به‌سوی سازمان‌یافتگی تخصصی و در نهایت شبکه‌سازی و هم‌گرایی نهادهای را به تصویر می‌کشد. اگر دارالفنون در دوره قاجار، نقطه آغاز آشنایی نظام‌مند ایرانیان با علوم جدید و زمینه‌ساز شکل‌گیری قشر تحصیل‌کرده بود، انجمن‌های علمی تأسیس‌شده در دوره معاصر، گام بعدی یعنی تخصصی شدن و نهادینه‌شدن فعالیت‌های جمعی علمی را محقق ساختند. اما امروزه، انجمن‌های علمی ایران با تجربه‌ای نزدیک به یک قرن، به مرحله‌ای از بلوغ رسیده‌اند که دیگر صرف فعالیت پراکنده و جزیره‌ای نمی‌تواند پاسخگوی نیازهای پیچیده علمی و اجرایی کشور باشد. پرداختن به مسائل فرارشته‌ای مانند بحران محیط‌زیست، تحولات هوش مصنوعی، امنیت غذایی و سلامت عمومی، معضلات اجتماعی و فرهنگی و نظایر آنها، فراتر از توان و حیطه تخصصی یک انجمن واحد هستند. تجربه اتحادیه انجمن‌های علوم زیستی ایران، و برخی دیگر از اتحادیه‌های مصوب کمیسیون انجمن‌های علمی وزارتخانه عتف علی‌رغم عمر کوتاه فعالیت آنها، نشان داد

پرداختن به آنها مستلزم همکاری انجمن‌ها و فراتر از توان و حیطه یک انجمن عضو باشد، خلاصه شد. باتوجه به مشارکت انجمن‌های علمی از دو وزارت علوم، تحقیقات و فناوری (عتف) و وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی در هیئت مؤسس و دوره‌های فعالیت آن، و باهدف تقویت همکاری‌های بین کمیسیون انجمن‌های گروه پزشکی وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی و وزارت علوم تحقیقات و فناوری، در روز سه‌شنبه بیستم آبان‌ماه ۱۳۹۹، تفاهم‌نامه چهارجانبه همکاری‌های مشترک بین جامعه علمی آزمایشگاهیان ایران^۱ (ISACL) به‌عنوان نماینده انجمن‌های علوم پایه پزشکی و اتحادیه انجمن‌های علوم زیستی ایران به امضا دبیران دو کمیسیون و دو اتحادیه مزبور رسید. این اتحادیه هم‌اکنون با ۲۳ انجمن عضو از وزارتین عتف و بهداشت و درمان از جمله با اهداف به شرح زیر تشکیل و فعالیت می‌کند:

- برقراری ارتباط مؤثر میان انجمن‌های علمی حوزه‌های علوم زیستی و پزشکی
- هم‌افزایی علمی و بسترسازی برای تقویت علوم بین‌رشته‌ای و همگرایی زیستی
- توسعه همکاری‌های زیستی در سطوح ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی
- ارتقا آموزشی، پژوهشی و فنی در زمینه‌های مربوط به علوم زیستی،
- تحقق اهداف مشترک از جمله نیازهای جامعه که دست یابی به آنها مستلزم همکاری بین انجمن‌های عضو و همگرا است.
- ایجاد هماهنگی میان انجمن‌های علمی علوم زیستی با حفظ استقلال انجمن‌های عضو.

در ادامه و مبتنی بر پذیرفته شدن مفهوم و اساسنامه اولین اتحادیه انجمن‌های علمی، کمیسیون انجمن‌های علمی وزارت عتف نسبت به صدور مجوز فعالیت اتحادیه‌های انجمن‌های علمی در حوزه‌های دیگر نمود به‌گونه‌ای که در حال حاضر تعداد ۱۷ اتحادیه در وبگاه رسمی کمیسیون انجمن‌های علمی وزارت عتف فهرست شده است. باهدف ضابطه‌مندسازی تشکیل و فعالیت اتحادیه‌های علمی، با ابتکار عمل و دعوت FirBS و برگزاری ۸ جلسه تخصصی با مشارکت فعال رؤسا و نمایندگان ۹ اتحادیه

^۱ Iranian Scientific Association of Clinical Laboratory

^۲ Networking

بدین ترتیب، تشکیل و فعالیت شورای انجمن‌های علمی و اتحادیه‌های انجمن‌های علمی، گامی برای عبور از پارادایم رقابت (که گاهی به موازی‌کاری و عملکرد جزیره‌ای می‌انجامد) و ورود به پارادایم همکاری و هم‌افزایی (در عین حفظ هویت مستقل اعضا) که لازمه حل مسائل پیچیده امروز ایران است، ارزیابی می‌شود.

۷. پیشنهاد‌های اجرایی و سخن پایانی

بر اساس یافته‌های این مقاله و با تأکید بر مفهوم شبکه‌سازی نهادهای در فعالیت انجمن‌های علمی در کشور، پیشنهاد‌های زیر ارائه می‌شود:

الف) پیشنهاد می‌شود، کمیسیون انجمن‌های علمی وزارت عتف و نهاد مشابه در وزارت بهداشت، نسبت به تدوین و ابلاغ چارچوب‌های قانونی شبکه‌سازی نهادهای روزآمدسازی آئین نامه و شیوه نامه‌های اجرایی مرتبط با باز تعریف مفاهیم و وظایف متمایز کمیسیون‌ها، شورا، اتحادیه‌ها و انجمن‌های تخصصی، متناسب با رویکرد مزبور اقدام کنند.

ب) پیشنهاد می‌شود، ضمن ابلاغ و اجرای الزام‌آور چارچوب‌های قانونی تشکیل و فعالیت اتحادیه‌های انجمن‌های علمی به‌ویژه در حوزه‌های تخصصی راهبردی متناسب با الزامات علمی و نیازمندی‌های زمان، نسبت به تدوین و اجرای سیاست‌های تشویقی، ترغیبی و حمایتی از عضویت انجمن‌های علمی در اتحادیه‌های علمی متناظر با تجانس موضوعی و تخصصی، اقدام شود.

ج) پیشنهاد می‌شود، با توجه به جایگاه و قابلیت‌های مفهومی نهاد غیردولتی شورای انجمن‌های علمی ایران (CISA)؛ مأموریت، ایفای نقش تعیین‌کننده در شبکه‌سازی، نظارت و هماهنگی بین اتحادیه‌های انجمن‌های علمی در حوزه‌های تخصصی پراکنده و در چارچوب سیاست‌های کمیسیون انجمن‌های علمی وزارت عتف، به شورای مزبور واگذار و یا با آن شورا مشورت شود. بدیهی است برای تحقق این مهم بازنگری در ساختار و مأموریت‌های شورای انجمن‌های علمی متناسب با رویکرد مزبور اجتناب‌ناپذیر است.

که این ایده نه تنها یک مفهوم نظری، بلکه یک الگوی عملی و آزموده شده در ساختار علمی کشور است. این تجربه، در کنار ظرفیت شورای انجمن‌های علمی ایران ثابت کرد که جامعه علمی ایران از ظرفیت و اراده لازم برای شبکه‌سازی در نهاد علم و ایجاد ساختارهای هم‌افزا برخوردار است.

بنابراین، تشکیل اتحادیه‌های انجمن‌های علمی پاسخی طبیعی به پیچیدگی فزاینده علم و نیازهای چندبعدی و روزآمد جامعه است. این ساختارها برای انجام «امور بین انجمنی» و اموری که پرداختن به آن‌ها مستلزم همکاری و هماهنگی فراتر از سطح یک انجمن تخصصی است، تشکیل و فعالیت می‌کنند. همچنین، از جمله ویژگی‌ها و مختصات ضروری در شبکه‌سازی نهاد علم در ایران مبتنی بر سرمایه ظرفیت‌سازی انجام شده در قالب سه‌گانه شورای انجمن‌ها، اتحادیه‌های انجمن‌ها و انجمن‌های علمی به‌عنوان نهادهای غیردولتی^۱ (NGO)، تحت ایفای نقش تعیین‌کننده سیاست‌گذاری تسهیل‌گری و نظارت، نهاد دولتی کمیسیون انجمن‌های وزارتین عتف و بهداشت، می‌توان موارد سه‌گانه زیر را افزود:

۱- در شبکه‌سازی موردنظر، برخلاف سلسله‌مراتب عمودی، تعاملات اعضا افقی است به‌گونه‌ای که همه اعضا از استقلال و جایگاه برابر برخوردارند و همکاری بر اساس تعامل دوسویه و چندسویه شکل می‌گیرد. این ویژگی را «افقی بودن تعاملات در شبکه» می‌نامیم.

۲- در شبکه‌سازی موردنظر، شبکه‌ها می‌توانند متناسب با مسائل روز، کارگروه‌های موقت یا دائمی تشکیل دهند و با برخورداری از انعطاف‌پذیری ساختاری، ساختار خود را متناسب با نیازمندی‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی، به‌روز کنند. این ویژگی را «انعطاف‌پذیری درون ساختاری در شبکه» می‌نامیم.

۳- در شبکه‌سازی موردنظر، برآیند و حاصل جمع کل اقدامات در شبکه با برخورداری از ویژگی هم‌افزا، به‌گونه‌ای نوظهور از جمع تک‌تک اعضا بیشتر است. تعامل انجمن‌ها در یک شبکه، منجر به خلق دانش و راهکارهای نوظهور می‌شود که در انزوای هر یک ممکن نبود. این ویژگی را «هم‌افزایی با برون‌داد نوظهور در شبکه» می‌نامیم.

^۱ Non-governmental Organization

Reference

منابع

- [1]. وحید شیخ حسینی، علی اکبر موسوی موحدی. (۱۳۹۸). یکپارچگی علم و نقشه راه آینده. کتاب مجموعه سخنرانی‌های کنفرانس ملی نقش مطالعات میان رشته‌ای در توسعه علمی و کارآفرینی کشور، چاپ موسسه انتشارات دانشگاه تهران، صص ۵۳-۶۴
 - [2]. Greenaway, F. (1996). *Science International: A History of the International Council of Scientific Unions*. Cambridge: Cambridge University Press.
 - [3]. International Science Council. (2018). *Statutes and Rules of Procedure of the International Science Council*. Paris: ISC.
 - [4]. International Science Council (ISC). (2019). *Annual Report 2018-2019: A New Beginning for Global Science*. Paris: ISC.
 - [5]. International Union of Biological Sciences (IUBS). (1925). *Proceedings of the Founding Meeting of the International Union of Biological Sciences*. Brussels: IUBS Archives.
 - [6]. International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). (1920-1931). *Archival Records of IUPAC's Affiliation with the International Research Council*. Philadelphia: Science History Institute.
 - [7] Goodman, L. (2004). Group science, *Journal of Clinical Investigation*, Vol. 114, No. 8, PP. 1004–1005. <https://doi.org/10.1172/JCI23425>
 - [8] Accademia Nazionale dei Lincei. (2025). *Le prime accademie*. Accademia Nazionale dei Lincei. https://www.lincci.it/sites/default/files/attachments/Le_prime_accademie.pdf
 - [9] Institute and Museum of the History of Science. (n.d.). Accademia dei Lincei. <https://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/multimedia/AccademiaLincei.html>
 - [10] McClellan, J. E., III. (1985). *Science Reorganized: Scientific Societies in the Eighteenth Century*. New York: Columbia University Press.
 - [11] The Royal Society. (n.d.). *History of the Royal Society*. Retrieved August 5, 2025, from <https://royalsociety.org/about-us/who-we-are/history/>
 - [12] The Royal Society. (2021). *Minutes of the first meeting of the Royal Society, 28 November 1660*. <https://royalsociety.org/blog/2021/11/on-this-day/>
 - [13] Kohlstedt, S. G. (1976). *The Formation of the American Scientific Community: The American Association for the Advancement of Science, 1848–60*. Urbana: University of Illinois Press.
- (د) پیشنهاد می‌شود، تشویق، ترغیب و حمایت قانونمند از برقراری ارتباطات شبکه ملی انجمن‌ها در سه‌گانه انجمن‌ها، اتحادیه‌ها و شورا با نهادهای متناظر در شبکه‌های فراملی (منطقه‌ای و بین‌المللی) مانند شورای بین‌المللی علوم (ISC)، بیشتر موردتوجه قرار گیرد. این اقدام از رهگذر تحقق دیپلماسی علمی و پیاده‌سازی و بهره‌برداری از ظرفیت‌های آن، ضمن تسریع در انتقال تجارب بین‌المللی به کشور، می‌تواند به ارتقای نقش‌آفرینی مؤثرتر انجمن‌ها در سطح ملی و جایگاه بین‌المللی علم در ایران منجر شود.

۸. سخن پایانی

تاریخ علم در ایران نشان داده است که هرگاه جامعه علمی توانسته در قالب نهادهای منسجم و هم‌افزا عمل کند، گام‌های بلندی در جهت اعتلای دانش و حل مسائل کشور برداشته شده است. اکنون، در آستانه سده دوم تجربه نهادسازی علمی مدرن در ایران، بازنگری مفهومی در رویکرد شبکه‌سازی و بهره‌برداری بیش‌ازپیش از ظرفیت‌های موجود مشتمل بر ساختارهای دولتی؛ کمیسیون‌های انجمن‌های علمی وزارتین عتف و بهداشت و درمان و نهادهای غیردولتی؛ شامل شورای انجمن‌های علمی و اتحادیه‌های انجمن‌های علمی، نه یک انتخاب، بلکه یک ضرورت راهبردی و تاریخی در تکوین نهادسازی علمی در کشور است. با استناد به تجارب جهانی و ظرفیت‌سازی‌های صورت‌گرفته در کشورمان به‌ویژه در دو دهه اخیر، مدیریت و اجرای الگوی شبکه‌سازی در نهاد انجمن‌های علمی، می‌تواند بر شتاب پیشرفت جامعه علمی ایران و تبدیل آن به زیست‌بومی پویا، هم‌افزا و اثربخش در سطوح ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی بیفزاید.

تقدیر و تشکر

از تمامی پیشگامان عرصه انجمن‌های علمی و آنانی که در نخستین گام‌های تشکیل و در ادامه تکوین مفهوم شبکه‌سازی نهادی انجمن‌های علمی نقش‌آفرینی کرده‌اند، صمیمانه سپاسگزاریم.

وبگاههای رجوع‌شده

- (1). <https://iman.behdasht.gov.ir>
- (2). <https://www.isobc.com>
- (3). <https://firbs.org>
- (4). Science Museum Group Collection. *Royal Society*. <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/people/ap30437/royal-society>

- [۱۴]. پیرحقی، میترا، صبوری، علی‌اکبر و موسوی‌موحدی، علی‌اکبر (۱۳۹۷). برگزیده‌ای از انجمن پیشرفت علم آمریکا، نشاء علم، مجلد ۹، شماره ۱، صص. ۳۷-۲۹.
- [15]. Minutes of proceedings of the conference held at Wiesbaden to consider the foundation of an International Association of Academies: 1899, Oct. 9 and 10. (1899). Berlin: Reichsdruckerei. <https://www.deutsche-digitale-bibliothek.de/item/LYKH4PKSOWWZJW6I2U7OKTH3RWSUY73Z>
- [16] Fox, R. (2019). The International Research Council and Its Unions: 1919–1931. Chemistry International, Vol. 41, No. 3, PP. 7–8. <https://doi.org/10.1515/ci-2019-0303>
- [17] International Association of Universities (IAU). (2025). New Memorandum of Understanding (MoU) between IAU and ISC. <https://iau.global/news/mou-iau-and-isc>
- [18] World Science Forum. (2019). Thematic Sessions I. e. Centenary of Organized International Science Cooperation and Science Diplomacy. Hungarian Academy of Sciences, Budapest. <https://2019.worldscienceforum.org/programme/2019-11-21-thematic-sessions-i-e-centenary-of-organized-international-science-cooperation-and-science-diplomacy-126.html>
- [19] Federation of American Societies for Experimental Biology (FASEB). (n.d.). About FASEB. <https://www.faseb.org/about>
- [20] International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). (2015). Our History. <https://iupac.org/who-we-are/our-history/>
- [21] American Council of Learned Societies (ACLS). (2021). Our History. <https://www.acls.org/our-history/>
- [22]. Société Française de Biochimie et Biologie Moléculaire (SFBBM). (2026). FEBS – Federation of European Biochemical Societies. <https://www.sfbbm.fr/en/febs-en/>
- [۲۳]. محبوبی اردکانی، حسین (۱۳۵۴). تاریخ مؤسسات تمدنی جدید در ایران، ج. ۱ و ۲، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- [۲۴]. خضری، سید احمد رضا (۱۴۰۲). از جندی شاپور تا دانشگاه تهران: درآمدی بر تاریخ آموزش عالی در ایران، تهران: مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران.
- [۲۵]. رنان، کالین ا. (۱۳۸۲). تاریخ علم کمبریج، ترجمه حسن افشار، چاپ سوم، تهران: نشر مرکز.
- [۲۶]. پاسالار، پروین؛ سالاری، حسن؛ حسینی‌گوهری، لادن؛ مجیدی، زیبا؛ پناهی، قدرت‌الله؛ غفاری، سید محمود؛ و رضایی، احسان (۱۴۰۴). تاریخچه رشته بیوشیمی در ایران، تهران: فرهنگستان علوم پزشکی جمهوری اسلامی ایران.
- [۲۷]. گزارش اولین کنگره ژنتیک ایران، مجله دانشکده کشاورزی، دوره ۱۵، شماره ۳، مهر ۱۳۴۹، ص ۲۲.
- [۲۸]. هفتمین همایش انجمن ژنتیک برگزار شد. (۱۳۵۶)، اسفند (۵). روزنامه اطلاعات، ص ۷.
- [۲۹]. شورای انجمن‌های علمی ایران. (۱۳۹۵). نیم قرن تلاش انجمن‌های علمی ایران. تهران: شورای انجمن‌های علمی ایران.

جایگاه علم و فناوری در تقویت قدرت ملی و اعتبار جهانی

فائزه موسوی موحدی^۱، علی اکبر موسوی موحدی^۲، رضا یوسفی^{۱*}

چکیده

علم و فناوری در عصر جدید از پایه‌های اصلی اقتدار ملی و دیپلماسی و از ارزشمندترین سرمایه‌های کشورها به شمار می‌آیند. علم در پی شناخت دقیق، نظام‌مند و قابل تکرار جهان است، درحالی که فناوری این دانش را به ابزارها و راهکارهای عملی و هدفمند تبدیل می‌کند. همچنین این دو در چرخه‌ای پویا و هم‌افزا، یکدیگر را تقویت می‌کنند به طوری که پیشرفت‌های علمی به شکل‌گیری فناوری‌های نوین می‌انجامد و ایجاد فناوری نیز با فراهم کردن ابزارهای دقیق‌تر، امکان گسترش و تعمیق علم را فراهم می‌سازد. نمونه‌هایی مانند گذار از فیزیک کوانتومی به اختراع ترانزیستور و رایانه‌های مدرن و نیز کشف ساختار DNA و توسعه زیست‌فناوری به روشنی نشان می‌دهند که چگونه دانش‌بنیادی می‌تواند به قدرت اقتصادی و اجتماعی تبدیل شود. علم و فناوری به طور هم‌زمان قدرت سخت و قدرت نرم را تقویت می‌کنند و قدرت هوشمند را شکل می‌دهند. کشورها معمولاً زمانی از علم بهره می‌گیرند که بخواهند برند ملی خود را بازسازی کنند، اعتبار بین‌المللی‌شان را افزایش دهند یا در رقابت‌های اقتصادی-ژئوپلیتیک جایگاه تازه‌ای بسازند. سرمایه‌گذاری در آموزش و پژوهش، زیرساخت علمی، دیپلماسی علمی و فناوری به تدریج می‌تواند پیشرفت‌های علمی را به جذابیت فرهنگی، نفوذ سیاسی، اجتماعی و غرور ملی تبدیل کند.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت

۱۲ دی ۱۴۰۴

تاریخ بازنگری:

۲۳ بهمن ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش:

۲۵ بهمن ۱۴۰۴

تاریخ انتشار

۱۶ اردیبهشت ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:

علم و فناوری

قدرت نرم

قدرت سخت

برندسازی ملی

اقتدار

توسعه

استناد: موسوی موحدی، فائزه؛ موسوی موحدی، علی اکبر؛ یوسفی، رضا. (۱۴۰۵). جایگاه علم و فناوری در تقویت قدرت ملی و اعتبار جهانی. *نشاء علم*، ۱۶ (۱)، ۱۷-۲۶.



ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران

© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

* عهده‌دار مکاتبات: استناد. تلفن: ۶۱۱۱۳۳۷۸ (+۹۸۲۱)، دورنگار: ۶۶۴۰۴۶۸۰ (+۹۸۲۱)، آدرس الکترونیکی: Yousefi.reza@ut.ac.ir

^۱ مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۲ شاخه شیمی، فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران، تهران، ایران

۱. تعریف علم و فناوری

علم، تلاش سازمان‌یافته انسان برای شناخت جهان است که می‌تواند شامل پدیده‌های طبیعی یا نظام‌های ساخته‌شده بشر، مانند ساختارهای اجتماعی و اقتصادی باشد. این شناخت از طریق مشاهده دقیق، اندازه‌گیری‌های کنترل‌شده و تحلیل منطقی شواهد علمی شکل می‌گیرد. علم فرایندی خوداصلاح‌شونده است و ویژگی آن تکرارپذیری است. نظریه‌ها و مدل‌ها، ابزارهایی برای توضیح و پیش‌بینی پدیده‌ها هستند که با ظهور شواهد جدید، این مدل‌ها یا اصلاح می‌شوند یا جای خود را به تبیین دقیق‌تری می‌دهند. بنابراین، علم یک نظام پویاست و پیوسته در حال ساختن، آزمودن و نزدیک شدن به الگوهای بنیادین است که رفتار جهان را شکل می‌دهد [۱، ۲].

فناوری فرایند تبدیل دانش به توانایی عملی است که اجازه می‌دهد انسان ماده، انرژی یا اطلاعات را به شیوه‌ای هدفمند، تکرارپذیر و قابل کنترل دگرگون کند. فناوری از ترکیب دانش علمی و مهارت فنی ایجاد می‌شود تا یک نیاز یا مسئله مشخص را به نتیجه‌ای عملی تبدیل کند. در فناوری، مدل‌ها و مفاهیم نظری به شکل ابزار، روش یا سیستم درمی‌آیند؛ چیزهایی که نه برای توضیح جهان، بلکه برای تغییر آن ساخته می‌شوند. فناوری یک چرخه مداوم طراحی، آزمایش، اصلاح و بهینه‌سازی است و تا زمانی معتبر است که بتواند در شرایط واقعی عملکرد قابل اعتماد و تکرارپذیر ارائه دهد [۱، ۲].

علم و فناوری هر دو در یک چرخه پویا به فهم و بهبود همدیگر کمک می‌کنند، اما هدف و مسیرشان متفاوت است. علم می‌فهمد و به‌واسطه گشایش آن، فناوری، ماده و انرژی را دگرگون می‌سازد و این دگرگونی مسیر را برای علم می‌گشاید. در علم، مدل‌ها برای درک و فهم واقعیت‌ها هستند؛ اما در فناوری، همان مدل‌ها به ابزار واقعی، دستگاه، روش، نرم‌افزار و حتی ساختارهای سبک زندگی، اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی تبدیل می‌شوند. دو مثال زیر می‌توانند تصویر روشن‌تر از این چرخه ارائه دهند:

۱-۱. از فیزیک کوانتوم تا ترانزیستور و کامپیوترهای مدرن

فیزیک کوانتوم نمونه بارز پیوند میان علم بنیادی و دگرگونی‌های فناورانه و اقتصادی در جهان جدید است. اوایل قرن بیستم، ماکس پلانک با معرفی کوانتا^۱ در مسئله تابش جسم سیاه (۱۹۰۰) و آلبرت

اینشتین با تبیین اثر فوتوالکتریک (۱۹۰۵)، بنیان‌های آن را بنا نهادند. این ایده‌ها با مدل‌های اتمی و کامل‌تر مکانیک کوانتومی تکمیل شد، تا مفهومی از رفتار الکترون‌ها در مواد جامد را فراهم کردند [۳]. پیشرفت‌های نظری فیزیک حالت جامد، همراه با دستاوردها در خالص‌سازی ژرمانیوم و سیلیسیم، در نهایت به اختراع ترانزیستور در سال ۱۹۴۷ انجامید که جایگزین لامپ خلأ شد و مسیر توسعه مدارهای مجتمع، ریزپردازنده‌ها و تراشه‌های بسیار بزرگ‌مقیاس با میلیارد ترانزیستور را هموار کرد. ترانزیستور، هسته سخت‌افزار الکترونیک شد و «سلول پایه عصر اطلاعات»^۲ نام گرفت. فرایندهای کوچک‌سازی، کاهش مصرف انرژی و جهش توان محاسباتی، باعث ارتقای بزرگ از رایانه‌های اولیه تا گوشی‌های هوشمند، مراکز داده و رایانش ابری^۳ است. پیامدهای این تحول فراتر از فناوری بود: رشد صنعت نیمه‌هادی‌ها و فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات که به رشد اقتصاد دیجیتال جهانی بدل شد [۴].

۲-۱. از ساختار DNA تا فناوری زیستی

کشف ساختار DNA دورشته‌ای توسط جیمز واتسون و فرانسیس کریک (سال ۱۹۵۳)، بر پایه داده‌های پراش پرتو ایکس روزالین فرانکلین، نقطه عطفی در فهم سازوکار وراثت بود؛ دستاوردی که اهمیت آن با اعطای جایزه نوبل در سال ۱۹۶۲ همراه شد. لازم به یادآوری است که سیزده سال پس از دریافت جایزه نوبل، یعنی در سال ۱۳۵۴ (۱۹۷۵ میلادی)، فرانسیس کریک به همراه شماری از دانشمندان برجسته جهان در پنجمین همایش بیوشیمی ایران در دانشگاه تهران شرکت کردند و پیشنهاد تأسیس مرکز بین‌المللی تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک دانشگاه تهران (IBB) از دستاوردهای مهم این همایش بود که در همان سال تحقق یافت [۵]. رمزگشایی کد ژنتیکی در دهه ۱۹۶۰ و اصل مرکزی زیست‌شناسی مولکولی^۴ (DNA ← RNA ← پروتئین)، چارچوب لازم برای فهم بیان ژن و دست‌کاری هدفمند آن را فراهم کرد. این بنیان‌های علمی به توسعه فناوری DNA نو ترکیب و کلونینگ ژن انجامید و امکان انتقال ژن میان گونه‌های نامرتبط و تولید ارگانیسم‌های اصلاح‌شده ژنتیکی^۵ (GMO) را فراهم ساخت و پایه‌های مهندسی ژنتیک مدرن شکل گرفت [۶، ۷].

^۱ Quanta

^۲ Basic cell of the information age

^۳ Cloud computing

^۴ Central Dogma of Molecular Biology

^۵ Genetically Modified Organisms

است. کشوری با قدرت نرم از سوی دیگران الهام‌بخش یا قابل‌اعتماد تلقی می‌شود و کنشگران خارجی به‌صورت داوطلبانه در راستای هنجارهای آن کشور حرکت می‌کنند. قدرت نرم اگرچه از بستر جامعه، نهادهای علمی و فرهنگی و دستاوردهای فناوریانه نشأت می‌گیرد، ولی حاصل سرمایه‌گذاری‌های بلندمدت دولت است. بااین‌حال، ماهیتی ناملموس، پراکنده و تاحد زیادی غیرقابل‌کنترل دارد و به‌تنهایی قادر به ایجاد کنش سازمان‌یافته نیست. برای تبدیل جذابیت فرهنگی یا اعتبار نمادین به نفوذی پایدار، مستلزم هم‌افزایی آن با ظرفیت‌های قدرت سخت است؛ ترکیبی که در ادبیات روابط بین‌الملل از آن با عنوان قدرت هوشمند یاد می‌شود [۱۰، ۱۱].

۱-۲. علم و فناوری در قدرت سخت

علم و فناوری با ورود به قلمرو قدرت سخت، جزء لاینفک راهبرد ملی برای تحقق اهداف کلان کشور است. به‌صورت مستقیم بر امنیت ملی، توان نظامی و مهمتر بر توسعه اقتصادی تأثیر داشته و منجر به توسعه ملی می‌گردد. علم جدید از قرن هفدهم و در بستر انقلاب علمی شکل گرفت، اما تا مدت‌ها نقشی مستقیم در توسعه اقتصادی و قدرت ملی ایفا نکرد و در حوزه‌های معرفتی باقی ماند. انقلاب صنعتی اول در بریتانیا، باتکیه بر ماشین بخار و صنعت نساجی شکل گرفت، هرچند علم همچنان نقشی حاشیه‌ای در تولید قدرت داشت. نقطه عطف در نیمه دوم قرن نوزدهم و در آلمان شکل گرفت؛ در انقلاب صنعتی دوم، به‌ویژه در حوزه شیمی آلی و تولید رنگ‌های مصنوعی، علم در خدمت صنعت قرار گرفت. تجربه آلمان نشان داد که ادغام سازمان‌یافته علم در ساختار تولید و سیاست‌گذاری، آن را از فعالیتی صرفاً معرفتی به اهرم قدرت اقتصادی و ملی تبدیل می‌کند [۱۲].

در جنگ جهانی اول، علم وارد میدان نبرد شد و فناوری شیوه جنگ را دگرگون کرد. بسیج صنایع غیرنظامی در خدمت ماشین جنگ قرار گرفت و جنگ ماهیتی فناوری‌محور یافت. پس از جنگ، تحقیق علمی از حالت پراکنده و فردمحور خارج شد و

نخستین گیاه تراریخته در سال ۱۹۸۳ تولید شد و اولین محصول تجاری گوجه‌فرنگی در سال ۱۹۹۴ با تأیید سازمان غذا و داروی ایالات متحده^۱ (FDA) و باهدف افزایش ماندگاری به بازار عرضه شد. از دهه ۱۹۹۰، کشت محصولات تراریخته‌ای مانند ذرت، سویا، پنبه و کانولا که مقاوم به آفات یا علف‌کش‌ها هستند، در کشورهایی چون ایالات متحده، چین و آرژانتین گسترش یافت. شواهد تجربی نشان می‌دهد این محصولات تقریباً موجب افزایش عملکرد و درآمد، کاهش مصرف آفت‌کش‌ها (تا ۳۷٪) و افزایش بازدهی (حدود ۲۲٪) شده‌اند و به تقویت امنیت غذایی و سازگاری با تنش‌های اقلیمی کمک کرده‌اند. بااین‌حال، نگرانی‌هایی درباره وابستگی به بذره‌های پتنت‌شده^۲، کاهش تنوع زیستی، تمرکز قدرت در شرکت‌های بذر و ریسک‌های زیست‌محیطی و اخلاقی، به شکل‌گیری مقررات سخت‌گیرانه، جنبش‌های ضد محصولات تراریخته‌ای انجامیده است [۸، ۹].

۲. از تولید دانش تا اعمال قدرت

قدرت در جهان امروز از سه مسیر اصلی شکل می‌گیرد که نخستین بار توسط جوزف نای^۳ در سال ۱۹۹۰ مطرح شد: قدرت سخت^۴، قدرت نرم^۵ و همچنین قدرت هوشمند^۶ که این دو را در قالبی منسجم و هدفمند ترکیب می‌کند [۱۰].

قدرت سخت یعنی توانایی یک دولت برای اثر گذاشتن بر دیگران با ابزارهایی مستقیم، اجباری و ملموس برای حفظ منافع؛ یعنی گفتگو کنار می‌رود و جای خود را به فشار و اجبار می‌دهد. ریشه‌اش به همان دوران امپراتوری‌هایی برمی‌گردد که با شمشیر قلمرو می‌ساختند و تا به امروز در قالب قدرت‌های اقتصادی و نظامی دولت‌ها ادامه یافته است [۱۰، ۱۱].

قدرت نرم در برابر قدرت سخت است و به‌عنوان توانایی یک کشور برای تأثیرگذاری بر دیگران از طریق جذابیت فرهنگی و هنری، ارزش‌ها و ایدئولوژی تعریف می‌شود. منابعی مانند علم، فرهنگ و هنر، تصویر بین‌المللی و دیپلماسی عمومی عوامل قدرت نرم هستند و بر نفوذ بر پایه همکاری و پذیرش استوار

^۱ Food and Drug Administration

^۲ Intellectual property-protected seeds

^۳ Joseph Nye

^۴ Hard Power

^۵ Soft Power

^۶ Smart Power

۱-۱-۲. چین: قدرت راهبردی بر مبنای علم

در سال ۱۹۴۹ میلادی و در آستانه تأسیس جمهوری خلق چین، زیرساخت‌های علم و فناوری در آن کشور بسیار ضعیف و تعداد مؤسسات تحقیقاتی نیز محدود بودند. در پاسخ به این محدودیت‌ها و تمرکز بر نیازهای کلیدی توسعه ملی، دولت چین با تأسیس آکادمی علوم چین در سال ۱۹۵۰ میلادی، پژوهش را به صورت متمرکز در خدمت صنعت، کشاورزی، بهداشت و دفاع ملی قرار داد. مسیر توسعه با تدوین برنامه دوازده ساله توسعه علم و فناوری (۱۹۵۶-۱۹۶۷) تثبیت شد؛ برنامه‌ای که پایه‌های توانمندی چین را در حوزه‌هایی چون انرژی اتمی، الکترونیک، نیمه‌رساناها، محاسبات و فناوری‌های موشکی بنا نهاد. توسعه هوا-فضا، از دهه ۱۹۸۰ به بعد با پروژه‌هایی مانند برنامه‌های فضایی سرشنین‌دار، سامانه‌های پیشرفته مشاهده زمین و برنامه اکتشاف ماه تعمیق یافت. این دستاوردها علاوه بر تثبیت جایگاه چین، منافع اقتصادی و اجتماعی گسترده‌ای نیز به همراه داشت [۱۶].

چین از اوایل دهه‌ی ۲۰۰۰، با اجرای هدفمند سیاست‌های کلان علمی و فناوری، مسیر خود را از انباشت ظرفیت‌های داخلی به سوی رقابت مؤثر جهانی تغییر داد. با برنامه‌های ملی میان‌مدت و بلندمدت، به سرمایه‌گذاری گسترده‌ای در حوزه‌های راهبردی مانند فناوری اطلاعات و ارتباطات و پیشرفت در حوزه‌هایی مانند نسل پنجم ارتباطات (۵G)، ابررایانه‌ها و فناوری‌های ماهواره‌ای، منجر شد. با گسترش زیرساخت‌های دیجیتال و ارتقا سهم اقتصاد دیجیتال از تولید ناخالص داخلی به بیش از ۳۸ درصد، تمرکز را بر نوآوری در هوش مصنوعی، فناوری‌های کوانتومی، زیست‌فناوری و فضا قرار داد [۱۷].

رقابت چین و آمریکا دقیقاً بازتاب همین واقعیت است: رقابتی نو ظهور در قدرت سخت و نرم با محوریت علم و فناوری. نوآوری علمی امروز هم‌زمان موتور قدرت اقتصادی و اجتماعی است و همین پیوند، فناوری را به میدان اصلی کشمکش دو قدرت جهانی تبدیل کرده است. چین با برنامه‌هایی چون «ساخت چین ۲۰۲۵» (Made in China 2025) و تلاش برای تعیین استانداردهای جهانی، می‌کوشد وابستگی خود را کاهش دهد و از طریق برتری فناوری جایگاه خود را تقویت کند. در مقابل، آمریکا با تحریم‌ها،

ساختار یافت؛ روندی که به ظهور «علم بزرگ»^۱ یعنی پروژه‌های عظیم، پرهزینه و با مشارکت بین‌المللی انجامید و علم را به بخشی جدایی‌ناپذیر از قدرت تبدیل کرد. در جنگ جهانی دوم، فناوری‌های نظامی به همراه خدمات غیرنظامی مانند داروها از جمله پنی‌سیلین مسیر جنگ را تغییر دادند. پس از جنگ دولت‌ها، دانشمندان و مهندسانی که در تحقیق و توسعه و به‌کارگیری این فناوری‌ها نقش داشتند را به‌عنوان «قدرت علمی و فناوری راهبردی ملی» تلقی کردند و علم وارد قلب تصمیم‌گیری‌های سیاسی و نظامی شد [۱۲].

از دوران جنگ سرد تاکنون، فناوری‌های نو ظهوری چون هوش مصنوعی، کلان‌داده^۲، رباتیک، ترانزیستور، نسل پنجم ارتباطات^۳ (۵G)، اینترنت اشیا، بلاک‌چین، محاسبات کوانتومی و سیستم تعیین موقعیت جهانی^۴ (GPS) اکنون نه تنها سرفصل جنگ‌افزارهای نسل جدید، بلکه از ارکان اساسی رقابت اقتصادی جهانی محسوب می‌شوند [۱۳]. سرمایه‌گذاری گسترده در این راستا، انباشت پتنت‌های راهبردی و ایجاد نهادها را توسعه داد؛ فناوری‌هایی که با منشأ نظامی، به زیرساخت‌های اقتصاد جهانی و پایه شرکت‌های غول‌پیکر فناوری چون گوگل، اپل و آمازون بدل شدند. هم‌زمان، سرمایه‌گذاری در حوزه زیست‌پزشکی، از جمله نوآوری‌های نظیر پروژه ژنوم انسانی و داروهای پیشرفته ضد سرطان، منجر به ایجاد صنعت چند تریلیون دلاری فناوری زیستی و داروسازی شد [۱۳، ۱۴]. البته با تحولات فناورانه و انقلاب صنعتی چهارم روبه‌رو هستیم که با درهم‌آمیزی سیستم‌های فیزیکی سایبری، زندگی و کار را دگرگون کرده است. این پدیده از نظر مقیاس و پیچیدگی بی‌سابقه است و درک کامل سرعت و دامنه آن ممکن نیست. در آینده با انقلاب صنعتی پنجم روبه‌رو خواهیم شد که گویا تحولی است که فناوری را در خدمت انسان قرار می‌دهد [۱۵]. مفهوم «دولت کارآفرین»^۵ نشان می‌دهد که بسیاری از نوآوری‌های پرریسک تجاری، در مراحل اولیه با سرمایه‌گذاری دولتی ممکن شده‌اند. امروزه کشورها حدود ۲ تا ۳ درصد تولید ناخالص داخلی^۶ (GDP) خود را صرف تحقیق و توسعه می‌کنند و پتنت‌ها به ابزار رقابت اقتصادی و راهبردی جهانی تبدیل شده‌اند [۱۴].

^۱ Big science^۲ Big data^۳ Fifth-generation communications^۴ Global Positioning System^۵ Entrepreneurial state^۶ Gross Domestic Product

در همین راستا شرکت‌هایی مانند سونی، تویوتا و پاناسونیک سفیران غیررسمی این تصویر شدند [۱۹،۲۰].

دولت ژاپن در سال ۲۰۰۸ با تأسیس «شورای سیاست علم و فناوری»، این مسیر را نظام‌مند کرد. مأموریت اصلی این شورا، سیاست‌گذاری کلان در حوزه‌هایی چون همکاری‌های پژوهشی، تربیت نیروی انسانی متخصص و گسترش حضور بین‌المللی تعریف شد. برنامه‌های ملی علم و فناوری ژاپن، متناسب با چالش‌های زمانه تکامل یافتند: برنامه چهارم (۲۰۱۱)، پس از سونامی توهوگو و حادثه اتمی فوکوشیما، بر همکاری علمی برای افزایش تاب‌آوری ملی و مدیریت بحران متمرکز شد. برنامه پنجم (۲۰۱۶)، مفهوم «جامعه ۵.۰» (جامعه فوق‌هوشمند) را معرفی کرد؛ تصویری انسان‌محور از آینده که در آن فضای فیزیکی و سایبری درهم می‌آمیزند و دیپلماسی فناوری به اهرمی برای تحول اقتصادی-اجتماعی تبدیل می‌شود. برنامه ششم (۲۰۲۱)، به طور ویژه بر مقابله با پاندمی کووید-۱۹، تقویت شبکه‌های علمی بین‌المللی و ترویج الگوی جامعه ۵.۰ در سطح جهانی تأکید دارد [۲۰].

جذابیت فرهنگی یکی از ستون‌های اصلی قدرت نرم ژاپن است. کمپین «ژاپن جذاب ۲» با ترویج داستان مصور ژاپنی (مانگا)، انیمیشن ژاپنی (انیمه)، هنر اجرایی و طراحی لباس (کاسپلی)، غذا، مد و طراحی صنعتی، تصویری نوآورانه و جوان‌پسند از ژاپن ارائه می‌دهد تا با رقبای آسیایی مانند کره جنوبی و چین رقابت کند. این جذابیت حتی گاهی ارزش‌های عمیق‌تر ژاپن مثل هنجارهای دموکراتیک را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد و محبوبیت جهانی آن، گردشگران را جذب، سبک زندگی ژاپنی را در سطح بین‌المللی ترویج می‌کند و تصویری متمایز از گذشته این کشور ارائه می‌دهد [۱۹]. ژاپن در همین راستا با میزبانی المپیک ۲۰۲۰ توکیو (که به دلیل همه‌گیری کووید-۱۹ در سال ۲۰۲۱ برگزار شد) کوشید تا با هزینه‌ای سنگین (حدود ۱۵/۴ میلیارد دلار)، فراتر از ورزش، باهدف بازآفرینی تصویر ملی، دیپلماسی عمومی و نمایش توانمندی‌های فرهنگی و فناوریانه را دنبال کند. المپیک با روایت «پیروزی انسان بر پاندمی» و یادآوری مسیر بازسازی پس از فاجعه فوکوشیما، داستانی الهام‌بخش از تاب‌آوری و همبستگی ژاپن ارائه داد [۲۱].

محدودیت‌های صادراتی، بازآرایی زنجیره‌های تأمین و فشار بر شرکت‌های فناوری، می‌کوشد این روند را مهار کرده و برتری خود را حفظ کند [۱۳].

۲-۲. علم و فناوری در قدرت نرم

کشورهای مختلف از راهبردهای متنوعی برای تبدیل توانمندی‌های خود به نفوذ و جذابیت بین‌المللی استفاده می‌کنند. نوآوری به‌تنهایی سازنده قدرت نرم نیست، بلکه در یک شبکه درهم‌پیچیده یکپارچه از عوامل مکمل، از جمله فرهنگ غنی، برندهای جهانی اثرگذار، قدرت دیپلماسی و همکاری‌های علمی بین‌المللی می‌باشد. برخی کشورها بدون دستیابی به نوآوری در تراز جهانی، از طریق ابزارهایی مانند نفوذ رسانه‌ای به قدرت نرم قابل توجهی دست می‌یابند؛ اما عموماً کشورهای دارای نوآوری قوی، از سطح بالاتری از قدرت نرم برخوردارند [۱۸]. «برندسازی ملی»^۱ فرآیندی است که طی آن یک کشور به‌صورت فعال و هدفمند، منابع گوناگون جذابیت خود، از روایت‌سازی فرهنگی و محصولات تا ارزش‌ها و دستاوردهای علمی را گردآوری و شکل‌دهی می‌نماید تا یک تصویر بین‌المللی متمایز و جذاب ایجاد کرده و نفوذ خود بر جهان را ارتقا دهد. اگرچه قدرت نرم می‌تواند به طور طبیعی و گاه غیرقابل‌پیش‌بینی از دل فرهنگ و جامعه برخیزد، اما برندسازی ملی این جذابیت را ساختارمند و قابل‌مدیریت می‌کند. این ساختارمندی، نفوذ کشور را در عرصه‌های کلیدی مانند دیپلماسی علمی، جذب سرمایه‌گذار خارجی، توسعه گردشگری و رقابت در بازارهای جهانی به طور چشمگیری افزایش می‌دهد [۱۰].

۲-۲-۱. ژاپن: بازسازی تصویر ملی از مسیر علم، فناوری و فرهنگ

ژاپن در غیاب قدرت سخت، با اتکا بر علم، فناوری و فرهنگ، قدرت نرم بانفوذی ساخته است. پس از جنگ جهانی دوم، با فروپاشی اقتصادی، محدودیت‌های نظامی و از دست دادن قدرت سخت، نفوذ غیرتهاجمی را جایگزین کرد و محدودیت‌ها را به فرصتی راهبردی تبدیل نمود. از دهه ۱۹۸۰، هم‌زمان با «معجزه اقتصادی» که در آن فناوری این کشور مترادف کیفیت و نوآوری شد، دیپلماسی علمی، نوآوری صنعتی و برندسازی فرهنگی تصویری جهانی از ژاپن صلح‌جو، پیشرفته و فرهنگی ایجاد نمود.

^۱ Nation branding

^۳ Cool Japan

^۲ Society 5.0

در حوزه امنیت ژاپن از الگوی «قدرت نظامی غیرتهاجمی» بهره می‌گیرد و توان دفاعی خود را عمدتاً در مأموریت‌های بشردوستانه به کار می‌گیرد. اقداماتی نظیر توموداچی^۱ (کمک به بازسازی فیلیپین پس از طوفان-۲۰۱۱) و عملیات توموداچی^۲ (امدادسانی گسترده به قربانیان سونامی و فوکوشیما با همکاری آمریکا-۲۰۱۱) مثال‌هایی از این رویکرد صلح‌طلبانه ژاپن هستند. تعهد ژاپن به هنجارهای بین‌المللی مانند آزادی دریانوردی و مقابله با تغییرات اقلیمی، نقشی دوگانه دارد که هم پاسخی به ادعاهای دریایی چین است و هم در چارچوب تعهدات این کشور تحت توافق پاریس (۲۰۱۵) باهدف کاهش ۲۶٪ انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۳۰ قرار دارد. پشتوانه این سیاست‌ها، سرمایه‌گذاری بلندمدت ژاپن در نوآوری، آموزش و تحقیق و توسعه است. این کشور با ساختار علمی قدرتمند، دانشگاه‌های تراز جهانی و صنایع پیشرو مانند روباتیک و الکترونیک، به یکی از قطب‌های فناوری جهان تبدیل شده است [۱۹].

۲-۲-۲. کره جنوبی: ترکیب فناوری دیجیتال با موج فرهنگی

کره جنوبی طی سه دهه گذشته نمونه‌ای بارز از تبدیل هوشمندانه فناوری و فرهنگ به قدرت است. از دهه ۱۹۹۰، دولت آگاهانه فرهنگ را به سرمایه ملی تبدیل کرد و آن را با دیپلماسی عمومی، برندسازی و همکاری‌های بین‌المللی پیوند زد. نتیجه این راهبرد، جهشی تاریخی است: کشوری که تا دهه ۱۹۶۰ یکی از فقیرترین اقتصادهای آسیا بود و در سایه همسایگان بزرگ خود قرار داشت، اکنون در شاخص جهانی قدرت نرم ۲۰۲۵ رتبه دوازدهم را در اختیار دارد و در هر دو حوزه فرهنگ و فناوری در میان ده کشور برتر جهان قرار دارد. این تحول، منجر به رشد چشمگیر تولید ناخالص داخلی و جهش اقتصادی این کشور شد [۲۲].

دولت با حمایت‌های هدفمند، شرکت‌هایی مانند سامسونگ، ال‌جی و هیوندای را از تولیدکنندگان محلی به محصولات باکیفیت جهانی ارتقا داد. در این روند، برندسازی نقش مهمی ایفا کرد؛ وزارت آموزش، علم و فناوری کره جنوبی^۳ (MEST) از دهه ۲۰۱۰ با

روایت‌سازی «کره‌ی خلاق»^۴، سه حوزه نوآوری، دیجیتال و فرهنگ را درهم‌تنیده است [۲۰]. نتیجه این راهبرد، کسب رتبه نخست در شاخص جهانی نوآوری ۲۰۲۳ بوده است [۱۸].

راهبرد هوش مصنوعی، ایجاد دانشگاه‌های تخصصی و جذب پژوهشگران و دانشجویان خارجی، همگی بخشی از پروژه‌ای هستند که عملاً کارکرد «دیپلماسی فناوری» دارد [۲۰، ۲۳]. این رویکرد در همکاری‌های پژوهشی بین‌المللی کره جنوبی نیز دنبال می‌شود؛ نهادهایی مانند آژانس همکاری کره جنوبی^۵ (KOICA) و بنیاد علم و فناوری کره^۶ (KOFST)، با اجرای پروژه‌های انتقال فناوری از ۵۶ گرفته تا انرژی و اقلیم، برای کشور مشروعیت بین‌المللی ایجاد کرده‌اند. دیپلماسی دیجیتال نیز مکمل آن است؛ سفارتخانه‌ها و نهادهای رسمی، موضوعات علمی و نوآورانه را به محور گفتگوهای برخط تبدیل کرده و سطح تعامل جهانی را ارتقا داده‌اند [۲۰]. در همه‌گیری کووید-۱۹، کره جنوبی با اتکا به سنجش گسترده، ردیابی دیجیتال و همکاری دولت و صنعت در تولید کیت‌های تشخیصی، به الگویی بین‌المللی در مدیریت بحران تبدیل شد [۲۳].

مهم‌ترین قدرت کره جنوبی، همگرایی فناوری و فرهنگ است. «هالیو»^۷ یا «موج کره‌ای»، در راستای انتشار فرهنگ کره‌ای در سراسر جهان، از موسیقی پاپ کره‌ای (K-pop) تا سریال‌ها و فیلم‌ها (K-dramas) و حتی مد و زیبایی، به یک راهبرد دولتی تبدیل شد و شامل سرمایه‌گذاری وسیع در صادرات فرهنگی است. عامل جهانی شدن این موج، پیوند آن با فناوری دیجیتال بود: اینترنت فوق‌سریع، پلتفرم‌ها، شبکه‌های اجتماعی و الگوریتم‌ها باعث شدند فرهنگ کره‌ای نه تنها مصرف، بلکه تکثیر شود و تصویری مدرن، خلاق و جذاب از آن کشور بسازد و حتی بر روابط سیاسی آن اثر می‌گذارد [۲۲-۲۴]. حوزه بازی‌های دیجیتال و

^۱ Tomo Dachi

^۲ Operation Tomodachi

^۳ Ministry of Education, Science and Technology of South Korea

^۴ Creative Korea

^۵ KOICA: Korea International Cooperation Agency

^۶ KOFST: Korean Federation of Science and Technology Societies

^۷ Hallyu

ورزش‌های الکترونیکی^۱ منبع تازه‌ای از قدرت نرم کره جنوبی است. دولت این ظرفیت را به طور رسمی به کار گرفته و از مشوق‌هایی مانند معافیت‌های نظامی (سربازی) قهرمانان تا برنامه‌های ملی برای جهانی‌سازی ورزش‌های الکترونیکی بهره برده است. استفاده از هوش مصنوعی در آموزش بازیکنان و ایجاد «آزمایشگاه‌های جهانی ورزش‌های الکترونیکی» هم بخشی از این راهبرد است [۲۴].

۲-۲-۳. آلمان: توان علمی در قدرت هوشمند

آلمان بزرگ‌ترین اقتصاد اروپا، از زمان اتحاد دوباره در سال ۱۹۹۰، راهبرد قدرت هوشمند را به کار گرفت؛ ترکیبی از توانایی سخت اقتصادی-نظامی با قدرت نرم فرهنگی و دیپلماتیک. این روند، باهدف بازسازی تصویر بین‌المللی و گذار از سایه «گذشته نازی» به کشوری مسئول، دموکراتیک و نوآور، شکل منسجم‌تری یافت [۲۵]. تغییرات تدریجی منجر شد تا در سال ۲۰۲۵ آلمان در شاخص جهانی قدرت نرم جایگاه پنجم قرار گیرد (۱).

وزارت آموزش و تحقیقات فدرال آلمان^۲ (BMBF)، علم و فناوری را عملاً با سیاست خارجی ادغام کرد و به «هاب نوآوری اروپا» بدل شد [۱۸]، (۲). راهبرد فناوری‌محور آلمان، از راهبرد فناوری‌های پیشرفته تا شبکه‌هایی مثل بنیاد ماکس پلانک^۳، بر پیشتازی در حوزه‌هایی چون هوش مصنوعی، انرژی سبز و زیست‌فناوری و هم‌زمان جذب گسترده متخصصان خارجی متمرکز است. نقش دیپلماسی فناوری این کشور در موضوعات جهانی مانند تغییرات اقلیمی پررنگ است [۲۶]. نهادهایی مانند سرویس تبادل آکادمیک آلمان^۴ (DAAD) و آژانس همکاری بین‌المللی آلمان^۵ (GIZ) پروژه‌های فناورانه را در کشورهای درحال توسعه اجرا می‌کنند و موجب درآمد بالایی از صادرات علمی-فناورانه می‌گردد [۲۷]. قدرت نرم آلمان تنها بر علم و صنعت استوار نیست؛ فرهنگ، آموزش و سازمان‌های غیردولتی هم لایه نرم و انسانی این تصویر را

می‌سازند. مؤسساتی مثل گوته و DAAD، شبکه‌ای جهانی از زبان، فرهنگ و آموزش ایجاد کرده‌اند که با ابزارهای دیجیتال تقویت شده و به جذب بیش از ۴۰۰ هزار دانشجوی خارجی انجامیده است [۲۷]. ادغام این فعالیت‌ها با پروژه‌های علمی، منجر به نفوذ آلمان به‌خصوص در شرق اروپا بوده است. نمونه مشهور، واکسن mRNA حاصل همکاری BioNTech-Pfizer در دوران کووید بود که آلمان را ناگهان به یک بازیگر علمی حیاتی تبدیل کرد [۱۸].

۳. اعتبار ملی و بین‌المللی

ارتقای اعتبار یک کشور فرایندی چندبعدی است که بر سرمایه‌گذاری داخلی، تولید دانش باکیفیت، همکاری‌های ملی و بین‌المللی و دیپلماسی علمی استوار است. سنجش آن از طریق شاخص‌های کمی و کیفی معتبر جهانی صورت می‌گیرد: جایگاه کشور در شاخص‌های انتشار علمی جهانی نظیر نیچر^۶ و لیدن^۷، تعداد جوایز بین‌المللی (نوبل، فیلدز^۸، تورینگ^۹ و آبل^{۱۰}) و نقش رهبری علم به‌صورت منطقه‌ای و بین‌المللی. کشورهای با نقش رهبری علم، نفوذ دیپلماتیک بیشتری در سازمان‌ها و مذاکرات جهانی، از تغییرات اقلیمی تا امنیت سایبری کسب می‌کنند و نقش شریک معتبر در حل چالش‌های جهانی را بازی می‌کنند [۲۸، ۲۹]. برای ارتقای اعتبار علمی، کشور باید از راهبردهای بلندمدت و چندبعدی بهره می‌گیرد:

۳-۱. سرمایه‌گذاری پایدار در تحقیق و توسعه:

این موضوع در گرو تخصیص سهم بالایی از تولید ناخالص داخلی به علم، به‌صورت پایدار و هدفمند است. کشورهای پیشرو علمی، جایگاه خود را مدیون چنین سرمایه‌گذاری‌های بلندمدتی هستند. بااین حال، سرمایه‌گذاری صرفاً به معنای سرمایه مالی نیست، بلکه «سرمایه مغزی» یک کشور نقشی تعیین‌کننده دارد: سرمایه‌گذاری

^۱ Esports: رقابت‌های سازمان‌یافته و حرفه‌ای در بازی‌های ویدیویی که در آن بازیکنان به‌صورت فردی یا تیمی با هم به رقابت می‌پردازند و شامل لیگ‌ها، مسابقات بین‌المللی و جوایز مالی است.

^۲ Bundesministerium für Bildung und Forschung

^۳ Max Planck

^۴ Deutscher Akademischer Austauschdienst

^۵ Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit

^۶ Nature Index

^۷ Leiden Ranking

^۸ Fields Medal: معتبرترین جایزه در ریاضیات برای دانشمندان زیر ۴۰ سال است که گاهی «نوبل ریاضیات» خوانده می‌شود.

^۹ Turing Award: معتبرترین جایزه در علوم کامپیوتر است که به آن «نوبل کامپیوتر» نیز گفته می‌شود.

^{۱۰} Abel: جایزه‌ای بین‌المللی در ریاضیات و مکمل «مدال فیلدز» برای سنین بالاتر محسوب می‌شود.

فنی را به بازارهای جهانی فراهم می‌سازد و آن را به تجربه‌ای ملموس در زندگی روزمره کاربران جهانی تبدیل می‌کند [۳۱].

۳-۳. مشارکت فعال و همکاری در سازمان‌ها و پروژه‌های علمی بین‌المللی

بعد مهم دیگر پروژه‌های علم بزرگ است؛ این پروژه‌ها نه تنها به تولید دانش‌بنیادی کمک می‌کنند، بلکه نمادی از تعهد بلندمدت به چالش‌های مشترک بشری است. در این راستا سازمان‌های شبکه‌ای بین‌المللی با سرمایه‌گذاری‌های عظیم و برنامه‌ریزی هدفمند بلندمدت طراحی می‌شوند تا پروژه‌های پیچیده را در زمان حل کند. پروژه‌هایی مانند سازمان پژوهش‌های هسته‌ای اروپا^۵ (CERN) و ایستگاه فضایی بین‌المللی^۶ (ISS) نمونه‌هایی هستند که همکاری بیش از ۲۰ کشور را در بر می‌گیرند [۳۲].

مأموریت اصلی CERN کشف اسرار بنیادی جهان از طریق مطالعه فیزیک ذرات است که با فراهم کردن زیرساخت‌های پیشرفته که فراتر از توان مالی یا فنی یک دولت منفرد است، صورت می‌گیرد. علاوه بر اکتشافات علم بنیادی مرز دانش، نقشی حیاتی در آموزش نسل آینده دانشمندان و بازسازی همکاری‌های علمی اروپا دارد که در کاهش فرار مغزها از این قاره تأثیرگذار است. الگوی حکمرانی آن منحصربه‌فرد است؛ ترکیبی از تمرکز نهادی و تولید دانش شبکه‌ای که در سطح کلان توسط یک شورای بین‌دولتی متشکل از کشورهای عضو و یک دبیرخانه فنی-علمی مرکزی اداره و هدایت می‌شود. اما در عمل، بخش عمده پژوهش‌ها در قالب «همکاری‌های علمی مستقل» سازماندهی شده که به صورت شبکه‌ای فعالیت می‌کنند؛ در عین آزادی علمی و مدیریتی، از نظر حقوقی زیر چتر نهادی CERN قرار گرفته‌اند. این معماری انعطاف‌پذیر، امکان مشارکت گسترده کشورهای غیرعضو (مانند ایالات متحده، روسیه، هند و پاکستان) را از طریق تفاهم‌نامه‌های همکاری فراهم کرده است [۳۳، ۳۴].

ISS یک مگاپروژه چندملیتی با مشارکت ناسا^۷، سازمان فضایی روسیه، آژانس فضایی اروپا، سازمان کاوش‌های هوا-فضای ژاپن و آژانس فضایی ملی کانادا است. مأموریت آن ایجاد و بهره‌برداری از یک پایگاه دائمی پژوهشی در مدار پایین زمین^۸ (در ارتفاع تقریبی ۴۰۰ کیلومتری)، به منظور انجام تحقیقات علمی در شرایط ریزگرانش،

در آموزش عالی باکیفیت و طراحی نظام‌های مؤثر برای جذب، پرورش و نگهداشت استعدادهای انسانی و هم‌زمان، سیاست‌هایی برای جذب پژوهشگران بین‌المللی مانند ویزاهای ویژه استعدادها و حمایت‌های نهادی و اجتماعی. برای نمونه، در شاخص رقابت‌پذیری جهانی استعدادها^۱ (۲۰۲۵) که ظرفیت کشورها را در توسعه، جذب و حفظ استعدادها می‌سنجد، سنگاپور و سوئیس در رتبه‌های اول و دوم قرار دارند (۳). در نتیجه، دانشگاه‌هایی مانند مؤسسه فناوری فدرال زوریخ^۲ و دانشگاه ملی سنگاپور به ترتیب رتبه‌های هفتم و هشتم جهان را در رتبه‌بندی دانشگاهی کیواس^۳ (۲۰۲۶) کسب کرده‌اند و این کشورها را به قطب‌های علمی جذاب تبدیل نموده‌اند (۴).

۲-۳. تولید دانش باکیفیت و دیده‌شدن جهانی

کشورهای پیشرو معمولاً در رتبه‌های بالای نظام‌های ارزیابی انتشار علمی، هم از نظر کمی و هم کیفی قرار دارند. از نظر کمی، انتشار مقالات در مجلات تراز اول و دریافت اسنادهای بالا، جایگاه کشورها را در شاخص‌های مرجع ارتقا می‌دهد. بر اساس شاخص نیچر (۲۰۲۵)، چین در حوزه‌هایی مانند شیمی، فیزیک و علوم زمین و محیط‌زیست رتبه‌ی نخست را دارد، درحالی‌که، ایالات متحده در جایگاه دوم، در حوزه علوم زیستی و علوم پزشکی پیشتاز است (۵). بااین حال، کیفیت که به میزان «تأثیرگذاری و الهام‌بخشی پژوهش برای جامعه علمی» اشاره دارد، شاخص مطلوب‌تری است و با ترکیبی از معیارها که هر دو ابعاد کمی و کیفی را دربرمی‌گیرد، سنجیده می‌شود. مهمترین این شاخص‌ها عبارتند از: شاخص اچ^۴، تعداد کل اسنادها، نسبت خوداستنادی و تعداد کل اسناد منتشرشده است. کیفیت همچنین در شبکه‌سازی علمی و کسب جوایز معتبر بین‌المللی نمود می‌یابد. (۶) و [۳۰].

اگر گسترش مرزهای دانش باکیفیت به اوج برسد، در پی آن، نوآوری، ثبت پتنت‌ها و ایجاد شرکت‌های دانش‌بنیان و استارت‌آپ‌ها شکل می‌گیرند و به فناوری‌های قابل تجاری‌سازی تبدیل می‌کند. این فناوری که از علم یک کشور ریشه می‌گیرد، دارای هویت آن مرزبوم است و برند ملی ایجاد می‌نماید. این فرایند، افزون بر ایجاد ارزش اقتصادی و اجتماعی در داخل کشور، امکان صدور فناوری و دانش

¹ Global Talent Competitiveness Index

² Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH Zurich)

³ QS World University Rankings

⁴ h-index

⁵ Organisation européenne pour la recherche nucléaire

⁶ International Space Station

⁷ National Aeronautics and Space Administration

⁸ Low Earth Orbit

- (3). <https://www.globaltalentcompetitivenessindex.org/countries/>
- (4). <https://www.topuniversities.com/world-university-rankings>
- (5). <https://www.nature.com/nature-index/research-leaders/2025/>
- (6). <https://www.nobelprize.org/prizes/lists/all-nobel-prizes/all/>

Reference

منابع

- [1]. Weiss C. How Do Science and Technology Affect International Affairs? Minerva. 2015 Dec 19;53(4):411–30.
- [2]. Brooks H. The relationship between science and technology. Res Policy. 1994 Sep;23(5):477–86.
- [3]. Zubairy MS. Birth of Quantum Mechanics—Planck, Einstein, Bohr. In: Quantum Mechanics for Beginners. Oxford University Press; 2020. p. 81–99.
- [4]. Fei A. A review of the development of transistor technology and its application in electronic devices. Appl Comput Eng. 2024 Apr 24;56(1):141–5.
- [5]. نیکو محبعلی‌زاده، علی اکبر موسوی موحدی، تحقیقات بیوفیزیک و جایزه نوبل. نامه علوم پایه. ۱۴۰۱؛ ۷:۱۱۲.
- [6]. Pederson T. The double helix: “Photo 51” revisited. FASEB J. 2020 Feb 11;34(2):1923–7.
- [7]. Sharma P, Singh SP, Iqbal HMN, Parra-Saldivar R, Varjani S, Tong YW. Genetic modifications associated with sustainability aspects for sustainable developments. Bioengineered. 2022 Apr 1;13(4):9509–21.
- [8]. احمدرضا لگزریان. نگاهی به محصولات غذایی تراریخته. نشا علم. ۱۳۹۷؛ ۸(۲):۱۲۷–۱۲۰.
- [9]. Zilberman D, Holland TG, Trilnick I. Agricultural GMOs—What We Know and Where Scientists Disagree. Sustainability. 2018 May 10;10(5):1514.
- [10]. Fan Y. Soft power: Power of attraction or confusion? Place Brand Public Dipl. 2008 May 29;4(2):147–58.
- [11]. Davit Tchotchua. The Utility of Both Hard and Soft Power in Modern International Relations. Int J Econ Integr Reg Compet. 2024 Apr 17;1(4):21–7.
- [12]. Krige J, Barth K. Introduction: Science, Technology, and International Affairs. Osiris. 2006 Jan 1;21(1):1–21.
- [13]. Wu X. Technology, power, and uncontrolled great power strategic competition between China and the United States. China Int Strateg Rev. 2020 Jun 24;2(1):99–119.
- [14]. Mazzucato M. The entrepreneurial state. Soundings. 2011 Nov 24;49(49):131–42.
15. ابوالفضل کیانی بختیاری، علی اکبر موسوی موحدی. انقلاب صنعتی چهارم و تغییرات بنیادین پیشرو. نشا علم. ۱۴۰۰؛ ۱۱(۲):۱۶۳–۱۵۵.

توسعه و آزمون فناوری‌های فضایی و همچنین پشتیبانی از آمادگی برای مأموریت‌های انسانی بلندمدت به مقاصد چون ماه و مریخ است. از سال ۲۰۰۰ تاکنون میزان فضانوردانی از بیش از ۱۸ کشور بوده و حتی در دوره‌های تنش ژئوپلیتیک، همکاری علمی فراملی را حفظ کرده است [۳۳، ۳۴].

۴. سخن پایانی و چشم‌انداز

باوجود آنکه کشورهای درحال توسعه اتکای اصلی خود را بر دارایی‌های ملموس مانند منابع طبیعی و زیرساخت‌های فیزیکی قرار می‌دهند، کشورهای پیشرو علمی-فناوری قدرت واقعی و پایدار خود را از دارایی‌های نامحسوس و ناملموس همچون توانمندی‌های علمی و فناوریانه، برند ملی قدرتمند و روایت‌سازی مؤثر جهانی به دست می‌آورند. علم و فناوری در عصر حاضر، هم‌زمان هم موتور اقتدار ملی، هم ستون دیپلماسی مدرن (اعتبار فرهنگی و نفوذ نرم) هستند. آینده قدرت به توانایی کشورها در چرخه‌ای یکپارچه از تولید دانش باکیفیت، تبدیل آن به فناوری رقابتی و بهره‌برداری هوشمندانه از آن در عرصه دیپلماسی وابسته است. بدون برتری علمی و تبدیل آن به جذابیت دیپلماتیک، اقتدار ملی ناپایدار خواهد ماند. مسیر توسعه واقعی با سرمایه مادی و محسوس آغاز می‌شود، اما تنها با تکیه بر سرمایه نامحسوس، از جمله توانمندی‌های علمی و فناوریانه به بلوغ و پایداری می‌رسد. در این راستا، در این دنیای پرشتاب، ایران نیز نیازمند سرمایه‌گذاری جدی‌تر در حوزه‌های علمی و فناوری، پرورش و حفظ نخبگان و متخصصان، تقویت زیرساخت‌های دانشگاهی و گسترش همکاری‌های علمی با جامعه بین‌المللی است. ایران، می‌تواند با بهره‌گیری از مزیت‌های ناملموس خود، همچون تاریخ پرشکو، فرهنگ غنی، هنرهای اصیل و شاعران حکیم پارسی زبان در حکمت و ادب [۳۵]، به عنوان دارایی‌های بسیار ارزشمند در کنار تقویت قابلیت‌های علمی و فناوریانه، قدرت نرم و جایگاه جهانی خود را ارتقا بخشد. چنین رویکردی اعتبار، نفوذ و موقعیت راهبردی کشور را در نظام بین‌الملل تقویت نموده و ایران را در حوزه خلاقیت جهانی مدرن قرار می‌دهد.

وبگاه‌های رجوع شده

- (1). <https://brandfinance.com/insights/global-soft-power-index-2025-the-shifting-balance-of-global-soft-power>
- (2). <https://www.wipo.int/gii-ranking/en/germany>

- [27]. Mateleshko Y. Non-Governmental Institutions as Actors of German 'Soft Power' in Ukraine (1992-2022). *Eminak*. 2023 Apr 13;(1(41)):216–33.
- [28]. Wagner CS, Park HW, Leydesdorff L. The Continuing Growth of Global Cooperation Networks in Research: A Conundrum for National Governments. Glanzel W, editor. *PLoS One*. 2015 Jul 21;10(7):e0131816.
- [29]. Chinchilla-Rodríguez Z, Sugimoto CR, Larivière V. Follow the leader: On the relationship between leadership and scholarly impact in international collaborations. Bornmann L, editor. *PLoS One*. 2019 Jun 20;14(6):e0218309.
- [30]. Dündar S, Gürcan ÖF, Karadağ İ. Analysis of G20 Countries in terms of Scientific Publication Performances. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilim Fakültesi Derg. 2024 Jun 11;
- [31]. Shahabadi A, Amjadian S, Ghasemifar S, Shafieian M. The effect of the national brand on high-tech exports in selected countries. *J Innov Entrep*. 2023 Aug 31;12(1):54.
- [32]. Francisco JS. International Scientific Collaborations: A Key to Scientific Success. *Angew Chemie Int Ed*. 2015 Dec 7;54(50):14984–5.
- [33]. Robinson M. The CERN Community; A Mechanism for Effective Global Collaboration? *Glob Policy*. 2019 Feb 18;10(1):41–51.
- [34]. Bassler U. CERN: Europe's voyage to the infinitely small. *Europhys News*. 2023 Dec 11;54(5):20–1.
- [۳۵]. سید کاظم علوی پناه، علی اکبر موسوی موحدی. منشور هفتگانه برای همزیستی در جهان آینده. نشا علم. ۱۴۰۰؛ ۱۲(۱): ۹۸-۱۰۱.
- [16]. Fan C. Evolution of Strategic Scientific and Technological Power: The World and China,. *Bull Chinese Acad Sci*. 2021;36(5):533–43.
- [17]. Hu A, Zhou S, Xie Y. The Great Leap Development and Outlook of China's Scientific and Technological Strength (2000–2035). In 2025. p. 243–72.
- [18]. Bettine M. Gaining soft power by fostering science, technology, and innovation: dilemmas in international relations. *Sociol Int J*. 2022 May 4;6(2):67–72.
- [19]. Heng YK. Three Faces of Japan's Soft Power. *Asian Int Stud Rev*. 2017;18(1):171–88.
- [20]. López-Aranguren JL. Japan's Science and Technology Diplomacy: Society 5.0 and its International Projection. *Commun Soc*. 2023 Apr 4;225–39.
- [21]. Dubinsky Y. The Olympic Games, nation branding, and public diplomacy in a post-pandemic world: Reflections on Tokyo 2020 and beyond. *Place Brand Public Dipl*. 2023 Sep 10;19(3):386–97.
- [22]. Watson I. South Korea's State-led Soft Power Strategies: Limits on Inter-Korean Relations. *Asian J Polit Sci*. 2012 Dec;20(3):304–25.
- [23]. Lee ST, Kim HS. Nation branding in the COVID-19 era: South Korea's pandemic public diplomacy. *Place Brand Public Dipl*. 2021 Dec 15;17(4):382–96.
- [24]. Valieva J. Cultural Soft Power of Korea. *J Hist Cult Art Res*. 2018 Nov 30;7(4):207.
- [25]. Patterson WR. Smart power in reunified Germany. *J Power*. 2008 Dec;1(3):339–54.
- [26]. Abrantes M, Lacerda L, Mauduit JC. The Science Diplomacy Digital Index: new ways of measuring science diplomacy—the Lisbon study case in the year of 2021. *Front Polit Sci*. 2025 Oct 16;7.

آینده نشر علمی در آینه دیدگاه سردبیران

نرجس ورع^۱، محمدرضا قانع^{۱*}

چکیده

نشر علمی به عنوان یکی از ارکان تولید، اعتبارسنجی و اشاعه دانش، در سال‌های اخیر با تحولات ساختاری، فناورانه و اخلاقی گسترده‌ای روبه‌رو شده است. افزایش مقالات ارسالی، فشار بر داوری، ضرورت ارتقای رؤیت‌پذیری، چالش‌های پایداری مالی و گسترش هوش مصنوعی، نقش سردبیران را از مدیریت سنتی فراتر برده و به سیاست‌گذاری علمی، نظارت اخلاقی و مدیریت فناوری پیوند زده است. پژوهش حاضر باهدف بررسی نگرش سردبیران و دست‌اندرکاران نشر علمی نسبت به چالش‌ها، راهکارها و نقش‌های نوین سردبیران انجام شد. رویکرد مطالعه، توصیفی-تحلیلی است. جامعه پژوهش شامل سردبیران، مدیران مسئول، اعضای هیئت تحریریه، داوران و پژوهشگران فعال در نشریات علمی معتبر کشور بود. داده‌ها با پرسش‌نامه ساختاریافته مبتنی بر طیف لیکرت پنج‌درجه‌ای گردآوری شد و از میان ۱۱۰ پرسش‌نامه توزیع‌شده، ۶۰ پرسش‌نامه کامل تحلیل شد. یافته‌ها نشان داد که چالش مالی، کیفیت محتوا و نیروی انسانی مهم‌ترین عوامل پایداری نشریات هستند. در افزایش استناد و رؤیت‌پذیری، نمایه‌سازی هدفمند مهم‌ترین راهکار شناخته شد. همچنین، سرقت علمی، ضعف مهارتی کاربران و افت کیفیت علمی مهم‌ترین نگرانی‌های مرتبط با هوش مصنوعی بودند. نتایج نشان می‌دهد ارتقای نشریات علمی مستلزم تأمین منابع، توانمندسازی نیروی انسانی، توسعه زیرساخت فناورانه و تدوین سیاست‌های شفاف است.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت:

۱۴ خرداد ۱۴۰۵

تاریخ بازنگری:

۲۱ خرداد ۱۴۰۵

تاریخ پذیرش:

۲۸ خرداد ۱۴۰۵

تاریخ انتشار:

۳۱ خرداد ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:

نشر علمی

سردبیران

پایداری نشریات

رؤیت‌پذیری علمی

هوش مصنوعی

اخلاقی نشر

استناد: ورع، نرجس؛ قانع، محمدرضا. (۱۴۰۵). آینده نشر علمی در آینه دیدگاه سردبیران. *نشاء علم*، ۱۶ (۱)، ۲۷-۳۵.



ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران

© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

* عهده‌دار مکاتبات: دانشیار، تلفن: ۰۱۵ ۳۶۴۶۸۰ (+۹۸۷۱)، دورنگار: ۰۳۶۴۶۸۳۵۲ (+۹۸۷۱)، آدرس الکترونیکی: ghane@isc.ac

^۱ موسسه استنادی و پایش علم و فناوری جهان اسلام (ISC)، شیراز، ایران

۱. مقدمه و بیان مسئله

نشر علمی یکی از ارکان اساسی در تولید، اعتبارسنجی و اشاعه دانش به شمار می‌رود و نقش مهمی در پیشرفت علم و فناوری ایفا می‌کند. پایداری و کیفیت این نظام، ارتباط مستقیمی با اعتبار علمی کشورها و میزان اثرگذاری پژوهش‌ها در سطح ملی و بین‌المللی دارد. در سال‌های اخیر، رشد شتابان تولیدات علمی و گسترش نشریات، به‌ویژه در بستر دسترسی آزاد، رقابت برای جذب مقالات باکیفیت را افزایش داده و در نتیجه، مسئولیت‌ها و چالش‌های ساختاری و مدیریتی سردبیران و مدیران نشریات را پیچیده‌تر کرده است [۱]. محدودیت منابع مالی، کمبود نیروی انسانی متخصص و افزایش بار کاری مرتبط با فرایند داوری هم‌اکنون از جمله چالش‌های مهم هستند.

هم‌زمان با این چالش‌ها، تحولات فناوری فرصت‌های تازه‌ای را برای بهبود فرایندهای نشر فراهم کرده است. با این حال، بهره‌گیری مؤثر از این ظرفیت‌ها نیازمند مهارت‌های مدیریتی و تصمیم‌گیری آگاهانه در میان سردبیران است. به بیان دیگر، فناوری به‌تنهایی کافی نیست؛ بلکه نحوه تلفیق آن با تخصص و قضاوت انسانی از اهمیت بنیادین برخوردار است [۲]. درهم‌تنیدگی فناوری‌های نوین؛ به‌ویژه با ظهور هوش مصنوعی مولد، با نقش‌های حوزه سردبیری، موضوع تمنا و تضاد (مقاومت) در پذیرش و به‌کارگیری فناوری را به چالش قابل‌اعتنا تبدیل کرده است. باوجود تأثیر قابل‌توجه هوش مصنوعی بر نشریات علمی، پیچیدگی فنی و ماهیت غیرشفاف عملکرد آنها سبب شده است که بسیاری از دست‌اندرکاران نشر علمی درک روشنی از نحوه کارکرد و کاربری این فناوری‌ها نداشته باشند [۳]. این فناوری با ارائه قابلیت‌هایی چون پردازش داده‌ها، خودکارسازی وظایف تکراری و کمک به تحلیل‌های پیچیده، فرصتی بی‌سابقه برای تسریع و تعمیق اکتشافات علمی فراهم کرده است. با این حال، به‌کارگیری آن نگارش مقالات علمی را با چالش‌های اخلاقی، روش‌شناختی و حقوقی همراه ساخته است [۴]. بنابراین حفظ کیفیت محتوا همراه با رعایت اصول اخلاقی در پایداری حیات علمی نشریه نقش کلیدی دارد.

دسترسی گسترده به اینترنت این امکان را فراهم کرده است که افراد به‌صورت رایگان از ابزارهای مبتنی بر هوش مصنوعی استفاده کنند. این ابزارها قادرند در زمانی کوتاه و با کارایی بالا، برای پرسش‌های مشخص کاربران پاسخ‌های متنی مناسب و منسجم تولید کنند [۵]. با این حال، استفاده نادرست از این ابزارها می‌تواند به اعتبار و سلامت فرایند تولید و انتشار دانش علمی آسیب برساند؛ چنان‌که شواهد و نمونه‌هایی از این مسئله در سال‌های اخیر مشاهده شده است. به‌عنوان نمونه، حتی در برخی مقالات منتشرشده، نام ChatGPT در فهرست نویسندگان همکار قرار گرفته است. در استفاده از ChatGPT ملاحظات اخلاقی از جمله حریم خصوصی و امنیت داده‌ها، مالکیت معنوی و تألیف، سوءاستفاده غیرقانونی، شفافیت و توضیح‌پذیری، اطلاعات نادرست، سوگیری‌ها، تعاملات انسان و ماشین و مسئولیت و پاسخگویی مطرح می‌شود. استفاده کنترل نشده از آن می‌تواند مشکلاتی ایجاد کند و محققان در تلاش هستند تا دقت و قابلیت اطمینان آن را بهبود بخشند. نظر ناشران بین‌المللی نیز این است که این ابزار نمی‌تواند به‌عنوان یک نویسنده در مقالات علمی باشد و فقط می‌توان از آن در بهبود نوشتار و خلاصه‌سازی استفاده نمود [۶]. از دیگر چالش‌ها تولید ارجاعات و منابع ساختگی توسط هوش مصنوعی است؛ به‌گونه‌ای که گاه به آثاری استناد می‌کنند که اساساً وجود ندارند. همچنین محتوای تولیدشده توسط این ابزارها ممکن است همیشه دقیق، به‌روز یا قابل‌اعتماد نباشد و در برخی موارد اطلاعات نادرست یا قدیمی را در اختیار کاربران قرار دهد [۷]. در پیوند با نقش‌های حوزه سردبیری، ارائه راهکارهای منطقی افزایش استناد و رؤیت‌پذیری مقالات نشریه است. استنادها از دیرباز یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای سنجش تأثیر نشریات و مقالات علمی بوده‌اند و شاخص‌هایی مانند اثرگذاری نشریه^۱ را شکل داده‌اند. در این رابطه تصمیمات اولیه سردبیری در انتخاب مقاله، برای ورود به فرایند داوری تعیین‌کننده است. از طرفی میزان دسترسی و استنادها نیز با یکدیگر مرتبط هستند. این روند به‌عنوان یک چرخه مثبت در تقویت اعتبار نشریه و گسترش بیشتر مخاطبان آن مؤثر است. سؤال پیش‌روی حوزه سردبیری این است که چگونه استناد افزایش یابد. نکات کلیدی در این رابطه شامل دسترسی آزاد،

^۱ Journal Influence Index (JII), <https://jcr.isc.ac/main.aspx>

زبان‌های مختلف است که برای انتقال دانش به مخاطبان در سطح وسیع‌تر پیشنهاد شده‌اند [۱۲]. نکته حایز اهمیت توانایی ترویج علم در سطح جامعه است. استفاده از خلاصه‌های عامه‌فهم از مقالات می‌تواند به دیده‌شدن بیشتر، افزایش تأثیر و شفافیت پژوهش‌های علمی کمک کند و ارتباط مؤثرتری میان پژوهشگران و مخاطبان مختلف، از جمله عموم مردم و سیاست‌گذاران ایجاد نماید. امروزه ابزارهای هوش مصنوعی امکان تولید این نوع خلاصه‌ها را فراهم کرده‌اند؛ اما لازم است دقت و صحت محتوای تولیدشده پیش از استفاده بررسی و مدیریت شود و پژوهش‌های آینده بر ارزیابی کیفیت این متون و نقش همکاری انسان و هوش مصنوعی در تولید آن‌ها تمرکز کنند [۱۳].

۳-۱. فرصت‌ها و چالش‌های فرایندی هوش مصنوعی

کاربرد هوش مصنوعی در نشر علمی، هم به‌عنوان ابزاری برای بهبود کارایی و هم به‌عنوان منشأ چالش‌های اخلاقی جدید مورد بحث قرار گرفته است. طبق یافته‌های صدیق و همکاران (۲۰۲۵)، استفاده از ابزارهای هوش مصنوعی در مراحل اولیه پردازش مقالات، از جمله بررسی سرقت علمی و ویرایش زبانی، به طور معناداری زمان رسیدگی به دستنوشته را کاهش داده است [۱۴]. با این حال، فرانکو و همکاران (۲۰۲۵) هشدار می‌دهند که استفاده زیاد از ابزارهای هوش مصنوعی مولد می‌تواند منجر به انتشار داده‌های نادرست شود که تشخیص آن‌ها برای داوران انسانی دشوار است [۱۵]. همچنین شکاف‌های موجود در سیاست‌گذاری‌های کلان و نبود چارچوب‌های اخلاقی هماهنگ میان ناشران بزرگ، منجر به نوعی بلاتکلیفی در مورد مسئولیت‌پذیری خروجی‌های هوش مصنوعی شده است [۱۶]. در نتیجه، تدوین اصول مسئولانه برای به‌حداقل رساندن پیامدهای منفی و ناخواسته هوش مصنوعی ضروری است که در سال‌های اخیر به یکی از محورهای اصلی بحث و گفت‌وگو تبدیل شده است [۱۷]. انتظار می‌رود برآیند مباحث منجر به تدوین چارچوبی برای به‌کارگیری معقولانه هوش مصنوعی شود تا این تنظیم‌گری استفاده از این فناوری را برای تمامی افرادی که از آن تأثیر می‌پذیرند، منصفانه، عادلانه، اخلاقی و به‌طور کلی سودمند کند.

استفاده مؤثر از مقالات مروری، انتشار موضوعات داغ و پرطرفدار، حفظ روند انتشار سریع و به‌موقع، معرفی نشریه در کنفرانس‌ها، ارتباط‌سازی در رویدادهای علمی، حضور در شبکه‌های اجتماعی، همکاری با رسانه‌ها برای برجسته کردن مقالات مهم و جذاب و ملاحظات اخلاقی می‌باشد [۸].

باتوجه به موارد مشاهده شده سیاست‌گذاری آگاهانه و آینده‌نگر در خصوص استفاده عاقلانه از هوش مصنوعی در زیست‌بوم پژوهش از اهمیت برخوردار است. بر این اساس، مسئله اصلی، شناخت ناکافی از چالش‌های مدیریتی، راهکارهای مؤثر و نگرش سردبیران نسبت به تحولات نوین نشر علمی، به‌ویژه فناوری‌های دیجیتال است. این خلأ دانشی، تدوین راهبردهای کارآمد برای ارتقای کیفیت، پایداری و رؤیت‌پذیری نشریات علمی را محدود می‌کند. از این رو، پژوهش حاضر با تمرکز بر دیدگاه‌ها و تجربیات سردبیران و مدیران نشریات، به تبیین این چالش‌ها و ارائه پیشنهادهایی برای بهبود می‌پردازد.

۱-۱. چالش‌های نوین در مدیریت تحریریه

ادبیات پژوهش نشان می‌دهد که سردبیران و کادر اجرایی نشریات با مجموعه‌ای از فشارهای عملیاتی و ساختاری روبه‌رو هستند که سرعت فرایند اصلاحات را کاهش می‌دهد. رو (۲۰۲۵) معتقد است افزایش بی‌رویه حجم مقالات ارسالی، فشار مضاعفی بر نظام داوری وارد کرده و منجر به پدیده‌ای تحت عنوان «خستگی داوران»^۱ شده است [۹]. این موضوع نه تنها فرایند تصمیم‌گیری را طولانی می‌کند؛ بلکه می‌تواند تأثیرات نامطلوبی بر کیفیت و همچنین به‌هنگام بودن فرایندهای ارزیابی و بررسی مقالات داشته باشد [۱۰]. علاوه بر چالش‌های عملیاتی، گالیان و همکاران (۲۰۱۹) به تهدیدهای جدید در زمینه اصالت علمی اشاره کرده‌اند. ظهور «کارخانه‌های مقاله‌سازی»^۲ و روش‌های نوین دست‌کاری تصاویر و داده‌ها، فرایند غربالگری مقالات را پیچیده‌تر از گذشته کرده است [۱۱].

۲-۱. راهکارهای ارتقای رؤیت‌پذیری

راهکارهای جدید افزایش پدیداری پژوهش‌ها شامل تولید خلاصه‌های بصری، پادکست‌های علمی و ترجمه‌های خودکار به

¹ Reviewer Fatigue

² Paper Mills

۴-۱. جایگاه نظارت انسانی و هوش مصنوعی

مطالعات در مورد نگرش سردبیران نشان‌دهنده نوعی «خوش‌بینی محتاطانه» است. لاند و همکاران (۲۰۲۴) در تحلیل خود بیان می‌کنند که اکثر سردبیران از ابزارهای هوش مصنوعی برای تسهیل امور روزمره استقبال می‌کنند؛ اما بر این باورند که قضاوت نهایی و ارزیابی مطالعات کیفی باید کماکان در اختیار انسان باشد [۱۸]. ضرورت آموزش مستمر هیئت‌تحریریه و تدوین پروتکل‌های شفاف برای افزایش استفاده از هوش مصنوعی، از جمله پیشنهادهای کلیدی در پژوهش‌های اخیر برای گذار موفق به عصر دیجیتال است. حضور هوش مصنوعی در نگارش مقاله علمی در بخش‌های مختلف مشاهده می‌شود. یکی از پرکاربردترین نقش‌ها در داوری است که به‌عنوان یکی از نقاط کنترل و گزینش اصلی در نشر علمی است [۱۹]. گرایش روزافزون داوران به استفاده از هوش مصنوعی، کمتر از سر کنجکاوی یا علاقه به فناوری‌های جدید است؛ بلکه بیشتر ریشه در فشارهای ساختاری دیرپایی از جمله زمان کوتاه داوری از سوی سردبیری، فرصت اندک داور به علت مشغله زیاد برای مطالعه و ارزیابی دقیق مقالات و اتکای گسترده نظام نشر علمی به داوری داوطلبانه و بدون دستمزد دارد که سال‌هاست بر فرایند داوری حاکم است [۲۰]. در مجموع، همه دیدگاه‌ها به مسئله نظارت و تنظیم‌گری توجه دارد و سردبیران نشریات معتبر نیز بر این موضوع تأکید دارند.

۲- روش‌شناسی

پژوهش حاضر با رویکرد توصیفی-تحلیلی و با هدفی کاربردی انجام شده است. روش پژوهش از نوع پیمایشی و مبتنی بر گردآوری داده‌های کمی است.

جامعه آماری شامل سردبیران، مدیران مسئول، اعضای هیئت تحریریه، داوران و پژوهشگران فعال در حوزه نشر علمی است که در نشریات علمی معتبر کشور فعالیت دارند. نمونه‌گیری به روش در دسترس انجام شد. در این راستا، پرسش‌نامه ساختاریافته بر اساس اهداف پژوهش و مرور پیشینه میان ۱۱۰ نفر از افراد واجد شرایط توزیع شد که از این میان، ۶۰ نفر به طور کامل پرسش‌نامه را تکمیل کردند که مبنای تحلیل قرار گرفت.

کلیه گویه‌ها بر اساس مقیاس لیکرت پنج‌درجه‌ای تنظیم و به‌صورت ۱ تا ۵ کدگذاری شدند. برای تحلیل داده‌ها از آمار توصیفی و استنباطی استفاده شد.

۳- یافته‌ها

۳-۱. ویژگی‌های جمعیت‌شناختی پاسخ‌دهندگان

به‌منظور توصیف ویژگی‌های جمعیت‌شناختی مشارکت‌کنندگان، سه متغیر اصلی نقش سازمانی در نشریه، سابقه فعالیت در حوزه نشر علمی و حوزه موضوعی نشریه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحلیل توصیفی این متغیرها نشان داد نیمی از پاسخ‌دهندگان (۵۰ درصد) را سردبیران تشکیل می‌دهند. پس از آن، مدیران مسئول و اعضای هیئت تحریریه ۲۰ درصد (۱۲ نفر) و سایر نقش‌ها از جمله داوران و ... با ۳۰ درصد (۱۸ نفر) قرار دارند.

بخش عمده‌ای از پاسخ‌دهندگان از تجربه حرفه‌ای بالایی در حوزه نشر علمی برخوردارند. به‌طوری که ۶۲ درصد (۳۷ نفر) دارای بیش از ۱۰ سال سابقه فعالیت هستند. همچنین، ۲۰ درصد (۱۲ نفر) بین ۵ تا ۱۰ سال و ۱۵ درصد (۹ نفر) بین ۳ تا ۵ سال سابقه فعالیت دارند. تنها ۳ درصد (۲ نفر) کمتر از سه سال تجربه در این حوزه داشته‌اند.

لازم به توضیح است پاسخ‌دهندگان از حوزه‌های موضوعی متنوعی در نشر علمی حضور داشته‌اند. بیشترین سهم مربوط به حوزه علوم انسانی با ۳۱ درصد (۱۹ نفر) است. پس از آن، حوزه‌های فنی و مهندسی با ۲۰ درصد (۱۲ نفر)، علوم پایه و کشاورزی و منابع طبیعی هر یک با ۱۷ درصد (مجموع ۲۰ نفر) قرار دارند. همچنین، حوزه‌های میان‌رشته‌ای (۸ درصد)، علوم پزشکی (۵ درصد) و دامپزشکی (۲ درصد) نیز در ترکیب نمونه دیده می‌شوند.

در مجموع، ساختار جمعیت‌شناختی نمونه پژوهش حاکی از غلبه افراد دارای نقش‌های مدیریتی، به‌ویژه سردبیران و همچنین برخورداری از سابقه حرفه‌ای طولانی در حوزه نشر علمی است. افزون بر این، تنوع حوزه‌های موضوعی نشریات نشان‌دهنده پوشش طیف گسترده‌ای از زمینه‌های علمی است. این ویژگی‌ها بیانگر آن است که داده‌های پژوهش از اعتبار تخصصی و تجربی مناسبی برخوردار بوده و می‌تواند مبنای قابل اتکایی برای تحلیل‌های بعدی فراهم آورد.

۳-۲. پایداری نشریات علمی

برای ارزیابی مهم‌ترین موانع پایداری نشریات علمی، از طیف لیکرت پنج‌درجه‌ای استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱: نگرش پاسخ‌دهندگان به پایداری نشریات علمی ایران

چالش‌های پایداری	بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	بسیار زیاد	میانگین
مالی	۲۳	۲۰	۱۳	۴	۰	۴/۰۳
کیفیت محتوا	۱۷	۳۱	۷	۵	۰	۴/۰۰
نیروی انسانی	۱۸	۲۵	۱۳	۴	۰	۳/۹۵
زیرساخت فنی	۱۷	۲۴	۱۳	۶	۰	۳/۸۷
سیاست‌گذاری	۱۴	۲۸	۱۳	۵	۰	۳/۸۵

۴-۳. کاربرد هوش مصنوعی در نشر علمی

برای بررسی نگرانی‌های پاسخ‌دهندگان نسبت به کاربرد هوش مصنوعی در نشر علمی، پنج محور اصلی ارائه شد (جدول ۳).

جدول ۳: نگرش پاسخ‌دهندگان به کاربرد هوش مصنوعی در نشریات علمی ایران

حوزه نگرانی	بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	بسیار زیاد	میانگین
سرقت علمی	۱۹	۱۸	۱۸	۴	۱	۳/۸۳
عدم مهارت کاربران	۱۹	۱۳	۲۳	۵	۰	۳/۷۷
افت کیفیت علمی	۲۰	۱۲	۱۸	۹	۱	۳/۶۸
نبود چارچوب حقوقی	۱۵	۱۱	۳۱	۱	۲	۳/۶۰
اخلاق نشر	۱۴	۱۵	۲۲	۷	۲	۳/۵۳

تحلیل یافته‌ها نشان می‌دهد که نگرانی‌های پاسخ‌دهندگان عمدتاً حول پیامدهای عملی و اخلاقی کاربرد هوش مصنوعی در نشر علمی، به‌ویژه خطر سرقت علمی، کاهش کیفیت علمی، نبود ضوابط روشن و ضعف مهارتی کاربران متمرکز است. براین‌اساس، تدوین دستورالعمل‌های شفاف، آموزش سردبیران، داوران و نویسندگان و تقویت مهارت‌های تشخیص و مدیریت محتوای تولیدشده با هوش مصنوعی می‌تواند به استفاده ایمن‌تر و مؤثرتر از این فناوری در نشر علمی کمک کند.

۵-۳. احتمال ایفای نقش‌های نوین سردبیران

برای بررسی چشم‌انداز نقش‌های نوین سردبیران، پاسخ‌دهندگان احتمال ایفای نقش‌های نوین سردبیران را ارزیابی کردند (جدول ۴).

جدول ۴: نگرش پاسخ‌دهندگان به احتمال ایفای نقش‌های نوین سردبیران نشریات علمی ایران

نقش آینده سردبیران	بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	بسیار زیاد	میانگین
سیاست‌گذار علمی	۱۳	۲۸	۱۷	۱	۱	۳/۸۵
ناظر اخلاقی	۱۱	۲۶	۱۹	۳	۱	۳/۷۲
پایشگر هوش مصنوعی	۱۸	۱۶	۱۹	۵	۲	۳/۷۲
تسهیل‌گر شبکه علمی	۱۳	۲۲	۲۰	۴	۱	۳/۷۰
مدیر فناوری	۸	۲۰	۲۱	۸	۳	۳/۳۷

یافته‌ها نشان داد تمامی چالش‌های پایداری نشریات علمی از دیدگاه پاسخ‌دهندگان در سطحی بالاتر از حد متوسط ارزیابی شده‌اند. بیشترین میانگین مربوط به چالش مالی بود؛ در مقابل، سیاست‌گذاری باوجود میانگین بالاتر از حد متوسط، کمترین مقدار میانگین را در میان چالش‌ها را به خود اختصاص داده است.

۳-۳. مؤثرترین راهکارهای افزایش استناد و رؤیت‌پذیری

در شناسایی راهکارهای مؤثر در ارتقای استناد و رؤیت‌پذیری نشریات علمی، پاسخ‌دهندگان شدت تأثیر هر گزینه را ارزیابی کردند (جدول ۲).

جدول ۲: نگرش پاسخ‌دهندگان به مؤثرترین راهکارهای افزایش استناد و رؤیت‌پذیری نشریات علمی ایران

راهکار	بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	بسیار زیاد	میانگین
نمایه‌سازی هدفمند	۲۹	۲۴	۷	۰	۰	۴/۳۷
بین‌المللی‌سازی تحریریه	۲۳	۲۶	۹	۱	۱	۴/۱۵
بازاریابی علمی و رسانه‌ای	۱۶	۳۸	۵	۱	۰	۴/۱۵
بهبود کیفیت داوری	۱۹	۳۱	۹	۰	۱	۴/۱۲
سیاست‌های دسترسی آزاد	۲۰	۲۲	۱۶	۱	۱	۳/۹۸

این یافته اهمیت داده‌محوری، دسترسی سریع پژوهشگران به مقالات و نقش نمایه‌سازی در بهبود شاخص‌های استنادی را نشان می‌دهد. پس از آن بین‌المللی‌سازی تحریریه می‌تواند به افزایش اعتبار علمی نشریه و گسترش دامنه مخاطبان بین‌المللی کمک کند و بازاریابی علمی و رسانه‌ای با افزایش تعامل با مخاطبان، نقش مهمی در ارتقای رؤیت‌پذیری علمی ایفا می‌کند.

افزایش استناد و رؤیت‌پذیری نشریات علمی نیازمند مجموعه‌ای از اقدامات مکمل شامل نمایه‌سازی هدفمند، تقویت ارتباطات علمی، ارتقای کیفیت داوری و توسعه دسترسی آزاد است. بر اساس آمار منتشرشده توسط مؤسسه استنادی و پایش علم‌وفناوری جهان اسلام (ISC)، در سال ۲۰۲۴ تعداد ۴۵۷ نشریه ایرانی در پایگاه استنادی اسکوپوس نمایه شده‌اند. این حضور بین‌المللی می‌تواند با افزایش رؤیت‌پذیری تولیدات علمی، تسهیل دسترسی جامعه علمی جهانی به یافته‌های پژوهشی و فراهم کردن امکان سنجش اثرگذاری علمی از طریق شاخص‌های استنادی، به ارتقای جایگاه علمی کشور کمک کند [۲۱]. با انتشار نتایج پژوهش در نشریات نمایه‌شده، احتمال دیده‌شدن و شناخته‌شدن آثار بیشتر می‌شود و اعتبار علمی آن نیز افزایش می‌یابد. به‌طورکلی، نشریات نمایه‌شده به دلیل رعایت استانداردهای علمی و فرایندهای ارزیابی دقیق‌تر، از کیفیت علمی بالاتری نسبت به نشریات غیرنمایه‌شده برخوردار هستند [۲۲].

تحقق هدف رویت‌پذیری نیازمند سردبیران حرفه‌ای و آشنا با فناوری‌های نوین است که بتوانند از ابزارهای جدید برای انتشار محتوا در قالب‌های متنوع بهره بگیرند و دسترسی، تبادل و اشتراک‌گذاری اطلاعات را آسان‌تر کنند. انتشار مقاله به‌صورت دسترسی آزاد نیز یکی از روش‌های مؤثر برای افزایش میزان دیده‌شدن و تعداد استنادها به آن است، زیرا امکان دسترسی آزاد و فوری به نتایج پژوهش را برای همه فراهم می‌کند [۲۳]. از طرفی بازاریابی محتوا نیز نگاه سنتی به نشریات علمی را متحول کرده است. امروزه یک نشریه علمی تنها وظیفه انتشار مقالات را برعهده ندارد؛ بلکه تلاش می‌کند پژوهش‌های منتشرشده را به شکلی مؤثر به دست مخاطبان بیشتری برساند، توجه جامعه علمی را جلب کند و زمینه دیده‌شدن و تأثیرگذاری بیشتر آن‌ها را فراهم آورد [۲۴]. پاسخ‌دهندگان بازاریابی علمی را در رؤیت‌پذیری محتوا و افزایش استناد تعیین‌کننده می‌دانند (جدول‌های ۲ و ۵). در حوزه نشر علمی، این اقدامات می‌تواند شامل مطالعه مقالات، به‌اشتراک‌گذاری یافته‌های پژوهشی، استناد به آثار علمی و تعامل بیشتر با محتوای منتشرشده باشد.

اعضای هیئت تحریریه نقش مهمی در هدایت سیاست‌های علمی و جهت‌دهی به پژوهش‌های یک حوزه تخصصی دارند. هم‌زمان با شتاب جهانی‌شدن علم و گسترش همکاری‌های بین‌المللی، ضرورت بین‌المللی‌سازی نشریات علمی، به‌ویژه در ترکیب هیئت

نتایج نشان داد که نقش سیاست‌گذار علمی، بیشترین احتمال را از دیدگاه پاسخ‌دهندگان دارد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که سردبیران در آینده، افزون بر وظایف سنتی، باید نقش فعال‌تری در سیاست‌گذاری علمی، نظارت اخلاقی و مدیریت پیامدهای فناوری‌های نوین، به‌ویژه هوش مصنوعی، ایفا کنند.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

دست‌اندرکاران نشریات علمی اولویت‌های خود را در مرتبه اول متوجه راهکارهای مؤثر در افزایش استناد و رؤیت‌پذیری می‌دانند بعد از آن پایداری نشریه جایگاه دوم را دارد. نقش نوین سردبیر و کاربرد هوش مصنوعی در جای‌گشت‌های متفاوت قرار دارند (جدول ۵).

جدول ۵: رتبه میانگین نگرش دست‌اندرکاران نشریات علمی ایران به چالش‌ها

رتبه	میانگین	چالش‌ها	راهکارهای هر چالش
۱	۴٫۳۷	افزایش استناد و رؤیت‌پذیری	نمایه‌سازی هدفمند
۲	۴٫۱۵	افزایش استناد و رؤیت‌پذیری	بازاریابی علمی و رسانه‌ای
۲	۴٫۱۵	افزایش استناد و رؤیت‌پذیری	بین‌المللی‌سازی تحریریه
۳	۴٫۱۲	افزایش استناد و رؤیت‌پذیری	بهبود کیفیت داوری
۴	۴٫۰۳	پایداری نشریه	مالی
۵	۴	پایداری نشریه	کیفیت محتوا
۶	۳٫۹۸	افزایش استناد و رؤیت‌پذیری	سیاست‌های دسترسی آزاد
۷	۳٫۹۵	پایداری نشریه	نیروی انسانی
۸	۳٫۸۷	پایداری نشریه	زیرساخت فنی
۹	۳٫۸۵	نقش نوین سردبیر	سیاست‌گذار علمی
۹	۳٫۸۵	پایداری نشریه	سیاست‌گذاری
۱۰	۳٫۸۳	کاربرد هوش مصنوعی	سرقت علمی
۱۱	۳٫۷۷	کاربرد هوش مصنوعی	عدم مهارت کاربران
۱۲	۳٫۷۲	نقش نوین سردبیر	پایشگر هوش مصنوعی
۱۲	۳٫۷۲	نقش نوین سردبیر	ناظر اخلاقی
۱۳	۳٫۷	نقش نوین سردبیر	تسهیل‌گر شبکه علمی
۱۴	۳٫۶۸	کاربرد هوش مصنوعی	افت کیفیت علمی
۱۵	۳٫۶	کاربرد هوش مصنوعی	نبود چارچوب حقوقی
۱۶	۳٫۵۳	کاربرد هوش مصنوعی	اخلاق نشر
۱۷	۳٫۳۷	نقش نوین سردبیر	مدیر فناوری

پلتفرم‌های انتشار، زیرساخت‌های فناوری با استفاده از استانداردهای مرتبط، حفظ و ماندگاری بلندمدت نشریات را، فارغ از دگرگونی‌های فناورانه، امکان‌پذیر می‌سازند. از نظر پاسخ‌دهندگان پژوهش، این مورد در پایداری نشریه اثرگذار است. انتشار نشریات در قالب یک پلتفرم مشترک می‌تواند به طور قابل توجهی به افزایش دیده‌شدن و بهبود جایگاه آنها کمک کند. حضور در چنین بستری باعث می‌شود نشریه نه تنها به‌سادگی به‌عنوان یک «نشریه علمی» شناخته شود؛ بلکه از بازدیدها و گشت‌وگذارهای ایجادشده توسط سایر نشریات موجود در همان پلتفرم نیز بهره‌مند گردد. در عمل، بسیاری از کاربران هنگام مرور یک پلتفرم، از یک نشریه به نشریه‌ای دیگر هدایت می‌شوند که مزیتی برای کسب استناد است.

سیاست‌گذاری علمی از اصول راهبردی در نشریات محسوب می‌شود. دستورالعمل‌ها که بخش مهم سیاست‌گذاری است برای کمک به نویسنده و ویراستار، تدوین شده‌اند. نویسندگانی که با دقت به این دستورالعمل‌ها توجه می‌کنند، ضمن تأمین رضایت سردبیر، شانس پذیرش مقاله را افزایش می‌دهد. دستورالعمل‌ها بر اهمیت درست‌کاری و امانت‌داری علمی، و دسترس‌پذیری تأکید دارند [۲۷]. از نظر پاسخ‌دهندگان سیاست‌گذاری علمی در نقش نوین سردبیر جایگاه نخست دارد (جدول ۵).

در خصوص نگرانی‌های مربوط به کاربرد هوش مصنوعی در نشر علمی، بیشترین نگرانی مربوط به سرقت علمی بود. عدم مهارت کاربران، افت کیفیت علمی، نبود چارچوب حقوقی و اخلاق نشر به ترتیب در جایگاه بعدی قرار دارند. این نتایج نشان می‌دهد که نگرانی پاسخ‌دهندگان در استفاده از هوش مصنوعی متوجه درست‌کاری و امانت‌داری علمی است. از این‌رو، تدوین چارچوب‌های حقوقی و اخلاقی، آموزش کاربران و ارتقای توانمندی سردبیران، داوران و نویسندگان در استفاده مسئولانه از فناوری‌های نوین در سیاست‌گذاری ضروری است. یافته‌های مربوط به نقش‌های آینده سردبیران نیز نشان داد که نقش ناظر اخلاق، پایشگر هوش مصنوعی، و تسهیل‌گر شبکه علمی مورد توجه است (جدول ۵).

در مجموع، نتایج پژوهش نشان می‌دهد که پایداری و اثرگذاری نشریات علمی در گرو رویکردی یکپارچه است؛ رویکردی که هم‌زمان به تأمین منابع مالی، ارتقای کیفیت محتوا، توسعه زیرساخت‌های فناورانه، توانمندسازی نیروی انسانی، افزایش

تحریریه، بیش‌ازپیش احساس می‌شود. حضور اعضای برجسته از کشورهای مختلف می‌تواند به ارتقای اعتبار علمی، گسترش تعاملات بین‌المللی، جذب پژوهش‌های باکیفیت و افزایش رؤیت‌پذیری و تأثیرگذاری نشریه کمک کند. یکی از مهم‌ترین مزایای بین‌المللی‌سازی نشریات علمی این است که به ایجاد فضایی عادلانه‌تر برای انتشار و ارزیابی پژوهش‌ها کمک می‌کند [۲۵].

پایداری مالی یکی از پیش‌نیازهای اساسی موفقیت و تداوم فعالیت نشریات علمی است. برخورداری از منابع مالی پایدار این امکان را فراهم می‌کند که نشریه بتواند استانداردهای کیفی خود را حفظ کند، فرایندهای نشر و داوری را به طور مؤثر مدیریت نماید، از فناوری‌های نوین بهره بگیرد و خدمات مطلوب‌تری به نویسندگان، داوران و خوانندگان ارائه دهد [۲۶]. جدول ۵ نشان می‌دهد راهکار مالی در چالش پایداری نشریه از دغدغه‌های با اهمیت پاسخ‌دهندگان است. این پایداری نیازمند سیاست‌گذاری است. نتایج پژوهش نشان داد که پاسخ‌دهندگان تمامی ابعاد مرتبط با پایداری نشریات علمی را بالاتر از سطح متوسط ارزیابی کرده‌اند. در این میان، چالش مالی، بیشترین میانگین را به خود اختصاص داد. این یافته نشان می‌دهد که مسائل مالی و محدودیت منابع اقتصادی، مهم‌ترین دغدغه نشریات علمی در مسیر تداوم فعالیت و حفظ پایداری به شمار می‌آیند. افزایش هزینه‌های انتشار، محدودیت بودجه و وابستگی مالی نشریات به نهادهای حمایتی می‌تواند از جمله عوامل مؤثر در شکل‌گیری این وضعیت باشد. نتایج در خصوص کیفیت محتوا بیانگر آن است که حفظ کیفیت علمی مقالات، جذب پژوهش‌های معتبر و ارتقای استانداردهای علمی از مسائل مهم در مدیریت و بقای نشریات علمی محسوب می‌شود. در فضای رقابتی نشر علمی، هیئت تحریریه باید اطمینان حاصل کند که محتوای منتشرشده به‌روز، معتبر و متناسب با نیازها و علایق مخاطبان نشریه است.

از نظر پاسخ‌دهندگان توسعه و موفقیت نشریات علمی مستلزم بهره‌گیری از نیروهای انسانی متخصص و توانمند است. این افراد نه تنها مهارت‌های فنی و ارتباطی لازم را در اختیار دارند، بلکه نقش مهمی در ایجاد ارتباط مؤثر میان نویسندگان، داوران، هیئت تحریریه و مخاطبان ایفا می‌کنند. از این‌رو، توجه به جایگاه و توانمندسازی این نیروها یکی از عوامل کلیدی در ارتقای کیفیت و اثربخشی نشریات علمی به شمار می‌رود.

[۶]. منتظری، حسام؛ غفاری، احمدرضا و موسوی موحدی، علی اکبر. (۱۴۰۲). کاربردهای چت جی پی تی در تحقیقات علمی و ملاحظات اخلاقی استفاده از آن. نشاء علم. ۱۳(۲)، ۱۴۸-۱۵۶.

[7]. Flanagan, A., Bibbins-Domingo, K., Berkwits, M., & Christiansen, S. L. (2023). Nonhuman "authors" and implications for the integrity of scientific publication and medical knowledge. *JAMA*, 329(8), 637–639. <https://doi.org/10.1001/jama.2023.1344>

[8]. Wahyudi, M. N. A., Saputro, I. N., Ula, A. N., & Widodo, C. (2025). Key trends, challenges, and opportunities in scientific journal management between 2013 and 2023: A systematic review. *Science Editing*, 12(1), 12–19. <https://doi.org/10.6087/kcse.359>

[9]. Rowe, M. (2025, January). Publishing with purpose: Using AI to enhance scientific discourse. https://doi.org/10.31219/osf.io/d7hwh_v1

[10]. Phuljhele, S. (2024). Reviewer fatigue is real. *Indian Journal of Ophthalmology*, 72(Suppl. 5), S719–S720.

https://doi.org/10.4103/IJO.IJO_2465_24

[11]. Galian, C. V. A., de Pietri, E., & Prieto, R. G. (2019). As transformações nos modos de edição, publicação e avaliação de periódicos científicos: Impactos para a gestão dos processos editoriais. *Educação e Pesquisa*, 45. <https://doi.org/10.1590/S1517-970220194501001>

[12]. Bradić-Martinović, A. (2025). Generative AI in scientific publishing – Opportunities and challenges. Conference Proceedings. <https://doi.org/10.31410/ai.smart.2025.135>

[13]. Schmitz, B. (2023). Improving accessibility of scientific research by artificial intelligence: An example for lay abstract generation. *Digital Health*, 9, 20552076231186245.

<https://doi.org/10.1177/20552076231186245>

[14]. Siddique, M. K. B., Rahim, S. A., Rahman, M. M., Lasker, S. P., & Rahim, M. M. U. R. (2025). Artificial intelligence in journal editing: Expanding horizons for scholarly publications: A mixed method study. *Health Sciences Quarterly*, 5(2), 109–119. <https://doi.org/10.26900/hsq.2674>

[15]. Frangou, S., Volpe, U., & Fiorillo, A. (2025). AI in scientific writing and publishing: A call for critical engagement. *European Psychiatry*, 1–9. <https://doi.org/10.1192/j.eurpsy.2025.10061>

[16]. Atkinson, S. (2025, July). Navigating the AI frontiers in academic publishing. *Journal of Open, Flexible and Distance Learning*, 29(1), 1–11. <https://doi.org/10.61468/jofdl.v29i1.733>

[17]. Mökander, J., & Floridi, L. (2021). Ethics-based auditing to develop trustworthy AI. *Minds and Machines*, 31(2), 323–327. <https://doi.org/10.1007/s11023-021-09557-8>

رؤیت‌پذیری علمی و مدیریت مسئولانه فناوری‌های نوین توجه داشته باشد. براین اساس، نشریات علمی برای حفظ جایگاه و افزایش تأثیرگذاری خود در محیط متحول نشر علمی، نیازمند برنامه‌ریزی راهبردی، سیاست‌گذاری روشن و سرمایه‌گذاری در مهارت‌های حرفه‌ای، اخلاقی و فناورانه هستند.

۵- پیشنهادهای کاربردی

- تدوین دستورالعمل شفاف برای استفاده مسئولانه از هوش مصنوعی در نگارش، داوری و ویرایش مقالات.
- تقویت نمایه‌سازی هدفمند، استانداردسازی فراداده‌ها و بهبود دسترسی‌پذیری مقالات برای افزایش رؤیت‌پذیری و استناد.
- آموزش تخصصی سردبیران، داوران و اعضای هیئت تحریریه در زمینه اخلاق نشر، فناوری و مدیریت داوری.

این مقاله و یا بخشی از آن قبلاً به چاپ نرسیده است و توسط ماشین و هوش مصنوعی نگارش نشده است.

Reference

منابع

- [1]. Lira, R. P. C., Rocha, E. M., Kara-Junior, N., Costa, D. C., Procianny, F., Paula, J. S., Gracitelli, C. P. B., Prata, T. D. S., Regatieri, C. V., Biccass Neto, L., & Alves, M. (2023). Editorial: Challenges and advantages of being a scientific journal editor in the era of ChatGPT. *Arquivos Brasileiros De Oftalmologia*, 86(3), 5–7. <https://doi.org/10.5935/0004-2749.2023-1003>
- [2]. Yoo, J. H. (2025). Defining the boundaries of AI use in scientific writing: A comparative review of editorial policies. *Journal of Korean Medical Science*, 40(23), e187. <https://doi.org/10.3346/jkms.2025.40.e187>
- [3]. Jones, B., Jones, R., & Luger, E. (2022). AI 'everywhere and nowhere': Addressing the AI intelligibility problem in public service journalism. *Digital Journalism*, 10(10), 1731–1755. <https://doi.org/10.1080/21670811.2022.2145328>
- [۴]. صبور، علی اکبر. (۱۴۰۵). فرصت‌ها و چالش‌های استفاده از هوش مصنوعی در نوشتن مقالات علمی. نشاء علم. ۱۳(۲)، ۱۴۸-۱۵۶.
- [5]. Rosenberg, A., Walker, J., Griffiths, S., & Jenkins, R. (2023). Plain language summaries: Enabling increased diversity, equity, inclusion and accessibility in scholarly publishing. *Learned Publishing*, 36(1), 109–118. <https://doi.org/10.1002/leap.1524>

اطلاعات: ۳۲(۱): ۷۳-۵۱
doi: 10.35050/JIPM010.2016.019

- [23] Majhi, S., Sahu, L., & Behera, K. (2023). Practices for enhancing research visibility, citations and impact: Review of literature. *Aslib Journal of Information Management*, 75(6), 1280–1305. <https://doi.org/10.1108/AJIM-11-2023-532>
- [24] Pulizzi, J. (2012). The rise of storytelling as the new marketing. *Publishing Research Quarterly*, 28, 116–123. <https://doi.org/10.1007/s12109-012-9264-5>
- [25] Smith, M. J., Weinberger, C., Bruna, E. M., & Allesina, S. (2014). The scientific impact of nations: Journal placement and citation performance. *PLoS ONE*, 9(10), e109195. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109195>
- [26] Zarif, A. (2023). The economics of scientific publishing. *The Yale Journal of Biology and Medicine*, 96(2), 267–273. <https://doi.org/10.59249/OMSP9618>
- [27] Committee on Publication Ethics, Directory of Open Access Journals, Open Access Scholarly Publishing Association, & World Association of Medical Editors. (2022). Principles of transparency and best practice in scholarly publishing. <https://doi.org/10.24318/cope.2019.1.12>

- [18]. Lund, B., Lamba, M., & Oh, S. (2024, June). The impact of AI on academic research and publishing. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2406.06009>
- [19]. Chauhan, C., & Currie, G. (2024). The impact of generative artificial intelligence on the external review of scientific manuscripts and editorial peer review processes. *The American Journal of Pathology*, 194(10), 1802–1806. <https://doi.org/10.1016/j.ajpath.2024.08.002>
- [20]. Mrowinski, M. J., Fronczak, P., Fronczak, A., Ausloos, M., & Nedic, O. (2017). Artificial intelligence in peer review: How can evolutionary computation support journal editors? *PLoS ONE*, 12(9), e0184711. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184711>
- [۲۱]. مؤسسه استنادی و پایش علم و فناوری جهان اسلام. (۱۴۰۳). آمار نشریات ایرانی نمایه‌شده در پایگاه بین‌المللی اسکوپوس <https://isc.ac/fa/grid/146/>
- [۲۲]. عرفان منش، محمدامین و نوجوان، فرشته. (۱۳۹۵). میزان رؤیت و جایگاه بین‌المللی مجله‌های ایرانی نمایه‌شده در پایگاه گزارش استنادی نشریات. پژوهشنامه پردازش و مدیریت

شتاب‌بخشی پژوهش و دغدغه اصالت: دو روی سکه هوش مصنوعی در مقاله‌نویسی

علی اکبر صبوری^{۱*}

چکیده

هوش مصنوعی به‌عنوان قدرتمندترین ابزار فناورانه قرن حاضر، مرزهای سنتی تولید دانش و پژوهش علمی را درنور دیده است. این فناوری با ارائه قابلیت‌هایی چون پردازش فوق‌العاده داده‌ها، خودکارسازی وظایف تکراری و کمک به تحلیل‌های پیچیده، فرصتی بی‌سابقه برای تسریع و تعمیق اکتشافات علمی فراهم کرده است. بااین‌حال، به‌کارگیری آن در نوشتن مقالات علمی، دستاوردهای قابل‌توجهی را با چالش‌های اخلاقی، روش‌شناختی و حقوقی جدی همراه ساخته است. مسائلی مانند کاهش شفافیت و اصالت پژوهش، تقویت سوگیری‌های موجود، نقض مالکیت فکری و کاهش مهارت‌های تحلیلی پژوهشگران، نمونه‌ای از این دشواری‌هاست. در مواجهه با این پیچیدگی، جامعه جهانی با تدوین چارچوب‌های قانونی و مقرراتی نظیر قانون هوش مصنوعی اتحادیه اروپا، بیانیه بلچلی، کمیته اخلاق نشر و توصیه‌های سازمان همکاری اقتصادی و توسعه، در تلاش است تا موازنه‌ای بین تشویق نوآوری و مدیریت ریسک‌های ناشی از این فناوری برقرار کند. این مقاله با بررسی دو سویه مزایا و معایب هوش مصنوعی در نگارش علمی و تحلیل مقررات بین‌المللی مرتبط، مسیر بهره‌گیری مسئولانه، شفاف و مؤثر از این ابزار را در خدمت پیشرفت علم ارائه می‌کند. راهنماهای ملی ایران بر استفاده از هوش مصنوعی در پژوهش بر شفافیت و افشای کامل چگونگی استفاده از آن نیز تأکید دارند.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت:

۱۲ بهمن ۱۴۰۴

تاریخ بازنگری:

۲۰ بهمن ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش:

۲۲ بهمن ۱۴۰۴

تاریخ انتشار:

۳۱ خرداد ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:

اخلاق پژوهشی

قانون‌گذاری هوش

مصنوعی

نوشتن با کمک

هوش مصنوعی

مدل‌های زبانی بزرگ

صداقت علمی

کمیته اخلاق نشر

استناد: صبوری، علی اکبر. (۱۴۰۵). شتاب‌بخشی پژوهش و دغدغه اصالت: دو روی سکه هوش مصنوعی در مقاله‌نویسی. *نشاء علم*، ۱۶ (۱)، ۳۶-۴۶.



ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران
© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

* عهده‌دار مکاتبات، استاد ممتاز، تلفن: ۶۶۹۵۶۹۸۴ (۹۸۲۱)، دورنگار: ۶۶۴۰۴۶۸۰ (۹۸۲۱)، آدرس الکترونیکی saboury@ut.ac.ir

^۱ مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

۱. مقدمه: انقلابی دوگانه در آستانه علم

ظهور هوش مصنوعی به‌ویژه در شکل مدل‌های زبانی بزرگ، نقطه عطفی در تاریخ روش‌شناسی علمی محسوب می‌شود. سرعت، مقیاس و پیچیدگی پژوهش‌های علمی امروز، گاه از توانایی‌های تحلیلی محض انسانی فراتر رفته است. در این میان، هوش مصنوعی با وعده خودکارسازی وظایف وقت‌گیر، پردازش داده‌های کلان^۱ و کشف الگوهای پنهان، به یاری پژوهشگران شتافته و دریچه‌های جدیدی به‌سوی شناخت گشوده است. ازسوی دیگر، این ابزار قدرتمند، سؤالات بنیادینی درباره اصالت فکری، مسئولیت اخلاقی، شفافیت روش‌شناختی و آینده نقش پژوهشگر برانگیخته است. جامعه علمی در آستانه یک تحول پارادایمی قرار دارد؛ تحولی که موفقیت آن در گرو شناخت عمیق قابلیت‌ها و محدودیت‌های هوش مصنوعی، و مهم‌تر از آن، طراحی چارچوب‌های حکمرانی هوشمند و بین‌المللی است که بتواند نوآوری را بدون قربانی کردن صحت، امانت‌داری و اعتبار علم هدایت کند. این مقاله در پی واکاوی این جنبه‌های دوگانه و بررسی پاسخ‌های نظارتی در حال ظهور در سطح جهان است.

۲. مزایای هوش مصنوعی در نوشتن و تولید مقالات علمی

هوش مصنوعی با تبدیل شدن به یک همکار پژوهشی، مزایای ملموسی را برای جامعه علمی به ارمغان آورده است که مهمترین آنها عبارت است از:

۱- افزایش کارایی و سرعت پژوهش: هوش مصنوعی می‌تواند کارهای زمان‌بری مانند مرور ادبیات پژوهش، خلاصه‌سازی مقالات، ترجمه متون تخصصی و حتی پیش‌نویس اولیه بخش‌هایی از مقاله را با سرعتی باورنکردنی انجام دهد. این امر زمان ارزشمند پژوهشگر را برای تفکر انتقادی، طراحی آزمایش و تفسیر عمیق‌تر نتایج آزاد می‌کند. ابزارهای هوش مصنوعی برخلاف انسان، هرگز خسته نمی‌شوند، نیاز به استراحت ندارند و می‌توانند به طور مداوم و بدون وقفه کار کنند. این ویژگی باعث می‌شود فرآیندهای پژوهشی وقت‌گیری که نیاز به پردازش پیوسته دارند (مانند تحلیل مجموعه‌داده‌های بسیار بزرگ، اجرای شبیه‌سازی‌های طولانی یا فرآیندهای غربالگری خودکار) با سرعت بسیار بیشتری نسبت به زمانی که فقط توسط نیروی انسانی انجام می‌شد، به‌پیش روند. در نتیجه، زمان کلی موردنیاز برای تکمیل یک پژوهش کاهش یافته و بازدهی افزایش می‌یابد.

۲- تحلیل داده‌های پیچیده و کلان: در عصر زیست‌شناسی ژنومی، ستاره‌شناسی رادیویی یا علوم اجتماعی کل‌نگر، حجم داده‌ها غالباً برای تحلیل انسانی غیرقابل‌مدیریت است. الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند این داده‌های کلان را پردازش، الگوهای نامرئی را کشف و روابط پیچیده را مدل‌سازی کنند. این توانایی، به‌ویژه در رشته‌هایی مانند کشف دارو، پیش‌بینی تغییرات آب‌وهوایی و تحلیل شبکه‌های اجتماعی، منجر به بینش‌هایی کاملاً جدید شده است.

۳- کاهش خطاهای انسانی و سوگیری (در شرایط ایدئال): یکی از مزایای بالقوه هوش مصنوعی، انجام محاسبات و عملیات تکراری با دقت فوق‌العاده بالا است که می‌تواند خطاهای ناشی از خستگی یا سهل‌انگاری انسانی را کاهش دهد. همچنین، در تئوری، یک سیستم هوش مصنوعی که بر اساس داده‌های آموزشی بی‌طرفانه و جامع آموزش دیده باشد، می‌تواند در تصمیم‌گیری‌هایی مانند ارزیابی اولیه مقالات یا غربالگری داده‌ها، از تعصبات ناخودآگاه انسانی فاصله بگیرد. این ویژگی می‌تواند به عادلانه‌تر شدن فرآیند داوری و ارزیابی علمی کمک کند.

۴- دستیار شخصی‌سازی شده پژوهش: هوش مصنوعی می‌تواند به‌عنوان یک دستیار پژوهشی هوشمند عمل کند که با یادگیری حوزه تخصصی و سبک نویسنده، در ایده‌پردازی، بهبود ساختار نگارش، کنترل گرامر و استانداردسازی فرمت‌بندی ارجاعات کمک کند. این حمایت می‌تواند کیفیت صوری و حتی محتوایی مقالات را ارتقا دهد.

جدول ۱: مزایای کلیدی هوش مصنوعی در فرآیند پژوهش و تولید علمی

مزیت	شرح	مثال کاربردی
کارایی و سرعت	خودکارسازی وظایف اداری و مقدماتی پژوهش	مرور خودکار ادبیات، ترجمه، فرمت‌بندی
تحلیل داده‌های کلان	پردازش مجموعه‌داده‌های بسیار بزرگ و پیچیده	تحلیل تصاویر پزشکی، داده‌های ژنومی، شبیه‌سازی‌های آب‌وهوایی
دقت و عینیت (بالقوه)	کاهش خطاهای محاسباتی و عملیاتی تکراری	پردازش داده‌های آزمایشگاهی، تحلیل‌های آماری پیچیده
دستیاری هوشمند	کمک به سازماندهی، نگارش و بهبود مقاله	پیشنهاد ساختار، کنترل انسجام متنی، کمک به بازنویسی و ساختارسازی اصولی (پارافریز) متن

^۱ Big Data

کرد، بر عهده پژوهشگر انسانی باقی می‌ماند. همچنین، حقوق مالکیت فکری بر آثار تولیدشده یا کمک گرفته شده از هوش مصنوعی، و نیز مسئولیت خطاها یا عواقب منفی پژوهش، در هاله‌ای از ابهام قرار دارد.

۵- مشکلات شفافیت و تکثیرپذیری: بسیاری از مدل‌های پیشرفته هوش مصنوعی جعبه سیاه^۳ هستند؛ یعنی فرآیند استنتاج و تصمیم‌گیری آن‌ها برای انسان قابل‌درک نیست. این عدم شفافیت، ارزیابی منتقدانه روش‌شناسی و تکرارپذیری^۴ نتایج پژوهش را که از ارکان علم است، با مشکل مواجه می‌سازد. از نظر اصول اخلاقی، فقط نتایج قابل تکرار قابلیت انتشار دارند.

۴. چارچوب‌های قانونی و مقررات بین‌المللی هوش

مصنوعی در پژوهش

در پاسخ به چالش‌های پیچیده فناوری هوش مصنوعی، نهادها و کشورهای مختلف در حال تدوین مقرراتی برای حکمرانی بر توسعه و استفاده از آن هستند. این تلاش‌ها در سطح بین‌المللی در حال شکل‌گیری است و آگاهی از آنها برای هر پژوهشگری که قصد استفاده از این ابزار را دارد، ضروری است.

۴-۱. اتحادیه اروپا و قانون پیشگامانه هوش مصنوعی (AI Act)^۵: قانون هوش مصنوعی اتحادیه اروپا در سال ۲۰۲۱ میلادی پیشنهاد شد و پس از طی روند تصویب، سرانجام در اوت ۲۰۲۴ به طور رسمی لازم‌الاجرا شد. مقررات اصلی آن به تدریج تا سال ۲۰۲۷ اجرایی خواهند شد. این قانون، نخستین چارچوب نظارتی جامع را ایجاد کرده است و همان‌طور که جدول ۲ نشان می‌دهد، رویکردی مبتنی بر ریسک دارد [۱]. براین اساس، سیستم‌های هوش مصنوعی باتوجه به میزان خطری که برای سلامت، ایمنی و حقوق افراد ایجاد می‌کنند، دسته‌بندی و تنظیم می‌شوند. هدف این قانون تضمین ایمنی، شفافیت و محوریت انسان در توسعه و استفاده از سیستم‌های هوش مصنوعی در بازار اتحادیه اروپا است. هسته اصلی این قانون، یک رویکرد مبتنی بر ریسک است که سیستم‌های هوش مصنوعی را بر اساس میزان خطری که برای ایمنی، سلامت و حقوق اساسی افراد ایجاد می‌کنند، دسته‌بندی و

۳. معایب استفاده از هوش مصنوعی در پژوهش و

تولید علمی

علی‌رغم مزایای چشمگیر، وابستگی بی‌قیدوشرط به هوش مصنوعی در پژوهش، خطرات و چالش‌های نگران‌کننده‌ای را به همراه دارد، از جمله:

۱- تهدید اصالت پژوهشی: بزرگ‌ترین خطر، تولید محتوای غیراصیل، تقلیدی یا کاملاً ساختگی و تخیلی^۱ توسط هوش مصنوعی است. این سیستم‌ها بر اساس الگوهای آماری عمل می‌کنند و قادر به درک حقیقت یا ایجاد دانش نو به معنای انسانی آن نیستند. مقالات تولیدشده ممکن است ظاهری فریبنده اما فاقد بینش اصیل داشته باشند. همچنین، استفاده بدون ذکر منبع از محتوای تولیدشده توسط هوش مصنوعی، مصداق سرقت علمی^۲ و تقلب در پژوهش محسوب می‌شود.

۲- تشدید سوگیری و نابرابری: برخلاف ادعای عینیت، سیستم‌های هوش مصنوعی اغلب سوگیری‌های موجود در داده‌های آموزشی خود را بازتولید و حتی تشدید می‌کنند. اگر داده‌های آموزشی عمدتاً از مقالات پژوهشگران غربی یا متعلق به مؤسسات خاصی گردآوری شده باشد، خروجی سیستم نیز همان دیدگاه‌ها را ترجیح خواهد داد. این امر می‌تواند به حاشیه‌رانی بیشتر صداها و علمی از کشورهای درحال توسعه یا حوزه‌های پژوهشی کمتر متداول بینجامد.

۳- کاهش مهارت‌های تحلیلی و انتقادی پژوهشگران: اتکای بیش‌ازحد به هوش مصنوعی برای تحلیل داده، نوشتن و حتی استدلال، می‌تواند به فرسایش مهارت‌های بنیادین پژوهشگران مانند تفکر انتقادی، نگارش عمیق و طراحی روش‌شناسی منجر شود. این مسئله در درازمدت می‌تواند خلاقیت و استقلال فکری جامعه علمی را تضعیف کند.

۴- چالش‌های اخلاقی و حقوقی: هوش مصنوعی فاقد قضاوت اخلاقی و حس مسئولیت‌پذیری است. تصمیم‌گیری درباره اینکه چه پژوهشی اخلاقی است یا چگونه باید نتایج حساس را گزارش

^۱- Hallucination

^۲- Plagiarism

^۳- Black Box

^۴- Reproducibility

^۵- Artificial Intelligence Act (AI Act)

تنظیم می‌کند. این قانون چهار سطح ریسک اصلی دارد که برای هر کدام قوانین خاصی وضع شده است (جدول ۱). این قانون تأکید ویژه‌ای بر شفافیت دارد و برای «سیستم‌های عمومی هوش مصنوعی» (مانند مدل‌های زبانی بزرگ)، الزام به افشای اطلاعات جامع درباره داده‌های آموزشی و مطابقت با حقوق مالکیت فکری را مقرر می‌کند [۱].

۲-۴. ایالات متحده آمریکا و رویکرد بخش‌محور: برخلاف رویکرد یکپارچه اروپا، ایالات متحده فاقد یک قانون جامع فدرال در زمینه هوش مصنوعی است و عمدتاً از رویکرد بخش‌محور^۱ پیروی می‌کند. بااین‌حال، «فرمان اجرایی رئیس‌جمهور در زمینه امنیت، ایمنی و اعتماد هوش مصنوعی» (اکتبر ۲۰۲۳) گام مهمی برای هماهنگی تلاش‌هاست [۲]. این فرمان به آژانس‌های فدرال دستور می‌دهد تا استانداردها و خط‌مشی‌های ایمنی را توسعه دهند، از حریم خصوصی حمایت کنند و برابری و حقوق مدنی را ارتقا بخشند. این دستورالعمل‌ها اگرچه به طور مستقیم پژوهش دانشگاهی را تنظیم نمی‌کنند، اما جهت‌گیری کلی حکومت فدرال را نشان می‌دهند و بر محیط تحقیقاتی تأثیر می‌گذارند.

۳-۴. تلاش‌های چندجانبه و چارچوب‌های بین‌المللی: جامعه جهانی برای ایجاد هماهنگی در حال تلاش است. **بیانیه بلجلی**^۲ که در نوامبر ۲۰۲۳ در پایان نخستین اجلاس جهانی/ایمنی هوش مصنوعی در بریتانیا منتشر شد، سندی مهم است. این اعلامیه توسط ۲۸ کشور از جمله چین، ایالات متحده و کشورهای عضو اتحادیه اروپا امضا شد. موضوع اصلی این بیانیه، شناسایی فرصت‌ها و ریسک‌های مشترک جهانی ناشی از پیشرفته‌ترین و قدرتمندترین مدل‌های هوش مصنوعی مانند ChatGPT است [۳-۴]. امضاکنندگان توافق کردند که برای درک و کاهش این ریسک‌ها از جمله در حوزه‌هایی مانند سایبری و زیست‌فناوری، نیاز به همکاری بین‌المللی فوری و توسعه تحقیقات علمی مشترک وجود دارد. هدف نهایی تضمین توسعه و استفاده ایمن، شفاف و مسئولانه از هوش مصنوعی به نفع همه انسانها است.

همچنین، «توصیه‌های شورای سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (OECD)^۳ در مورد هوش مصنوعی» که در سال ۲۰۱۹ به‌روزرسانی شد، یک چارچوب سیاستی بین‌المللی برای «هوش مصنوعی قابل‌اعتماد» ارائه می‌دهد. این اصول شامل شفافیت و افشا، انصاف، پاسخگویی و طراحی ایمن است و بیش از پنجاه کشور آن را تصویب کرده‌اند [۵] که معیارهای اخلاقی و حرفه‌ای مهمی را برای جامعه علمی جهانی تعیین می‌کنند.

جدول ۲: سطح ریسک و الزامات قانونی هوش مصنوعی اتحادیه اروپا

سطح ریسک	مثال کاربردی	الزامات قانونی
ریسک غیرقابل‌تبریر	سیستم‌های دستکاری ناپیدا (مانند سوءاستفاده از آسیب‌پذیری افراد)، سیستم‌های نمره‌دهی اجتماعی (Social Scoring)، شناسایی بیومتریک زنده در فضاهای عمومی برای مجریان قانون (با استثنائات محدود).	ممنوعیت کامل (این ممنوعیت‌ها از فوریه ۲۰۲۵ اعمال شد)
ریسک بالا	سیستم‌های ایمنی در زیرساخت‌های حیاتی (مانند حمل‌ونقل، دستگاه‌های پزشکی، استخدام، مهاجرت، اجرای قانون و دادرسی قضایی)	سخت‌گیرانه‌ترین مقررات؛ از جمله ارزیابی ریسک، کیفیت داده‌ها، مستندسازی دقیق، نظارت انسانی و کسب نشان CE (از اوت ۲۰۲۶ قابل اجرا).
ریسک محدود	چت‌بات‌ها و سیستم‌های تولید محتوا (مانند دیپ‌فیک).	الزامات شفافیت؛ کاربران باید آگاه باشند که با یک سیستم هوش مصنوعی در تعامل هستند (از اوت ۲۰۲۶ قابل اجرا)
ریسک کم یا صفر	فیلترهای هرزنامه یا بازی‌های ویدیویی مبتنی بر هوش مصنوعی	بدون مقررات خاص

^۱- Sectoral

^۲- Bletchley Declaration

^۳- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)

سوگیری در الگوریتم‌ها، برای حفظ یکپارچگی علمی ضروری است.

۳- گفت‌وگوی مستمر بین‌المللی و هماهنگی مقرراتی: اختلاف در رویکردهای نظارتی (مانند اتحادیه اروپا و آمریکا) می‌تواند همکاری علمی جهانی را مختل کند. تقویت گفت‌وگو در پلتفرم‌هایی مانند OECD و سازمان ملل برای همگرایی در اصول کلیدی، امری حیاتی است.

۴- تقویت نقش پژوهشگر به‌عنوان رهبر اخلاقی: در نهایت، هوش مصنوعی یک ابزار است و قضاوت نهایی درباره ارزش، اخلاق‌مندی و جهت‌گیری علم با پژوهشگر انسانی است. تقویت آموزش اخلاق پژوهش و تفکر انتقادی در کنار آموزش فناوری، کلید هدایت این تحول در مسیری درست است.

علم در تعامل پویا با فناوری‌های جدید بالیده است. هوش مصنوعی نیز آزمونی بزرگ برای تاب‌آوری، انعطاف‌پذیری جامعه علمی است. با پذیرش فرصت‌ها، شناخت خطرات و ایجاد چارچوب‌های مسئولانه حکمرانی، می‌توان از این فناوری نه به‌عنوان جایگزینی برای نبوغ انسانی، که به‌عنوان قدرتمندترین هم‌پیمان برای گشودن رازهای ناشناخته جهان بهره گرفت. آینده علم، آینده همکاری هم‌افزا بین هوش انسانی و هوش ماشینی خواهد بود.

۶. بد اخلاقی‌هایی در استفاده از هوش مصنوعی

استفاده غیرمسئولانه از هوش مصنوعی در نوشتن مقالات علمی، طیفی از بد اخلاقی‌های پژوهشی جدی را به وجود آورده که بنیان اعتماد و اصالت علم را تهدید می‌کند. بارزترین این تخلفات، سرقت علمی پنهان^۳ و تولید محتوای غیراصیل است. زمانی که پژوهشگر از خروجی یک مدل زبانی بزرگ^۴ (LLM)، بدون ذکر منبع یا با ادعای نویسنده‌گی خود استفاده می‌کند، مرتکب سرقت

۴-۴. پیامدهای مقرراتی برای پژوهش علمی: این قوانین و چارچوب‌ها تأثیر مستقیمی بر پژوهش علمی دارند. اصل کلیدی که از دل همه آنها برمی‌آید، «شفافیت» است. این بدان معناست که پژوهشگران موظف‌اند به‌وضوح نمایان^۱ سازند که چگونه، کجا و با کدام ابزار هوش مصنوعی در فرآیند تحقیق، تحلیل داده یا نگارش مقاله کمک گرفته‌اند. بسیاری از نشریات علمی معتبر اکنون این افشا را اجباری کرده‌اند. همچنین، آگاهی از قوانین مربوط به حفاظت از داده‌ها (مانند GDPR در اروپا)^۲ هنگام استفاده از هوش مصنوعی برای پردازش داده‌های شخصی در پژوهش، حیاتی است.

۵. آینده‌نگری

هوش مصنوعی در نگارش و تولید مقالات علمی، همچون یک تیغ دو لبه عمل می‌کند. از یک‌سو، با افزایش کارایی، تحلیل داده‌های پیچیده و کمک به فرآیند خلاقیت، پتانسیل آن را دارد که دورانی طلایی از اکتشافات علمی را رقم بزند. از سوی دیگر، خطرات جدی مربوط به اصالت، انصاف، شفافیت و مسئولیت‌پذیری را به همراه دارد که اگر مدیریت نشوند، می‌توانند بنیان‌های اعتماد عمومی به علم را تخریب کنند. مسیر به جلو نه در طرد این فناوری بسیار مهم که در ادغام خردمندانه و مسئولانه آن در اکوسیستم پژوهش نهفته است. این امر مستلزم اقدامات چندجانبه است:

- ۱- تدوین و اجرای راهبردهای نهادی: دانشگاه‌ها و ناشران علمی باید راهنمایی‌هایی روشن و اجباری برای بیان شفاف استفاده از هوش مصنوعی، تعریف سرقت علمی در این زمینه و آموزش مهارت‌های سواد دیجیتال-انتقادی به پژوهشگران وضع کنند.
- ۲- توسعه ابزارهای نظارتی فنی: ایجاد ابزارهای قابل اعتماد برای شناسایی محتوای تولیدشده توسط هوش مصنوعی و آزمون

^۱- Disclose

^۲- General Data Protection Regulation (GDPR)

مقررات عمومی حفاظت از داده‌ها (GDPR)، یک قانون جامع اتحادیه اروپا برای حفظ حریم خصوصی است که در سال ۲۰۱۸ میلادی اجرایی شد. این قانون، استانداردهایی را برای جمع‌آوری، پردازش و ذخیره‌سازی داده‌های شخصی (مانند نام، آدرس ایمیل یا اطلاعات مکانی) افراد مقیم منطقه اقتصادی اروپا تعیین می‌کند. مهم‌ترین هدف از ارائه این مقررات، اعطای کنترل بیشتر به افراد بر داده‌های شخصی خود است. این قانون بر پایه اصولی مانند رضایت آگاهانه و صریح، شفافیت، محدودیت هدف و امنیت داده‌ها استوار است و به افراد حق‌هایی مانند دسترسی به داده‌ها، درخواست اصلاح، انتقال و حتی حذف آنها (حق فراموشی) می‌دهد. حوزه شمول این قانون بسیار گسترده است و صرفاً محدود به شرکت‌های مستقر در اتحادیه اروپا نیست، بلکه هر سازمانی در سراسر جهان که کالا یا خدماتی به ساکنان این منطقه ارائه می‌دهد یا داده‌های آنان را پردازش می‌کند را نیز شامل می‌شود. تخلف از این قانون می‌تواند جریمه‌های سنگینی تا بیست میلیون یورو یا چهار درصد از درآمد سالانه سازمان متخلف در پی داشته باشد. برای مطالعه دقیق‌تر می‌توانید به متن کامل و رسمی این مقررات [۶] که به زبان انگلیسی و به‌صورت آنلاین منتشر شده است مراجعه کنید.

^۳- Stealth Plagiarism

^۴- Large Language Model (LLM)

علمی شده است. این مسئله با پیچیدگی بیشتری همراه می‌شود، زیرا ابزارهای کنونی کشف سرقت علمی اغلب در شناسایی متون تولیدشده توسط هوش مصنوعی ناتوان هستند.

مدل‌های زبانی بزرگ نوعی از هوش مصنوعی هستند که روی حجم عظیمی از داده متنی آموزش دیده‌اند. این مدل‌ها (مانند Claude, Gemini, ChatGPT) توانایی فهم، تولید و پردازش زبان طبیعی را دارند. آنها می‌توانند متنی روان و مرتبط با موضوع تولید کنند، به سؤالات پاسخ دهند و یا متن ورودی را خلاصه یا ترجمه کنند. این مدل‌ها دقیقاً همان ابزار فنی اصلی هستند که امکان نوشتن مقاله با کمک هوش مصنوعی را فراهم می‌کنند. این ارتباط از طریق قابلیت‌های کلیدی زیر شکل می‌گیرد: تولید متن، درک و خلاصه‌سازی، ترجمه، پاسخ به سؤال، سازماندهی و ساختاردهی. LLM یک «همکار» است، نه «نویسنده». با وجود توانایی‌های بالا، LLM فاقد قضاوت علمی، درک واقعی و مسئولیت اخلاقی است. بنابراین نقطه قوت آن این است که یک دستیار توانمند برای افزایش بهره‌وری در وظایف مکانیکی و ایده‌پردازی اولیه است و نقطه‌ضعف آن غیرقابل‌اعتماد آن برای تولید دانش اصیل، تحلیل داده، استدلال علمی پیچیده یا ارائه نتیجه‌گیری‌های معتبر می‌باشد. این مدل‌ها مستعد تولید اطلاعات نادرست و تخیلی و تکرار سوگیری‌های موجود در داده‌های آموزشی خود، ساختن منابع، داده‌ها، اسنادها و حتی کل پژوهش‌های علمی به‌ظاهر معتبر اما کاملاً ساختگی هستند. در جمع‌بندی، LLM موتور اصلی هوش مصنوعی‌هایی است که در نوشتن مقاله کمک می‌کنند. آنها می‌توانند روند نوشتن را با خودکارسازی برخی مراحل تسریع کنند، اما کیفیت، صحت، اصالت و اخلاق‌مندی محتوای نهایی، کاملاً در گرو نظارت، بازبینی و تخصص پژوهشگر انسانی است. این مدل‌ها با تکیه بر این اطلاعات کذب، نه تنها اعتبار مقاله را از بین می‌برد، بلکه زنجیره دانش را آلوده می‌سازد و امکان تکثیرپذیری پژوهش را از بین می‌برد به بیان ساده، LLM قلم سریع و باسوادی است که شما آن را هدایت می‌کنید، نه یک پژوهشگر جایگزین.

استفاده اخلاقی و مؤثر از مدل‌های زبانی بزرگ در پژوهش، مستلزم رعایت اصل شفافیت مطلق و حفظ حاکمیت فکری پژوهشگر است. این ابزار را می‌توان به‌عنوان یک دستیار پژوهشی

هوشمند در مراحل مکانیکی و مقدماتی به کار گرفت، به شرطی که نقش آن صریحاً در بخش «روش‌شناسی» یا «تقدیر و تشکر» مقاله افشا شود. به‌عنوان مثال، از LLM می‌توان برای خلاصه‌سازی و اولویت‌بندی متون علمی در مرحله مرور ادبیات، ایجاد پیش‌نویس اولیه برای بخش‌های توصیفی، پاراگراف‌بندی اصولی جملات و پیشنهاد ساختار منطقی برای مقاله، ترجمه یا ویرایش زبان استفاده کرد. با این حال، هیچ‌یک از خروجی‌های LLM نباید بدون بازبینی عمیق و مسئولانه پژوهشگر پذیرفته شود. وظایفی مانند طراحی روش تحقیق، تحلیل داده‌ها، تفسیر نتایج، استدلال‌های پیچیده و نتیجه‌گیری نهایی که مستلزم قضاوت تخصصی، تفکر انتقادی و مسئولیت‌پذیری اخلاقی هستند، باید به طور کامل توسط خود پژوهشگر انجام شوند. استفاده نادرست و غیرشفاف از این ابزارها نه تنها مصداق سرقت علمی است، بلکه به اعتبار پژوهش و پژوهشگر خدشه وارد می‌سازد.

بد اخلاقی دیگر، تخریب فرآیند داوری و ارزیابی علمی است. پژوهشگران ممکن است از هوش مصنوعی برای تولید انبوه و سریع مقالات با حداقل تغییرات (مقاله‌سازی افزونی^۱ یا تکه‌تکه‌سازی) استفاده کنند تا شاخص‌های کمی خود را به شکلی مصنوعی افزایش دهند، امری که بار داوران و کیفیت کلی ادبیات علمی را تحت تأثیر منفی قرار می‌دهد. مقاله‌سازی افزونی، یک سوءرفتار پژوهشی است که در آن داده‌های حاصل از یک مطالعه واحد به شکلی غیرضروری به چندین مقاله کوچک‌تر یا «تکه» تقسیم می‌شود تا شمار انتشارات پژوهشگر به طور مصنوعی افزایش یابد. هدف اصلی از این کار، دستیابی به «حداقل واحد قابل‌انتشار» و انباشتن رزومه است. این عمل به دلایل زیر غیراخلاقی و نادرست محسوب می‌شود [۷]:

الف) تحریف ادبیات علمی: خوانندگان و تحلیلگران (به‌ویژه در فراتحلیل‌ها) ممکن است تصور کنند این مقالات حاصل از مطالعات مستقل با نمونه‌های جداگانه هستند، درحالی‌که داده‌ها یکسان است.

ب) اتلاف وقت و منابع: وقت داوران، ویراستاران و خوانندگان به هدر می‌رود و جای مقالات اصیل دیگر گرفته می‌شود.

ج) محروم کردن جامعه علمی از درک جامع: ارائه نتایج به‌صورت تکه‌تکه شده، مانع از درک پیام اصلی و یکپارچه مطالعه می‌شود.

^۱- Salami Slicing

۲- کمک به فرآیند ایده‌پردازی و سازماندهی: از هوش مصنوعی می‌توان برای خلاصه‌سازی ادبیات موجود، پیشنهاد کلیدواژه‌های مرتبط، یا تولید ایده برای ساختار منطقی مقاله (مانند پیشنهاد عناوین بخش‌ها) بهره برد. این کار می‌تواند نقطه شروعی برای کار عمیق‌تر نویسنده باشد.

۳- کمک‌های فنی خاص: در حوزه‌هایی مانند کدنویسی، تحلیل‌های آماری اولیه، یا شبیه‌سازی ساده، هوش مصنوعی می‌تواند در تولید کد یا شناسایی الگوها کمک کند. در علوم انسانی نیز می‌تواند در ترجمه متون یا دسته‌بندی اولیه داده‌های کیفی نقش داشته باشد.

۸. شرایط ضروری برای مجاز شمردن هر گونه استفاده:

۱- بیان صریح^۱: نویسنده موظف است در بخشی از مقاله (اغلب در قسمت «روش‌شناسی» یا «تقدیر و تشکر») به‌وضوح ذکر کند که از کدام ابزار هوش مصنوعی، برای کدام قسمت‌های فرآیند پژوهش (مثلاً ویرایش زبان، تولید ایده اولیه، تحلیل داده) استفاده شده است. این شفافیت، شرط اخلاقی اولیه است.

۲- بازبینی، تأیید و مسئولیت‌پذیری نهایی: نویسنده باید مسئولیت کامل محتوای نهایی مقاله را برعهده گیرد. این بدان معناست که هر خروجی هوش مصنوعی باید از نظر دقت واقعی، اصالت استدلال، صحت داده‌ها و ارجاعات به‌دقت بازبینی، تصحیح و تأیید شود. نویسنده در قبال هر خطا یا اظهارنظر در مقاله مسئول است.

۳- ممنوعیت تولید محتوای اصیل: استفاده از هوش مصنوعی برای نوشتن بخش‌های اصیل مقاله مانند چکیده، مقدمه، تحلیل نتایج، بحث و نتیجه‌گیری غیرمجاز است. این بخش‌ها باید حاصل تفکر انتقادی، درک عمیق و قلم منحصربه‌فرد نویسنده باشد.

۴- رعایت دستورالعمل‌های ناشر و مؤسسه: پیش از هر اقدامی، باید دستورالعمل‌های خاص ناشر مجله هدف و مؤسسه آموزشی یا پژوهشی مربوطه درباره استفاده از هوش مصنوعی مطالعه و رعایت شود.

در مجموع، استفاده مجاز از هوش مصنوعی، استفاده‌ای است که کارایی فنی را افزایش دهد؛ اما نبوغ، قضاوت و صداقت فکری پژوهشگر را در کانون فرآیند تولید علم نگه دارد. هوش مصنوعی

با این حال، شرایط خاصی هم وجود دارد که انتشار چند مقاله از یک مطالعه بزرگ قابل قبول است، مانند زمانی که هر مقاله فرضیه، روش‌شناسی یا جامعه آماری کاملاً متفاوت و مستقل را بررسی می‌کند (مثلاً در مطالعات همه‌گیر شناختی بسیار بزرگ). در این موارد، شفافیت کامل و ارجاع متقابل بین مقالات الزامی است. همچنین، برخی ممکن است از هوش مصنوعی برای تولید یا دست‌کاری تصاویر، نمودارها و داده‌های آزمایشگاهی (سوءرفتار داده‌ای) به‌منظور اثبات ادعاهای پژوهشی خود استفاده کنند. این اقدام، که با ظهور ابزارهای تولید تصویر پیچیده‌تر شده، نقض فاحش اصول بنیادین صداقت و صحت در علم است. این بد اخلاقی‌ها زمانی تشدید می‌شوند که پژوهشگران، هوش مصنوعی را به‌عنوان جانشینی برای تفکر انتقادی و درک عمیق موضوع پژوهش قرار می‌دهند. این امر منجر به تولید مقالاتی می‌شود که اگرچه از نظر صوری روان و بی‌عیب به نظر می‌رسند، اما فاقد بینش، نوآوری اصیل و ارزش علمی واقعی هستند و در بلندمدت به فرسایش مهارت‌های تحلیلی جامعه پژوهشی می‌انجامد.

۷. استفاده‌های مجاز از هوش مصنوعی در نوشتن

مقالات علمی

استفاده مسئولانه و شفاف از هوش مصنوعی در نوشتن مقالات علمی، در صورتی که به‌مثابه یک ابزار کمکی و نه یک نویسنده جایگزین در نظر گرفته شود، می‌تواند مجاز و حتی ارزشمند باشد. کلید این مسئولیت‌پذیری، رعایت اصل شفافیت مطلق و حفظ حاکمیت فکری پژوهشگر است.

استفاده‌های مجاز و سازنده از هوش مصنوعی شامل موارد زیر است:

۱- بهبود صوری و زبانی: استفاده از هوش مصنوعی برای ویرایش دستور زبان، اصلاح ساختار جملات، بهبود روانی نگارش و یکدست‌سازی سبک نوشتار (به‌ویژه برای نویسندگان غیرانگلیسی‌زبان) کاملاً قابل قبول است. این ابزار می‌تواند در قالب‌بندی اولیه ارجاعات بر اساس استانداردهای مختلف (مانند APA یا Vancouver) نیز کمک کند، مشروط بر اینکه صحت نهایی همه استنادات توسط نویسنده بررسی شود.

^۱- Disclosure

می‌تواند یک دستیار مفید باشد، اما هرگز نمی‌تواند جایگاه مؤلف و مسئول اثر علمی را پر کند.

۹. استفاده‌ها غیرمجاز از هوش مصنوعی در نوشتن

مقالات علمی

استفاده از هوش مصنوعی در نوشتن مقاله علمی، در موارد زیر کاملاً غیرمجاز و نقض آشکار اخلاق پژوهشی محسوب می‌شود:

۱- تولید محتوای اصیل و استدلال‌های علمی

غیرمجازترین استفاده، واگذاری تفکر، تحلیل و نگارش اصیل علمی به هوش مصنوعی است. این شامل:

- نوشتن بخش‌های محتوایی مانند چکیده، مقدمه، تحلیل نتایج، بحث یا نتیجه‌گیری توسط هوش مصنوعی.
- تولید ایده‌ها، فرضیه‌ها یا تفسیرهای علمی نو بدون تفکر انتقادی عمیق پژوهشگر.
- خلق داده‌ها، نتایج آزمایشگاهی یا یافته‌های شبیه‌سازی‌شده.
- هوش مصنوعی هرگز نباید برای ساخت یا دست‌کاری داده‌های تجربی استفاده شود.

۲- انجام وظایفی که نیاز به قضاوت تخصصی انسانی دارند:

- ارزیابی و انتخاب منابع علمی: اتکا به هوش مصنوعی برای قضاوت درباره کیفیت، ارتباط یا اعتبار منابع پژوهشی.
- استنتاج روابط علی یا تفسیر معناداری آماری بدون نظارت و تأیید متخصص حوزه.
- تصمیم‌گیری‌های اخلاقی در طراحی پژوهش یا تفسیر پیامدهای اجتماعی یافته‌ها.

۳- تقلب آشکار و تخریب یکپارچگی علمی:

- تولید متن‌های خلاقانه برای فرار از شناسایی سرقت علمی (پارافریز^۱ غیراصیل و اتوماتیک). منظور از پارافریز غیراصیل و اتوماتیک، بازنویسی یک متن توسط نرم‌افزار یا هوش

مصنوعی است که صرفاً کلمات و ساختار جملات را به شکل مکانیکی تغییر می‌دهد، بدون اینکه نویسنده درک مفهومی از متن داشته یا محتوای جدیدی به آن بیفزاید.

- ایجاد مقاله‌های ساختگی کامل یا تولید انبوه مقالات کم محتوا (مقاله‌سازی سَلَمی) فقط برای افزایش رزومه.

- جعل هویت علمی: استفاده از هوش مصنوعی برای نوشتن مقاله‌ای که ادعا می‌کند نویسنده‌ای با تخصص خاص (مثلاً پزشک یا مهندس) آن را نوشته، درحالی‌که نویسنده فاقد آن صلاحیت است.

خط قرمز مطلق: نقض مسئولیت‌پذیری و شفافیت:

هرگونه استفاده مخفیانه و غیرشفاف از هوش مصنوعی که در آن نقش هوش مصنوعی در هر مرحله از پژوهش افشا نشود. پژوهشگر مسئولیت کامل محتوا را نپذیرد و آن را به هوش مصنوعی نسبت دهد.

دلیل اصلی غیرمجاز بودن این موارد آن است که هوش مصنوعی: فاقد قضاوت علمی، درک مفهومی و مسئولیت‌پذیری اخلاقی است. مستعد تولید اطلاعات نادرست یا ساختگی (هالوسینیشن^۲) است. سوگیری‌های موجود در داده‌های آموزشی را تقویت می‌کند.

مهارت‌های تحلیلی و نوآوری اصیل پژوهشگر را تضعیف می‌کند. استفاده غیرمجاز، تنها یک «تقلب فنی» نیست، بلکه نادرستی به ماهیت جستجوی علمی است که بر پایه صداقت، اصالت فکری و مسئولیت‌پذیری انسان‌ها بنا شده است.

۱۰. راهنمای کمیته اخلاق نشر بین‌المللی در استفاده

از هوش مصنوعی

بر اساس آخرین راهنمای کمیته اخلاق نشر^۳ (COPE) سال ۲۰۲۵، در مورد هوش مصنوعی، محورهای اصلی زیر مورد تأکید قرار گرفته‌اند [۸]:

۱- پارافریز (Paraphrase) به معنای بازنویسی یک متن یا ایده با کلمات و ساختار جمله‌ای جدید است، طوری که معنای اصلی آن به طور کامل و دقیق حفظ شود. در فارسی به آن «بازنویسی» یا «بیان مجدد» نیز می‌گویند.

² Hallucination

³- Committee On Publication Ethics (COPE)

کمیته اخلاق نشر (COPE)، یک نهاد بین‌المللی غیرانتفاعی است که در سال ۱۹۹۷ میلادی برای ارتقای استانداردهای اخلاقی در انتشار پژوهش‌های علمی تأسیس شد. هدف اصلی این کمیته حمایت از سردبیران، ناشران و پژوهشگران در مواجهه با چالش‌های اخلاقی نشر و تدوین راهنماهای مناسب است. این کمیته برای تخلفات رایج مانند سرقت علمی، جعل داده، ارسال همزمان مقاله به چند مجله و نویسندگی جعلی، چارچوبها و نمودارهای تصمیم‌گیری ارائه می‌کند تا رسیدگی به این موارد به صورت منصفانه و شفاف انجام شود. کمیته با ارائه آموزش، مشاوره و برگزاری سمینار، به حفظ سلامت و اعتماد در فرآیند انتشار علمی کمک می‌کند و امروزه هزاران نشریه معتبر از سراسر جهان عضو آن هستند. برای مطالعه دقیق‌تر و دسترسی به منابع رسمی آن، به تارنمای کمیته مراجعه کنید: (<https://publicationethics.org>)

- ۱- شفافیت و بیان شفاف^۱
- الزام به بیان کامل استفاده از هرگونه ابزار هوش مصنوعی در فرآیند پژوهش

نمونه‌های عملی از راهنمای COPE:

✓ مجاز:

- استفاده از ChatGPT برای بهبود گرامر و روان‌سازی متن.
- به کارگیری AI برای ترجمه متون (با ذکر منبع).
- استفاده از ابزارهای AI برای شناسایی الگو در داده‌ها.

✗ غیرمجاز:

- انتشار متون تولیدشده توسط AI بدون بازبینی و ویرایش.
- استفاده از AI برای تولید داده‌های پژوهشی.
- استناد به ChatGPT به عنوان مرجع علمی.

این راهنما به صورت پویا به‌روزرسانی می‌شود و آخرین نسخه آن مستقیماً از وبسایت COPE در دسترس است [۸].

۱.۱. قوانین موجود در ایران

بر اساس «راهنمای استفاده از ابزارهای هوش مصنوعی در پژوهش» وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، استفاده از هوش مصنوعی به عنوان یک ابزار کمکی در تحقیقات علمی و نوشتن مقاله علمی مجاز است، مشروط بر رعایت اصل **شفافیت مطلق** و حفظ **مسئولیت نهایی انسانی**. این راهنما استفاده اخلاقی را به دو دسته مجاز و غیرمجاز تقسیم می‌کند [۹]:

استفاده‌های مجاز شامل اموری است که در آن هوش مصنوعی نقش دستیار را دارد، مانند: ایده‌پردازی اولیه، خلاصه‌سازی مقالات، ترجمه و ویرایش متن، تحلیل داده، تولید کد ساده یا کمک در ساختاردهی نگارش. باین‌حال، محقق را موظف به‌وضوح در بخش «تقدیر و تشکر» یا «بیانیه استفاده از هوش مصنوعی» مقاله می‌نماید. نوع ابزار و نحوه استفاده از آن باید افشا شده و خروجی آن به‌دقت بازبینی و تأیید شود.

- ذکر دقیق ابزارها و نسخه‌ها (مانند ChatGPT-4, Mid Journey)
- تشریح نقش AI در هر مرحله از پژوهش (ایده‌پردازی، طراحی، تحلیل داده، نگارش)

۲- مسئولیت‌پذیری و پاسخگویی^۲

- پژوهشگران مسئول نهایی تمام محتوای تولیدشده توسط AI هستند.
- عدم پذیرش AI به عنوان نویسنده به دلیل ناتوانی در پذیرش مسئولیت.
- ضرورت بررسی دقیق خروجی‌های AI از نظر خطا، سوگیری و سرقت علمی.

۳- یکپارچگی محتوایی^۳

- ممنوعیت استفاده از AI برای تولید یا دستکاری داده‌های پژوهشی.
- اجتناب از تولید تصاویر، نمودارها یا نتایج مصنوعی توسط AI.
- حفظ اصالت اندیشه و جلوگیری از وابستگی بیش‌ازحد به AI.

۴- حریم خصوصی و امنیت داده^۴

- ممنوعیت بارگذاری داده‌های حساس در سکوها AI عمومی.
- رعایت مقررات حفاظت داده (مانند GDPR) در استفاده از AI.
- ارزیابی ریسک امنیتی سکوها AI قبل از استفاده.

۵- سوگیری و انصاف^۵

- شناسایی و گزارش سوگیری‌های احتمالی در الگوریتم‌های AI.
- اجتناب از تداوم تبعیض از طریق سیستم‌های AI.
- تنوع داده‌های آموزشی و توجه به نمایندگی گروه‌های مختلف.

۶- مالکیت فکری و استناد^۶

- عدم استناد به AI به عنوان منبع اولیه.
- رعایت حقوق مالکیت محتوای استفاده‌شده برای آموزش AI.
- شفافیت در تعارض منافع هنگام استفاده از ابزارهای AI تجاری.

۷- نظارت و ارزیابی مستمر^۶

^۱- Transparency and Disclosure

^۲- Accountability

^۳- Content Integrity

^۴- Privacy and Data Security

^۵- Bias and Fairness

^۶- Intellectual Property and Citation

^۶- Oversight and Continuous Evaluation

انتقادی، طراحی خلاقانه آزمایش ها و تعمیق تحلیل ها فراهم آورد و در نتیجه چرخه تولید علم را شتاب بخشد.

با این حال، استفاده از هوش مصنوعی در نوشتن مقالات علمی، بدون چالش نیست. تهدید اصالت و یکتایی پژوهش، تشدید سوگیری های موجود، کاهش مهارت های تحلیلی پژوهشگران، مسائل پیچیده اخلاقی و حقوقی و مشکل شفافیت و تکثیر پذیری، از جمله دشواری های جدی پیش روی جامعه علمی هستند. هسته اصلی این چالش ها، حفظ اعتماد، اصالت و مسئولیت پذیری در فرآیند علم سازی است. هوش مصنوعی فاقد قضاوت اخلاقی، درک واقعی و مسئولیت پذیری ذاتی است و بنابراین نمی تواند و نباید جایگاه مؤلف و مسئول نهایی یک اثر علمی را پر کند.

در پاسخ به این چالش ها، تلاش های نظارتی و قانونی در سطح بین المللی در حال شکل گیری است. قانون هوش مصنوعی اتحادیه اروپا (AI Act) با رویکرد مبتنی بر ریسک، بیانیه بلجی با تأکید بر همکاری بین المللی برای مدیریت ریسک های فناوری های پیشرفته و راهنمای سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (OECD) برای هوش مصنوعی قابل اعتماد، نمونه هایی از این تلاش ها هستند. در سطح ملی ما نیز، دستورالعمل هایی مانند «راهنمای استفاده از ابزارهای هوش مصنوعی در پژوهش» وزارت علوم، تحقیقات و فناوری ایران، سعی در تعریف چارچوبی برای استفاده مسئولانه دارند. اصل کلیدی مشترک در همه این مقررات، **شفافیت مطلق** است. پژوهشگر ملزم است به صراحت افشا کند که چگونه، در کدام مرحله و با کدام ابزار هوش مصنوعی از این فناوری کمک گرفته است.

نتیجه آنکه، آینده مطلوب در گرو **استفاده هوشمندانه، مسئولانه و شفاف** از هوش مصنوعی است. این فناوری باید در نقش یک **دستیار پژوهشی** قدرتمند باقی بماند که مراحل مکانیکی و زمان بر را تسهیل می کند، نه یک **جانشین** برای تفکر نقاد، خلق ایده های اصیل، تحلیل عمیق و قضاوت تخصصی پژوهشگر. پژوهشگر باید همواره کنترل، نظارت و مسئولیت نهایی محتوا، تفسیر نتایج و رعایت اصول اخلاقی را بر عهده داشته باشد. تنها از این طریق است که می توان از قابلیت های شگفت انگیز هوش مصنوعی برای

در مقابل، **استفاده های غیرمجاز** مواردی است که جانشین قضاوت و خلاقیت انسانی می شود. این موارد شامل تولید کل مقاله یا بخش های اصلی (مانند چکیده، بحث و نتیجه گیری)، جعل داده ها یا منابع، ایجاد تصاویر یا نتایج ساختگی و استفاده از آن به صورت عدم افشاسازی است. به طور خلاصه، می توان از هوش مصنوعی برای تسریع کار استفاده نمود، اما نه برای تفکر، تحلیل عمیق و خلق دانش اصیل؛ این امور باید همواره بر عهده پژوهشگر باقی بماند.

بر اساس دستورالعمل **بنیاد ملی علم ایران** [۱۰]، استفاده از ابزارهای هوش مصنوعی در پژوهش مجاز است، اما با شرایط و محدودیت های دقیق و به عنوان یک ابزار کمکی، نه جایگزینی برای پژوهشگر. اصول کلیدی آن رعایت اخلاق علمی، شفافیت کامل، مسئولیت پذیری پژوهشگر و حفظ حریم خصوصی است. در این دستورالعمل هم آمده است که استفاده از هوش مصنوعی برای ایده پردازی، ترجمه، ویرایش، تحلیل داده، تولید کد و بهبود نگارش مجاز است. با این حال، پژوهشگر موظف است به صراحت در بخش روش شناسی یا بیانیه اخلاق پروژه، نام ابزار، نسخه و تاریخ استفاده را ذکر کرده و تمام خروجی ها را بازبینی و اعتبارسنجی علمی نماید. همچنین، جایگزینی کامل نقش پژوهشگر، تولید داده یا منابع ساختگی و استفاده از داده های حساس در ابزارهای عمومی ممنوع است. در نهایت، مسئولیت نهایی محتوا، تفسیر نتایج و رعایت اخلاق بر عهده پژوهشگر و نویسنده است و هوش مصنوعی هرگز نمی تواند مسئولیت اخلاقی یا خلاقیت انسانی را بر عهده گیرد.

۱۲. جمع بندی و نتیجه گیری

هوش مصنوعی به ویژه در قالب مدل های زبانی بزرگ، به یک همکار قدرتمند در فرآیند پژوهش و نگارش علمی تبدیل شده است. مزایای آن از جمله افزایش کارایی، سرعت بخشیدن به مراحل مقدماتی پژوهش، تحلیل داده های کلان، کاهش خطاهای تکراری و ارائه کمک های شخصی سازی شده در نگارش، غیرقابل انکار است. این فناوری می تواند با آزادسازی زمان پژوهشگران از وظایف مکانیکی، فضای بیشتری برای تفکر

[5]. OECD. (2019). Recommendation of the Council on Artificial Intelligence (OECD Legal Instruments). Organisation for Economic Co-operation and Development
Retrieved from: <https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0449>
OR:
OECD. (2019). OECD Principles on Artificial Intelligence. Organisation for Economic Co-operation and Development.

Retrieved from: (<https://oecd.ai/en/ai-principles>)

[6]. European Parliament and Council. (2016). Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data, and repealing Directive 95/46/EC (General Data Protection Regulation). *Official Journal of the European Union*, L 119, 04/05/2016, P. 1–88. Retrieved from: (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32016R0679>)

[7]. Smolčić, V. S. (2013). Salami publication: definitions and examples. *Biochemia Medica*, 23(3), 237–241. (doi:10.11613/BM.2013.030)

[8]. Committee on Publication Ethics (COPE) (2025). Retrieved from (<https://publicationethics.org>)

[۹]. وزارت علوم، تحقیقات و فناوری جمهوری اسلامی ایران (۲۵ آبان ماه ۱۴۰۴). *راهنمای استفاده از ابزارهای هوش مصنوعی در پژوهش*، تهیه شده توسط مؤسسه تحقیقات سیاست علمی کشور

[۱۰]. بنیاد علم ایران (۱۴۰۴). *دستورالعمل استفاده از ابزارهای هوش مصنوعی در پژوهش* (www.insf.org)

پیشبرد علم بهره برد، درحالی که اصالت، اعتماد و یکتایی پژوهش علمی که سنگ بنای پیشرفت دانش است، محفوظ و حتی تقویت می‌شود. همکاری مستمر نهادهای قانون‌گذار، ناشران، مؤسسات علمی و خود پژوهشگران برای به‌روزرسانی چارچوب‌های اخلاقی و حرفه‌ای، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر در این مسیر پویا و در حال تکامل است.

Reference

منابع

[1]. European Parliament and Council (2024). Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act) and amending certain Union legislative acts. *Official Journal of the European Union*, L 2024/1689. Retrieved from EUR-Lex website: (<https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj/eng>)

[2]. Executive Order 14110 of October 30, 2023. Safe, Secure, and Trustworthy Development and Use of Artificial Intelligence. Federal Register: *The Daily Journal of the United States Government*, Vol. 88, No. 211. (November 1, 2023).

Retrieved from: (<https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2023-11-01/pdf/2023-24283.pdf>)

[3]. UK Department for Science, Innovation and Technology (DSIT). (2023, November 1). The Bletchley Declaration by Countries Attending the AI Safety Summit, 1-2 November 2023.

Retrieved from: (<https://www.gov.uk/government/publications/ai-safety-summit-2023-the-bletchley-declaration>)

[۴]. منتظری، حسام، غفاری، احمدرضا؛ موسوی موحدی، علی اکبر (۱۴۰۲). کاربردهای چت جی پی تی در تحقیقات علمی و ملاحظات اخلاقی استفاده از آن، نشریه نشا علم، ۱۳، ۱، ۱۴۸–۱۵۶.

از آزمایشگاه‌های ساده علوم‌پایه تا آینده‌ی ثروت و قدرت (بررسی پنج خطای رایج درباره علوم‌پایه)

محمد رضا تقی‌دخت^{۱*}

چکیده

علوم‌پایه با وجود آنکه زیربنای تمامی علوم و فناوری‌های پیشرفته محسوب می‌شوند، در سیاست‌گذاری علمی و درک عمومی کشورهای درحال توسعه، اغلب به‌عنوان حوزه‌هایی کم‌اثر، کم‌کاربرد یا منزوی تلقی می‌شوند. این مقاله با رویکردی فلسفی-تحلیلی، پنج خطای رایج در فهم جایگاه علوم‌پایه را از منظر فلسفه علم بررسی می‌کند: ۱. «خطای معرفتی» ناظر بر یکی دانستن هدف علوم‌پایه (فهم بنیادین) با علوم کاربردی (تولید محصول)؛ ۲. «خطای نهادی سیاست‌گذاران» در تحمیل معیارهای خروجی فوری بر فعالیتی که اساساً در افق بلندمدت معنا می‌یابد؛ ۳. «خطای ارزیابی نقش‌ها» که با نادیده‌گرفتن شواهد تاریخی، از پیوند عمیق پژوهش‌های پایه با فناوری‌های بزرگ غفلت می‌کند؛ ۴. «خطای عملکردی دانشگاه» در اولویت‌دهی به توسعه فناوری به‌جای توسعه و گسترش دانش‌های بنیادین؛ و ۵. «خطای تأخیر در ثمر» که منطق سرمایه‌گذاری بلندمدت در علوم‌پایه را نامفهوم می‌سازد. استدلال مقاله آن است که پذیرش «منطق تأخیر در ثمر» و تقویت جدی علوم‌پایه، نه یک انتخاب فراواقعی، بلکه شرط امکان نوآوری‌های اصیل و پیشرفت پایدار در مواجهه با مسائل ناشناخته آینده و زمینه‌سازی برای تقویت توسعه فناوری‌هایی است که امروز از آن‌ها هیچ تصویری نداریم.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت:

۱۴ خرداد ۱۴۰۵

تاریخ بازنگری:

۲۴ خرداد ۱۴۰۵

تاریخ پذیرش:

۲۶ خرداد ۱۴۰۵

تاریخ انتشار:

۳۱ خرداد ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:

علوم‌پایه

فلسفه علم

سیاست‌گذاری علمی

ارزش ذاتی علوم پایه

تأخیر در ثمر

فناوری‌های آینده

آینده‌پژوهی علمی

آموزش عالی

استناد: تقی‌دخت، محمد رضا. (۱۴۰۵). از آزمایشگاه‌های ساده‌ی علوم‌پایه تا آینده‌ی ثروت و قدرت (بررسی پنج خطای رایج درباره‌ی علوم‌پایه). *نشاء علم*، ۱۶

(۱)، ۴۷-۵۱.



ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران

© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

* عهده‌دار مکاتبات، پژوهشگر فلسفه علم، تلفن: ۶۶۴۹۳۰۴۶ (۹۸۲۱)، دورنگار: ۶۶۴۸۰۲۹۰ (۹۸۲۱)، آدرس الکترونیکی: taghidokht@ut.ac.ir

^۱ دانشجویان مهندسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۱. مقدمه

غلطِ «فهمی» و «عملکردی» سیاست‌گذاران درباره‌ی علوم‌پایه است.

همچنین باید پذیرفت که پیشرفت در علوم‌پایه، اغلب از مسیرهای غیرقابل‌پیش‌بینی و با انباشت، آزمون، تکمیل و پایش اطلاعات در طول دوره‌های مختلف رخ می‌دهد و توقع اینکه در هر دوره کشف بزرگی در هر عرصه رخ دهد نیز موجه نیست. بدین معنا، علوم‌پایه محل تولید «پاسخ» برای نیازها نیستند، محل تولید «امکان پاسخ» اند و پیشرفت در علوم‌پایه نیز، پیشرفتی تدریجی است. مهم این است که پیشرفت‌های بزرگ در سایر علوم، معمولاً از «سؤال‌ها و دانش‌های پایه» شروع می‌شوند، نه از نیازهای فوری زمانه؛ یعنی علوم‌پایه، مرزهای دانشی بشر را پیش می‌برند و توسعه می‌دهند.

۳. خطای نهادی سیاست‌گذاران

خطای معرفتی درباره علوم‌پایه، «خطای نهادی سیاست‌گذاران» را به دنبال دارد. عدم فهم درست ارزش، جایگاه و اهمیت علوم‌پایه، پیش از آنکه یک خطای اجتماعی یا فرهنگی باشد، خطایی «نهادی» است. معیارهایی که سیاست‌گذاران، سایر علوم از جمله علوم کاربردی را بر اساس آن‌ها ارزیابی، تأمین مالی و مشروعیت‌بخشی می‌کنند، اساساً با «ماهیت علوم‌پایه» هم‌خوان نیستند. در واقع، به دلیل «کم نمودن نتایج» دانش‌های بنیادی و پایه، نه تنها جامعه ارزش واقعی علوم‌پایه را نمی‌داند، سیاست‌گذار علمی هم که معمولاً صبر ندارد و به دنبال نتیجه عملی و سریع است، در این زمینه خطا می‌کند. انتظار «خروجی فوری» از علوم‌پایه، نه تنها یک مطالبه بی‌وجه، بلکه تحمیل معیاری ناسازگار با منطق ذاتی علوم‌پایه است.

البته تأکید بر ارزش ذاتی علوم‌پایه، به معنای انکار ارزش کاربردی آن‌ها نیست. برعکس، تاریخ علم نشان می‌دهد که کاربردی‌ترین فناوری‌ها، ریشه در پژوهش‌های کاملاً بنیادی و پایه داشته‌اند؛ اما ساختار نهادی علم، همواره بر تنش شدید میان «کنجکاوی علمی» و «انتظارات بیرونی» استوار بوده است و زمانی که این تنش به نفع خروجی کوتاه‌مدت حل شود، ساختار علمی تضعیف می‌شود، حتی اگر در ظاهر، شاخص‌های بهره‌وری افزایش یابد (اتفاقی تلخ که در حال رخ دادن است).

در طول تاریخ علم، جامعه علوم‌پایه، بیش از هر بخش دیگری از علوم، مجبور بوده است جایگاه، ارزش و اهمیت کار خود را اثبات کند. هنوز در قرن بیست و یکم، نه تنها در بین مردم عادی، بلکه در بسیاری از نظام‌های دانشگاهی معاصر، در کشورهای توسعه‌نیافته و در حال توسعه، علوم‌پایه با وضعیتی پارادوکسیکال مواجه‌اند: از یک سو «واقعاً» زیربنای تمامی علوم و فناوری‌های پیشرفته هستند و از سوی دیگر، در سیاست‌گذاری علمی و درک عمومی، اغلب به‌عنوان حوزه‌هایی کم‌اثر، کم‌کاربرد، کم‌نتیجه یا منزوی تلقی می‌شوند. این وضعیت، نه حاصل ضعف علوم‌پایه، بلکه نتیجه ناسازگاری میان «منطق تولید علوم‌پایه» و «معیارهای دستاوردگرا در ارزیابی علم» است؛ درحالی‌که در کشورهای پیشرفته، علوم‌پایه نه به مثابه فعالیتی لوکس و کم‌نتیجه، بلکه به‌عنوان «شرط اصلی امکان نوآوری علمی و فناورانه» تلقی می‌شوند. اما ریشه این سوءفهم عمومی نسبت به علوم‌پایه و بنیادی که حتی سیاست‌گذاران علم و فناوری نیز از آن مصون نیستند، در چیست؟ این مقاله، به اختصار تمام، پنج خطای رایج درباره جایگاه علوم‌پایه را از منظر فلسفه‌ی علم بررسی می‌کند.

۲. خطای معرفتی

در سنت فلسفه علم، علم‌پایه، فعالیتی است که هدف اصلی آن، فهم، کشف، تبیین و صورت‌بندی نظری پدیده‌ها و جهان است، فارغ از این‌که چه پیامدهای مثبت یا منفی بر آن مترتب خواهد بود. اگر از ارزش ذاتی و معنوی «دانستن به‌مثابه خیر و فضیلت» بگذریم، آنچه فلسفه علم همواره بر آن تأکید دارد، این است که نباید از علوم (پایه) توقع داشت مستقیماً به مشکلات زمانه پاسخ دهند یا برای آن‌ها راه‌حل ارائه نمایند. علوم‌پایه اساساً در «افق ذاتی و زمانی» متفاوتی از علوم دیگر قرار دارند و واجد ارزش ذاتی هستند؛ یعنی ارزش آن‌ها در «خودِ فهم» نهفته است، نه در پیامدهای بیرونی آن به‌عنوان دستاورد، محصول و مانند آن. بر این مبنا، توقعی که از علوم‌پایه می‌رود، باید کشف و تبیین پدیده‌های بنیادین باشد نه تولید محصول و دستاورد. اشتباه در این فهم این نکته، یک خطای معرفتی رایج است که مبنای همه قضاوت‌های

۴. خطای ارزیابی نقش‌ها

دانشگاه‌های پیشرو، سرمایه‌گذاری در علوم پایه را راهبرد اصلی و بلندمدت خود می‌دانند. این سرمایه‌گذاری الزاماً با انتظار بازده فوری همراه نیست، بلکه بر «حفظ و تقویت ظرفیت نظری دانش‌های بنیادین» و «تربیت نیروی انسانی پیشرو» متمرکز است. به بیان دیگر، پیشرفت فناوری در این کشورها، به جایگزینی علوم کاربردی به جای علوم پایه منجر نشده است، بلکه پیامد طبیعی وجود یک بستر نظری قوی در حوزه علوم پایه است. این الگو، نشان می‌دهد که رابطه میان علوم پایه و توسعه فناوریانه، رابطه‌ای غیرمستقیم اما ضروری است.

بر مبنای درک عمومی از علوم پایه، حتی در بین عموم سیاست‌گذاران و دانشگاهیان، تصویر علوم پایه، اغلب با کلیشه‌هایی ذهنی همراه است: آزمایشگاه‌هایی خلوت که «خبر مهمی» در آن‌ها نیست و استادانی ساکت، منزوی و ظاهراً بی‌ارتباط با مسائل واقعی در آن‌ها مشغول فعالیت‌اند. این تصویر بسیار غلط، نتیجه نامرئی بودن فرایند تولید علوم پایه و ناشناخته بودن ارزش و نقش بسیار حیاتی آن است. کار علوم پایه، برخلاف فناوری، کاری کم‌سروصدا، آرام و پیوسته است که محصول ملموس فوری ندارد و موفقیت آن، اغلب در زمانی دورتر، در قالب نظریه‌ها، مدل‌ها و چارچوب‌هایی ظاهر می‌شود که پایه رویدادهای پرسروصدا و مهم‌اند.

وقتی علوم پایه در دانشگاه‌ها خوب کار کند، امکان ظهور فناوری‌ها «بدیهی» به نظر می‌رسد، اما معمولاً کسی ریشه‌ها را نمی‌بیند و حتی وقتی کشفی کاربردی شد، «فناوری» نام می‌گیرد و از علوم پایه جدا می‌شود! کسی نمی‌پرسد فلان کشف یا فلان نظریه چقدر ارزش یا سود دارد، اما مدام در دانشگاه‌ها بر دستاوردهای سودآور و ثروت‌آفرین تکنولوژیک تأکید می‌شود؛ چون سیاست و اقتصاد (مبنای اداره دانشگاه‌ها) بر چرخه‌های کوتاه‌مدت می‌چرخند و توجه ندارند که علوم پایه، آینده علم و فناوری را شکل می‌دهند و آینده‌ی ثروت و قدرت، در آزمایشگاه‌های ساده علوم پایه است.

۶. خطای تأخیر در ثمر

چرا علوم پایه، «تأخیر در ثمر» دارند و آیا این تأخیر موجه است؟ این سؤال، پرسشی کلیدی است که باید همه، به‌خصوص سیاست‌گذاران و نهادهای علم، در سرمایه‌گذاری و اختصاص بودجه‌های علمی و پژوهشی به آن توجه کنند. سیاست‌گذار

مروور کوتاهی بر تاریخ علم، نشان می‌دهد که علوم پایه نقش اساسی در شکل‌گیری رشته‌ها و فناوری‌های جدید داشته‌اند، بی‌آنکه در زمان شکل‌گیری خود، با چنین هدف‌هایی تعریف شده باشند. پژوهش‌های بنیادین در فیزیک جامدات در نیمه اول قرن بیستم که ماهیتی پایه‌ای داشتند، بعدها به ظهور الکترونیک مدرن و بخش‌های مهمی از صنعت نیمه‌رساناها منجر شدند. معادلات چهارگانه «ماکسول»، دهه‌ها پیش از تولد فناوری‌های الکترومغناطیسی، مدارهای الکترونیکی و مخابراتی و تجهیزات اپتیکی مدرن شکل گرفتند، اما پایه آن‌ها بودند. مکانیک کوانتوم که در آغاز مسئله‌ای صرفاً نظری و پاسخی به بغرنج‌های فیزیک و مکانیک کلاسیک بود، امروز بنیان الکترونیک، لیزر و فناوری‌های اطلاعاتی و بی‌شمار فناوری دیگر است. کشف ساختار DNA که از کنجکاوای‌های بیش از صد ساله دانشمندان زیست‌شناس درباره حیات ژنتیکی آغاز شد، به زیست‌فناوری و پزشکی نوین انجامید. «نظریه اعداد» و پیشرفت‌ها در شاخه‌های انتزاعی ریاضیات محض که قرن‌ها فاقد کاربرد تلقی می‌شدند، نقشی اساسی در رمزنگاری و امنیت اطلاعات، علوم کامپیوتر، پردازش سیگنال و مانند آن یافتند و کمی مشهورتر، مطالعات پیشرفته در فیزیک هسته، که به ظهور تکنولوژی بمب اتم انجامید یا مطالعات پایه‌ی حوزه زیست‌شناسی که در پاندمی کرونا به کمک بشر آمد. نکته مهم آن است که در هیچ‌یک از این موارد، مسیر گذار از علوم پایه به فناوری، از پیش، برنامه‌ریزی نشده بود.

۵. خطای عملکردی دانشگاه

بسیاری از دانشگاه‌ها، دچار یک خطای عملکردی بزرگ شده‌اند و (احتمالاً تحت فشار نامرئی نهادهای سیاست‌گذار و انتظارات فوری جامعه) وظیفه خود را تولید و توسعه فناوری (= ثروت) تلقی می‌کنند و بنابراین تمام (یا بیشتر) توان خود را در این زمینه به کار می‌گیرند. دانشگاه وظیفه توسعه فناوری ندارد و برخلاف مراکز فناوری، نهادی است که وظیفه اصلی آن، حفظ، انتقال و گسترش علم و دانش است. بخش مهمی از منظومه دانش بشری، در کنار توانمندی شهودی دانشمندان، «دانش درون‌نهادی» دانشگاه است که حتماً بعدها بستر خلق و توسعه تکنولوژی خواهد شد. بررسی دقیق نظام‌های علمی کشورهای پیشرفته، نشان می‌دهد که

زیست‌پزشکی تعلق گرفته است؛ بی‌آنکه ثمرات عینی و دستاوردهای آنان در زمان خودشان کاملاً مشخص باشد.

۷. مؤخره: امتناع پیشرفت بدون علوم‌پایه قوی

آینده موفق علم و فناوری، از دو جهت، بدون تقویت جدی علوم‌پایه ممتنع است:

نخست آنکه علوم آینده، ترکیبی و میان‌رشته‌ای هستند. این روند دهه‌هاست آغاز شده است. فناوری هوش مصنوعی، نمونه‌ای شفاف از این روند است که ترکیبی از زیست‌شناسی، ریاضیات، فیزیک، علوم‌شناختی و سایر حوزه‌هاست. پزشکی در حوزه‌های مختلف، به داده‌های تخصصی شیمی، نانو، علم مواد و مانند آن نیاز دارد. هسته اصلی همه این ترکیب‌ها، شاخه‌های علوم‌پایه است و به نظر می‌رسد آینده، بیش از آنکه نیازمند توسعه فناوری باشد، نیازمند سرمایه‌گذاری امروز برای تعمیق علوم‌پایه است؛ چون علم عمیق و قابل‌اعتماد بنیادین، کمک می‌کند فناوری «قابل‌توسعه» باقی بماند.

دوم آنکه باوجود همه پیشرفت‌های فناوریانه، ما از آینده کاملاً بی‌خبریم. ما امروز نمی‌دانیم بحران بعدی سلامت چه خواهد بود، محدودیت‌های انرژی آینده در کدام بخش‌ها خواهد بود، فناوری‌های آینده به چه موادی نیاز خواهند داشت، بحران‌های زیست‌محیطی آینده چه خواهند بود و هزاران ندانسته دیگر. مسائل آینده، همیشه ناشناخته‌اند و علوم‌پایه، ما را برای مسئله‌های ناشناخته آینده آماده می‌کند. اینکه مثلاً از نتیجه مطالعات و فعالیت‌های «شتاب‌دهنده سرن» در آینده چه فناوری‌هایی پدید خواهد آمد که به بشر کمک کند یا نتیجه عملی کشف «بوزون هیگز» چه خواهد بود، امروز مشخص نیست. چه‌بسا ماده‌ای که امروز در یک آزمایشگاه کوچک کشف می‌شود و به نظر مهم نمی‌آید، در آینده‌ای نه‌چندان دور، پایه توسعه یک فناوری بسیار مهم باشد. فناوری عمر معینی دارد، اما قوانین و فرمول‌های کشف‌شده توسط علوم‌پایه، عوض‌شدنی و جایگزین‌پذیر نیستند و وقتی علوم‌پایه در کشوری قوی باشد، می‌توان نسل‌های بعدی فناوری را ساخت یا توسعه داد و به همین دلیل است که علوم‌پایه را موتور نوآوری بلندمدت می‌دانند.

به زبان ساده، می‌توان تقویت علوم‌پایه را به ساختن کتابخانه‌ای تشبیه کرد که برای نسل‌های آینده بنا می‌شود. این کتابخانه، دانش

علمی‌ای که تنها پروژه‌های با بازده سریع را حمایت می‌کند، در واقع بر سرشاخه نشسته و بن آن را می‌برد. چنین سیاستی ممکن است در کوتاه‌مدت موفق به نظر برسد، اما در بلندمدت ظرفیت نوآوری بنیادی کشور را از بین می‌برد.

در دانش‌های پایه، نخست باید شناخت و فهم عمیق شکل بگیرد، آزمون انجام شود، خطاها تصحیح شوند و سپس نظریه‌ها متولد و پخته شوند. این مسیر با دستور و ضرب‌الاجل منافات دارد. سیاست‌گذاران و دانشگاه‌ها باید بفهمند که علوم‌پایه مربوط به امروز نیست، مربوط به آینده است و ارثیه‌ای علمی که ما برای آیندگان باقی می‌گذاریم؛ همان‌سان که گذشتگان چنین کردند. منطق تأخیر در ثمر، تنها منطق موجه علوم بنیادین است و بر اساس این منطق، نه‌تنها تأخیر، هزینه نیست، بلکه هم از منظر توثیق علوم و هم آینده‌نگری، ضرورت دارد و نوعی سرمایه‌گذاری است. «نتیجه‌های فوری» معمولاً کوچک و زودگذراند، اما ثمر دیررس، بارها و بارها استفاده می‌شود، پایه دستاوردهای بعدی است و مثل کاشتن درخت در برابر کاشتن سبزی در باغچه است. در علوم‌پایه، «عدم قطعیت» بخشی از منطق کار است، چون در مسیر فعالیت در این دانش‌ها، نمی‌دانیم دقیقاً چه چیزی به دست می‌آید و در چه زمانی. نکته مهم آن است که بدانیم اگر این راه را نرویم، هیچ افقی باز نمی‌شود و هرگونه سرمایه‌گذاری و هزینه در این مسیر، ساختن آینده و نشانه ذکاوت آینده‌نگرانه است. رسیدن به «فهم عمیق» مهم‌تر از رسیدن به «کاربرد» است و تأخیر در ثمر، شرط فهم عمیق و بلوغ فکری جامعه پیشرفته علمی است. جامعه‌ای که فقط نتیجه سریع می‌خواهد، ریسک نمی‌کند، سؤال سخت نمی‌پرسد و علمش همواره در سطحی پایین می‌ماند؛ پس پذیرفتن تأخیر، یعنی پذیرش «نیاز جامعه و علم به تفکر بلندمدت».

منطق تأخیر در ثمر، می‌گوید ارزش بعضی تلاش‌ها در «زمان رسیدن» نیست، در «وسعت اثر» آنهاست؛ چه زمان آن امروز باشد و چه آینده. با این وصف، در هرگونه سرمایه‌گذاری برای حوزه علم، باید سهم اصلی برای آیندگان در نظر گرفته شود. توان علمی بلندمدت مستقیماً وابسته به قدرت علوم‌پایه است و هزینه‌کرد بیش از ۴۰ درصد بودجه علمی کشورهای پیشرفته در این حوزه‌ها، نشان از اهمیت دادن آنها به آینده و پذیرفتن منطق تأخیر ثمر در علوم‌پایه است؛ همان‌گونه که بیشترین جوایز نوبل علمی، به کشف‌های علوم‌پایه، یعنی سه حوزه فیزیک، شیمی و

[۲]. لاکاتوش، ایمره؛ کوهن، توماس و دیگران (۱۴۰۳): پیشرفت و عقلانیت در علم، مترجمان: محمدمهدی هاتف، محمدرضا اسم‌خانی، حامد بیکران بهشت، بنگاه نشر و ترجمه کتاب پارسه، تهران.

[۳]. لونز، تیم (۱۴۰۲): معنای علم (مقدمه‌ای بر فلسفه‌ی علم)، ترجمه: صفر وفادار، انتشارات مازیار. تهران.

[۴]. ایترونا، لوکاس (۱۳۹۵): رویکردهای پدیدارشناسانه به اخلاق و تکنولوژی اطلاعات، ترجمه: ابوالفضل توکلی شانديز، انتشارات ققنوس. تهران.

[۵]. پولانی، مایکل (۱۳۹۸): دانش شخصی؛ به سوی فلسفه‌های پسا انتقادی، ترجمه: منوچهر بزرگمهر، نشر نی. تهران.

[6]. Bush (1945): Science: the endless frontier, United states government printing office.

[7]. Kuhn, t.s (1962): The structure of scientific revolution, University of Chicago press.

[8]. Stokes, Donald.e (1977): Pasteur's Quadrant: Basic Science and Technological innovation. Brookings institution press.

را ذخیره می‌کند، زبان فهم مسائل جدید را می‌سازد، امکان شناخت و خواندن و فهمیدن را برای دیگران فراهم می‌کند و حافظه جمعی علم را حفظ می‌کند. ما نمی‌دانیم کدام بخش از این کتابخانه یا کدام کتاب آن، در آینده حیاتی خواهد شد، اما نساختن یا تقویت نکردن این کتابخانه (یعنی تلاش نکردن برای تقویت و توسعه علوم‌پایه)، به منزله محروم کردن آیندگان از «امکان اندیشیدن مستقل» و طبعاً «آماده نبودن برای نیازهای ناشناخته» است. فقدان علوم‌پایه قوی در یک کشور، یعنی آیندگان باید از صفر شروع کنند و هر نسل مجبور است دوباره همه چیز را تجربه کند. علوم‌پایه حافظه‌ی دانشی هر تمدن است که هم دانش را نگه می‌دارد، هم امکان و توان فهم آینده را به نسل‌های بعد می‌دهد؛ دانشی انباشته که به نسل‌های بعد اجازه می‌دهد بر شانه‌های پیشینیان بایستند، جهان را بهتر ببینند و زندگی انسان‌ها را بهتر کنند.

Reference

منابع

[۱]. نیکلز، تامس (۱۳۹۵): انقلاب‌های علمی (از مجموعه فلسفه‌ی علم استفورد)، ترجمه: یاسر خوشنویس. انتشارات ققنوس، تهران.

پروژه های علم بزرگ: الگوهای نوین همکاری های جهانی در دنیای معاصر

فرید نصیری^۱، رضا یوسفی^{۱*}

چکیده

علم بزرگ به ابرپروژه های علمی اطلاق می شود که مستلزم سرمایه گذاری های مالی کلان، همکاری بین المللی گسترده تیم های بزرگی از متخصصان و زیرساخت تجهیزات پژوهشی پیچیده و پیشرفته می باشد. این رویکرد در مقابل علم کوچک قرار می گیرد که بر تحقیقات فردی یا فعالیت علمی گروه های کوچکی از پژوهشگران تمرکز دارد. علم بزرگ که پس از جنگ جهانی دوم آغاز شد، اکنون به یکی از عوامل اصلی پیشرفت علمی و فناوری کشورها تبدیل شده است. این پروژه ها در رشته های مختلف، از فیزیک تا علوم زیستی، نقشی تعیین کننده در گسترش دانش ایفا می کنند. نمونه های برجسته شامل شتاب دهنده های ذرات، تأسیسات گداخت هسته ای بین المللی و پروژه نقشه برداری مغز انسان است. علم بزرگ و تأسیسات پیچیده و گران قیمت آن که اغلب احداث آن فراتر از توان یک کشور است، موجب دگرذیسی بنیادین در روند توسعه علم و فناوری در گذر زمان نیز شده است. علاوه بر پیچیدگی تجهیزات و تأسیسات پژوهشی مورد نیاز، یکی از مهم ترین ویژگی های دیگر علم بزرگ، گستردگی همکاری میان محققان و دانشمندان است؛ به گونه ای که در نتیجه این همکاری ها، جوامع معرفتی شکل گرفته اند که دیگر صرفاً نقش پژوهشگری ندارند، بلکه به گروه هایی تأثیرگذار بر تصمیم گیری های کلان دولتی و بین المللی تبدیل شده اند. همکاری های علمی پایدار، روابط بین الملل را با قدرت نرم تثبیت کرده و مدل های ابرپروژه ها الگوهایی برای حکمرانی جهانی ارائه می کنند. طی دهه های اخیر، با برنامه ریزی و سرمایه گذاری های مشترک، زیرساخت های متعددی در حوزه علم بزرگ با همکاری کشورهای پیش گام در علم و فناوری به وجود آمده است که نقشی محوری در پیشرفت های بزرگ علمی و پیدایش فناوری های تأثیرگذار و نوظهور ایفا کرده اند. براین اساس، ضروری است سیاست گزاران علمی ایران نیز ایجاد تأسیسات علم بزرگ در داخل کشور و همچنین دسترسی دانشمندان و پژوهشگران ایرانی به زیرساخت های علم بزرگ جهانی را در اولویت قرار دهند تا کشور بتواند در حوزه علم و فناوری، قابلیت رقابت با کشورهای پیشرو جهان را کسب نماید.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت

۱۵ بهمن ۱۴۰۴

تاریخ بازنگری

۱۷ بهمن ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش

۲۲ بهمن ۱۴۰۴

تاریخ انتشار

۱۶ اردیبهشت ۱۴۰۵

کلیدواژه ها:

علم بزرگ

پیشرفت های بزرگ علمی

دیپلماسی علمی

جوامع معرفتی

سرمایه گذاری های مشترک

استناد: نصیری، فرید؛ یوسفی، رضا. (۱۴۰۵). پروژه های علم بزرگ: الگوهای نوین همکاری های جهانی در دنیای معاصر. *نشاء علم*، ۱۶ (۱)، ۵۲-۶۱.



ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران

© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می کنند.

* عهده دار مکاتبات: استناد. تلفن: ۶۱۱۱۳۳۷۸ (+۹۸۲۱)، دورنگار: ۶۶۴۰۴۶۸۰ (+۹۸۲۱)، آدرس الکترونیکی: Yousefi.reza@ut.ac.ir

^۱ مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۱. مقدمه

قابل توجه همکاری های علمی بزرگ در سطح جهانی، به عنوان قدرت نرم، در حل منازعات و عبور از بن بست های موجود در روابط بین الملل تأکید شده است.

۲. پیش زمینه و تکوین مفهوم علم بزرگ

اصطلاح علم بزرگ نخستین بار در سال ۱۹۶۱ در مقاله ای با عنوان تأثیر علم در مقیاس بزرگ بر ایالات متحده آمریکا توسط آلون واینبرگ^۲، فیزیک دان و مدیر آزمایشگاه ملی اوک ریج^۳، در نشریه ساینس ارائه شد [۳]. این مقاله علم بزرگ را به عنوان بخشی از اقتصاد سیاسی جدید علم که ناشی از جنگ جهانی دوم است، توصیف می کند. در این دوران، دولت آمریکا از پروژه های تحقیقاتی عظیمی همچون پروژه منهن حمایت مالی می کرد. همچنین ابرپروژه های علمی با مقیاسی بزرگ نظیر شتاب دهنده های ذرات، کاوشگرهای فضایی و تلسکوپ ها از نظر اندازه، پیچیدگی و هزینه با پروژه های نهادهای نظامی و صنعتی رقابت می کنند و به شدت بلندپروازانه هستند. از این رو واینبرگ، استدلال می کند که این پروژه ها معادل معاصر اهرام مصر یا کلیساهای جامع گوتیک هستند. در همین راستا برخی کشورها شهرهای علمی جدیدی مانند اوک ریج در آمریکا، شهر علمی تسوکوبا^۴ در ژاپن و شهر آکادم گورودوک^۵ در اتحاد جماهیر شوروی را به منظور پشتیبانی از پژوهش علم بزرگ بنیان نهادند. برای پژوهشگران، ظهور علم بزرگ نشان دهنده دگرگونی دانشمند از یک محقق مستقل و منزوی به عضوی از یک گروه سلسله مراتبی بود [۲، ۱]. دانشمندان در تأسیساتی مانند شتاب دهنده ذرات سرن^۶، خود را درگیر پروژه هایی می یافتند که صدها دانشمند، مهندس، تکنسین و مدیر را گرد هم می آورد. افزایش توجه به علم بزرگ تا حدی تحت تأثیر جنگ سرد بین آمریکا و اتحاد جماهیر شوروی تشدید شد، زیرا هر دو طرف درگیر رقابتی برای برتری سیاسی و علمی بودند. در واقع شروع این رقابت که به نوعی برای برتری جویی در مسابقه فضایی بود، آمریکا را به توسعه برنامه آپولو سوق داد و این برنامه تلاشی ده ساله برای ارسال سفینه فضایی سرنشین دار به ماه بود. در ۲۰

پیش از جنگ جهانی دوم، اکثر تحقیقات علمی در مقیاسی نسبتاً کوچک و توسط دانشمندان عمدتاً به شکلی انجام می شد که یا به تنهایی یا با کمک چند دستیار کار می کردند. بسیاری از این دانشمندان در دانشگاه ها عضویت داشتند و تحقیقات و آزمایش های خود را در آزمایشگاه های تحت حمایت مالی دانشگاه یا در تأسیسات خصوصی انجام می دادند. به عنوان مثال، ایزاک نیوتن نظریه های جاذبه و حرکت خود را هنگام حضورش در دانشگاه کمبریج انگلستان توسعه داد. آلبرت اینشتین نیز زمانی که به نظریه نسبیت خاص خود دست یافت، به عنوان کارمند دفتر ثبت اختراع در سوئیس مشغول به کار بود [۲]. با این همه شروع همکاری هایی مانند ساخت شتاب دهنده ها و پروژه منهن^۱ (برنامه ساخت بمب اتمی آمریکا) یک تغییر قابل توجهی را در نحوه انجام فعالیت های علمی ایجاد کرد که در آن ها محققان به جای کارهای انفرادی مجبور بودند که همراه افراد دیگر در گروه های بزرگ تر فعالیت کنند و بدین طریق برای نخستین بار همکاری های بزرگ علمی ایجاد شدند. علم بزرگ به زیرساخت ها و پروژه های علمی اشاره دارد که با همکاری در مقیاس وسیع، تأمین مالی قابل توجه و فناوری های پیچیده مشخص می شوند. این نوع علم، سبکی از پژوهش علمی است که در جریان و پس از جنگ جهانی دوم شکل گرفت و ساختار و ماهیت بخش عمده ای از تحقیقات در فیزیک، نجوم و بعدها در علوم زیستی را ایجاد نموده است. علم بزرگ با استفاده از ابزارها و تأسیسات بزرگ پژوهشی شناخته می شود که با بودجه های بزرگ دولتی یا با پشتیبانی سازمان های بین المللی ایجاد می شود و در آن گروه های بزرگی از دانشمندان و مهندسان فعالیت می کنند [۲، ۱]. در این نوشتار هدف ارائه چشم اندازی از مفهوم علم بزرگ، معرفی نمونه های مهم از ابرپروژه های علم بزرگ و اهمیت شرکت در این نوع پروژه ها برای پیشرفت های علمی و فناوری در کشور می باشد. همچنین در این مقاله به صورت خاص، با ارائه مفهوم علم برای دیپلماسی و اهمیت

¹ Manhattan project

² Alvin M. Weinberg

³ Oak Ridge

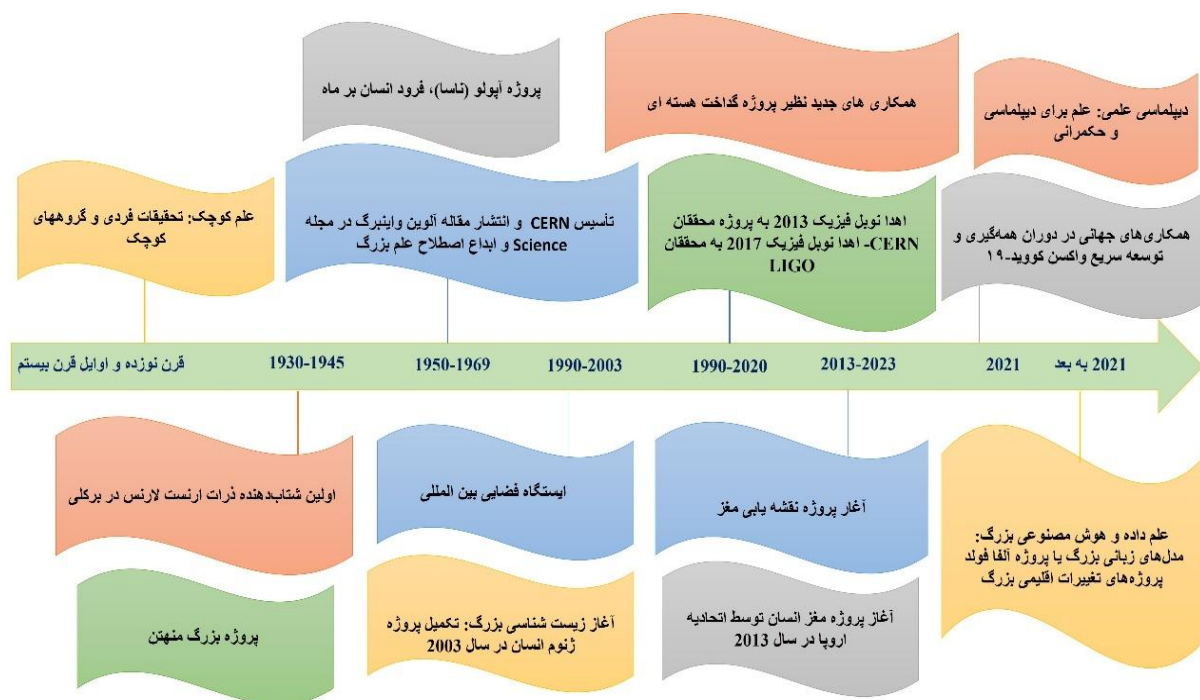
⁴ Tsukuba

⁵ Akademgorodok

⁶ The European Organization for Nuclear Research, abbreviated as CERN (from the French 'Conseil européen pour la Recherche Nucléaire' or European Council for Nuclear Research)

درحالی که در تفکر گروهی کاوش علمی توسط خرد جمعی متخصصان هدایت می شود. از طرف دیگر، بر اساس نظر واینبرگ، ترویج رویکردهای مشارکتی و بزرگ مقیاس به معنای منسوخ شدن پژوهش های فردی نیست و جامعه علمی به توسعه هم زمان علم بزرگ و علم کوچک نیاز دارد و نباید یکی را به بهای حذف دیگری گسترش دهد [۴].

ژوئیه ۱۹۶۹، این برنامه با فرود آپولو ۱۱ بر روی ماه به هدف خود دست یافت. هزینه این مأموریت حدود ۲۳ میلیارد دلار برآورد شده بود و این پروژه بیش از چهارصد هزار نفر را به کار می گرفت [۲]. به مرور این طرح های بزرگ علم و فناوری طی دهه های اخیر در رشته های مختلف نظیر فیزیک، زیست شناسی، زمین شناسی و اقلیم شناسی رشد قابل توجهی یافت و به یک رویکرد ثابت در فعالیت های علمی در سطح جهان تبدیل شد (شکل ۱).



شکل ۱. جدول زمانی تکوین علم بزرگ. این جدول بیانگر رشد قابل توجه همکاری های علم بزرگ در طی صد سال اخیر است.

۳. علم بزرگ در برابر علم کوچک

علم از فعالیت های تقریباً انفرادی در قرن های گذشته، ابتدا به سمت همکاری های گروهی کوچک و در ادامه طی قرن بیست و یکم به سوی پروژه های بسیار بزرگ حرکت کرده است. باین همه یکی از تضادها که با پیشرفت همکاری ها در علم بزرگ ایجاد شده است، تضاد بین علم کوچک یا تفکر فردی با علم بزرگ یا تفکر گروهی است. در علم کوچک خلاقیت محققان انفرادی که کم و بیش در انزوا کار می کنند، باعث تولید دانش و علم می شود؛

۴. تغییر پارادایم های غالب در علم

توماس کوهن^۱، فیزیک دان و فیلسوف علم، در سال ۱۹۶۲ استدلال کرده است که جامعه دانشگاهی اغلب همگن و محافظه کار است و محیطی پدید می آورد که ممکن است چندان برای نوآوری مساعد نباشد [۴]. او در کتاب انقلاب های علمی^۲ نشان می دهد که تاریخ علم آکنده از دوره های خیزش فکری یا انقلاب های علمی است. کوهن همچنین مفهوم علم عادی^۳ را مطرح می کند که به فعالیت های علمی درون یک پارادایم (چارچوب) حاکم اشاره

¹ Thomas Kuhn

² Scientific Revolutions

³ Normal Science

دارد. در دوره های علم عادی، هدف پژوهش ها نه به چالش کشیدن چارچوب بنیادین پدیدآمده از آخرین انقلاب علمی، بلکه توسعه آن را صرفاً نمادهای فیزیکی دوران گذشته می دانند. اما در علم بزرگ متحول شده یا معاصر، ملاحظات مربوط به کاربرد نتایج در



شکل ۲. نمونه های از ابرپروژه های علم بزرگ (برگرفته از منبع [۸]).

کنار تولید دانش جدید اهمیت ویژه ای یافته است. به عنوان نمونه، پروژه هایی مانند شتاب دهنده ذرات سرن یا پروژه تلسکوپ رصدخانه موج گرانشی تداخل سنج لیزری^۳ (LIGO) مواردی از پروژه های علم بزرگ سستی می باشند که هدف آنها تحقیقات پایه و تنها کشف حقایق محض علمی می باشد، درحالی که در پروژه هایی مانند رآکتور تجربی گداخت هسته ای بین المللی^۴ (ITER) مثالی از پروژه های علم بزرگ متحول شده و جدید هستند که در آنها اهداف کاربردی بیشتر مورد توجه می باشد [۶].

۶. نمونه های مهم و تاریخ ساز از پروژه های علم بزرگ

در قرن حاضر همکاری ها و پروژه های علم بزرگ به شدت گسترش یافته است (شکل ۲). تقریباً در هر رشته علمی، از نجوم و حفظ محیط زیست گرفته تا توسعه دارو، ژنتیک، علوم اعصاب و فیزیک، محققان در حال سازمان دهی همکاری های بزرگ علمی برای دستیابی به اهداف کلان هستند [۷]. در این بخش به عنوان نمونه به

و بسط همان پارادایم موجود است [۵]. با این حال، به گفته کوهن، پیشرفت واقعی علمی زمانی روی می دهد که پژوهشگران از مرزهای علم عادی فراتر روند و پارادایمی جدید ظهور کند که رضایت بخش تر از پارادایم پیشین باشد و مسیر جامعه علمی را تغییر دهد [۴]. از این رو به نظر می رسد، یکی از جنبه های اهمیت همکاری های علم بزرگ، همین امکان گذر از محافظه کاری های رایج در نظام های دانشگاهی، عبور از چارچوب های علم عادی و زمینه سازی برای انقلاب های علمی باشد. دستاوردهای حاصل از همکاری های علمی در مقیاس بزرگ شاید بتواند بحران هایی در پارادایم های کنونی علم ایجاد کنند و انقلاب های علمی تازه ای را رقم بزنند.

۵. انواع همکاری های علم بزرگ

پروژه های علم بزرگ را می توان در دو گروه علم بزرگ سستی^۱ و علم بزرگ متحول شده^۲ قرار داد. در مدل سستی، تمرکز عمدتاً بر «روش علمی» و کشف محض است، تا جایی که برخی منتقدان

^۱ Old Big Science

^۲ Transformed Big Science

^۳ The Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO)+Virgo

^۴ International Thermonuclear Experimental Reactor

چند مورد از این همکاری های بزرگ علمی در رشته های فیزیک، نجوم و علوم زیستی اشاره می شود (شکل ۲).

۱-۶. برخی از پروژه های علم بزرگ در فیزیک

در اصل مفهوم علم بزرگ با تمرکز بر روی پروژه های فیزیک هسته ای مانند پروژه منهن به وجود آمده است، به شکلی که آن را می توان با اصطلاح فیزیک بزرگ^۱ نیز توصیف کرد. در واقع بیشتر همکاری های علم بزرگ روی موضوعات حوزه فیزیک شامل فیزیک هسته ای، اخترفیزیک و نجوم تعریف شده اند [۹]. در این بخش، ضمن اشاره به تعدادی از پروژه های فیزیک بزرگ، ابعاد و اهمیت این همکاری ها نیز مورد توجه قرار می گیرد.

۱-۱-۶. برخورددهنده بزرگ هادرونی در سازمان پژوهش های

هسته ای اروپا (سرن)

برخورددهنده بزرگ هادرونی سرن یک شتاب دهنده حلقوی ذرات است که توسط سازمان اروپایی پژوهش های هسته ای (سرن) در زیرزمین و بین مرز فرانسه و سوئیس ساخته شده است. برخورددهنده بزرگ هادرونی از تقریباً ده هزار آهنربا برای شتاب دادن به ذرات تا نزدیکی سرعت نور استفاده می نماید. دانشمندان برخورد این ذرات را مشاهده می کنند تا ذرات بنیادی ماده را بشناسند. تکمیل این پروژه که با مشارکت چندین کشور بوده است، تقریباً بیست و پنج سال به طول انجامید و هزینه ای حدود ۱۰ میلیارد دلار داشت که به کشف بوزون هیگز (معروف به ذره خدا) در سال ۲۰۱۲ منجر شد [۱۰، ۲]. همچنین جایزه نوبل فیزیک سال ۲۰۱۳ به دلیل کشف بوزون هیگز به محققان سرن اعطا گردید [۲].

۲-۱-۶. رصدخانه موج گرانشی تداخل سنج لیزری (LIGO)

ایجاد رصدخانه موج گرانشی تداخل سنج لیزری (لیگو) با کمک های مالی بنیاد ملی علم آمریکا پشتیبانی شده است. این رصدخانه در دو مکان مختلف در آمریکا ساخته شده است و برای آشکارسازی امواج گرانشی، انحنای دور در ساختار فضا-زمان که توسط اجرام عظیم در فضا ایجاد می شوند، طراحی شده است.

در سال ۲۰۱۵، لیگو نخستین شواهد از امواج گرانشی را که اولین بار توسط آلبرت اینشتین در سال ۱۹۱۶ پیش بینی شده بود، آشکار کرد. این رصدخانه از آن زمان تاکنون چندین کشف قابل توجه دیگر نیز انجام داده است [۱۰، ۲]. محققان رصدخانه لیگو در سال ۲۰۱۷ به خاطر کشفیات بسیار مهم با این تلسکوپ عظیم جایزه نوبل فیزیک را دریافت نمودند [۱۱].

۳-۱-۶. پروژه بین المللی همجوشی یا گداخت هسته ای (ITER)

پیشنهاد اولیه تأسیس پروژه بین المللی گداخت هسته ای به عنوان یک دستاورد مهم از دیپلماسی علمی و باهدف کاهش تنش بین بلوک های شرق و غرب در جنگ سرد و طی دیدار رونالد ریگان رئیس جمهور وقت آمریکا و میخائیل گورباچف رهبر حزب کمونیست اتحاد جماهیر شوروی در سال ۱۹۸۵ و در ژنو بین دو فیزیکدان از دو کشور مطرح گردید. این پروژه اکنون با مشارکت هفت عضو شامل آمریکا، روسیه، اتحادیه اروپا، چین، ژاپن، کره جنوبی و هند همچنان در حال تکمیل می باشد. پروژه بین المللی گداخت هسته، پروژه فوق العاده مهمی است که هدف آن دستیابی به فناوری تولید انرژی خورشیدی با استفاده از همجوشی هسته ای بر روی زمین است. برای همجوشی هسته ای برخلاف شکافت هسته ای، سوخت اولیه (دوتریم، ایزوتوپ های هیدروژن) بیشتری وجود دارد، انرژی نامحدودی ایجاد می کند و پسماند رادیواکتیو نیز ندارد. در واقع تولید انرژی از مسیر گداخت هسته ای یک روشی مهم برای تولید انرژی پاک محسوب می شود [۶].

۲-۶. برخی از پروژه های علم بزرگ در نجوم

۱-۲-۶. ایستگاه فضایی بین المللی^۲ (ISS)

ایستگاه فضایی بین المللی آزمایشگاه فضایی چندملیتی و دارای خدمه دائمی است که تقریباً در ارتفاع ۴۰۰ کیلومتری بالای زمین در حال چرخش است. ایستگاه فضایی بین المللی نتیجه مشارکت پنج آژانس فضایی شامل ناسا^۳ (آمریکا)، روسکاسموس^۴ (روسیه)،

^۱ Big Physics

^۲ International Space Station (ISS)

^۳ National Aeronautics and Space Administration (NASA)

^۴ The State Corporation for Space Activities (Roscosmos)

اسا^۱ (اروپا)، جاکسا^۲ (ژاپن) و سی‌اس‌ای^۳ (کانادا) می‌باشد [۶]. قطعات این ایستگاه فضایی برای نخستین بار در سال ۱۹۹۸ به مدار پرتاب شدند. این ایستگاه طی دهه اخیر فعالیت خود را باهدف انجام تحقیقات علمی در حوزه‌هایی مانند زیست‌پزشکی، فیزیک و علوم مواد، توسعه فناوری و همکاری‌های بین‌المللی آغاز کرده است. در واقع می‌توان گفت که ایستگاه فضایی بین‌المللی دستاوردی عظیم در مهندسی، دیپلماسی و علم است. این ایستگاه نتایج ارزشمندی درباره سکونت طولانی‌مدت در فضا ارائه داده است و مزایای علمی و پزشکی متعددی به همراه داشته است.

۶-۲-۲. آرایه میلی‌متری بزرگ آتاکاما (ALMA)

آلما پروژه بین‌المللی است که در سال ۲۰۱۳ با همکاری رصدخانه ملی آمریکا، رصدخانه جنوبی اروپا، رصدخانه ملی نجوم ژاپن و با همکاری مؤسسه نجوم و اخترفیزیک تایوان و مؤسسه نجوم و علوم فضایی کره جنوبی و همچنین کشور میزبان (شیلی) که محل موردنظر را در صحرای آتاکاما فراهم کرده است، کار خود را آغاز نمود. این تلسکوپ، انقلابی در نجوم ایجاد کرده است و پنجره‌ای کاملاً جدید به روی کیهان گشوده است و به دانشمندان امکان می‌دهد تا فیزیک کیهان سرد، زادگاه سیارات و ستارگان و مواد اولیه تشکیل‌دهنده حیات را مطالعه کنند. در واقع این تلسکوپ سنگ بنای رصد نجومی دنیای مدرن است. تلسکوپ غول‌پیکر این رصدخانه متشکل از ۶۶ آنتن بادقت بالا است که به‌عنوان تداخل‌سنج با هم کار می‌کنند. این تلسکوپ جهان را در طول موج‌های میلی‌متری و زیر میلی‌متری یعنی امواجی که برای چشم انسان و تلسکوپ‌های نوری نامرئی است، رصد می‌کند [۱۰].

۶-۲-۳. مریخ‌نورد اگزومارس^۴

مریخ‌نورد اگزومارس با همکاری آژانس‌های فضایی اروپا و روسیه طراحی شده و هدف اصلی آن، همانند دیگر مریخ‌نوردها، از جمله مریخ‌نورد آمریکایی «کنجکاوی^۵»، جستجوی نشانه‌های وجود حیات در مریخ بود [۱۲]. دهه‌ها مؤسسه علمی و صنعتی از کشورهای اروپایی مختلف، به همراه روسیه، در طراحی و ساخت

آن نقش داشته‌اند. اگزومارس حاصل بیش از دو دهه برنامه‌ریزی، توسعه فناوری و سرمایه‌گذاری چند میلیارد یورویی بوده است و علوم مختلف زمین‌شناسی، شیمی، زیست‌اخترشناسی، رباتیک، مهندسی فضایی و علوم داده همگی در این مأموریت به هم گره‌خورده بودند. لازم به ذکر است که پس از آغاز جنگ روسیه با اوکراین، همکاری اروپا و روسیه در این پروژه متوقف گردید و پرتاب مریخ‌نورد اگزومارس نیز به تعویق افتاد. در واقع این پروژه نمونه‌ای خاصی از این واقعیت می‌باشد که علم بزرگ از سیاست جدا نیست. همچنین این توقف نشان داد که پروژه‌های علم بزرگ، علاوه بر چالش‌های علمی و فنی، به پایداری روابط بین‌الملل نیز وابسته هستند.

۶-۳. برخی از پروژه‌های علم بزرگ در علوم زیستی

پیشنهاد دهنده اصطلاح علم بزرگ (واینبرگ) معتقد بود که پژوهش‌های زیست‌پزشکی نیز به دلیل هدف والای خود، یعنی از بین بردن دردهای بشری باید موردتوجه عمومی واقع شوند و حل مسائل پیچیده سلامت نیز نیاز به تلاش‌های متمرکز، هماهنگ و گسترده دارند. براین اساس مفهوم زیست‌شناسی بزرگ^۶ در انتهای قرن بیستم با تأکید بر نوآوری با تعریف پروژه ژنوم انسانی به وجود آمد [۴، ۱۳]. در این بخش به تعدادی از پروژه‌های زیست‌شناسی بزرگ اشاره می‌شود.

۶-۳-۱. پروژه ژنوم انسانی (HGP)

در سال ۱۹۸۸، مؤسسه ملی سلامت آمریکا^۷ (NIH) با همکاری چند گروه بین‌المللی، شروع به تأمین بودجه‌ای برای توالی‌یابی یا نقشه‌برداری مولکول‌های تشکیل‌دهنده DNA انسانی کرد. به دلیل پیچیدگی رشته‌های DNA، انتظار می‌رفت تکمیل این پروژه بیش از پانزده سال طول بکشد؛ ولی محققان در بیش از بیست آزمایشگاه در سراسر جهان، پروژه را در سال ۲۰۰۳، دو سال زودتر از برنامه پیش‌بینی شده، به پایان رساندند [۲].

۶-۳-۲. طرح‌های علم بزرگ مربوط به مغز انسان

^۱ European Space Agency (ESA)

^۲ Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)

^۳ Canadian Space Agency (CSA)

^۴ ExoMars

^۵ Curiosity

^۶ Big Biology

^۷ National Institutes of Health

تا اکنون در حوزه مطالعات مغز دو ابرپروژه تعریف شده است که از پیشروترین پروژه های زیست شناسی بزرگ به شمار می روند. نخستین طرح به نام پروژه تحقیقاتی مطالعه مغز از طریق فناوری های نوآورانه عصبی^۱ (پروژه BRAIN) است که در سال ۲۰۱۳، باراک اوباما رئیس جمهور پیشین آمریکا در سخنرانی سالانه خود به آن اشاره کرد. بودجه پیش بینی شده برای این پروژه ۳ میلیارد دلار در طول ۱۰ سال بود که توسط سه آژانس فدرال و چندین سازمان غیرانتفاعی تأمین شد. هدف این پروژه، به گفته اوباما، گشودن راز آن یکونیم کیلوگرم ماده ای بود که میان دو گوش ما جای گرفته است [۷]. این پروژه در واقع یک پروژه علمی بین المللی و در مقیاس بزرگ بوده است و هدف اصلی آن توسعه و به کارگیری ابزارها و فناوری های پیشرفته برای نقشه برداری از مدارهای مغز، اندازه گیری فعالیت در زمان واقعی و درک چگونگی فعال شدن تفکر، احساسات و رفتار توسط مغز است [۱۴].

۷. همکاری های علم بزرگ، الگوهایی برای حکمرانی و

رهبری جهان

از طرف دیگر در سال ۲۰۱۳ دومین طرح کلان علمی مربوط به مغز، یعنی پروژه مغز انسان^۲ (HBP) به صورت همکاری علمی بزرگ و ده ساله (۲۰۲۳-۲۰۱۳) با بودجه ۱ میلیارد یورویی توسط اتحادیه اروپا آغاز گردید، که هدف آن ایجاد یک پلتفرم تحقیقاتی و فناوری بین رشته ای برای درک عملکرد مغز انسان است. رویکرد این پروژه تفاوت بنیادی با پروژه BRAIN دارد به طوری که تمرکز اصلی آن بر شبیه سازی دیجیتال و مدل سازی محاسباتی مغز با استفاده از ابررایانه ها بوده است. این پروژه تحت رهبری مدرسه پلی تکنیک فدرال لوزان^۳ (EPFL) در سوئیس انجام شده است و در آن تعداد زیادی دانشمند از بیش از چندین دانشگاه و مؤسسه تحقیقاتی در اروپا و سراسر جهان شرکت داشته اند [۱۴، ۱۵].

۳-۳-۶. پروژه پیشگویی ساختار پروتئین^۴ (آلفافولد)

آلفافولد و پروژه های مربوط به پیشگویی ساختار پروتئین، به وضوح در دسته علم بزرگ قرار می گیرند، اما نه لزوماً به شکل کلاسیک آن نظیر شتاب دهنده سرن و یا پروژه همجوشی هسته ای. در واقع این یک الگوی جدید و مدرن از علم بزرگ است که با هوش مصنوعی و داده های بسیار بزرگ تعریف می شود. پیش بینی

^۱ Brain Research through Advancing Innovative Neuro technologies

^۲ Human Brain Project

^۳ Swiss Federal Technology Institute of Lausanne

^۴ AlphaFold

^۵ John Jumper & Demis Hassabis

حقیقت این الگوهای موفق می‌توانند به‌عنوان راهکاری برای حل چالش‌های پیچیده در سایر حوزه‌های روابط بین‌الملل مورد استفاده قرار گیرند. طرح‌های علم بزرگ می‌توانند به‌عنوان الگوهایی برای حکمرانی و رهبری جهانی مورد توجه قرار گیرد و از آنها می‌توان به‌عنوان رویکردها و چشم‌اندازهایی برای عبور از بن‌بست‌های جهانی^۱ استفاده کرد [۶].

۸. دیپلماسی علمی و همکاری‌های علم بزرگ

دیپلماسی علمی را می‌توان در سه حوزه شامل علم در دیپلماسی^۲ که نقش مشورتی علم در سیاست‌گذاری را برجسته می‌کند؛ دیپلماسی برای علم^۳ که بر تسهیل همکاری‌های علمی بین‌المللی تمرکز دارد؛ و علم برای دیپلماسی^۴ که از همکاری علمی به‌عنوان ابزاری برای بهبود روابط بین‌الملل استفاده می‌کند، تقسیم کرد (شکل ۳) [۶، ۱۷]. تأکید ما در اینجا، در بحث همکاری‌های علم بزرگ، بر تعریف سوم دیپلماسی علمی، یعنی «علم برای دیپلماسی» و بهبود روابط بین کشورها است.

در واقع همکاری‌های علم بزرگ مانند پروژه بین‌المللی گداخت هسته‌ای و ایستگاه فضایی بین‌المللی نشان دادند که اگر ابرپروژه‌ها به‌عنوان زیرساخت جهانی دانش و نه ابزار قدرت ملی تعریف شوند، حتی کشورهایی با تعارض ژئوپلیتیک شدید می‌توانند در سطح علمی همکاری پایداری داشته باشند [۶]. به‌عنوان نمونه، در دوره‌های تنش شدید سیاسی (مثلاً بعد از ۲۰۱۴ و حتی پس از سال ۲۰۲۲ در جنگ اکرین)، همکاری فضانوردان آمریکا و روسیه در ایستگاه فضایی بین‌المللی یا همکاری فیزیک‌دان‌ها و مهندسان روسی با پژوهشگران اروپایی و آمریکایی در پروژه بین‌المللی گداخت هسته‌ای همچنان ادامه دارد. اعضای پروژه‌های علم بزرگ مانند پروژه بین‌المللی گداخت هسته‌ای و ایستگاه فضایی بین‌المللی را می‌توان جوامع معرفتی^۵ دانست. بر اساس تعریف پتر هاس^۶ (دیپلمات آمریکایی) جوامع معرفتی شبکه‌هایی از متخصصان با دانش تخصصی معتبر در یک حوزه و اثرگذار بر

سیاست‌گذاری می‌باشند. این نوع جوامع فقط گروه‌هایی از پژوهشگران شناخته نمی‌شوند؛ بلکه جوامعی هستند که دانش آن‌ها در تصمیم‌های کلان دولتی و بین‌المللی اثر می‌گذارد و در واقع آن‌ها محصول درهم‌تنیدگی عوامل علمی، فنی، اقتصادی و سیاسی هستند. تعریف مرزهای این جوامع دشوار است و با گذشت زمان تغییر می‌کند. با وجود ناپایداری نهادی این جوامع، آنها توانسته‌اند همکاری‌های پایدار ایجاد کنند و از طریق قدرت نرم علم، به تثبیت و بهبود روابط بین دولت‌ها کمک نمایند. در واقع، همکاری‌های علم بزرگ می‌توانند به‌عنوان ابزار پرتانسیل قدرت نرم در روابط بین‌الملل تبدیل شوند [۶].

۹. علم بزرگ در ایران

رصدخانه مراغه که در قرن سیزدهم میلادی و در دوران ایلخانان مغول توسط خواجه نصیرالدین طوسی، دانشمند برجسته ریاضی و نجوم تأسیس شد، برای زمان خود یک زیرساخت بزرگ و باشکوه علمی به شمار می‌رفت. این رصدخانه محلی بود که در آن دانشمندانی با ملیت‌های مختلف به فعالیت‌های گروهی مشترک می‌پرداختند. از این‌رو، شاید بتوان رصدخانه مراغه را با زیرساخت‌های علم بزرگ در دنیای مدرن مقایسه کرد. در زمان حاضر نیز یکی از مهمترین زیرساخت‌های علم بزرگ در کشور طرح چشمه نور یا شتابگر ملی ایران است. چشمه نور ایران یک سینکروترون نسل ۳ است که در راستای تحقق چشم‌انداز و اهداف کلان ملی و به‌منظور ایجاد نخستین آزمایشگاه بزرگ‌مقیاس برای پژوهش‌های رشته‌های متنوع علمی و بخش صنعت ایران، در شهر قزوین در حال احداث است [۱۸]. با این حال، نیاز جامعه علمی و صنعتی ایران تنها با یک یا چند زیرساخت بزرگ علمی تأمین نخواهد شد. بنابراین، علاوه بر مشارکت فعال در میزبانی برخی تأسیسات بین‌المللی علم بزرگ، ضروری است دسترسی رسمی و قانونی دانشمندان و پژوهشگران ایرانی به زیرساخت‌های علمی بزرگ جهان فراهم و مشارکت آن‌ها نیز تسهیل گردد. در چند دهه گذشته، محدودیت‌های فراوانی که

^۱ Global Gridlock

^۲ Science in Diplomacy

^۳ Diplomacy for Science

^۴ Science for Diplomacy

^۵ Epistemic Community در مفهوم علم بزرگ جامعه معرفتی به شبکه‌ای از متخصصان، دانشمندان و کارشناسان در یک حوزه موضوعی خاص گفته می‌شود که بر اساس دانش، ارزش‌های مشترک و تعاریف یکسان از یک مشکل یا یک حوزه علمی با یکدیگر همکاری می‌کنند.

^۶ Peter Haas

بر جامعه علمی ایران تحمیل شده است، مشارکت دانشمندان ایرانی را در پروژه های بین المللی علم بزرگ به شدت محدود کرده است. دسترسی دانشمندان کشور به زیرساخت های علم بزرگ برای ارتقای سطح علمی، فناوری و توسعه پایدار ایران ضروری است و محدود شدن این دسترسی ها، به ویژه در بلندمدت، می تواند آثار منفی متعددی به همراه داشته باشد. از جمله این آثار منفی می توان به کاهش توان تحقیقاتی و نوآوری کشور، ضعف رقابت پذیری در حوزه های علم و فناوری، فرار مغزها، کندی توسعه صنعتی و اقتصادی و کاهش همکاری های بین المللی اشاره کرد. باوجود آنکه در برخی موارد دسترسی و همکاری با زیرساخت های علم بزرگ، نظیر شتاب دهنده سرن و چشمه نور سزامی^۱ در اردن، فراهم شده است [۱۷، ۱۹]، این دسترسی ها علاوه بر آنکه با مشکلاتی همراه بوده اند، تنها به بخش کوچکی از جامعه علمی ایران محدود شده اند و نمی توان انتظار آثار و نتایج گسترده ای از آن ها داشت.

با توجه به روند رو به رشد همکاری های بین المللی علمی در مقیاس بزرگ در جهان، ضروری است که دستگاه دیپلماسی کشور و نمایندگی های علمی ایران در سراسر جهان، شرایطی را فراهم کنند تا جامعه علمی ایران از فرصت همکاری های بین المللی بیشترین بهره را برد. مشارکت در ابرپروژه های بین المللی نه تنها به رشد جامعه علمی کشور کمک می کند، بلکه از منظر دیپلماسی علمی نیز می تواند در حل مسائل بین المللی و عبور از محدودیت های موجود راهگشا باشد. همچنین، با حضور فعال در چنین طرح هایی این امکان را فراهم می کند که دیپلمات های علمی کشور از ظرفیت قدرت نرم علم و فناوری برای کاهش تنش ها و تقویت گفت و گوهای بین المللی بهره برداری نمایند.

۱۰. سخن پایانی

با نگاهی به گذشته می توان دریافت که روندها و زیرساخت های حوزه علم در گذر زمان دچار تحول و دگرگونی های چشمگیری شده اند. در دوران باستان، مراکز علمی و آموزشی غالباً در نزدیکی یا پیرامون کتابخانه ها شکل می گرفتند؛ از این رو، گردآوری کتاب ها و منابع مکتوب، اولویت اصلی جهت تأسیس مراکز علمی آن دوران به شمار می رفته است. از کتابخانه آشوربانی پال^۲

امپراتور آشوری که به عنوان نخستین کتابخانه جهان شناخته می شود، تا کتابخانه های آکادمی های باستانی مانند اسکندریه و گندی شاپور، و بعدها بیت الحکمه بغداد، همگی بستر پیدایش مراکز علمی، آموزشی و پژوهشی برجسته دوران خود بوده اند. اهمیت جمع آوری و تسهیل دسترسی پژوهشگران و دانشمندان به کتب و نشریات فیزیکی تا پیش از ظهور اینترنت همچنان پابرجا بود، اما امروزه جایگاه گذشته خود را تا حدی از دست داده است. علاوه بر این، در دنیای معاصر بسیاری از مراکز علمی معتبر به جای اولویت دادن به ایجاد کتابخانه بزرگ، در نزدیکی یا اطراف تأسیسات پژوهشی علم بزرگ بنا می شوند. همچنین تحقیقات دانشمندان و پژوهشگران که زمانی به صورت انفرادی یا در قالب گروه های کوچک انجام می شد، با پیدایش این تأسیسات به گروه های بزرگ بین المللی با سلسله مراتب تبدیل شده است. از این رو هماهنگی کشورها با این تغییرات باعث ایجاد اکوسیستم علمی و فناوری پویا و رقابتی می شود که به ارتقای آموزش و پژوهش، افزایش اعتبار و جایگاه بین المللی کمک می کند و در بلندمدت نیز به توسعه پایدار و بهبود کیفیت زندگی منجر خواهد شد. بنابراین، ضروری است با سیاست گذاری و برنامه ریزی هدفمند، شرایط حضور و مشارکت دانشمندان و محققان ایرانی در تأسیسات علم بزرگ جهان فراهم شود. همچنین باید برای ایجاد و توسعه چنین تأسیساتی در داخل کشور تلاش و برنامه ریزی کرد تا ضمن جبران محدودیت ها و عقب ماندگی های چند دهه گذشته، جایگاه کشور در عرصه علوم و فناوری را در سطحی رقابتی با قدرت های علمی و فناوری جهان ارتقا داد.

وبگاه های رجوع شده

- (1). https://www.nasa.gov/reference/international-space-station/?utm_source=chatgpt.com
- (2). https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/ExoMars/What_is_ExoMars?utm_source=chatgpt.com
- (3). <http://isna.ir/xdNKJK>
- (4). <https://www.nobelprize.org/>
- (5). <https://rch.ac.ir/article/Details/13984>

^۱ Sesame

^۲ Ashurbanipal

Organ. Collab. Big Sci. Exp., pp.185–219.
https://doi.org/10.1093/oso/9780198881193.003.0009.

[۱۱]. فرید نصیری، علی اکبر موسوی موحدی، (۱۳۹۶). برندگان جایزه نوبل ۲۰۱۷ در حوزه علوم پایه و پزشکی، نشا علم. (۱۳۹۶)، ۲۹–۲۳.

[12]. E. Sefton-Nash and et al., (2022). The ExoMars Rosalind Franklin Rover: Continuing Mission Preparations, Eur. Planet. Sci. Congr. 16, EPSC2022-800.

[13]. N. Vermeulen, (2016). Big Biology, 24, pp.195–223, https://doi.org/10.1007/s00048-016-0141-8.

[۱۴]. میچیو کاکو، (۱۴۰۲). آینده ذهن، ترجمه محمد اسماعیل فلزی، چاپ اول، انتشارات ققنوس.

[15]. J. Kim, (2024). The Human Brain Project Between Politics, Science, and Engineering, Eng. Stud. 16, pp.108–132. https://doi.org/10.1080/19378629.2023.2277197.

[16]. J. Jumper, Evans and et al., (2021). Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold, Nature. 596, pp. 583–589. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03819-2.

[۱۷]. رضا یوسفی، علی اکبر موسوی موحدی، (۱۴۰۰). دیپلماسی علمی فرصتی مهم برای توسعه همکاری های علمی بین المللی و روابط راهبردی، نشاء علم، ۱۲، ۱۲–۲.

[۱۸]. جواد رحیقی و همکاران، (۱۳۹۴). چشمه نور ایران، اولین آزمایشگاه ملی برای تحقیقات بین رشته ای، مجله پژوهش فیزیک ایران. ۲، ۱۷۳–۱۵۹.

[۱۹]. مجتبی محمدی نجف آبادی، (۱۳۹۸). همکاری پژوهشگاه با سرن در آستانه بیست سالگی، اخبار آی پی ام، ۱۲–۴.

[1]. Big Science, (2017). Encycl. Br, pp.1–3, https://www.britannica.com/science/Big-Science-science.

[2]. R. Sheposh, Big Science, EBSCO Res. (2023). pp.1–7, https://www.ebsco.com/research-starters/history/big-science.

[3]. A.M. Weinberg, (1961). Impact of Large-Scale Science on the United States, Science, 134 pp.161–164.

[4]. J. Esparza, T. Yamada, (2007). The discovery value of Big Science, J. Exp. Med. 204, pp. 701–704. https://doi.org/10.1084/jem.20070073.

[۵]. پل گریفیتس، کارولا اشتوتس (۱۴۰۴). ژنتیک و فلسفه، ترجمه جلال سلطانی، چاپ اول، نشر نو.

[6]. M. Robinson, (2021). Big Science Collaborations; Lessons for Global Governance and Leadership, 12, pp.66–80. https://doi.org/10.1111/1758-5899.12861.

[7]. V.H. September, (2013). The Science of Big Science, Natl. Geogr. Mag. 1–7. https://www.nationalgeographic.com/science/article/the-science-of-big-science.

[8]. How Big Is Science? (2015). Scientific American Magazine 313,4,40, https://10.0.4.14/scientificamerican1015-40.

[9]. S. Liyanage, M. Nordberg, M. Streit-Bianchi, (2024). Introduction: Big science, innovation, and societal contributions, Big Sci. Innov. Soc. Contrib. Organ. Collab. Big Sci. Exp. pp.1–5. https://doi.org/10.1093/oso/9780198881193.003.0001.

[10]. D. Reitze, A.R. Duffy, J. Gilbert, M. Casali, E. Barberio, S. Liyanage, (2024). The evolution of astrophysics towards big science: Insights from the innovation landscape, Big Sci. Innov. Soc. Contrib.

از شیمی شبکه‌ای تا پزشکی نوین: روایت نوبل شیمی ۲۰۲۵

محمد ادریسی^{۱*}، حسین دانشگر^{۲،۱،**}

چکیده

جایزه نوبل شیمی ۲۰۲۵ به پیش‌گامان شیمی شبکه‌ای عمر یاغی، ریچارد رابسون و سوسومو کیتاگوا، برای معرفی و توسعه چارچوب‌های فلز-آلی (Metal Organic Framework (MOF)، اعطا شد. پژوهش نظری ریچارد رابسون در دهه ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ کاملاً نوآورانه و روبه‌جلو و ورای زمان خود بود. او را می‌توان دانشمندی در شیمی دانست که به‌صورت ریاضی و هندسی، مفهوم ساخت شبکه‌های نامحدود کوئوردیناسیونی از واحدهای ساختمانی مولکولی را فرموله و اقدام به انتشار آن کرد. یاغی و کیتاگوا، به‌طور مستقل و هم‌زمان، با انگیزه‌های کاربردی مانند ذخیره گاز و مدل‌های جداسازی و با تکیه بر روش‌های سنتز جدید، به سمت ساخت و توسعه چنین شبکه‌هایی حرکت کردند. آن‌ها مستقیماً از نظریه رابسون الهام نگرفتند، اما در بستر فکری گسترده‌تری کار می‌کردند که رابسون یکی از معماران آن بود. حوزه‌ای که در دو دهه گذشته تحول بنیادینی در طراحی و مهندسی ساختارهای مولکولی ایجاد کرده است. شیمی شبکه‌ای را می‌توان به معنای طراحی و ساخت چارچوب‌هایی با ویژگی تخلخل دانست که با استفاده از پیوندهای درون و برون مولکولی قابل‌پیش‌بینی است. همچنین این ساختارها می‌توانند به‌صورت خاص برای اهداف متنوع ساخته شوند. علاوه بر MOFها، چارچوب‌های آلی کووالانسی (Covalent Organic Framework (COF از جمله ساختارهای موردتوجه می‌باشند. این ترکیبات به دلیل دارا بودن حجم منافذ و مساحت سطح بسیار بالا، پایداری شیمیایی و قابلیت عملکردی، تنوع در طراحی و شیمی غنی میزبان-میهمان فرصت‌های بی‌سابقه‌ای در پزشکی نوین، صنعت و محیط‌زیست ایجاد کرده‌اند. در این مقاله، باتکیه بر دستاوردهای نوبل ۲۰۲۵، تاریخچه، مبانی شیمی شبکه‌ای و کاربردهای زیست‌پزشکی آن مانند دارورسانی هدفمند، حسگرهای زیستی، تصویربرداری و مهندسی بافت بررسی شده است. همچنین چالش‌های انتقال این فناوری از آزمایشگاه به بالین تحلیل شده است.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت:

۱۴ اردیبهشت ۱۴۰۵

تاریخ بازنگری:

۲۸ اردیبهشت ۱۴۰۵

تاریخ پذیرش:

۲۹ اردیبهشت ۱۴۰۵

تاریخ انتشار:

۳۱ خرداد ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:

شیمی شبکه‌ای

تحولات تاریخی

جایزه نوبل

چارچوب‌های فلز-آلی

زیست‌پزشکی

استناد: ادریسی، محمد و دانشگر، حسین . (۱۴۰۵). از شیمی شبکه‌ای تا پزشکی نوین: روایت نوبل شیمی ۲۰۲۵. *نشاء علم*، ۱۶ (۱)، ۶۲-۶۸.



ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران
© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

* عهده‌دار مکاتبات: پژوهشگر؛ تلفن: ۶۱۱۱۳۳۸۱ (+۹۸۲۱)، دورنگار: ۶۶۴۰۴۶۸۰ (+۹۸۲۱)، آدرس الکترونیکی: mohammadedrisi@ut.ac.ir

** عهده‌دار مکاتبات: دکتری، تلفن: ۹۱۲۲۰۵۳۶۸۶ (+۹۸)، آدرس الکترونیکی: hossein.daneshgar@ch.sharif.edu

^۱ مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۲ بخش شیمی معدنی، دانشکده ی شیمی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

۱- مقدمه: جایزه نوبل و خاستگاه اندیشه شیمی

شبکه‌ای

شیمی ساختارهای شبکه‌ای به‌عنوان شاخه‌ای نوین، توانسته است افق‌های تازه‌ای را در طراحی و مهندسی ساختارهای متخلخل و عملکردگرای مولکولی باز کند. ایده اصلی این حوزه بر پایه این باور شکل گرفت که مولکول‌ها می‌توانند مانند داربست‌های ساختمانی، در ساختارهای سه‌بعدی و یا دوبعدی و تکرارشونده کنار هم قرار گیرند و چارچوب‌های منظم و قابل‌پیش‌بینی بسازند. این مفهوم در اواخر قرن بیستم، هم‌زمان با پیشرفت‌های هم‌هنگ در فلزات و مواد آلی شروع به رشد کرد. MOF^۱ها و COF^۲ها نمونه‌های شاخصی از این ساختارهای شبکه‌ای هستند که با توجه به نوع پیوند و هندسه مولکولی، می‌توانند خواص فیزیکی و شیمیایی متنوعی داشته باشند. MOFها معمولاً متشکل از خوشه‌های فلزی به‌عنوان گره‌ها و لیگاندهای متقارن آلی به‌عنوان پل‌ها یا اتصال‌دهنده‌ها هستند و در نتیجه شبکه‌ای سه‌بعدی و متخلخل ایجاد می‌کنند. البته در طراحی‌های مدرن ساختارهای دوبعدی نیز این ترکیبات مورد توجه قرار گرفته‌اند. COFها که عمدتاً از پیوندهای قوی کووالانسی بین واحدهای آلی تشکیل شده‌اند، ویژگی‌های مکانیکی و حرارتی بسیار بالایی دارند و با توجه به ظرفیت بالای سطح فعال آن‌ها، امکان اصلاح و طراحی شیمیایی و زیستی برای عملکردهای ویژه وجود دارد. شیمی شبکه‌ای نه تنها یک پیشرفت نظری و نوآوری علمی است، بلکه کاربردهای عملی گسترده‌ای نیز با توجه به ایجاد خواص منحصر به فرد خود، پیدا کرده است. از جمله کاربردهای مورد استفاده می‌توان به حوزه انرژی، باتری‌ها، ذخیره هیدروژن، تصفیه آب، جذب آلاینده‌های گازی و زیست‌پزشکی اشاره کرد. در حوزه زیست‌پزشکی، این چارچوب‌ها می‌توانند داروها، عوامل تصویربرداری، یا حسگرهای مولکولی را در خود جای دهند و آن‌ها را به‌صورت هدفمند به سلول‌ها یا بافت‌های خاص انتقال دهند. در مواردی خود چارچوب‌ها نیز می‌توانند خواص جالبی را از خود نشان دهند به‌علاوه می‌توان آن‌ها را پاسخگو به متغیرهای زیست‌شیمیایی بدن طراحی کرد. این ویژگی‌ها، همراه با پایداری و تنوع بی‌نظیر

ساختاری، شیمی ترکیبات شبکه‌ای را به یکی از مهم‌ترین ابزارهای نوظهور در زیست‌فناوری و پزشکی تبدیل کرده است. تخصیص جایزه نوبل شیمی ۲۰۲۵ به این حوزه، گواهی بر اهمیت بنیادی و کاربردی آن است و توجه جامعه علمی جهان را به طراحی مولکولی دقیق و قابل‌کنترل جلب می‌کند. این مقاله باهدف مرور تحولات تاریخی، اصول شیمی شبکه‌ای و کاربردهای زیست‌پزشکی، مسیر علمی و عملی این انقلاب مولکولی را بررسی می‌کند.

۲- مسیر فکری سه دانشمند

۲-۱. عمر یاغی^۳: معمار کریستال‌های نامحدود

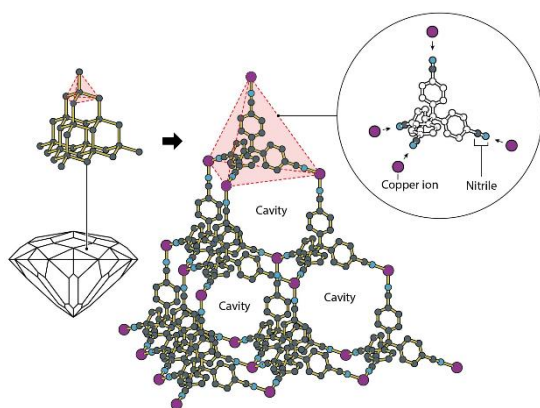
عمر یاغی، شیمی‌دان اردنی-آمریکایی، به‌عنوان یکی از پرشورترین معماران جهان شیمی مولکول‌ها شناخته می‌شود. ایده اصلی پژوهش او ساده و درعین‌حال انقلابی است. اگر بتوان اتم‌ها و مولکول‌ها را مانند آجرهای یک ساختمان بادقت اتمی به هم متصل کرد، می‌توان بی‌نهایت ساختار جدید با خواص سفارشی ساخت. یاغی این رؤیا را به واقعیت تبدیل کرد. زندگی علمی او مسیری الهام‌بخش از کودکی توأمان با سختی بسیار در زندگی تا آزمایشگاه‌های پیشرفته تحقیقاتی را طی کرده است. رؤیای ذهنی او در دوره نوجوانی، قدرت علم شیمی در به دام انداختن و حفظ آب بوده است که می‌توان ریشه آن را در سختی‌های کودکی و نوجوانی او قلمداد کرد. پس از دکترای او مفهوم شیمی شبکه‌ای را بنیان نهاد، یک نظام طراحی برای ساخت MOFها و بعدها COFها با پیش‌بینی ساختار نهایی مطرح نموده است. از جمله دستاوردهای او در اواخر دهه ۱۹۹۰، سنتز MOF-5 بود، یک ساختار متخلخل کریستالی با سطحی نزدیک به وسعت یک زمین فوتبال در هر گرم (۱) (شکل ۱). این ماده رکوردهای جالبی را ثبت و ثابت کرد که می‌توان کریستال‌هایی با فضاهای خالی عظیم و کنترل‌شده ایجاد کرد. یاغی و تیم‌اش به‌طور خستگی‌ناپذیری این شبکه‌ها را برای جذب مقادیر باورنکردنی گازها (مانند هیدروژن برای سوخت پاک یا دی‌اکسیدکربن برای مهار تغییرات آب‌وهوایی)، تصفیه آب با استخراج بخارات آن از هوا در بیابان، و ذخیره‌سازی هدفمند دارو در پزشکی بهینه‌سازی کرده‌اند. یاغی آب را در ساختارهای

^۱ Metal Organic Framework

^۲ Covalent Organic Framework

^۳ Omar M. Yaghi

که زیبایی ریاضیاتی و نظم ذاتی در پیوندهای مولکولی را جستجو می‌کرد. کار او ثابت کرد که خواص مواد (مانند تخلخل یا پایداری) مستقیماً از هندسه و نوع اتصالات مولکولی آنها ناشی می‌شود. این پیش، امکان جستجو در فضای وسیعی از ترکیبات ممکن را به‌جای آزمایش تصادفی فراهم آورد. اگر یاغی و کیتاگاو را معمار عملی بدانیم، رابسون نظریه‌پرداز کلان این قلمرو جدید است. نوبل ۲۰۲۵ برای رابسون تقدیری دیر هنگام اما شایسته از بیش ژرفی است که زمینه را برای یک انقلاب در علم مواد فراهم کرد.

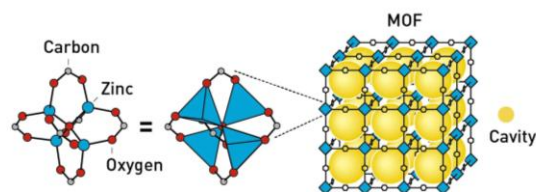


شکل ۲: مدل شبکه‌ای ریچارد رابسون

۲-۳. سوسومو کیتاگاو^۲: کاشف دنیاهای پویا و انعطاف‌پذیر

سوسومو کیتاگاو، شیمیدان ژاپنی، بعد سوم و شگفت‌انگیز شیمی شبکه‌ای را کشف کرد، پویایی! درحالی‌که دیگران در جستجوی ساختارهای سفت‌وسخت و پایدار بودند، کیتاگاو و تیمش در دانشگاه کیوتو، در اوایل دهه ۱۹۹۰، از اولین گروه‌هایی بودند که MOFها را سنتز کردند و متوجه پدیده عجیبی شدند. برخی از این کریستال‌ها مثل اسفنج زنده، در پاسخ به محرک‌های خارجی دارای پویایی‌ای هستند که گویی تنفس می‌کنند. کیتاگاو نشان داد که چارچوب‌های متخلخل لزوماً مانند یک اسکلت ساختمانی ثابت نیستند. آنها می‌توانند به طور برگشت‌پذیر منبسط یا منقبض شوند، منافذ خود را در حضور مولکول‌های خاص باز یا بسته کنند، و ساختار خود را تغییر دهند. مطابق شکل ۳، این کشف انقلابی، MOFها را از مواد جاذب ایستا به مواد هوشمند پاسخگو تبدیل کرد. این ویژگی راه را برای حسگرهای فوق‌حساس،

شبکه‌ای دید و این همان لحظه به حقیقت پیوستن رؤیای نوجوانی‌اش بود. انرژی‌های پاک یکی دیگر از انگیزه‌های اصلی اوست. او اغلب با اشتیاق درباره دیدگاهش برای حل چالش‌های جهانی از طریق طراحی مولکولی دقیق سخن می‌گوید. ایشان برنده جایزه مصطفی در سال ۲۰۱۵ و برنده نوبل ۲۰۲۵، به مناسبت تلاش‌های یک‌عمر او برای تبدیل شیمی به هنر خلق فضاها نو است.



شکل ۱: MOF-5 عمر یاغی

۲-۲. ریچارد رابسون^۱: فیلسوف پیوندهای مولکولی

درحالی‌که یاغی بیشتر بر توسعه سنتز و کاربرد تمرکز دارد، ریچارد رابسون، شیمی‌دان استرالیایی، بنیان‌های فکری و فلسفی شیمی شبکه‌ای را بنیان نهاد. او در دانشگاه ملبورن، سال‌ها قبل از آنکه فناوری‌های آزمایشگاهی آن زمان امکان سنتز چنین ساختارهایی را بدهد، قدرت پیش‌بینی و طراحی شبکه‌های نامحدود مولکولی را در ذهن خود متصور شد. کار پیشگامانه رابسون در اواخر دهه ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰، مفهوم سنگ بنای کل این شاخه از شیمی است. او اولین کسی بود که با الهام از ساختار الماس به طور سیستمی این ایده را مطرح کرد که می‌توان با استفاده از گره‌ها مانند یون‌های فلزی مس به‌جای کربن و اتصال‌دهنده‌ها یا لیگاندهای آلی با انتهای نیتریل، و با در نظر گرفتن قواعد هندسی و تقارن، ساختارهای گسترده سه‌بعدی را از قبل طراحی کرد (۱) (شکل ۲). او نشان داد که شیمی را می‌توان از یک علم تجربی اکتشافی، به یک رشته مهندسی دقیق تبدیل کرد. مفاهیمی که باور آنها در زمان برای سایر شیمی‌دان‌ها سخت دشوار بود. مقالات نظری و دستاوردهای آزمایشگاهی او نقشه راهی بود که دیگران مانند یاغی و کیتاگاو را راهنمایی کرد، اما نه مستقیم مانند یک رابطه شاگرد استادی و حتی دارای ارتباطی مستقیم بین این سه دانشمند. بلکه کاملاً غیرمستقیم هر سه یک مفهوم را دنبال می‌کردند. رابسون یک متفکر عمیق بود

¹ Richard Robson

² Susumu Kitagawa

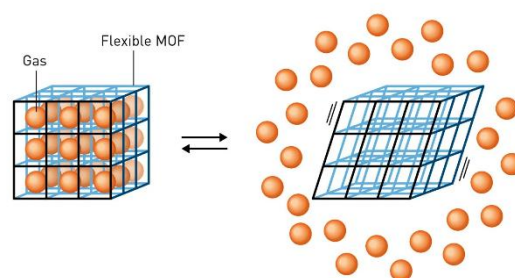
رشته بر دو اصل انتخاب گره‌های فلزی مناسب و اتصال‌دهنده‌های آلی (ساختار هیبریدی) و پیش‌بینی هندسه و تقارن ساختاری که این مولکول‌ها ایجاد می‌کنند، استوار است. MOFها از اولین و شاخص‌ترین نمونه‌های موفق شبکه‌های متخلخل هیبریدی هستند که به دلیل انعطاف‌پذیری طراحی و حجم داخلی بسیار بالا، موردتوجه ویژه قرار گرفتند. گره‌های فلزی که معمولاً شامل یون‌های گذار یا خوشه‌های فلزی هستند، با لیگاند‌های متقارن آلی متصل می‌شوند تا ساختارهایی با تخلخل قابل‌تنظیم شکل دهند [۱]. این ویژگی امکان ذخیره‌سازی مولکول‌های کوچک، انتقال هدفمند دارو، یا ایجاد محیط‌های واکنش شیمیایی خاص را فراهم می‌کند [۲]. COFها که فاقد گروه‌های فلزی‌اند، با استفاده از پیوندهای کووالانسی میان واحدهای آلی، شبکه‌هایی با استحکام مکانیکی بالا و قابلیت اصلاح شیمیایی گسترده را تولید می‌کنند [۳]. تفاوت اصلی COFها با MOFها در ماهیت پیوندها و ترکیب شیمیایی آنهاست، اما هر دو نوع چارچوب به دلیل سطح بسیار زیاد و قابلیت عملکردگرایی، فرصت‌های بی‌سابقه‌ای در دارورسانی، تصویربرداری پزشکی و رفع آلودگی‌های زیست‌محیطی پدید می‌آورند [۴]. در طول دو دهه اخیر با پیشرفت در شیمی محاسباتی و کامپیوتری در طراحی و سنتز ترکیبات و ساختارهای شیمیایی، امکان طراحی شبکه‌های مولکولی بادقت اتمی برای کاربردهای مدنظر را فراهم کرده است. این پیشرفت‌ها شامل شبیه‌سازی هندسه شبکه، پیش‌بینی تخلخل، و ارزیابی پایداری ترمودینامیکی هستند. به‌علاوه، توسعه روش‌های خودساخته مولکولی و کاتالیزورهای خاص، امکان تولید چارچوب‌های پیچیده با هندسه کنترل‌شده را فراهم کرده است.

۴- پویایی ساختارهای شبکه‌ای و مهندسی پیوندهای قابل‌پیش‌بینی

یکی از ویژگی‌های کلیدی شیمی شبکه‌ای، امکان کنترل دقیق پویایی و رفتار شبکه‌هاست. برخلاف ساختارهای مولکولی مرسوم که ثابت و ایستا هستند، چارچوب‌های MOF و COF می‌توانند رفتاری پویا و انعطاف‌پذیر در پیوندها و هندسه شبکه خود نشان دهند [۵]. در سطح مولکولی، هر گره و پل اتصال‌دهنده می‌تواند به‌گونه‌ای طراحی شود که تحت شرایط محیطی متفاوت، تغییر شکل داده یا پاسخ دهد، بدون اینکه ساختار کل شبکه تخریب شود [۶]. کنترل این پویایی به چند عواملی مانند ماهیت شیمیایی

سیستم‌های ره‌ایش دارو که تنها در شرایط خاص بدن دارو را آزاد می‌کنند، و جداسازی انتخابی مولکول‌هایی با اختلاف اندک در اندازه یا شکل هموار ساخت. کار کیتاگوا عمق و ظرافت شیمی شبکه‌ای را افزایش داد. او ثابت کرد که فضای خالی درون این مواد می‌تواند فعال و پویا باشد (۱). رویکرد دقیق و آزمایشگاهی او در سنتز و توصیف این مواد، درک بنیادی ما از نحوه تعامل این چارچوب‌ها با مولکول‌های میهمان را عمق بخشید. به جرات می‌توان اذعان داشت که شاخص شدن این منظر از شیمی ساختارهای شبکه‌ای، یعنی پویایی، تأثیری عمیق بر فعالیت‌های زیستی گذاشت و چراغی جدید بر یک مسیر نو در تحقیقات زیست‌پزشکی و محیط‌زیستی افروخت. نوبل ۲۰۲۵ به کیتاگوا، قدردانی از کشف جنبه زنده و کاربردی‌تر این معماری‌های مولکولی است که آن‌ها را برای تعامل با دنیای واقعی زیستی و محیط‌زیست ایدئال می‌سازد.

شکل ۳: دستاورد کیتاگوا در ساخت چارچوب‌های فلز-آلی پویا و منعطف



باید گفت که کار سه دانشمند مستقل از هم در سه گوشه از جهان اما در بستر فکری مشابهی انجام شده است. به بیان ساده، یاغی و کیتاگوا قاره جدیدی را کشف کردند، اما رابسون نقشه جامع آن قاره را سال‌ها قبل ترسیم کرده بود. نوبل مشترک ۲۰۲۵ به‌درستی از این سه‌گانه تقدیر کرد. دو کاشف نابغه که رؤیا را واقعیت بخشیدند و یک فیلسوف علم که چارچوب فکری آن را ساخت. این، نمایش زیبای همکاری ناخواسته اما ضروری بین نظریه و آزمایش در پیشرفت علم است.

۳- مفهوم شبکه‌سازی در سطح مولکولی و تولد چارچوب‌های متخلخل

شبکه‌سازی مولکولی به معنای ایجاد ساختارهایی است که در آن مولکول‌ها به‌صورت منظم و قابل‌پیش‌بینی با یکدیگر پیوند می‌خورند تا یک چارچوب سه‌بعدی ایجاد شود. ایده اصلی این

طراحی‌های اختصاصی متنوع و متعدد دکورهای سطحی در طراحی و توسعه حسگرهای تشخیصی در بیماری‌های تخریب عصبی که در سال‌های اخیر میزان مبتلایان شناسایی شده آن بسیار افزایش یافته است، پیشرفت‌های چشمگیری داشته است [۱۱]. کاربرد ترکیبی دارو، تشخیص (Therapeutic and Diagnosis) و تصویربرداری یا جفت کردن یک رادیوداروی تشخیصی و یک رادیوداروی درمانی برای هدف قراردادن یک نشانگر زیستی مشترک برای تشخیص و درمان را که اصطلاحاً به ترانوستیک (Theranostics) معروف است، یکی از پیشرفته‌ترین حوزه‌های مورد استفاده و دارای کاربرد از شیمی شبکه‌ای در تحقیقات و خدمات زیست‌پزشکی است.

۲-۴. شبکه‌ها در تشخیص، تصویربرداری و رهایش هدفمند دارو

همان‌گونه که قبل‌تر اشاره شد، چارچوب‌ها می‌توانند مولکول‌های نشانگر یا داروها را در خود جای دهند و تحت شرایط مشخص و معین آزاد کنند، که این امر امکان ردیابی دقیق بافت‌ها و سلول‌های هدف را فراهم می‌آورد. در تصویربرداری پزشکی، استفاده از این شبکه‌ها باعث افزایش وضوح تصاویر و کاهش نیاز به دوز بالای عوامل تضادنوری و وضوح تصویر می‌شود. یکی از کاربردهای برجسته، طراحی زیست‌حسگرها مبتنی بر ساختارهای شبکه‌ای است. این حسگرها قادرند به طور انتخابی با گونه‌های خاص واکنش دهند و تغییر فیزیکی یا شیمیایی قابل اندازه‌گیری ایجاد کنند. این تغییر می‌تواند به شکل سیگنال فلورسانس، تغییر رنگ، یا پاسخ الکتروشیمیایی باشد. شبکه‌های پویای قابل باز و بسته شدن، امکان تنظیم حساسیت حسگرها را فراهم می‌آورد و در تشخیص زودهنگام بیماری‌ها بسیار مؤثر است [۱۰]. در رهایش هدفمند دارو نیز چارچوب‌های متخلخل امکان کنترل سرعت و زمان آزادسازی دارو را فراهم می‌کنند. با طراحی اندازه منافذ عملکرد سطحی چارچوب، دارو می‌تواند تنها در محل بافت هدف آزاد شود. این ویژگی باعث کاهش عوارض جانبی و افزایش کارایی درمان می‌شود [۹]. علاوه بر داروهای شیمیایی، ساختارهای شبکه‌ای می‌توانند مولکول‌های زیستی مانند پروتئین‌ها و قطعات ژنتیکی خاص را نیز حمل کنند و به صورت هدفمند به سلول‌ها برای اهداف ازپیش‌تعیین شده مانند انجام واکنش‌های آنزیمی یا کریسپر برسانند [۱۲]. همچنین، ترکیب شیمی شبکه‌ای با روش‌های تصویربرداری پیشرفته مانند MRI و CT، امکان ایجاد

گروه‌ها و پل‌ها، طول و هندسه لیگاندها و نوع تعاملات غیرکووالانسی که عمدتاً با حضور گروه‌های عاملی مختلف در ساختار تقویت می‌شوند، بستگی دارد. مهندسی دقیق این پارامترها امکان طراحی شبکه‌های قابل باز و بسته شدن، جذب انتخابی مولکول‌ها و فعال‌سازی پاسخ‌های شیمیایی در محل هدف را فراهم می‌کند. به عنوان مثال، برخی MOFها می‌توانند در حضور رطوبت یا دما تغییر حجم دهند و مسیر عبور مولکول‌ها را باز یا بسته کنند، پدیده‌ای که در رهایش هدفمند دارو کاربرد دارد [۷]. همچنین این پویایی به بهبود عملکرد زیست‌حسگرها کمک می‌کند. در COFها، طراحی پیوندهای کووالانسی قابل واکنش اجازه می‌دهد که شبکه به طور انتخابی به عنوان میزبان با مولکول میهمان واکنش دهد و پاسخ سریع تولید کند. پژوهشگران فعال در شیمی محاسباتی و شبیه‌سازی مولکولی، توانسته‌اند رفتار پویایی شبکه‌ها را پیش‌بینی کنند و ساختارهای بهینه را قبل از سنتز واقعی انتخاب کنند.

۱-۴. از شیمی تا پزشکی: پیوند شبکه‌های مولکولی با داروسازی نوین

یکی از بزرگ‌ترین دستاوردهای شیمی شبکه‌ای، کاربردهای آن در پزشکی نوین است. چارچوب‌های MOF و COF به دلیل سطح فعال بالا، تخلخل قابل کنترل، و قابلیت عملکردگرایی انتخابی، ابزار ایده‌آلی برای دارورسانی هدفمند به شمار می‌روند [۸]. این شبکه‌ها می‌توانند داروها را به صورت پایدار درون ساختار خود جای دهند و در محل موردنظر رهایش کنترل شده داشته باشند [۹]. مزیت اصلی این رویکرد، کاهش عوارض جانبی دارو و افزایش کارایی درمان است. با طراحی دقیق اندازه منافذ و سطح داخلی، می‌توان مولکول دارو را به گونه‌ای انتخاب کرد که تنها در بافت هدف آزاد شود. علاوه بر دارورسانی، MOFها و COFها می‌توانند به عنوان حامل‌های هم‌زمان چند دارو عمل کنند، به طوری که ترکیب‌های دارویی مختلف در یک چارچوب واحد، با الگوهای متفاوت بارگیری مانند بارگیری لایه‌لایه بعد از سنتز بستر و یا همزمان با سنتز قرار گیرند و به طور هماهنگ آزاد شوند. شبکه‌های مولکولی همچنین امکان تزریق داروهای مورد استفاده در تصویربرداری پزشکی و زیستی را فراهم می‌کنند. این امر در تصویربرداری پزشکی و ردیابی سلول‌ها یا بافت‌های خاص، مانند تومورها، اهمیت دارد [۱۰]. همچنین کاربردهای تشخیصی ساختارهای شبکه‌ای متخلخل، باتوجه به سطح گسترده فعال و دارای تنوع برای

وبگاههای رجوع شده

(1). Popular information. NobelPrize.org. Nobel Prize Outreach 2026. Mon. 18 May 2026. <<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2025/popular-information/>>

Reference

منابع

- [1]. Introduction to Metal–Organic Frameworks. Chemical Reviews. 2012;112(2):673-4.
- [2]. Wang A, Walden M, Ettlinger R, Kiessling F, Gassensmith JJ, Lammers T, et al. Biomedical Metal–Organic Framework Materials: Perspectives and Challenges. Advanced Functional Materials. 2024;34(43):2308589.
- [3]. Geng K, He T, Liu R, Dalapati S, Tan KT, Li Z, et al. Covalent Organic Frameworks: Design, Synthesis, and Functions. Chemical Reviews. 2020;120(16):8814-933.
- [4]. Chen C, Shen L, Wang B, Lu X, Raza S, Xu J, et al. Environmental applications of metal–organic framework-based three-dimensional macrostructures: a review. Chemical Society Reviews. 2025;54(5):2208-45.
- [5]. Hou Y, Su Z, Wu Y, Ma J. Hierarchically engineered flexible COF/CNT-MOF composite membrane with interpenetrated pores for water purification. Separation and Purification Technology. 2025;358:130310.
- [6]. Song Y, Ma S. Pore engineering in metal–organic frameworks and covalent organic frameworks: strategies and applications. Chemical Science. 2025;16(26):11740-67.
- [7]. Xiang Y, Wei S, Wang T, Li H, Luo Y, Shao B, et al. Transformation of metal-organic frameworks (MOFs) under different factors. Coordination Chemistry Reviews. 2025;523:216263.
- [8]. Edrisi M, Daneshgar H, Rabiee N, Arghavani P, Moosavi-Movahedi F, Zare Karizak A, et al. Doxorubicin bioavailability to human hemoglobin and cancer cells via MOF-A520. Journal of Molecular Liquids. 2024;394:123724.
- [9]. Daneshgar H, Bagherzadeh M, Sojdeh S, Safarkhani M, Edrisi M, Ojaghi A, et al. Discovery of valley-hill structures on the surface of MOFs:

سیستم‌های ترکیبی دارو تصویربرداری را فراهم کرده است. این سیستم‌ها به پزشکان اجازه می‌دهند که درمان و ردیابی فرایند درمان را به صورت هم‌زمان انجام دهند و دقت بالینی را افزایش دهند.

۳-۴. افق‌های آینده: از آزمایشگاه تا بالین

با وجود پیشرفت‌های چشمگیر، چالش‌های مهمی در مسیر ترجمه شیمی شبکه‌ای به کاربردهای بالینی وجود دارد. یکی از اصلی‌ترین مسائل، پایداری شبکه‌ها در شرایط فیزیولوژیکی است. برخی چارچوب‌ها در حضور آب یا یون‌های موجود در محیط بدن ممکن است دچار تخریب شوند که این امر بر ایمنی و کارایی رهایش دارو تأثیر می‌گذارد. مسئله دیگر، تولید انبوه و استانداردسازی این ساختارهای شبکه‌ای متخلخل با ویژگی‌های متنوع فیزیکوشیمیایی است. سنتز MOFها و COFها در مقیاس صنعتی با حفظ ویژگی‌های ساختاری و تکرارپذیری چالشی اساسی محسوب می‌شود. علاوه بر آن، مسائل مرتبط با زیست‌سازگاری و دفع چارچوب‌ها پس از انجام عملکرد، نیازمند تحقیقات گسترده در حوزه ایمنی و سم‌شناسی و حتی محیط‌زیستی است. به علاوه هویت زیستی این ساختارها و مواجهه آن‌ها با محیط و سلول‌های زنده از مباحث مهم و به‌روز مرز تحقیقات به حساب می‌آید [۱۳]. همچنین، ترکیب شبکه‌ها با نانومواد دیگر، زیست‌مولکول‌ها و فناوری‌های هوشمند، مسیر توسعه سیستم‌های چندمنظوره برای دارورسانی و تصویربرداری را هموار کرده است. شیمی شبکه‌ای نه تنها تحولی در علم شیمی ایجاد کرده؛ بلکه نمونه‌ای شاخص از همگرایی بین‌رشته‌ای است، جایی که با اشتراک‌گذاری دیدگاه‌های شیمیایی، فیزیکوشیمیایی، محاسباتی، زیستی و پزشکی موجب طراحی ساختاری دقیق می‌گردد که می‌تواند تأثیرات به سزایی در سلامت انسان داشته باشد. تلاش‌های پژوهشی در این حوزه احتمالاً منجر به تولید نسل جدید داروها، حسگرهای زیستی و سیستم‌های تصویربرداری بادقت و کارایی بالا خواهد شد.

این مقاله و یا بخشی از آن قبلاً چاپ نشده و توسط ماشین و هوش مصنوعی نگارش نشده است.

از حمایت‌های دکتر علی‌اکبر موسوی موحدی، ریاست مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک دانشگاه تهران قدردانی می‌گردد.

- Diseases. *Advanced Healthcare Materials*. 2025;14(26):2404685.
- [12]. Rabiee N, Rabiee M. Engineered Metal–Organic Frameworks for Targeted CRISPR/Cas9 Gene Editing. *ACS Pharmacology & Translational Science*. 2025;8(4):1028-49.
- [13]. Daneshgar H, Bagherzadeh M. Logic of Choosing Metal–Organic Frameworks. *Logic for Metal–Organic Framework Selection: MOFs for Biomedical Applications*. ACS Symposium Series. 1463: American Chemical Society; 2024. p. 39-47.
- Enhancing DOX diffusion and release through nature-made channels. *Nano Materials Science*. 2024.
- [10]. Rabiee N, Daneshgar H, Arghavani P, Edrisi M, Rabiee M, Akrami-Hasan-Kohal M, et al. Recent advances in triplet-state materials: A perspective towards bioimaging and biosensing. *Coordination Chemistry Reviews*. 2026;548:217160.
- [11]. Arghavani P, Daneshgar H, Sojdeh S, Edrisi M, Moosavi-Movahedi AA, Rabiee N. Porous Materials for Early Diagnosis of Neurodegenerative

چالش‌های محیط‌زیستی تأسیسات نمک‌زدایی آب دریا

اسماعیل پاریزی^{۱*}، صمد حمزه‌ئی^۱، سید موسی حسینی^۲

چکیده

افزایش تقاضای جهانی برای آب شیرین، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ضرورت بهره‌گیری از راهکارهای پایدار تأمین آب را برجسته کرده و شیرین‌سازی آب دریا را به یک گزینه راهبردی و فناورانه تبدیل نموده است. مرور جامع فناوری‌های نوین نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر پیشرفت‌های قابل‌توجهی در روش‌های غشایی و حرارتی، از جمله بهبود انتخاب‌پذیری و نفوذپذیری غشا، کاهش مصرف انرژی، بهینه‌سازی فرآیند اسمزی معکوس و توسعه سامانه‌های هیبریدی و چندمرحله‌ای حاصل شده است. با این حال، چالش‌های کلیدی شامل مصرف بالای انرژی، وابستگی به سوخت‌های فسیلی، تولید و تخلیه شورابه با غلظت بالا و استفاده گسترده از مواد شیمیایی پایداری این سامانه‌ها را محدود می‌کنند. ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر، به‌ویژه سامانه‌های فتوولتائیک، خورشیدی حرارتی و انرژی باد، ظرفیت قابل‌توجهی برای کاهش ردپای کربنی و ارتقای عملکرد زیست‌محیطی فراهم می‌کند، هرچند مسائل عملیاتی مانند خنک‌سازی، رسوب‌گذاری، گردوغبار و دوام تجهیزات باید مدیریت شوند. ارزیابی اثرات زیست‌محیطی نشان می‌دهد که تخلیه شورابه مهم‌ترین چالش اکولوژیک است و به‌کارگیری مدل‌سازی پیشرفته، دیفیوزرهای نوین، بازیافت منابع و فناوری‌های تخلیه حداقلی می‌تواند اثرات منفی آن را کاهش دهد. توسعه غشاهای پیشرفته مقاوم به گرفتگی، سامانه‌های ترکیبی انرژی و راهکارهای بهینه مصرف انرژی، کلید دستیابی به آینده‌ای پایدار برای آب‌شیرین‌سازی محسوب می‌شوند.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت:

۰۴ خرداد ۱۴۰۵

تاریخ بازنگری:

۱۸ خرداد ۱۴۰۵

تاریخ پذیرش:

۱۹ خرداد ۱۴۰۵

تاریخ انتشار:

۳۱ خرداد ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:

انرژی تجدیدپذیر

شورابه

اسمزی معکوس

فناوری‌های هیبریدی

پایداری محیطی

استناد: پاریزی، اسماعیل، حمزه‌ئی، صمد و حسینی، سید موسی. (۱۴۰۵). چالش‌های محیط‌زیستی تأسیسات نمک‌زدایی آب دریا. *نشاء علم*، ۱۶ (۱)، ۶۹-۷۷.



ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران

© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

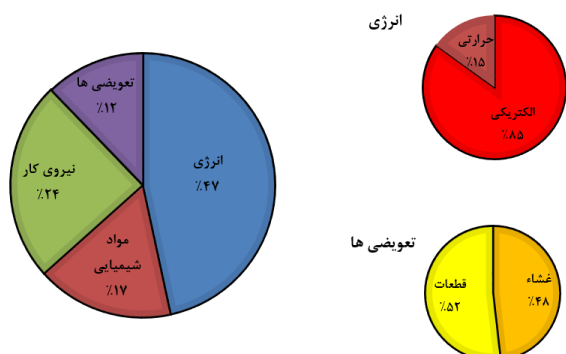
* عهده‌دار مکاتبات: استادیار. تلفن: ۰۴ ۹۱۳۵۸۳۵۵۰ (+۹۸)، دورنگار: ۰۶۶۹۴۴۸۷۳ (+۹۸۲۱)، آدرس الکترونیکی: Parizi@inio.ac.ir

^۱ پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، ایران

^۲ گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۱- مقدمه

عملیاتی مانند انرژی، نیروی انسانی، مواد شیمیایی و قطعات یدکی خواهد شد (شکل ۲).

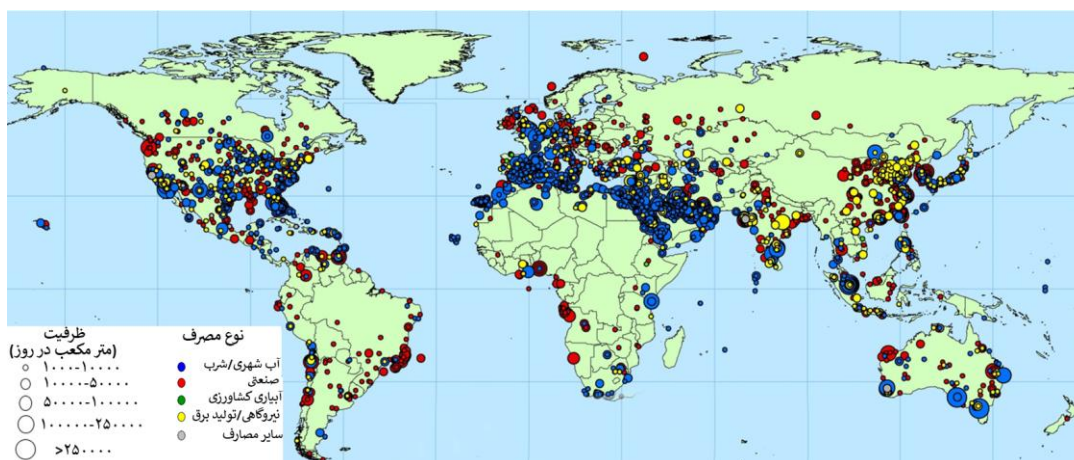


شکل ۲: هزینه‌های عملیاتی نم‌زدایی بر حسب صنعت [۴].

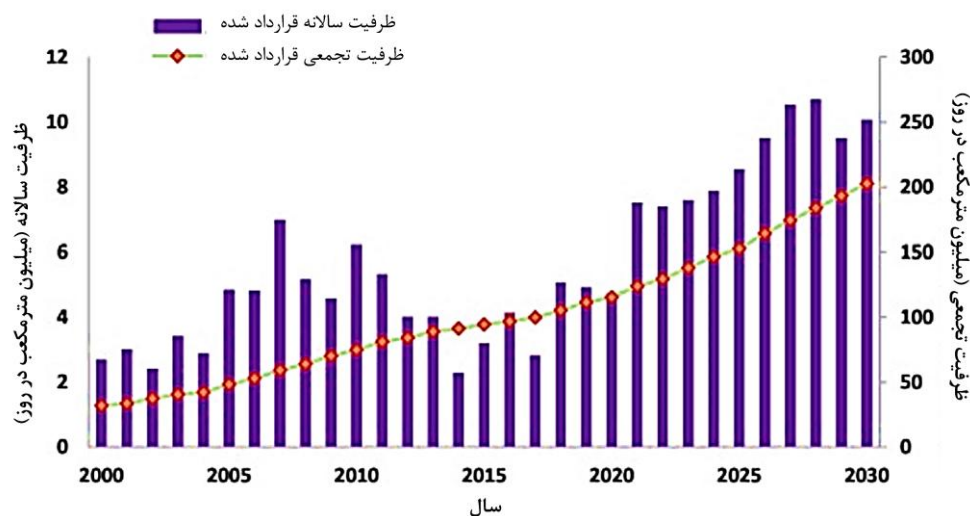
در سال ۲۰۱۴، نم‌زدایی به‌عنوان پرمصرف‌ترین فناوری تصفیه آب از نظر انرژی معرفی شد و سالانه حدود ۲/۷۵ تراوات ساعت انرژی مصرف می‌کرد. میزان مصرف انرژی به عواملی چون درجه تصفیه موردنیاز، ظرفیت واحد، فناوری مورد استفاده و کیفیت آب ورودی بستگی دارد. همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است، نم‌زدایی آب دریا بیشترین مصرف انرژی را در مقایسه با سایر منابع آبی دارد. اگرچه تصفیه آب‌های سطحی و زیرزمینی انرژی کمتری نیاز دارد، اما ظرفیت تأمین این منابع برای پاسخگویی به تقاضای روبه‌رشد آب محدود است [۵]. با وجود هزینه‌های بالای انرژی، نم‌زدایی آب شور همچنان یکی از مؤثرترین راهکارها برای مقابله با بحران کم‌آبی در سطح جهان است.

باتوجه به محدودیت منابع آب شیرین در مقایسه با آب شور، نم‌زدایی آب دریا به‌عنوان راهکاری اساسی برای تأمین آب شیرین اهمیت یافته است. در حال حاضر، بیش از ۳۰۰ میلیون نفر در جهان به آب نم‌زدایی‌شده وابسته هستند و ۱۵۰ کشور از این فناوری استفاده می‌کنند. ظرفیت جهانی تأسیسات نم‌زدایی در سال ۲۰۱۸ بالغ بر ۹۲/۵ میلیون مترمکعب در روز بوده است [۱]. در حال حاضر، حدود ۲۱,۱۲۳ واحد نم‌زدایی در جهان فعال هستند و روزانه ۱۴۲,۰۰۰,۰۰۰ مترمکعب آب شیرین تولید می‌کنند [۲]. کارخانه جیل عربستان سعودی با تولید روزانه ۱,۴۰۱,۰۰۰ مترمکعب آب شیرین، بزرگ‌ترین تأسیسات نم‌زدایی جهان است. توزیع مکانی، اندازه و نوع مصرف‌کننده تأسیسات آب‌شیرین‌کن با ظرفیت بیش از ۱۰۰۰ مترمکعب در روز در شکل ۱ نشان داده شده است. تعداد زیادی از تأسیسات آب‌شیرین‌کن در ایالات متحده، چین و استرالیا و همچنین در مناطق اروپا، شمال آفریقا و خاورمیانه قرار دارند. در مقیاس جهانی، تأسیسات آب‌شیرین‌کن عمدتاً در نواحی ساحلی متمرکز هستند و آب‌شیرین‌کن‌های ساحلی معمولاً ظرفیت بیشتری نسبت به تأسیسات واقع در مناطق داخلی دارند [۳].

علی‌رغم اهمیت حیاتی نم‌زدایی، هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری همچنان یکی از چالش‌های اصلی این صنعت است. پیش‌بینی می‌شود طی چهار سال آینده حدود ۹۳/۷ میلیارد دلار در بخش توسعه تأسیسات نم‌زدایی سرمایه‌گذاری شود که بخش قابل‌توجهی از آن (حدود ۵۱/۶ میلیارد دلار) صرف هزینه‌های



شکل ۱: توزیع جهانی تأسیسات فعال آب‌شیرین‌کن با ظرفیت بیش از ۱۰۰۰ مترمکعب در روز و ظرفیت تولید آن‌ها بر اساس نوع بخش مصرف‌کننده آب شیرین‌شده [۳].



شکل ۳: برآورد ظرفیت نم‌زدایی طی یک دوره ۳۰ ساله [۸].

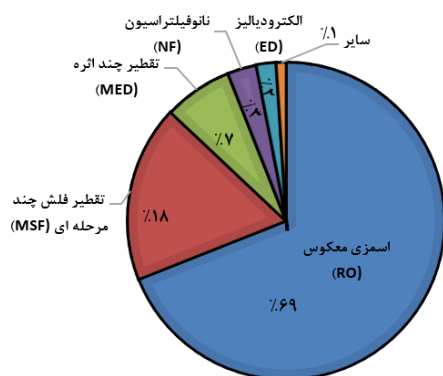
تقطیری^۱ (MSF)، تقطیر چنداثره^۲ (MED) و تراکم بخار^۳ (VC) نوع مکانیکی (MVC) و حرارتی (TVC) می‌شوند [۴]. در بین فناوری‌های غشایی، روش‌های اسمزی معکوس^۴ (RO) و الکترودیالیز^۵ (ED) پرکاربردترین تکنیک‌ها محسوب می‌شوند. پیش‌بینی می‌شود ظرفیت نم‌زدایی جهانی تا سال ۲۰۳۰ از ۲۰۰ میلیون مترمکعب در روز فراتر رود (شکل ۳). همچنین، سه فناوری اصلی RO، MED و MSF حدود ۹۴ درصد از کل تولید نم‌زدایی جهان را تشکیل می‌دهند و ۶ درصد باقی‌مانده توسط روش‌های دیگر مانند نانوفیلتراسیون، الکترودیالیز و الکترودیالیز معکوس تأمین می‌شود (شکل ۴) [۷].

جدول ۱: انرژی موردنیاز برای تولید یک مترمکعب آب شرب از منابع مختلف [۶].

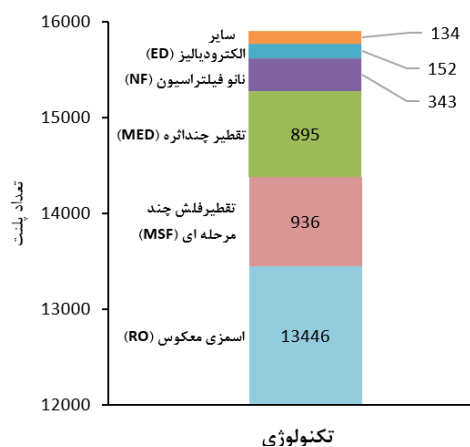
منبع آب	انرژی مصرفی (کیلووات/ساعت/متر مکعب)
آب دریا	۲/۵۸-۸/۵
بازچرخانی فاضلاب	۱/۰-۲/۵
تصفیه فاضلاب	۰/۶۲-۰/۸۷
آب زیرزمینی	۰/۴۸
آب سطحی (برکه یا کانال)	۰/۳۷

۲- فناوری‌های نم‌زدایی

فناوری‌های نم‌زدایی به طور کلی به دو دسته حرارتی و غشایی تقسیم می‌شوند. روش‌های حرارتی شامل تبخیری چندمرحله‌ای



شکل ۴: تعداد تأسیسات نم‌زدایی بر اساس فناوری‌های مورد استفاده که هم‌اکنون در حال بهره‌وری است [۳]



¹- Multistage Flash Distillation

⁴- Reverse Osmosis

²- Multi-Effect Distillation

⁵- Electrodialysis

³- Vapor Compression

و انتشار گازهای گلخانه‌ای است. فناوری RO به دلیل کارایی، مقیاس‌پذیری و مدولار بودن، پیشرفت قابل توجهی داشته است. بیش از ۸۰ درصد تأسیسات نمک‌زدایی از RO برای آب لب‌شور یا آب دریا استفاده می‌کنند.

جدول ۲: ترکیبات آب لب‌شور، آب دریا و شورابه [۱۱].

محل	محل شور	آب لب‌شور	آب دریا	شورابه
PO_4^{3-} (mg/L)	—	—	—	۲۵
HCO_3^- (mg/L)	—	۳۵۰	۱۴۶	—
SO_4^{2-} (mg/L)	۷۲.۴	۸۰	۲۶۴۹	۵۳۱۶
Cl^- (mg/L)	۳۸۲	۶۴۵	۲۱،۵۳۵	۳۸،۸۸۶
K^+ (mg/L)	—	۶	۴۳۴	۷۴۳
Na^+ (mg/L)	۱۴۲	۳۴۰	۱۲،۳۴۵	۲۱،۹۲۱
Mg^{2+} (mg/L)	۶۶۸	۷۸۵	۱۳۵۶	۲۴۷۹
Ca^{2+} (mg/L)	۳۳۰	۱۰۲	۴۷۴	۲۴۷۹
(TDS) (mg/L)	۲۴۸۰	۱۶۹۱.۴	۳۹،۴۸۳	۷۰،۴۸۸
منبع	[۱۲]	[۱۳]	[۱۴]	[۱۵]
			[۱۳]	[۱۶]

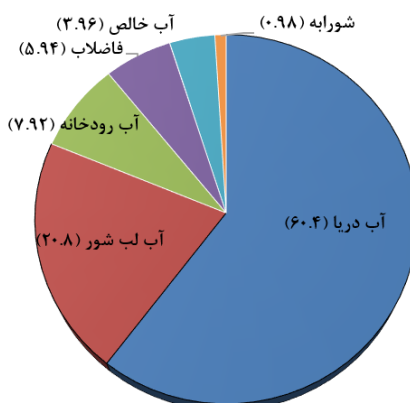
۳- چالش‌های زیست‌محیطی نمک‌زدایی آب دریا

با وجود اینکه فرآیند نمک‌زدایی راهکاری برای تأمین آب آشامیدنی پاک محسوب می‌شود، اثرات زیست‌محیطی قابل توجهی دارد. یکی از این اثرات، تولید شورابه است که به دلیل شوری بالا و احتمال آلودگی با مواد شیمیایی ناشی از فرآیندهای مختلف می‌تواند برای محیط‌زیست دریایی مضر باشد [۱۸]. انرژی مصرفی این فرآیند عمدتاً از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود و موجب انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی هوا می‌گردد. ساخت و احداث تأسیسات نیز پیامدهایی شامل پاک‌سازی و تسطیح زمین، ایجاد جاده و زیرساخت، اتصال به شبکه برق و فاضلاب و تغییر کاربری زمین دارد که بر اکوسیستم و منظر محیطی اثرگذار است. پیامدهای زیست‌محیطی اصلی شامل کاهش کمیت و کیفیت منابع طبیعی، تغییر در اکوسیستم‌های آبزیان، استفاده گسترده از مواد شیمیایی، آسیب به سلامت عمومی از طریق پساب‌ها و انتشار مواد تغییرات در چشم‌انداز محیطی هستند [۱۹].

روش‌های تخلیه آب شور شامل تخلیه سطحی به آب‌های آزاد، تزریق به چاه‌های عمیق، خروجی فاضلاب، حوضچه‌های تبخیر و

انرژی مورد نیاز برای نمک‌زدایی عمدتاً از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود، درحالی‌که استخراج و پالایش این منابع انرژی نیز به آب نیاز دارد. انتشار گازهای گلخانه‌ای^۱ (GHG) ناشی از این فرآیندها و سوزاندن سوخت‌های فسیلی، تأثیر منفی قابل توجهی بر اکوسیستم دارد. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰، انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از عملیات نمک‌زدایی از ۰/۴ میلیارد تن معادل CO_2 در سال فزاینده شود. این امر نه تنها ذخایر سوخت‌های فسیلی را تخلیه می‌کند، بلکه به محیط‌زیست آسیب جدی وارد می‌سازد [۹]. سیستم‌های نمک‌زدایی حرارتی به دلیل مصرف انرژی بالاتر و نیاز به نگهداری بیشتر، از نظر اقتصادی نسبت به RO جذابیت کمتری دارند. با پیشرفت‌های علمی و کاهش مصرف انرژی ویژه، RO توجه بیشتری را به خود جلب کرده است. با این حال، فناوری‌های حرارتی همچنان در مناطقی مانند خلیج فارس به دلیل فراوانی منابع نفتی برای تولید برق و عملکرد بهتر در برابر پدیده‌هایی مانند شکوفه‌های جلبکی و آب‌های شور با کدورت بالا، مورد استفاده گسترده قرار می‌گیرند [۱۰]. با این وجود، پیشرفت‌های تکنولوژیک باعث افزایش کاربرد RO در این مناطق نیز شده است.

در کنار آب شیرین، پسابی به نام «آب شور غلیظ یا شورابه» تولید می‌شود که حداقل ۱/۶ برابر شورتر از آب دریا است (جدول ۲) و مدیریت آن به دلیل اثرات زیست‌محیطی منفی، حیاتی است. فرآیند نمک‌زدایی شامل ورودی‌هایی مانند آب خوراک (شکل ۵)، انرژی و مواد شیمیایی و خروجی‌هایی چون آب شیرین، شورابه



شکل ۵: دسته‌بندی منابع آب خوراک مورد استفاده در تأسیسات نمک‌زدایی [۱۷].

1. Greenhouse Gas

کمتری دارند. اثرات محلی و تجمعی تخلیه آب شور به شرایط فیزیکوشیمیایی، هیدروگرافیکی و زیستی منطقه بستگی دارد [۲۰]. مناطق کم‌عمق و بسته با تراکم بالای حیات دریایی آسیب‌پذیرترند، درحالی‌که جریان‌های قوی اقیانوسی اثرات را کاهش می‌دهند. برای کاهش اثرات، استفاده از ضدسوب‌های سبز، غشاهای مقاوم، مواد ضدخوردگی و مدیریت بهینه شورابه توصیه می‌شود. مدیریت آب شور با رویکرد حداقل تخلیه مایع^۱ (ZLD) و بازیابی مواد معدنی رویکردی پیشرفته است که با ترکیب روش‌های نم‌زدایی، آب شیرین و نم‌های جامد با خلوص بالا را بازیابی کرده و بازده اقتصادی را افزایش می‌دهد، اما همچنان با مصرف انرژی زیاد و انتشار گازهای گلخانه‌ای همراه است [۱۶].

آب شور ممکن است حاوی فلزات سنگین، ترکیبات آلی، کلر و مواد شیمیایی پیش‌تصفیه باشد که قبل از تخلیه به طور کامل تصفیه نمی‌شوند و سلامت موجودات دریایی را تهدید می‌کنند. حساسیت گونه‌ها به شوری متفاوت است؛ موجودات متحرک مانند ماهی‌ها مقاوم‌ترند، اما گونه‌های ثابت نظیر مرجان‌ها و گیاهان آسیب‌پذیری بیشتری دارند. چگالی بالای آب شور باعث ته‌نشینی در کف دریا و ایجاد لایه‌بندی می‌شود و دمای بالای ۳۰-۴۰ درجه سانتی‌گراد آن، سمیت فلزات و مواد شیمیایی موجود را تشدید می‌کند [۲۱]. گونه‌های دریایی متحرک می‌توانند با مهاجرت به مکان‌های مساعدتر، به تغییرات محیطی مانند تغییر شوری یا اختلال در زیستگاه خود پاسخ دهند. تحمل گونه‌ها به شوری بالا متفاوت است؛ گونه‌های پلی‌کیت و خرچنگ بیشترین تحمل (تا ۶۰ psu) برای مدت طولانی را دارند، پس‌از آن گونه‌های نرم‌تنان و دوکفه‌ای‌ها دارای تحمل متوسط و در نهایت میگو، کوپپود و آمفی‌پودها کمترین تحمل را دارند. در دریای سرخ، تخلیه آب شور باعث مرگ مرجان‌ها و پلانکتون‌ها، کاهش جمعیت ماهی‌ها و افزایش آلودگی ناشی از افزایش Cu^{2+} و Ni شده است. در امارات متحده عربی، تالاب رأس‌هنجورا شاهد افزایش مرگ‌ومیر مانگروها و گیاهان دریایی بوده است [۲۲]. اثر افزایش شوری بر گیاهان دریایی شامل کاهش رشد ریشه، افزایش مرگ‌ومیر، افزایش اسمورگولاتورها مانند اسیدهای آمینه و ساکارز و کاهش غلظت یون‌های K^+ و Ca^{2+} است (شکل ۶). افزایش غلظت مواد مغذی مانند نیتрат‌ها نیز باعث افزایش تعداد اپی‌فیت‌ها می‌شود که یکی دیگر از اثرات ناشی از تخلیه آب شور است [۲۳].

کاربردهای زمینی است (جدول ۳). انتخاب روش به کیفیت و حجم آب شور، موقعیت تخلیه و دسترسی به سایت جذب بستگی دارد. بیش از ۹۰ درصد تأسیسات، آب شور را از طریق تخلیه سطحی به آب‌های آزاد می‌فرستند که به دلیل نزدیکی کارخانه به دریا، رایج‌ترین روش است [۱۱]. تخلیه سطحی و زیرسطحی با رقیق‌سازی آب شور و استفاده از لوله‌های قائم و دیفیوزر، اثرات منفی بر اکوسیستم را کاهش می‌دهد.

جدول ۳: مرور کلی بر تکنیک‌های تخلیه شورابه [۱۱].

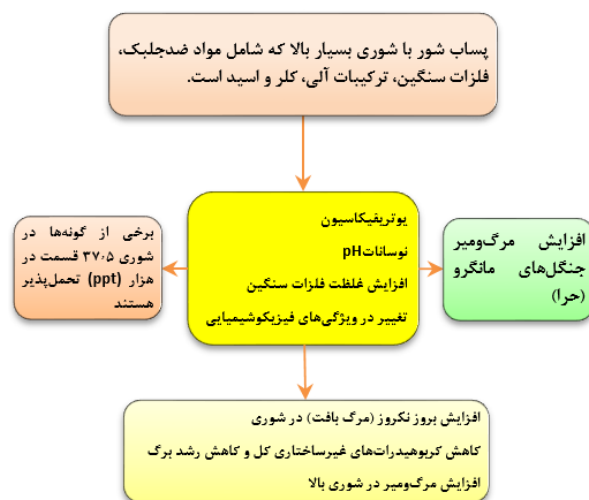
فناوری‌ها	اصل کار	هزینه (دلار آمریکا)	مسائل زیست‌محیطی
تخلیه به آب‌های سطحی	آب شور در آب‌های سطحی رها می‌شود.	۰/۰۵-۰/۳۰	آلوده شدن آب دریا
تخلیه به فاضلاب	در سیستم جمع‌آوری فاضلاب، آب شور دفع می‌شود.	۰/۳۲-۰/۶۶	جلوگیری از رشد باکتری‌ها در تصفیه‌خانه فاضلاب
تزریق به چاه عمیق	آب شور به لایه‌های نفوذپذیر زیرسطحی سنگ تزریق می‌شود.	۰/۵۴-۲/۶۵	آلودگی آب‌های زیرزمینی و شوری خاک
استفاده در کاربری زمین	آب شور برای آبیاری گیاهان و محصولات مقاوم به شوری استفاده می‌شود.	۰/۷۴-۱/۹۵	شوری خاک
استخر تبخیری	در یک استخر، آب شور تبخیر شده و نم‌های باقی‌مانده جمع‌آوری می‌شوند.	۳/۲۸-۱۰/۰۴	آلودگی آب‌های زیرزمینی و شوری خاک

کیفیت آب شور تحت تأثیر عواملی چون فناوری مورد استفاده، کیفیت آب خوراک، فرآیندهای پیش‌تصفیه و پس‌تصفیه و نحوه شستشو و نگهداری تجهیزات قرار دارد. علاوه بر شوری بالا، آب شور ممکن است حاوی مواد شیمیایی مضر مانند فلوکولانت‌ها، انعقادکننده‌ها و آنتی‌اسکلانت‌ها (مانند پلی‌فسفات‌ها) باشد که برای موجودات دریایی خطرناک هستند. اثرهای زیست‌محیطی آب شور شامل شوک اسمزی، تغییرات جمعیتی و سازگاری گونه‌ها، افزایش دما و آلودگی شیمیایی است. فناوری‌های حرارتی عمدتاً از آلیاژهای فلزی استفاده می‌کنند و منبع فلزات سنگین هستند، درحالی‌که سیستم‌های غشایی از مواد پلیمری بهره می‌برند و اثرات

^۱. Zero Liquid Discharge

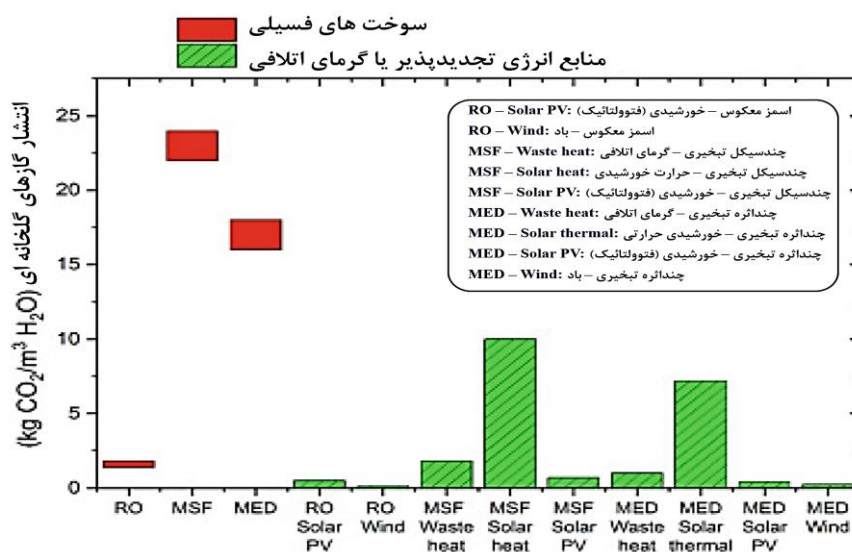
اگرچه در غلظت‌های معمول کم‌خطرند، اما می‌توانند بر مرجان‌ها و جوامع میکروبی اثر بگذارند. برای کاهش کف، واحدهای حرارتی معمولاً از پلی‌اتیلن گلیکول و پلی‌پروپیلن گلیکول استفاده می‌کنند. خوردگی تجهیزات، به‌ویژه در واحدهای حرارتی، موجب ورود فلزات سنگین مانند Cu^{2+} و Ni به پساب می‌شود، درحالی‌که RO با فولاد ضدزنگ و دمای پایین‌تر اثرات کمتری دارد. شستشوی غشاها با محلول‌های اسیدی و قلیایی و استفاده از بیوسایدها برای حذف بیوفیلم و رسوبات ضروری است، اما تخلیه آن‌ها بدون تصفیه می‌تواند بر حیات دریایی تأثیر بگذارد [۱۸]. مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در فناوری‌های مختلف متفاوت است (شکل ۷). فناوری‌های حرارتی، مانند MSF و MED، انتشار گازهای گلخانه‌ای حداقل ۱۰ برابر بیشتر از RO دارند (میله‌های قرمز در شکل ۷). استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر یا حرارت زائد (میله‌های سبز) می‌تواند این انتشارها را به میزان قابل‌توجهی کاهش دهد.

این واقعیت که همه منابع انرژی تجدیدپذیر در هر مکان به طور دائم در دسترس نیستند، چالش دیگری ایجاد می‌کند. به‌عنوان مثال، انرژی خورشیدی در کشورهایی با تابش خورشیدی بالا مانند امارات متحده عربی (۵/۷۲ – ۶/۱۸ کیلووات‌ساعت بر مترمربع) مؤثرتر است تا در کشورهایی با حداقل تابش خورشیدی مانند نروژ (۱/۹۵ – ۳/۰۵ کیلووات‌ساعت بر متر مربع). با این حال، با توجه به مشوق‌هایی که در کشورهایی مانند اتحادیه اروپا ارائه

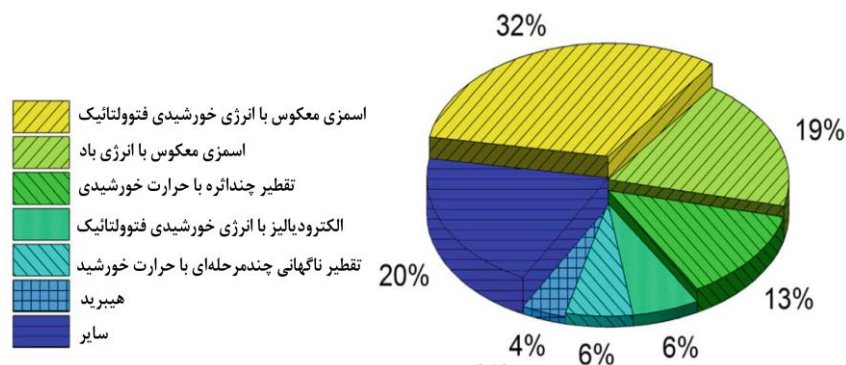


شکل ۶: اثرات احتمالی شوری آب شور بر گیاهان دریایی [۲۳].

آب شور حاصل از نم‌زدایی ممکن است شامل مواد شیمیایی مورد استفاده در پیش‌تصفیه، شستشو و تمیزسازی غشاها و فیلترها باشد. این مواد شامل کلر به‌عنوان بیوساید، ضد رسوب‌ها، عامل‌های کاهنده، منعقدکننده‌ها و مهارکننده‌های رسوب هستند و انتخاب آن‌ها به کیفیت آب و شرایط کارخانه بستگی دارد. در واحدهای RO، کلر قبل از غشاها خنثی می‌شود، اما در واحدهای حرارتی ممکن است ترکیبات ارگانیک هالوژنه تولید کند و اثرات زیست‌محیطی داشته باشد [۲۴]. مواد پیش‌تصفیه و ضد رسوب،



شکل ۷: نشان می‌دهد که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط سیستم‌های اصلی آب‌شیرین‌کن به ازای هر متر مکعب آب تولیدی، هم هنگام استفاده از سوخت‌های فسیلی (میله‌های قرمز) و هم هنگام استفاده از حرارت زائد یا منابع انرژی تجدیدپذیر (میله‌های سبز) چگونه است [۱۸].



شکل ۸: منابع انرژی تجدیدپذیر ترکیب‌شده با فناوری آب‌شیرین‌کن در تأسیسات سراسر جهان را نشان می‌دهد [۱۸].

بیش از سه برابر ارزان‌تر از حوضچه‌های تبخیر و قابل‌مقایسه با تزریق چاه عمیق و کاربرد در زمین بود. این سیستم از نظر مالی در صورت فروش آب به‌تنهایی یا هر دو آب و نمک‌های بازیابی شده، مقرون‌به‌صرفه است [۲۷]. استراتژی ملی آب‌شیرین‌سازی و کاهش شورابه در سواحل خلیج فارس ایران می‌تواند استفاده از RO کم‌مصرف، ادغام انرژی خورشیدی و بادی، بهره‌گیری از سیستم ZLD برای بازیابی آب و نمک و مدیریت کنترل‌شده شورابه با مدل‌سازی و تخلیه ایمن، باهدف کاهش مصرف انرژی، انتشار CO₂ و اثرات زیست‌محیطی باشد.

۵- نتیجه‌گیری

باتوجه‌به رشد جمعیت، شهرنشینی، توسعه صنعتی و تغییرات اقلیمی، راهکارهای سنتی مدیریت آب به‌تنهایی پاسخگوی تقاضای جهانی نیستند و آب‌شیرین‌کن‌های دریایی به‌عنوان منبعی مطمئن و مستقل از بارش به‌ویژه برای کشورهای با کمبود شدید آب اهمیت حیاتی یافته‌اند. پیشرفت‌های فناوری RO و روش‌های حرارتی، توسعه غشاهای پیشرفته و طرح‌های هیبریدی بهره‌وری را افزایش و هزینه‌ها را کاهش داده‌اند. بااین‌حال، مصرف بالای انرژی، وابستگی به سوخت‌های فسیلی و اثرات زیست‌محیطی ناشی از تخلیه شورابه، مصرف مواد شیمیایی و گرفتگی غشاها چالش‌های اصلی باقی مانده‌اند. ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر، به‌ویژه خورشیدی، مسیر دستیابی به پایداری بلندمدت را هموار می‌کند، هرچند گردوغبار، دما و محدودیت‌های جوی باید مدیریت شوند. با استفاده از مدل‌سازی‌های پیشرفته، دیفیوژهای نوین، رقیق‌سازی و بازیافت نمک، اثرات تخلیه شورابه قابل‌کاهش است. مطالعات ارزیابی چرخه عمر نشان می‌دهند که ترکیب آب‌شیرین‌کن‌ها با انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند انتشار گازهای

می‌شود، انتظار می‌رود در آینده چندین واحد آب‌شیرین‌کن مبتنی بر انرژی تجدیدپذیر ساخته شود. شکل ۸ منابع انرژی تجدیدپذیر ترکیب‌شده با فناوری آب‌شیرین‌کن در تأسیسات سراسر جهان را نشان می‌دهد. نتایج مؤید آن است که روش اسمزی معکوس با انرژی خورشیدی بیشترین مقدار (۳۲ درصد) را به خود اختصاص می‌دهد.

۴- نمونه‌های موفق آب‌شیرین‌سازی و استراتژی ملی

باتوجه‌به تجربیات جهانی، برخی از پروژه‌های موفق آب‌شیرین‌سازی به‌طور هم‌زمان بر بهره‌وری انرژی، استفاده از منابع تجدیدپذیر و مدیریت بهینه شورابه تمرکز داشته‌اند. برای نمونه، واحد Al-Khafji در عربستان سعودی از سیستم RO خورشیدی با ظرفیت روزانه ۶۰,۰۰۰ مترمکعب بهره‌میرد که به‌طور چشمگیری مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش داده است [۲۵]. همچنین، کارخانه آب‌شیرین‌کن شرقیه عمان در شهر صور که آب بیش از ۶۰۰,۰۰۰ نفر را تأمین می‌کند، میزبان بزرگترین تأسیسات انرژی خورشیدی برای نم‌زدایی در این کشور است. این واحد فتوولتائیک ۱۷ مگاواتی، اولین نمونه از این نوع در خاورمیانه، سالانه بیش از ۳۰ گیگاوات ساعت برق سبز تولید می‌کند که بیش از یک‌سوم مصرف روزانه کارخانه را پوشش داده و انتشار CO₂ را حدود ۲۷,۲۰۰ تن در سال کاهش می‌دهد [۲۶]. یک مطالعه فنی-اقتصادی در مدیترانه شرقی (یونان، قبرس و اسرائیل) یک سیستم نم‌زدایی هیبریدی ZLD را برای تصفیه آب نمک و بازیابی منابع ارزیابی کرد. این سیستم با ادغام RO فشار بالا، تغلیظ‌کننده‌های آب نمک و کریستالایزرها، به نرخ بازیابی استثنایی ۹۹/۱۹ درصد و تقاضای انرژی معقول (۲۰/۲۳ کیلووات ساعت بر مترمکعب) دست یافت. از نظر اقتصادی، ZLD

- [11]. G. K. Prashanth, A. Hemantkumar N, H. A. K., and R. Srilatha, *Seawater Desalination Technologies and Environmental Impact*. Springer, 2026.
- [12]. D. A. Miller and M. Gil, "Spray-drying technology," in *Formulating poorly water soluble drugs*, Springer, 2011, pp. 363–442.
- [13]. X. Chen and N. Y. Yip, "Unlocking high-salinity desalination with cascading osmotically mediated reverse osmosis: energy and operating pressure analysis," *Environmental science & technology*, vol. 52, no. 4, pp. 2242–2250, 2018.
- [14]. A. S. Goudie, *Human impact on the natural environment: Past, present and future*. John Wiley & Sons, 2018.
- [15]. M. Ahmed, D. Hoey, W. Shayya, and M. F. Goosen, "Brine disposal from inland desalination plants: current status, problems, and opportunities," *Environmental Sciences and Environmental Computing*, vol. 2, 2004.
- [16]. I. Sola et al., "Review of the management of brine discharges in Spain," *Ocean & Coastal Management*, vol. 196, p. 105301, 2020.
- [17]. T. M. Missimer and R. G. Maliva, "Environmental issues in seawater reverse osmosis desalination: Intakes and outfalls," *Desalination*, vol. 434, pp. 198–215, 2018.
- [18]. A. Panagopoulos and K.-J. Haralambous, "Environmental impacts of desalination and brine treatment-Challenges and mitigation measures," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 161, p. 111773, 2020.
- [19]. C. M. Galanakis and E. Agrafioti, *Sustainable water and wastewater processing*. Elsevier, 2019.
- [20]. T. Alharbi, H. Alfaifi, S. A. Almadani, and A. El-Sorogy, "Spatial distribution and metal contamination in the coastal sediments of Al-Khafji area, Arabian Gulf, Saudi Arabia," *Environmental monitoring and assessment*, vol. 189, no. 12, p. 634, 2017.
- [21]. N. Ahmad and R. E. Baddour, "A review of sources, effects, disposal methods, and regulations of brine into marine environments," *Ocean & coastal management*, vol. 87, pp. 1–7, 2014.
- [22]. T. M. Remaili et al., "Assisted natural recovery of hypersaline sediments: salinity thresholds for the establishment of a community of bioturbating organisms," *Environ. Sci.: Processes Impacts*, vol. 20, no. 9, pp. 1244–1253, 2018.
- [23]. M. Omerspahic, H. Al-Jabri, S. A. Siddiqui, and I. Saadaoui, "Characteristics of desalination brine and its impacts on marine chemistry and health, with emphasis on the Persian/Arabian gulf: a review," *Frontiers in Marine Science*, vol. 9, p. 845113, 2022.
- گلخانه‌ای را کاهش دهد. این صنعت با نوآوری در غشاهای مقاوم، کنترل رسوب و خوردگی و طراحی سیستم‌های هوشمند، مسیر تبدیل شدن به پایه‌ای کلیدی در امنیت آبی جهان را طی می‌کند. تحقیقات آینده باید بر توسعه فناوری‌های نوین، مواد ارزان و بادوام و گسترش ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر متمرکز شود تا تولید آب پایدار و مطمئن تضمین گردد.
- نویسندگان اعلام می‌دارند که مقاله حاضر توسط هوش مصنوعی نگارش نشده و تمام یا بخشی از آن تاکنون در هیچ پایگاه اطلاعاتی، نشریه یا منبع علمی دیگری منتشر نشده است.

Reference

منابع

- [1]. International Desalination Association, "The IDA water security handbook." 2019.
- [2]. N. Ghaffour, T. M. Missimer, and G. L. Amy, "Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability," *Desalination*, vol. 309, pp. 197–207, Jan. 2013.
- [3]. E. Jones, M. Qadir, M. T. Van Vliet, V. Smakhtin, and S. Kang, "The state of desalination and brine production: A global outlook," *Science of the total environment*, vol. 657, pp. 1343–1356, 2019.
- [4]. A. Al-Karaghoul and L. L. Kazmerski, "Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 24, pp. 343–356, 2013.
- [5]. J. Williams, "Desalination in the 21st century: a critical review of trends and debates," *Water Alternatives*, vol. 15, no. 2, pp. 193–217, 2022.
- [6]. G. Prashanth, H. N. Akolkar, A. Haghi, and S. Rao, *Seawater Desalination*. Springer, 2026.
- [7]. A. B. Stambouli and S. Flazi, "A review of the water-energy nexus," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 65, pp. 319–331, 2016.
- [8]. I. Ihsanullah, M. A. Atieh, M. Sajid, and M. K. Nazal, "Desalination and environment: A critical analysis of impacts, mitigation strategies, and greener desalination technologies," *Science of the Total Environment*, vol. 780, p. 146585, 2021.
- [9]. V. G. Gude, "Geothermal source potential for water desalination-Current status and future perspective," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 57, pp. 1038–1065, 2016.
- [10]. B. Moossa, P. Trivedi, H. Saleem, and S. J. Zaidi, "Desalination in the GCC countries-a review," *Journal of Cleaner Production*, vol. 357, p. 131717, 2022.

- [26]. Veolia, "Veolia inaugurates largest solar power plant for a desalination plant in the Middle East." 2023.
- [27]. A. Panagopoulos, "Techno-economic assessment and feasibility study of a zero liquid discharge (ZLD) desalination hybrid system in the Eastern Mediterranean," Chemical Engineering and Processing - Process Intensification, vol. 178, p. 109029, Aug. 2022.
- [24]. A. H. Al-Kaabi and H. R. Mackey, "Environmental assessment of intake alternatives for seawater reverse osmosis in the Arabian Gulf," Journal of Environmental Management, vol. 242, pp. 22–30, Jul. 2019.
- [25]. E. T. Sayed, A. G. Olabi, K. Elsaid, M. Al Radi, R. Alqadi, and M. Ali Abdelkareem, "Recent progress in renewable energy based-desalination in the Middle East and North Africa MENA region," Journal of Advanced Research, vol. 48, pp. 125–156, Jun. 2023.

بستر سازی بازیافت ضایعات مواد کامپوزیتی در صنایع ایران

رهام رفیعی^{۱*}، فائزه صفایی^۱

چکیده

مواد کامپوزیتی پیشرفته، به‌ویژه انواع مبتنی بر رزین‌های گرماسخت و تقویت‌کننده‌های الیاف، در صنایع کلیدی ایران نقش محوری ایفا می‌کنند. این مواد به دلیل خواص مکانیکی برتر جایگزین مناسبی برای فلزات شده‌اند. با این حال، پسماندهای کامپوزیتی تولیدشده در صنایع مختلف کشور، به دلیل ساختار شبکه‌ای پیچیده و غیرقابل تجزیه بیولوژیکی، چالش‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و فنی ایجاد کرده‌اند. انباشت این پسماندها، فضای دفن زباله‌ها را اشغال می‌کند، و از نظر اقتصادی نیز ائتلاف منابع با ارزش را به دنبال دارد. فعالیت‌های تحقیقاتی در ایران در حوزه کامپوزیت‌ها به‌ویژه در چاپ سه‌بعدی پیشرفت‌هایی داشته است؛ اما استفاده مناسب از مواد بازیافتی به‌صورت جدی مورد توجه قرار نگرفته است. این مقاله به بررسی روش‌های کلان بازیافت این پسماندها و مزایا و معایب هر روش می‌پردازد. پنج روش اصلی بازیافت کامپوزیت‌ها شامل باز استفاده مستقیم، ساخت سازه‌های ثانویه، تبدیل‌های مکانیکی/حرارتی/شیمیایی و ترکیبی، روش متراکم‌سازی و تولید الیاف بلند قابل استفاده مجدد مورد تحلیل قرار می‌گیرند. سپس، برای این روش‌ها بر اساس شرایط بومی کشور، شاخص‌های کلیدی استخراج و با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره SMART وزن‌دهی و اولویت‌بندی می‌شوند. این مطالعه بر لزوم استقرار اقتصاد چرخشی در مدیریت پسماندهای کامپوزیتی تأکید دارد و بازیافت را فرصتی راهبردی برای خودکفایی صنعتی و توسعه پایدار می‌داند.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت:

۱۱ اردیبهشت ۱۴۰۵

تاریخ بازنگری:

۱۶ اردیبهشت ۱۴۰۵

تاریخ پذیرش:

۱۸ اردیبهشت ۱۴۰۵

تاریخ انتشار:

۳۱ خرداد ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:

بازیافت، پسماندهای

کامپوزیتی،

تصمیم‌گیری

چندمعیاره،

اولویت‌بندی،

سیاست‌گذاری ملی.

استناد: رفیعی، رهام و صفایی، فائزه. (۱۴۰۵). بستر سازی بازیافت ضایعات مواد کامپوزیتی در صنایع ایران. *نشاء علم*، ۱۶ (۱)، ۷۸-۸۷.



ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران

© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

* عهده‌دار مکاتبات: استاد. تلفن: ۰۹۳۰۴۶ ۸۶۰۹۳۱ (+)، دورنگار: ۸۸۴۹۷۳۲۴ ۹۸۲۱ (+)، آدرس الکترونیکی: Roham.Rafiee@ut.ac.ir

^۱ آزمایشگاه تحقیقاتی کامپوزیت، دانشکده علوم و فناوری‌های میان رشته‌ای، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۱- مقدمه

آلمان و ژاپن با سیاست‌های تشویقی و الزامات قانونی، نرخ بازیافت کامپوزیت‌ها را به بیش از ۵۰ درصد رسانده‌اند و از این پسماندها برای تولید مواد ثانویه سود می‌برند؛ این تجربیات نشان‌دهنده پتانسیل اقتصادی بالای بازیافت است، جایی که ارزش افزوده الیاف بازیافتی می‌تواند هزینه‌های اولیه را جبران کند.

در ایران، باتوجه به رشد صنایع کلیدی مانند لوله و مخازن، توربین‌های بادی و خودروسازی، حجم پسماندهای کامپوزیتی روبه‌افزایش است و فقدان سیاست‌های منسجم، فرصت‌های بالقوه را به تهدید زیست‌محیطی تبدیل کرده است؛ اتخاذ رویکردهای سیاستی هدفمند، کلید دستیابی به خودکفایی در زنجیره تأمین مواد کامپوزیتی و هم‌راستایی با اقتصاد چرخشی ملی به شمار می‌رود.

۲- بررسی کلان‌روش‌های بازیافت کامپوزیت‌ها

پسماندهای کامپوزیتی، به‌ویژه انواع پلیمری مبتنی بر رزین‌های گرماسخت، به دلیل حجم روبه‌رشد تولید در صنایع ایران مانند صنایع لوله و مخازن و توربین بادی، نیازمند روش‌های بازیافت کلان و کارآمد هستند. این بخش با هدف شناسایی، طبقه‌بندی و ارزیابی روش‌های متداول بازیافت، پنج رویکرد اصلی را بررسی می‌کند که در شکل (۱) نشان داده شده‌اند. این روش‌ها بر اساس تجربیات جهانی، مزایا/معایب و امکان‌پذیری بومی تحلیل شده و زمینه را برای اولویت‌بندی در بخش‌های بعدی فراهم می‌سازند [۳].



شکل ۱: دسته‌بندی بازیافت مواد کامپوزیتی

مواد کامپوزیتی، به‌عنوان یکی از پیشروترین دستاوردهای مهندسی مواد در دهه‌های اخیر، نقش محوری در صنایع پیشرفته ایفا می‌کنند. این مواد که از ترکیب الیاف تقویت‌کننده با ماتریس‌های پلیمری تشکیل شده‌اند، خواص مکانیکی بالا، وزن سبک و مقاومت عالی در برابر خوردگی ارائه می‌دهند. کاربرد گسترده کامپوزیت‌ها در صنایع هوافضا، خودروسازی، دریایی و انرژی‌های تجدیدپذیر، حجم تولید آنها را به طور چشمگیری افزایش داده است. با این حال، تولید انبوه کامپوزیت‌ها، چالش‌های جدی زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی به بار آورده است. پسماندهای کامپوزیتی مبتنی بر رزین‌های گرماسخت به دلیل پیوندهای کووالانسی قوی و ساختار لایه‌ای، از نظر زیستی کاملاً غیرقابل تجزیه هستند و فضای دفن وسیعی اشغال می‌کنند. دفن آن‌ها منجر به نشت میکروپلاستیک‌ها و مواد سمی به خاک و آب‌های زیرزمینی می‌شود، درحالی‌که سوزاندن نامناسب، انتشار گازهای گلخانه‌ای، اکسیدهای نیتروژن و ذرات معلق را تشدید می‌کند. از منظر اقتصادی، این پسماندها حاوی الیاف و رزین هستند و دفن آنها معادل هدررفت سرمایه ملی است و هزینه‌های مدیریت زباله را افزایش می‌دهد [۱].

پسماندهای کامپوزیتی عمدتاً از دو منبع اصلی نشئت می‌گیرند: ضایعات فرایند تولید و قطعات پایان‌عمر. در ایران، با رشد سریع صنایع کامپوزیتی، سالانه حجم زیادی پسماند کامپوزیتی تولید می‌شود که بخش عمده آن به دفن یا سوزاندن نامناسب می‌انجامد که نه تنها با اصول اقتصاد چرخشی مغایرت دارد، بلکه منجر به وابستگی به واردات الیاف خام می‌شود. بازیافت مؤثر این پسماندها، فرصتی طلایی برای کاهش آلودگی، صرفه‌جویی ارزی، ایجاد اشتغال و همسویی با اهداف توسعه پایدار است [۲].

چالش‌های فنی بازیافت کامپوزیت‌ها ریشه در پیوندهای شیمیایی قوی بین الیاف و ماتریس و جداسازی دشوار آنها دارد. روش‌های مکانیکی مانند خرد کردن، کیفیت الیاف را کاهش می‌دهند، روش‌های حرارتی نیازمند انرژی بالا و روش‌های شیمیایی نیز هزینه‌بر و آلاینده هستند. توسعه فناوری‌های نوین مانند متراکم‌سازی، بازیافت فوق حرارتی و تبدیل ترکیبی نیز نیازمند حمایت‌های سیاستی است. در سطح جهانی، کشورهایی مانند

۱-۲- باز استفاده^۱ یا تغییر کاربری^۲

و چسبندگی سطحی کاهش می‌یابد و الیاف بازیافتی تنها در کاربردهای غیرسازه‌ای قابل استفاده هستند [۵، ۷].

۲-۳- تبدیل^۳ به موادی دیگر برای سایر کاربری‌ها

روش تبدیل مواد سازنده یک سازه کامپوزیتی به مواد قابل استفاده در فرایندهای تولید سازه کامپوزیتی به چهار زیرگروه تبدیل مکانیکی، شیمیایی، حرارتی و ترکیبی تقسیم می‌شود. در روش بازیافت مکانیکی، کامپوزیت‌ها به صورت فیزیکی به قطعات کوچک‌تر تبدیل می‌شوند. این فرایند برای تبدیل سریع حجم گسترده‌ای از ضایعات به مواد قابل استفاده مناسب است؛ اما دامنه کاربرد مواد خروجی محدود خواهد بود [۶، ۸-۱۰]. در روش‌های تبدیل حرارتی، هدف حذف ماتریس پلیمری از طریق گرما و بازیابی الیاف است. این روش‌ها قابلیت پردازش مقادیر زیاد پسماند را دارند؛ اما باید توجه داشت در این روش‌ها کنترل دما و زمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند [۱۱-۱۳]. تبدیل شیمیایی بر اساس شکستن پیوندهای عرضی رزین گرماسخت انجام می‌شود. در این روش، الیاف باکیفیت بسیار بالایی بازیابی می‌شوند و محصولات جانبی نیز قابل استفاده مجدد در صنعت هستند [۸، ۱۴، ۱۵]. در روش‌های ترکیبی ابتدا فرایند مکانیکی انجام می‌شود و سپس بخش‌های غنی از الیاف تحت عملیات حرارتی یا شیمیایی قرار می‌گیرند. این روش باعث افزایش بازدهی و کاهش هزینه حمل و نقل می‌شود، اما به سرمایه‌گذاری اولیه بالاتری نیاز دارد [۲۱-۱۶].

۲-۴- استفاده به صورت ماده مترکم^۵

در این روش، مواد خرد شده به دست آمده در شیوه تبدیل مکانیکی در بتن یا آسفالت استفاده می‌شوند. در این حالت، ذرات کامپوزیتی جایگزین بخشی از ماسه یا شن در بتن می‌شوند. مزیت این روش، جذب حجم بالای پسماند و سازگاری با فرایندهای موجود در صنعت ساخت و ساز است. البته، باید رفتار مکانیکی و دوام بلندمدت بتن حاوی این ذرات مورد آزمایش قرار گیرد تا از عدم بروز واکنش قلیایی - سیلیسی و کاهش مقاومت اطمینان حاصل شود. تمرکز فنی این مسیر روی طراحی ترکیب، کارایی و آزمون

این روش در واقع نوعی استفاده مجدد از ساختارهای کامپوزیتی بدون تخریب شیمیایی یا حرارتی هستند. در این روش، قطعات بزرگ پس از بازرسی و اصلاح، به عنوان سازه‌های ثانویه مانند پل‌های عابر، سرپناه‌ها، دیواره‌های صوتی، مبلمان شهری یا پانل‌های ساختمانی استفاده می‌شوند. یکی از کاربردهای مهم و عملی ضایعات لوله‌های کامپوزیتی، استفاده از آن‌ها در ساخت قطعات اتصالات مانند زانو، سه‌راهی، انشعاب گیر و اتصالات تقویتی است. در این رویکرد، انرژی نهفته در تولید الیاف و رزین حفظ می‌شود، هزینه سرمایه‌گذاری ناچیز است و آلودگی ناشی از پردازش حرارتی از بین می‌رود. با این حال، چالش‌هایی مانند حمل و نقل دشوار قطعات بزرگ و الزامات استانداردهای ساختمانی وجود دارد [۴-۶].

۲-۲- استفاده از بخش‌هایی از سازه برای کاربری‌های مجدد^۳

در این شیوه، سازه‌های کامپوزیتی مورد نظر بدون هیچ واکنش شیمیایی و صرفاً از طریق فرایندهای فیزیکی به قطعات کوچک‌تر تبدیل می‌شوند. این قطعات سپس با حداقل عملیات تکمیلی در کاربردهای دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. تفاوت اصلی این روش با بازاستفاده در آن است که در شیوه بازاستفاده، هدف بهره‌گیری مجدد از بخش عمده سازه بازیافتی با کمترین تغییرات ممکن است؛ در حالی که در این روش برش‌کاری جدی‌تر و قابل ملاحظه‌ای بر روی سازه صورت می‌گیرد تا به اجزای کوچک‌تر و قابل استفاده تبدیل شود. مزایای روش مکانیکی در سادگی فرایند، نیاز اندک به سرمایه‌گذاری اولیه، قابلیت اجرا در محل، مصرف پایین انرژی و قابلیت پردازش حجم بالای پسماند است. افزون بر این، این روش حساسیت کمی نسبت به ناخالصی‌هایی مانند رنگ، چسب یا وجود فلزات دارد و به راحتی قابل صنعتی‌سازی است. همچنین، این روش آلودگی شیمیایی ندارد و از منظر زیست محیطی مطلوب است. عیب اصلی این روش، کاهش طول الیاف و یا تخریب آن است. همچنین، سطح الیاف با رزین باقی‌مانده پوشیده می‌شود. در نتیجه، مقاومت کششی

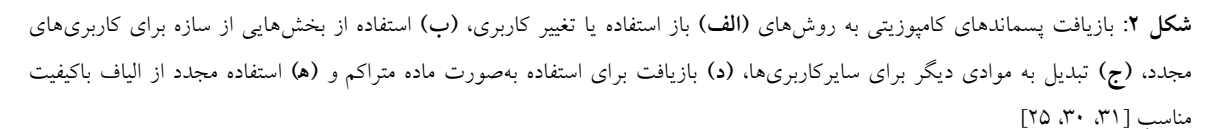
¹ Reuse

² Repurpose

³ Resize/Reshape

⁴ Conversion

⁵ Aggregates



دوام است. در این روش کنترل اندازه ذرات اهمیت زیادی دارد [۲۲-۲۵].

در شکل (۲) نمونه‌هایی از بازیافت کامپوزیت‌ها به روش‌های مختلف نشان داده شده‌اند.

در حوزه بازیافت کامپوزیت‌ها، یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌های اخیر مربوط به بازیابی و استفاده مجدد از الیاف پیوسته کربن و نوارهای کربن به‌کاررفته در سازه‌هایی مانند مخازن تحت‌فشار، لوله‌های کامپوزیتی و کاربردهای الکتریکی است. اهمیت این دستور در آن است که برخلاف روش‌های مرسوم بازیافت که تنها الیاف کوتاه با خواص مکانیکی کاهش‌یافته تولید می‌کردند، در این روش الیاف با طول و استحکام اولیه خود حفظ می‌شوند و قابلیت استفاده در محصولات با عملکرد بالا را دارند. همچنین نوارهای کربن نیز خواص خود را تا حد زیادی حفظ می‌کنند [۲۶].

تفاوت اصلی این روش با روش ترکیبی شیمیایی - حرارتی این است که در روش ترکیبی الیاف خروجی معمولاً کوتاه، خردشده و حتی آلوده به مقدار کمی از بقایای رزین باقی می‌مانند؛ اما در روش حاضر هدف اصلی حفظ ساختار الیاف به صورت بلند، سالم و تقریباً بدون آسیب است؛ به خصوص در مورد الیاف کربن که

¹ Recovery

تن خواهد بود. موضوعی که اهمیت دارد، افزایش تولید لوله‌ها به دلیل توسعه شبکه‌های آب‌رسانی، طرح‌های انتقال آب، پروژه‌های پتروشیمی و صنایع مختلف است. با توجه به رشد تقاضا، پیش‌بینی می‌شود که ضایعات سالانه در این بخش در ۵ سال آینده به بیش از ۲۰۰۰ تن برسد.

۳-۲- ضایعات پره‌های توربین بادی

پره‌های توربین بادی از ترکیب الیاف شیشه و رزین اپوکسی ساخته می‌شوند. با پایان عمر طراحی توربین‌ها، این پره‌ها به پسماندهایی بسیار حجیم تبدیل می‌شوند. در ایران، تعداد ۱۸۶ توربین با محور افقی و توان ۶۶۰ و ۷۱۰ کیلوواتی در سایت‌های منجیل، هرزویل، سیاهپوش و بینالود در بین سال‌های ۸۲ الی ۸۰ نصب شده‌اند. عمر طراحی پره توربین‌ها، بر اساس استاندارد بین‌المللی حدود ۲۰ سال است؛ لذا پره‌های مربوط به ۱۸۶ توربین مذکور در حال حاضر به پایان عمر نامی خود رسیده‌اند. این موضوع باعث شده که موجی از پسماند کامپوزیتی جدید در کشور ایجاد شود. هر توربین سه پره با طول ۲۳ متر دارد، بنابراین مجموعه توربین‌های مذکور شامل ۵۵۸ پره می‌شود. با فرض خروج ۹۰ درصد از پره‌ها، تعداد پره‌هایی که به پایان عمر خود رسیده‌اند؛ حدود ۵۰۲ عدد است. این مقدار نشان‌دهنده یکی از بزرگ‌ترین انباشت‌های پسماندهای کامپوزیتی در کشور طی یک دوره زمانی کوتاه است. وزن پره‌های این توربین‌ها بالغ بر ۱/۲ تن است. با ضرب این مقدار در تعداد پره‌های پایان عمر، مقدار ضایعات پره‌های توربین بادی، معادل ۶۰۲ تن خواهد بود. این حجم از پسماند، تنها مربوط به توربین‌های نصب شده توسط شرکت صبا نیرو است توربین‌های بادی دیگر نیز توسط مجموعه مینا بعد از سال ۹۰ نصب گردیده‌اند که دارای پره‌هایی با طول ۴۰ متر یا بیشتر هستند که وزنی معادل ۲ تن دارند. با خروج از سرویس این توربین‌ها در دهه آینده، حجم ضایعات به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. پره‌های توربین بادی ماهیتاً دشوار برای بازیافت هستند. به همین دلیل، بسیاری کشورها به دنبال روش‌های حرارتی یا مکانیکی برای بازیافت این پره‌ها هستند. دفن پره‌ها در زمین نیز مشکلاتی مثل اشغال فضای زیاد، پایداری طولانی مدت مواد و ایجاد مانع برای تجزیه طبیعی ایجاد می‌کند. به همین دلیل، دفن به عنوان گزینه نهایی و نامطلوب در نظر گرفته می‌شود. برخی کشورها از روش‌های بازیافت انرژی مثل تبدیل به سوخت در کوره‌های سیمان استفاده می‌کنند. با وجود این،

صنعت ساخت لوله کامپوزیت در ایران بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان الیاف شیشه و رزین‌های گرماسخت است که رتبه اول تناژ محصول تولیدی را به خود اختصاص می‌دهد. لوله‌های کامپوزیتی در سامانه‌های انتقال آب، فاضلاب، دستگاه‌های آتش‌نشانی، نیروگاه‌ها و صنایع نفت، گاز و پتروشیمی کاربرد دارند. میزان تولید گسترده و نیاز به آزمون‌های کنترل کیفیت باعث شده است که ضایعات تولیدی این بخش سهم قابل توجهی در پسماند کامپوزیتی کشور داشته باشد. این حوزه یکی از پایدارترین منابع ضایعات کامپوزیتی در کشور است و بدون وجود دستگاه‌های جمع‌آوری، پردازش و بازیافت، این حجم از پسماند در حال تبدیل شدن به چالش زیست‌محیطی جدی است.

حدود ۱۱ شرکت شناخته‌شده به عنوان تولیدکنندگان اصلی لوله‌های کامپوزیتی در ایران فعالیت داشته‌اند. این شرکت‌ها عمدتاً در شهرهای شیراز، قزوین، زنجان، همدان، مشهد، تبریز و قم واقع شده‌اند. چنانچه تمامی تولیدکنندگان موجود در کشور در ظرفیت نامی خود به تولید بپردازند، ظرفیت عرضه لوله کامپوزیتی در کشور حدود ۱۲۴ هزار تن و یا ۲۷۴۵ کیلومتر تخمین زده می‌شود. از طرفی در حال حاضر، تمامی شرکت‌ها در حال تولید با ۴۰ الی ۵۰ درصد ظرفیت نامی خود هستند؛ لذا با در نظر گرفتن ضریب ۵۰ درصد، شمار کل تولید سالیانه لوله کامپوزیت در کشور به صورت واقعی به مقدار ۶۲ هزار تن در سال است. در صورتی که ظرفیت استفاده شده کاهش یا افزایش یابد، میزان ضایعات نیز به صورت مستقیم تحت تأثیر قرار می‌گیرد. یکی از مهم‌ترین منابع ضایعات در این صنعت، آزمون‌های مخرب است [۳۰]. مطابق دستورالعمل‌های استاندارد، از هر صد شاخه لوله، یک شاخه باید تحت آزمون‌های مخرب استحکامی در قالب آزمون کنترل کیفیت محصول تولیدی قرار گیرد. این شاخه پس از آزمون به طور کامل از بین می‌رود و قابل استفاده مجدد نیست. به جز ضایعات مربوط به آزمون‌های مخرب، مقدار دیگری از ضایعات نیز مربوط به مشکلات فرایندی، خطاهای اپراتوری، نقص در آغشته‌سازی الیاف، حباب‌زایی، الیاف کم‌تراکم، اشکالات قطر یا ضخامت و عدم انطباق با استانداردها است. این بخش از ضایعات معمولاً حدود یک درصد کل تولید را تشکیل می‌دهد. با جمع کردن ضایعات آزمون و ضایعات فرایندی، می‌توان گفت که حدود دو درصد از کل تولید لوله‌های کامپوزیتی به عنوان پسماند ثبت می‌شود. باتوجه به تولید ۶۲ هزار تنی، مقدار ضایعات سالانه حدود ۱۲۴۰

در ایران این فناوری‌ها هنوز توسعه نیافته‌اند و زیرساخت لازم -
 برای چنین فرایندهایی وجود ندارد. در مجموع، بخش توربین‌های
 بادی یکی از منابع مهم پسماند کامپوزیتی در کشور است و اگر از -
 همین امروز برنامه‌ریزی برای مدیریت ضایعات آن انجام نشود، در
 ۱۰ سال آینده کشور با یک چالش جدی زیست‌محیطی مواجه -
 خواهد شد.

۴- اولویت‌بندی روش‌های بازیافت کامپوزیت

۴-۲- اهداف خاص توسعه صنعت بازیافت کامپوزیت

باتوجه به شناسایی روش‌های مختلف بازیافت کامپوزیت‌ها، برای
 اولویت‌بندی روش‌های شناسایی شده بر اساس شرایط بومی
 کشور، بایستی شاخص‌های موردنیاز جهت اولویت‌بندی استخراج -
 گردد. پس از تبیین شاخص‌ها، وزن‌دهی شاخص‌ها صورت گرفته
 و روش‌های شناسایی شده اولویت‌بندی خواهد شد. -
 توسعه فناوری بازیافت کامپوزیت‌ها در کشور علاوه بر ضروری
 بودن به منظور اتخاذ تمهید مناسب برای پسماند کامپوزیت‌ها در -
 کشور، مزایای مختلفی هم در بازه‌های میان‌مدت مدت و درازمدت -
 از این رهگذر ارائه خواهند نمود. توسعه فناوری بازیافت
 کامپوزیت‌ها در کشور، علاوه بر مزایای خاصی که برای صنعت -
 کامپوزیت کشور به دنبال خواهد داشت، می‌تواند مزایای عامی در
 سطح بین‌المللی و ملی برای کشور به دنبال داشته باشد. -
 ۴-۱- اهداف عام توسعه صنعت بازیافت کامپوزیت
 بازیافت کامپوزیت‌ها در سطح بین‌المللی به‌عنوان یک اولویت
 زیست‌محیطی و اقتصادی و در سطح ملی به‌عنوان یک راهکار -
 چندبعدی مطرح است که به کاهش پسماندهای صنعتی کمک
 می‌کند و اثرات مثبت اقتصادی و اجتماعی به همراه دارد. اهداف -
 عام و افق‌های قابل حصول به واسطه بازیافت کامپوزیت‌ها در
 سطح بین‌المللی و ملی کشور را می‌توان در موارد ذیل برشمرد:
 - کاهش مصرف منابع اولیه، کاهش مصرف معادن و منابع طبیعی و
 کاهش مصرف انرژی
 - کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از فرایندهای استخراج مانند
 آلودگی خاک و آب و مدیریت هزینه‌های پسماند
 - تحقق اهداف توسعه پایدار سازمان ملل
 - افزایش نرخ تولید محصولات کامپوزیت در کشور و امکان ایجاد
 فرصت‌های شغلی بیشتر در صنایع مربوطه

۴-۳- تبیین شاخص‌های اساسی برای اولویت‌بندی

بازیافت کامپوزیت‌ها فارغ از روش مورد استفاده موجب کاهش
 مصرف منابع طبیعی می‌گردد. همچنین هم‌راستایی با اهداف توسعه
 پایدار سازمان ملل، توسعه روابط بین‌المللی و تحکیم جایگاه
 سیاسی، امکان صادرات و افزایش صادرات غیرنفتی را کم‌وبیش
 به‌صورت یکسان موجب خواهند شد؛ بنابراین از میان اهداف عام
 تعریف شده، برخی از اهداف در مورد همه روش‌های بازیافت
 یکسان بوده، درنظرگرفتن آنها در مورد روش‌ها باعث ایجاد برتری
 نخواهد شد. لذا در این مرحله، شاخص‌هایی که برای همه روش‌ها

در ادامه، بر اساس استفاده از ۱۶ شاخص فوق به اولویت بندی روش های بازیافت کامپوزیت های مربوط به پره توربین بادی و لوله و مخازن پرداخته خواهد شد.

۴-۴- رتبه بندی حوزه های جذاب به روش تعاملی

روش های بازیافت کامپوزیت ها به کمک ۱۶ شاخص کلیدی اولویت بندی می شوند. وزن دهی این شاخص ها بر اساس اهمیت آنها صورت می گیرد. به این منظور، روش تصمیم گیری چندمعیاره SMART به کار برده می شود [۳۱]. گام های طی شده در این روش به قرار ذیل هستند:

گام ۱) شاخص ها بر اساس اهمیت رتبه بندی می گردند. در این اولویت دهی شاخص های عام در مراتب پایین اهمیت و به صورت مشخص شاخص هایی که با حوزه پره توربین بادی و لوله و مخازن مرتبط است، اولویت بالاتر را به خود اختصاص داده اند. شاخص های تبیین شده به شرح ذیل از اولویت بالا به پایین مرتب شده اند:

- کاهش مصرف انرژی
 - کاهش آلودگی محیط زیست
 - کاهش قیمت تمام شده محصول
 - افزایش اشتغال
 - سهولت مقیاس پذیری فرایند بازیافت
 - افزایش توان فنی - مهندسی
 - سهولت دستیابی به فناوری و بومی سازی آن
 - وجود تجربه مشابه در کشور
 - میزان سرمایه گذاری اولیه فرایند بازیافت
 - رونق صنایع کامپوزیت رده پایین
 - توسعه صنعت مبلمان شهری
 - سهولت تعمیر و نگهداری سازه های کامپوزیت
 - توسعه صنعت ماشین سازی و تجهیزات
 - افزایش کارآیی، عمر و عملکرد در سایر صنایع
 - مدت زمان فرایند بازیافت
 - میزان نیاز به نیروی متخصص
- گام ۲) به کم اهمیت ترین شاخص، یعنی شاخص شماره ۱۶، عدد ۱۰ واگذار می شود.
- گام ۳) سایر شاخص ها متناسب با اهمیت شان نسبت به شاخص ۱۶ به ترتیب ذیل عدد می گیرند:

یکسان عمل می نمایند از گردونه تعیین شاخص حذف می شوند و تنها مواردی باقی می ماند که برای روش های بازیافت به صورت یکسان نمی باشند و به شرح ذیل به آنها اشاره می شود:

- ۱- کاهش مصرف انرژی
- ۲- کاهش آلودگی محیط زیست
- ۳- توسعه صنعت ماشین سازی و تجهیزات
- ۴- افزایش کارآیی، عمر و عملکرد در سایر صنایع
- ۵- توسعه صنعت مبلمان شهری

از میان اهداف خاص بازیافت کامپوزیت، کاهش ریسک های زنجیره تأمین مواد اولیه، کاهش وابستگی به واردات الیاف، افزایش توان رقابتی صنعت کامپوزیت کشور در بازار جهانی، توسعه و ترویج استفاده از کامپوزیت های سبز و ترویج اقتصاد چرخشی و پایدار به صورت یکسان برای همه روش ها عمل می نمایند؛ لذا این شاخص ها از گردونه رتبه بندی حذف خواهند شد. بنابراین؛ در امتداد ۵ شاخص ناشی از اهداف عام، ۵ شاخص ذیل نیز از اهداف خاص به مجموعه شاخص ها برای اولویت بندی روش های بازیافت کامپوزیت ها افزوده می شود:

- ۶- کاهش قیمت تمام شده محصول
- ۷- افزایش اشتغال
- ۸- افزایش توان فنی - مهندسی
- ۹- سهولت تعمیر و نگهداری سازه های کامپوزیت
- ۱۰- رونق صنایع کامپوزیت رده پایین

علاوه بر موارد فوق، به منظور اولویت بندی و رتبه دهی روش های بازیافت کامپوزیت ها، می بایستی به شاخص های مهم دیگری از منظر زیرساختی و تجارب صنعتی خبرگان توجه نمود. شاخص های ناشی از توجه به مسائل زیرساختی و تجارب صنعتی که در این تحقیق برای رتبه بندی فرایندهای بازیافت تعریف می گردد و در امتداد شاخص های قبلی مورد نظر قرار خواهند گرفت؛ به شرح ذیل است:

- ۱۱- سهولت دستیابی به فناوری و بومی سازی آن
- ۱۲- وجود تجربه مشابه در کشور
- ۱۳- میزان سرمایه گذاری اولیه فرایند بازیافت
- ۱۴- سهولت مقیاس پذیری فرایند بازیافت (استفاده در تناژ بالای پسماند)
- ۱۵- مدت زمان فرایند بازیافت
- ۱۶- میزان نیاز به نیروی متخصص

گام ۵) به هر شاخص بین عدد ۱ تا ۵ برای هرکدام از روش‌های بازیافت کامپوزیت‌ها به صورت مقایسه‌ای، امتیاز داده می‌شود.

گام ۶) امتیاز هر شاخص در وزن آن ضرب شده، مجموع امتیاز برای هر قطعه محاسبه می‌گردد.

در امتیازدهی شاخص‌ها، برای تمام شاخص‌ها، امتیاز ۴ یا ۵، برای درجه تأثیر بسیار بالا و بالا، امتیاز ۳ یا ۲ برای درجه تأثیر متوسط و امتیاز ۱ برای درجه اهمیت پایین در نظر گرفته می‌شود که در جدول (۱) نشان داده شده است:

□ شاخص ۱۵ = ۲۰

□ شاخص ۱۴ = ۳۰

□

□

□

□ شاخص ۱ = ۱۶۰

گام ۴) با تقسیم عدد هر شاخص به جمع کل اعداد، وزن نرمالایز شده هر شاخص محاسبه می‌گردد.

جدول ۱: اولویت‌بندی فرایندهای بازیافت کامپوزیت‌ها در کشور

شاخص وزن	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	جمع
فرآیند بازیافت	۰.۱۱۸	۰.۱۱	۰.۱۰۳	۰.۰۹۶	۰.۰۸۸	۰.۰۸۱	۰.۰۷۴	۰.۰۶۶	۰.۰۵۹	۰.۰۵۱	۰.۰۴۴	۰.۰۳۷	۰.۰۲۹	۰.۰۲۲	۰.۰۱۵	۰.۰۰۷	
باز استفاده با تغییر کاربری	۵	۵	۵	۱	۱	۱	۵	۱	۵	۱	۵	۲	۱	۱	۵	۵	۳.۱۵
تغییر شکل و اندازه برای کاربردهای ثانویه	۵	۵	۵	۱	۱	۱	۵	۱	۵	۱	۵	۲	۱	۱	۵	۵	۳.۱۵
استفاده به صورت ماده متراکم	۳	۴	۳	۳	۴	۴	۴	۵	۳	۵	۳	۴	۳	۵	۳	۳	۳.۶۷
تبدیل - روش‌های مکانیکی	۴	۴	۴	۵	۵	۳	۴	۴	۳	۵	۳	۵	۵	۵	۳	۳	۴.۱۲
تبدیل - روش‌های حرارتی	۱	۳	۴	۵	۳	۳	۳	۱	۵	۵	۳	۴	۵	۴	۲	۲	۳.۳۴
تبدیل - روش‌های شیمیایی	۲	۳	۴	۴	۲	۳	۲	۱	۴	۵	۳	۴	۳	۴	۲	۲	۲.۹۹
تبدیل - روش‌های ترکیبی	۳	۳	۳	۵	۴	۴	۴	۱	۴	۵	۳	۴	۵	۵	۲	۲	۳.۵۸
بازیابی الیاف با کیفیت بالا	۳	۳	۴	۳	۳	۵	۲	۱	۵	۳	۵	۱	۳	۳	۲	۲	۳.۱۴

در این میان، چاپ سه‌بعدی با استفاده از مواد کامپوزیتی و نانوکامپوزیتی به‌عنوان یکی از روش‌های تولید نوین، در ایران مورد توجه قرار گرفته و تحقیقاتی در حوزه چاپ نمونه‌های آزمایشی نانوکامپوزیتی صورت گرفته است [۳۴-۳۶]. با این حال، استفاده از مواد بازیافتی در چاپ سه‌بعدی به صورت جدی مورد توجه قرار نگرفته است. علاوه بر این، حوزه مهندسی مکانیک و ماشین‌آلات نیز به‌ویژه در زمینه طراحی و ساخت دستگاه‌های مورد استفاده در بازیافت کامپوزیت‌ها نیازمند توجه بیشتری است و باید به‌عنوان پایه‌ای برای توسعه زنجیره بازیافت، باید به صورت یکپارچه در برنامه‌های تحقیقاتی ملی مورد پیگیری قرار گیرد [۳۷].

۶- جمع‌بندی

در این پژوهش، با تمرکز بر سیاست‌گذاری مؤثر در حوزه بازیافت پسماندهای کامپوزیتی، روش‌های مکانیکی و متراکم‌سازی به‌عنوان دو رویکرد برتر برای مدیریت ضایعات کلیدی صنعت کامپوزیت کشور اولویت‌بندی شدند. این روش‌ها بر اساس معیارهایی مانند

۵- علم و فناوری در حوزه بازیافت کامپوزیت

فعالیت‌های تحقیقاتی و صنعتی در حوزه مواد کامپوزیتی و نانوکامپوزیتی در ایران به‌ویژه از سال ۱۳۷۵، شاهد رشد قابل‌توجهی بوده است. این رشد فعالیت‌های تحقیقاتی به صورت مشخص نشأت گرفته از توسعه صنایع کامپوزیت در کشور و افزایش قابل توجه میزان مصرف مواد کامپوزیت در صنایع مختلف و به خصوص صنایع زیربنایی می‌باشد. ولیکن حوزه بازیافت پسماند تولید شده در این صنایع، همچنان نیازمند توجه جدی می‌باشد. پروژه‌های تحقیقاتی گسترده‌ای برای بازیافت کامپوزیت‌ها در کشورهای پیشرفته مانند آلمان، ژاپن، کانادا و هلند انجام شده است [۳۲، ۳۳]. در کشورهای اروپایی نیز به دلیل چالش بازیافت پره‌های طولیل توربین بادی، سیاست‌های جامعی در این حوزه در نظر گرفته شده‌اند. این تفاوت در سطح تحقیق و اجرای عملی، نشان‌دهنده این است که ایران در این حوزه هنوز در مراحل اولیه و رتبه‌های جهانی و منطقه‌ای پایینی قرار دارد.

Part B, vol. 223, p. 9, 2021, Art no. 109120, doi: 10.1016/j.compositesb.2021.109120.

[7]. B. F. Jelle Joustra, Ruud Balkenende, "Structural reuse of wind turbine blades through segmentation," Composites Part C: Open Access, vol. 5, p. 11, 2021, Art no. 100137, doi: 10.1016/j.jcomc.2021.100137.

[8]. L. O. D. Géraldine Oliveux, Gary A. Leeke, "Current status of recycling of fibre reinforced polymers: Review of technologies, reuse and resulting properties," Progress in Materials Science, vol. 72, p. 39, 2015, doi: 10.1016/j.pmatsci.2015.01.004.

[9]. J. K. Amirmohammad Rahimizadeh, Rodolphe Henri, Kazem Fayazbakhsh, and Larry Lessard, "Recycled Glass Fiber Composites from Wind Turbine Waste for 3D Printing Feedstock: Effects of Fiber Content and Interface on Mechanical Performance," Materials, vol. 12, p. 18, 2019, Art no. 3929, doi: 10.3390/ma12233929.

[10]. M. T. Amirmohammad Rahimizadeh, Kazem Fayazbakhsh, Larry Lessard, "Tensile properties and interfacial shear strength of recycled fibers from wind turbine waste," Composites Part A, vol. 131, p. 12, 2020, Art no. 105786, doi: 10.1016/j.compositesa.2020.105786.

[11]. A. R. Zhengshu Yan, Yixue Zhang, Yuheng Zhou, Larry Lessard, "A finite element model for 3D printed recycled parts from end-of-life wind turbine blades," Composite Structures, vol. 320, p. 13, 2023, Art no. 117177, doi: 10.1016/j.compstruct.2023.117177.

[12]. S. S. K. Hardik K. Jani, Garlapati Nagababu, Alok Das, "A brief review on recycling and reuse of wind turbine blade materials," Materials Today: Proceedings, vol. 62, p. 7, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.02.049.

[13]. S. Y. Guangwen Cheng, Xiaoqian Wang, Zhongxu Guo, Ming Cai, "Study on the recycling of waste wind turbine blades," Journal of Engineering Research, vol. xxx, p. 5, 2023, Art no. xxx, doi: 10.1016/j.jer.2023.100070.

[14]. M. J. Leon, "Recycling of wind turbine blades: Recent developments," Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, vol. 39, p. 7, 2023, Art no. 100746, doi: 10.1016/j.cogsc.2022.100746.

[15]. J. K. Amirmohammad Rahimizadeh, Kazem Fayazbakhsh, Larry Lessard, "Recycling of fiberglass wind turbine blades into reinforced filaments for use in Additive Manufacturing," Composites Part B, vol. 175, p. 11, 2019, Art no. 107101, doi: 10.1016/j.compositesb.2019.107101.

[16]. Z.-H. G. Ming-Yuan Shen, Wan-Ting Feng, "A study on the characteristics and thermal properties of modified regenerated carbon fiber reinforced thermoplastic composite recycled from waste wind turbine blade spar," Composites Part B, vol. 264, p.

هزینه، نیاز به تجهیزات پیچیده، سرعت اجرا، زیرساخت‌های بومی، اثرات زیست‌محیطی و پذیرش بازار، بالاترین رتبه را کسب کردند. در مقایسه با سایر روش‌ها که با محدودیت‌های فناوری و انرژی کشور ناسازگارند، این رویکردها امکان بازیابی اقتصادی الیاف و رزین برای کاربردهای ثانویه مانند پرکننده‌های ساختمانی، بتن‌های کامپوزیتی و مواد جاده‌ای را فراهم می‌آورند. اجرای سیاست‌های مبتنی بر آن‌ها حجم پسماندهای انباشته‌شده را کاهش می‌دهد، چرخه بازیافت را تسریع می‌بخشد، صرفه‌جویی اقتصادی قابل‌توجهی ایجاد و تهدیدهای زیست‌محیطی را به فرصت‌های پایدار تبدیل می‌کند و زمینه‌ساز توسعه صنعت بازیافت ملی می‌گردد.

«این مقاله یا بخشی از آن پیش‌تر به چاپ نرسیده است و در فرایند نگارش آن از ماشین‌ها و ابزارهای هوش مصنوعی استفاده نشده است.»

Reference

منابع

[1]. Z. U. A. Muhammad Yasir Khalid, Mokarram Hossain, Rehan Umer, "Recycling of wind turbine blades through modern recycling technologies: A road to zero waste," Renewable Energy Focus, vol. 44, p. 17, 2023, doi: 10.1016/j.ref.2023.02.001.

[2]. K. S. J.P. Jensen, "Wind turbine blade recycling: Experiences, challenges and possibilities in a circular economy," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 97, p. 12, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.08.041.

[3]. P. C. Manjeet Rani, Venkata Krishnan, Sunny Zafar, "A review on recycling and reuse methods for carbon fiber/glass fiber composites waste from wind turbine blades," Composites Part B, vol. 215, p. 15, 2021, Art no. 108768, doi: 10.1016/j.compositesb.2021.108768.

[4]. B. F. Jelle Joustra, Ruud Balkenende, "Structural reuse of high end composite products: A design case study on wind turbine blades," Resources, Conservation & Recycling, vol. 167, p. 10, 2021, Art no. 105393, doi: 10.1016/j.resconrec.2020.105393.

[5]. M. S. Muhammad Ateeq, Anam Azam, Muhammad Rafiq, "A review of 3D printing of the recycled carbon fiber reinforced polymer composites: Processing, potential, and perspectives," Journal of Materials Research and Technology, vol. 26, p. 19, 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.07.171.

[6]. Y. P. Yixue Zhang, Larry Lessard, Aart Willem van Vuure, "Recycling and valorization of glass fibre thermoset composite waste by cold incorporation into a sustainable inorganic polymer matrix," Composites

- Waste Systems, vol. 13, p. 15, 2026, Art no. 100462, doi: 10.1016/j.clwas.2025.100462.
- [۲۷]. گلپریان ن.، علاقه‌بند ا.، حجتی ر.، اسفندیاری ک.، هاشمی ح. (۱۳۸۷). راهنمای صنعت کامپوزیت، انجمن کامپوزیت ایران، چاپ اول، ص ۳۳۴.
- [۲۸]. شرکت گوریت (۱۴۰۴). راهنمای کامپوزیت‌ها، رحیمی ع.، چاپ اول، کتبیبه نوین، ص ۱۲۶.
- [۲۹]. "آشنایی با لوله‌های کامپوزیتی"، انجمن کامپوزیت ایران، ۱۳۹۵.
- [30]. R. Rafiee, "On the mechanical performance of Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin pipes: A Review," *Journal of Composite Structures*, vol. 143, p. 14, 2016, doi: 10.1016/j.compstruct.2016.02.037.
- [۳۱]. مارکو ا. (۱۳۹۸). هنر هدف‌گذاری به روش اسمارت، موسسه آموزشی تالیفی ارشدان، چاپ اول، ص ۶۰.
- [۳۲]. رفیعی ر.، عموحاجی ه. (۱۴۰۴). مطالعه تجربی و پیش بینی استحکام کششی نمونه نانوکامپوزیتی تولید شده با چاپگر سه بعدی، مجله مهندسی ساخت و تولید ایران، دوره ۱۲، شماره ۳، صص ۱ - ۹.
- [۳۳]. رفیعی ر.، خزمه ه.، عموحاجی ه. (۱۴۰۴). بهینه سازی پارامترهای فرایند چاپ سه بعدی برای تولید نانوکامپوزیت‌های CNT/ABS با استفاده از روش تاگوچی، نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری کامپوزیت، جلد ۱۲، شماره ۱، صص ۲۶۸۱-۲۶۹۲.
- [34]. H. A. R. Rafiee, "Predicting strength of additively manufactured polymeric nanocomposites based on filament properties," *Polymer Composites*, vol. 46, no. 16, p. 13, 2025, doi: 10.1002/pc.30088.
- [35]. H. K. R. Rafiee, "Analyzing the impact response of 3D printed polymeric nanocomposites," *Materials Today Communications*, vol. 51, 2026, Art no. 114658, doi: 10.1016/j.mtcomm.2026.114658.
- [36]. H. A. Rafiee, H. Khezma, "Estimating strength of 3D-printed polymers based on the appraisal of available models," *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 34, p. 11, 2025, doi: 10.1007/s11665-025-10880-9.
- [۳۷]. هووا س. (۱۳۹۸). مبانی ساخت مواد مرکب (کامپوزیت)، طاهری بهروز ف.، هوشنگی ح.، چاپ اول، مرکز نشر دانشگاهی، ص ۳۴۶.
- 12, 2023, Art no. 110878, doi: 10.1016/j.compositesb.2023.110878.
- [17]. N. S. Nandini Ramawat, Pranaya Yamba, Madhavchary A T Sanidhi, "Recycling of polymer-matrix composites used in the aerospace industry- A comprehensive review," *Materials Today: Proceedings*, vol. xxx, p. 6, 2023, Art no. xxx, doi: 10.1016/j.matpr.2023.05.386.
- [18]. S. A. H. Y. Tao, Y. Wei, "Recycling of glass fibre reinforced polymer (GFRP) composite wastes in concrete: A critical review and cost benefit analysis," *Structures*, vol. 53, p. 17, 2023, doi: 10.1016/j.istruc.2023.05.018.
- [19]. Y. S. Dylan S. Cousins, Robynne E. Murray, Joseph R. Samaniuk, Aaron P. Stebner, "Recycling glass fiber thermoplastic composites from wind turbine blades," *Journal of Cleaner Production*, vol. 209, p. 12, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.10.286.
- [20]. G. X. Rosario Fonte, "Wind turbine blade recycling: An evaluation of the European market potential for recycled composite materials," *Journal of Environmental Management*, vol. 287, p. 14, 2021, Art no. 112269, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112269.
- [21]. S. B. Wenjian Guo, Yicong Ye and Li'an Zhu, "Recycling carbon fiber-reinforced polymers by pyrolysis and reused to prepare short-cut fiber C/C composite," *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 0, p. 9, 2019, doi: 10.1177/0731684418822144.
- [22]. H. L. Seyed Hossein Mamanpush, Karl Englund, Azadeh Tavousi Tabatabaei, "Recycled wind turbine blades as a feedstock for second generation composites," *Waste Management*, vol. 76, p. 7, 2018, doi: 10.1016/j.compstruct.2023.117177.
- [23]. L. Y. K. Pender "Regenerating performance of glass fibre recycled from wind turbine blade," *Composites Part B*, vol. 198, p. 10, 2020, Art no. 108230, doi: 10.1016/j.compositesb.2020.108230.
- [24]. O. A. H. Dmitry Baturkin, Radhouane Masmoudi, Arezki Tagnit-Hamou, Luc Massicotte, "Valorization of recycled FRP materials from wind turbine blades in concrete," *Resources, Conservation & Recycling*, vol. 174, p. 10, 2021, Art no. 105807, doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105807.
- [25]. A. Y. a. L. C. Bank, "A Critical Review of Research on Reuse of Mechanically Recycled FRP Production and End-of-Life Waste for Construction," *polymers*, vol. 6, p. 17, 2014, doi: 10.3390/polym6061810.
- [26]. M. I. Edbert R. Lumbantobing, "Valorization of recycled GFRP fibers and flakes from decommissioned boats in concrete: Effects on mechanical and microstructural properties," *Cleaner*

توسعه پایدار با فتوولتائیک‌های یکپارچه: از فناوری تا حکمرانی پروژه‌ها

مهدی پاک نژاد^۱، سید فرید قنادپور^{۱*}

چکیده

تغییرات اقلیمی جهان را به سمت ساخت ساختمان‌های انرژی‌صفر هدایت کرده است. پنل‌های خورشیدی سیلیکونی به دلیل وزن زیاد و شکنندگی، محدودیت‌های فراوانی برای نصب در شهرها دارند. در سال‌های اخیر، پنل‌های خورشیدی پلیمری و پروسکایتی به‌عنوان یک جایگزین جذاب معرفی شده‌اند. این پنل‌های نوین انعطاف‌پذیر هستند و می‌توانند نور مرئی را از خود عبور دهند. همچنین با استفاده از ساختارهای تاندم (چندپیوندی)، بازدهی این پنل‌ها افزایش چشمگیری یافته است. این پنل‌ها می‌توانند در نمای ساختمان‌ها ادغام شوند و مفهوم فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان را به‌صورت عملی محقق کنند. باوجود این پیشرفت‌های فنی، تجاری‌سازی این فناوری با چالش‌های مهمی روبه‌رو است. خطر گسترش آتش در نمای ساختمان‌ها، نشست گردوغبار و پیچیدگی‌های اقتصادی از جمله این چالش‌ها هستند. این مقاله با زبانی ساده، فناوری‌های نوین خورشیدی را معرفی می‌کند. سپس چالش‌های بهره‌برداری و ایمنی را مورد بررسی قرار می‌دهد. در نهایت، نقش کلیدی مدیریت پروژه تطبیقی برای غلبه بر این موانع تحلیل می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که اجرای موفق این پروژه‌ها در ایران، نیازمند هماهنگی میان‌رشته‌ای و اصلاح قوانین توسعه شهری است.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت:

۱۷ خرداد ۱۴۰۵

تاریخ بازنگری:

۱۹ خرداد ۱۴۰۵

تاریخ پذیرش:

۲۱ خرداد ۱۴۰۵

تاریخ انتشار:

۳۱ خرداد ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:

فتوولتائیک یکپارچه،

پروسکایت،

ایمنی حریق،

اقتصاد چرخشی،

مدیریت پروژه تطبیقی

استناد: پاک نژاد، مهدی؛ قنادپور، سید فرید . (۱۴۰۵). توسعه پایدار با فتوولتائیک‌های یکپارچه: از فناوری تا حکمرانی پروژه‌ها. *نشاء علم*، ۱۶ (۱)، ص ۸۸-۹۴.



ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران

© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

* عهده‌دار مکاتبات: دانشیار. تلفن: ۷۳۲۲۵۰۱۵ (+۹۸۲۱)، دورنگار: ۷۳۰۲۱۲۱۴ (+۹۸۲۱)، آدرس الکترونیکی: Ghannadpour@iust.ac.ir

^۱ گروه مدیریت بهره‌وری و پروژه، دانشکده صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۱. مقدمه و ضرورت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر

مصرف انرژی در ساختمان‌ها یکی از عوامل اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان است. آژانس بین‌المللی انرژی گزارش داده است که ساختمان‌ها بیش از سی درصد از کل انرژی جهان را مصرف می‌کنند [۱]. به همین دلیل، کاهش مصرف انرژی در بخش ساختمان برای مقابله با تغییرات اقلیمی بسیار مهم است. مفهوم ساختمان‌های انرژی‌صفر در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. این ساختمان‌ها باید بتوانند انرژی مورد نیاز خود را به طور کامل از منابع پاک و محلی تأمین کنند. خورشید یکی از پاک‌ترین و در دسترس‌ترین منبع انرژی برای تحقق این هدف بزرگ است.

با این حال استفاده از پنل‌های خورشیدی سنتی در شهرها با محدودیت‌های بزرگی همراه است. پنل‌های سیلیکونی رایج در بازار وزن بسیار زیادی دارند، ساختار آن‌ها شکننده است و ظاهر تیره دارند. این ویژگی‌ها باعث می‌شود معماران تمایلی به استفاده از آن‌ها در نمای ساختمان‌های مدرن نداشته باشند [۲].

برای غلبه بر این محدودیت‌ها فناوری فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان^۱ (BIPV) معرفی شده است. در این فناوری پنل خورشیدی دیگر یک وسیله اضافی روی سقف نیست. این پنل‌ها به طور مستقیم جایگزین مصالح ساختمانی در نما می‌شوند [۳]. این رویکرد نوآورانه به شهرها کمک می‌کند تا از سطح وسیع نمای عمودی برای تولید برق استفاده کنند. با این وجود توسعه موفقیت‌آمیز این فناوری نیازمند مواد نوین و تغییر در ساختارهای مدیریت پروژه‌های شهری است.

۲. گذار فناوری: از سلول‌های پایه تا معماری تاندم

نسل‌های جدید سلول‌های خورشیدی تفاوت‌های بنیادینی با هم‌تایان سیلیکونی خود دارند. دانشمندان برای رفع مشکلات وزن و شکنندگی به سراغ مواد شیمیایی جدیدی رفته‌اند. دو دسته مهم از این مواد، فتوولتائیک‌های ارگانیک^۲ (OPV) و سلول‌های خورشیدی پروسکایتی^۳ (PSC) هستند. این مواد نیمه‌رسانا می‌توانند در حلال‌های خاصی حل شوند و این ویژگی باعث

می‌شود پنل‌های خورشیدی مانند جوهر روی رول‌های پلاستیکی منعطف چاپ شوند [۴].

سلول‌های خورشیدی ارگانیک، با برخورداری از وزن بسیار کم و انعطاف‌پذیری کامل، قابلیت عبور نور مرئی و تولید هم‌زمان برق را دارا هستند [۵]. از سوی دیگر، سلول‌های پروسکایتی به دلیل ساختار بلوری خاص خود بازدهی فوق‌العاده‌ای ارائه می‌دهند [۶]؛ اما هر یک از این فناوری‌ها به‌تنهایی در جذب تمام طیف‌های نوری با محدودیت‌هایی مواجه‌اند.

برای عبور از این محدودیت‌ها، دانشمندان معماری تاندم یا چندپیوندی را توسعه داده‌اند که در آن، قرارگیری چند لایه از مواد مختلف روی یکدیگر به‌گونه‌ای عمل می‌کند که لایه بالایی نور مرئی را جذب کرده و لایه پایینی اشعه فروسرخ را به دام می‌اندازد [۷]. این همکاری در سطح مولکولی با کاهش چشمگیر هدررفت گرما، راندمان پنل‌ها را به شدت افزایش داده است؛ به‌طوری که گزارش‌های علمی نشان می‌دهند سلول‌های تاندم پروسکایت-سیلیکون با عبور از مرز بازدهی سی و سه درصد، توانسته‌اند برتری تاریخی سیلیکون را در هم بشکنند [۸].

استفاده از این پنل‌های نوین تنها به نمای ساختمان‌ها محدود نمی‌شود، بلکه در کشاورزی هوشمند نیز پنل‌های نیمه‌شفاف به‌عنوان پوشش گلخانه‌ها به کار می‌روند تا ضمن عبور نور لازم برای رشد گیاهان، برق تجهیزات را نیز تأمین کنند [۹]. علاوه بر این، نصب این پنل‌ها روی سقف خودروهای الکتریکی برای شارژ مداوم باتری‌ها [۱۰]، نشان‌دهنده تحولی اساسی در توسعه زیرساخت‌های انرژی شهری است.

۳. ادغام در معماری: زیبایی‌شناسی و پنجره‌های هوشمند

معماران و طراحان شهری همواره به ظاهر ساختمان‌ها توجه ویژه‌ای دارند و رنگ تیره و یکنواخت پنل‌های سنتی همیشه یکی از موانع اصلی توسعه فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان به شمار می‌رفته است. برای حل این مشکل، پژوهشگران فناوری رنگ‌بندی ساختاری را معرفی کرده‌اند که با استفاده از نانوذرات و ساختارهای میکروسکوپی برای بازتاب طیف خاصی از نور [۱۱]،

^۱ Building-integrated photovoltaics (BIPV)

^۲ Organic photovoltaics (OPV)

^۳ Perovskite solar cell (PSC)

شیشه‌ای و الکترودهای زیرین کاملاً سالم باقی بمانند. این تجهیزات سالم بلافاصله برای چاپ مجدد جوهر خورشیدی جدید مورد استفاده قرار می‌گیرند که این امر هزینه‌های بلندمدت پروژه‌ها را به میزان چشمگیری کاهش می‌دهد.

۵. چالش‌های بهره‌برداری در مقیاس شهری و راهکارهای مهندسی

۱.۵. مدیریت حرارت و تولید همزمان برق و گرما

تابش شدید آفتاب با افزایش دمای پنل‌های خورشیدی، نه تنها بازدهی تولید برق را کاهش می‌دهد، بلکه موجب فرسودگی زودهنگام لایه‌های پلیمری می‌گردد [۲۰]. متخصصان برای حل این مشکل، سیستم‌های فتوولتائیک حرارتی یکپارچه با ساختمان را طراحی کرده‌اند [۲۱]. در این سیستم‌ها تعبیه یک کانال هوای ویژه در پشت پنل و استفاده از فناوری‌هایی مانند برخورد جت هوا، باعث عبور سریع هوای خنک می‌شود [۲۲]. این جریان هوا ضمن خنک کردن پنل و افزایش بازدهی الکتریکی آن، گرمای تولید شده را به خود جذب کرده و به یک منبع حرارتی ارزشمند تبدیل می‌شود [۲۳]. بدین ترتیب با هدایت مستقیم این هوای گرم به سیستم‌های گرمایش و تهویه ساختمان، پنل خورشیدی به طور هم‌زمان برق و حرارت تولید می‌کند.

۲.۵. ایمنی حریق و کاهش ریسک

نصب پنل‌های خورشیدی در نمای برج‌ها همواره دغدغه‌های ایمنی مانند خطر آتش‌سوزی را به همراه دارد، زیرا فضای خالی بین پنل و دیوار با ایجاد اثر دودکش در زمان حریق بسیار خطرناک عمل می‌کند [۲۴]. این پدیده جریان هوای بالارونده را تشدید کرده و شعله‌های آتش را با سرعت به طبقات بالاتر می‌کشد [۲۵]. با این حال علم مهندسی راهکارهای مؤثری برای مهار این خطر ارائه داده است؛ به‌طوری که در پنل‌های جدید استفاده از ورقه‌های فولادی نازک در پشت پنل، مقاومت سامانه در برابر گسترش شعله را افزایش داده و احتمال سرایت آتش را کاهش می‌دهد [۲۶]. در کنار رعایت فاصله‌هایی مناسب و استفاده از عایق‌های نسوز، نصب سنسورهای هوشمند برای جلوگیری از جرقه زدن کابل‌ها نیز نقش حیاتی دارد [۲۷]. این سنسورها با بهره‌گیری از هوش

ظاهری شبیه به سنگ مرمر یا آجر سفالی به پنل‌ها می‌بخشد [۱۲]. اگرچه ایجاد این رنگ‌ها به دلیل بازتاب بخشی از نور خورشید باعث کاهش اندک بازدهی می‌شود، اما مزایای زیبایی‌شناختی آن پذیرش این فناوری را در پروژه‌های شهری به شدت افزایش داده است.

علاوه بر این، پیشرفت‌های جدید به سمت تولید پنجره‌های خورشیدی هوشمندی حرکت کرده‌اند که می‌توانند میزان عبور نور و گرما را بر اساس شرایط محیطی تغییر دهند [۱۳]. برای نمونه، پنجره‌های الکتروکرومیک با دریافت یک جریان الکتریکی بسیار ضعیف در روزهای گرم تیره می‌شوند تا از ورود گرمای بیش‌ازحد جلوگیری کنند. همچنین ترکیب مواد تغییرفازدهنده در این پنجره‌ها راهکاری بسیار کارآمد است [۱۴]، چرا که این مواد با جذب گرمای اضافی محیط در طول روز و آزادسازی آن در هنگام شب، نوسانات دمایی داخل ساختمان را به حداقل رسانده و مصرف انرژی را به شدت کاهش می‌دهند.

۴. تجاری‌سازی پایدار: تولید دوستدار محیط‌زیست و

اقتصاد چرخشی

از آنجاکه تولید صنعتی پنل‌های خورشیدی نوین باید از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی پایدار باشد، محققان حلال‌های سبز مبتنی بر منابع طبیعی را جایگزین حلال‌های شیمیایی و سمی گذشته کرده‌اند [۱۵]. استفاده از این حلال‌های ایمن با فراهم کردن امکان چاپ پنل‌ها در هوای آزاد [۱۶]، راه را برای تولید انبوه با استفاده از روش چاپ پیوسته هموار می‌سازد [۱۷].

از سوی دیگر، برای رفع چالش وجود مقادیر کمی سرب در ساختار برخی سلول‌ها، مهندسان از فناوری کپسوله‌سازی با رزین اپوکسی بهره می‌برند تا پنل را در برابر رطوبت و نشست مواد سمی در شرایط سخت جوی کاملاً آب‌بندی کنند. همچنین جایگزینی فلزات گران‌بها با الکترودهای کربنی نه تنها هزینه تولید را کاهش داده [۱۸]، بلکه به دلیل خاصیت آب‌گریزی بالای کربن، به پایداری طولانی‌مدت پنل نیز کمک شایانی کرده است.

در نهایت، تحقق اقتصاد چرخشی یکی دیگر از دستاوردهای مهم این فناوری به شمار می‌رود، زیرا پنل‌های پلیمری در پایان عمر مفید خود قابلیت بازیافت دارند. دانشمندان با استفاده از روش انحلال انتخابی، جوهر فرسوده را شست‌وشو می‌دهند [۱۹] تا لایه

ناهم‌راستایی حکمرانی به‌عنوان موانع اصلی توسعه شهری در بخش بعدی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۶. شکاف پیاده‌سازی و ناهم‌راستایی حکمرانی در

کلان‌پروژه‌ها

پژوهشگران ریشه اجرا نشدن گسترده فناوری‌های خورشیدی در شهرها را در مفهوم شکاف پیاده‌سازی جست‌وجو می‌کنند [۳۲]. برنامه‌های کلان معمولاً با نگاهی صرفاً فنی و اقتصادی تدوین می‌شوند. اما این برنامه‌ها در مرحله اجرا در سطح شهرداری‌ها با واقعیت‌های پیچیده‌ای؛ مانند مقاومت‌های اجتماعی و بوروکراسی اداری برخورد می‌کنند [۳۳]. مطالعات نشان می‌دهد ریشه اصلی این شکست‌ها ناهم‌راستایی حکمرانی است [۳۴]. موفقیت کلان‌پروژه‌ها به هماهنگی دقیق میان نهادهای مختلف وابسته است. تفاوت در منطق کاری و سرعت تصمیم‌گیری میان نهادهای قانون‌گذار، مالی و زیرساختی باعث توقف پروژه‌ها می‌شود. این ناهم‌راستایی در چهار بعد اساسی نمایان می‌شود [۳۵].

نخست ناهم‌راستایی مکانی است. تولید برق خورشیدی معمولاً در مناطق دور از مراکز پرجمعیت انجام می‌شود. انتقال این برق به شهرها نیازمند احداث شبکه‌های پرهزینه است [۳۶]. نصب پنل‌های یکپارچه در نمای ساختمان‌های شهری این مشکل را تا حد زیادی برطرف می‌کند.

دوم ناهم‌راستایی زمانی است. سرعت عمل بخش خصوصی در خرید و نصب تجهیزات بسیار بالا است. در مقابل بررسی درخواست‌های اتصال به شبکه توسط نهادهای دولتی ماه‌ها طول می‌کشد [۳۷]. این توقف زمانی باعث دلسردی سرمایه‌گذاران و کاهش توجه اقتصادی پروژه می‌شود.

سوم ناهم‌راستایی رویه‌ای است. یک پروژه شهری باید مجوزهای متعددی از اداره برق، آتش‌نشانی و شهرداری دریافت کند. گاهی استانداردهای این نهادها با یکدیگر در تضاد هستند که باعث توقف مکرر پروژه می‌شود [۳۸]. ایجاد یک درگاه واحد برای صدور مجوزها این مانع را رفع می‌کند.

چهارم ناهم‌راستایی توزیعی است. نهادهای دولتی معمولاً تمام خطرات تأمین زمین، نوسانات مالی و تأخیر شبکه را بر دوش توسعه‌دهنده قرار می‌دهند [۳۹]. این عدم تعادل باعث می‌شود

مصنوعی، نوسان‌های خطرناک برق را پیش از ایجاد شعله تشخیص داده و جریان را بلافاصله قطع می‌کنند.

۳.۵. مدیریت گردوغبار و ارزیابی سطح آمادگی فناوری

انباشت گردوغبار در مناطق خشک تولید برق پنل‌ها را به شدت کاهش می‌دهد [۲۸] و از آنجاکه شست‌وشوی سنتی نیازمند مقادیر زیادی آب است، اجرای آن در مناطق درگیر کم‌آبی هیچ توجیه محیط‌زیستی ندارد. به همین دلیل مدیران پروژه‌های انرژی برای انتخاب روش جایگزین، از شاخص سطح آمادگی فناوری^۱ به‌عنوان یک استاندارد جهانی برای ارزیابی بلوغ تکنولوژی‌ها استفاده می‌کنند [۲۹]. بر اساس این ارزیابی دقیق، روش شست‌وشوی دستی با آب در حال منسوخ شدن بوده و امروزه ربات‌های تمیزکننده خشک بالاترین سطح آمادگی را به خود اختصاص داده‌اند [۳۰]. این ربات‌های خودران با بهره‌گیری از هوش مصنوعی و برس‌های مخصوص، سطح پنل‌ها را بدون مصرف آب پاک‌سازی می‌کنند. در کنار این موارد، توسعه فناوری‌های نوین دیگری مانند سپرهای الکترواستاتیکی که با پالس‌های الکتریکی ذرات گردوغبار را دفع می‌کنند [۳۱]، تداوم تولید حداکثری برق را در شرایط سخت جوی تضمین می‌نمایند.

۴.۵. چرا آمادگی فناوری به‌تنهایی کافی نیست؟

اگرچه پیشرفت‌های اخیر نشان می‌دهد که فناوری‌های نوین فتوولتائیک به دستاوردهای بزرگی در زمینه بازدهی و ایمنی رسیده‌اند، اما آمادگی فناوری به‌تنهایی تضمین‌کننده موفقیت پروژه‌های شهری نیست و انتقال آن از محیط آزمایشگاه به مقیاس واقعی، مستلزم آمادگی کامل در ابعاد مدیریتی و حکمرانی است. پروژه‌های فتوولتائیک یکپارچه در مرحله پیاده‌سازی با مجموعه‌ای از چالش‌های غیرفنی مانند فرآیندهای پیچیده صدور مجوز، محدودیت‌های مالی، تعدد ذی‌نفعان و ناهماهنگی‌های سازمانی مواجه می‌شوند که می‌توانند روند تجاری‌سازی یک فناوری کاملاً بالغ را با شکست روبه‌رو کنند. از این‌رو موفقیت نهایی این پروژه‌ها نیازمند استقرار سازوکارهای حکمرانی کارآمد و مدیریت پروژه تطبیقی است و بر همین اساس، چالش‌های پیاده‌سازی و

^۱ TRL

پیمانکاران پروژه را رها کنند. دولت‌ها باید بخشی از این ریسک‌ها را بپذیرند.

این ناهم‌راستایی‌ها نشان می‌دهد روش‌های سنتی مدیریت پروژه دیگر پاسخگو نیستند. کلان‌پروژه‌های خورشیدی در محیطی پر از عدم قطعیت اجرا می‌شوند. مدیران ارشد باید از مدیریت پروژه تطبیقی استفاده کنند [۴۰]. در این روش مدیر به صورت مداوم تغییرات را پایش کرده و مشارکت فعال تمام ذی‌نفعان را جلب می‌کند.

۷. چشم‌انداز بومی: الزامات پیاده‌سازی و حکمرانی تطبیقی در ایران

ایران با داشتن بیش از سیصد روز آفتابی در سال ظرفیت بی‌نظیری برای تولید انرژی پاک دارد، اما هم‌زمان با چالش‌های بزرگی مانند کمبود شدید آب و طوفان‌های مداوم گردوغبار روبه‌رو است. همچنین ناترازی شبکه برق در فصل‌های مختلف مشکلات فراوانی برای صنایع ایجاد کرده است که نصب پنل‌های یکپارچه در نمای ساختمان‌های شهری می‌تواند این فشار را به شدت کاهش دهد. این پنل‌های نوین با تولید برق در همان محل مصرف، نیاز به احداث شبکه‌های انتقال طولانی را از بین می‌برند [۴۱]. در کنار این موضوع بهره‌گیری از ربات‌های تمیزکننده خشک که مصرف آب را به صفر می‌رسانند برای مناطق درگیر با خشکسالی و ریزگردها یک ضرورت حیاتی محسوب می‌شود [۴۲].

در سطح آسیا و کشورهای همجوار توسعه سیستم‌های فتوولتائیک برای تولید هم‌زمان برق و حرارت سرعت چشمگیری یافته است. کشور چین به عنوان پیش‌گام جهانی، توسعه و به‌کارگیری سامانه‌های فتوولتائیک تولید هم‌زمان برق و حرارت را در مقیاس گسترده دنبال کرده است [۴۳]. همچنین کشورهای امارات و عربستان که با چالش‌های اقلیمی کاملاً مشابه ایران روبه‌رو هستند سرمایه‌گذاری عظیمی روی این سیستم‌های دوگانه انجام داده‌اند. این کشورها برای تأمین هم‌زمان برق ساختمان‌ها و حرارت لازم برای دستگاه‌های آب‌شیرین‌کن از پنل‌های یکپارچه بهره می‌برند و با استفاده از ربات‌های نظافتچی بدون آب بر مشکل طوفان‌های شن غلبه کرده‌اند [۴۴]. از سوی دیگر کشور ترکیه نیز موفق شده است سیستم‌های تولید هم‌زمان برق و گرما را برای حل مشکل ناترازی انرژی پیاده‌سازی کند. ترکیه از طریق اصلاح قوانین ملی

ساختمان و گذار به حکمرانی تطبیقی توانسته است سرمایه‌های بخش خصوصی را با موفقیت به سمت این پروژه‌ها هدایت نماید [۴۵]. باتوجه به این تجربیات ارزشمند الگوبرداری از ترکیه در زمینه سیاست‌گذاری و جذب سرمایه و همچنین استفاده از دانش عربستان و امارات در مدیریت حرارت و مهار گردوغبار می‌تواند کامل‌ترین نقشه راه عملیاتی برای ایران باشد [۴۶-۴۴].

۸. نتیجه‌گیری و پیشنهادهای کاربردی

انقلاب انرژی خورشیدی با ظهور سلول‌های چندپیوندی و رنگی وارد عصر جدیدی شده است. این پنل‌های نوین با استفاده از حلال‌های سبز چاپ می‌شوند و آسیب زیست‌محیطی کمتری نسبت به گذشته به همراه دارند. تجهیز این پنل‌ها به سیستم‌های بازیافت حرارت بازدهی آن‌ها را به شدت افزایش داده است. همچنین توسعه سامانه‌های ایمنی، استفاده از لایه‌های محافظ و فناوری‌های پایش هوشمند، امکان استفاده ایمن‌تر از این تجهیزات در نمای ساختمان‌های مسکونی و تجاری را فراهم کرده است. توسعه پایدار این زیرساخت‌های حیاتی در گرو تغییر نگاه مدیران ارشد از روش‌های سنتی به سمت حکمرانی تطبیقی است [۴۷]. برای بهره‌برداری موفق از این فرصت‌ها در کشور چند پیشنهاد کاربردی به سیاست‌گذاران ارائه می‌شود. نخست این که مقررات ملی ساختمان و استانداردهای آتش‌نشانی باید به سرعت به‌روزرسانی شوند. نصب سنسورهای هوشمند تشخیص جرقه و استفاده از لایه‌های فلزی نسوز در نمای ساختمان‌ها باید به یک قانون اجباری تبدیل گردد. پیشنهاد دوم ترویج ابزارهای شبیه‌سازی پیشرفته و مدیریت تطبیقی در پروژه‌های عمرانی است. مهندسان معمار و طراحان تأسیسات باید پیش از شروع عملیات ساخت‌وساز تمام چالش‌های احتمالی را در نرم‌افزارهای تخصصی شبیه‌سازی و برطرف کنند. پیشنهاد سوم توسعه اقتصاد چرخشی در داخل کشور است. دولت باید به شرکت‌های دانش‌بنیان برای بومی‌سازی حلال‌های سبز یارانه تخصیص دهد. همچنین حمایت از فناوری‌های بازیافت پنل‌های خورشیدی بسیار ضروری است. این حمایت‌های هدفمند باعث می‌شود که چرخه تولید انرژی در کشور به طور کامل پاک و اقتصادی و پایدار باقی بماند.

[13]. Jia, Z. (2025). Smart solar windows for an adaptive future: A comprehensive review of performance, methods and applications, *Energy & Buildings*, Vol. 346, No. 1. PP. 116227.

[14]. Ke, W. (2023). Modelling analysis and performance evaluation of a novel hybrid CdTe-PCM PV glass module for building envelope application, *Energy*, Vol. 284, No. 4. PP. 129182.

[15]. Wang, H. (2025). Recent advances in ambient-air-processed organic photovoltaics: Devices design and printing technology, *Review of Materials Research*, Vol. 1, No. 1. PP. 100060.

[16]. Zi, W. (2018). Flexible perovskite solar cells based on green, continuous roll-to-roll printing technology, *Journal of Energy Chemistry*, Vol. 27, No. 3. PP. 971-989.

[17]. Dela Peña, T. A. (2025). Advancing organic photovoltaics processed from green-solvents: From characterization methods to optimization strategies, *EnergyChem*, Vol. 7, No. 2. PP. 100162.

[18]. Balagowtham, N. (2025). Challenges in commercializing perovskite solar cells with focus on sustainability, stability, and cost efficiency, *Solar Energy*, Vol. 301, No. 1. PP. 113892.

[19]. Kim, B. J. (2016). Selective dissolution of perovskite solar cells for recycling of functional materials, *Nature Communications*, Vol. 7, No. 4. PP. 11735.

[20]. Bilén, K. (2023). Effects of cooling on performance of photovoltaic/thermal solar panels: A comprehensive review, *Solar Energy*, Vol. 262, No. 2. PP. 111829.

[21]. Lukasik, J. (2026). An overview of heat transfer intensification methods for air-cooled flat plate building-integrated photovoltaic/thermal systems, *Solar Energy*, Vol. 312, No. 1. PP. 114597.

[22]. Wajs, J. (2024). Assessment of the impact of jet impingement technique on the energy efficiency of air-cooled BIPV/T roof tile, *Archives of Thermodynamics*, Vol. 45, No. 2. PP. 5-18.

[23]. Yang, T. (2015). Experimental investigation of a two-inlet air-based building integrated photovoltaic/thermal system, *Applied Energy*, Vol. 159, No. 1. PP. 70-79.

[24]. Aram, M. (2023). Scaling study of smoke spread from building integrated photovoltaic double skin façade fire for achieving sustainable buildings, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 97, No. 3. PP. 104648.

[25]. Gao, Z. (2026). Hazard-source-based review of fire safety in building-integrated photovoltaics, *Solar Energy*, Vol. 316, No. 1. PP. 114837.

تأییدیه اصالت مقاله و عدم استفاده از هوش مصنوعی

بدین وسیله گواهی می‌شود که این مقاله و یا هیچ بخشی از آن پیش از این در جای دیگری منتشر نشده است. همچنین، نویسندگان متعهد می‌شوند که تمام محتوای این پژوهش حاصل تلاش فکری خودشان بوده و از هیچ‌گونه ماشین و ابزارهای هوش مصنوعی برای نگارش آن استفاده نشده است.

Reference

منابع

[1]. IEA. (2024). Renewables 2024 Analysis and forecast to 2030, International Energy Agency, Vol. 1, No. 1. PP. 1-150.

[2]. Jelle, B. P. (2012). Building integrated photovoltaic products: A state-of-the-art review, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 100, No. 1. PP. 69-96.

[3]. Kuhn, T. E. (2021). Review of technological design options for building integrated photovoltaics, *Energy and Buildings*, Vol. 231, No. 2. PP. 110381.

[4]. Zang, Y. (2025). Large-area printing technologies for organic photovoltaic cells, *Materials Today Energy*, Vol. 54, No. 1. PP. 102150.

[5]. Yu, H. (2026). Research progress on active layer materials for semi-transparent organic photovoltaics, *Journal of Energy Chemistry*, Vol. 117, No. 2. PP. 60-69.

[6]. Ma, W. (2026). Physical insights into single-component organic photovoltaics, *Joule*, Vol. 10, No. 3. PP. 102397.

[7]. Qahtan, T. F. (2026). State-of-the-art in flexible tandem solar cells, *Solar Energy*, Vol. 315, No. 1. PP. 114755.

[8]. Wang, S. (2026). Flexible perovskite/silicon tandem solar cells with 33.6% efficiency, *Nature*, Vol. 649, No. 4. PP. 59-64.

[9]. Song, W. (2023). Semi-transparent organic photovoltaics for agrivoltaic applications, *Nano Energy*, Vol. 116, No. 2. PP. 108805.

[10]. Yamaguchi, M. (2022). Impact and recent approaches of high-efficiency solar cell modules for PV-powered vehicles, *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 61, No. 1. PP. SC0802.

[11]. Xie, Y. (2026). A review of colored building-integrated photovoltaics for building decarbonization: Technological and market perspectives, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 235, No. 3. PP. 116924.

[12]. Peharz, G. (2017). Application of plasmonic coloring for making building integrated PV modules comprising of green solar cells, *Renewable Energy*, Vol. 109, No. 2. PP. 542-550.

- Lawrence Berkeley National Laboratory, Vol. 1, No. 1. PP. 1-45.
- [38]. Lahav, A. D. (2018). Procedural design, *Vanderbilt Law Review*, Vol. 71, No. 3. PP. 821-840.
- [39]. Lamont, J. (2017). *Distributive Justice*, Routledge, Vol. 1, No. 1. PP. 1-250.
- [40]. Bryson, J. (2011). The strategy change cycle: An effective strategic planning approach for public and nonprofit organizations, *Jossey-Bass*, Vol. 1, No. 1. PP. 41-80.
- [41]. Gulaydin, O. (2025). Net-zero Turkey: Renewable energy potential and implementation challenges, *Energy for Sustainable Development*, Vol. 87, No. 2. PP. 101744.
- [42]. Al-Housani, M. (2019). Assessment of various dry photovoltaic cleaning techniques and frequencies on the power output in dusty environments, *Sustainability*, Vol. 11, No. 4. PP. 2850.
- [43]. Zhang, C. (2024). An integrated industrial PV panel cleaning recommendation system for optimal dust removal, *Applied Energy*, Vol. 377, No. 1. PP. 124692.
- [44]. Sanfilippo, A. (2024). Energy transition strategies in the Gulf Cooperation Council countries, *Energy Strategy Reviews*, Vol. 55, No. 2. PP. 101512.
- [45]. Qahtan, A. M. (2025). Building-integrated photovoltaics in Saudi Arabia for sustainable energy transition: A comprehensive review of status, challenges, and future prospects, *Energy and Buildings*, Vol. ۳۴۷, No. 1. PP. 116301.
- [46]. Bostani, M. (2026). Potentials and challenges of solar-based cogeneration systems for decentralized production of power, heat, and freshwater in rural MENA regions, *Energy Conversion and Management: X*, Vol. 30, No. 1. PP. 101732.
- [47]. Geels, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study, *Research Policy*, Vol. 31, No. ۸-۹. PP. 1257-1274.
- [26]. Kristensen, J. S. (2021). Experimental study of flame spread underneath photovoltaic modules, *Fire Safety Journal*, Vol. 120, No. 2. PP. 103027.
- [27]. Akram, M. W. (2022). Failures of photovoltaic modules and their detection: A review, *Applied Energy*, Vol. 313, No. 4. PP. 118822.
- [28]. Kazem, H. A. (2020). A review of dust accumulation and cleaning methods for solar photovoltaic systems, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 276, No. 1. PP. 123187.
- [29]. Ibrahim, R. (2026). Technology readiness level assessment of solar PV cleaning technologies, *Solar Energy*, Vol. 307, No. 2. PP. 114360.
- [30]. Fan, S. (2022). A novel water-free cleaning robot for dust removal from distributed photovoltaic in water-scarce areas, *Solar Energy*, Vol. 241, No. 3. PP. 553-563.
- [31]. Kawamoto, H. (2020). Improved detachable electrodynamic cleaning system for dust removal from soiled photovoltaic panels, *Journal of Electrostatics*, Vol. 107, No. 1. PP. 103481.
- [32]. Vergragt, P. (2014). Sustainable production, consumption, and livelihoods: Global and regional research perspectives, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 63, No. 2. PP. 1-12.
- [33]. Petersen, J.-P. (2018). The application of municipal renewable energy policies at community level in Denmark: A taxonomy of implementation challenges, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 38, No. 4. PP. 205-218.
- [34]. Eitan, A. (2026). From approval to operation: Governance misalignment in renewable energy implementation, *Energy Strategy Reviews*, Vol. 66, No. 1. PP. 102310.
- [35]. Candel, J. J. L. (2016). Toward a processual understanding of policy integration, *Policy Sciences*, Vol. 49, No. 3. PP. 211-231.
- [36]. Desmet, K. (2014). Spatial development, *American Economic Review*, Vol. 104, No. 4. PP. 1211-1243.
- [37]. Rand, J. (2025). Queued up: characteristics of power plants seeking transmission interconnection,

ریاضی، درس زندگی

هاجر علی مراد*^۱، زهرا حسینی^۲

چکیده

در این مقاله با نگاهی نو و جامع به کاربرد ریاضیات در زندگی روزمره می‌پردازیم. با وجود اهمیت شناخته‌شده و اثبات‌شده ریاضیات در پیشرفت تمدن مدرن، به دنبال پاسخ به این سؤال اساسی هستیم که چگونه مفاهیم ریاضی می‌توانند در حل مسائل روزمره و تصمیم‌گیری‌های زندگی کمک‌کننده باشند. مختصری از کاربرد ریاضیات در پزشکی و نقش آن در پیشرفت علم درمان بیان خواهد شد. همچنین، با تمرکز عمیق بر دو درس مهم تحقیق در عملیات و نظریه گراف، نشان می‌دهیم چگونه روش‌های ریاضی می‌توانند در مدیریت محدودیت‌ها، تصمیم‌گیری‌های بهینه و برنامه‌ریزی برای آینده مفید باشند. با ارائه مثال‌های کاربردی و ملموس از زندگی واقعی، نشان می‌دهیم که چگونه مفاهیم ریاضی مانند بهینه‌سازی، مدل‌سازی مسائل و برنامه‌ریزی پویا می‌توانند در تصمیم‌گیری‌های روزمره و حل مسائل زندگی به ما کمک کنند. همچنین، به بررسی ویژگی‌های مهمی که مطالعه ریاضیات در فرد ایجاد می‌کند می‌پردازیم، از جمله پرورش خلاقیت، نظم و دقت و توانایی حل مسائل پیچیده. سپس، با ارائه رویکردی عملی و کاربردی، نشان می‌دهیم که چگونه می‌توان از مفاهیم ریاضی برای بهبود کیفیت تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های زندگی استفاده کرد.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت:

۲۲ شهریور ۱۴۰۴

تاریخ بازنگری:

۳۱ شهریور ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش:

۳۰ خرداد ۱۴۰۵

تاریخ انتشار:

۳۱ خرداد ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:

برنامه‌ریزی پویا
بهینه‌سازی و تصمیم‌گیری
تحقیق در عملیات،
تفکر منطقی و خلاقیت
مدل‌سازی ریاضی
مدیریت محدودیت‌ها
نظریه گراف
کاربرد ریاضیات در پزشکی
کاربرد ریاضیات در زندگی.

استناد: علی مراد، هاجر؛ حسینی، زهرا (۱۴۰۵). ریاضی، درس زندگی. *نشاء علم*، ۱۶ (۱)، ص ۹۵-۱۰۳.



ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران

© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

* عهده‌دار مکاتبات: استادیار. تلفن: ۹۸۹۳۶۸۵۱۸۱۰۴، دورنگار: ۰۹۸۷۱۱۵۴۳۷۲۲۵۴، آدرس الکترونیکی: h.alimorad@jahromu.ac.ir

^۱ گروه ریاضی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه جهرم، جهرم، صندوق پستی: ۷۴۱۳۵-۱۱۱، ایران

^۲ دانشگاه جهرم، دانشکده علوم انسانی، گروه زبان و ادبیات فارسی، جهرم، ایران

۱. مقدمه

مهم‌ترین موضوع برای خلاقیت تفکر ریاضی است؛ **خلاقیت**، یافتن راه‌حل‌های جدید توسط افراد برای مسائل جدید و قدیمی است و در آموزش ریاضی به‌عنوان عامل مثبت مورد بررسی قرار گرفته است. خلاقیت، اغلب به‌عنوان محوری‌ترین جنبه آموزش مورد تأکید قرار می‌گیرد زیرا شامل درگیر شدن و حمایت از ایده‌های جدید و فرآیندهای تجربی است. یکی از ویژگی‌های اصلی خلاقیت، یافتن جایگزین‌ها در هنگام مواجهه با موانع است. برای حل اکثر مسائل ریاضی، ما نیاز به یافتن راه‌حل مناسب داریم. حل مسائل هندسی، محاسباتی و ... نیازمند خلاق بودن ذهن است؛ هرگز نمی‌توان با حفظ کردن فرمول و بدون داشتن ذهن خلاق، آن‌ها را فهمید. برای درک مفاهیم ریاضی باید خلاقیت خود را پرورش دهیم. بنابراین کسانی که با این علوم انس می‌گیرند در رویارویی با مسائل زندگی نیز راه‌حل‌های خلاقانه خواهند داشت. یکی از روش‌های تدریس ریاضی در دبستان، آموزش ریاضی با بازی است که بچه‌ها را مشتاقانه به سمت یادگیری دنیای ریاضی سوق می‌دهد. محیط یادگیری مفرح باید علاوه بر خارج ساختن دانش‌آموزان از خمودگی و کسالت، با تحرک و پویایی دانش‌آموزان همراه باشد و به آن‌ها اجازه دهد آزادانه فکر کنند، به آزمون و خطا دست بزنند و در قالب بازی تجربه کنند، زیرا آموزش توأم با لذت می‌تواند زمینه‌ساز خلاقیت و *ایده‌پردازی* شود. شاید در گذشته، سیستم آموزشی، ریاضی و بازی را دو مقوله جدا از هم می‌دانست، اما امروزه کلاس‌های درس با این روش دانش‌آموزان را به درس ریاضی علاقه‌مندتر می‌کنند. ریاضیات ابتدایی شامل اولین گام‌های اساسی در مسیر درک اعداد و کاربردها، الگوها و روابط آن‌ها است. در طول این مسیر، دانش‌آموزان مهارت‌های شمارش، برآورد، جمع و تفریق، نمایش داده‌ها و اندازه‌گیری را می‌آموزند. درحالی‌که دانش‌آموزان در کتاب‌های ریاضی خود با نمودارها و تصاویر بی‌شماری روبه‌رو می‌شوند، تحقیقات نشان می‌دهد این تنها روشی نیست که باید از آن استفاده شود. هیچ ابزاری مانند بازی با ریاضی نمی‌تواند کودکان دبستانی را به ریاضی علاقه‌مند کند. وقتی دانش‌آموزان سرگرم می‌شوند، اغلب فراموش می‌کنند که در حال یادگیری هستند. پازل‌ها و بازی‌ها می‌توانند آن‌ها را به فکر خلاقانه دعوت کنند و سرگرمی‌هایی را در اختیارشان می‌گذارد که انگیزه بیشتری برای ادامه یادگیری در آن‌ها

اهمیت ریاضی در زمینه‌های مختلف بر کسی پوشیده نیست. ریاضیات به‌عنوان یک موضوع بیش از هر چیز دیگری، به رشد تمدن مدرن کمک کرده است. مطالعه ریاضیات به‌آرامی اما پیوسته با هر موضوعی از علم مانند مدیریت، بازرگانی، اقتصاد، مهندسی، حسابداری، پزشکی و ... درگیر است. انسان با کمک آن فاصله تا ستاره‌ها را اندازه‌گیری کرده، خورشیدگرفتگی را پیش‌بینی کرده، دریاها و فضا را پیمایش کرده، اتم‌ها را شکافته و ماشین‌هایی را از اهرم ساده تا پیچیده‌ترین ماهواره‌های فضایی طراحی کرده است. بنابراین ریاضیات را مادر همه علوم می‌نامند.

اما، در این مقاله می‌خواهیم با دیدی متفاوت کاربرد ریاضی در زندگی را بیان کنیم.

شاید شما هم با این پرسش روبه‌رو شده باشید، خواندن این فرمول‌های ریاضی چه کاربردی در زندگی دارد؟ قابل انکار نیست که هدف اصلی ریاضیات آموزش حل مسئله است. ریاضیات به ما می‌آموزد که چگونه در رویارویی با مسائل و مشکلات به دنبال راه‌حل‌های درست و منطقی باشیم. آموزش ریاضی باید به‌گونه‌ای باشد که بچه‌ها را با مسائل و مشکلات جامعه درگیر سازد و مهارت حل مسئله را یاد دهد، نه یک ریاضی انتزاعی در خلأ باشد که هیچ ربطی به زندگی ندارد.

در حالت کلی، آموزش ریاضی اساساً باید به دانش‌آموزان فرصت بدهد تا پنج شایستگی زیر را فراگیرند [۱]:

- تدوین و حل مسائل با استفاده از ریاضیات و همچنین ارزیابی راهبردها و روش‌های انتخاب شده،
 - استفاده و تجزیه و تحلیل مفاهیم ریاضی و روابط متقابل آن‌ها،
 - انتخاب و استفاده از روش‌های ریاضی مناسب برای انجام محاسبات و حل مسائل معمول،
 - استدلال ریاضی را اعمال و دنبال کردن،
 - از اشکال و بیان ریاضی برای بحث، استدلال و توضیح سؤالات، محاسبات و نتیجه‌گیری استفاده کردن.
- چند ویژگی اساسی که با خواندن ریاضیات در ذهن نهادینه می‌شود شامل: ۱- پرورش خلاقیت؛ ۲- نظم و دقت؛ ۳- تداوم و پیوستگی است.

چطور ریاضیات باعث پرورش خلاقیت می‌شود؟

می‌کند تا بفهمند کدام روش احتمال موفقیت بیشتری دارد. این کار مثل انتخاب بهترین مسیر برای رسیدن به مقصد است. ترکیب ریاضیات و پزشکی می‌تواند فواید زیادی داشته باشد: پزشکان می‌توانند سریع‌تر و دقیق‌تر بیماری را تشخیص دهند، می‌توانند الگوهای پنهان در اطلاعات بیمار را پیدا کنند، می‌توانند پیش‌بینی کنند که بیماری چگونه پیش خواهد رفت، انتخاب بهترین روش درمان برای هر بیمار، تعیین دوز دقیق داروها و کاهش خطاهای انسانی در محاسبات [۶]، [۱۴].

امروزه که فناوری‌های پزشکی روزبه‌روز پیشرفته‌تر می‌شوند، نیاز به ترکیب ریاضیات و پزشکی بیش از گذشته احساس می‌شود. اگر بتوانیم راهی برای تحصیل هم‌زمان یا متوالی در هر دو رشته ایجاد کنیم، می‌توانیم شاهد پیشرفت قابل‌توجهی در کیفیت خدمات پزشکی باشیم. این کار نه تنها باعث بهبود تشخیص و درمان می‌شود، بلکه می‌تواند به تولید علم و نوآوری در حوزه پزشکی منجر شود [۱۶].

۳. کاربرد برخی دروس ریاضی در زندگی

در این بخش دیدگاهی متفاوت از کاربرد ریاضی در زندگی را با بیان مثال از دو درس معروف رشته ریاضیات و کاربردها در مقطع کارشناسی بیان خواهیم کرد. درس تحقیق در عملیات (مبحث بهینه‌سازی) و درس نظریه گراف.

۳-۱ درس تحقیق در عملیات (مبحث بهینه‌سازی)، درس زندگی

بهینه‌سازی علم تعیین بهترین تصمیم در بین راه‌حل‌ها و یا تصمیم‌های ممکن تحت شرایط معین است. بنابراین دارای کاربردهای متعدد و جایگاه بسیار مهمی در شاخه‌ها و علوم مختلف نظیر صنعت، سیاست، تجارت، مدیریت، امور نظامی، امور رفتاری، شاخه‌های مختلف علم پزشکی و سلامت است. تا آنجا که حتی بخش جدانشدنی از آن‌ها تلقی می‌گردد [۱۵].

بهینه‌سازی به‌عنوان یک علم، در زمینه‌های علمی مختلف تصمیم‌گیری، در خصوص روش‌های مناسب تعیین بهترین تصمیم، بحث می‌کند. برخی از این روش‌ها آن‌چنان کارا هستند که به‌عنوان الگوریتم حل و یا گوشه‌ای از الگوریتم حل برای دیگر مسائل به کار می‌روند. از این‌رو، از دیدگاه روش حل مسائل نیز دارای مباحثی در خور توجه است.

ایجاد می‌کند. انواع متنوعی از بازی وجود دارد که می‌توانیم هنگام آموزش یا مرور مفاهیم ریاضی استفاده کنیم.

دومین ویژگی انس با ریاضیات، **نظم و دقت** است. کمترین بی‌دقتی در حل مسائل ریاضی باعث حل اشتباه مسائل خواهد شد. همچنین در حل مسائل در ریاضیات، ما علاوه بر دانستن فرمول‌ها، باید بدانیم که این فرمول‌ها را چگونه به کار ببریم؛ بنابراین، نیاز به نظم و دقت فراوان دارد.

ریاضیات یک درس پیوسته است، در هر مقطعی ما به دانش قبلی خود نیاز خواهیم داشت. در واقع ریاضیات مانند یک زنجیر پیوسته است. آموزش ریاضی نباید طوری طراحی شود که در فرد راکد بماند. فرآیند تفکر ریاضی باید فرد را برای یادگیری مادام‌العمر و آزادسازی ایده‌ها تحریک کند. همچنین، باید دانش‌آموز را تشویق کند تا در تعامل با افراد دیگر موفق باشد و مسیرهای جدیدی برای به‌کارگیری سرمایه انسانی خود ایجاد کند. بنابراین کسانی که با ریاضیات انس دارند، می‌آموزند که باید برای رسیدن به هدف‌هایشان در زندگی چند ویژگی مهم را در خود پرورش دهند. **خلاصیت، نظم و دقت، پیوستگی و تداوم.** همه این ویژگی‌ها در آموزش و یادگیری ریاضی در فرد پرورش می‌یابند.

۲. کاربرد ریاضیات در پزشکی

ریاضیات و پزشکی دو رشته علمی هستند که در طول تاریخ همواره با یکدیگر در تعامل بوده‌اند. امروزه این ارتباط به مراتب عمیق‌تر شده و نقش ریاضیات در پیشرفت علوم پزشکی به یک ضرورت تبدیل شده است. تصاویر سی‌تی‌اسکن و اشعه ایکس از بدن بیمار گرفته می‌شود، اما این تصاویر به‌تنهایی قابل‌فهم نیستند. ریاضیات به ما کمک می‌کند تا این تصاویر را به شکلی قابل‌فهم تبدیل کنیم. مثل وقتی که دوربین عکس می‌گیرد و تصویر را پردازش می‌کند، ریاضیات هم همین کار را با تصاویر پزشکی انجام می‌دهد.

وقتی پزشک دارو تجویز می‌کند، باید دقت زیادی داشته باشد. برای مثال، اگر یک دارو باید به‌ازای هر کیلوگرم وزن، مقداری خاص تجویز شود، پزشک باید محاسبه کند که بیمار چقدر دارو نیاز دارد [۲، ۳، ۷].

پزشکان از آمار برای تصمیم‌گیری بهتر استفاده می‌کنند. برای مثال، وقتی دو روش درمانی وجود دارد، آمار به آن‌ها کمک

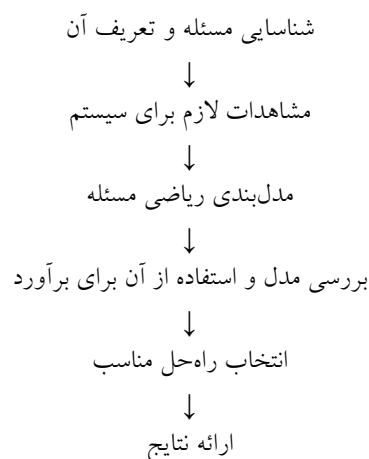
پس از ارائه مدل، آن را بررسی و ارزیابی می‌کنیم. این مرحله شامل حل مدل و بررسی نتایج است تا اطمینان حاصل کنیم که راه حل ارائه شده قابل اجرا و منطقی است. در نهایت، راه حل مناسب انتخاب شده و نتایج به صورت ساختاریافته ارائه می‌شود. این نتایج باید قابل پیاده‌سازی باشند و پیشنهادات عملی برای اجرا ارائه دهند. نکته مهم این است که این مراحل به صورت خطی و ثابت نیستند. در بسیاری از موارد، نیاز است که بین مراحل مختلف در حرکت باشیم و آن‌ها را بر اساس شرایط مسئله اصلاح کنیم. این انعطاف‌پذیری باعث می‌شود که بتوانیم به بهترین راه حل ممکن برسیم. این روش سازمان‌یافته، با تقسیم مسئله به مراحل قابل مدیریت، به ما کمک می‌کند تا مسائل پیچیده را به صورت منظم و علمی حل کنیم. همچنین، با توجه به محدودیت‌های موجود در هر سیستم، راه حل‌های ارائه شده باید قابل اجرا و عملی باشند.

به عنوان مثال، یک مسئله ساده بهینه‌سازی مقید برای انتخاب منوی ناهار گروهی را در نظر بگیرید: یک گروه ۴ نفره باید منوی ناهار خود را انتخاب کند. هدف، حداکثر کردن مجموع رضایت‌مندی اعضای گروه از غذاهای انتخاب شده است. تابع هدف: مجموع امتیازات غذاهای انتخاب شده. قیدها: حداقل باید ۲ غذا انتخاب شود و حداکثر می‌توان ۳ غذا انتخاب کرد. همچنین، یک نفر نمی‌تواند میگو بخورد و یک نفر فقط سالاد می‌خورد. گزینه‌های موجود: پیتزا (امتیاز ۸)، سالاد (امتیاز ۶)، برنج و خورش (امتیاز ۷) و میگو (امتیاز ۹). یک راه حل بهینه می‌تواند این باشد: انتخاب پیتزا (امتیاز ۸)، سالاد (امتیاز ۶) و برنج و خورش (امتیاز ۷). این ترکیب تمام قیدها را رعایت می‌کند: حداقل ۲ غذا انتخاب شده (در واقع ۳ غذا)، کسی که نمی‌تواند میگو بخورد از این ترکیب محروم نشده و کسی که فقط سالاد می‌خورد هم گزینه مورد نظرش را دارد. مجموع امتیازات این ترکیب ۲۱ ($8 + 6 + 7$) است که یک راه حل منطقی و قابل قبول است.

۳-۱-۱ کاربرد مدل‌سازی مسئله

در زندگی مسائل و گاهی بحران‌هایی پیش می‌آیند، این مسائل نیستند که روند زندگی ما را تعیین می‌کنند، بلکه راه حل‌هایی که ما برای حل این مسائل و گذر از بحران‌ها انتخاب می‌کنیم مهم است. اگر بتوانیم به خوبی مسئله را درک کنیم (مدل‌سازی درست مسئله) و به جای تمرکز بر اینکه چرا این بحران (یا مسئله) برای ما به وجود آمده است، به دنبال راه حل درست و بهینه باشیم یا مسئله را به طور کامل حل خواهیم کرد و یا با تمرکز و قدرت کافی از این

تحقیق در عملیات یک روش منظم برای حل مسائل پیچیده است که از چند مرحله اصلی تشکیل شده است [۱۸]. این روش علمی، با ارائه یک چارچوب ساختاریافته، به ما کمک می‌کند تا مشکلات را به صورت سازمان‌یافته حل کنیم. مراحل اصلی تحقیق در عملیات شامل شناسایی و تعریف مسئله، جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های لازم، تحلیل و بررسی مسئله، یافتن راه حل مناسب و در نهایت ارائه نتایج و پیشنهادات است. این مراحل به صورت خطی پیش نمی‌روند و ممکن است در طول فرآیند، نیاز به بازگشت به مراحل قبلی و اصلاح آن‌ها باشد. شکل (۱) مراحل مطالعه یک مسئله تحقیق در عملیات را نشان می‌دهد:



شکل ۱: مراحل مطالعه یک مسئله تحقیق در عملیات

در مرحله اول، محقق باید مسئله را به درستی تعریف کند و اهداف و محدوده آن را مشخص نماید. این مرحله شامل شناسایی مشکلات موجود و چالش‌های پیش رو است که می‌تواند با مشاهده مستقیم سیستم و مشورت با ذی‌نفعان انجام شود. پس از تعریف مسئله، جمع‌آوری داده‌های لازم و اطلاعات مرتبط با مسئله انجام می‌شود. این مرحله شامل بررسی آمارها، تخمین پارامترها و شناسایی روابط بین متغیرهای مختلف است. داده‌های جمع‌آوری شده باید دقیق و قابل اعتماد باشند تا در مراحل بعدی به نتیجه صحیح برسیم. در مرحله بعدی، با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده، یک مدل تحلیلی برای مسئله ارائه می‌شود. این مدل باید تمام جنبه‌های مهم مسئله را در برگیرد و شامل متغیرهای تصمیم، محدودیت‌ها و هدف مورد نظر باشد [۱۰].

- مقدار مجازات باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا از عدم رعایت محدودیت‌ها جلوگیری کند؛
- مجازات فقط در موارد نقض قوانین اعمال می‌شود؛
- می‌توانیم از انواع مختلف مجازات استفاده کنیم؛
- این روش به ما کمک می‌کند تا مسائل پیچیده را به صورت ساده‌تر حل کنیم.

این روش مانند یک سیستم راهنمایی عمل می‌کند که با اعمال مجازات یا پاداش، ما را به سمت بهترین راه حل راهنمایی می‌کند. به عنوان یک مثال ساده، فرض کنید یک گروه دانش‌آموز باید برنامه یک روز کامل را انتخاب کند. هدف، حداکثر کردن مجموع امتیازات فعالیت‌های انتخاب شده است. اما هرگونه تخلف از قوانین، جریمه‌ای را به مجموع امتیازات اضافه می‌کند. فعالیت‌های موجود عبارت‌اند از بازدید از موزه (امتیاز ۷)، پیاده‌روی در جنگل (امتیاز ۸)، ورزش‌های گروهی (امتیاز ۹) و برنامه فرهنگی (امتیاز ۶). قوانین اصلی عبارت‌اند از حداقل انتخاب ۲ فعالیت و حداکثر ۳ فعالیت و همچنین ورزش‌های گروهی باید بعد از ظهر انجام شود. جریمه‌ها شامل ندادن ورزش صبحگاهی (۴ امتیاز جریمه)، عدم رعایت زمان ورزش‌های گروهی (۳ امتیاز جریمه) و انتخاب کمتر از ۲ فعالیت (۵ امتیاز جریمه) است. برای مثال، اگر برنامه‌ای شامل بازدید از موزه (۷ امتیاز) و پیاده‌روی در جنگل (۸ امتیاز) بدون ورزش صبحگاهی باشد، مجموع امتیازات به این صورت محاسبه می‌شود: امتیاز بازدید موزه (۷)، امتیاز پیاده‌روی در جنگل (۸) و جریمه انجام ندادن ورزش صبحگاهی (۴-). این مثال نشان می‌دهد که چگونه می‌توان با استفاده از جریمه‌ها، محدودیت‌های غیرمستقیم را در مسئله بهینه‌سازی اعمال کرد.

کاربرد روش تابع جریمه: در زندگی هر کدام از ما، ممکن است عادت‌ها یا دل‌بستگی‌هایی داشته باشیم که می‌دانیم اشتباه است و مانع رشد و پیشرفت ما یا باعث زیان ما یا دیگران می‌شود. روش تابع جریمه بهترین راه برای ترک این عادت‌هاست. برای هر بار تکرار این عادت، جریمه‌ای تعیین کنیم و به انجام آن جریمه پایبند باشیم. مثلاً، اگر وسواس داریم و زیاد آب مصرف می‌کنیم، می‌توانیم با خود قراردادی داشته باشیم، در صورت مصرف بیش از مقدار معقول آب در یک شبانه‌روز، جریمه‌ای برای خود تعیین کنیم؛ این جریمه نیازی نیست که مادی باشد، می‌تواند محدودیت چیزی باشد که ما به آن علاقه‌مند هستیم: مثل تماشای تلویزیون،

بحران عبور می‌کنیم. اگر مدل‌سازی مسئله درست نباشد، راه حل درست برای این مسئله اشتباه، مشکلی را حل نخواهد کرد. پس مدل‌سازی درست مهم‌ترین بخش در تصمیم‌گیری‌های ماست.

۳-۱-۲ کاربرد توجه به محدودیت‌های مسئله

در زندگی، هر شخصی ممکن است مشکلات و محدودیت‌هایی داشته باشد. او برای بهتر شدن زندگی، برای آرامش و آسایش و برای پیشرفت، حتماً هدف یا اهدافی دارد. برخی از افراد باتوجه به محدودیت‌های مالی، جسمی، خانوادگی و ... از تلاش ناامید می‌شوند و فکر می‌کنند که هرگز نمی‌توانند به اهداف خود دست یابند. ولی از درس بهینه‌سازی خواهیم آموخت که باتوجه به تمام محدودیت‌ها باید تابع هدفمان را بهینه کنیم. در این صورت هرگز در زندگی حسرت نخواهیم خورد، زیرا ما در هر زمان باتوجه به محدودیت‌های زندگی‌مان بهترین تصمیم (تصمیم بهینه) را گرفته‌ایم.

افرادی که اظهار می‌کنند اگر محدودیت نداشتند، حتماً به هدف خود فکر می‌کردند یا برای آن تلاش می‌نمودند، شاید بدون محدودیت هم نخواهند توانست به هدف خود برسند. اینها مانند فردی عمل می‌کنند که برای رد شدن از رودخانه به جای ساختن پل، منتظر خشک شدن آب رودخانه می‌مانند.

۳-۱-۳ روش تابع جریمه

برای حل مسائل پیچیده، روش‌های مختلفی وجود دارد. یکی از این روش‌ها، تبدیل مسئله به یک مسئله ساده‌تر است. در این روش، ما محدودیت‌های مسئله را به صورت مجازات یا پاداش در نظر می‌گیریم. تصور کنید که در یک شهر، محدودیت‌هایی برای پارک کردن خودرو وجود دارد. اگر کسی در جای ممنوع پارک کند، باید جریمه بپردازد. همین مفهوم را می‌توانیم در حل مسائل ریاضی هم استفاده کنیم [۸ و ۱۱].

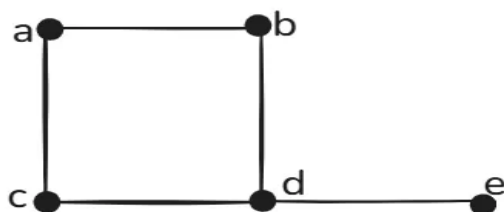
برای مثال، تصور کنید که می‌خواهیم یک برنامه‌ریزی ساده برای تولید دو محصول انجام دهیم. اگر از مواد اولیه بیشتر از حد مجاز استفاده کنیم، باید هزینه اضافی بپردازیم. در این حالت، هزینه اضافی مانند مجازات عمل می‌کند و ما را از استفاده بیش از حد مواد اولیه منع می‌کند [۱۹]. این مجازات در ریاضیات تابع جریمه نامیده می‌شود.

نکات مهم در استفاده از این روش:

می‌توانید با دید بلندمدت، بهترین تصمیم را برای دو سال آینده بگیرید. سپس، بعد از دو سال، به همین ترتیب باتوجه به شرایط جدید، باز بهترین تصمیم دوساله را بگیرید.

۲-۳ درس نظریه گراف، درس زندگی

تصور کنید که در یک شهر، خانه‌ها و خیابان‌ها را روی یک نقشه می‌کشید. خانه‌ها را می‌توانید به عنوان نقاط و خیابان‌ها را به عنوان خطوط متصل‌کننده آن‌ها در نظر بگیرید. این دقیقاً همان چیزی است که در ریاضیات به آن گراف می‌گویند. برای مثال، تصور کنید که در یک محله، چندین خانه با هم توسط کوچه‌ها متصل شده‌اند. هر خانه می‌تواند یک نقطه (رأس) باشد و کوچه‌هایی که خانه‌ها را به هم متصل می‌کنند، می‌توانند خطوط متصل‌کننده (یال‌ها) باشند [۱۷].



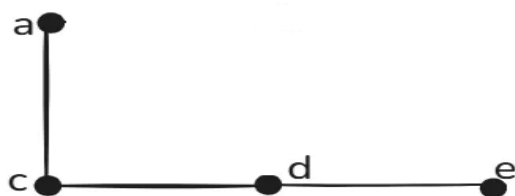
شکل ۲: یک نمونه گراف.

انواع مهم گراف:

دور: تصور کنید که از خانه a شروع می‌کنید، از چند کوچه می‌گذرید و در نهایت به همان خانه برمی‌گردید. این یک دور است. در شکل فوق، abcda یک دور است [۴].

درخت: گرافی که هیچ دور ندارد. مثل یک خیابان اصلی که از آن شاخه‌های فرعی منشعب می‌شوند.

زیرگراف: بخشی از نقشه که شامل چند خانه و کوچه‌های محدود است.



شکل ۳: یک نمونه زیرگراف.

کار با تلفن همراه یا حتی خوابیدن در ساعت مشخص.

۳-۱-۴ روش برنامه‌ریزی پویا

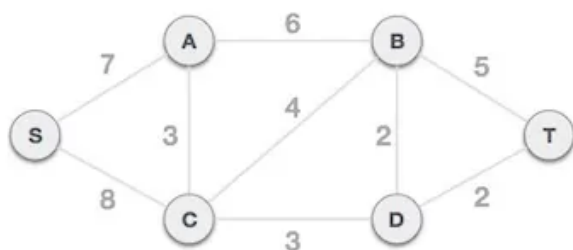
تصور کنید که می‌خواهید از خانه‌تان به مدرسه بروید. شما باید تصمیم بگیرید که چه مسیری را انتخاب کنید و در چه زمان‌هایی باید حرکت کنید. این یک مثال ساده از تصمیم‌گیری‌های متوالی است که در زندگی روزمره با آن سروکار داریم. برنامه‌ریزی پویا یک روش هوشمندانه برای حل این نوع مسائل است. این روش مانند یک نقشه راه است که به ما کمک می‌کند تصمیماتمان را به صورت مرحله‌به‌مرحله و منطقی بگیریم [۹ و ۱۳]. برای مثال، تصور کنید که می‌خواهید برای یک سفر سه‌روزه برنامه‌ریزی کنید. شما باید تصمیم بگیرید روز اول کجا بروید، روز دوم چه فعالیت‌هایی انجام دهید و روز سوم چگونه برگردید.

برنامه‌ریزی پویا به شما کمک می‌کند تا این تصمیمات را به صورت مرحله‌به‌مرحله و منطقی بگیرید. این روش در سال ۱۹۵۳ توسط ریچارد بلمن ابداع شد و بر اساس یک اصل مهم است: اصل بهینگی بلمن می‌گوید که هر تصمیمی که می‌گیرید، باید بهترین انتخاب ممکن برای آن مرحله باشد. به عبارت دیگر، اگر در روز اول تصمیم درستی بگیرید، روزهای بعدی هم باید بهترین انتخاب‌ها را داشته باشند. این روش در زندگی روزمره ما هم کاربرد دارد. به عنوان مثال در برنامه‌ریزی مسیر رفت‌وآمد، انتخاب مسیر مناسب در مسافرت، برنامه‌ریزی زمان‌بندی کارها.

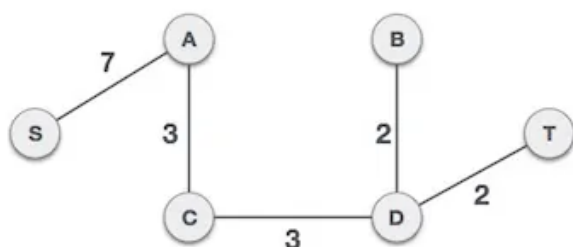
در برنامه‌ریزی پویا مسئله را به بخش‌های کوچکتر تقسیم می‌کنیم، هر بخش را جداگانه حل می‌کنیم، نتایج را با هم ترکیب می‌کنیم و همیشه به دنبال بهترین انتخاب در هر مرحله هستیم. این روش به ما کمک می‌کند تا تصمیماتمان را به صورت منطقی و مرحله‌به‌مرحله بگیریم و بهترین نتیجه را به دست آوریم.

کاربرد روش برنامه‌ریزی پویا: همان‌طور که در مورد برنامه‌ریزی پویا ما در هر مرحله باید فقط باتوجه به یک مرحله بعد تصمیم‌گیری بهینه را انجام دهیم، در زندگی نیز با نگاه بلندمدت به آینده، با توجه امکانات و توانایی‌های اکنون باید برنامه‌ریزی‌های کوتاه‌مدت و گام‌به‌گام داشته باشیم. اگر این برنامه‌ریزی‌های گام‌به‌گام بهینه باشند، در نهایت بهترین نتیجه را به دست خواهیم آورد. برنامه‌ریزی پویا در واقع با نگاه به مسئله کلی (هدف بلندمدت) در هر گام، جواب بهینه را باتوجه به یک مرحله بعد تعیین می‌کند. بنابراین اگر شما دانشجوی مقطع کارشناسی هستید،

در این صورت، این زیرگراف که شامل تمام خانه‌ها و برخی از کوچه‌ها است و هیچ دوری ندارد، درخت فراگیر مینیمال نامیده می‌شود [۱۲].



شکل ۴: یک نمونه گراف وزن دار.



شکل ۵: درخت فراگیر مینیمال گراف.

۳-۲-۱: کاربردهای اصلی درخت فراگیر مینیمال در زندگی واقعی

طراحی شبکه‌های ارتباطی: در شبکه‌های کامپیوتری، مخابراتی و توزیع برق، از درخت فراگیر مینیمال برای یافتن کم‌هزینه‌ترین روش برای اتصال تمام نقاط (مانند سیستم‌های مرکزی، دکل‌های مخابراتی، یا پست‌های برق) با کمترین میزان کابل‌کشی یا سیم‌کشی استفاده می‌شود.

لوله‌کشی و آب‌رسانی: در طراحی شبکه‌های لوله‌کشی برای انتقال آب یا گاز، می‌تواند برای یافتن کم‌هزینه‌ترین مسیر برای اتصال تمام نقاط به یکدیگر استفاده شود.

مسیریابی و حمل‌ونقل: در مسیریابی، می‌تواند برای یافتن کم‌هزینه‌ترین مسیر برای اتصال مجموعه‌ای از مکان‌ها (مانند جاده‌سازی برای اتصال شهرها) با کمترین هزینه (مثلاً مسافت یا هزینه ساخت) استفاده شود.

کاربردهای گراف در زندگی روزمره شامل نقشه‌های شهر و خیابان‌ها، شبکه‌های اجتماعی (مثل دوستان و آشنایان)، مسیرهای مترو، اتوبوس و شبکه‌های کامپیوتری است.

زیرگراف فراگیر: در یک محله، چندین خانه با هم توسط کوچه‌ها متصل شده‌اند. حالا، اگر تمام خانه‌های محله را با تمام کوچه‌های آن در نظر بگیرید، یک نقشه کامل دارید. اما اگر فقط بخشی از این نقشه را انتخاب کنید، مثل تمام خانه‌ها و فقط برخی از کوچه‌های بین آن‌ها، یک زیرگراف فراگیر خواهید داشت. مثلاً اگر در یک محله ۱۰ خانه وجود دارد و شما تمام این ۱۰ خانه را با برخی از کوچه‌های بین آن‌ها انتخاب می‌کنید، یک زیرگراف فراگیر ساخته‌اید. اما اگر فقط ۵ خانه را انتخاب کنید، دیگر زیرگراف فراگیر نیست؛ چون تمام خانه‌های اصلی در آن نیستند. در واقع، زیرگراف فراگیر گرافی است که تمام رأس‌های گراف اصلی را دارد و حداقل یک یال از یال‌های اصلی را شامل می‌شود [۵].

گراف وزن‌دار: اگر در یک شهر، هر کوچه و خیابان یک عدد داشته باشد، این عدد می‌تواند نشان‌دهنده فاصله، زمان یا هزینه عبور از آن مسیر باشد. برای مثال، اگر از خانه‌تان به مدرسه می‌روید، هر کوچه یک عدد دارد که نشان می‌دهد چقدر طول می‌کشد تا از آن مسیر بروید. مثلاً اگر از خانه‌تان به مدرسه می‌روید، می‌توانید مسیرهای مختلف را با زمان‌های مختلف در نظر بگیرید: مسیر اول، ۱۰ دقیقه پیاده‌روی؛ مسیر دوم، ۱۵ دقیقه با یک پیچ‌وخم؛ مسیر سوم، ۱۲ دقیقه از طریق پارک. این اعداد به ما کمک می‌کنند تا بهترین مسیر را انتخاب کنیم. در حقیقت، گراف وزن‌دار گرافی است که به هر یال آن یک عدد (وزن) نسبت داده شده است.

درخت فراگیر مینیمال: تصور کنید که در یک شهر، چندین خانه با هم توسط کوچه‌های مختلف متصل شده‌اند. هر کوچه یک عدد دارد که نشان می‌دهد چقدر طول می‌کشد تا از آن مسیر بروید. حالا، ما می‌خواهیم تمام خانه‌ها را به هم متصل کنیم، اما به شکلی که:

۱. همه خانه‌ها به هم متصل باشند؛
۲. هیچ دوری وجود نداشته باشد؛
۳. مجموع زمان‌های مسیرها کمترین مقدار ممکن باشد.

۳-۲-۲: مسئله کوتاه‌ترین مسیر

در گراف‌های وزن‌دار، مسئله کوتاه‌ترین مسیر به دنبال یافتن مسیری با کمترین مجموع وزن یال‌ها بین دو رأس (گره) مشخص است. این مسئله کاربردهای گسترده‌ای در مسیریابی، شبکه‌های ارتباطی و مسائل بهینه‌سازی دارد. الگوریتم‌های متعددی برای حل این مسئله وجود دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به الگوریتم‌های دیجسترا و بلوم-فوردر اشاره کرد.

هدف از مسئله کوتاه‌ترین مسیر در یک گراف وزن‌دار، یافتن مسیری است که از یک رأس مبدأ شروع شده و به یک رأس مقصد ختم شود، به گونه‌ای که مجموع وزن یال‌های این مسیر کمترین مقدار ممکن را داشته باشد.

مسئله کوتاه‌ترین مسیر در بسیاری از زمینه‌ها کاربرد دارد، از جمله: مسیریابی: در سیستم‌های ناوبری و مسیریابی، پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر بین دو مکان از اهمیت بالایی برخوردار است. شبکه‌های ارتباطی: در شبکه‌های کامپیوتری و مخابراتی، یافتن کوتاه‌ترین مسیر برای انتقال داده‌ها یا برقراری ارتباط بین گره‌ها ضروری است.

برنامه‌ریزی و زمان‌بندی: در مسائل برنامه‌ریزی و زمان‌بندی، یافتن کوتاه‌ترین مسیر می‌تواند برای بهینه‌سازی فرآیندها استفاده شود.

۳-۲-۳: روش اثبات برهان خلف در زندگی

روش برهان خلف در ریاضی یک روش اثبات غیرمستقیم است. در این روش، به جای اینکه مستقیماً درستی یک گزاره را اثبات کنیم، فرض می‌کنیم که آن گزاره نادرست است و سپس نشان می‌دهیم که این فرض منجر به یک تناقض منطقی می‌شود. از آنجایی که تناقض منطقی نمی‌تواند صحیح باشد، نتیجه می‌گیریم که فرض اولیه ما (نادرست بودن گزاره) اشتباه بوده و در نتیجه گزاره اصلی درست است. در این روش، ابتدا فرض می‌کنیم که گزاره نادرست است؛ با استدلال منطقی به یک نتیجه می‌رسیم؛ این نتیجه با یک حقیقت در تضاد است؛ پس فرض ما اشتباه بوده و گزاره اصلی درست است.

تصور کنید که می‌خواهید ثابت کنید که یک عدد خاص بر ۲ بخش‌پذیر است. به جای اینکه مستقیماً این را ثابت کنید، می‌توانید فرض کنید که بر ۲ بخش‌پذیر نیست و سپس نشان دهید که این فرض اشتباه است. مثلاً اگر می‌خواهید ثابت کنید که یک عدد

خاص بر ۲ بخش‌پذیر است: فرض می‌کنید که بر ۲ بخش‌پذیر نیست؛ با تقسیم این عدد بر ۲، باقی‌مانده ۲ می‌باشد، پس عدد بر ۲ بخش‌پذیر است که با فرض ما در تضاد است.

کاربرد روش اثبات برهان خلف در زندگی: در زندگی هر یک از ما گاهی اتفاقات بد پیش می‌آید، مانند دوری از یک عزیز، زیان مالی و این اتفاقات باعث ایجاد حس ناامیدی، بی‌انگیزگی و ... خواهد شد.

باتوجه به برهان خلف، برای اینکه احساس‌های بدی که در این زمان داریم کمتر شود، ما دلیلی که باعث ایجاد این حس شده است را با فرض خلف در نظر می‌گیریم و سعی می‌کنیم فرض خود را اثبات کنیم. مثلاً دوستی از ما پولی را به امانت گرفته و برنمی‌گرداند و تماس‌های ما را پاسخ نمی‌دهد. اولین فرض ما خیانت‌درامانت این دوست است. پس بیاییم و فرض خلف را در نظر بگیریم. او خیانت‌درامانت نکرده، به دنبال اثبات آن باشیم. بررسی کنیم شاید او ورشکست شده است، شاید بیمار شده، شاید به هر دلیلی نتوانسته به قول خود عمل کند و به دنبال اثبات حدس‌های خود باشیم. حتی اگر فرض خلف ما درست نباشد، این حدس‌ها باعث می‌شود که احساس بد ما کم‌رنگ‌تر شود.

در واقع فرض خلف همیشه درست نیست ولی هدف، ایجاد آرامش ما در شرایط سختی که قابل‌پیش‌بینی نبوده و یا انتظار نداشته‌ایم، است.

۳-۲-۴: کاربرد روش اثبات برای بدترین حالت در زندگی

در اثبات برخی از قضایا در درس نظریه گراف، ما بدترین حالت ممکن را در نظر می‌گیریم و سپس برای بدترین حالت مسئله، قضیه را اثبات می‌کنیم؛ در این صورت، بقیه حالت‌هایی که ممکن است پیش بیاید، خودبه‌خود ثابت می‌شود.

در زندگی واقعی نیز در رویارویی با یک بحران به این فکر کنیم که بدترین حالتی که ممکن است اتفاق بیفتد چیست؟ برای این بدترین حالت، به دنبال بهترین راه‌حل باشیم، در این صورت اگر آن بدترین حالت اتفاق بیفتد، ما آماده‌ایم و اگر بدترین حالت اتفاق نیفتد، راه‌حل ما بسیار جامع و کاملتر است و به راحتی می‌توانیم از این بحران عبور کنیم.

"این مقاله توسط ماشین و هوش مصنوعی نگارش نشده و قبلاً این مقاله و یا بخشی از آن در جایی به چاپ نرسیده است".

approach and metaheuristic algorithms.” International Journal of Engineering, 35(2), 258-275.

[11]. Moengin, P. (2008). “Penalty Methods in Constrained Optimization.” Lecture Notes in Engineering and Computer Science. 2169.

[12]. Murali, T. M. (2021, October 5). “Applications of minimum spanning trees.” <http://bioinformatics.cs.vt.edu/~murali/teaching/2021-fall-cs4104/lectures/lecture13-mst-applications.pdf>

[13]. Sniedovich, M. (2010). “Dynamic Programming: Foundations and Principles” (2nd ed.). CRC Press.

[14]. Tachfouti, N. (2014). “Application of the queuing analytic theory in emergency department.” Archives of Trauma Research, 3(2), e10526.

[15]. Winston, W. L. (2004). “Operations Research: Applications and Algorithms” (4th ed.). Thomson Learning (Cengage).

[16]. Zhou, S. K., Greenspan, H., Davatzikos, C., Duncan, J. S., van Ginneken, B., Madabhushi, A., Prince, J. L., Rueckert, D., and Summers, R. M. (2021). “A review of deep learning in medical imaging: Imaging traits, technology trends, case studies with progress highlights, and future promises.” Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, 109(5), 820-838.

[۱۷]. رالف، پ. گریمالدی، ترجمه رضوانی، م. ع.، شمس، ب.،

ریاضیات گسسته و ترکیباتی، انتشارات فاطمی، چاپ نهم، ۱۳۹۳.

[۱۸]. فخارزاده جهرمی، ع. علیمراد، ه.، بهینه سازی خطی (تحقیق

در عملیات ۱)، انتشارات دانشگاه جهرم، فارس، ۱۳۹۷.

[۱۹]. فخارزاده جهرمی، ع. علیمراد، ه.، مقدمه‌ای بر بهینه سازی

غیرخطی (تحقیق در عملیات ۲)، انتشارات دانشگاه جهرم، فارس،

۱۴۰۱.

Reference

منابع

[1]. Abubakar, S. (2010). Refocusing Education towards entrepreneurship development in Nigeria: a tool for poverty eradication. European Journal of Social Science, 15, 140-150.

[2]. Aldawish, I., and Jalab, H. A. (2022). “A mathematical model for COVID-19 image enhancement based on Mittag-Leffler-Chebhev shift.” Computers, Materials & Continua, 73 (1), 1307-1316.

[3]. Chappell, M. (2025). “Principles of Medical Imaging for Engineers: From Signals to Images.” Springer.

[4]. Deo, N. (2022). “Graph Theory with Applications to Engineering and Computer Science.” Mineola, New York.

[5]. Durand de Gevigney, O. (2013). “Graphs Orientations: Structures and Algorithms.” Université de Grenoble.

[6]. Goel, R., Karn, T., Kushwaha, R., and Mehta, A. (2024). “Healthcare resource allocation optimization.” International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology, 429-433.

[7]. Huang, Q., and Li, G. (2024). “Knowledge graph-based reasoning in medical image analysis: A scoping review.” Computers in Biology and Medicine, 182, 109100.

[8]. Joghataie, A., and Takalloozadeh, M. (2009). “Improving penalty functions for structural optimization.” Transaction A: Civil Engineering, 16(4), 308-320.

[9]. L. Meier. (1973). “Dynamic programming and its application to optimal control.” IEEE Transactions on Automatic Control, 18(3), 327-328.

[10]. Maghzi, P., Mohammadi, M., Pasandideh, S. H. R., and Naderi, B. (2022). “Operating room scheduling optimization based on a fuzzy uncertainty

انقلاب صنعتی پنجم: پیشران‌ها، روندهای نوظهور و دلالت‌های سیاستی

مجید برزنونی^۱، دکتر جلیل حیدری دهنوی^{۱*}، دکتر جعفر نژاد چقوشی^۱، دکتر مهدی محمدی^۱
دکتر ایوب محمدیان^۱

چکیده

انقلاب صنعتی پنجم به‌عنوان پارادایمی نوین در توسعه صنعتی، بر انسان‌محوری، پایداری و تاب‌آوری تأکید دارد. این مقاله باهدف شناسایی پیشران‌ها و روندهای مؤثر بر آینده صنعت ۵.۰، بر پایه مرور نظام‌مند ادبیات و تحلیل محتوای کیفی تدوین شده است. در تفسیر یافته‌ها، تجارب منتخب بین‌المللی نیز برای غنی‌سازی بحث و استخراج دلالت‌های کاربردی برای ایران لحاظ شد. نتایج نشان می‌دهد که حکمرانی دیجیتال، تنظیم‌گری هوش مصنوعی، فناوری‌های کوانتومی، توسعه سرمایه انسانی، همکاری انسان و ماشین، تاب‌آوری زنجیره‌های تأمین، اقتصاد چرخشی و فناوری‌های هوشمند از مهم‌ترین عوامل شکل‌دهنده این گذار هستند. یافته‌ها همچنین بیانگر آن است که موفقیت در مسیر صنعت ۵.۰ تنها به پیشرفت فناوری وابسته نیست، بلکه به هم‌سویی حکمرانی، نیروی انسانی، پایداری و ظرفیت‌های نهادی نیاز دارد. ازاین‌رو، تقویت حکمرانی داده و هوش مصنوعی، توسعه و به‌کارگیری فناوری‌های توانمندساز، بازطراحی نظام مهارتی و هم‌سوسازی سیاست‌های صنعتی با اهداف پایداری و تاب‌آوری از الزامات اصلی ایران در این مسیر به شمار می‌رود.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت:

۳۱ اردیبهشت ۱۴۰۵

تاریخ بازنگری:

۲۵ خرداد ۱۴۰۵

تاریخ پذیرش:

۳۰ خرداد ۱۴۰۵

تاریخ انتشار:

۳۱ خرداد ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:

انقلاب صنعتی پنجم

حکمرانی دیجیتال

هوش مصنوعی

اقتصاد چرخشی

تاب‌آوری صنعتی

استناد: برزنونی، مجید، حیدری دهنوی، جلیل، جعفر نژاد چقوشی، احمد، محمدی، مهدی و محمدیان، ایوب. (۱۴۰۵). انقلاب صنعتی پنجم: پیشران‌ها، روندها و دلالت‌های سیاستی. ۱۶ (۱)، ص ۱۰۴-۱۱۳.

ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران

© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.



* عهده‌دار مکاتبات: دانشیار. تلفن: ۰۹۱۲۳۱۰۲۳۷۳، دور نگار: ۶۶۴۹۸۸۷۳ (+۹۸۲۱)، آدرس الکترونیکی: heidaryd@ut.ac.ir

^۱ دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۱. مقدمه

انقلاب صنعتی چهارم با تأکید بر دیجیتالی‌سازی، اتوماسیون و اتصال هوشمند سامانه‌های تولیدی، تحولات قابل توجهی در صنایع و زنجیره‌های ارزش ایجاد کرده است [۱]. با این حال، گسترش اتوماسیون نگرانی‌هایی درباره کاهش نقش انسان در فرایندهای تولیدی ایجاد کرده است. همچنین، پیامدهای زیست‌محیطی توسعه صنعتی و افزایش آسیب‌پذیری زنجیره‌های تأمین در برابر بحران‌هایی مانند همه‌گیری کووید-۱۹، چالش‌های جدیدی را مطرح کرده‌اند. در پاسخ به این چالش‌ها، کمیسیون اروپا در سال ۲۰۲۱ مفهوم انقلاب صنعتی پنجم را به عنوان پارادایمی نوین مطرح کرد که بر سه اصل انسان‌محوری، پایداری و تاب‌آوری استوار است [۲]. در این چارچوب، فناوری‌هایی نظیر هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، ربات‌های همکار و دوقلوهای دیجیتال نه باهدف جایگزینی انسان، بلکه برای تقویت توانمندی‌های انسانی، ارتقای کیفیت زندگی، افزایش بهره‌وری و حمایت از توسعه پایدار به کار گرفته می‌شوند [۳]. به تعبیر کلاوس شواب، بنیان‌گذار و رئیس اجرایی مجمع جهانی اقتصاد، فناوری سرنوشتی نیست که بر ما تحمیل شده باشد، بلکه ابزاری برای توانمندسازی انتخاب‌های انسانی است [۴].

با وجود رشد قابل توجه ادبیات مرتبط با صنعت ۵.۰ در سال‌های اخیر، هنوز مطالعات محدودی به طور نظام‌مند به شناسایی پیشران‌ها و روندهای مؤثر بر آینده این پارادایم پرداخته‌اند. از سوی دیگر، اغلب پژوهش‌ها بر ابعاد فناورانه تأکید داشته و تعامل هم‌زمان عوامل PESTEL^۱ را کمتر مورد توجه قرار داده‌اند [۵]. علاوه بر این، بخشی از ادبیات موجود بر تجربه کشورهای توسعه‌یافته متمرکز است و دلالت‌های سیاستی متناسب با شرایط کشورهای در حال توسعه، از جمله ایران، کمتر به صورت منسجم مورد بررسی قرار گرفته است. در حالی که موفقیت در گذار به این انقلاب صرفاً به توسعه فناوری وابسته نیست و عواملی نظیر حکمرانی دیجیتال، سرمایه انسانی، ظرفیت‌های نهادی، پایداری و تاب‌آوری نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در این فرایند دارند.

نوآوری پژوهش حاضر در ارائه تصویری یکپارچه از پیشران‌ها و روندهای مؤثر بر آینده انقلاب صنعتی پنجم، سازماندهی آن‌ها در چارچوب PESTEL، بررسی تجارب منتخب بین‌المللی و استخراج دلالت‌های سیاستی متناسب با شرایط ایران است. این رویکرد به

درک جامع‌تری از ابعاد فناورانه، انسانی، نهادی و زیست‌محیطی نسل پنجم انقلاب صنعتی کمک می‌کند و می‌تواند راهگشایی برای سیاست‌گذاری علم، فناوری در این حوزه باشد.

بر این اساس، پرسش اصلی پژوهش چنین است: پیشران‌ها و روندهای کلیدی مؤثر بر آینده انقلاب صنعتی پنجم کدام‌اند و چه دلالت‌هایی برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در ایران دارند؟

۲. انقلاب صنعتی پنجم و چارچوب تحلیلی پژوهش

صنعت پنجم به عنوان نسل جدید تحول صنعتی، پاسخی به برخی محدودیت‌ها و پیامدهای انقلاب صنعتی چهارم محسوب می‌شود. در حالی که انقلاب صنعتی چهارم عمدتاً بر دیجیتالی‌سازی، اتوماسیون و افزایش بهره‌وری تمرکز داشت، این مفهوم تلاش می‌کند میان پیشرفت فناوری و نیازهای انسانی، اجتماعی و محیط‌زیستی تعادل برقرار کند. به بیانی بهتر صنعت ۵.۰ بازگشت لمس انسانی و خلاقیت فردی به قلب خطوط تولید هوشمند است [۶]. همچنین همان‌گونه که موسوی‌موحدی و کیانی بختیاری نشان داده‌اند، انقلاب صنعتی چهارم تنها به دیجیتالی‌سازی تولید محدود نبود، بلکه بر صنعت، محصولات و خدمات، مدل‌های کسب‌وکار، محیط کار و توسعه مهارت‌ها نیز اثرات بنیادین برجای گذاشت؛ از این رو، گذار به صنعت پنجم را باید پاسخی به همین دگرگونی‌های عمیق و نیاز به انسان‌محوری و تاب‌آوری بیشتر دانست [۷]. کمیسیون اروپا این مفهوم را بر سه رکن اصلی انسان‌محوری، پایداری و تاب‌آوری استوار دانسته و آن را چارچوبی برای توسعه صنعتی آینده معرفی کرده است. در این رویکرد، فناوری‌های نوظهور نظیر هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، ربات‌های همکار و دوقلوهای دیجیتال نه به عنوان جایگزین انسان، بلکه به عنوان ابزاری برای افزایش توانمندی‌های انسانی، بهبود کیفیت زندگی و ارتقای پایداری به کار گرفته می‌شوند.

نخستین رکن انقلاب صنعتی پنجم، انسان‌محوری است. در این دیدگاه، انسان در مرکز فرایندهای صنعتی قرار دارد و فناوری باید در خدمت ارتقای رفاه، ایمنی، خلاقیت و توانمندی نیروی انسانی باشد. دومین رکن، پایداری است که بر کاهش اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های صنعتی، استفاده بهینه از منابع، توسعه اقتصاد چرخشی و کاهش انتشار آلاینده‌ها تأکید دارد. سومین رکن، تاب‌آوری است

^۱ سیاسی، اقتصادی، اجتماعی، فناوری، زیست‌محیطی و قانونی

یعنی ظرفیت یک سیستم برای بقا، سازگاری و رشد در مواجهه با تغییرات پیش‌بینی‌ناپذیر [۸].

علوم و فناوری‌های تاب‌آور یکی از ارکان کلیدی صنعت ۵.۰ محسوب می‌شوند. این حوزه بر طراحی سامانه‌هایی تمرکز دارد که بتوانند اختلالات را پیش‌بینی، جذب، مدیریت و پس از بحران به سرعت بازیابی شوند. در این چارچوب، تاب‌آوری صرفاً به معنای مقاومت در برابر شوک‌ها نیست، بلکه شامل توانایی سازگاری، بازیگربندی و تداوم عملکرد در شرایط عدم قطعیت نیز می‌شود [۲]. [۹]، از جمله مهم‌ترین فناوری‌های تاب‌آور می‌توان به دوقلوهای دیجیتال، هوش مصنوعی برای پایش و مدیریت ریسک، زیرساخت‌های دیجیتال تاب‌آور، امنیت سایبری صنعتی، معماری‌های ماژولار، سامانه‌های خودترمیم و فناوری‌های بازیگربندی فرایندهای تولید اشاره کرد توسعه این فناوری‌ها می‌تواند ضمن افزایش تاب‌آوری زنجیره‌های تأمین و زیرساخت‌های صنعتی، ظرفیت رقابت‌پذیری و آمادگی کشور را در برابر بحران‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و فناورانه ارتقا دهد [۹]. برای روشن‌تر شدن تفاوت این دو پارادایم، ویژگی‌های کلیدی انقلاب صنعتی چهارم و پنجم در جدول ۱ مقایسه شده‌اند:

جدول ۱: مقایسه تطبیقی ویژگی‌های کلیدی انقلاب صنعتی چهارم و پنجم

شاخص مقایسه	انقلاب صنعتی چهارم (Industry 4.0)	انقلاب صنعتی پنجم (Industry 5.0)
هدف	بهینه‌سازی فرآیند و کاهش هزینه	ارتقای رفاه انسان و پایداری محیطی
بنیادین	فناوری محور (سایبر-فیزیکی)	انسان محور (همکاری انسان-ماشین)
مدل اقتصادی	تولید انبوه (Mass Production)	شخصی‌سازی انبوه ^۱
تاب‌آوری	تمرکز بر بهره‌وری زنجیره تأمین	تمرکز بر انطباق‌پذیری در برابر بحران‌ها
محیط زیست	افزایش کارایی برای مصرف کمتر	اقتصاد چرخشی و بازتولید منابع

باتوجه به ماهیت چندبعدی این مفهوم، بررسی آن صرفاً از منظر فناوری کافی نیست. این پارادایم تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل

نهادی و محیطی شکل می‌گیرد که به طور هم‌زمان مسیر تحول صنایع را جهت‌دهی می‌کنند. براین اساس، در این پژوهش از چارچوب PESTEL برای تحلیل محیط کلان استفاده شده است. این چارچوب امکان شناسایی و طبقه‌بندی نظام‌مند عوامل اثرگذار بر آینده یک پدیده را فراهم کرده و ارتباط میان تحولات محیطی و روندهای کلان را آشکار می‌سازد. در این چارچوب، بعد سیاسی به سیاست‌های عمومی، حکمرانی فناوری و رقابت‌های ژئوپلیتیکی مربوط می‌شود. بعد اقتصادی بر تحول مدل‌های کسب‌وکار، بهره‌وری و زنجیره‌های تأمین تمرکز دارد. بعد اجتماعی به سرمایه انسانی، مهارت‌ها و پذیرش فناوری می‌پردازد. بعد فناورانه شامل فناوری‌های توانمندساز مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، دوقلوهای دیجیتال و فناوری‌های کوانتومی است.

فناوری‌های کوانتومی را می‌توان یکی از کلیدی‌ترین توانمندسازهای انقلاب صنعتی پنجم دانست؛ چارچوبی که بر انسان‌محوری، پایداری و تاب‌آوری استوار است. اگرچه کوانتوم خود انقلاب نیست، اما با فراهم کردن ابزارهایی چون رایانش فوق‌سریع، امنیت ارتباطی، حسگرهای بسیار دقیق و شبیه‌سازی پیشرفته، تحقق اهداف صنعت ۵.۰ را امکان‌پذیر می‌سازد. به‌ویژه، بهره‌گیری از اصول برهم‌نهی و درهم‌تنیدگی کوانتومی می‌تواند در بهینه‌سازی زنجیره‌های تأمین، نگهداری پیش‌بینانه، ارتقای همکاری انسان‌ماشین و توسعه سامانه‌های هوشمند در حوزه‌هایی نظیر سلامت، انرژی، حمل‌ونقل و تولید پیشرفته نقشی تعیین‌کننده ایفا کند [۱۰]. در کنار آن، بعد زیست‌محیطی موضوعاتی مانند اقتصاد چرخشی و مدیریت منابع را در برمی‌گیرد و بعد قانونی نیز به مقررات، استانداردها و ملاحظات اخلاقی فناوری اختصاص دارد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش با هدف شناسایی، پالایش و طبقه‌بندی پیشران‌ها و روندهای کلیدی مؤثر بر آینده انقلاب صنعتی پنجم، از رویکرد مرور نظام‌مند ادبیات همراه با تحلیل محتوای کیفی و چارچوب PESTEL استفاده کرده است.

جستجوی نظام‌مند در پایگاه داده Scopus (به دلیل پوشش جامع نشریات معتبر بین‌المللی) در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۵ انجام شد. کلیدواژه‌های جستجو در عنوان مقالات عبارت بودند از:

^۱ Mass Personalization

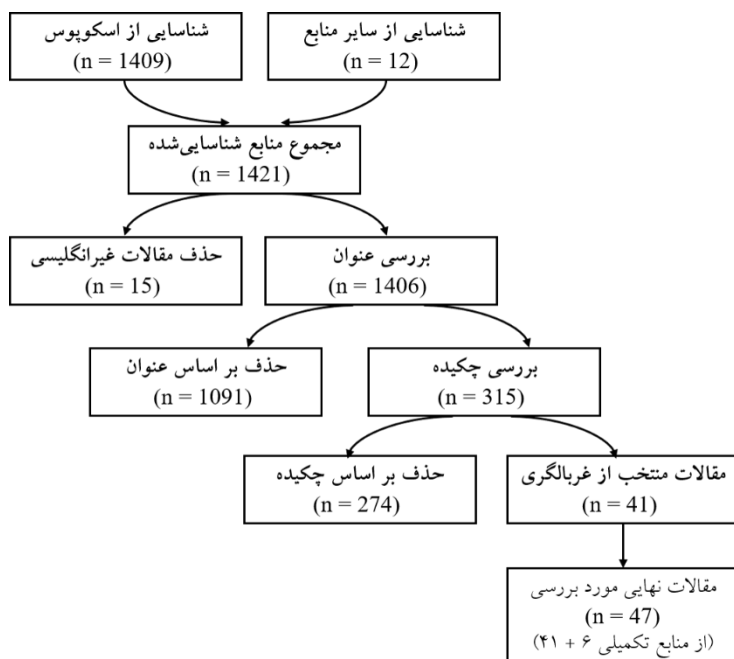
جدول ۲: تم‌های اصلی ادبیات انقلاب صنعتی پنجم

تم اصلی	فراوانی تقریبی	شرح مختصر
انسان‌محوری و همکاری انسان و ماشین	≈ 50	تقویت نقش انسان، همکاری انسان و ربات و ارتقای رفاه و ایمنی نیروی کار
پایداری و بهره‌وری منابع	≈ 35	کاهش ضایعات، بهینه‌سازی مصرف منابع و توسعه تولید پایدار
فناوری‌های دیجیتال توانمندساز	≈ 30	هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، کلان‌داده و فناوری‌های هوشمند پشتیبان تولید
تاب‌آوری و انعطاف‌پذیری صنعتی	≈ 15	افزایش توان سازگاری صنایع در برابر بحران‌ها و اختلالات

۵. روندها و پیشران‌های کلیدی انقلاب صنعتی پنجم

در چارچوب PESTEL

برای ارائه تصویری یکپارچه از عوامل مؤثر بر آینده صنعت پنجم، روندها و پیشران‌های استخراج‌شده در چارچوب PESTEL دسته‌بندی شدند. انتخاب این عوامل بر اساس تکرار در ادبیات، تراکم مفهومی در تحلیل محتوا و تأیید خبرگان انجام شد.



شکل ۱: جریان اطلاعات مرور سیستماتیک بر اساس PRISMA 2020 [۱۱]

• مفاهیم اصلی "Industry 5.0" OR "Fifth Industrial Revolution":

• مفاهیم تحول و آینده: "Drivers" OR "Trends" OR

"Roadmap" OR "Future directions"

• مفاهیم مکمل: "Human-centric" OR "Sustainability" OR "Resilience"

در مرحله نخست، ۱۴۲۱ مقاله شناسایی شد. پس از حذف موارد تکراری، غربالگری براساس عنوان، چکیده و متن کامل، در نهایت ۴۷ مقاله برای تحلیل نهایی انتخاب شد همچنین چند منبع تکمیلی از طریق بررسی ارجاعات مقالات منتخب اضافه گردید (شکل ۱). در گام بعد، مقالات منتخب با استفاده از تحلیل محتوای کیفی بررسی شدند. در این فرایند، مفاهیم و الگوهای تکرارشونده استخراج و به‌صورت کدهای اولیه ثبت شدند. سپس این کدها بر اساس شباهت مفهومی در قالب تم‌ها و خوشه‌های تحلیلی ادغام شدند تا پیشران‌ها و روندهای کلیدی شناسایی شوند. به‌موجب افزایش اعتبار و اطمینان‌پذیری نتایج، یافته‌های حاصل از تحلیل ادبیات با نظر گروهی از خبرگان حوزه آینده‌پژوهی، سیاست‌گذاری فناوری و تحول دیجیتال بازبینی و اصلاح شد. در نهایت، پیشران‌ها و روندهای استخراج‌شده در دسته‌بندی و تحلیل شدند.

۴. یافته‌ها

تحلیل محتوای ۴۷ منبع منتخب نشان داد که ادبیات انقلاب صنعتی پنجم عمدتاً حول چهار محور اصلی شکل گرفته است. بیشترین فراوانی مفاهیم به انسان‌محوری و همکاری انسان و ماشین اختصاص داشت و پس از آن موضوعات پایداری، فناوری‌های دیجیتال توانمندساز و تاب‌آوری صنعتی قرار گرفتند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که انقلاب صنعتی پنجم صرفاً بر توسعه فناوری متمرکز نیست، بلکه بر نقش انسان، پایداری محیط‌زیستی و افزایش انعطاف‌پذیری سیستم‌های صنعتی نیز تأکید دارد.

یافته‌های جدول فوق، پیشران‌ها و روندهای کلیدی را در سطح ادبیات جهانی شناسایی کرد. اما می‌توان بررسی کرد کشورها در عمل چگونه این پیشران‌ها را مدیریت کرده‌اند و دلالت‌های سیاستی متناسب با ایران چگونه است؟ به همین خاطر تجربه پنج کشور با تنوع منطقه‌ای (ژاپن، آلمان، آمریکا، ترکیه و برزیل) بررسی می‌شود.

جدول ۳: روندها و پیشران‌های کلیدی صنعت پنجم در چارچوب PESTEL

نمونه رفرنس	دولت سیاستی	پیشران‌های اصلی	روندهای کلیدی	بعد تحول
[۲]	تکمیل و اجرایی‌سازی سند ملی هوش مصنوعی با تأکید بر حکمرانی داده، استقلال فناورانه و آمادگی برای الزامات انقلاب صنعتی پنجم	رقابت ژئوپلیتیک بر سر هوش مصنوعی، داده و زیرساخت‌های دیجیتال	جهانی‌شدن حکمرانی فناوری و استانداردهای AI	سیاسی
[۱۲]	توسعه نظام حکمرانی داده و یکپارچه‌سازی پایگاه‌های اطلاعاتی کشور در راستای توسعه دولت هوشمند	نگرانی از انحصار پلتفرم‌ها و تمرکز داده	افزایش حکمرانی دیجیتال دولت‌ها	سیاسی
[۱۴، ۱۳]	تقویت سازوکارهای تنظیم‌گری فناوری‌های نوظهور و ایجاد هماهنگی میان نهادهای مسئول حکمرانی دیجیتال	پیچیدگی و سرعت تحولات انقلاب صنعتی پنجم	توسعه نهادهای تخصصی تنظیم‌گر فناوری	سیاسی
[۱۵]	تدوین مقررات ملی برای شفافیت الگوریتمی، مسئولیت‌پذیری هوش مصنوعی و حفاظت از داده‌های شهروندان	افزایش سوگیری‌ها و مخاطرات تصمیم‌گیری خودکار	رشد مقررات اخلاقی و شفافیت الگوریتمی	قانونی
[۱۷، ۱۶]	حمایت از توسعه مدل‌های کسب‌وکار داده‌محور و پلتفرمی در صنایع دانش‌بنیان کشور	فشار برای افزایش بهره‌وری و انعطاف‌پذیری	شخصی‌سازی و خدمت‌محوری	اقتصادی
[۱۹، ۱۸]	افزایش تاب‌آوری زنجیره‌های تأمین راهبردی کشور از طریق دیجیتالی‌سازی و بومی‌سازی فناوری‌های کلیدی	بحران‌های جهانی و ریسک‌های ژئوپلیتیک	هوشمندسازی و تاب‌آوری زنجیره تأمین	اقتصادی
[۳]	تدوین استانداردهای ملی همکاری انسان و ماشین و ارتقای ایمنی محیط‌های کاری هوشمند	نیاز به بهره‌وری همراه با رفاه نیروی کار	گسترش همکاری انسان-ماشین و محیط‌های کاری انسان‌محور	اجتماعی
[۲۱، ۲۰]	بازنگری برنامه‌های آموزش عالی و مهارتی با تمرکز بر مهارت‌های دیجیتال، خلاقیت و همکاری انسان-ماشین	شکاف مهارتی ناشی از AI و اتوماسیون	بازآموزی و توسعه مهارت‌های دیجیتال	اجتماعی
[۲۳، ۲۲]	گسترش عدالت دیجیتال از طریق توسعه زیرساخت‌ها و آموزش مهارت‌های دیجیتال در مناطق کمتر برخوردار	نابرابری دسترسی به فناوری و مقاومت فرهنگی	افزایش توجه به عدالت دیجیتال و پذیرش اجتماعی فناوری	اجتماعی
[۲۴]	توسعه مراکز نوآوری و آزمایشگاه‌های کاربردی هوش مصنوعی در صنایع اولویت‌دار کشور	پیشرفت سریع یادگیری ماشین و پردازش داده	گسترش اینترنت اشیا صنعتی، AI و تحلیل بلادرنگ داده	فناورانه
[۲۵، ۱۰]	اجرای پروژه‌های پایلوت دوقلوی دیجیتال در صنایع بزرگ، انرژی و زیرساخت‌های حیاتی	افزایش قدرت محاسباتی و کاهش هزینه حسگرها	توسعه فناوری‌های کوانتومی دوقلوهای دیجیتال و شبیه‌سازی هوشمند	فناورانه
[۲۷]	سرمايه‌گذاری در زیرساخت‌های ارتباطی و پردازشی مورد نیاز کارخانه‌های هوشمند آینده	نیاز به تبادل داده‌های بلادرنگ در کارخانه‌های هوشمند	رشد شبکه‌های ۶G و پردازش لبه	فناورانه
[۲۸]	ادغام اصول اقتصاد چرخشی و تولید سبز در سیاست‌های صنعتی و زیست‌محیطی کشور	فشار برای کاهش انتشار کربن و تغییرات اقلیمی	رشد اقتصاد چرخشی و تولید پایدار	زیست‌محیطی
[۲۹، ۳۰]	توسعه سامانه‌های هوشمند مدیریت انرژی و بهره‌وری منابع در بخش صنعت و خدمات	افزایش هزینه انرژی و کمیابی منابع	دیجیتالی‌شدن مدیریت انرژی و منابع	زیست‌محیطی

۶. تجارب بین‌المللی در گذار به انقلاب صنعتی پنجم

ژاپن یکی از نخستین کشورهایی است که از طریق راهبرد «جامعه ۵.۰» چارچوبی ملی برای گذار به عصر جدید ارائه کرده است. در این رویکرد، فناوری‌هایی مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیا و رباتیک بیشتر به عنوان ابزاری برای حل مسائل اجتماعی، بهبود کیفیت زندگی و ارتقای رفاه عمومی به کار گرفته می‌شوند، نه صرفاً به عنوان هدف. همچنین مطالعات نشان می‌دهد شرکت‌های ژاپنی توجه ویژه‌ای به همکاری انسان و ماشین و توسعه ربات‌های همکار در محیط‌های صنعتی داشته‌اند [۳۲].

بررسی‌ها حاکی از آن است که آلمان به عنوان پیش‌گام انقلاب صنعتی چهارم، در سال‌های اخیر تلاش کرده است زیرساخت‌های دیجیتال و صنعتی خود را در راستای اهداف انقلاب صنعتی پنجم بازآرایی کند. توسعه کارخانه‌های هوشمند، بهره‌گیری گسترده از اینترنت اشیا صنعتی و توجه روزافزون به پایداری و تاب‌آوری زنجیره‌های تأمین از مهم‌ترین اقدامات این کشور محسوب می‌شود. مطالعات تطبیقی نشان می‌دهد که آلمان در حال گذار از رویکرد صرفاً اتوماسیون محور به سمت الگوی متوازن‌تری مبتنی بر همکاری انسان و ماشین است [۳۳].

ایالات متحده آمریکا از بازیگران اصلی توسعه و استقرار این انقلاب به شمار می‌رود. رشد سریع فناوری‌هایی نظیر هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، ربات‌های همکار، دوقلوهای دیجیتال و تولید افزایشی، زمینه گذار صنایع این کشور به الگوهای انسان‌محور و هوشمند را فراهم کرده است. شواهد بازار نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری‌های گسترده در کارخانه‌های هوشمند، همکاری انسان و ماشین، زنجیره‌های تأمین تاب‌آور و تولید پایدار، از مهم‌ترین محرک‌های توسعه Industry 5.0 در آمریکا هستند. همچنین توسعه دوقلوهای دیجیتال، رباتیک مبتنی بر هوش مصنوعی و شخصی‌سازی انبوه محصولات، به‌ویژه در صنایع خودروسازی و تولید پیشرفته، جایگاه ویژه‌ای یافته است. حمایت‌های سیاستی دولت آمریکا، از جمله سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های نیمه‌رسانا و فناوری‌های هوشمند، نیز نقش مهمی در تسریع این گذار ایفا می‌کند. این تجربه نشان می‌دهد که تلفیق نوآوری فناورانه با بهره‌گیری از خلاقیت انسانی، پایداری و

تاب‌آوری زنجیره‌های تأمین، از مهم‌ترین الزامات تحقق این انقلاب صنعتی است [۳۴].

ترکیه نیز از جمله کشورهایی است که اقدامات عملی و ملی‌محوری برای گذار به انقلاب صنعتی پنجم با تمرکز بر مدل «جامعه ۵.۰» انجام داده است. برگزاری مجمع تخصصی منابع انسانی استانبول با محوریت جامعه ۵.۰، اجرای «برنامه ملی کارآموزی» با مدل سنجش منحصربه‌فرد دیجیتال، و توسعه پلتفرم‌های استخدام هوشمند نظیر «Kariyer Kapisi» از

مهم‌ترین اقدامات این کشور محسوب می‌شود. همچنین ترکیه با مطالعه موارد کاربردی در صنایع دفاع، حمل‌ونقل، شهرهای هوشمند و امنیت سایبری، تلاش کرده است فناوری‌های انسان‌محور را با نیازهای ملی و منطقه‌ای تلفیق کند [۳۵].

در میان کشورهای در حال توسعه، برزیل از جمله کشورهایی است که توجه فزاینده‌ای به مفاهیم انقلاب صنعتی پنجم نشان داده است. مطالعات انجام‌شده در این کشور فرصت‌های قابل‌توجهی را در بخش‌هایی نظیر کشاورزی هوشمند، انرژی‌های تجدیدپذیر و صنایع فناوری‌محور شناسایی کرده‌اند. با این حال، چالش‌هایی همچون شکاف مهارتی، محدودیت زیرساخت‌های دیجیتال و پایین بودن بلوغ فناورانه همچنان از مهم‌ترین موانع گذار به انقلاب صنعتی در این کشور محسوب می‌شوند. در مورد برزیل، نتایج نشان‌دهنده آن است که موفقیت در این مسیر نیازمند سرمایه‌گذاری هم‌زمان در فناوری، آموزش و سیاست‌گذاری است [۳۶، ۳۳].

بررسی‌های تطبیقی نشان می‌دهد که آمادگی کشورها برای گذار به انقلاب صنعتی پنجم قابل رتبه‌بندی است. در یکی از این ارزیابی‌ها، کشورهای اروپایی بر پایه شاخص آمادگی صنعت ۵.۰ در چهار بُعد تحول دیجیتال، انسان‌محوری، پایداری، و نوآوری و تاب‌آوری سیستمی سنجیده شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد سوئد، هلند، دانمارک، آلمان و ایرلند در میان کشورهای پیشرو قرار دارند، در حالی که لهستان، یونان، بلغارستان و رومانی با محدودیت‌های ساختاری و سطح آمادگی پایین‌تر روبه‌رو هستند [۳۷].

مرور تجارب بین‌المللی بیانگر آن است که توسعه فناوری به‌تنهایی برای تحقق صنعت پنجم کافی نیست و عواملی مانند راهبرد ملی، سرمایه انسانی، زیرساخت دیجیتال و تنظیم‌گری مناسب نیز نقش تعیین‌کننده‌ای دارند. در این میان، تجربه کشورهایی مانند ژاپن، آلمان، آمریکا، ترکیه و برزیل نشان می‌دهد که هرچند مسیرهای

¹ Society 5.0

۸. انسان‌محوری و توسعه سرمایه انسانی

نتایج پژوهش نشان می‌دهد که برخلاف تصور رایج، توسعه فناوری به معنای حذف نقش انسان نیست، بلکه بر همکاری انسان و ماشین و ارتقای توانمندی‌های انسانی تأکید دارد. از این منظر، توسعه سرمایه انسانی و مهارت‌های آینده به یکی از مهم‌ترین پیشران‌های انقلاب صنعتی پنجم تبدیل شده است. بازآموزی نیروی کار، یادگیری مادام‌العمر، توسعه مهارت‌های دیجیتال، تفکر سیستمی، خلاقیت و توانایی تعامل با سامانه‌های هوشمند از جمله الزامات اصلی این دوران محسوب می‌شوند. تجربه ترکیه و ژاپن نیز نشان می‌دهد که بازآموزی مستمر نیروی کار و توسعه مهارت‌های دیجیتال از مهم‌ترین پیش‌نیازهای این گذار است.

ایران از ظرفیت‌هایی همچون جمعیت جوان، شبکه گسترده آموزش عالی و رشد شرکت‌های دانش‌بنیان برخوردار است. با این حال، شکاف میان نیازهای جدید صنعت و برنامه‌های آموزشی موجود همچنان قابل توجه است. بنابراین بازنگری در برنامه‌های آموزش عالی و مهارتی، توسعه دوره‌های میان‌رشته‌ای، طراحی برنامه‌های بازآموزی برای نیروی کار شاغل، و تقویت پیوند دانشگاه و صنعت می‌تواند نقش مهمی در آماده‌سازی سرمایه انسانی کشور برای الزامات صنعت پنجم ایفا کند.

۹. پایداری و بهره‌وری منابع

می‌توان عنوان کرد پایداری در انقلاب صنعتی پنجم تنها یک ملاحظه زیست‌محیطی نیست، بلکه به یکی از عوامل مهم رقابت‌پذیری صنایع تبدیل شده است. افزایش هزینه انرژی، محدودیت منابع و الزامات محیط‌زیستی، صنایع را به سمت استفاده کارآمدتر از منابع و کاهش اتلاف سوق داده است. تجربه کشورهایی مانند آلمان و برزیل نیز نشان می‌دهد که بهره‌وری انرژی و مدیریت بهینه منابع به بخشی از سیاست‌های صنعتی تبدیل شده‌اند.

در ایران نیز اگرچه اقداماتی در حوزه بهره‌وری انرژی همچون تأسیس سازمان ملی بهره‌وری و تأکید شدید برنامه هفتم توسعه^۱ انجام شده است، اما همچنان ظرفیت قابل‌توجهی برای بهبود مدیریت منابع و کاهش اتلاف وجود دارد. از این رو، توسعه فناوری‌های پاک، به‌کارگیری سامانه‌های هوشمند مدیریت انرژی

طی شده متفاوت‌اند، اما موفقیت پایدار تنها زمانی حاصل می‌شود که فناوری در خدمت انسان، تاب‌آوری و توسعه مسئولانه قرار گیرد.

۷. وضعیت ایران و الزامات گذار به انقلاب صنعتی پنجم

اگرچه هدف این پژوهش سنجش میزان آمادگی ایران برای انقلاب صنعتی پنجم نیست، اما چارچوب آمادگی صنعت [۳۷] ۵۰ مبنای مناسبی برای یکپارچه‌سازی یافته‌های استخراج‌شده از ادبیات فراهم می‌کند. از این رو، دلالت‌های سیاستی پژوهش با اتکا به چهار بعد تحول دیجیتال، انسان‌محوری، پایداری و نوآوری و تاب‌آوری سیستمی صورت‌بندی شد.

تحول دیجیتال و حکمرانی فناوری

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که یکی از مهم‌ترین روندهای آینده صنعت، گسترش حکمرانی دیجیتال، تنظیم‌گری هوش مصنوعی و تقویت سازوکارهای اعتماد دیجیتال است. رشد سامانه‌های هوشمند، هوش مصنوعی و پردازش کلان‌داده‌ها موجب شده است موضوعاتی مانند حریم خصوصی، امنیت داده، شفافیت الگوریتمی و مسئولیت‌پذیری فناوری به بخشی جدایی‌ناپذیر از سیاست‌گذاری صنعتی تبدیل شوند. تجربه آمریکا و اتحادیه اروپا نشان می‌دهد که توسعه فناوری بدون چارچوب‌های روشن حکمرانی داده، اخلاق هوش مصنوعی و سازوکارهای پاسخ‌گویی، پایدار و قابل‌اتکا نخواهد بود. بر این اساس، هوش مصنوعی باید به‌گونه‌ای تنظیم شود که کنترل انسانی را تقویت کند، نه آنکه جایگزین قضاوت انسان شود.

در ایران نیز طی سال‌های اخیر خصوصاً با تصویب برنامه هفتم توسعه اقداماتی مانند تدوین سند ملی هوش مصنوعی، توسعه دولت هوشمند و حرکت به سوی یکپارچه‌سازی خدمات دیجیتال آغاز شده است. با این حال، همچنان خلأهایی در حوزه حکمرانی داده، تنظیم‌گری هوش مصنوعی، امنیت سایبری صنعتی و هماهنگی نهادی مشاهده می‌شود. از این رو، ایجاد سازوکار ملی حکمرانی داده، تعیین متولی روشن برای تنظیم‌گری هوش مصنوعی، و تدوین قواعد اجرایی برای کاربردهای صنعتی فناوری‌های هوشمند از مهم‌ترین الزامات گذار کشور به صنعت پنجم به شمار می‌آید.

^۱ سهم ۳۵ درصدی بهره‌وری در رشد اقتصادی سالانه ۸ درصدی (ماده ۲ قانون برنامه هفتم) و تحقق حداقل ۱۰ درصد افزایش بهره‌وری خدمات دولتی (ماده ۱۱۱)

در این مسیر، توسعه و به‌کارگیری علوم و فناوری‌های تاب‌آور می‌تواند ضمن افزایش پایداری و امنیت سامانه‌های صنعتی، توان رقابت‌پذیری، انعطاف‌پذیری و آمادگی کشور را در برابر بحران‌ها و تغییرات شتابان فناوری ارتقا داده و زمینه‌ساز توسعه صنعتی هوشمند، پایدار و آینده‌نگر شود.

نویسندگان اعلام می‌دارند که این مقاله توسط هوش مصنوعی نگارش نشده است. کل و یا بخشی از آن نیز در هیچ‌کدام از پایگاه‌های اطلاعاتی چاپ نشده است.

Reference

منابع

- [1]. Schwab, K. (2024). The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond, In: Handbook of research on strategic leadership in the Fourth Industrial Revolution, Edward Elgar Publishing. PP. 29–34.
- [2]. European Commission (2021). Industry 5.0 Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry, Directorate-General for Research and Innovation.
- [3]. Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—A human-centric solution, Sustainability, Vol. 11, No. 16. PP. 4371.
- [4]. Schwab, K. (2017). The fourth industrial revolution, Crown Business, New York, Vol. 192.
- [5]. Ghobakhloo, M., Mahdiraji, H. A., Iranmanesh, M., Jafari-Sadeghi, V. (2024). From Industry 4.0 Digital Manufacturing to Industry 5.0 Digital Society: a Roadmap Toward Human-Centric, Sustainable, and Resilient Production, Information Systems Frontiers.
- [6]. Elangovan, U. (2021). Industry 5.0: The future of the industrial economy, CRC Press.
- [7]. ابوالفضل کیانی بختیاری، علی‌اکبر موسوی موحلی (۱۴۰۰)، "انقلاب صنعتی چهارم و تغییرات بنیادین پیش رو"، فصلنامه نشاء علم، دوره ۱۱، شماره ۲، صص ۱۵۵–۱۶۳.
- [8]. Fiksel, J. (2015). Resilient by design: Creating businesses that adapt and flourish in a changing world, Princeton University Press.
- [9]. Ivanov, D. (2023). The Industry 5.0 framework: viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives, International Journal of Production Research, Vol. 61, No. 5. PP. 1683–1695.
- [10]. Ganiyat, S., Bright, G. (2026). Quantum Computing as a Disruptive Technology: Implications for Advanced Manufacturing and Industry 5.0, Applied Sciences, Vol. 16, No. 10. PP. 4856.

و توجه بیشتر به بهره‌وری منابع می‌تواند از الزامات مهم حرکت به سمت صنعت پنجم باشد.

۱۰. نوآوری و تاب‌آوری سیستمی

بررسی‌ها نشان می‌دهد که نوآوری و توان سازگاری با شرایط متغیر، از عوامل کلیدی موفقیت در صنعت پنجم هستند. کشورهایی که سرمایه‌گذاری بیشتری در تحقیق و توسعه، فناوری و زیرساخت‌های نوآوری انجام داده‌اند، آمادگی بیشتری برای مواجهه با تغییرات و بحران‌ها داشته‌اند.

ایران از ظرفیت‌هایی مانند دانشگاه‌ها، نیروی انسانی متخصص و شرکت‌های دانش‌بنیان برخوردار است، اما برای بهره‌گیری بهتر از این ظرفیت‌ها، تقویت ارتباط دانشگاه و صنعت، حمایت از فعالیت‌های نوآورانه و افزایش تاب‌آوری زنجیره‌های تأمین ضروری به نظر می‌رسد. این اقدامات می‌تواند زمینه آمادگی بیشتر کشور برای الزامات صنعت پنجم را فراهم کند.

۱۱. نتیجه‌گیری

صنعت ۵.۰ برخلاف انقلاب صنعتی چهارم، صرفاً یک تحول فناورانه نیست، بلکه پارادایمی نوین است که بر همگرایی فناوری‌های پیشرفته با نیازهای انسانی، پایداری و تاب‌آوری استوار است. در این چارچوب، علوم و فناوری‌های تاب‌آور به‌عنوان یکی از پیشران‌های کلیدی، با ارتقای ظرفیت پیش‌بینی، سازگاری، تداوم عملکرد و بازیابی سامانه‌های صنعتی در برابر مخاطرات، نقش مهمی در تحقق اهداف صنعت ۵.۰ ایفا می‌کنند. بررسی ادبیات و تجربه کشورهای پیشرو نشان می‌دهد که تحول دیجیتال، انسان‌محوری، بهره‌وری و پایداری منابع، نوآوری و تاب‌آوری سیستمی، مهم‌ترین ابعاد این گذار هستند. ازاین‌رو، موفقیت کشورها بیش از توسعه صرف فناوری، به توانایی آن‌ها در ایجاد تعادل میان پیشرفت فناوری، توسعه سرمایه انسانی، حکمرانی مؤثر، ظرفیت‌های نهادی و بهره‌گیری از فناوری‌های تاب‌آور و اخلاق حرفه‌ای وابسته است.

در کشور اگرچه اقداماتی در حوزه دولت هوشمند، توسعه شرکت‌های دانش‌بنیان و سیاست‌های فناوری آغاز شده است، اما تحقق الزامات صنعت ۵.۰ مستلزم رویکردی یکپارچه در حکمرانی علمی، فناوری و علوم داده، توسعه مهارت‌های آینده، ارتقای بهره‌وری منابع و تقویت ظرفیت‌های نوآوری و تاب‌آوری است.

- bibliometric analysis, *Organizacija*, Vol. 54, No. 4. PP. 293–305.
- [24]. Piccarozzi, M., Silvestri, L., Silvestri, C., Ruggieri, A. (2024). Roadmap to Industry 5.0: Enabling technologies, challenges, and opportunities towards a holistic definition in management studies, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 205.
- [25]. Verma, A., et al. (2022). Blockchain for industry 5.0: Vision, opportunities, key enablers, and future directions, *IEEE Access*, Vol. 10. PP. 69160–69199.
- [26]. Gaffinet, B., Ali, J. A. H., Naudet, Y., Panetto, H. (2025). Human digital twins: A systematic literature review and concept disambiguation for industry 5.0, *Computers in Industry*, Vol. 166. PP. 104230.
- [27]. Lauria, M., Azzalin, M. (2024). Digital Twin Approach in Buildings: Future Challenges via a Critical Literature Review, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*.
- [28]. Sonar, H., Ghag, N., Sharma, I. (2025). Reshaping industry 5.0: Unveiling supply chain resilience for a carbon-neutral future, *Sustainable Futures*, Vol. 9. PP. 100513.
- [29]. Hu, J.-L., Li, Y., Chew, J.-C. (2025). Industry 5.0 and human-centered energy system: a comprehensive review with socio-economic viewpoints, *Energies (Basel)*, Vol. 18, No. 9. PP. 2345.
- [30]. Rame, R., Purwanto, P., Sudarno, S. (2024). Industry 5.0 and sustainability: An overview of emerging trends and challenges for a green future, *Elsevier B.V.*
- [۳۱]. سامان پیره‌بابی، علی‌اکبر یعقوبی، مجید زندی (۱۴۰۳)، "مروری بر انقلاب‌های صنعتی: انقلاب صنعتی پنجم، عصر انرژی"، *مجله مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز*، دوره ۵۴، شماره ۲، ص ۷۹–۸۸.
- [32]. Park, Y. W., Shintaku, J. (2022). Sustainable human-machine collaborations in digital transformation technologies adoption: A comparative case study of Japan and Germany, *Sustainability*, Vol. 14, No. 17. PP. 10583.
- [33]. Pereira, R., dos Santos, N. (2023). Neoindustrialization—reflections on a new paradigmatic approach for the industry: a scoping review on industry 5.0, *Logistics*, Vol. 7, No. 3. PP. 43.
- [34]. MarketsandMarkets (2024). United States (USA) Industry 5.0 Market worth \$65.1 billion by 2029.
- [35]. Atay, S., Müftüoğlu, C. T., Gülmez, N., Şahin, M. (2025). Society 5.0 and human-centered
- [11]. Page, M. J., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews, *BMJ*, Vol. 372.
- [12]. Kumar, S., Mallipeddi, R. (2022). Impact of cybersecurity on operations and supply chain management: Emerging trends and future research directions, *Production and Operations Management*, Vol. 31.
- [13]. Barata, J., Kayser, I. (2023). Industry 5.0 - past, present, and near future, *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V. PP. 778–788.
- [14]. Zeb, S., et al. (2024). Towards defining industry 5.0 vision with intelligent and softwarized wireless network architectures and services: A survey, *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 223. PP. 103796.
- [15]. Anand, P., Kumar, J., Mukherjee, S. (2024). Review of Industry 5.0: Evolution and Future Advancements. PP. 87–105.
- [16]. Adel, A., Alani, N. H. S., Jan, T. (2024). Factories of the future in industry 5.0—Softwarization, Servitization, and Industrialization, *Elsevier B.V.*
- [17]. Jiménez-Partearroyo, M., Medina-López, A., Juárez-Varón, D. (2024). Towards industry 5.0: Evolving the product-process matrix in the new paradigm, *Journal of Technology Transfer*, Vol. 49, No. 4. PP. 1496–1531.
- [18]. Nazarian, H., Khan, S. A. (2024). The impact of industry 5.0 on supply chain performance, *International Journal of Engineering Business Management*, Vol. 16.
- [19]. Sonar, H., Ghag, N., Sharma, I. (2025). Reshaping Industry 5.0: unveiling supply chain resilience for a carbon-neutral future, *Sustainable Futures*, Vol. 9. PP. 100513.
- [20]. Gamberini, L., Pluchino, P. (2024). Industry 5.0: A comprehensive insight into the future of work, social sustainability, sustainable development, and career, *Australian Journal of Career Development*, Vol. 33, No. 1. PP. 5–14.
- [۲۱]. سیده معصومه احمدی، علی خلخالی، اسماعیل کاظم‌پور (۱۴۰۴)، "انقلاب صنعتی پنجم: از ماشین بخار تا هم‌افزایی دیجیتال"، *فصلنامه نشاء علم*، سال پانزدهم، شماره ۲، ص ۱۵۲–۱۵۸.
- [22]. Carayannis, E. G., Morawska, J. (2023). University and Education 5.0 for Emerging Trends, Policies and Practices in the Concept of Industry 5.0 and Society 5.0, In: *Industry 5.0: Creative and Innovative Organizations*, Springer International Publishing. PP. 1–25.
- [23]. Roblek, V., Meško, M., Podbregar, I. (2021). Mapping of the emergence of Society 5.0: A

review on industry 5.0, Logistics, Vol. 7, No. 3. PP. 43.

[37]. Brodny, J., Tutak, M. (2026). Towards Industry 5.0: An integrated readiness assessment of EU-27 Member States, Journal of Cleaner Production, Vol. 540. PP. 147486.

technology: Redefining talent management in the digital age, Sustainable Futures, Vol. 9. PP. 100733.

[36]. Pereira, R., dos Santos, N. (2023). Neoindustrialization—reflections on a new paradigmatic approach for the industry: a scoping

Industry 5.0: Drivers, Emerging Trends, and Policy Implications

Majid Barzanouni¹, Jalil Heidary Dahooie^{*,1}, Ahmad Jafar Nezhad Chaghoushi¹,
Mehdi Mohamadi¹, Ayoub Mohammadian¹

Article Info

Article type: Popularization of Science

Article history:

Receive Date:
13 September 2025

Revise Date:
15 June 2025

Accept Date:
20 June 2026

Available online:
21 June 2026

Keywords:

Industry 5.0
Digital Governance
Artificial Intelligence
Circular Economy
Industrial Resilience

Industry 5.0, as a new paradigm in industrial development, emphasizes human-centricity, sustainability, and resilience. This article aims to identify the key drivers and trends influencing the future of Industry 5.0 based on a systematic literature review and qualitative content analysis. To enrich the discussion and derive practical implications for Iran, selected international experiences were also considered in the interpretation of the findings. The results indicate that digital governance, artificial intelligence regulation, quantum technologies, human capital development, human-machine collaboration, supply chain resilience, the circular economy, and smart technologies are among the most important factors shaping this transition. The findings also reveal that success in the transition toward Industry 5.0 depends not only on technological advancement but also on the alignment of governance, human resources, sustainability, and institutional capacities. Therefore, strengthening data and artificial intelligence governance, promoting the development and adoption of enabling technologies, redesigning the skills system, and aligning industrial policies with sustainability and resilience objectives are among the main prerequisites for Iran's transition toward Industry 5.0.

Cite this article: Barzanouni,M , Heidary Dahooie,J , Jafar Nezhad Chaghoushi,A , mohamadi,M and Mohammadian,A . (2026). "Industry 5.0: Drivers, Emerging Trends, and Policy Implications". *Science Cultivation*, 16 (1), pp. 104-113.



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Corresponding Author. Associate Professor. Tel: +982161117686, Fax: +982166498873, E-mail: heidaryd@ut.ac.ir

¹ Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran

Mathematics, A Lesson in Life

Hajar Alimorad^{*1}, Zahra Hosseini²

Article Info

Article type: Popularization of Science

Article history:

Receive Date:
13 September 2025

Revise Date:
22 September 2025

Accept Date:
20 June 2026

Available online:
21 June 2026

Keywords:

Dynamic planning
Optimization and decision-making
Operations research
Logical and creative-thinking
Mathematical modeling
Constraint management
Graph theory
Applications of mathematics in medicine
Applications of mathematics in everyday life.

This paper presents a comprehensive examination of the applications of mathematics in everyday life. Given the proven significance of mathematics in the advancement of modern civilization, we seek to answer the fundamental question of how mathematical concepts can assist in solving daily problems and life decisions. We will discuss aspects of mathematical applications in medicine and its role in advancing medical science. Additionally, with an in-depth focus on two crucial subjects Operations Research and Graph Theory, we demonstrate how mathematical methods can be effectively utilized in managing constraints, optimal decision-making, and future planning. Through practical and tangible examples from real life, we show how mathematical concepts such as optimization, problem modeling, and dynamic planning can assist us in daily decision-making and problem-solving. We also examine important characteristics that studying mathematics develops in individuals, including creativity cultivation, orderliness, precision, and the ability to solve complex problems. Finally, through presenting a practical and applied approach, we demonstrate how mathematical concepts can be employed to enhance the quality of decisions and life plans.

Cite this article: Alimorad,H; Hosseini,Z . (2026). Mathematics, A Lesson in Life. *Science Cultivation*, 16 (1), pp. 95-103.



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Corresponding Author. Assistant Professor. Tel: +989368518104, Fax: +9871154372254, E-mail: h.alimorad@jahromu.ac.ir

¹ Department of Mathematics, Faculty of Basic Sciences, Jahrom University, Jahrom, P.O. Box: 74135-111, Iran

² Department of Persian Language and Literature, Faculty of Humanities, Jahrom University, Jahrom, Iran

Sustainable Development with Integrated Photovoltaics: From Technology to Project Governance

Mahdi Paknezhad¹, Seyed Farid Ghannadpour^{*,1}

Article Info

Article type:

Popularization of
Science

Article history:

Receive Date:

07 June 2026

Revise Date:

09 June 2026

Accept Date:

11 June 2026

Available online:

21 June 2026

Keywords:

Building-integrated-
photovoltaics

Perovskite

Fire safety

Circular economy

Adaptive project-
management.

Climate change has driven the world toward constructing zero-energy buildings. Traditional silicon solar panels face severe installation limitations in urban areas due to their heavy weight, rigid structure, and high fragility. In recent years, polymer and perovskite solar panels have emerged as highly attractive alternatives for sustainable urban development. These novel panels are completely flexible and can easily transmit visible light. Furthermore, by utilizing advanced tandem architectures, their overall power conversion efficiency has increased significantly. These panels can be directly integrated into building facades to successfully realize the concept of building-integrated photovoltaics. Despite these remarkable technical advancements, the large-scale commercialization of this technology faces major obstacles. Rapid fire spread risks in building facades, severe dust accumulation in arid regions, and high economic complexities are among the most critical challenges. To solve these operational issues, engineers have recently developed green solvents and waterless cleaning robots. This article introduces these novel solar technologies using a simplified language. It thoroughly examines the environmental and safety challenges during the implementation phase. Finally, the key role of adaptive project management in overcoming these institutional barriers is investigated. The results indicate that successful implementation of these sustainable projects in Iran strictly requires cross-sectoral coordination and reforms.

Cite this article: Paknezhad,M ; Ghannadpour,S F. (2026). Sustainable Development with Integrated Photovoltaics: From Technology to Project Governance. *Science Cultivation*, 16 (1), pp. 88-94.



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Corresponding Author. Associate Professor. Tel: +982173225015 -, Fax: +982173021214, E-mail: Ghannadpour@iust.ac.ir

¹ School of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

Foundation of Composite Waste Recycling in Iran's Industries

Roham Rafiee^{*,1}, Faeze Safaei¹

Article Info

Article type:

Popularization of Science

Article history:

Receive Date:

01 May 2026

Revise Date:

06 May 2026

Accept Date:

08 May 2026

Available online:

21 June 2026

Keywords:

Recycling

Composite wastes

Multi-criteria decision making model

Prioritizing

National policy-making

Advanced composite materials and structures, particularly thermoset resin-based composites reinforced with fibers, play a crucial role in Iran's key industries. These materials have become preferred alternatives to traditional metals due to their superior mechanical properties and low weight. However, composite waste generated across various industries poses serious environmental, economic, and technical challenges due to its complex crosslinked structure and biological non-degradability. The accumulation of such waste not only occupies landfill space but also represents significant resource loss. Research activities in Iran have shown progress in composite technologies, especially in additively manufacturing procedures known as 3D printing; however, the systematic use of recycled materials in this segment of the industry as feedstock has not yet received adequate attention. This paper comprehensively examines large-scale recycling methods for these wastes along with their advantages and limitations. Five principal composite recycling approaches are analyzed: reuse/repurpose, resize/reshape, mechanical/thermal/chemical and hybrid conversion processes, aggregates, and recovery. Subsequently, key performance indicators are extracted for these methods based on Iran's local conditions, weighted, and prioritized using the SMART multi-criteria decision-making model. This study emphasizes the imperative need for establishing a circular economy in composite waste management and positions recycling as a strategic opportunity for industrial self-sufficiency and sustainable development.

Cite this article: Rafiee,R and Safaei,F . (2026). Foundation of Composite Waste Recycling in Iran's Industries. *Science Cultivation*, 16 (1).78-87.



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Corresponding Author. Professor. Tel: +982186093046, Fax: +982188497324, E-mail: Roham.Rafiee@ut.ac.ir

¹ Composites Research Laboratory (COMRESLAB), College of Interdisciplinary Science and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran

typically consuming 10–20 kWh/m³ equivalent energy, with a significant portion provided as thermal energy. The reliance on fossil fuels for energy generation results in substantial greenhouse gas emissions. For instance, a typical RO plant powered by grid electricity derived from fossil fuels can emit approximately 0.5–0.8 kg CO₂-eq/m³. Projections indicate that by 2050, global greenhouse gas emissions from desalination could reach over 0.4 billion tons of CO₂ equivalent annually if current trends persist. Brine discharge presents a significant environmental challenge. The hyper salinity, typically 1.5–2 times higher than the salinity of source seawater, and elevated temperature of discharged brine can adversely affect marine ecosystems, leading to reduced dissolved oxygen, increased toxicity, and habitat disruption. The chemical composition of brine, which may include antiscalants and cleaning agents, further exacerbates these impacts. Studies have shown localized ecological damage near outfall points, particularly in sensitive or enclosed marine environments. Mitigation strategies such as diffusion systems, multi-port diffusers, and dilution with cooling water can reduce the immediate impacts; however, concerns remain regarding large-scale operations and cumulative effects. ZLD technologies, while effective in eliminating brine discharge, are currently prohibitively expensive and energy-intensive for widespread adoption.

Conclusion

Seawater desalination is an indispensable tool for global water security, yet its environmental footprint, particularly in relation to energy consumption and brine management, requires urgent attention. While technological advancements, especially in RO and emerging membrane processes, are enhancing energy efficiency, the widespread reliance on fossil fuels for energy generation continues to drive significant greenhouse gas emissions. The environmental impact of brine discharge on marine ecosystems remains a critical concern, requiring robust management strategies and further research into less environmentally harmful disposal methods or ZLD technologies. A concerted effort to integrate renewable energy sources with desalination processes is paramount for achieving sustainable water production. Future research should focus on further reducing the energy intensity of all desalination technologies, developing cost-effective and environmentally benign brine management solutions, and conducting comprehensive life cycle assessments to guide policy and investment toward truly sustainable desalination practices. The development and adoption of hybrid systems and novel technologies such as MD, AD, and CDI hold significant promise for a more sustainable desalination future.

Extended Abstract

Environmental Challenges of Seawater Desalination Plants

Introduction

The escalating global demand for freshwater, driven by population expansion and economic development, has positioned seawater desalination as a critical solution, supporting over 300 million people across 150 countries. By 2018, global desalination capacity reached 92.5 million cubic meters per day, with substantial growth observed in the Middle East. However, the widespread adoption of desalination is hampered by significant financial barriers, primarily high investment and operational costs. Annually, energy expenditure alone amounts to US\$51.6 billion, highlighting the sector's high energy demand, with desalination processes consuming approximately 75.2 TWh per year. This energy consumption varies depending on technology and feedwater quality, with seawater desalination being the most energy-intensive. Desalination technologies are broadly categorized into thermal systems — multi-stage flash distillation (MSF), multi-effect distillation (MED), mechanical vapor compression (MVC), and thermal vapor compression (TVC)— and membrane systems —reverse osmosis (RO) and electrodialysis (ED). Thermal systems require both electrical and thermal energy, whereas membrane systems, particularly RO, are primarily powered by electricity for pump operation, while ED relies on direct current. The interdependence of energy and water, often termed the water–energy nexus, is pronounced in desalination. The current energy mix for desalination is predominantly fossil-fuel-based, leading to substantial greenhouse gas (GHG) emissions, which are projected to exceed 0.4 billion tons of CO₂ equivalent annually by 2050. This reliance also renders desalination vulnerable to fluctuations in fossil-fuel prices. In pursuit of sustainability, a shift towards renewable energy sources is imperative. Reverse osmosis (RO) is increasingly favored due to technological advancements and reduced energy requirements. Nevertheless, thermal technologies remain dominant in regions such as the Persian Gulf, owing to the availability of fuel resources and the limitations of RO in treating high-salinity or highly turbid feedwater. Ongoing research and development on emerging technologies, including membrane distillation (MD), adsorption desalination (AD), pressure-retarded osmosis (PRO), forward osmosis (FO), and capacitive deionization (CDI), offer promise for enhanced energy efficiency. Hybridization of existing and novel processes is also a strategic approach to reducing energy consumption.

Methods

The environmental impacts of seawater desalination were assessed through a comprehensive review of existing literature and published data. This involved analyzing studies on various desalination technologies, focusing on their energy consumption patterns, greenhouse gas emissions, and the management of reject brine. Both established technologies, such as RO and MSF distillation, and emerging technologies, such as MD and AD, were considered. Energy consumption data were compiled, with distinctions made between electrical and thermal energy requirements for each technology. Greenhouse gas emissions were estimated based on the energy sources used, predominantly fossil fuels, and projected future emission scenarios were developed. The environmental impact of brine discharge, including its salinity, temperature, and chemical composition, was a key area of focus, along with an examination of mitigation strategies such as dilution and zero liquid discharge (ZLD) systems. Life cycle assessment (LCA) principles were applied to evaluate the overall environmental footprint of desalination processes, from construction and operation to decommissioning.

Results

The analysis revealed that RO is generally the most energy-efficient technology, with specific energy consumption ranging from 2.5 to 5 kWh/m³. However, its efficiency can be affected by feedwater salinity and temperature. Thermal processes, such as MSF and MED, are more energy-intensive,

Environmental Challenges of Seawater Desalination Plants

Esmaeel Parizi^{1,*}, Samad Hamzei¹, Seiyed Mossa Hosseini²

Article Info

Article type:

Popularization of Science

Article history:

Receive Date:

25 May 2026

Revise Date:

08 June 2026

Accept Date:

09 June 2026

Available online:

21 June 2026

Keywords:

Renewable Energy

Brine

Reverse Osmosis

Hybrid Technologies

Environmental Sustainability

The growing global demand for freshwater—particularly in arid and semi-arid regions—has underscored the necessity of adopting sustainable water supply solutions, making seawater desalination a strategic and technological option. A comprehensive review of emerging technologies reveals that significant advancements have been achieved in recent years in both membrane and thermal methods, including improved membrane selectivity and permeability, reduced energy consumption, optimization of reverse osmosis processes, and the development of hybrid and multi-stage systems. However, key challenges such as high energy consumption, dependence on fossil fuels, the generation and discharge of highly concentrated brine, and extensive chemical use continue to limit the sustainability of these systems. Integrating renewable energy sources—particularly photovoltaic, solar-thermal, and wind energy systems—offers significant potential to reduce the carbon footprint and enhance environmental performance, though operational issues such as cooling, scaling, dust accumulation, and equipment durability must be managed. Environmental impact assessments indicate that brine discharge remains the most critical ecological challenge, and the use of advanced modeling, modern diffusers, resource recovery strategies, and minimal-discharge technologies can help mitigate its negative effects. The development of advanced fouling-resistant membranes, hybrid energy systems, and optimized energy consumption strategies is considered essential for achieving a sustainable future in seawater desalination.

Cite this article: Parizi,E , Hamzei,S and Mossa Hosseini,S . (2026). Environmental Challenges of Seawater Desalination Plants. *Science Cultivation*, 16 (1).81-89.



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Corresponding Author. Assistant professor, Tel: +989135835504, Fax: +982166944873, E-mail: Parizi@inio.ac.ir

¹ Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science (INIOAS), Tehran 1411813389, Iran

² Physical Geography Department, University of Tehran, Tehran, Iran.

Molecular networking involves the predictable, ordered bonding of molecules to form extended 3D frameworks. The field rests on two principles: selecting suitable metal nodes and organic linkers, and predicting the structural geometry and symmetry they will form. MOFs, the first highly successful hybrid porous networks, are prized for design flexibility and enormous internal volume. COFs, built via strong covalent bonds, offer high mechanical-thermal stability and rich surface chemistry. Both types provide unprecedented opportunities in targeted drug delivery, medical imaging, and environmental cleanup. Advances in computational design and synthesis over the past two decades now enable the atomic-precision engineering of these networks for specific applications.

4. The Dynamics of Reticular Structures and Engineering Predictable Bonds

A key feature of reticular chemistry is the controllable dynamic behavior of its frameworks. Unlike traditional static materials, MOFs and COFs can adapt and respond to their environment due to bond flexibility and network geometry. By engineering factors like ligand length, node chemistry, and non-covalent interactions, researchers can design frameworks that open-close their pores or change shape selectively. This dynamic nature is crucial for applications like targeted drug release where a drug is released only under specific conditions and biosensing where the framework signals the presence of a target molecule. Computational modeling is essential for predicting and optimizing this behavior before synthesis.

5. From Chemistry to Medicine: Bridging Molecular Networks and Modern Pharmacy

One of reticular chemistry's greatest achievements is its translation into modern medicine. The high internal surface area, controllable porosity, and easy functionalization of MOFs and COFs make them ideal platforms for targeted drug delivery. They can encapsulate drugs stably and release them in a controlled manner at the desired site, reducing side effects and improving efficacy. They also enable the co-delivery of multiple drugs or their combination with imaging agents. This convergence of therapy and diagnostics, known as theranostics, represents a cutting-edge application, allowing for simultaneous treatment and monitoring.

6. Networks in Diagnostics, Imaging, and Targeted Drug Delivery

Porous frameworks have become powerful tools in medical diagnostics and imaging. They can host and selectively release contrast agents or signaling molecules, enabling precise tracking of specific tissues like tumors and enhancing image resolution. A major application is in biosensors, where frameworks are designed to undergo a measurable change in fluorescence or color upon interacting with a target analyte, allowing for early disease detection. In drug delivery, control over pore size and surface chemistry ensures targeted release. Beyond small-molecule drugs, these networks can deliver biological cargo like proteins or genetic material for CRISPR therapies, paving the way for advanced treatments.

7. Critical Perspective and Future Horizons: From Lab to Clinic

Despite significant progress, challenges remain in translating reticular materials to clinical use. Key issues include the stability of some frameworks in physiological conditions in water, scalable and reproducible industrial synthesis, and comprehensive studies on long-term biocompatibility, toxicity, and clearance from the body. However, the future is promising. Furthermore, integrating these networks with other smart nanomaterials and biomolecules is opening paths for sophisticated multifunctional systems. Reticular chemistry stands as a prime example of interdisciplinary convergence, merging chemistry, physics, computation, and biology to create precise structural tools with immense potential to revolutionize human health through next-generation therapeutics, diagnostics, and imaging systems.

Extended Abstract

From Reticular Chemistry to Modern Medicine: The Story of the 2025 Nobel Prize in Chemistry

1. Introduction: The Nobel Prize and the Genesis of Reticular Thought

Reticular chemistry, a new field, has opened fresh horizons in designing and engineering porous, functional molecular structures. Its core idea is that molecules can act like building blocks, arranging into repeating 2D or 3D frameworks to form predictable, ordered structures. Emerging in the late 20th century, this concept gave rise to flagship materials like MOFs (Metal-Organic Frameworks), built from metal clusters and organic linkers, and COFs (Covalent Organic Frameworks), formed by strong covalent bonds between organic units. These frameworks boast exceptional properties, high surface area, tunable porosity, and versatile chemistry, leading to groundbreaking applications in energy hydrogen storage, batteries, environmental remediation water purification, gas capture, and biomedicine. In medicine, they can host and deliver drugs, imaging agents, or sensors directly to target cells and can be designed to respond to biological stimuli. The 2025 Nobel Prize in Chemistry awarded to its pioneers underscores the field's profound fundamental and practical impact, heralding a revolution in precise molecular design.

2. The Intellectual Paths of the Three Scientists

2.1 Omar Yaghi: The Architect of Limitless Crystals

Omar Yaghi envisioned and realized the dream of atomic-scale molecular architecture. His revolutionary yet simple idea was to connect atoms and molecules like Lego bricks to create infinite, custom-tailored structures. Founding the field of reticular chemistry, his most famous achievement, MOF-5, broke world records with a surface area of a football field per gram. Driven by a passion for clean energy, Yaghi's work optimizes these frameworks for vast gas storage hydrogen, CO₂ water harvesting from desert air, and targeted drug delivery, transforming chemistry into the art of creating new spaces.

2.2 Richard Robson: The Philosopher of Molecular Bonds

While Yaghi focused on synthesis, Richard Robson laid the theoretical and philosophical foundations. Years before technology allowed their synthesis, Robson systematically conceived the power to predict and design infinite molecular networks. His pioneering work in the 1970s provided the conceptual blueprint, showing that chemistry could evolve from exploratory experimentation into a precise engineering discipline based on geometric rules. His theories became the essential map for navigating this new realm of materials science.

2.3 Susumu Kitagawa: The Discoverer of Dynamic, Flexible Worlds

Susumu Kitagawa revealed the third, astonishing dimension of reticular chemistry: dynamics. While others sought rigid structures, Kitagawa's team discovered that some frameworks could breathe, reversibly expanding, contracting, and changing their pore structure in response to external stimuli like humidity or specific molecules. This discovery transformed MOFs from static absorbents into intelligent, responsive materials, paving the way for ultra-sensitive biosensors, smart drug-delivery systems, and highly selective molecular separation technologies.

Together, Yaghi and Kitagawa discovered a new continent, while Robson had drawn its master map years earlier. The 2025 Nobel Prize rightly honors this trio: two ingenious discoverers who turned a dream into reality and a philosopher of science who framed the dream itself.

3. The Concept of Molecular Networking and the Birth of Porous Frameworks

From Reticular Chemistry to Modern Medicine: The Story of the 2025 Nobel Prize in Chemistry

Mohammad Edrisi^{*,1}, Hossein Daneshgar^{**,1,2}

Article Info

Article type:

Popularization of Science

Article history:

Receive Date:
06 May 2026

Revise Date:
18 May 2026

Accept Date:
19 May 2026

Available online:
21 June 2026

Keywords:

Reticular chemistry
Noble Prize in Chemistry
Metal Organic Framework
Biomedical Science

The 2025 Nobel Prize in Chemistry was awarded to the pioneers of reticular chemistry, Omar Yaghi, Richard Robson, and Susumu Kitagawa, for the development of Metal-Organic Frameworks (MOFs). Richard Robson's theoretical work in the 1970s and 1980s was truly pioneering and ahead of its time. He was the first to mathematically and geometrically formulate and publish the concept of constructing infinite coordination networks from molecular building blocks. Yaghi and Kitagawa, independently and concurrently, moved toward constructing such networks driven by practical motivations, such as gas storage and separation, and relying on new synthesis techniques. They were not directly inspired by Robson's theory, but they worked within a broader intellectual framework of which he was one of the architects. This is a field that has brought about a fundamental transformation in the design and engineering of molecular structures over the past two decades. Reticular chemistry entails the design and construction of porous frameworks using predictable intra- and intermolecular bonds, which can be tailor-made for diverse purposes. In addition to MOFs, structures such as Covalent Organic Frameworks (COFs) are also of great interest. Due to their exceptionally high pore volume and surface area, chemical stability, functional tunability, design diversity, and rich host-guest chemistry, these compounds have created unprecedented opportunities in modern medicine, industry, and environmental science. This article, focusing on the achievements recognized by the 2025 Nobel Prize, examines the historical development of reticular chemistry, its chemical foundations, and its biomedical applications, including targeted drug delivery, biosensors, medical imaging, and tissue engineering. An analysis of the accomplishments and operational challenges in translating this technology from the laboratory to the clinic is also presented. Compiled with the aim of reviewing historical developments, the principles of reticular chemistry, and biomedical applications, this article outlines the scientific and practical journey of this molecular revolution.

Cite this article: Edrisi, Mohammad; Daneshgar, Hossein (2026). From Reticular Chemistry to Modern Medicine: The Story of the 2025 Nobel Prize in Chemistry. *Science Cultivation*, 16 (1).62-68.



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISBOC)

* Corresponding Author. Tel: +982161113381, Fax: +982166404680, E-mail: mohammadedrisi@ut.ac.ir

** Corresponding Author. PhD. Tel: +989122053686, E-mail: hossein.daneshgar@ch.sharif.edu

¹ Institute of Biochemistry and Biophysics (IBB), University of Tehran, Tehran, Iran

² Department of Inorganic Chemistry, School of Chemistry, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

Big Science Projects: New Models of Global Collaboration in the Contemporary World

Farid Nasiri¹, Reza Yousefi^{*,1}

Article Info

Article type:

Popularization of
Science

Article history:

Receive Date:

4 February 2026

Revise Date:

6 February 2026

Accept Date:

11 February 2026

Available online:

6 May 2026

Keywords:

Big science

Big scientific advances

Science diplomacy

Epistemic communities

Joint ventures.

Big science refers to scientific megaprojects that require large financial investments, extensive international cooperation, large teams of specialists, and sophisticated and advanced research equipment and facilities. This approach is contrasted with small science, which focuses on individual research or scientific activity of small groups. Big science, especially after World War II, began its development path and today has become one of the main factors of scientific and technological advances in the world. In this regard, big science projects have played a decisive role in the expansion of knowledge in most scientific fields, from physics to life sciences; among them are the international nuclear fusion project, the human brain mapping project, and particle accelerator facilities. Big science and its complex and expensive facilities, which are often beyond the capacity of a single country, have caused a fundamental transformation in the development of science and technology over time. In addition to the complexity of the research equipment and facilities required, one of the most important features of big science is the breadth of collaboration between researchers and scientists; as a result of these collaborations, epistemic communities have been formed that no longer play a mere research role, but are groups that influence major governmental and international decision-making, and sustainable collaborations within them help to stabilize and strengthen international relations through the soft power of science. In addition, international institutions and politicians can use the organizational models of scientific communities to effectively lead global organizations; so that scientific megaprojects can be considered as models for global governance and leadership and used as approaches and solutions to face global challenges. In recent decades, through joint planning and investments, numerous infrastructures in the field of big science have been established in cooperation with leading countries in science and technology, which have played a pivotal role in major scientific advances and the emergence of emerging technologies. Accordingly, it is essential for Iranian science policymakers to prioritize the establishment of big science facilities within the country, as well as the access of Iranian scientists and researchers to global big science infrastructures, so that the country can compete with the scientific leading countries in the field of science and technology.

Cite this article: Nasiri Farid; Yousefi, Reza. (2026). Big Science Projects: New Models of Global Collaboration in the Contemporary World. *Science Cultivation*, 16 (1),52-61.



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Corresponding Author. Professor. Tel: +982161113378, Fax: +982166404680, E-mail: Yousefi.reza@ut.ac.ir

¹ Institute of Biochemistry and Biophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

Basic Sciences: From Simple Laboratories to the Future of Wealth and Power (Examining Five Common Misconceptions About Basic Sciences)

MohammadReza Taghidokht^{1,*}

Article Info

Article type:

Popularization of
Science

Article history:

Receive Date:

04 June 2026

Revise Date:

14 June 2026

Accept Date:

16 June 2026

Available online:

21 June 2026

Keywords:

Basic Sciences

Philosophy of Science

Science Policy

Intrinsic Value of basic
Sciences

Delayed Yield

Future Technologies

Futures technologies

scientific foresight

Higher Education

Despite being the very foundation of all advanced sciences and technologies, basic sciences are often perceived in the science policymaking and public understanding of developing countries as low-impact, low-utility, or isolated fields. This article, adopting a philosophical-analytical approach, examines five common misconceptions about the status of basic sciences from the perspective of philosophy of science:

1. The "epistemic fallacy" – conflating the goal of basic sciences (fundamental understanding) with that of applied sciences (product development);

2. The "institutional fallacy of policymakers" – imposing immediate output criteria on an activity that is inherently meaningful only within a long-term horizon;

3. The "fallacy of role assessment" – which, by ignoring historical evidence, overlooks the profound connection between basic research and major technologies;

4. The "functional fallacy of the university" – prioritizing technological development over the expansion and advancement of foundational knowledge; and

5. The "fallacy of delayed yield" – which renders the logic of long-term investment in basic sciences unintelligible.

The article argues that embracing the "logic of delayed yield" and substantially strengthening basic sciences is not a supererogatory choice, but rather a prerequisite for genuine innovation and sustainable progress in facing the unknown problems of the future, and for laying the groundwork to develop technologies of which we currently have no conception.

Cite this article: Taghidokht, MohammadReza. (2026). Basic Sciences: From Simple Laboratories to the Future of Wealth and Power (Examining Five Common Misconceptions About Basic Sciences). *Science Cultivation*, 16 (1).47-51.



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Author for Correspondence, Philosophy of Science Researcher, Tel: 98 21 66493046, Fax: 98 2166480290, E-mail: taghidokht@ut.ac.ir

¹ College of Engineering, University of Tehran: Tehran, Tehran, IR

Research Acceleration vs. Authenticity Concern: Two Sides of the AI Coin in Academic Writing

Ali Akbar Saboury^{1,*}

Article Info

Article type:

Popularization of
Science

Article history:

Receive Date:

01 February 2026

Revise Date:

09 February 2026

Accept Date:

11 February 2026

Available online:

21 June 2026

Keywords:

Research Ethics

AI Regulation

AI-Assisted Writing

Large Language

Models (LLMs)

Academic Integrity

COPE

Artificial intelligence, as the most powerful technological tool of the present century, has transcended the traditional boundaries of knowledge production and scientific research. This technology offers capabilities such as extraordinary data processing, automation of repetitive tasks, and assistance in complex analyses, providing an unprecedented opportunity to accelerate and deepen scientific discoveries. However, its application in writing scientific articles has brought significant achievements along with serious ethical, methodological, and legal challenges. Issues such as reduced transparency and research integrity, reinforcement of existing biases, violation of intellectual property rights, and reduction of researchers' analytical skills are examples of these difficulties. Faced with this complexity, the global community is striving to establish a balance between encouraging innovation and managing the risks associated with this technology by developing legal frameworks and regulations such as the European Union Artificial Intelligence Act, the Bletchley Declaration, the Committee on Publication Ethics, and the recommendations of the Organization for Economic Cooperation and Development. This article examines the pros and cons of artificial intelligence in scientific writing and analyzes relevant international regulations to present a path for the responsible, transparent, and effective use of this tool in advancing science. Iran's national guidelines for AI use in research emphasize transparency and full disclosure of its application.

Cite this article: Saboury, Ali Akbar. (2026). Research Acceleration vs. Authenticity Concern: Two Sides of the AI Coin in Academic Writing. *Science Cultivation*, 16 (1).36-46.



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Author for Correspondence, Professor, Tel: 98 2166956984, Fax: 98 2166404680, E-mail: Saboury@ut.ac.ir

¹ Institute of Biochemistry and Biophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

The Future of Scientific Publishing Through the Eyes of Journal Editors

Narjes Vara¹, Mohammad Reza Ghane^{*,1}

Article Info

Article type:

Popularization of Science

Article history:

Receive Date:

4 June 2026

Revise Date

11 June 2026

Accept Date

18 June 2026

Available online:

21 June 2026

Keywords:

Scholarly publishing
journal editors
journal sustainability
scientific visibility
artificial intelligence
publication ethics

Scholarly publishing, as a central mechanism for producing, validating, and disseminating knowledge, has faced structural, technological, and ethical transformations. The rising number of submissions, pressure on peer review, need for visibility, financial concerns, and expanding use of artificial intelligence have moved editors beyond management toward scientific policy-making, ethical oversight, and technology governance. The study adopted a descriptive-analytical approach. The research population consisted of editors-in-chief, managing editors, editorial board members, reviewers, and active researchers involved in reputable scientific journals in the country.

Data were collected through a five-point Likert-scale questionnaire. Of 110 questionnaires, 60 complete responses were analyzed. Findings showed that financial challenges were the concern in journal sustainability, followed by content quality, human resources, technical infrastructure, and policy-making. For improving citation impact and visibility, targeted indexing was the most effective strategy, followed by scientific and media marketing, internationalizing editorial boards, peer-review quality improvement, and open access policies. The main artificial intelligence concerns were plagiarism, lack of user skills, and declining scientific quality. Future editors were viewed as scientific policy-makers, ethical supervisors, and artificial intelligence monitors. Overall, improving scholarly journals requires an integrated approach focused on resources, human capacity, infrastructure, visibility, and responsible artificial intelligence policies.

Cite this article: Vara, Narjes; Ghane, Mohammad Reza. (2026). The Future of Scientific Publishing Through the Eyes of Journal Editors. *Science Cultivation*, 16 (1).27-35.



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Corresponding Author. Associate Professor. Tel: +987136468015, Fax: +987136468352, E-mail: ghane@isc.ac

¹ Islamic World Science & Technology Monitoring and Citation Institute, Shiraz, Iran

China's rapid ascent from marginal scientific player in 1949 to the world's second-largest R&D investor and leader in patent filings and high-impact publications (especially since the mid-2000s) vividly demonstrates the possibility of deliberate, state-led transformation of scientific-technological capacity into comprehensive national power.

Science and Technology in Soft Power and National Branding advanced science and technology significantly contribute to **national branding** and international prestige. Three paradigmatic success stories are examined:

- **Japan** — rebuilt its post-war image from militaristic to peaceful, high-quality, and technologically sophisticated through (Sony, Toyota), science diplomacy, and the “Society 5.0” vision.
- **South Korea** — combined cutting-edge digital infrastructure with the global **Hallyu** (Korean Wave) cultural export to create a modern, creative, and attractive national identity.
- **Germany** — leveraged scientific excellence, engineering reputation, and value-based foreign cultural policy to transform from post-Nazi pariah to respected normative power and Europe's innovation hub.

These cases illustrate that sustained investment in R&D, coupled with effective cultural narrative and science diplomacy, can generate durable soft-power capital even in the absence of overwhelming hard-power resources.

Science Diplomacy and International Scientific Prestige Scientific leadership enhances international credibility and facilitates agenda-setting in global institutions. Countries elevate their standing through sustained R&D investment ($\geq 2.5\text{--}5\%$ of GDP), high-quality and highly-cited publications, international awards, leadership in “big science” projects (CERN, ITER, ISS), and active participation in transnational scientific networks.

Conclusion and Outlook In the 21st century, genuine and sustainable national power increasingly depends on the effective integration of knowledge production, technological competitiveness, and strategic diplomatic exploitation of scientific achievements. Nations that master this triad (transforming material resources into intangible assets of scientific prestige, technological sovereignty, and attractive national identity) are best positioned to shape the future global order. For developing countries, the transition from reliance on tangible assets toward investment in high-quality science, talent retention, international academic collaboration, and active science diplomacy constitutes the most viable long-term path toward enhanced international standing, resilience, and both hard and soft dimensions of national power. Iran, can leverage its rich language and literature, traditional art, culinary culture, and historical attractions as highly valuable assets while simultaneously leveraging its scientific and technological capabilities more effectively. This approach can enhance its soft power and cultural appeal globally, facilitate the transformation of tangible and intangible assets into highly valuable assets, strengthen the country's international credibility, influence, and deterrence, and position Iran in the modern global creative arena while simultaneously enhancing its attractiveness and standing on the world stage.

Extended Abstract

The Role of Science and Technology in Strengthening National Power and Global Credibility

Introduction

In contemporary global order, science and technology have transcended their traditional role as drivers of economic development to become foundational pillars of national power and essential instruments of modern diplomacy. Science provides systematic, testable, and self-correcting knowledge about the world, while technology transforms this knowledge into practical, repeatable, and goal-oriented tools and systems. These two domains form a dynamic, mutually reinforcing cycle: scientific breakthroughs enable novel technologies, which in turn provide more precise instruments for advancing scientific discovery.

This virtuous cycle has produced transformative historical examples, including the journey from quantum physics to transistor and modern computing, and from the discovery of DNA structure to recombinant DNA technology and genetically modified organisms (GMOs). Such cases illustrate how fundamental knowledge can rapidly translate into profound economic, military, and societal power.

Theoretical Framework Drawing on Joseph Nye's paper analyzes the contribution of science and technology to three interrelated dimensions of power:

- **Hard power** — through advanced weapon systems, superiority in critical supply chains (e.g., semiconductors), and economic dominance via technological standards and export controls
- **Soft power** — via enhanced national attractiveness, prestige, cultural credibility, and science diplomacy
- **Smart power** — the strategic integration of hard and soft resources to produce more flexible, legitimate, and sustainable influence

Today, technology is no longer merely a means of national development; it has become a primary pillar of geopolitical competition and a central factor in redefining the global balance of power.

Science and Technology in Hard Power The military–industrial significance of science became fully institutionalized during World War II and the Cold War, with massive state-funded “big science” projects (radar, penicillin, etc.). In recent decades, dual-use technologies (AI, quantum computing, 5G, biotechnology) and the spin-on phenomenon (civilian innovation feeding back into military applications) have blurred the boundary between civilian and defense R&D.

Economically, leadership in strategic technologies determines control over **global value chains**, standards, and intellectual property. The ongoing **U.S.–China technology discourse** especially regarding semiconductors, AI, and 5G exemplifies how technological superiority translates into economic coercion.

The Role of Science and Technology in Strengthening National Power and Global Credibility

Faezeh Moosavi-Movahedi¹, Ali A. Moosavi-Movahedi^{1,2}, Reza Yousefi^{*,1}

Article Info

Article type:

Popularization of Science

Article history:

Receive Date:

02 January 2026

Revise Date:

12 February 2026

Accept Date:

14 February 2026

Available online:

6 May 2026

Keywords:

Science and technology
hard power
soft power
smart power
national branding
science diplomacy
geopolitical power

Science and technology in the modern era are among the fundamental pillars of national power and diplomacy and constitute some of the most valuable assets of nations. Science seeks to achieve an accurate, systematic, and reproducible understanding of the world, whereas technology transforms this knowledge into practical and purposeful tools and solutions. Moreover, these two domains reinforce each other through a dynamic and synergistic cycle: scientific advances lead to the development of new technologies, while technological innovation, by providing more precise tools, enables the expansion and deepening of scientific knowledge. Examples such as the transition from quantum physics to the invention of the transistor and modern computers, as well as the discovery of the structure of DNA and the subsequent development of biotechnology, clearly demonstrate how fundamental knowledge can be transformed into economic and social power. Science and technology simultaneously strengthen both hard power and soft power, thereby contributing to the formation of smart power. Countries often leverage science and technology when seeking to rebuild their national brand, enhance their international credibility, or establish a stronger position in economic and geopolitical competition. Investment in education and research, scientific infrastructure, and science and technology diplomacy can gradually transform scientific achievements into cultural attractiveness, political and social influence, and a source of national pride.

Cite this article: Moosavi-Movahedi, Faezeh; Moosavi-Movahedi, Ali A.; Yousefi, Reza. (2026). The Role of Science and Technology in Strengthening National Power and Global Credibility. *Science Cultivation*, 16 (1).pp.17-26.



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Corresponding Author. Professor. Tel: +982161113378, Fax: +982166404680, E-mail: Yousefi.reza@ut.ac.ir

¹ Institute of Biochemistry and Biophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

² Division of Chemistry, Academy of Sciences I.R. Iran, Tehran, Iran

Networking and Institutional Synergy of Scientific Societies

Mehran Habibi-Rezaei ^{*,1,2,3}, Seyed Abdolamir Nabavi⁴, Ali A. Moosavi-Movahedi^{5,2,3}

Article Info

Article type:

Popularization of Science

Article history:

Receive Date:
20 May 2026

Revise Date:
21 May 2026

Accept Date:
23 May 2026

Available online:
6 June 2026

Keywords:

Networking
Synergy
Federation of Scientific Societies
Society of Societies
Council of Iranian Scientific Associations
Convergence
Science Policy
Iran's Science Ecosystem

In the era of scientific specialization and the complexity of transdisciplinary issues, the transition from the isolated activities of scientific societies toward institutional networking and synergy is a strategic imperative. Adopting a historical-analytical approach, this article examines the roots of the formation of scientific societies worldwide and in Iran. It explains the development of "Federations of scientific societies" or "society of societies" as a response to this imperative. Global experiences from the International Science Council (ISC) and specialized federations (unions) such as IUPAC and FASEB demonstrate that institutional convergence, while preserving the independence of members, provides the capacity to address the complex issues.

In Iran, the evolution of scientific societies from the era of the comprehensive University of Gondishapur to the Nezamiyeh schools, and then from the Dar ul-Funun era to the present, has reached a stage of quantitative maturity (nearly 600 scientific societies), making networking inevitable. The establishment of the Council of Iranian Scientific Associations (CISA), the pioneering experience of the Federation of Iranian Biological Sciences (FIRBS), and the societies subsequently formed as non-governmental organizations offer a practical model for this synergy. The article emphasizes that institutional networking within a tripartite framework comprising an "umbrella council", "convergent federations" and "specialized societies" with a precise division of responsibilities (federations engaging only in matters beyond the capacity of a single society), constitutes an effective strategy for advancing science in the country. Finally, recommendations are offered to develop legal frameworks, establish an umbrella council for federations, support the membership of societies within federations, and strengthen connections with international networks to steer Iran's science ecosystem toward greater dynamism and effectiveness.

Cite this article: Habibi-Rezaei, Mehran; Nabavi, Seyed Abdolamir; Moosavi-Movahedi, Ali A. (2026). Networking and Institutional Synergy of Scientific Societies. *Science Cultivation*, 16 (1).2-16.



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Corresponding Author. Professor. Tel: +982161113214, Fax: +982166971941, E-mail: mhabibi@ut.ac.ir

¹ College of Science, School of Biology, University of Tehran, Tehran, Iran

² Division of Chemistry, Academy of Sciences I.R. Iran, Tehran, Iran

³ Iran Society of Biophysical Chemistry

⁴ Department of Regional Studies, University of Tehran, Tehran, Iran

⁵ Institute of Biochemistry and Biophysics (IBB), University of Tehran, Tehran, Iran

National Strategy: Resilient Sciences and Technologies

Article Info

Article type:

Editorial

Article history:

Received
19 June 2026

Revise Date
19 June 2026

Accept Date
19 June 2026

Available online
21 June 2026

Keywords:

Resilient Sciences
and Technologies
Science Policy
Human Capital and
Scientific Talent
Basic Sciences and
Interdisciplinary
Research
Science Governance
and Innovation

The world today stands at a critical juncture of scientific and technological transformation, where nations' capacities to develop resilient sciences and technologies have become the principal determinants of their power, sustainability, and ability to shape the future. Resilience is no longer merely an environmental or crisis-centered concept; rather, it has evolved into a national strategy for managing scientific, economic, and social complexities and for navigating growing uncertainties. The most important principle of this strategy is that a crisis should not be regarded merely as an undesirable and threatening phenomenon; rather, by relying on rationality, knowledge, and biocompatible technologies, it should be transformed into an opportunity for innovation, value creation, and the development of high-performance and desirable products. From this perspective, scientific and technological resilience not only enhances countries' capacity to cope with crises, but also provides a foundation for sustainable growth, scientific independence, and the creation of a capable and promising future. Within this framework, national science policy should be redesigned on the basis of convergence among basic sciences, engineering, biotechnology, data science, the bioeconomy, and the humanities. At the heart of this strategy lies the development of wise, creative, capable, and ethical human capital. Cultivating a new generation of scientists and researchers equipped with systems thinking, resilient emerging sciences, and ethical values is essential for the effective governance and advancement of the nation.

Accordingly, strategic investment in basic sciences, as a form of scientific exploration into the invisible and unknown dimensions of nature, constitutes the foundation for the expansion of strategic knowledge and advanced resilient technologies. Simultaneously, the development of research infrastructures, sustained support for interdisciplinary research, and the creation of attractive career pathways for scientific talent are indispensable for preventing brain drain and strengthening the country's innovation ecosystem and national security.

In the domain of science governance, transparency in science policy, genuine partnerships between universities and industry, and equitable systems for supporting, valuing, and retaining scientific talent should be pursued as national priorities. Human resource development should be designed to foster systems thinking, creativity, lifelong learning, adaptability, and resilience.

Ultimately, resilient sciences and technologies are an imperative whose realization depends upon investing in knowledgeable people, fundamental science, and a long-term commitment to the future of science and pioneering research.

Ali A. Moosavi- Movahedi
Editor-in-Chief

Cite this article: Moosavi- Movahedi, Ali A. (2026). National Strategy: Resilient Sciences and Technologies (Editorial). *Science Cultivation*, 16 (1), 1.



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISBOC)

Contents

National Strategy: Resilient Sciences and Technologies

Ali Akbar Moosavi-Movahedi 1

Networking and Institutional Synergy of Scientific Societies

Mehran Habibi-Rezaei, Seyed Abdolamir Nabavi, Ali Akbar Moosavi-Movahedi.....2

The Role of Science and Technology in Strengthening National Power and Global Credibility

Faezeh Moosavi-Movahedi, Ali Akbar Moosavi-Movahedi, Reza Yousefi.....3

The Future of Scientific Publishing Through the Eyes of Journal Editors

Narjes Vara, Mohammad Reza Ghane.....6

Opportunities and Challenges of Using Artificial Intelligence in Writing Scientific Articles

Ali Akbar Saboury.....7

Basic Sciences: From Simple Laboratories to the Future of Wealth and Power (Examining Five Common Misconceptions About Basic Sciences)

MohammadReza Taghidokht..... 8

Big Science Projects: New Models of Global Collaboration in the Contemporary World

Farid Nasiri, Reza Yousefi..... 9

From Reticular Chemistry to Modern Medicine: The Story of the 2025 Nobel Prize in Chemistry

Mohammad Edrisi, Hossein Daneshgar..... 10

Environmental Challenges of Seawater Desalination Plants

Esmaeel Parizi, Samad Hamzei, Seiyed Mossa Hosseini..... 13

Foundation of Composite Waste Recycling in Iran's Industries

Roham Rafiee, Faeze Safaei..... 16

Sustainable Development with Integrated Photovoltaics: From Technology to Project Governance

Mahdi Paknezhad, Seyed Farid Ghannadpour..... 17

Mathematics, A Lesson in Life

Hajar Alimorad, Zahra Hosseini..... 18

Industry 5.0: Drivers, Emerging Trends, and Policy Implications

Majid Barzanouni, Jalil Heidary Dahooie, Ahmad Jafar Nezhad Chaghoushi,
Mehdi Mohamadi, Ayoub Mohammadian..... 19

Science Cultivation

**Editor-in-Chief:**

A.A. Moosavi-Movahedi

Manager Editor:

A. Zali

Executive Director:

A. Kiani-Bakhtiari

Editorial Board:

H. Ahmadi Noubari, M.M Alavian-Mehr, M. R. Aref, M. Behzad, M. Farhadi, Gh. Habibi, J. Towfighi, R. Malekzadeh, J. Mehrad, H. Mirzadeh, M. Mohaghegh, A. Mossalanejad, A.R. Noruzi, A.A. Saboury, M. Shamsipur, A. Shockravi, S. Sohrabpour, S. Vaezzadeh, A. Zali, N. Zargham, M.A. Zolfigol

Science Cultivation “Journal” is published by Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC).

This journal aims at advancing and accelerating the science and technology policy in Iran.

License Holder : Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran. (FAST-IRAN)

ISSN: X8003539

Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC).

Web Coordinator: Zahra Moosavi-Movahedi

Address: Institute of Biochemistry and Biophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

Post Code: 1417614335 **Tel/Fax:** (+9821) 61113381

Foundation Website: www.fast-iran.ir

Society Website: www.iso-bc.com

Website of Journal: www.sciencecultivation.ir

Email: info@sciencecultivation.ir

In the Name Of
God

Science Cultivation

Journal of Enculturation and Policy Making of Science, Innovation and Technology

Vol. 16, No. 1, June 2026

ISSN: 2008-935X

- Editorial-National Strategy: Resilient Sciences and Technologies
- Networking and Institutional Synergy of Scientific Societies
- The Role of Science and Technology in Strengthening National Power and Global Credibility
- The Future of Scientific Publishing Through the Eyes of Journal Editors
- Opportunities and Challenges of Using Artificial Intelligence in writing Scientific Articles
- Basic Sciences: From Simple Laboratories to the Future of Wealth and Power (Examining Five Common Misconceptions About Basic Sciences)
- Big Science Projects: New Models of Global Collaboration in the Contemporary World
- From Reticular Chemistry to Modern Medicine: The Story of the 2025 Nobel Prize in Chemistry
- Environmental Challenges of Seawater Desalination Plants
- Foundation of Composite Waste Recycling in Iran's Industries
- Sustainable Development with Integrated Photovoltaics: From Technology to Project Governance
- Mathematics, A Lesson in Life
- Industry 5.0: Drivers, Emerging Trends, and Policy Implications

