نشریه علمی - ترویجی

مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری

پایگاه استنادی علوم جهان اسلام

بنیاد پیشبرد علم و فناوری

- سخن نخست : نقش خیرین و مؤسسات خیرخواهانه در پیشبرد علم و آزمایشگاه‌های ملی
- وقف علمی و فرهنگی
- بررسی عملکرد برنامه پنج ساله ششم توسعه در حوزه آموزش عالی
- چین در مسیر علم و پیشرفت
- کربن دی‌اکسید: مهار، مدیریت و استفاده بهینه از آن
- انقلاب زیستی با سایبورگ‌ها: ادغام هوش مصنوعی و بدن انسان
- مقایسه تطبیقی نظام‌های تأمین مالی پژوهش و فناوری
- مدیریت انرژی پایدار از لجن شورزدایی آب دریا با رویکرد اقتصاد چرخشی
- نقش رایحه‌درمانی در سبک زندگی سالم برای سلامت مغز
- پارابن‌ها و اثرات آن‌ها بر سلامت انسان
- ژنوم مواد (MGI): نوآوری برافکن در کشف، طراحی، توسعه و تجاری‌سازی مواد جدید
- تحول آموزش زبان با فناوری‌های تعاملی: از کلاس‌های سنتی تا جهانی‌سازی محتوای آموزشی

نشریه فرهنگ‌سازی و سیاست‌گذاری علم، نوآوری و فنآوری
سال پانزدهم، شماره اول- دی ماه ۱۴۰۳، قیمت ۱۵۰۰۰ریال

بسم الله الرحمن الرحیم

صاحب امتیاز: بنیاد علم و فناوری در ایران
سردبیر: علی‌اکبر 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 زلفی‌گل، سعید سهراب‌پور، عباس شکروی، مجتبی شمسی پور، علی‌اکبر صبوری، نصرت ا.... ضرغام، محمدرضا عارف، محمد فرهادی، مهدی محقق، عباس مصلی‌نژاد، رضا ملک‌زاده، حمید میرزاده، جعفر مهراد، صادق واعظ‌زاده، بهمن یزدی صمدی

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 بیوشیمی‌فیزیک ایران منتشر می‌شود.
* هدف از انتشار این فصلنامه، فرهنگ‌سازی و کمک در راستای سیاست‌گذاری علم، پژوهش و فناوری، اطلاع‌رسانی، ترویج علم، کمک به مدیران مراکز تصمیم‌ساز و تصمیم‌گیر علمی و همچنین جهت‌دهی به نخبگان، پژوهشگران و علاقه‌مندان به نوآوری‌های علمی، پژوهشی و فناوری در کشور می‌باشد.
* آرا و نقطه‌نظرهای مندرج در مقالات و گزارش‌های منتشر شده در این فصلنامه، لزوماً بازگوکننده رأی و نظر بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی‌فیزیک ایران نمی‌باشد.
* فصلنامه در ویرایش و حذف مطالب آزاد است و مقاله‌های فرستاده شده به دفتر نشریه، برگردانده نمی‌شود.
* نشریه نشاء علم از حمایت‌های معنوی و مادی بنیاد فرهنگی مصلی‌نژاد سپاسگزار است.
* نشریه نشاء علم از حمایت‌های معنوی و مادی بنیاد ملی علم ایران تقدیر و تشکر می‌نماید.

ISSN: X8003539

ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و و انجمن بیوشیمی‌فیزیک ایران
مسئول وبگاه: زهرا موسوی موحدی
نشانی: دانشگاه تهران- مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک
تلفکس: ۶۱۱۱۳۳۸۱ (۹۸۲۱+)
وبگاه بنیاد: http://fast-iran.ir
وبگاه نشریه نشاء علم: http://sciencecultivation.ir
نشانی الکترونیک نشریه نشاء علم: info@sciencecultivation.ir

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
سخن نخست : نقش خیرین و مؤسسات خیرخواهانه در پیشبرد علم و آزمایشگاه‌های ملی	۱
وقف علمی و فرهنگی/ سید مصطفی محقق داماد	۲
بررسی عملکرد برنامه پنج ساله ششم توسعه در حوزه آموزش عالی /احمد شعبانی	۱۵
چین در مسیر علم و پیشرفت/ علی اکبر صبوری	۳۰
کربن دی اکسید: مهار، مدیریت و استفاده بهینه از آن /احمد شعبانی	۴۳
انقلاب زیستی با سایبورگ‌ها: ادغام هوش مصنوعی و بدن انسان/ سیده معصومه احمدی؛ علی خلخالی؛ اسماعیل کاظم پور	۶۰
مقایسه تطبیقی نظام‌های تأمین مالی پژوهش و فناوری/ سیدرضا میرنظامی؛ علی ملکی؛ احمد کیخا	۶۷
مدیریت انرژی پایدار از لجن شورزدایی آب دریا با رویکرد اقتصاد چرخشی/آسیه سادات کاظمی؛ مهسا شاهی؛ سید موسی حسینی	۷۷
نقش رایحه‌درمانی در سبک زندگی سالم برای سلامت مغز/مهزاد ایراندوست؛ سعید نیازی وحدتی؛ عارفه سید عربی	۸۷
پارابن‌ها و اثرات آن‌ها بر سلامت انسان/زهرا حق پرس؛ مهران حبیبی رضائی؛ مسعود امانلو؛ علی اکبر موسوی موحدی	۹۵
ژنوم مواد :(MGI) نوآوری برافکن در کشف، طراحی، توسعه و تجاری‌سازی مواد جدید/حسین کیوان بهجو؛ مالک نادری	۱۰۳
تحول آموزش زبان با فناوری‌های تعاملی: از کلاس‌های سنتی تا جهانی‌سازی محتوای آموزشی/عباس پور حسین گیلاکجانی	۱۱۰

سخن نخست

نقش خیرین و مؤسسات خیرخواهانه در پیشبرد علم و آزمایشگاه‌های ملی

افراد و مؤسسات خیرخواهانه نقش مهمی در پیشبرد علم و توسعه آزمایشگاه‌های تحقیقاتی ایفا می‌کنند و اغلب شکاف‌های مالی را که منابع دولتی قادر به پوشش آنها نیستند، پر می‌کنند. خیرین و بنیادهای علمی با درک اهمیت توسعه علمی و تأثیر بزرگ اجتماعی آن، حمایت مالی ارزشمندی ارائه می‌دهند. این حمایت، به‌ویژه در تأمین مالی پروژه‌های نوآورانه در حوزه‌هایی مانند علوم پایه و بنیادی که کمتر مورد حمایت مالی قرار می‌گیرند، حیاتی است. در این حوزه‌های علمی، وجود ریسک‌ها و عدم قطعیت‌ها اغلب مانع از سرمایه‌گذاری بخش خصوصی می‌شود.

مؤسسات خیرخواهانه با پشتیبانی امکاناتی و مالی از دانشگران و دانش‌آموزان مستعد زمینه تحقیق و نوآوری را برای آنها فراهم می‌کنند. همچنین، این مؤسسات با تأمین بودجه برای آزمایشگاه‌های ملی و تجهیزات و ابزار دقیق اندازه‌گیری پیشرفته، بستر توسعه زیرساخت‌های علمی و همکاری‌های میان‌رشته‌ای را فراهم می‌آورند. چنین حمایت‌هایی، ظرفیت دانشمندان را برای اجرای برنامه‌های تحقیقاتی بلندپروازانه تقویت می‌کند.

بنیادهای خیرخواهانه نقشی کلیدی در سرمایه‌گذاری برای پیشبرد تحقیقات مرتبط با نوآوری و سلامت عمومی برای تعدیل بیماری‌ها ایفا می‌کنند. این مؤسسات می‌توانند منابع مالی را به سمت تحقیقات بلندمدت هدایت کنند که اگرچه در کوتاه‌مدت سودآور نیستند، اما تأثیرات ملی و جهانی چشمگیری خواهند داشت.

برای افزایش اثرگذاری این مؤسسات، لازم است برنامه‌های آموزشی و فرهنگی جهت پرورش خیرین و مؤسسات حامی علم تدوین و گسترش داده شود. آموزش ارزش‌های انسانی، همدلی و مسئولیت اجتماعی از سنین پایین، به‌ویژه در مدارس و خانواده‌ها، می‌تواند فرهنگ خیرخواهی را نهادینه کند. به اشتراک‌گذاری تجربیات افراد موفق، شفافیت در فرآیندهای کمک‌رسانی، و همکاری مؤسسات خیرخواهانه با نهادهای دولتی و بین‌المللی نیز در گسترش تأثیر این اقدامات مؤثر خواهد بود. استفاده از فناوری‌های نوین برای جذب کمک‌های مالی و افزایش آگاهی عمومی، در تسریع اینگونه فعالیت‌ها نقش بسزایی دارد. در نهایت، ایجاد شبکه‌های همکاری و ارتقای شفافیت در فعالیت‌ها، موجب شکل‌گیری مؤسسات خیرخواهانه پایدار و اثربخش خواهد شد که در خدمت پیشرفت علمی و اجتماعی جامعه قرار می‌گیرند.

علی اکبر موسوی موحدی

سردبیر

وقف علمی و فرهنگی

سید مصطفی محقق داماد*[1]

چکیده

براساس حکمت متعالیه ملاصدرا، پیشرفت علمی یک ملت از طریق حرکت جوهری، به‌صورت تدریجی و بنیادین شکل می‌گیرد. ایشان درباره راز و سر صدقات و امور خیریه جاری بیان می‌دارد که اگر نفس آدمی از امور بی‌ارزش دنیوی منصرف گردد تا جائی می‌رسد که از غیر خدا منزه و پاک می‌شود. تنزه از ما سوی الله مقام بسیار بالائی در سلسله مراتب تربیتی و معرفتی انسان دارد. ایشان بیان می‌دارد که منابع جهان محدود است و نامتناهی نمی‌باشد، لذا منافع و بهره‌های حاصل از منابع جهان میان همه انسان‌ها مشترک است. انحصار منافع جهان به بعضی افراد (که موجب محروم شدن بعضی دیگر می‌شود) از نظر عقلی امری قبیح است، نتیجه آنکه بایستی اموال مستخرج از منابع الهی از طریق صدقات بین انسان‌ها توزیع گردد. این بینش ضرورت تربیت دانشجویان و دانشمندان را در راستای مرجعیت علمی و تمدن ایرانی پشتیبانی می‌کند. از سوی دیگر، تجربه تاریخی ایران نشان داده که جذب و بازگرداندن دانشمندان به وطن نقش مهمی در توسعه علمی دارد، چنان‌که در دوره‌های مختلف، مراکز علمی همچون گندی شاپور، نظامیه‌ها و ربع رشیدی و سایر موارد با حمایت وقف علمی بستر مناسبی برای رشد نخبگان ایجاد کردند. وقف به‌عنوان یک سنت دیرینه، نیازمند بازنگری و انطباق با مقتضیات زمانه است تا در کنار حفظ روح معنوی خود، ابزارهای نوین علمی و فناوری‌های جدید را پشتیبانی کند. امروزه، تعریف وقف می‌تواند از اموال فیزیکی فراتر رفته و شامل دارایی‌های غیرملموس همچون دانش، سهام و منابع مالی برای توسعه علمی گردد. این تحول، همراه با تقویت دیپلماسی علمی، زمینه‌ساز بازیابی جایگاه ایران در سپهر دانش جهانی خواهد شد. شایان ذکر است وقف در تمدن اسلامی با سایر نظام‌های وقفی جهان تفاوتی اساسی دارد، زیرا نیت واقف در آن قرب الهی است. برخلاف بنیادهای خیریه مدرن که اهداف اجتماعی یا اقتصادی دارند، وقف اسلامی به نیت تقرب به خدا انجام می‌شود و ماندگاری آن با ارزش‌های دنیوی و اخروی پیوند خورده است.

واژگان کلیدی: وقف علمی، مرجعیت علمی، تمدن علمی ایران، بازگرداندن دانشمندان به کشور، قرب الهی

* عهده‌دار مکاتبات: استاد ، تلفن۹۸۲۱۸۸۶۴۵۵۸۵+ ، آدرس الکترونیکی mdamad@me.com

[1] استاد، عضو پیوسته و رئیس گروه مطالعات اسلامی فرهنگستان علوم ایران

مقدمه

وقف به‌معنای اختصاص دادن اموال برای امور خیریه و عمومی، از جمله نهادهایی نیست که با ظهور اسلام تأسیس شده باشد، بلکه قبل‌از اسلام نیز درمیان جوامع بشری و پیروان ادیان متداول بوده است. این سنت در مصر، یونان، روم و ایران باستان وجود داشته است. در این جوامع افراد خیر اموال خود را برای نگهداری و اداره معابد، صومعه‌ها، آتشکده‌ها و دیگر اماکن مذهبی اختصاص می‌دادند. به اصطلاح علم أصول فقه کلمه وقف دارای «حقیقت شرعیه» و از ابداعات اسلام نمی‌باشد. بنابراین وقف از نهادهای امضایی است که اسلام با افزودن شرایط خاصی که خواهیم گفت، آن را تأیید و امضا نموده است.

به نظر می‌رسد آیاتی که در مورد ساختمان کعبه و مکه در قرآن مجید آمده، بیان انجام نوعی وقف توسط حضرت ابراهیم خلیل و فرزندش اسماعیل (ع) است.

وَإِذْ يَرْفَعُ إِبْرَاهِيمُ الْقَوَاعِدَ مِنَ الْبَيْتِ وَ إِسْمَاعِيلُ رَبَّنَا تَقَبَّلْ مِنَّا إِنَّكَ أَنْتَ السَّمِيعُ الْعَلِيم (بقره/۱۲۷)

و هنگامی که ابراهیم و اسماعیل پایه‌های خانه [کعبه] را بالا می‌بردند [می‌گفتند] ای پروردگار ما از ما بپذیر که در حقیقت تو شنوای دانایی **(بقره/۱۲۷)**

إِنَّ أَوَّلَ بَيْتٍ وُضِعَ لِلنَّاسِ لَلَّذِي بِبَكَّةَ مُبَارَكًا وَهُدًى لِلْعَالَمِينَ (آل عمران/۹۶)

در حقیقت نخستین خانه‌ای که برای [عبادت] مردم نهاده شده همان است که در مکه است و مبارک و برای جهانیان [مایه] هدایت است (۹۶)

رَبَّنَا إِنِّي أَسْكَنْتُ مِنْ ذُرِّيَّتِي بِوَادٍ غَيْرِ ذِي زَرْعٍ عِنْدَ بَيْتِكَ الْمُحَرَّمِ رَبَّنَا لِيُقِيمُوا الصَّلَاةَ فَاجْعَلْ أَفْئِدَةً مِنَ النَّاسِ تَهْوِي إِلَيْهِمْ وَارْزُقْهُمْ مِنَ الثَّمَرَاتِ لَعَلَّهُمْ يَشْكُرُونَ (ابراهیم/۳۷)

پروردگارا من [یکی از] فرزندانم را در دره‌ای بی‌کشت نزد خانه محترم تو سکونت دادم، پروردگارا تا نماز را به پا دارند، پس دل‌های برخی از مردم را به‌سوی آنان گرایش ده و آنان را از محصولات [مورد نیازشان] روزی ده، باشد که سپاسگزاری کنند (۳۷)

تعبیر «بیت الله» ونیز «وضع للناس» بیان دیگری است از وقف فی سبیل الله.

حسب نقل تواریخ و روایات سمت سقایت مردم و عمارت مسجدالحرام که در آیه زیر آمده نوعی کلیدداری و متولی امور بوده است.

أَجَعَلْتُمْ سِقَايَةَ الْحَاجِّ وَ عِمَارَةَ الْمَسْجِدِ الْحَرَامِ كَمَنْ آمَنَ بِاللهِ وَالْيَوْمِ الْآخِرِ وَ جَاهَدَ فِي سَبِيلِ اللهِ لَا يَسْتَوُونَ عِنْدَ اللهِ وَ اللهُ لَا يَهْدِي الْقَوْمَ الظَّالِمِينَ (توبه/۱۹)

آیا سیراب کردن حجّاج، و آباد ساختن مسجدالحرام را، همانند (عملِ) کسی قرار دادید که به خدا و روز قیامت ایمان آورده، و در راه او جهاد کرده است؟! (این دو) نزد خدا مساوی نیستند. و خداوند گروه ظالمان را هدایت نمی‌کند.

علامه طباطبایی در تفسیر المیزان می نویسد:

«در آثار آمده که سقایت، حوض‌های کوچکی از چرم بوده که در عهد قصی بن کلاب (یکی از اجداد پیامبر اسلام) آن را در سایه کعبه قرار می‌دادند و با شتر از چاه‌ها آب گوارا می‌کشیدند و در آنها می‌ریختند تا زائرین بیاشامند. قصی این سمت را بعد از خود به فرزندانش داد. هم‌اکنون سقایت عباس معروف است وآن محلی است که در عهد جاهلیت و اسلام اب در انجا می‌ریختند و آن محل در جهت جنوبی زمزم است که با چاه چهل زراع فاصله دارد و بنایی بر آن ساخته‌اند که امروزه آن را «سقایة العباس» می‌نامند.» [۱].

وجود کعبه، مسجدالحرام، کارکرد متولیان و تشکیلات آنان در این امر نشان می‌دهد که موقوفاتی برای این امور وجود داشته که قابل‌تملک خصوصی نبوده است.

وقف در ایران قبل از اسلام

در ایران دردوره ساسانیان دانشگاه گندی‌شاپور تأسیس می‌شود. طبق گفته منفرد اولمن، اعضای گندی‌شاپور شامل بسیاری از دانشمندان و صنعتگران انطاکیه، ازجمله پزشکان و فیلسوفان بود و گندی‌شاپور وارد دوران شکوفایی فرهنگی و فکری، به‌ویژه در علوم اثباتی مانند فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی و ریاضیات شد [۲].

دانشمندان آکادمی آتن پس از بسته‌شدن آکادمی در سال ۵۲۹ م، توسط ژوستینین یکم راهی گندی‌شاپور شدند. خسرو اول از چنین محققان و فیلسوفان برجسته‌ای مانند داماسکیوس، سیپلیکیوس، الامیوس، پریسکیانوس، ایزیدور، هرم یاس و دیوجنس استقبال کرد. او پس از اسکان آنان در گندی‌شاپور، آنچه را که آنان برای

ادامه پژوهش و تحصیل علمی خود نیاز داشتند، فراهم ساخت. این محققان مدارس شهر را بازسازی و احیا کردند و در پژوهش‌های خود از آزادی بسیار برخوردار بودند [۲].

دو حادثه دیگر بر رشد علمی گندی‌شاپور و نفوذ آموزه‌های یونانی در این مرکز افزود: نخست آنکه در سال ۴۸۹ میلادی امپراتور زنون، در پی حکم تکفیری که پاپ در باب نسطوریان صادر کرده بود، مدرسه دینی و پزشکی رُها را بست. متألّهان این مرکز به نصیبین و پزشکان آنجا به گندی‌شاپور کوچیدند و بدین‌سان از قلمرو امپراتوری روم به پادشاهی ساسانی پناه بردند. در آن روزگار رُها شهری کاملاً یونانی مآب بود، اما گندی‌شاپور دارای شهرتی جهانی و از هر تعصبی آزاد بود [۲]. حادثه دیگر در پی سخت‌گیری یوستی‌نیانوس، امپراتور روم (حک: ۵۲۷–۵۶۷ م)، بر نوافلاطونیان و بستن فرهنگستان آتن در ۵۲۹ میلادی رخ داد. هفت حکیم نوافلاطونی، آتن را ترک گفتند و به امید دیدار پادشاهی مطابق با آرمان جمهوری افلاطونی، به دربار انوشیروان روی آوردند [۲].

بیمارستان گندی‌شاپور به‌طور رسمی دارای مدرسه پزشکی و نخستین بیمارستانِ دارای داروخانه و بخش داروسازی تا دوره اسلامی و در جهانِ اسلام بوده‌است [۳].

وقف در دوره اسلامی

نخستین واقفین در دوره اسلامی پیشوایان دینی و در رأس همه حضرت مولای متقیان (ع) بوده است. به حدیث زیر توجه کنید:

چشمه‌ای درمنطقه «ینبع» اطراف شهر مدینه وجود دارد که «عین أبی‌نَیزَر» نام دارد که حضرت علی (ع) این چشمه را به نام «أبی‌نَیزَر» که از بردگان آزاد شده ایشان است، نامیدند [۴]. خود أبی‌نَیزَر ماجرای احیای این چشمه را چنین گزارش کرده است:

من در دو زمین زراعی امام علی بن ابی‌طالب به نام «عین ابی‌نیزر» و «بُغَیبغه» مشغول کار بودم که امام (ع) به آنجا آمدند و به من فرمودند: آیا غذایی داری؟ گفتم: غذایی است که برای امیرمؤمنان نمی‌پسندم؛ کدویی است که از همین‌جا کنده و با روغن پیه نامطبوعی سرخ کرده‌ام. فرمودند: همان را بیاور. سپس حضرت برخاستند، بر لب جوی رفتند، دست خود را شستند و اندکی از آن غذا میل کردند و باز بر لب جوی رفتند و دست‌های خود را با خاک و شن کاملاً تمیز شستند. آنگاه دست‌ها را مشت کردند و مشتی آب از همان جوی نوشیدند و فرمودند: ای ابانیزر، کف دست‌ها پاکیزه‌ترین ظرف‌هاست؛ آنگاه با همان تری دست، بر شکم کشیدند و فرمودند: هر که با خوردن مال حرام، آتش در شکم خود کند از رحمت حق به دور است. سپس کلنگ را برداشتند و به درون چاه رفتند و مشغول کندن شدند، ولی آب برنیامد. از آنجا بیرون آمدند، در حالی‌که پیشانی مبارکشان خیس عرق بود. عرق از پیشانی پاک کردند و باز کلنگ را برداشتند و به درون چاه رفتند و پیوسته کلنگ می‌زدند، به‌حدی که صدای نفس مبارکشان به گوش می‌رسید. ناگاه آب فوران کرد و مانند گردن شتر از زمین بیرون جست، امام به‌سرعت از چاه بیرون آمدند و فرمودند: خدا را گواه می‌گیرم که این چشمهٔ آب، صدقه است. کاغذ و قلم برایم بیاور. من به‌سرعت کاغذ و قلم آوردم. حضرت نوشتند: «به‌نام خداوند بخشندهٔ مهربان. این چیزی است که بندهٔ خدا علی، امیرمؤمنان صدقه داده است. این دو چشمه به نام‌های «عین ابی‌نیزر» و «بُغَیبغه» را بر فقرای مدینه و در راه‌ماندگان وقف نمودم تا بدین وسیله، در روز قیامت چهره خود را از آتش دوزخ مصون دارم. کسی حق فروش و بخشش آنها را ندارد تا آنگاه (یعنی قیامت) که خدا وارث آنها شود و خدا بهترین وارثان است، مگر آنکه حسن و حسین بدان‌ها محتاج شوند که ملک خالص آنها خواهد بود و هیچ‌کس دیگر حقّی در آنها ندارد» [۵].

شرایط خاص وقف در دوره اسلامی

نهاد وقف در تمدن اسلامی از ویژگی خاصی برخوردار بوده که می‌توان آن را نقطه امتیاز وقف درفرهنگ اسلامی درمقایسه با سایر جوامع دانست. ویژگی خاص وقف اسلامی موضوع قصد قربت و وجه الله داشتن عمل وقف و سایر صدقات و خیرات است که در سطوراتی بیان خواهد شد.

متفکرین اسلامی درموضوع صدقات و خیرات مالی اسلامی، از جمله زکات و وقف، بر دو نکته انگشت نهاده‌اند: نخست، نقشی‌که این امور در توزیع ثروت و عدالت ترمیمی ایفا می‌کنند؛ و دوم، دیگری صرف مال به قصد تقرب به خدا – و به تعبیر قرآن «لوجه الله»– که در تربیت نفسانیِ شخصِ دهنده‌ی مال ایفاء می‌کند، به‌گونه‌ای که او را در مسیر سلوک الی الله و وصول به حضرت حق جلّ‌وعلا یاری می‌رساند.

ملاصدرای شیرازی مؤسس حکمت متعالیه درکتاب «الشواهد الربوبیه فی المناهج السلوکیه» با الهام گرفتن از پیشینیان خود، ابن عربی و سید حیدر آملی، در دو بخش به بحث پیرامون

اسرارشریعت پرداخته است. ایشان درباره راز و سر زکات به نکته‌ای اشاره می‌کنند که درتمام صدقات و امور خیریه جاری است. وی بیان می‌کند: «توجب صرفَ النفس عن التوجه الی الامور الدنیهٔ؛ ففیها تحصیل ملکهٔ التنزه عن غیر الله.» [۶]. یعنی اقدام بر انجام صدقات موجب می‌شود که نفس آدمی از امور پست و بی‌ارزش دنیوی منصرف گردد تا جائی برسد که از غیر خدا منزه و پاک شود. تنزه از ما سوی الله مقام بسیار بالایی در سلسله مراتب تربیتی و معرفتی است.

به قول حافظ :

خلاص حافظ ازآن زلف تابدار مباد

که بندگان کمند تو رستگارانند

و اما راز دوم که همان توزیع ثروت و عدالت ترمیمی است: «وایضاً منافع الدنیا مشترکهٔ محصورهٔ، وحبسها علی بعض الناس قبیح عقلا، وکل ما کان احتیاج الخلق الیه اکثر، وجب ان یکون الشرکهٔ فیه بینهم والتوزیع له علیهم احق»[۶] به این معنا که: و نیز منافع دنیا مشترک و محصور است. بنابراین منحصرکردن آن منافع به بعضی از مردم از نظر عقلی و منطقی قبیح است. بنابراین آنچه مورد نیاز بیشتر خلق خدا است، بایستی مردم در آنها مشترک باشند و سزاوار است که برآنان توزیع گردد.

در بیان فوق رمز و راز دوم خیرات و صدقات را ملاصدرا با ذکر مقدمات زیر ارائه داده است:

الف) منابع جهان محدود است و نامتناهی نمی‌باشد.

ب) منافع و بهره‌های حاصل از منابع جهان میان همه انسان‌ها مشترک است.

ج) انحصار منافع جهان به بعضی افراد (که موجب محروم شدن بعضی دیگر می‌شود) از نظر عقلی امری قبیح و زشت است.

نتیجه آنکه بایستی اموال مستخرج از منابع الهی از طرق صدقات بین انسان‌ها توزیع گردد.

این حکیم، محدث و مفسر شیعی قرن یازدهم با استفاده از آیات و روایات و نظریه پردازی‌های عقلی خویش به دو سرّ و راز بسیار مهم اشاره کرده است. سرّ معنوی و سرّ مادی. سخن ما در این مقاله درخصوص راز و سر نخستین است که قرآن مجید مکرراً به این نکته اشاره فرموده است.

درمورد قربانی کردن و تأمین آذوقه مردم فرموده است:

لَنْ یَنالَ اللَّهَ لُحُومُها وَ لا دِماؤُها وَ لکِنْ یَنالُهُ التَّقْوی مِنْکُمْ. (حج/۳۷)

هرگز گوشت‌ها و خون‌های آنها به خداوند نخواهد رسید، بلکه از جانب شما تقوا (درونی و عملی) به او می‌رسد.

تعبیر دیگری که درقرآن آمده بقای این اموال نزد خداوند است:

ما عِنْدَکُمْ یَنْفَدُ وَ ما عِنْدَ اللَّهِ باقٍ. (نحل/۹۶)

آنچه در نزد شما است تمام و فانی می‌شود و آنچه در نزد خداست پایدار و باقی است.

یعنی نتیجه هزینه کردن اموال تقوای نفسانی و تقرّب شما به خدا است.

الْمالُ وَ الْبَنُونَ زینَةُ الْحَیاةِ الدُّنْیا وَ الْباقِیاتُ الصَّالِحاتُ خَیْرٌ عِنْدَ رَبِّکَ ثَواباً وَ خَیْرٌ أَمَلاً (کهف/۴۶)

دارایی و پسران زیور زندگی دنیایند و کارهای ماندگار شایسته در نزد پروردگارت در پاداش و امید (به آینده) بهتر است.

بنابراین مطابق آیه شریفه می‌توان مال دنیا و فرزندان که در دنیا زینت هستند را ماندگار ساخت. برای ماندگار ساختن، مصرف همراه نیت الهی لازم است. در این آیات، قرآن کریم راه تقرب به خداوند از مسیر مال دنیا را در بخشش و هزینه کردن در راه خدا، ایثار، و رساندن آن به بندگان خداوند معرفی می‌کند.

در آیه دیگر به صراحت تنها راه رسیدن به نیکویی را انفاق آنچه مورد علاقه و وابسته‌آدمیان است دانسته و بس:

لَنْ تَنالُوا الْبِرَّ حَتَّی تُنْفِقُوا مِمَّا تُحِبُّونَ وَ ما تُنْفِقُوا مِنْ شَیْءٍ فَإِنَّ اللَّهَ بِهِ عَلِیمٌ. (آل عمران/۹۲)

هرگز به نیکی دست نخواهید یافت مگر از آنچه دوست دارید (به دیگران) ببخشید و هر چیزی ببخشید بی‌گمان خداوند آن را می‌داند.

نکته جالبی که در تمام آیات بدان اشاره دارد این است که تمام انفاق‌ها وهزینه‌هایی که برای خدا و به اصطلاح فقهی «به قصد قربت» انجام می‌شود، مستقیماً به‌دست خدا می‌رسد؛ تحویل گیرنده‌اش خدا است و عند الله و در علم الله ماندنی است. تا آنجاکه در یک آیه ماهیت مسأله را قرض‌الحسنه معرفی نموده که دهنده‌اش بندگان و گیرنده‌اش خداوند است که از سوی او به چندین برابر بازگردانده می‌شود:

مَنْ ذَا الَّذی یُقْرِضُ اللَّهَ قَرْضاً حَسَناً فَیُضاعِفَهُ لَهُ أَضْعافاً کَثِیرَةً وَ اللَّهُ یَقْبِضُ وَ یَبْسُطُ وَ إِلَیْهِ تُرْجَعُونَ. (بقره/۲۴۵)

کیست که به خداوند وامی نیکو دهد تا خداوند آن را برای وی چندین برابر گرداند؟ و خداوند (روزی را) تنگ و فراخ می‌سازد و به‌سوی او بازگردانده می‌شوید.

و در آیه‌ای دیگر بیان شده است:

یا أَیُّهَا الَّذینَ آمَنُوا لا تُبْطِلُوا صَدَقاتِکُمْ بِالْمَنِّ وَ الْأَذی کَالَّذی یُنْفِقُ مالَهُ رِئاءَ النَّاسِ وَ لا یُؤْمِنُ بِاللَّهِ وَ الْیَوْمِ الْآخِرِ فَمَثَلُهُ کَمَثَلِ صَفْوانٍ عَلَیْهِ تُرابٌ فَأَصابَهُ وابِلٌ فَتَرَکَهُ صَلْداً لا یَقْدِرُونَ عَلی شَیْءٍ مِمَّا کَسَبُوا وَ اللَّهُ لا یَهْدِی الْقَوْمَ الْکافِرینَ (۲۶۴) وَ مَثَلُ الَّذینَ یُنْفِقُونَ أَمْوالَهُمُ ابْتِغاءَ مَرْضاتِ اللَّهِ وَ تَثْبیتاً مِنْ أَنْفُسِهِمْ کَمَثَلِ جَنَّةٍ بِرَبْوَةٍ أَصابَها وابِلٌ فَآتَتْ أُکُلَها ضِعْفَیْنِ فَإِنْ لَمْ یُصِبْها وابِلٌ فَطَلٌّ وَ اللَّهُ بِما تَعْمَلُونَ بَصیرٌ (بقره/۲۶۵)

ای کسانی که ایمان آورده‌اید، صدقه‌های خود را با منّت آزردن باطل نکنید، مانند کسی که مالش را به ریا و خودنمایی به مردم انفاق می‌کند و به خدا و روز واپسین ایمان ندارد، که مثل او مثل سنگ سخت و صافی است که خاکی (اندک) بر آن نشسته، پس باران تند و درشتی به آن برسد و آن را سنگی صاف (و بدون خاک و گیاه) واگذارد. (صدقه او نظیر آن خاک است. و ریاکاران) به چیزی از آنچه کسب کرده‌اند دست نمی‌یابند، و خداوند مردم کافر را هدایت نمی‌کند.

در آیات فوق، تمایز اصلی میان خیرات و صدقات ـاعم از وقف و سایر انواع انفاقـ با آنچه در جوامع غیردینی تحت عنوان مؤسسات و بنیادهای خیریه صورت می‌گیرد، بیان شده است. در ساختار خیریه‌ها و صدقاتِ برگرفته از آموزه‌های قرآنی، نیت و قصد فرد اقدام‌کننده نقش محوری دارد و همین امر، این اقدامات را از نمونه‌های مشابه در جوامع غیردینی ممتاز می‌سازد. درجهان امروز مؤسسات خیریه بسیار است و شاید از نظر آمار، مبالغی که در این مؤسسات هزینه می‌شود بیش از صدقات و خیرات اسلامی باشد ولی نهاد قصد قربت که تأثیرش در بعد نفسانی و روحی دهندگان و خیّرین می‌باشد، در آنها وجود ندارد.

بیان ملاصدرا، حکیم، محدث و مفسر قرآنی دوره صفوی متوفی به ۱۰۵۰ ق چنین نشان می‌دهد که سنت وقف که توسط پیشوایان ما از همان روزهای اولیه بنا نهاده شده، در دوران حکومت صفوی توسط فقیهان، و محدثان با استناد به منابع دینی تحلیل، تفصیل و تفریع شده و توسط حکیم بزرگ و سترک آن‌دوره توجیه عقلانی و عرفانی شده است. البته قبل‌از دوره صفوی در زمان ایلخانان مغول به گواهی اسناد تاریخی موقوفات زیادی برای بقعه شیخ صفی‌الدین اردبیلی (نیای پادشاهان صفوی) و خانقاه او در اردبیل وجود دارد.

احمد کسروی درسال ۱۳۲۳ می‌نویسد «درکتابخانه سلطنتی کتابی هست به نام «صریح الملک»، دیه‌هایی که به بارگاه شیخ صفی در اردبیل وقف شده، قباله‌ها و وقف‌نامه‌های آنها در این کتاب گردآوری شده است» [۷].

مرحوم استاد محمد تقی دانش‌پژوه در مقاله «فهرست نسخه‌های خطی موزه ایران باستان» چهار نسخه خطی از «صریح الملک» بقعه شیخ صفی که در این موزه نگهداری می‌شود را معرفی می‌کند و در تعرفه اصطلاح صریح الملک می‌نویسد: «مجموعه وقف‌نامه‌های رقبات موقوفات و اسناد املاکی است که برای آستانه شیخ صفی‌الدین خریداری شده و هم باید به‌خط گردآورندگان باشد» [۸]. وی همچنین در مقاله «فروش‌نامه روستای الاروق اردبیل» بعد از اشاره به چهار نسخه مزبور می‌افزاید:«در صریح الملک متن وقف‌نامه و سندهای دیگر مربوط به این آستانه دیده می‌شود و چنین دفتری را از دیرباز صریح الملک می‌خواندند [۹].

در زمان ما دو جلد از چهار جلد «صریح الملک» چاپ و منتشر شده؛ یکی که مؤلف آن «زین‌الدین عبدی بیگ شیرازی است توسط محمود سعید هدایتی ویرایش و توسط انتشارات سازمان اوقاف و امور خیریه (اسوه) به چاپ رسیده است (۱۳۹۰ش). در این کتاب فهرست بسیاری از املاکی که برای وقف بقعه صفی‌الدین در سده یازدهم خریداری و وقف‌شده آورده شده است. دومی که مؤلف آن محمد طاهر اصفهانی است و متمرکز بر املاک و رقباتی است که در زمان تولیت شیخ شریف بیگ زاهدی درقرن یازدهم هجری وقف شده یا از درآمد موقوفات و نذورات برای آستانه شیخ‌صفی خریداری شده است. این کتاب توسط آقایان عمادالدین شیخ الحکمایی و علی رضا جلالی ویرایش و تحقیق و توسط انتشارات بنیاد موقوفات افشار در همین روزهای اخیر (اسفند ماه ۱۴۰۳) برای نخستین بار منتشر شده است. متون وقفنامه‌های موجود در این آثار همه بیانگر وجود این شرط یعنی قصد قربت و نیت خیر و وجه الله بودن آنهاست.

مطالعه این آثار نشان می‌دهد که در کشور ما نهاد وقف چه تأثیری در پیشرفت تمدن اسلامی و دانش و فرهنگ داشته و مردم فرهنگ‌دوست چگونه برای توسعه آن از اموال خویش تقدیم می‌داشته‌اند، آن هم به قصد قربت و تقرب الی الله. براساس منابع

تاریخی، سفرنامه‌ها و اسناد دوره صفویه می‌توان استنباط کرد که پربارترین دوره وقف پس‌از اسلام، در همین دوره رقم خورده و موقوفات توسعه خوبی یافته‌اند. حتی پادشاهان صفویه نیز املاک خود را وقف می‌کردند. موارد زیادی از این دست در اردبیل، مشهد و قم مشاهده می‌شود. در زمان شاه عباس اول بیش‌از هر زمان دیگری به املاک موقوفه اضافه شد. در سال ۱۰۱۵ ق شاه عباس تصمیم گرفت که تمام املاک و رقبات به‌دست آورده خویش را که قیمت آنها بیش از یکصد هزار تومان شاهی بود، به‌علاوه ساختمان‌های گوناگون در اصفهان و اطراف آن را وقف ۱۴ معصوم کند و خودش سرپرستی آنها را برعهده بگیرد و پس‌از خود، سرپرستی را به حاکم زمان اختصاص دهد. این وقف‌نامه‌ها توسط شیخ بهاءالدین محمد عاملی (شیخ بهایی) تنظیم شد تا درآمدهای حاصل از آنها براساس شرایط و نیازهای هر دوره مصرف گردد. به‌طور کلی، سنت وقف از قرن چهارم تا هفتم هجری از رونق چشمگیری برخوردار بود، چنان‌که در قرن ششم، به‌دلیل استقبال گسترده مردم از این سنت نیکو، موقوفات در زمینه‌هایی چون تأسیس مدارس، بیمارستان‌ها، کتابخانه‌ها و دیگر مصارف عمومی به‌طور قابل توجهی گسترش یافت. همین گسترش، لزوم رعایت دقیق ضوابط شرعی را ایجاب می‌کرد و موجب شد که اداره امور موقوفات به علمای دین و دانشمندان واگذار شود تا عواید حاصل از آنها دقیقاً مطابق با نیات واقفان مصرف گردد؛ امری که تحولی مهم در تاریخ وقف به‌شمار می‌رود.

وقف علمی در قرون اولیه

شواهد تاریخی چنین نشان می‌دهد که یکی از مؤثرترین عوامل توسعه و پیشرفت تمدن اسلامی، وقف علمی و فرهنگی بوده وهمچنان می‌باشد. وقف علمی در قالب شناخته‌شده و رایج خود، در زمینه‌های متعددی نمود می‌یابد؛ از جمله تأسیس مدارس، پرداخت کمک‌هزینه تحصیلی به دانش‌آموزان و طلاب، تهیه وسایل تحصیلی، وقف کتاب و کتابخانه، و همچنین انتشار کتاب با استفاده از درآمد موقوفات. نکته قابل‌تأمل در موضوع وقف علمی، از دیدگاه نگارنده، آن است که هر چند واقفین علمی و فرهنگی درمیان شهروندان عادی و متمکنین مالی در اعصار اخیر کم نبوده‌اند، اما نمی‌توان نقش برخی از صاحبان قدرت در گذشته را نادیده گرفت؛ کسانی که به‌دلیل روحیه فرهنگ‌دوستانه‌شان، توانستند در هر سطحی از قدرت که بودند، از نفوذ و امکانات خود در جهت گسترش دانش، علم و فرهنگ بهره بگیرند.

«جرجی زیدان»، در کتاب «تاریخ تمدن اسلام» می‌نویسد: «خواجه نظام‌الملک نخستین کسی بود که در اواسط قرن پنجم هجری به‌واسطه تأسیس مدارس در ممالک اسلامی شهرت یافت و در شهرهایی چون بغداد، اصفهان، نیشابور، هرات و دیگر مناطق، مدارس متعددی ساخت. تمامی این مدارس، به‌ویژه مدرسه بغداد، به نام وی مدرسه نظامیه خوانده می‌شدند. برای تأمین هزینه‌های این مدارس، بازارها، کاروانسراها، گرمابه‌ها و ده‌هایی در اطراف دور و نزدیک خریداری و وقف مدرسه می‌شد که مجموع هزینه آنها به شش‌صد هزار دینار می‌رسید»[۱۰]. نظام‌الملک برای کلیه طلاب علوم وغیرآنان مقرری و انعام تعیین کرده بود و از شام و دیار بکر و عراق عجم و عراق عرب وخراسان تا سمرقند عده زیادی از خوان این وزیر با تدبیر نیکوکار (ایرانی) بهره‌مند می‌گشتند [۱۱]. در نظامیه بغداد بزرگانی از علم و ادب تحصیل کردند که سرآمد زمان خویش شدند. ابن ابی الحدید شارح نهج‌البلاغه و سعدی شیرازی ازآن جمله هستند. هزینه اساتید مدرسه نظامیه بغداد و نیز کمک‌هزینه‌های طلاب از محل وقف پرداخت می‌شده است. سعدی می‌گوید:

مرا در نظامیه ادرار بود شب و روز تلقین و تکرار بود

منظور مقرری ماهیانه است که از محل همین موقوفات تأمین می‌شده است. تأسیس مدرسه نظامیه توسط سلجوقیان در قرن ششم هجری صورت گرفت. نظامیه بغداد در ساحل دجله و در میانه بازاری پررفت‌وآمد به نام «سوق الثلاثاء» بنا شد. علت انتخاب این مکان که یکی از مراکز مهم تجاری بود، آن بود که خواجه نظام‌الملک درنظر داشت برای تأمین هزینه‌های جاری مدرسه، منبعی مطمئن و پایدار فراهم کند. از این‌رو، با افزودن بخشی جدید به آن بازار و ایجاد دکان‌ها، کاروانسراها، تیمچه‌ها و مراکز تجاری و خدماتی، درآمد حاصل از آنها را وقف مدرسه نمود. با این اقدام هوشمندانه استقلال مالی مدارس را تضمین کرد [۱۲]. ابن جبیر، در سال ۵۸۰ ق، در ادامه سفر خود به بغداد رسید و از مدرسه نظامیه این شهر بازدید کرد. او در مجالس درس برخی استادان این مدرسه، از جمله امام رضی‌الدین قزوینی، شرکت نمود، وی بر این

سخن صحه می‌نهد. به‌گفته‌ی وی در آن روزگار سی مدرسه در بغداد مشغول فعالیت علمی و آموزشی بودند که هر یک ساختمانی عظیم همچون کاخی بدیع داشتند که در میان آنها ساختمان نظامیه از همه بزرگتر و با شکوه‌تر بود و هزینه آن از محل موقوفات بزرگ و مکان‌های تجاری وابسته بدان تأمین می‌شد و این درآمدها چنان بود که پس از پرداخت حقوق استادان و شهریه دانشجویان وهزینه‌های جاری مربوطه بدان ، مبلغ قابل‌توجهی نیز باقی می‌ماند و به‌عنوان پس‌انداز نگهداری و بخشی از آن نیز به‌صورت کمک به دانشجویان بی‌بضاعت وکم‌توان پرداخت می‌شد [۱۳]. اساتید نظامیه به سه دسته تقسیم می‌شدند، مدرسان ، معیدان و واعظان که هر یک از آنان جانشینانی نیز داشتند تا هنگام ضرورت به‌جای فرد اصلی اقدام به تدریس و از بروز هرگونه وقفه در کار آموزشی پیشگیری کنند. شادروان سعید نفیسی با اشاره به این سه دسته از استادان نظامیه، این سبک از اداره این مرکز آموزشی را با روش‌های نوین آموزشی در غرب برابر دانسته است [۱۴].

خواجه نظام‌الملک با تأسیس نظامیه نیشابور سعی کرد دانشمندانی که در اثر مشکلات اجتماعی مهاجرت کرده اند به وطن بازگرداند. ازجمله آنان امام‌الحرمین جوینی (۴۱۹–۴۷۸ ق) است که در اثر بی‌مهری‌های وارده به او به عربستان مهاجرت و در حرمین شریفین مکه و مدینه چهار سال تدریس کرده و از این جهت به امام‌الحرمین شهرت یافته بود. با تأسیس مدرسه نظامیه نیشابور از وی دعوت کرد به دیار خود بازگردد و وی این دعوت را پذیرفت و در نظامیه به تدریس پرداخت. جوینی از آن پس تا پایان عمر نزدیک به ۳۰ سال بدون مزاحمت و بی‌آنکه رقیب توانایی درمیان باشد، یگانه‌ی سرزمین خود در امامت، خطابه و تدریس، و دارای نفوذ اجتماعی کم‌نظیر بود. وی در این سال‌ها موردتوجه خاص خواجه نظام‌الملک، وزیر سلجوقی بود [۱۷–۱۵]. در همین دوره است که آثار وی یکی پس از دیگری به خوانندگان عرضه شد و جمعی از بزرگان در مجلس او دانش آموختند. شمار این شاگردان را حدود ۳۰۰ یا ۴۰۰ تن گفته‌اند. یکی از دانش آموختگان این مقطع امام محمد غزالی است. وی از سال ۴۷۰ تا زمان درگذشت آن استاد برجسته (۴۷۸ق) همواره همراه و همدم او بود و یکسره از دانش و فضل او بهره می‌گرفت وچندی به‌عنوان معید او را در تدریس در نظامیه نیشابور یاری می‌داد [۱۸،۱۹].

وقف ربع رشیدی دردوره سلجوقیان

ربع رشیدی مجموعه‌ای است فرهنگی، آموزشی، مسکونی که در سده ۸ ق به‌دستور خواجه رشیدالدین فضل الله در نزدیکی تبریز تأسیس شد و تجربه‌ای بود در شهرسازی و معماری و دستاورد دانش در دوره ایلخانیان است و حتی برخی از محققان از الگوی مجتمع ربع رشیدی با عنوان «آرمان شهرواقعی» یاد می‌کنند [۲۰]. خواجه رشیدالدین انگیزه خود از احداث مجتمع ربع رشیدی را جاری کردن باقیات صالحات و«بقای جاودانی» می‌خواند [۲۱].

تعبیر باقیات الصالحات از قرآن مجید گرفته شده:

وَ الْباقِیاتُ الصَّالِحاتُ خَیْرٌ عِنْدَ رَبِّکَ ثَواباً وَ خَیْرٌ أَمَلاً (کهف/۴۶)

و کارهای ماندگار شایسته در نزد پروردگارت در پاداش و امید (به آینده) بهتر است.

تعبیر جاری ساختن از احادیث متعددی گرته گرفته شده که در انها «صدقه جاریه» تعبیر شده است [۲۲]. ازجمله حدیث زیر:

قالَ رسولُ الله (ص): اذا ماتَ الانْسانُ انْقَطَعَ عَمَلُهُ الاّ منْ ثَلاث: صَدَقَةٍ جارِیَةٍ، اَوْ عِلْمٍ یُنْتَفَعُ بِه، اَوْ وَلَدٍ صالِحٍ یَدْعُو لَهُ.

پیامبر اکرم (ص) فرمود: هرگاه انسان بمیرد، عملش هم قطع می‌شود، مگر از سه راه: صدقه جاریه، یا علمی که از آن سود می‌برند، یا فرزند شایسته‌ای که برای او دعا می‌کند [۲۳].

درمتون فقها «صدقه جاریه» به وقف تفسیر شده است [۲۴،۲۵]. خواجه رشیدالدین ظاهراً واژه جاری ساختن را با اشاره به همین تعبیر وارده در این احادیث آورده است. وی در کتاب لطایف الحقایق می‌نویسد که همیشه در پی آن بوده محلی فراخ برای گردهمایی دانشمندان به‌منظور توسعه علوم گوناگون برپا کند. و با وقف و تدوین وقفنامه این مجموعه امکان هر گونه تغییر در اساس موقوفه را از بین ببرد [۲۶].

نگاهی به تاریخ وقف برای مراکز علمی درتمدن اسلامی و مقایسه آن با آنچه در تمدن غربی رخ داده نشان می‌دهد که درتمدن اسلامی بیش‌از چند قرن سبقت دارد. اوقافی که برای به اصطلاح «جامع» ثبت شده ودر آن به تحصیل دانش پرداخته می‌شده، قرن‌ها اقدم از مراکز علمی مغرب زمین است.

موقوفات علمی در دوره قاجار

دردوره قاجار درتهران و اصفهان و بسیاری از بلاد ایران موقوفاتی توسط مقامات حکومتی و یا افراد متمول غیرحکومتی که همه برای توسعه علم و فرهنگ بوده است. برای نمونه:

۱. مدرسه سپهسالار قدیم تهران

مدرسه‌ی سپهسالار قدیم که پس‌از ساخته شدن مدرسه‌ی میرزا حسین‌خان مشیرالدوله سپهسالار که آن بنا نیز به مدرسه‌ی سپهسالار مشهور شد، به مدرسه‌ی سپهسالار قدیم شهرت یافت و اکنون نام شهید بهشتی بر آن نهاده شده است. این بنا در سمت شرقی مدرسه‌ی خان مروی، در انتهای کوچه‌ی مروی و در خیابان ناصر خسرو تهران که جزوی از محله‌ی عودلاجان بوده است، قرار دارد. این بنا شامل یک مدرسه و دو مسجد تابستانی و زمستانی است و با در برداشتن نقشه‌ی خاص، ستون‌های سنگی بلند و سردر و دو مناره‌ی کاشی‌کاری‌شده، از بناهای قابل‌توجه در عرصه‌ی معماری دوره‌ی قاجار شمرده می‌شود. البته اصل وقف‌نامه آن اکنون موجود نیست؛ اما رونوشتی از آن به تاریخ ۱۳۰۷ ق در کتابخانه‌ی موزه‌ی ملی ایران نگهداری می‌شود. اندازه‌ی این سند ۷ر۴۰ در ۳۶۴ سانتی‌متر است. متن آن به‌خط نستعلیق و بر پارچه نوشته شده است. رونوشت دیگری از این سند در بایگانی مرکزی سازمان اوقاف و امورخیریه به‌شماره‌ی پرونده‌ی ۳۱ تهران وجود دارد. واقف این بنا، میرزا محمدخان سپهسالار قاجار دولو، (در گذشته‌ی ۱۲۸۴ ق) فرزند امیرخان سردار و پسردایی عباس میرزا، نایب‌السلطنه بود. وی مدتی وزیر جنگ، صدر اعظم ایران، و پس از آن تا پایان عمر والی خراسان و نایب‌التولیه‌ی آستان قدس رضوی بود.

درمورد شرایط مدرس مدرسه در متن وقفنامه چنین آمده است: «جناب جلالت مآب فخامت نصاب واقف –زید اجلاله– حسب‌الشرط، تدریس مدرسه‌ی مذکوره را نوعاً به عالمی مفوض فرموده‌اند که در علوم عقلیه‌ی الهیه و طبیعیه ماهر و در علوم نقلیه، از فقه و تفسیر و حدیث ناظر باشد.» مرحوم اقا علی مدرس زنوزی (۱۲۳۴ق) از نخستین مدرسان این مدرسه می‌باشد که واجد شرایط فوق شناخته شد. وی از مشهورترین حکمای سده سیزده هجری و از حکمای اربعه مکتب فلسفی تهران در دوره قاجار است. زمانی‌که آقاعلی در تهران مشغول به تدریس بود، سه بزرگ دیگر یعنی آقامحمدرضا قمشه‌ای، میرزا ابوالحسن جلوه و میرزا حسین سبزواری نیز در تهران به تدریس می‌پرداختند. از این‌رو به این چهار مدرس بزرگ تهران، «حکمای اربعه» می‌گفتند. البته این چهار حکیم هر کدام در حوزه خاص متبحر بودند. آقامحمدرضا قمشه‌ای بیش‌تر عرفان نظری تدریس می‌کرد و میرزای جلوه به فلسفه مشاء علاقه‌مند بود. میرزا حسین سبزواری بیش‌تر به ریاضیات مشغول بود و آقاعلی مدرس به حکمت متعالیه مشهور بود. این اساتید هر کدام در زمینه خاص خود شاگردانی داشتند. بعضی از این اساتید شاگردان مشترک داشته‌اند [۲۷]. به‌دلیل استفاده اقاعلی از روش استدلالی خاص و مهارت فوق‌العاده‌اش در تدریس کلام و فلسفه و حکمت و ریاضیات به مدرس و استاد الاساتید مشهور شده‌است و به‌علت داشتن مکارم اخلاقی و معنوی با عنوان حکیم *الهی* نیز نامیده می‌شده‌است [۲۸].

مهدی حائری یزدی آقا علی را، به‌سبب داشتن قریحه نقادی و ابتکار درعرضه راه‌حل‌های جدید برای مشکلات فلسفی، از ملاهادی سبزواری برتر دانسته و علت کمتر بودن شهرت آقاعلی را نقادی او و پیروی صرف نکردن از ملاصدرا ارزیابی کرده است [۲۹]. دراین مدرسه بدیع‌الملک میرزا پسر امامقلی (منوچهر میرزا) عمادالدوله پسر محمدعلی میرزا ملقب به دولتشاه پسر فتحعلی‌شاه قاجار که دستی در فلسفه مغرب زمین و فلسفه اسلامی داشته به‌حضور اقاعلی مدرس زنوزی می‌رسد و هفت سؤال فلسفی و کلامی مطرح می‌سازد و ایشان همه را دقیق پاسخ می‌گوید که مجموعه آن کتاب «بدایع الحکم» است که هم‌اکنون یکی از منابع غنی فلسفه به فارسی برای طلاب و پژوهشگران می‌باشد. بدیع‌الملک کتاب المشاعر ملاصدرا را به فارسی روان ترجمه کرده و با مقدمه و تعلیقات پروفسور کربن چاپ شده است. پروفسورکربن درمقدمه این شاهزاده را «افتخار طبقه اشراف ایرانی قرن گذشته» می‌داند [۳۰]. درهمین مدرسه کنت گوبینو سفیر کبیر فرانسه در ایران به ملاقات ایشان می‌آید.کنت دوگوبینو به‌علت تسلط وی بر آرای فلاسفه، از او برای تدریس در دانشگاه سوربن فرانسه دعوت می‌کند. آقاعلی ابتدا از پذیرش این دعوت خودداری کرد، اما بعد از آن به این دعوت پاسخ مثبت داد. بعضی از شاگردان آقاعلی مانند شیخ عبدالنبی نوری وقتی این خبر را شنیدند، برای انصراف استاد از این تصمیم به تکاپو افتادند و بالاخره موفق شدند او را از این تصمیم باز دارند [۲۷]. اگر این سفر محقق می‌شد، چه‌بسا آنان زودتر با دستاوردهای فلاسفه اسلامی خصوص فلاسفه حکمت متعالیه، آشنا می‌شدند و بارها این ادعا را تکرار نمی‌کردند

که «فلسفه اسلامی با ابن رشد خاتمه پیدا کرد و دستاورد فلاسفه اسلامی، همان فلسفه یونانی است». از این طرف نیز در اثر ارتباط مستقیمی که آقا علی حکیم با فلسفه غرب پیدا می‌کرد، ایرانیان را بیش‌تر با فلسفه غرب آشنا می‌کرد و نقد و بررسی این فلسفه زودتر از اکنون به‌وسیله‌ی بزرگان انجام می‌شد [۳۱]. گوبینو از ایشان ضمناً درخواست کرد که شرح‌حالی از حکمای اسلامی را برای درج در کتاب خودش که دردست تألیف داشته بنویسند؛ ایشان پذیرفته و نوشته‌اند. نگارنده در سفری که به استراسبورک داشت درکتابخانه دانشگاه متن دست‌خط ایشان را یافته و یک تصویر از آن برداشته و درکتاب «نخبگان علم وعمل ایران» آورده است [۳۲]. درسنوات بعد پس از اقاعلی زنوزی تا انجا که نگارنده مطلع است حضرات آقایان میرزا مهدی اشتیانی و مهدی حایری یزدی واجد شرایط وقفنامه تشخیص و درآن مدرسه سمت تدریس داشته‌اند.

۲. مدرسه سپهسالار جدید تهران

درکنار مجلس شورای ملی سابق، در میدان بهارستان مدرسه باشکوهی سر برافراشته که زیبایی آن زبانزد همه تهرانیان است. مدرسه و مسجد سپهسالار یا ناصری با نام جدید مدرسه عالی شهید مطهری. در حقیقت می‌توان این دو را نماد وحدت علم و سیاست در کنار یکدیگر دانست. مؤسس این مدرسه، میرزا حسین خان سپهسالار (صدراعظم دوره ناصری) است. مسجد و مدرسه سپهسالار (شهید مطهری) نخستین و بزرگ‌ترین مسجد و مدرسه عالی در تهران است که از نزدیک‌ترین تلفیق‌ها میان معماری ایرانی و معماری مساجد استانبول است. مسجد سپهسالار گنبد ویژه‌ای دارد؛ تعداد مناره‌های بیش‌از اندازه متداول آن که حدود ۱۰ مناره است و گنبد دو گوش خوابیده‌اش نشان از سبک معماری مساجد ترکیه دارد. کارشناسان معماری معتقدند که این بنا با بهره‌گیری از کاشی‌کاری‌ها و مجموعه هنرهای معماری دوره قاجار طراحی و ساخته شده است. بانیان این بنای بزرگ و نیز سازندگان ساختمان مجلس شورای ملی، «حاج میرزا حسین خان سپهسالار قزوینی»، صدراعظم دوره ناصرالدین شاه قاجار و برادرش «مشیرالدوله» بودند که ساخت این بنا در دو سال پایانی عمر میرزا حسین خان سپهسالار آغاز شد و هزینه آن نیز از محل عواید شخصی وی تأمین می‌شد. ولی تکمیل مجموعه پس‌از مرگ وی توسط برادرش یحیی‌خان مشیرالدوله صورت گرفت. در سال ۱۲۹۶ احداث این مجموعه شروع شد. وی جهت محکم ساختن بنا حدود ۱۷ متر از تمام محوطه‌ی بنا را خاکبرداری و سپس پی‌ریزی کرد و آنگاه بنای عمارت آغاز شد. طراح این بنا و همچنین مجلس شورای ملی و عمارت بهارستان مهندس میرزا مهدی خان شقاقی (ممتحن الدوله) بود. سپهسالار که تا سال ۱۲۹۷ در تهران حضور داشت خود بر کارها نظارت کرد ولی از وقتی که عزل گردید کار احداث این بنا از نظارت مستقیم وی خارج شد ولی کارها ادامه پیدا کرد. سپهسالار وقفنامه مفصلی جهت حفظ مجموعه احداثی خود نوشت. وی برای مرمت و ادامه کار مسجد، موقوفات زیادی گذاشت. درباره ساخت مدرسه نوشته‌اند:

«حاجی میرزا حسین‌خان مشیرالدوله سپهسالار اعظم فرزند میرزا نبی‌خان امیر دیوان، مدرسه و مسجد مشهور به سپهسالار را در ۱۲۹۶ هق شروع به بنا نمود. در شوال ۱۲۹۷ وقف‌نامه را مسوده کرده و در منزل شخصی ایشان در حضور حاج آقا محمد نجم‌آبادی اجرای صیغه شده و در ۱۲۹۹ بعد از فوت سپهسالار وقف‌نامه مسجل و به امضای علمای محضر مذکور و دیگران رسیده که مدلول وقف‌نامه هم حاکی است. در ۱۲۹۷ که سپهسالار از امور لشکری و کشوری و وزارت خارجه برکنار گردید و به حکومت قزوین مأمور شده، در این موقع هم مشغول ساختمان مدرسه بوده و در اوایل ۱۲۹۸ مجدداً به تهران آمده و بنای مقدماتی و بعضی از قسمت‌های مدرسه را بالا برده که مأمور خراسان و والی آنجا و نایب‌التولیه گردیده در ۲۱ ذیحجه ۱۲۹۸ در سن ۵۷ سالگی در خراسان درگذشت. بعد از سپهسالار یحیی‌خان مشیرالدوله برادر ارشد او با اهتمام مخصوص دولت وقت در امر تکمیل بنا مبادرت کرده قسمت‌های عمده آن را تا ۱۳۰۲ و بقیه را تا زمان وفات خود در ۱۳۰۹ انجام می‌دهد»[۳۳]. دراین مدرسه اساتید بزرگی ازعالمان معقول ومنقول نظیر مرحوم سید حسن مدرس اصفهانی، میرزا طاهر تنکابنی، ابوالحسن شعرانی، سید کاظم عصار، وحسینعلی راشد تدریس کرده‌اند و امروز این مدرسه به‌نام استاد شهید مرتضی مطهری نامیده شده و اساتیدی تدریس می‌کنند. نگارنده حدود چهل سال است که در هفته توفیق تدریس دو درس فلسفه اسلامی و فقه تحلیلی را دارد.

۳. مسجد و مدرسه سید اصفهان

مسجد و مدرسه سید یکی از مساجد مهم و مشهور اصفهان است که در طی دوران قاجاریه ساخته شد و از مساجد اصلی این شهر به‌شمار می‌رود که به نوعی جامع یعنی دارای حجرات مدرسه

می‌باشد. این بنا در سده ۱۳ هجری به دستور محمدشاه قاجار و توسط محمدباقر شفتی در مساحت ۸۰۷۵ متر مربع ساخته شد. این مسجد که بنایی نیمه‌کاره است، دارای چهار در اصلی، دو چهل‌ستون، دو شبستان بزرگ، یک گنبد، سه ایوان و بیش از ۴۵ حجره است، اما مناره ندارد و همچنین درون شبستان‌های آن نیز کاشی‌کاری نشده‌است. دراین مسجد بیش از ۴۵ حجره در طبقه فوقانی به‌منظور سکونت طلاب علوم است [۳۴].

موقوفات علمی در زمان معاصر

ازمهمترین موقوفات علمی در زمان ما موقوفات دکتر محمود افشار یزدی در تهران است. واقف موقفات مرحوم دکتر محمود افشار یزدی (۱۳۶۲ – ۱۲۷۲ شمسی) می‌باشد. وی نمونه‌ای از مردان نیکنام و دولت جاوید یافته زمان ما بود که متجاوز از شصت سال از عمر پربرکت خود را در فعالیت‌های فرهنگی، ادبی، دانشگاهی، مطبوعاتی، سیاسی و اقتصادی گذراند و هیچ‌وقت احساس یأس و خستگی نکرد. مردی بود وطن‌پرست که به زبان و فرهنگ کشورش می‌بالید و حفظ و گسترش این فرهنگ را از اهم وظایف خود و هموطنانش می‌دانست. موقوفه‌ای است عام که هدف اساسی و منظور اصلی از بنیان نهادن آن توسط واقف، تعمیم زبان فارسی و تحکیم وحدت ملی در ایران می‌باشد. هسته نخستین این بنیاد را با وقف دائمی و ابدی بخش اعظمی از املاک و مستغلات و اندوخته‌های مالی خویش در سال ۱۳۳۷ شمسی تشکیل داد و تا سال ۱۳۴۱ جمعاً در پنج وقفنامه به آن افزود. سرپرستی بنیاد در زمان حیات با شخص واقف بود و بعد از وی به موجب وقفنامه، با شورای تولیتی است. این شورا متشکل از پنج تن از مقامات کشوری (رئیس مجلس شورا، رئیس دیوان عالی کشور، وزیر بهداشت، وزیر آموزش و پرورش و رئیس دانشگاه تهران، یا معاونان اول هر یک از این پنج مقام که به آنان متولی مقامی گفته می‌شود. دیگر اعضاء شورا را متولیان منصوص (متولیانی که صریحاً از طرف واقف تعیین شده‌اند) و متولیان منسوب تشکیل می‌دهند (جمعاً شش نفر) که با درنظر گرفتن گذر زمان و درگذشت تعدادی از آنان، براساس مواد وقفنامه جانشینان آنها تعیین و حداقل سالی دو بار در بنیاد برای رسیدگی به امور موقوفات، تأمین نظرهای واقف و اجرای دستور وقفنامه، توجه به گزارش بازرسان و سایر مطالب مرتبط تشکیل جلسه می‌دهند. با درگذشت واقف در سال ۱۳۶۲ شورای تولیت به ترتیبی که در صدر آمد، تشکیل می‌شود که مرحوم دکتر سید جعفر شهیدی به‌عنوان اولین رئیس شورای تولیت اداره بنیاد را برعهده می‌گیرد و پس از ایشان به پیشنهاد استاد ایرج افشار (سرپرست عالی موقوفات)، سید مصطفی محقق‌داماد از دهه هفتاد شمسی تاکنون ریاست شورای مذکور را عهده‌دار است. شورای تولیت از میان خود یا از غیر، پنج نفر را به‌عنوان هیئت مدیره برای مدت سه سال انتخاب و معین می‌نماید (رئیس، نائب رئیس، مدیرعامل، خزانه‌دار و دبیر) که بنیاد موقوفات را اداره می‌کنند. واقف برای اهداف والای فرهنگی خود تأسیس مراکزی را پیش‌بینی کرده است از جمله: ایجاد کتابخانه و قرائت‌خانه، نشر مجله آینده (که واقف به دفعات علاقه وافر خود را به انتشار این مجله ابراز داشته است). فرهنگستان زبان فارسی که براساس قراردادی در ۱۳۸۰ شمسی با دانشگاه تهران برای استقرار لغت‌نامه علامه علی‌اکبر دهخدا و مرکز بین‌المللی آموزش زبان فارسی برای دانشجویان و علاقه‌مندان دیگر کشورها به یادگیری زبان فارسی ایجاد شده است. نشر کتاب در زمینه‌های لغت و دستور و ادبیات فارسی، جغرافیای تاریخی و تاریخ ایران از اهداف اصلی و عمده واقف است. بنیاد (انتشارات دکتر محمود افشار) تا ۱۳۶۲ شمسی (سال درگذشت واقف) حدود ۱۵ عنوان کتاب منتشر کرد. از آن سال تا این زمان بیش‌از ۲۰۰ عنوان کتاب در همان موضوعات منتشر شده است. انتخاب کتاب را برای چاپ، هیئتی از کتاب‌شناسان و استادان خبره برعهده دارند. طبق خواسته واقف هر سال به یک ایران‌شناس غیرایرانی یا دانشمند ایرانی جایزه ویژه «ادبی و تاریخی» اهدا می‌شود. برای عمل به نیات واقف و تأمین هزینه‌های بنیاد، از محل عواید اجاره رقبات و حساب‌های بانکی استفاده می‌گردد. واقف محل مسکونی خود را که همسرش در آن می‌زیست، تازمان حیات وی عمری برای ایشان و پس‌از وی ملحق به موقوفات کرده بود. پس از فوت همسر واقف محل مزبور بازسازی و به کانون زبان فارسی اختصاص داده شد. در سالن آن کانون محافل علمی و گفتگوهای ادبی و وحدت ملی برگزار می شود.

وقف بنیاد دایرةالمعارف بزرگ اسلامی (مرکز پژوهش‌های ایرانی و اسلامی)

این بنیاد دراسفندماه۱۳۶۲ خورشیدی توسط اقای سید کاظم موسوی بجنوردی فرزند مرحوم آیت الله میرزا حسن بجنوردی قدس سره به هدف تألیف دایرةالمعارف بزرگ اسلامی بنیان‌گذاری

شد و تا لحظه نگارش این سطور ۲۵ مجلد ازآن تا آخرین مداخل حرف «ر» تألیف و انتشار یافته است. درجنب تألیف دایرۀالمعارف بزرگ اسلامی آثار دیگری به‌شرح زیر دردست تألیف است:

۱. ترجمه عربی دائرۀالمعارف بزرگ اسلامی که تاکنون ۹ جلد آن تحت عنوان دائرۀالمعارف الاسلامیۀ الکبری منتشر شده است.

۲. ترجمه انگلیسی دائرۀالمعارف بزرگ اسلامی با همکاری مؤسسه مطالعات اسماعیلی لندن که تاکنون ۶ جلد آن توسط انتشارات بریل با نام دانشنامه اسلامیکا منتشر شده است.

۳. دانشنامه ایران در ۳۰ جلد که تاکنون ۴ جلد از آن منتشر شده است.

۴. جغرافیای جامع ایران در ۵ جلد- آماده چاپ

۵. تاریخ جامع ایران از آغاز تا پایان دوره قاجاریه در ۲۰ جلد

۶. تاریخ و فرهنگ کرد در ۶ جلد- در حال تدوین

۷. تاریخ و فرهنگ آذربایجان در ۲ جلد- در حال تدوین

۸. دانشنامه فرهنگ مردم ایران در ۸ جلد که تاکنون ۶ جلد آن منتشر شده است.

۹. دانشنامه خلیج فارس در ۸ جلد- درحال تدوین

۱۰. دانشنامه تهران بزرگ در ۸ جلد- که دو جلد اول آن که مربوط به شمیران است منتشر شده است.

۱۱. فهرست‌واره کتاب‌های فارسی- معرفی آثار مکتوب فارسی از آغاز پیدایش این زبان تا پایان عهد چاپ سنگ از ماوراءالنهر تا آسیای صغیر در ۲۲ جلد که تاکنون ۱۲ جلد آن به‌چاپ رسیده است.

۱۲. مجموعه پژوهش‌های ایران باستان که ۶ جلد آن منتشر شده است.

۱۳. شاهنامه فردوسی تصحیح دکتر جلال خالقی که در ۱۱ جلد منتشر شده است.

۱۴. حافظ (زندگی و اندیشه)، ۱۳۹۱

کتابخانه تخصّصی این مرکز دارای گنجینه‌ای افزون بربیش از یک ملیون جلد کتاب درباره ایران‌شناسی و اسلام‌شناسی است. فعالیت‌های این بنیاد مستقل از بنیاد دائرۀالمعارف اسلامی است. برای محل این بنیاد زمینی واقع در اراضی دارآباد تهران درنظر گرفته شد و مطالعات ژئوتکنیک برروی آن انجام شد. طراحی و اجرای این مجموعه از سال ۱۳۶۸ آغاز و در سال ۱۳۸۳، با زیربنای ۳۶۰۰۰ متر مربع در زمینی به وسعت حدود هفت هکتار به بهره‌برداری کامل رسید. ساختمان بنا، بتنی است و ازنظر طراحی سازه به پیشنهاد مهندس علی اکبر معین‌فر، بلوک‌های جداگانه‌ای به ابعاد ۱۱×۱۱ و ارتفاع ۱۰ متر درنظر گرفته شده که با درز انقطاع کنار هم قرار داده می‌شدند. ساختار بنا طوری است که سازه صلب، امکان تغییر شکل را در هر بلوک به هنگام زلزله فراهم کرده است، به‌نحوی‌که علی‌رغم معماری متنوع مجموعه، رفتار سازه‌ای در شرایط خطر (زلزله) منظم تلقی خواهد شد. نگارنده از همان روزهای آغازین این مؤسسه موفق به همکاری در تألیف مقالات، عضویت در شورای علمی و سرپرستی علمی برخی بخش‌ها از جمله تألیف دانشنامه حقوق ایران که جلد اول آن منتشر و جلد دوم در دست تألیف است، بوده‌ام.

چندروز قبل (۱۱ اسفند۱۴۰۳) که جشن چهلمین سالگرد تأسیس مؤسسه در محل مرکز برگزار شد، وقف رسمی کل مجموعه توسط مؤسس بنیاد اقای سید کاظم موسوی بجنوردی اعلام گردید و در جراید رسمی کشور منتشر شد وآن را بزرگرین وقف علمی و فرهنگی در ایران دانسته‌اند.

لزوم بازنگری اجتهادی در مسائل وقف

مسائل مربوط به وقف همراه با زمان تغییر و تحول یافته، ولی هرگز از فقه و شریعت جدا نگشته، زیراکه در ذات و ماهیتش جنبه شرعی داشته است. در دوران معاصر بنیادها با شخصیت حقوقی مستقل به‌عنوان «مؤسسات غیرتجاری» فعالیت و به‌ثبت می‌رسند و توسط هیأت‌های امنا و اساسنامه مقرره، اداره می‌شوند. بسیاری از مؤسسات خیریه با همین عنوان به فعالیت خود می‌پردازند. ولی با این وجود بنیادها تا امروزه نتوانسته‌اند جای اوقاف را بگیرد و رونق وقف را بکاهد. با این همه همچنان نمی‌توان انکار کرد که مسائلی در دوران معاصر در روابط اقتصادی و نیز انواع اموال و ثروت‌ها به‌وجود آمده که درسوابق تاریخی وجود نداشته است. مردم مؤمن و متدینی که در تمدن جدید زندگی می‌کنند و با پول و بانک به‌معنای امروزی و یا سهام شرکت‌های تجاری به‌گونه‌ای سروکار دارندکه جدایی و انفکاک از آنها برایشان غیرممکن است، و با همان اموال و ارزش‌ها ثروتمند می‌شوند و برای زندگی شخصی خود هزینه می‌کنند، مایلند همان ثروت‌ها را به‌گونه‌ای جاودان سازند و به‌سوی وقف روی می‌آوردند. از طرفی وقف در قانون مدنی ایران و بسیاری کشورهای اسلامی آمده است. در قانون مدنی ایران از ماده ۵۵ تا ۹۱ به خود اختصاص داده ولی به‌رغم محدود و معدود بودن مواد مربوطه بخش مهمی ازحقوق مدنی

ایران محسوب می‌شود و روزانه دعاوی بسیاری در مراکز قضائی مرتبط با وقف مطرح می‌گردد، ولی آن مراکز به‌علت رخدادهای-های بی‌سابقه نمی‌توانند خود را از نظریه‌پردازی فقهی بی‌نیاز ببینند و گرنه با توجه به ذات و ماهیت وقف خدای نکرده به بیراهه می‌روند. مواد آمده در قانون مدنی ترجمه شده متون اصیل فقهی است. دادرسان محترم از یکسو دستشان را تعریف وقف در ماده ۵۵ قانون مدنی «وقف عبارت است از اینکه عین مال حبس و منافع آن تسبیل شود» بسته است و ازسوی دیگر امروز اکثر ثروت‌های افراد جامعه را اشیائی تشکیل می‌دهند که صورت عین خارجی ندارند. چنانچه موقوفات بخواهند محدود به اعیان خارجی گردد دایره این سنت خیر و نیکوکاری عظیم بسیار مضیق خواهد شد. بنابراین به آسانی نمی‌توانند با استناد به عدم انطباق با تعریف قانونی وقف رأی به بطلان بدهند. لذا به دنبال دکترین حقوقی جدیدی می‌گردند که با موازین شرعی نیز مخالف نباشد. فقیهان درسنت فقهی با انبوهی قواعد و اصول و شیوه و روش استنباط مواجه هستند که نمی‌توانند انفعالی و موردی برخورد کنند. درمقام پاسخ به مسائل مطروحه، چنانچه به اظهار نظری مبادرت می‌کنند، آن بزرگواران توجه دارند که پاسخ آن مسأله منحصر نمی‌گردد، لذا قواعد و اصول باید چنان رعایت شود که در بسیاری موارد دیگر هم قابل اجرا باشد. مثلاً اگر درخصوص واژه عین که در تعریف وقف به‌کار رفته تجدیدنظر کنند، بدون درنگ به تعریف بیع و در بسیاری موارد دیگر نیز سرایت خواهد کرد. لذا با توجه به توالی مترتبه برآن مبادرت به صدور فتوا خواهند نمود. توسعه در مفهوم عین موجب می‌گردد وقف علمی و فرهنگی از طریق بلوکه کردن پول در حساب‌های بانکی و اختصاص سود به مصارف علمی و فرهنگی آسان گردد. زیرا یکی از مشکلاتی که در نظر خیرین وجود دارد مدیریت موقوفات می‌باشد، درحالی‌که مدیریت پول در حساب‌های بانکی کار بسیار آسانی است و امروز در دنیای معاصر بسیار از وقف‌های علمی بدین طریق صورت گرفته است.

والسلام

منابع و ماخذ

[۱]. طباطبایی، سید محمد حسین (۱۳۳۴ش)."المیزان"، آیه ۱۹ سوره توبه، تهران، دار الکتب الاسلامیة، ج ۱۰، ص۱۶۹

[۲]. فرهمند، یونس (۱۳۸۶ش). "جندی شاپور (بیمارستان و مدرسه)"، دانشنامه جهان اسلام، جلد ۱۱، صص ۴۲-۳۷

[۳]. دائرة المعارف بزرگ اسلامی (۱۳۸۷)، مدخل بیمارستان

[۴]. سمهودی، نور الدین أبو الحسن (۱۳۷۴ق). "وفاء الوفاء بأخبار دار المصطفی"، چاپ اول، مدینه، المکتبة العلمیة، ج ۱، ص۱۲۷

[۵]. کلینی، محمد بن یعقوب (۱۴۱۱ق). "اصول کافی"، بیروت، دارالتعارف للمطبوعات، ج۷، ص۵۴

[۶]. شیرازی، صدرالدین محمد بن ابراهیم (۱۲۰۲ق). "الشواهد الربوبیه فی المناهج السلوکیه"، تصحیح ، تحقیق وتقدیم از سید مصطفی محقق داماد (۱۳۸۲ش)، تهران، انتشارات بنیاد حکمت صدرا، ص۴۳۱

[۷]. کسروی، احمد (۱۳۲۳ش). "شیخ صفی وتبارش"، تهران، چاپخانه پیمان، ص ۳۱

[۸]. دانش پژوه، محمد تقی (۱۳۴۹ش). "فهرست نسخه های خطی موزه ایران باستان"، نشریه نسخه های خطی، زیر نظر محمد تقی دانش پژوه و ایرج افشار، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ج۲ صص ۲۱۰ - ۲۰۹

[۹]. دانش پژوه، محمد تقی (۱۳۴۷ش). "مجله معارف اسلامی"، تهران، نشریه سازمان اوقاف، ش ۶، صص ۱۱۹-۱۰۹

[۱۰]. جرجی زیدان (۱۳۷۲ش). "تاریخ تمدن اسلام"، ترجمه ونگارش علی جواهر الکلام، تهران، موسسّه انتشارات امیر کبیر، ج۳ ص ۶۲۸

[۱۱]. جرجی زیدان (۱۳۷۲ش). "تاریخ تمدن اسلام"، ترجمه ونگارش علی جواهر الکلام، تهران، موسسّه انتشارات امیر کبیر، ج۳ ص ۶۲۷

[۱۲]. ابن‌جوزی، عبدالرحمن بن علی (۱۴۱۲ق). "المنتظم فی تاریخ الملوک والامم"، جلد ۹، ص ۶۹ به نقل از خضری، سید احمد رضا (۱۴۰۳ش). *"از جندی‌شاپور تا دانشگاه تهران"، چاپ دوم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران*، ص۱۲۷.

[۱۳]. ابن‌جوزی، عبدالرحمن بن علی (۱۴۱۲ق). " المنتظم فی تاریخ الملوک والامم"، به نقل از ابن‌جبیر (۱۸۵۲م). *"سفرنامه"*، صص۱۹۶-۱۹۵

[۱۴]. ابن‌جوزی، عبدالرحمن بن علی (۱۴۱۲ق). " المنتظم فی تاریخ الملوک والامم"، به نقل از نفیسی، سعید (۱۳۱۳ش). "مدرسه نظامیه بغداد" ، انتشارات مطبعه مهر، ص ۱۲۲

[۱۵]. ابن عساکر، علی بن حسن (۱۴۰۴ق). "تبیین کذب المفتری"، بیروت، دار الکتاب العربی، صص۲۸-۲۸۱

[۱۶]. ابن‌جوزی، عبدالرحمن بن علی (۱۴۱۲ ه. ق). " المنتظم فی تاریخ الملوک والامم"، جلد ۹، صص۱۹-۱۸

[۱۷]. سبکی، عبدالوهاب بن علی (۱۴۱۳)، "*طبقات الشافعیة*"، قاهره، دار إحیاء الکتب العربیة، جلد ۵، ص۱۷۱

[۱۸]. سمعانی، عبدالکریم (۱۳۸۲ ه.ق). "الأنساب"، حیدر آباد، مجلس دائرة المعارف العثمانیة، جلد ۲، ص ۱۲۹

[۱۹]. ابوالفداء، عماد الدین إسماعیل (۱۴۱۷ق). "المختصر فی أخبار البشر"، المطبعة الحسینیة المصریة، جلد ۴، ص۱۰۷

[۲۰]. دایرة المعارف بزرگ اسلامی (۱۳۸۷) به نقل از کی‌نژاد، محمد علی، بلایی اسکویی، آزیتا (۱۳۹۱). "باز آفرینی ربع رشیدی براساس متون تاریخی"، موسسه تألیف ترجمه و نشر آثار هنری متن، ص۱۸

[۲۱]. دایرة المعارف بزرگ اسلامی (۱۳۸۷) به نقل از رشیدالدین، فضل‌الله و دیگران (۱۳۹۳). "وقف نامه"، صص ۳۷-۳۵

[۲۲]. حر عاملی، محمد بن حسن (۱۴۱۲ه.ق). "وسائل الشیعه الی تحصیل مسائل الشریعه"، قم، موسسة آل البیت علیهم السلام لاحیاء التراث، ج۱۹، ص۱۷۵-۱۷۱

[۲۳]. پاینده، ابوالقاسم (۱۳۲۴ه.ش). "نهج الفصاحه"، تهران، سازمان انتشارات جاویدان، حدیث ۲۳۹

[۲۴]. شهید اول، محمد بن مکی (۱۴۱۷ه.ق)، "الدروس الشرعیة فی فقه الامامیة"، قم، مؤسسة النشر الاسلامی التابعة لجماعة المدرسین، ج ۲، ص۲۶۳

[۲۵]. فاضل مقداد، مقداد بن عبد الله (۱۴۰۴ه.ق)، "التنقیح الرائع لمختصر الشرائع"، قم، مکتبة آیة الله العظمی المرعشی النجفی (ره)، ج ۲، ص۲۹۹

[۲۶]. رشیدالدین، فضل‌الله و دیگران (۱۳۹۳ش). "وقفنامه ربع رشیدی: الوقفیه الرشیدیه بخط الواقف فی بیان شرائط امور الوقف و المصارف"، تهران، اداره کل حج و اوقاف و امور خیریه، چاچ اول، ص۸

[۲۷]. کدیور، محسن (۱۳۷۸ش). "مجموعه مصنفات حکیم موسس آقا علی مدرس طهرانی"، تهران، اطلاعات، ج۱، ص۴۹

[۲۸]. مجتهدی، کریم(۱۳۸۸ش). "آشنایی ایرانیان با فلسفه‌های جدید غرب"، تهران، پژوهشگاه فرهنگ و اندیشه اسلامی، فصل سیزدهم، ج ۳، ص۲۳۷

[۲۹]. حایری یزدی، مهدی (۱۳۸۴ش). "کاوشهای عقل نظری"، تهران، موسسه پژوهشی حکمت و فلسفه ایران، ج۱، ص۳۶

[۳۰]. صدرالدین شیرازی، محمدبن ابراهیم (۱۳۴۲). "المشاعر"، کربن، هانری و بدیع‌الملک، میرزا عمادالدوله، تهران، قسمت ایران‌شناسی انستیتو ایران و فرانسه، ص۵۴ – ۵۳

[۳۱]. سخنرانی سید مصطفی محقق داماد، روزجهانی فلسفه (۱۴۰۲ش). " حکمت ودیانت"، تهران انتشارات سخن، مرکز نشر علوم اسلامی

[۳۲]. محقق داماد، سید مصطفی (۱۳۷۹ش). "نخبگان علم وعمل ایران"، تهران، مرکز نشر علوم اسلامی

[۳۳]. تیموری، ابراهیم (۱۳۸۹ش)، «چهارراه سرچشمه تهران» نشریه بخارا، شماره ۷۶، صص ۱۴۴-۱۴۱

[۳۴]. معینی، محسن (۱۳۹۳ش). "حوزه علمیه اصفهان"، دانشنامه جهان اسلام، ج۱۴

بررسی عملکرد برنامه پنج ساله ششم توسعه در حوزه آموزش عالی

احمد شعبانی*[1]

چکیده

پیشرفت، بدون برنامه‌ریزی ممکن نبوده و در حوزه علم، دانش و فناوری این مهم از اهمیت دو چندان برخوردار می‌باشد. در هر برنامه‌ای ضمن توجه به اهداف کمی و کیفی آن، روش کار و به‌عبارتی سازوکار دست‌یابی به اهداف برنامه و راستی‌آزمایی آن بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در این مقاله کامیابی‌ها و ناکامی‌های عملکردی برنامه پنج ساله ششم توسعه در بخش آموزش عالی کشور، مورد بررسی و تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد، عملکرد در تعداد اختراعات ثبت‌شده در مراجع بین‌المللی، سهم دانشجویان خارجی از تعداد دانشجویان داخلی، تعداد دانشگاه‌ها در زمره صد دانشگاه برتر آسیا، سرانه سالانه مقالات اسکوپوس اعضای هیأت علمی تمام‌وقت، درصد تعداد مقالات مشترک با محققان خارجی و تعداد نشریات ایرانی نمایه‌شده در پایگاه بین‌المللی علم بیش‌از ۹۰ درصد و نسبتا موفقیت‌آمیز می‌باشد، اما در شاخص‌هایی از قبیل سهم اعتبارات پژوهش و فناوری بخش دولتی از تولید ناخالص ملی، تعداد دانشجویان تحصیلات تکمیلی به کل دانشجویان و تعداد دانشجویان تحصیلات تکمیلی گروه علوم پایه کمتر از ۵۰ درصد و به‌ترتیب ۲۸/۷، ۴۸/۱ و ۴۰ درصد است که جای تأمل دارد. در پایان به‌منظور افزایش موفقیت در برنامه پنج ساله هفتم پیشرفت، پیشنهاد می‌شود سرمایه‌گذاری در بخش تحقیق و توسعه، احداث آزمایشگاه‌های مجهز و اختصاص سهم پژوهش از تولید ناخالص ملی در اولویت قرار گیرد.

واژگان کلیدی: برنامه ششم توسعه، برنامه هفتم پیشرفت، آموزش عالی، پژوهش، فناوری، علوم پایه، تولید علم

* عهده‌دار مکاتبات: استاد ، تلفن: ۲۹۹۰۴۳۶۲ (۹۸۲۱)، دورنگار: ۲۲۴۳۱۶۷۱ (۹۸۲۱) ، آدرس الکترونیکی : a-shaabani@sbu.ac.ir

[1] دانشکده شیمی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

مقدمه

پیش‌نیاز هر نوع برنامه‌ریزی، ترسیم وضعیت موجود و مطلوب، تبیین راهکارها، راهبردها، سیاست‌های و برنامه‌های اجرایی- عملیاتی، سازوکار رسیدن از وضعیت موجود به وضعیت مطلوب و تعیین تأمین منابع مالی اجرای برنامه و از همه مهمتر رصد گام‌به‌گام از پیشرفت در برنامه می‌باشد. اهداف کمی برنامه ششم توسعه[1] به نوعی ترسیم وضعیت مطلوب آموزش عالی در سال ۱۴۰۰ بوده است که در سه بخش الف- دانشجویی و هیأت علمی، ب- دانشجویی و تحصیلات تکمیلی، علوم پایه، دانشگاهی و شعب خارجی، و ج- حمایت و تقویت پژوهش و فناوری، ایجاد نظام ملی نوآوری و تقویت زیرساخت‌ها و نظامات پشتیبان پژوهش و فناوری و اثرگذاری می‌باشد که در قالب سه جدول تنظیم و ارائه شده است. یکی از امتیازات برنامه ششم توسعه در بخش آموزش عالی، تعیین کلیه شاخص‌ها به طور پلکانی و سال به سال تا دست‌یابی به اهداف مطلوب در پایان برنامه بوده است[2] (جداول ۱ الی ۳) [۱]. این شیوه از هدف‌گذاری به مجریان و قانون‌گذاران برنامه فرصتی فراهم می‌کند تا گام‌به‌گام و هر سال عملکرد برنامه رصد و در طول برنامه میزان پیشرفت بررسی و آسیب‌شناسی و کاستی‌های آن جبران شود.

جدول ۱-شاخص‌های دانشجویی و هیأت علمی برنامه ششم توسعه

عنوان	واحد	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰
سهم دانشجویان خارجی	درصد	۰/۸	۱	۱/۲	۱/۵	۱/۸
سهم دانشجویان غیردولتی	درصد	۴۴/۲	۴۴/۳	۴۴/۶	۴۴/۸	۴۵
نسبت دانشجو به هیأت علمی تمام‌وقت وزارت علوم و فناوری و دستگاه‌های اجرایی (حضوری)	نفر	۲۵	۲۴	۲۲	۲۰	۲۰
نسبت دانشجو به هیأت علمی تمام‌وقت وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی (حضوری)	نفر	۱۱	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰
نسبت دانشجو به هیأت علمی تمام‌وقت دانشگاه‌های غیردولتی	نفر	۵۳	۵۰	۴۷	۴۵	۴۳
نسبت هیأت علمی تمام‌وقت استادیار به بالا به کل هیأت علمی تمام‌وقت در دانشگاه‌های وابسته به وزارت علوم، تحقیقات و فناوری (حضوری)	نفر	۸۸	۸۹	۹۰	۹۱	۹۲
نسبت هیأت علمی تمام‌وقت استادیار به بالا به کل هیأت علمی تمام‌وقت در دانشگاه‌های وابسته به وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی (حضوری)	نفر	۸۷	۸۹	۹۱	۹۲	۹۳

جدول ۲-شاخص‌های دانشجویی کل، کاردانی، مهارتی، تحصیلات تکمیلی، علوم پایه، دانشگاهی و شعب خارجی برنامه ششم توسعه

عنوان	واحد	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰
تعداد دانشجو	نفر	۴۵۴۴۰۰۰	۴۲۶۱۰۰۰	۴۳۸۰۰۰۰	۴۳۲۰۰۰۰	۴۳۰۰۰۰۰
نرخ ناخالص ثبت نام (جمعیت ۲۴- ۱۸ سال)	درصد	۵۱/۹	۵۳	۵۳/۷	۵۴	۵۴
تعداد دانشجویان داخلی	نفر	۴۴۹۸۰۰۰	۴۴۰۵۰۰۰	۴۳۱۴۰۰۰	۴۲۲۵۰۰۰	۴۲۲۳۰۰۰
سهم دانشجویان کاردانی به کل دانشجویان	درصد	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳

[1] نخستین برنامه توسعه پس از انقلاب اسلامی در سال ۱۳۶۸ برای مدت ۵ سال تدوین شد. سپس شش برنامه دیگر در فواصل زمانی: برنامه دوم توسعه ۱۳۷۴ تا ۱۳۷۸، برنامه سوم توسعه ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۳، برنامه چهارم توسعه ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۸ (تمدید تا ۱۳۸۹)، برنامه پنجم توسعه ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ (تمدید تا ۱۳۹۵)، برنامه ششم توسعه ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ (تمدید تا ۱۴۰۲)(این قانون در اسفند ماه ۱۳۹۵ توسط رئیس مجلس وقت به رئیس جمهور ابلاغ شده است) و برنامه هفتم توسعه ۱۴۰۳ تا ۱۴۰۷(این قانون در جلسه علنی اول خرداد ۱۴۰۳ مجلس شورای اسلامی تصویب و در جلسه ۲ تیر ماه ۱۴۰۳ مجمع تشخیص مصلحت نظام تأیید؛ رئیس مجلس نیز در تاریخ ۱۲ تیرماه این قانون را به دولت ارسال کرده است).

[2] شماره وبگاه در کروشه و شماره رفرنس در پرانتز ارائه شده است.

سهم دانشجویان تحصیلات تکمیلی به کل دانشجویان			درصد			۲۴	۲۶	۲۸	۳۰	۳۰
سهم آموزش‌های مهارتی تا پایان برنامه در نظام آموزش‌های رسمی آموزش متوسطه و آموزش عالی	آموزش و پرورش	درصد	۳۸	۴۰	۴۳	۴۷	۵۰			
	آموزش عالی	درصد	۲۰	۲۲	۲۴	۲۷	۳۰			
تعداد دانشجویان گروه علوم پایه به کل دانشجویان		نفر				۳۱۸۴۰۰	۳۳۹۸۰۰	۳۶۲۶۰۰	۳۷۰۰۰۰	۳۸۷۰۰۰
تعداد دانشجویان تحصیلات تکمیلی گروه علوم پایه		نفر				۱۰۶۰۰۰	۱۱۷۰۰۰	۱۲۹۰۰۰	۱۳۵۰۰۰	۱۴۳۰۰۰
تعداد دانشگاه‌های در زمره صد دانشگاه برتر آسیا		عدد				۶	۷	۸	۹	۱۰
تعداد شعب خارجی دانشگاه‌های کشور		عدد				۶	۸	۱۰	۱۳	۱۶

جدول ۳: حمایت و تقویت پژوهش و فناوری، ایجاد نظام ملی نوآوری و تقویت زیرساخت‌ها و نظامات پشتیبان پژوهش و فناوری برنامه ششم توسعه

عنوان	واحد	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰
رتبه تولید کمی مقالات در دنیا	رتبه	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۲
شاخص هرش در جهان	رتبه	۴۲	۴۲	۴۱	۴۱	۴۰
سهم اعتبارات پژوهش و فناوری بخش دولتی از تولید ناخالص	درصد	۱/۱	۱/۱۵	۱/۲۳	۱/۳۵	۱/۵
تعداد اختراعات و ابداعات ثبت‌شده در سال در مراجع بین‌المللی	تعداد	۳۴	۳۹	۴۳	۴۷	۵۰
درصد محصولات با فناوری متوسط به بالا از کل محصولات صنعتی	درصد	۳۹	۴۲	۴۵	۴۸	۵۰
درصد محصولات با فناوری متوسط به بالا از تولید ناخالص داخلی	درصد	۱/۵	۲/۵	۳/۴	۴/۲	۵
رتبه صادرات محصولات با فناوری بالا از کل صادرات در منطقه	رتبه	۶	۵	۴	۳	۳
سرانه سالانه مقالات SCOPUS به تعداد اعضای هیأت علمی تمام‌وقت	نفر/ مقاله	۰/۶۴	۰/۷۲	۰/۷۹	۰/۸۵	۰/۹۵
درصد تعداد مقالات مشترک با محققان خارجی از کل	درصد	۲۵	۲۷	۳۰	۳۳	۳۵
تعداد پژوهشگران به یک میلیون نفر جمعیت	نفر	۱۹۱۰	۲۰۹۲	۲۲۹۰	۲۵۱۰	۲۶۰۰
تعداد مقالات نمایه‌شده در پایگاه استنادی جهان اسلام (ISC)	به میزان دو برابر وضع فعلی در پایان برنامه					
تعداد نشریات ایرانی نمایه‌شده در پایگاه بین‌المللی علم و دارای ضریب تأثیر	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰	۶۵	۷۰

در این بررسی از میان بیست‌ونه شاخص سنجشی، شاخص‌های از قبیل: نسبت دانشجو به هیأت علمی تمام‌وقت وزارت علوم، تحقیقات و فناوری (عتف)، نسبت دانشجو به هیأت علمی تمام‌وقت دانشگاه‌های غیردولتی، تعداد دانشجویان داخلی، سهم دانشجویان تحصیلات تکمیلی به کل دانشجویان، تعداد دانشجویان علوم پایه به کل دانشجویان، تعداد دانشجویان تحصیلات تکمیلی علوم پایه، سهم دانشجویان خارجی، رتبه تولید کمی مقالات در دنیا، سهم اعتبارات پژوهش و فناوری بخش دولتی از تولید ناخالص، تعداد اختراعات و ابداعات ثبت‌شده در سال در مراجع بین‌المللی، درصد محصولات با فناوری متوسط به بالا از کل خارجی از کل، تعداد نشریات ایرانی نمایه شده در پایگاه بین‌المللی علم و دارای ضریب تأثیر، تعداد دانشگاه‌های در زمره صد دانشگاه برتر آسیا مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است[1] (۱و۲). انتظار می‌رود با استعانت به جمله معروف «گذشته چراغ راه آینده است»، با ارزیابی و نشان دادن کامیابی‌ها و ناکامی‌های برنامه ششم توسعه، تمهیدات لازم برای جبران ناکامی‌ها و ارتقای کامیابی‌ها در برنامه هفتم پیشرفت فراهم شود.

بررسی کامیابی‌ها و ناکامی‌های برنامه ششم توسعه در حوزه آموزش عالی

عملکرد برنامه ششم توسعه در سال ۱۴۰۲ در برخی شاخص‌های کمی در حوزه آموزش عالی در میزان دست‌یابی به اهداف یا

[1] کلیه داده‌های مربوط به تعداد دانشجویان و اعضای هیأت علمی از مؤسسه پژوهش و برنامه‌ریزی آموزش عالی در پاسخ به نامه شماره ۲۴/۵۲۸۷۶ مورخ ۱۴۰۳/۰۷/۰۹ با شماره پیگیری ۷۷۰۲۵ به درخواست پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران اخذ شده است که بابت آن قدردانی و تشکر می‌شود.

وضعیت مطلوب در جدول ۴ ارائه شده است. بررسی و مقایسه شاخص‌های کمی عملکردی برنامه ششم توسعه با وضعیت مطلوب نشان می‌دهد در اغلب شاخص‌ها موفقیت چندانی حاصل نشده است. از همه مهمتر، علیرغم پیش‌بینی رصد و ارزیابی گام‌به‌گام در برنامه ششم، شواهد نشان می‌دهد به این مهم در پیشرفت عمکرد برنامه توجه نشده وگرنه میزان عملکرد برنامه با اهداف آن به این میزان نمی‌بایست فاصله می‌داشت.

جدول ۴: عملکرد و میزان موفقیت در ارتقای نظام علمی، پژوهشی و فناوری برنامه ششم توسعه

ردیف	برنامه پنج ساله ششم توسعه	واحد	وضعیت موجود ۱۳۹۶	وضعیت مطلوب ۱۴۰۰	عملکرد ۱۴۰۲	درصد عملکرد ۱۴۰۲
۱	رتبه تولید کمی مقالات در دنیا	رتبه	۱۵	۱۲	۱۷ WOS[1] ۱۵ اسکوپوس[2]	۷۱ ۸۰
۲	سهم اعتبارات پژوهش و فناوری بخش دولتی از تولید ناخالص	درصد	۱/۱	۱/۵	۰/۴۳	۲۸/۷
۳	تعداد اختراعات و ابداعات ثبت‌شده در سال در مراجع بین‌المللی	تعداد	۳۴	۵۰	۱۲۵	۲۵۰
۴	سهم محصولات با فناوری متوسط به بالا از تولید ناخالص ملی	درصد	۱/۵	۵	۲/۸	۵۶
۵	تعداد دانشجو	نفر	۴۵۴۴۰۰۰	۴۳۰۰۰۰۰	۳۱۰۰۰۰۰	۷۲/
۶	سهم دانشجویان تحصیلات تکمیلی به کل دانشجویان	درصد(نفر)	۲۴ (۱۰۹۰۵۶۰)	۳۰(۱۲۹۰۰۰۰)	۶۲۰۰۰۰	۴۸/۱
۷	سهم دانشجویان خارجی (از تعداد دانشجویان داخلی)	درصد(نفر)	۸.۰ (۳۵۹۸۴)	۸.۱ (۷۶۰۱۴)	۳۹۰۰۰۰	۱۱۸/۴
۸	تعداد کل دانشجویان گروه علوم پایه	نفر	۳۱۸۴۰۰	۳۸۷۰۰۰	۲۰۵۲۹۵	۵۳
۹	تعداد دانشجویان تحصیلات تکمیلی گروه علوم پایه	نفر	۱۰۶۰۰۰	۱۴۳۰۰۰	۵۶۰۰۰	۴۰
۱۰	نسبت دانشجو به هیأت علمی تمام‌وقت وزارت علوم و فناوری و دستگاه‌های اجرایی (حضوری)	نفر	۲۵	۲۰	۲۵/۵	۷۸/۴
۱۱	نسبت دانشجو به هیأت علمی تمام‌وقت دانشگاه‌های غیردولتی (آزاد اسلامی و غیردولتی-غیرانتفاعی)	نفر	۵۳	۴۳	۴۹/۷	۸۶/۵
۱۲	نسبت هیأت علمی تمام‌وقت استادیار به بالا به کل هیأت علمی تمام‌وقت در دانشگاه‌های وابسته به وزارت علوم، تحقیقات و فناوری (حضوری): وزارت عتف، پیام نور، فرهنگیان و دستگاه های اجرایی	نفر	۸۸	۹۲	۹۱	۹۸.۹
۱۳	تعداد دانشگاه‌ها در زمره صد دانشگاه برتر آسیا	عدد	۶	۱۰	۹	۹۰
۱۴	سرانه سالانه مقالات SCOPUS به تعداد اعضای هیأت علمی تمام‌وقت با احتساب هیأت علمی تمام‌وقت در وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی	نفر/ مقاله	۰/۶۴	۰/۹۵	۰/۸۷	۹۱/۶
۱۵	درصد تعداد مقالات مشترک با محققان خارجی از کل	درصد	۲۵	۳۵	۳۵	۱۰۰
۱۶	تعداد نشریات ایرانی نمایه‌شده در پایگاه بین‌المللی علم و دارای ضریب تأثیر	نشریه	۵۰	۷۰	۳۸۲	۵۴۵/۷

[1]Web of Science(WOS)

[2] Scopus (SC)

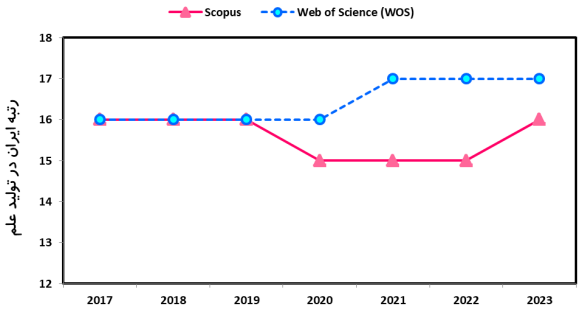
[3]براساس آمار مؤسسه پژوهش و برنامه‌ریزی آموزش عالی در سال تحصیلی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ تعداد دانشجویان غیرایرانی (به استثنای دانشگاه آزاد اسلامی و وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی) ۳۵۰۷۴ نفر می‌باشد.

• رتبه جهانی ایران از نظر کمیت در تولید علم و تعداد اختراعات بین‌المللی در سال ۱۳۹۶-۱۴۰۲

رتبه ایران در سال ۲۰۱۷/۱۳۹۶ بر اساس داده‌های اسکوپوس و وب.او.ساینس به ترتیب ۱۵ و ۱۶ بوده است. بر اساس داده‌های همین سامانه‌های علم‌سنجی که توسط پایگاه استنادی علوم جهان اسلام یا آی.اس.سی[1] گزارش شده است، رتبه ایران در تولید علم در سال ۲۰۲۳/۱۴۰۲ به ترتیب ۱۶ و ۱۷ می‌باشد (نمودار ۱) [۲،۳]. درصورتی‌که رتبه ایران در سال ۱۴۰۰ طبق برنامه می‌بایست ۱۲ می‌شد (جدول ۳). لذا نه‌تنها پیشرفتی در بهبود رتبه مشاهده نمی‌شود بلکه عملکرد نشان از پسرفت دارد.

لازم به ذکر است تولید علم ایران در جهان براساس گزارش وب.آو.ساینس در پایگاه استنادی علوم جهان اسلام در اردیبهشت ماه ۱۴۰۳ طی سال‌های ۲۰۲۰/۱۳۹۹ الی ۲۰۲۳/۱۴۰۲ به‌ترتیب ۷۳۰۹۸، ۷۷۵۱۳، ۷۶۶۵۴و ۶۸۹۸۲ تعداد بوده است که از سال ۲۰۲۲/۱۴۰۱ روند نزولی شده است. برخی از دلایل کاهش مقالات و رتبه علمی ایران در تولید اسناد علمی عبارتند از کاهش تعداد دانشجویان به‌ویژه در مقاطع تحصیلات تکمیلی، عدم سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های پژوهشی از قبیل نوسازی و تجهیز ملزومات آزمایشگاهی و تحقیقاتی، وضع قانون احراز شرط فراغت از تحصیل دانشجویان دکتری از دو مقاله علمی به یک مقاله، دسترسی باز اغلب مجلات بین‌المللی (انتشار با پرداخت پول)، عدم هزینه‌کرد و پرداخت حق‌آبه پژوهش و یا سهم پژوهش از تولید ناخالص ملی و البته کیفی‌سازی انتشارات و اسناد علمی در سال‌های اخیر نیز مزید بر علت می‌باشد.

لازم به ذکر است، درصد مقالات مشترک با محققان خارجی طی همین سال‌ها ۳۳ الی ۳۵ درصد بوده است که منطبق بر اهداف برنامه و مطلوب ارزیابی می‌شود. تعداد نشریات ایرانی نمایه شده در پایگاه بین‌المللی علم (اسکوپوس) طی این دوره ۳۲۰ الی ۳۸۳ نشریه بوده که دراین مورد نیز نسبت به اهداف و عملکرد برنامه بسیار موفق عمل شده است [۴،۵].



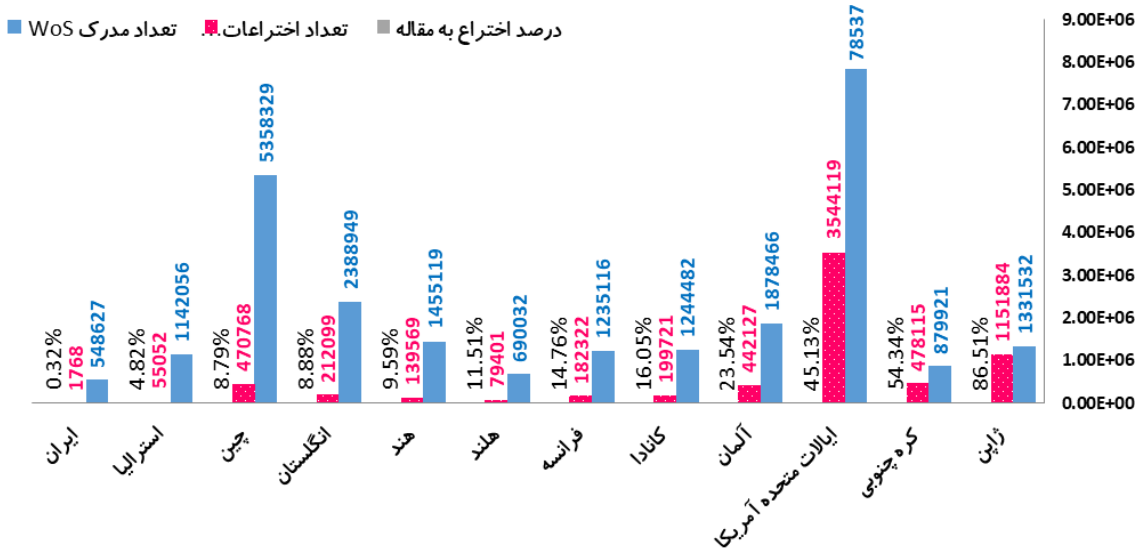
نمودار۱: رتبه ایران در تولید علم بر اساس داده‌های اسکوپوس و وب.آو.ساینس در سال های ۲۰۲۳-۲۰۱۷

تعداد مقالات نمایه شده در پایگاه وب.او.ساینس، پروانه‌های ثبت اختراع در پایگاه آمریکا[2] و نسبت اختراع ثبت‌شده به مقالات نمایه شده برای کشورهای پیشرو در بازه زمانی ۲۰۲۳/۱۴۰۲-۲۰۱۳/۱۳۹۲ در نمودار ۲ ارائه شده است. بیشترین تعداد اختراعات ثبت شده در کشورهای ایالات متحده آمریکا، ژاپن و کره جنوبی بوده و ایران با ۱۷۶۸ پروانه ثبت اختراع رتبه ۵۱ جهان را از آن خود کرده است [۶،۷]. خوشبختانه عملکرد برنامه ششم در تعداد اختراع موفقیت‌آمیز بوده، گرچه تعداد اختراع پیش‌بینی شده در برنامه بسیار اندک بوده است، اما وضعیت ایران در شاخص فناوری نسبت به کشورهای پیشرو در تولید فناوری بسیار پایین می‌باشد. درصد نسبت اختراع به مقاله در ایران ۰/۳۲ درصد و در برخی از کشورها مثل ژاپن ۸۶/۵ درصد می‌باشد. با توجه به اینکه فعالیت حوزه فناوری به عهده معاونت علمی و فناوری است، ضروری است اقدامات مؤثرتری در جهت ارتقای این شاخص به‌عمل آید.

لازم به ذکر است، نمایه‌سازی نشریات ملی در پایگاه‌های بین‌المللی که در سال‌های اخیر با همت وزارت علوم انجام گرفته، عامل مؤثری در افزایش مقالات و بالطبع بهبود نسبی وضعیت شده است. پیش‌بینی می‌شود، اگر در سال‌های آتی اقدامات جدی برای جبران کاستی‌ها صورت نگیرد شتاب کاهش اسناد علمی به‌دلایلی از قبیل اقبال دانشجویان برای تحصیل در سایر کشورها، هزینه سنگین پژوهش و فرسودگی و به‌روز نبودن تجهیزات پژوهشی، بیشتر نیز خواهد شد.

[1] Islamic World Science Citation (ISC)پایگاه استنادی علوم جهان اسلام

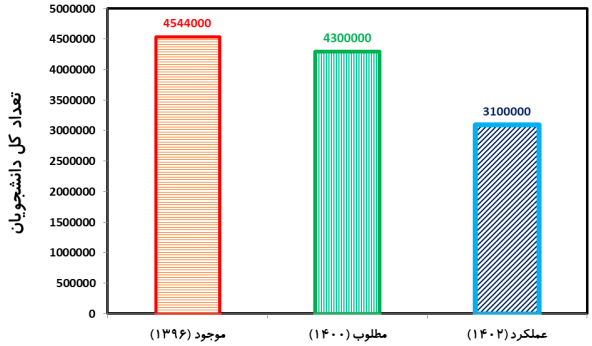
[2] US Patents



نمودار ۲: تعداد مقاله، اختراع و درصد اختراع به مقاله در کشورهای پیشرو جهان در مقایسه با ایران در بازه زمانی ۲۰۲۳-۲۰۱۳

تعداد کل دانشجویان

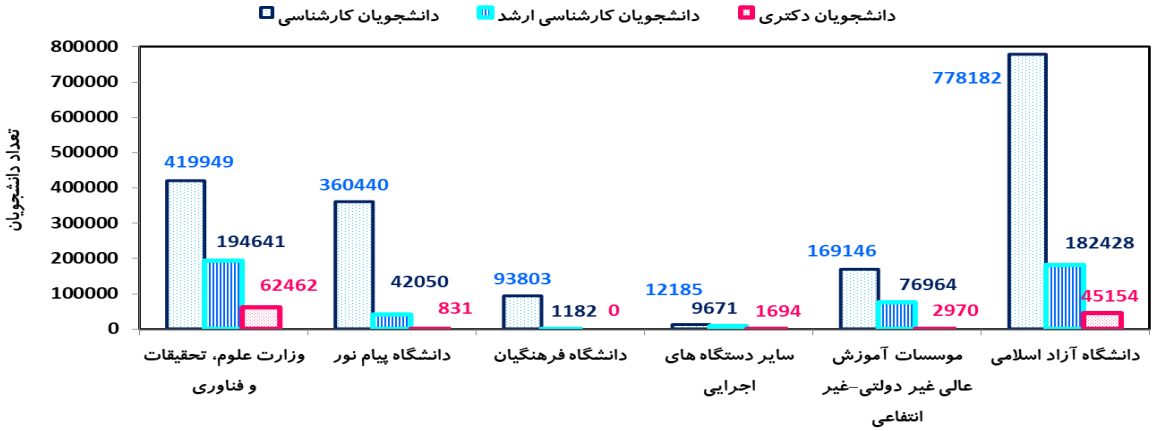
تعداد کل دانشجویان در سال ۱۳۹۶ حدود ۴/۵ میلیون بوده و در برنامه پیش‌بینی شده به ۴/۳ میلیون در سال ۱۴۰۰ تقلیل یابد. کاهش نرخ رشد جمعیتی یکی از دلایل اصلی و امر بدیهی در کاهش کل دانشجویان بوده که در تدوین برنامه به این مهم توجه شده است. اما عملکرد برنامه ۳/۱ میلیون دانشجو را در سال ۱۴۰۲ نشان می‌دهد که میزان کاهش دانشجو غیرمنتظره و به‌طور آبشاری و بیش‌از ۱/۲ میلیون کاهش یافته است. به‌عبارتی عملکرد برنامه نشان می‌دهد بیش از ۲۵ در صد از جمعیت دانشجویی با شیب بسیار تند کاهش یافته که جای تأمل و آسیب‌شناسی دارد (نمودار ۳). لازم به ذکر است بر اساس آخرین آمار که در سال ۱۴۰۳ از مؤسسه پژوهش و برنامه‌ریزی آموزش عالی به‌طور رسمی استعلام شده در سال تحصیلی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ تعداد کل دانشجویان (بدون احتساب وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی[1])، ۲۴۵۳۷۵۲ نفر می‌باشد که توزیع تعداد و درصد آنها به تفکیک وابستگی در نمودارهای (۴-۶) ارائه شده است. از این تعداد دانشجو، حدود ۴۲۰ هزار نفر در مقطع کارشناسی (۳۸ درصد)، ۱۹۵ هزار درمقطع



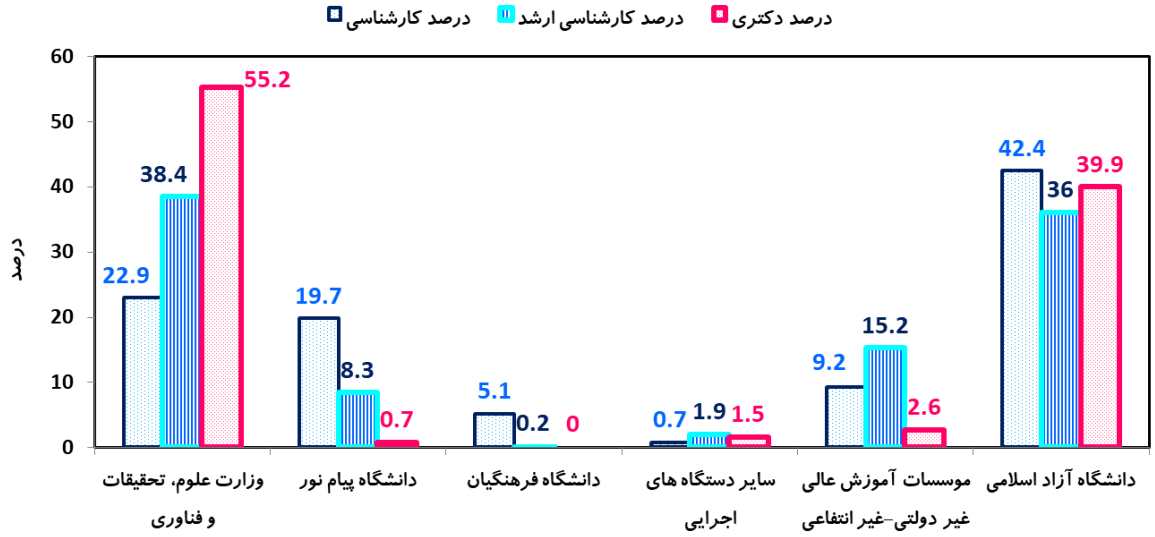
نمودار ۳: مقایسه تعداد کل دانشجویان در طول سال برنامه (براساس داده‌های مؤسسه پژوهش و برنامه‌ریزی آموزش عالی)

ارشد (۳۸ درصد) و ۶۳ هزار نفر در مقطع دکتر (۲۷/۶ درصد) از کل دانشجویان کشور در وزارت عتف تحصیل می‌کنند. به‌عبارتی در سه مقطع تحصیلی حدود ۶۸۸ هزار دانشجو از ۳/۱ میلیون دانشجو در کشور در وزارت عتف (حدود ۲۲ درصد از کل دانشجویان) به تحصیل اشتغال دارند که با کسر دانشجویان پردیسی و نوبت دوم، درصد دانشجویانی که بدون پرداخت شهریه در وزارت عتف تحصیل می‌کنند باز هم کاهش خواهد یافت.

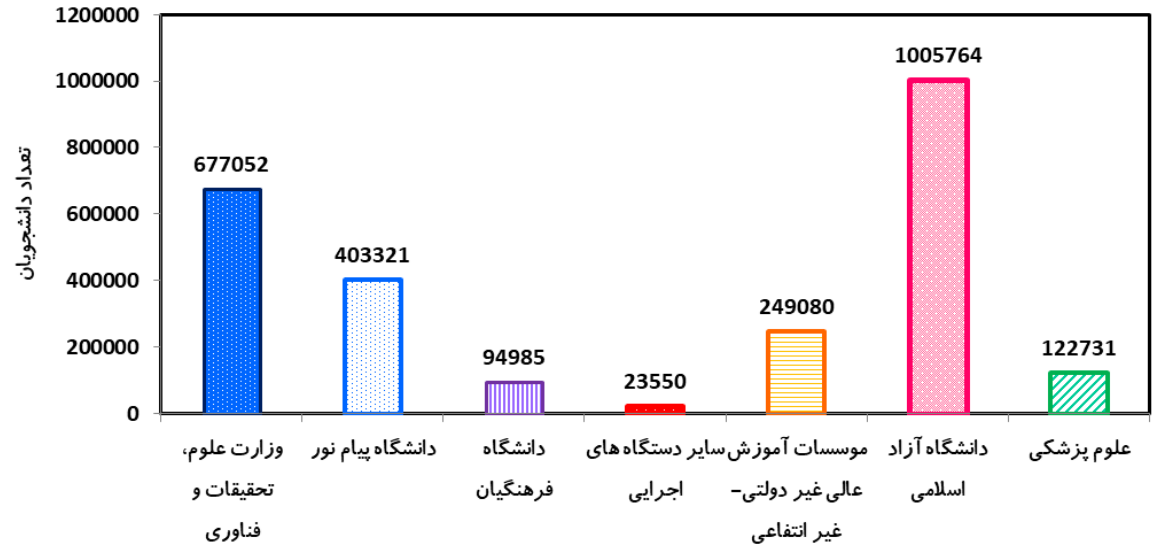
[1] اعضای هیأت علمی دانشگاه های وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی کشور ۲۱۱۶۶ نفرند و تعداد کل دانشجویان علوم پزشکی ۱۲۲۷۳۱ نفر می باشد. نسبت دانشجو به هیأت علمی تمام‌وقت در وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی حدود ۶ می باشد.



نمودار ۴: توزیع تعداد دانشجویان مقاطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری در هریک از زیر نظام‌های آموزش عالی (بدون احتساب وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی) در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱



نمودار ۵: توزیع درصد دانشجویان مقاطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری در هر یک از زیر نظام‌های آموزش عالی (بدون احتساب وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی) در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱

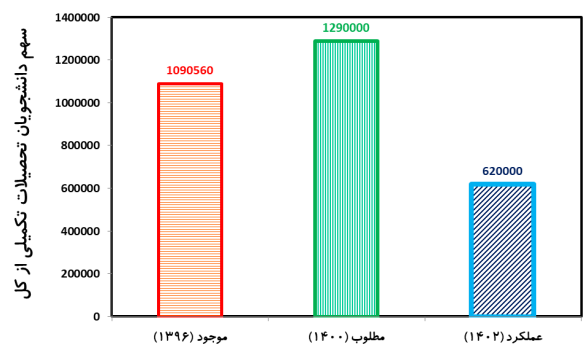


نمودار ۶: توزیع تعداد دانشجویان در هر یک از زیر نظام‌های آموزش عالی در سال ۱۴۰۱۲-۱۴۰۱

تعداد کل دانشجویان تحصیلات تکمیلی

تعداد کل دانشجویان تحصیلات تکمیلی در آغاز برنامه ششم حدود ۱/۰۸ میلیون نفر بوده (۲۴ درصد از کل دانشجویان) و پیش‌بینی شده به حدود ۱/۲۷ میلیون نفر (۳۰ درصد از کل دانشجویان) افزایش یابد. آمار ۱۴۰۲ نشان می‌دهد، تعداد دانشجویان به‌جای افزایش، نزولی بوده و به حدود ۶۲۰ هزار نفر کاهش یافته است (بدون احتساب دانشجویان علوم پزشکی). لذا عملکرد برنامه حاکی از کاهش ۵۰ درصدی تعداد کل دانشجویان تحصیلات تکمیلی نسبت به تعداد پیش‌بینی شده در برنامه است. به‌عبارتی براساس بررسی آماری نمودار ۷، نتایج نشان از کاهش ۳۰ درصدی دانشجو در سال ۱۴۰۲می‌باشد (نسبت به ۳/۱ میلیون دانشجو).

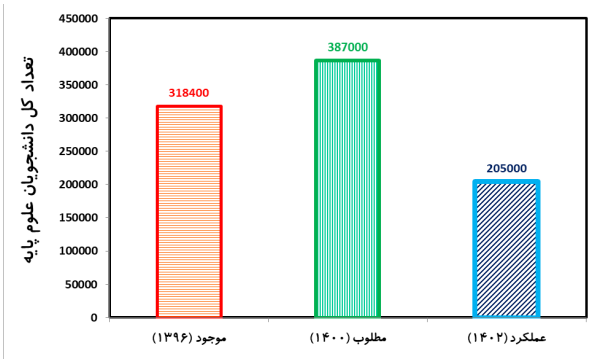
لازم به ذکر است از کل دانشجویان تحصیلات تکمیلی در کشور، فقط ۱۹۴۶۴۱ دانشجو در مقطع کارشناسی ارشد و ۶۲۴۶۲ دانشجو در مقطع دکتری در دانشگاه‌های دولتی وزارت عتف (بدون احتساب پیام نور و...) به تحصیل اشتغال دارند.



نمودار ۷: تعداد دانشجویان تحصیلات تکمیلی (براساس داده‌های مؤسسه پژوهش و برنامه‌ریزی آموزش عالی- بدون احتساب وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی)

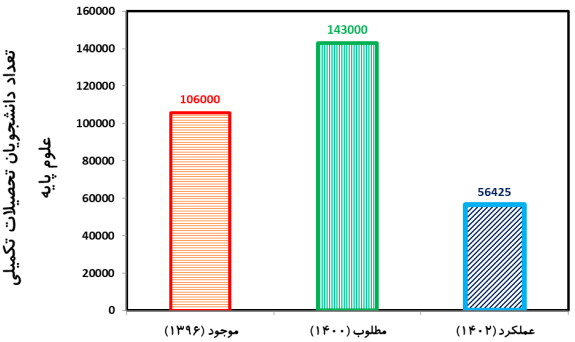
• تعداد کل دانشجویان علوم پایه و دانشجویان تحصیلات تکمیلی آن

پیش‌بینی شده است تعداد کل دانشجویان علوم پایه از ۳۱۸ هزار دانشجو در سال ۱۳۹۶ به ۳۸۷ هزار دانشجو در سال ۱۴۰۲ افزایش یابد. اما عملکرد برنامه نشان می‌دهد اختلاف معناداری میان عملکرد با اهداف برنامه وجود دارد. به‌طوری‌که در سال ۱۴۰۲ تعداد کل دانشجویان علوم پایه ۲۰۵ هزار نفر بوده و لذا میزان تحقق برنامه حدود ۵۳ درصد می‌باشد (نمودار ۸).



نمودار ۸: مقایسه عملکرد و هدف در شاخص تعداد کل دانشجویان علوم پایه (براساس داده‌های مؤسسه پژوهش و برنامه‌ریزی آموزش عالی)

همچنین مقرر بوده تعداد کل دانشجویان تحصیلات تکمیلی علوم پایه از ۱۰۶ هزار در سال ۱۳۹۶ به ۱۴۳ هزار نفر در سال ۱۴۰۲ افزایش یابد. اما عملکرد برنامه نشان می‌دهد تعداد کل دانشجویان تحصیلات تکمیلی حدود ۵۶ هزار که ۴۰ هزار در مقطع ارشد و ۱۶ هزار در مقطع دکتری به تحصیل اشتغال دارند. درصد تحقق اهداف برنامه ۴۰ درصد می‌باشد (نمودار ۹).

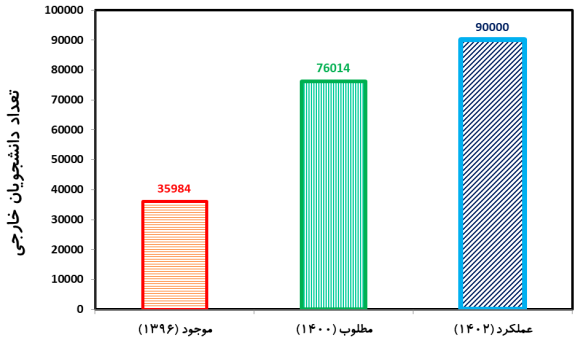


نمودار ۹: مقایسه عملکرد و هدف در شاخص تعداد دانشجویان تحصیلات تکمیلی گروه علوم پایه (براساس داده‌های مؤسسه پژوهش و برنامه‌ریزی آموزش عالی).

لازم به ذکر است، حدود ۵۱ درصد از کل دانشجویان علوم پایه یعنی ۱۰۵ هزار دانشجو از ۲۰۵ هزار و ۷۰ درصد از دانشجویان تحصیلات تکمیلی علوم پایه یعنی ۳۹ هزار از ۵۶ هزار دانشجو در وزارت عتف تحصیل می‌کنند. گرچه کاهش دانشجویان علوم پایه یک آسیب جدی است، اما خوشبختانه بخش بزرگی از دانشجویان علوم پایه در وزارت عتف به تحصیل اشتغال دارند.

تعداد دانشجویان بین‌المللی یا خارجی

تبادل دانشجو و پذیرش دانشجوی بین‌المللی یکی از مهمترین شاخص‌های دیپلماسی آموزشی-علمی محسوب می‌شود. تعداد دانشجویان خارجی در سال ۱۳۹۶ حدود ۲۱ هزار بوده و در برنامه پیش‌بینی شده به ۷۵ هزار نفر (در سال ۱۴۰۰) افزایش یابد.

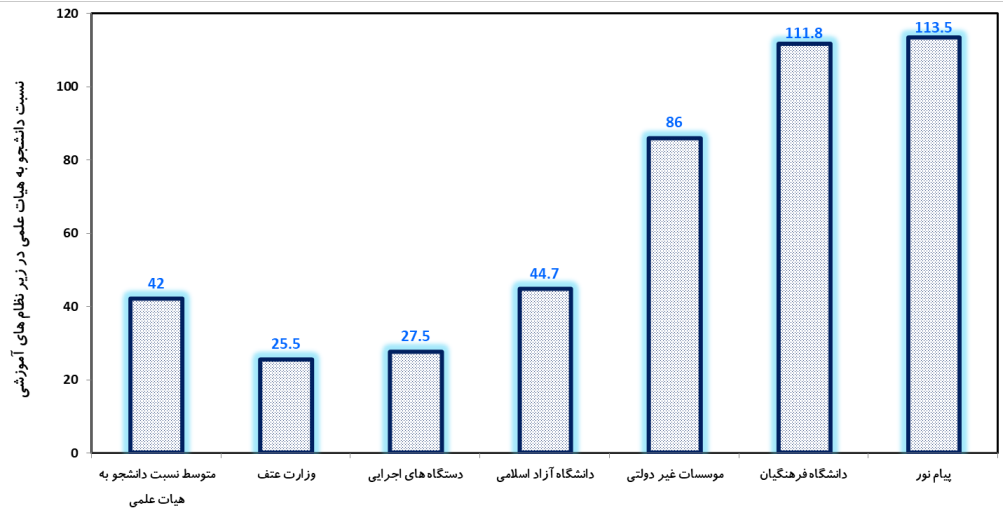


نمودار ۱۰: تعداد دانشجویان خارجی در طول سال‌های برنامه (براساس داده‌های مؤسسه پژوهش و برنامه‌ریزی آموزش عالی)

براساس آمار مؤسسه پژوهش و برنامه‌ریزی آموزش عالی در سال تحصیلی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ تعداد دانشجویان غیرایرانی(به استثنای دانشگاه آزاد اسلامی و وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی) ۳۵۰۷۴ نفر می‌باشد. از این تعداد دانشجو ۱۸۸۰۰ نفردر وزارت عتف به ترتیب ۵ نفر در کاردانی، ۴۳۸۱ نفر در کارشناسی، ۱۰۷۵۶ نفر در کارشناسی ارشد و ۱۵ نفر در مقطع دکتری به تحصیل اشتغال دارند. گزارش‌های آماری متفاوتی از تعداد دانشجویان غیرایرانی ارائه می‌شود به طوری‌که در اواسط سال ۱۴۰۳ تعداد دانشجویان خارجی حدود ۹۰ هزار گزارش شده (احتمالاً با احتساب دانشجویان دانشگاه آزاد اسلامی و وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی) که با احتساب دانشجویان جامعه المصطفی به ۱۳۰-۱۲۵ هزار افزایش می‌یابد [۸،۹] (نمودار ۱۰). ظرفیت پذیرش دانشجوی بین‌المللی در بسیاری از رشته‌های دانشگاهی در کشور بسیار بالاست و مستلزم بررسی و برنامه‌ریزی می‌باشد (۳،۴).

نسبت دانشجو به هیأت علمی تمام‌وقت وزارت علوم، تحقیقات و فناوری و دستگاه‌های اجرایی (حضوری)

تعداد کل دانشجویان ۳/۱ میلیون نفر است (با احتساب علوم‌پزشکی) که دو میلیون چهارصدوپنجاه هزار دانشجوی آنها در وزارت علوم، پیام نور، فرهنگیان، دستگاه‌های اجرایی، مؤسسات آموزش عالی غیردولتی-غیرانتفاعی و دانشگاه آزاد اسلامی تحصیل می‌کنند. تعداد اعضای هیأت علمی این مؤسسات جمعاً حدود ۵۸ هزار نفر می‌باشد (بدون احتساب وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی). متوسط نسبت دانشجو (از دو میلیون چهارصدوپنجاه هزار دانشجو) به هیأت علمی تمام‌وقت دراین مؤسسات حدود ۴۲ و در هر یک از زیر نظام‌ها به ترتیب وزارت علوم ۲۵/۵، پیام نور ۱۱۳/۵، فرهنگیان ۱۱۱/۸، دستگاه‌های اجرایی ۲۷/۱، مؤسسات آموزش عالی غیردولتی-غیرانتفاعی ۸۶ و دانشگاه آزاد اسلامی ۴۴/۷ می‌باشد (نمودار ۱۱).



نمودار ۱۱: نسبت دانشجو (از دو میلیون چهارصدوپنجاه هزار دانشجو) به هیأت علمی (۵۸ هزار) تمام‌وقت در مؤسسات عالی کشور (بدون احتساب وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی).

در برنامه ششم توسعه، نسبت دانشجو به هیأت علمی در وزارت علوم ۲۰ و در دانشگاه‌های غیردولتی ۴۳ پیش‌بینی شده است. عملکرد نسبت دانشجو به هیأت علمی تمام‌وقت وزارت علوم و فناوری و دستگاه‌های اجرایی (حضوری) به ترتیب ۲۵/۵ و ۲۷/۷ می‌باشد. با توجه به اینکه در دانشگاه آزاد اسلامی به‌عنوان دانشگاه غیردولتی، نسبت دانشجو به هیأت علمی ۴۴/۷ می‌باشد، لذا عملکرد این دانشگاه در اجرای این شاخص که باید ۴۳ می‌شد، نسبتاً موفقیت‌آمیز است. در زیر نظام‌های دانشگاه پیام نور با ۱۱۳/۵، دانشگاه فرهنگیان با ۱۱۱/۸ و مؤسسات آموزش عالی غیردولتی–غیرانتفاعی با ۸۶ وضعیت بسیار نامناسبی دارند. به‌ویژه در مورد دانشگاه فرهنگیان، که انتظار می‌رفت با توجه به مأموریت ملی آن در تربیت دبیران، وضعیت آن در این شاخص کیفی بهترین باشد، اما عملاً نامناسب‌ترین وضعیت و جای تأمل دارد.

لازم به ذکر است تعداد اعضای هیأت علمی دانشگاه‌های وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی کشور ۲۱۱۶۶ نفر و تعداد کل دانشجویان علوم پزشکی ۱۲۲۷۳۱ نفر می‌باشد. نسبت دانشجو به هیأت علمی تمام‌وقت در وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی حدود ۶ می‌باشد [۱۰].

سهم بودجه پژوهش و فناوری از تولید ناخالص ملی

با توجه به اینکه یکی از عوامل مهم در دستیابی به شاخص‌های کمی و کیفی در هر برنامه تأمین منابع مالی می‌باشد، در برنامه ششم سهم پژوهش از تولید ناخالصی که یکی ابزارهای اجرای موفقیت‌آمیز برنامه است رشد متناسبی نداشته است. به‌طوری‌که مقرر بوده در پایان برنامه ششم توسعه یعنی تا پایان سال ۱۴۰۰ از ۱/۱ درصد به ۱/۵ درصد افزایش یابد. اما عملکرد برنامه نشان می‌دهد به کمتر از یک سوم سهم پیش‌بینی شده در برنامه یعنی ۰/۰–۴۳/۵۱ درصد کاهش یافته است که قطعاً یکی از عوامل اصلی عدم‌موفقیت در دستیابی به اهداف برنامه و تاثیرگذاری علم و فناوری در اقتصاد جامعه می‌باشد [۱۱].

تعداد دانشگاه‌های در زمره صد دانشگاه برتر آسیا

در گزارش اخیر مؤسسه استنادی و پایش علم و فناوری جهان اسلام که بر اساس رتبه‌بندی تایمز دانشگاه‌های آسیایی سال ۲۰۲۳/۱۴۰۲ منتشر شده است، از ایران ۶۵ دانشگاه حضور داشته که ۹ دانشگاه کشور در میان ۱۰۰ دانشگاه برتر آسیا قرار گرفته‌اند. با توجه به اینکه هدف برنامه ۱۰ دانشگاه بوده، لذا عملکرد برنامه نسبتاً موفقیت‌آمیز بوده است (جدول ۵) [۱۲].

جدول ۵: تعداد و درصد دانشگاه‌های ایرانی در رتبه‌بندی تایمز دانشگاه‌های آسیایی از سال ۲۰۲۳–۲۰۱۳

تعداد دانشگاه‌های ایران در رتبه بندی تایمز آسیا در سال‌های مختلف											
سال	۲۰۲۳	۲۰۲۲	۲۰۲۱	۲۰۲۰	۲۰۱۹	۲۰۱۸	۲۰۱۷	۲۰۱۶	۲۰۱۵	۲۰۱۴	۲۰۱۳
تعداد دانشگاه‌های ایران	۶۵	۵۸	۴۷	۴۰	۲۹	۱۸	۱۴	۸	۳	۳	۳
تعداد دانشگاه‌های آسیایی تایمز	۶۶۹	۶۱۶	۵۵۱	۴۸۹	۴۱۷	۳۵۹	۲۹۸	۲۰۱	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
سهم ایران (درصد)	۹/۷	۹/۴	۸/۵	۸/۲	۶/۹	۵	۴/۷	۳/۹	۳	۳	۳

جمع‌بندی ارزیابی شاخص‌های عملکردی

اهداف و عملکرد و درصد اجرای شاخص‌های کمی در نمودار ۱۲ ارائه شده است. در این نمودار ارزیابی بهبود کیفیت عملکرد شاخص‌ها به‌صورت همزمان، قابل‌رؤیت است.

رتبه ایران در تولید کمی مقالات در دنیا و سهم اعتبارات پژوهش و فناوری بخش دولتی از تولید ناخالص ملی (موارد ۱و ۲ در نمودار ۱۲)، بسان دوکفه یک ترازو هستند و به‌عبارتی میزان موفقیت اولی منوط به میزان هزینه‌کرد دومی است. درصد عملکرد در این دو شاخص به ترتیب ۷۵ و ۲۸/۶ می‌باشد که نسبت به میزان هزینه‌کرد، عمکرد در شاخص رتبه در تولید کمی مقالات در دنیا مناسب ارزیابی می‌شود.

میزان موفقیت در عملکرد شاخص درصد محصولات با فناوری متوسط به بالا از کل محصولات صنعتی (مورد ۴ در نمودار ۱۲) که یکی از شاخص‌های مهم و نشانگر تبدیل علم و فناوری به ثروت است ۵۶–۴۵ درصد می‌باشد (۵). لازم به ذکر است خانه اصلی این شاخص شرکت‌های دانش‌بنیان و به‌عبارتی صنعت و

متولی آن معاونت علمی و فناوری می‌باشد. تا سال ۱۴۰۳، تعداد ۹۹۷۰ شرکت دانش‌بنیان به تأیید معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش‌بنیان رسیده که از این تعداد ۸۶۱ شرکت فناور، ۲۳۳۷ شرکت نوآور و ۶۷۷۱ شرکت به‌صورت نوپا تأیید شده‌اند، که سهم آنها در اقتصاد کشور و تولید ناخالص ملی پایین می‌باشد [۱۳].

میزان موفقیت در تعداد دانشجویان داخلی و سهم دانشجویان تحصیلات تکمیلی به کل دانشجویان (موارد ۵ و ۶ در نمودار ۱۲) به ترتیب ۷۲/۱ و ۴۸/۱ درصد می‌باشد. یکی از بزرگترین ناکامی‌های برنامه ششم توسعه کاهش تعداد کل دانشجویان نسبت به اهداف برنامه می‌باشد که ۱/۲ میلیون نفر کاهش یافته است. نیروی انسانی متخصص و متبحر نقش مهمی در پیشرفت کشورها دارد و بهترین سرمایه‌گذاری در حوزه آموزش و تربیت نیروی انسانی در مقاطع دانشگاهی می‌باشد. متأسفانه در یک دهه اخیر پذیرش انقباضی دانشجو سبب شده است جمعیت دانشجویی کاهش یابد. بایستی یادآوری کرد حدود ۲۰ درصد از دانشجویان در دانشگاه‌های دولتی برخوردار، بدون پرداخت هزینه تحصیل می‌کنند و بیش از ۸۰ درصد دانشجویان به‌صورت خودگردان و با پرداخت هزینه شخصی تحت نظارت وزارتین علوم و بهداشت در کشور تحصیل می‌کنند. باید متذکر شد در دنیای اقتصاد دانش بنیان امروز، اشتغال نیروی کار در امور دانش‌بنیان و مغزگردان به‌مراتب پردرآمدتر از شغل‌های سنتی مبتنی بر قدرت بازو می‌باشد. تازه جنبه‌های رشد فرهنگی و دانش عمومی جامعه و... از دیگر امتیازات تربیت نیروی انسانی در مقاطع تحصیلات عالی می‌باشد. شاید بهتر باشد به جای کاهش دانشجو، کیفیت آموزش و پژوهش در پردیس‌های دانشگاهی و دانشگاه‌های غیرانتفاعی ارتقا یابد.

در شاخص پذیرش دانشجویان خارجی، میزان موفقیت (مورد ۷ در نمودار ۱۲) بیش از اهداف برنامه می‌باشد. لازم به ذکر است اکثریت دانشجویان خارجی از دو کشور همسایه‌اند. لازم به ذکر است تعداد دانشجویان غیرایرانی (بدون احتساب وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و دانشگاه آزاد اسلامی)، ۳۵۰۸۴ نفر می‌باشد که ۱۸۸۰۰ نفر از آنها در وزارت علوم، تحقیقات و فناوری تحصیل می‌کنند. پیشنهاد می‌شود برای افزایش و موفقیت بیشتر در پذیرش دانشجویان خارجی، همانند سایر کشورها در داخل کشور شعبه دانشگاهی بین‌المللی مستقل احداث شود.

میزان موفقیت در تعداد کل دانشجویان گروه علوم پایه و تعداد دانشجویان تحصیلات تکمیلی علوم پایه (موارد ۸ و ۹ در نمودار ۱۲) به ترتیب ۵۳ و ۴۰ درصد می‌باشد. ضروری است عملکرد ضعیف در علوم پایه با سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های پژوهشی و سیاست‌های تشویقی در برنامه هفتم پیشرفت، جبران شود. چرا که مرور تاریخ علم نشان می‌دهد کشورهایی که ظرفیت‌های کارآمد و مؤثر در پژوهش‌های پایه و بنیادین ندارند، از چرخهٔ جهت‌دهی و تأثیرگذاری در علوم آینده و یا آیندهٔ علم حذف خواهند شد (۶).

شاخص‌های نسبت دانشجو به هیأت علمی تمام‌وقت وزارت علوم و فناوری و دستگاه‌های اجرایی (حضوری)، نسبت دانشجو به هیأت علمی تمام‌وقت دانشگاه‌های غیردولتی (آزاد اسلامی و غیردولتی–غیرانتفاعی) و نسبت هیأت علمی تمام‌وقت استادیار به بالا به کل هیأت علمی تمام‌وقت در دانشگاه‌های وابسته به وزارت علوم، تحقیقات و فناوری (شامل وزارت عتف، پیام نور، فرهنگیان و دستگاه‌های اجرایی) (موارد ۱۲–۱۰ در نمودار ۱۲) از جمله شاخص‌های کیفی در آموزش عالی می‌باشند. میزان پیشرفت در آنها به‌ترتیب ۷۸/۴، ۸۶/۵ و ۹۹ درصد بوده است که نشان می‌دهد نسبت دانشجو به هیأت علمی تمام‌وقت وزارت علوم و فناوری و دستگاه‌های اجرایی (حضوری) نسبت به دو شاخص دیگر موفقیت کمتری داشته‌اند. یکی از عوامل مهاجرت دانش آموختگان دانشگاهی به‌ویژه در مقاطع تحصیلات تکمیلی اشتغال می‌باشد و انتظار می‌رود وزارت علوم با اصلاح این شاخص زمینه را برای اشتغال آنها فراهم نماید (۷،۸). لازم به ذکر است، کل متقاضیان عضویت در هیأت علمی بهمن ماه ۱۴۰۳ حدود ۴۰ هزار نفر است و با توجه به اینکه متوسط نسبت دانشجو به هیأت علمی در اموزش عالی کشور ۴۲ می‌باشد درصورت استخدام کلیه متقاضیان عضویت هیأت علمی این نسبت ۲۵ خواهد شد که حتی در این وضعیت عدد مناسبی نخواهد بود [۱۴].

درصد پیشرفت در شاخص‌های تعداد دانشگاه‌های در زمره صد دانشگاه برتر آسیا، درصد تعداد مقالات مشترک با محققان خارجی که یکی از ارکان دیپلماسی علمی است و سرانه سالانه مقالات اسکوپوس به تعداد اعضای هیأت علمی تمام‌وقت با احتساب هیأت علمی تمام‌وقت در وزارت بهداشت، درمان و آموزش پرشکی (موارد ۱۵–۱۳ در نمودار ۱۲) به ترتیب ۹۰، ۹۱/۶ و ۱۰۰

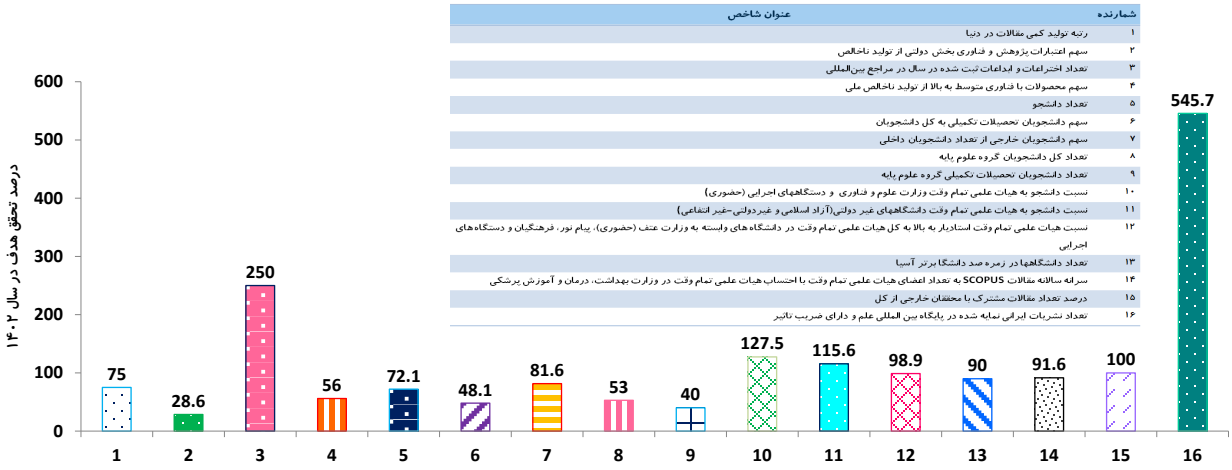
درصد می‌باشد، که در دست‌یابی به اهداف برنامه نسبتاً موفقیت‌آمیز عمل شده است.

دو شاخص تعداد اختراعات بین‌المللی و تعداد نشریات نمایه شده در پایگاه‌های بین‌المللی با ضریب تأثیر، از عملکرد برنامه پیشی گرفتند (موارد ۳ و ۱۶ در نمودار ۱۲). البته اولی به‌دلیل اینکه در برنامه عدد بسیار پایینی برای تعداد اختراع (۵۰ عدد) در نظرگرفته شده است و در شاخص دوم نیز ضریب تأثیر مجلات در این بررسی درنظر گرفته نشده و صرف اینکه در اسکوپوس نمایه شدند، مبنای محاسبه بوده است. بررسی داده‌های سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۳ نشان می‌دهد، تعداد نشریات نمایه‌شده تقریباً دو برابر شده و گروه علوم پایه بیشترین رشد را تجربه کرده است (جدول ۶). لازم به ذکر است، این نمایه‌سازی در ارتقای جایگاه ایران در تولید علم نقش به‌سزایی داشته است.

انتظار می‌رود مجریان و دست اندکاران آموزش عالی در برنامه هفتم پیشرفت در برجسته کردن کامیابی‌ها و جبران ناکامی‌ها تمهیدات لازم را بیاندیشند. به‌عبارتی با آسیب‌شناسی دلایل عدم‌موفقیت برنامه ششم و درس عبرت گرفتن از آن، در دست‌یابی به اهداف برنامه هفتم پیشرفت، گام‌های مؤثرتری برداشته شود و بروندادها و پیامدهای آن منجر به تاثیرگذاری در جامعه شود (۹).

جدول ۶: روند نمایه‌سازی نشریات علمی کشور در پایگاه‌های معتبر بین‌المللی را طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۴۰۳

گروه / سال	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳
تعداد نشریات فارسی زبان نمایه شده	۱۳	۱۳	۲۸	۴۴
دامپزشکی	۵	۵	۸	۸
علوم انسانی	۱۱	۱۳	۲۲	۳۰
علوم پایه	۳۷	۴۵	۶۳	۸۰
علوم کشاورزی و منابع طبیعی	۱۳	۱۵	۲۱	۳۲
فنی و مهندسی	۲۸	۳۲	۳۸	۴۸
هنر و معماری	۰	۰	۲	۴
جمع کل	۹۴	۱۱۰	۱۵۴	۲۰۲



نمودار ۱۲: درصد پیشرفت در عملکرد برنامه پنج ساله ششم توسعه در ۱۶ شاخص: دانشجویی، هیأت علمی، تحصیلات تکمیلی، علوم پایه، دانشگاهی و شعب خارجی، حمایت و تقویت پژوهش و فناوری، ایجاد نظام ملی نوآوری و تقویت زیرساخت‌ها و نظامات پشتیبان پژوهش و فناوری.

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

سهم ایران از حدود ۸۶ تریلیون دلار تولید ناخالص ملی جهان حدود نیم درصد است که حتی براساس شاخص و سنجه جمعیتی انتظار می‌رود حداقل یک درصد باشد. این درحالی است که ایران کشوری سرشار از منابع طبیعی است و رتبه اول در ذخایر گازی و رتبه سوم در ذخایر نفتی، به‌طوری‌که ۱۰ درصد ذخایر نفت خام، ۱۷ درصد ذخایر گاز طبیعی جهان، به عبارتی ۱۳ درصد ذخایر نفت خام و بیش از یک سوم ذخایر گاز طبیعی اوپک به ایران اختصاص دارد. تعدد و فراوانی تنوع گیاهی ایران که بیش از دو برابر قاره اروپاست، برخورداری از رتبه چهارم یا پنجم در کانی‌ها و معادن، سهم ۲ درصدی در تولید علم و دانش، وسعت جغرافیایی

و دسترسی به آب‌های آزاد و کشتیرانی که لازمه صنایع شیمیایی و پتروشیمیایی است، و از همه مهمتر برخورداری از نیروی انسانی جوان و متخصص از دیگر امتیازات کشور محسوب می‌شوند (۱۰). شاید بهترین سوال «چه باید کرد؟» باشد تا تولید ناخالص ملی به رقمی که در شأن ایران است دست یابد. پاسخ این سؤال نسبتا دشوار شاید با یک مقدمه سهل‌تر شود.

اخیراً و در آستانه انتخابات آمریکا، یعنی ۲۴ اکتبر/سوم آبانماه ۱۴۰۳، مقاله‌ای در مجله نیچر[1] با عنوان «تا چه هنگام (تا کی) ایالات متحده ابرقدرت علمی خواهد بود؟» منتشر شده است (۱۱). نویسنده در این مقاله توضیح می‌دهد، ایالات متحده به مدت ۸۰ سال قدرت علمی پیشرو در جهان بوده و در پنج سال گذشته حتی قوی‌تر ظاهر شده است. نویسنده مقاله، برای تأیید ادعای خود، به تعداد برندگان جایزه نوبل در امریکا نسبت به سایر نقاط جهان اشاره می‌کند. او دلایل پیشگامی امریکا را شامل هزینه سالانه حدود یک تریلیون دلار در تحقیق و توسعه، که به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از هر کشور دیگر است، و همچنین وجود آزمایشگاه‌های مجهز که محققان سایر کشورها را بسان آهنربایی به خود جذب می‌کند، ذکر می‌کند. به گونه‌ای که این سرمایه‌گذاری و زیرساخت‌ها باعث شده است ۴۳ درصد از فارغ‌التحصیلان دکترا در حوزه‌های علوم، فناوری، مهندسی و پزشکی ایالات متحده، از کشورهایی چون هند و چین باشند. همچنین، این مقاله نگران از دست دادن رهبری علمی امریکا و واگذاری میدان به چین است. افزایش هزینه‌های تحقیق و توسعه چین به ۸۱۲ میلیارد دلار که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰ با ایالات متحده برابر شود، یکی دیگر از عوامل مهم به‌شمار می‌رود.

در حال حاضر، چین از نقاط قوت قابل‌توجهی در مهندسی، شیمی و علم مواد نسبت به آمریکا برخوردار است و در این زمینه‌ها پیشگام‌تر از آمریکاست. البته ایالات متحده نیز پیشتازی خود را در حوزه‌هایی مانند زیست‌شناسی و پزشکی همچنان حفظ کرده است. لذا یکی از دغدغه های نویسنده برای ابر قدرت علمی باقی ماندن آمریکا، میزان سرمایه گذاری در تحقیق و پژوهش می باشد(۱۶-۱۲).

لذا در پاسخ به سوال قبلی مبنی بر چه باید کرد؟، باید گفت:

۱. باید اذعان کرد برنامه‌ها و قوانین خوبی در کشور وضع شده است، اما در اجرا و عملیاتی کردن آنها ضعیف و در اکثر موارد ناکامی‌ها بیش از کامیابی‌ها می‌باشد. به‌عنوان مثال قانون جهش تولید یکی از بهترین قوانین وضع‌شده است، اما انتفاع این قانون عملاً به‌نفع همان تولیدکنندگانی است که مقرر بوده مالیات خود را در مراکز علمی و شرکت‌های دانش‌بنیان واقعی هزینه کنند. نکته قابل‌توجه این است که اغلب شرکت‌ها، از جمله پتروشیمی‌ها، مجوز شرکت دانش‌بنیانی اخذ می‌کنند و یا اینکه ۹۷ درصد شرکت‌های دارویی، دانش‌بنیان شده‌اند. در حالی‌که از گردش مالی جهانی ۱/۲ تریلیون دلاری دارو در جهان، که براساس نسبت جمعیتی ایران باید سهم ۲۱ میلیارد دلار از آن باشد، ۴ میلیارد دلار برای واردات مواد اولیه و مؤثره دارویی اختصاص می‌یابد و حدود ۱۰۰ میلیون دلار صادرات دارد (۱۷).

۲. سرمایه‌گذاری در بخش تحقیق و توسعه در چارچوب قوانین مصوب و احداث آزمایشگاه‌های مجهز منجر به نگه‌داشت نیروی انسانی متخصص و محقق خواهد شد. بودجه وزارت علوم، تحقیقات و فناوری در سال ۱۴۰۳ حدود یک میلیارد دلار بوده که کمی بیش از ۰/۱ درصد سهم پژوهش در آمریکا و یا چین می‌باشد [۱۵].

۳. دیپلماسی علمی ارجح بر دیپلماسی سیاسی است و لذا ضروری است با اختصاص منابع مالی و ایجاد زیرساخت‌های نرم‌افزاری، مراودات علمی با کشورهای پیشگام در زمینه علم و فناوری فراهم شود.

۴. ایجاد گفتمان علم و رسانه و ترویج علم و برنامه‌ریزی و اجرایی شدن مهاجرت معکوس برای استعدادهای علمی درخشان.

۵. نوسازی و تأمین تجهیزات جدید آزمایشگاهی و ابزار دقیق تحقیقاتی و احداث آزمایشگاه‌های ملی و فراملی در کشور، شاید یکی از بهترین و موثرترین روش‌های دیپلماسی علمی مشارکت کشورهای اسلامی در احداث آزمایشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی فرا منطقه‌ای باشد (۷).

۶. تقویت مالی و پشتیبانی همه‌جانبه از نهاد و مراکز علمی کشور با اجرای ماده ۱۳ قانون جهش تولید دانش‌بنیان [۱۶] و اختصاص سهم پژوهش از تولید ناخالص ملی بر اساس قانون هفتم پیشرفت

[1] Nature

و نقشه جامع علمی کشور در جهت اثربخشی پژوهش و فناوری در تولید ناخالص ملی.

تقدیر و تشکر

از همکار محترم سرکار خانم دکتر مهسا باغبان صالحی عضو محترم هیأت علمی دانشکده مهندسی شیمی پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران که پیشنهادات ارزنده‌ای در جهت اصلاح متن و به‌ویژه در ارتقای کیفی شکل‌ها و نمودارها ارائه نمودند، و همچنین از آقای حسن شامی که در ترسیم نمودارها کمک کردند کمال تشکر و امتنان را دارم. همچنین از مؤسسه پژوهش و برنامه‌ریزی آموزش عالی که آمار و داده‌های دانشجویی و هیأت علمی آموزش عالی کشور را در پاسخ به نامه شماره ۲۴/۵۲۸۷۶ مورخ ۱۴۰۳/۰۷/۰۹ با شماره پیگیری ۷۷۰۲۵ در اختیار گذاشتند تشکر می‌نمایم. در ضمن از استاد و دانشمند ارجمند جناب آقای دکتر موسوی موحدی که با حوصله پیش‌نویس این مقاله را به دقت مطالعه، و پیشنهادات ارزنده‌ای در جهت ارتقای کیفی آن ارائه فرمودند کمال امتنان و تشکر را دارم.

پایگاه داده های دیده شده در این مقاله

(۱) قانون برنامه پنجساله ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران (۱۴۰۰_ ۱۳۹۶) https://rc.majlis.ir/fa/law/print_version/1014547

(2) https://isc.ac/fa/grid/214/-wos-جایگاه-علمی-ایران-در-اردیبهشت-ماه-۱۴۰۳

(3) https://isc.ac/file/download/grid/665af4d1b14e0-table-1403.02.31.pdf

(4) https://isc.ac/file/download/page/65ca024567d6c-23-.pdfنشریات ایرانی نمایه شده در اسکوپوس

(5) https://isc.ac/fa/page/257-گزارش-های-دوره-ای-موسسه-استنادی-و-پایش-علم-و-فناوری-جهان-اسلام

(6) https://isc.ac › news › رصد-جایگاه

(7) https://isc.ac/fa/news/2182

(8) https://www.tabnak.ir/005DxY

(9) https://irna.ir/xjMYPw

(10) https://doshanbehayedarouei.ir/pharma/8066

(11) https://rc.majlis.ir/fa/news/show/910257

(12) https://isc.ac/fa/news/2068/-انتشار-نتایج-رتبه-بندی-تایمز-کشورهای-آسیایی-سال-۲۰۲۳-حضور-۶۵-دانشگاه-از-جمهوری-اسلامی-ایران-در-رتبه-بندی-تایمز-آسیایی#:

(13) mehrnews.com/x35jww۱۴۰۳ تعداد شرکت های دانش بنیان

(14) mehrnews.com/x37bG5

(15) https://irna.ir/xjQMtg

(16) https://rc.majlis.ir/fa/law/print_version/1745108

منابع و مأخذ

[۱]. فراز کیش، مهدیه و نصری، شهره (۱۴۰۱)." تحلیل تحقق پذیری ّاهداف کمی پژوهش و فناوری در قانون برنامه ۵ساله ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی" فصلنامه علمی مطالعات راهبردی سیاستگذاری عمومی، (۴۴)۱۲، ۲۳۵-۲۱۴.

[۲]. نصری، شهره و فرازکیش، مهدیه(۱۴۰۱)." ارزیابی عملکرد اهداف کمی آموزش عالی در برنامه ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشور" نشریه فرایند مدیریت و توسعه، ۳۵(۳)۵۷-۹۷.

[۳]. ذاکرصالحی ، غلامرضا (۱۳۹۷)." الزامات و زیرساخت های جذب دانشجویان بین المللی به ایران؛ مجموعه گزارشهای تخصصی آموزش عالی؛ شماره ۸: وزارت علوم، تحقیقات و فناوری-موسسه پژوهش و برنامه ریزی آموزش عالی.

[۴]. حلاج پوردهقانی، عادل، فتحی واجارگاه، کورش، اکبر خسروی، علی و پوشنه، کامبیز ()۱۳۹۸." ارائه الگوی مطلوب جذب دانشجویان خارجی در دانشگاه آزاد اسلامی" دو فصلنامه مطالعات برنامه درسی آموزش عالی، (۲۰)۱۰، ۷-۳۹.

[۵]. جوادی، شاهین(۱۴۰۲)." بررسی جایگاه ایران در شاخص های تولید و صادرات محصولات با فناوری های متوسط و پیشرفته براساس داده های یونیدو(۱۳۹۹-۱۳۶۹)". مرکز پژوهش های مجلس.

[۶]. شعبانی، احمد(۱۴۰۰)." بررسی طرح آمایش آموزش عالی با تاکید بر آسیب شناسی گروه آموزشی علوم پایه" نشریه نشاء علم، (۲)۱۱، صفحات ۱۳۳-۱۲۴.

[۷]. شعبانی، احمد(۱۴۰۲). "عبدالسلام و نقش او در پیش برد علوم در جهان و به ویژه در کشورهای در حال توسعه و اسلامی". نامه علوم پایه، شماره نهم و دهم، بهار و تابستان،فحات ۱۸-۷.

[۸]. شعبانی، احمد(۱۳۹۵)." بیکاری دانش آموختگان دانشگاهی و مهاجرت مغزها "، نشریه نشا علم، سال هفتم، شماره اول، ص ۶-۱۵.

[۹]. روشن، احمدرضا و حسینی لرگانی، سیده مریم(۱۳۹۹)."آسیب شناسی و تحلیل برنامه های توسعه آموزش عالی ایران و ارائه الگویی برای ساختارو فرایند تدوین برنامه هفتم

توسعه؛ شماره ۱۶، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری-موسسه پژوهش و برنامه ریزی آموزش عالی.

[۱۰]. شعبانی، احمد(۱۴۰۱)." جایگاه جهانی صنایع شیمیایی در تولید ناخالص ملی کشورها" نامه علوم پایه، شماره هفتم و هشتم، صفحات ۱۱-۹۸.

[11]. Jeff Tollefson, J. and Van Noordennature, R. (2024). The US is the world's science superpower-but for how long? Nature 634, 770-774, doi: https://doi.org/10.1038/d41586-024-03403-4

[12]. Kostoff, R. N. (2008). Comparison of China/USA science and technology performance. Journal of Informetrics, 2(4):354-363, 208: doi: 10.1016/j.joi. 2008.06.004

[13]. Shelton, R. D. and Foland, P. (2009) The Race for World Leadership of Science and Technology: Status and Forecasts, Proceedings of International Society for Scientometrics and Informetrics(ISSI), 369–380.

[14]. Vitullo, M. W. and Wyndham, J. (2013). AAAS Science and Human Rights Coalition, "Defining the Right to Enjoy the Benefits of Scientific Progress and Its Applications: American Scientists' Perspectives". DOI: 10.1126/srhrl.aaa0028

[15]. Science, Technology and Development Planning: A Review of Key Issuse, Science, Technology and Society, (1980), 503-564: https://doi.org/10.1016/B978-0-08-025947-5.50032-7

[16]. Sun, Y. and Cao, C. (2021). Planning for science: China's "grand experiment" and global implications. Humanit. Soc. Sci. Commun., 8, 215. https://doi.org/10.1057/s41599-021-00895-7

[۱۷]. شعبانی، احمد(۱۴۰۱)." جایگاه صنعت تولید دارو در ایران و جهان" نشریه نشا علم، سال دوازدهم، شماره دوم، صفحات ۱۱۸-۱۲۵.

چین در مسیر علم و پیشرفت

علی اکبر صبوری[1,*]

چکیده

چین در پنج دهه گذشته تحولی چشمگیر در حوزه علمی تجربه کرده و از کشوری با سهم ناچیز در تولیدات علمی به قدرت اول جهان در این زمینه تبدیل شده است. در سال ۱۹۷۵، چین تنها ۷۲ مقاله علمی در پایگاه اسکوپوس ثبت کرده بود و سهم جهانی آن نزدیک به صفر بود، در حالی که ایالات متحده با ۲۳/٦ درصد سهم جهانی در رتبه اول قرار داشت. اما با گذشت زمان، چین با سرمایه‌گذاری گسترده در تحقیق و توسعه، توسعه فناوری‌های پیشرفته، و تقویت همکاری‌های بین‌المللی، جهشی بی‌سابقه در تولید علم داشته است. در سال ۲۰۲٤، چین با ۲۸/٤ درصد سهم جهانی از مقالات علمی در رتبه اول جهان قرار دارد و ایالات متحده با سهم ۱۷/٦ در رتبه دوم قرار دارد. چین همچنین با جذب نخبگان داخلی و بین‌المللی، اجرای برنامه «هزار استعداد» برای جذب دانشمندان برجسته جهانی و بازگرداندن نخبگان چینی به کشور، همراه با توسعه زیرساخت‌های علمی، مانند ابررایانه‌ها و تلسکوپ‌های پیشرفته، به یکی از پیشروان نوآوری جهانی تبدیل شده است. چین در حوزه‌های مختلفی مانند هوش مصنوعی، فناوری نانو، و انرژی‌های تجدیدپذیر سرمایه‌گذاری کرده و با ایجاد همکاری‌های قوی بین دانشگاه‌ها و صنعت، به پیشرفت‌های قابل‌توجهی دست یافته است. این کشور همچنین با توسعه زیرساخت‌های آموزشی و پژوهشی، مانند طرح‌های ۲۱۱، ۹۸۵ و تراز اول دوگانه، کیفیت آموزش عالی خود را ارتقاء داده و تعدادی از دانشگاه‌های خود را در رتبه‌بندی‌های جهانی مطرح کرده است. چین با سرمایه‌گذاری‌های کلان در تحقیق و توسعه فناوری‌های پیشرفته و گسترش همکاری‌های بین‌المللی به سرعت در حال تبدیل شدن به رهبر جهانی در علم و فناوری است. در عین حال، چین با برنامه‌هایی مانند «یک کمربند یک جاده» به دنبال گسترش نفوذ علمی و اقتصادی خود در سطح جهانی است. این تحولات نشان می‌دهد که چین با اتکا به علم و فناوری، به‌سرعت در حال تبدیل شدن به قدرت برتر جهان است.

کلیدواژگان: چین، تولید علم، برنامه هزار استعداد، طرح ۲۱۱، طرح ۹۸۵، تراز اول دوگانه، یک کمربند یک جاده، قدرت برتر

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

[1] مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

مقـدمـه

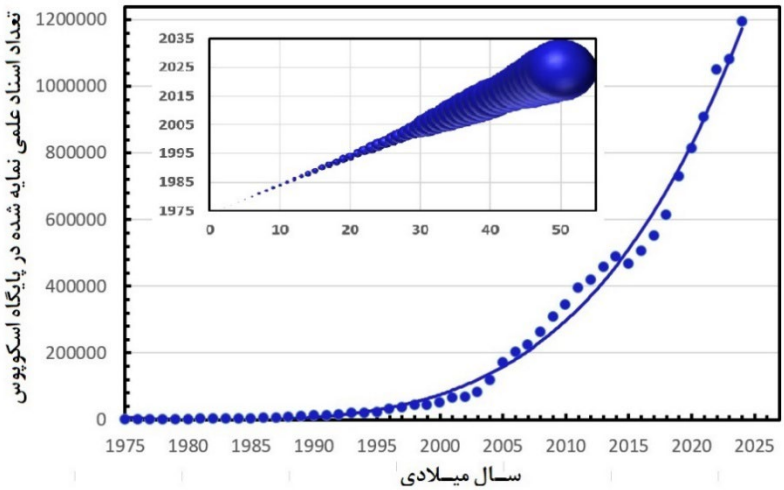
در اوایل قرن نوزدهم میلادی، شکست مکانیک کلاسیک در توجیه افت دانسیته پرتو در ناحیه ماوراء بنفش به هنگام مطالعه تابش جسم سیاه، موسوم به فاجعه ماوراء بنفش، باعث ظهور نظریه مکانیک کوانتم پلانک شد [۱]. پذیرش موجی بودن نور و پیوستگی انرژی در مکانیک کلاسیک باعث شده بود که دانشمندان فیزیک قادر به توجیه نتایج تابش جسم سیاه نشوند. در اوایل قرن بیستم، پلانک مطرح کرد که انرژی تابشی می‌تواند به‌صورت بسته‌های کوچک و گسسته‌ای از انرژی، به نام کوانتا، منظور شود. نظریه پلانک موجب شد داده‌های تجربی تابش جسم سیاه به‌خوبی تفسیر شود تا راه حلی برای برون رفت از فاجعه فرابنفش مطرح شده از سوی فیزیکدانان باشد. نظریه ساده پلانک، مبدأ یک تحول و انقلاب بزرگ در علم فیزیک شد؛ فیزیک کوانتم شکل گرفت. فیزیک کوانتم درک انسان را از طبیعت متحول کرد. انیشتین، کامپتون، دوبروی و نیلز بور با الهام از نظریه کوانتمی پلانک، مشکلات و مسائل دیگری را که سال‌ها در فیزیک بدون جواب مانده بودند، حل کردند و به این نظریه استحکام بخشیدند [۱]. زمانی که علم از محدودیت‌های کلاسیک پا را فراتر گذاشت و پنجره‌ای نو به دنیای بسیار ریز ماده گشود، هیچ‌کس فکر نمی‌کرد که جهان امروز بدون استفاده از نظریه کوانتمی این موقعیت را داشته باشد. امروزه استفاده از فناوری‌های کوانتم زندگی بشر را از برقراری ارتباط گرفته تا انجام امور مالی احاطه کرده است. به‌کارگیری و استفاده از وسایل ارتباط جمعی، رادیو-تلویزیون و تلفن همراه، برنامه‌ریزی و کنترل حمل‌ونقل و وسایل نقلیه خودران، تحقیقات دارویی و درمان، تصویربرداری‌های پزشکی، تجهیزات مطالعه ساختار مولکولی، پیش‌بینی آب و هوا، سامانه‌های نظامی پیشرفته بدون استفاده از نظریه کوانتمی ناممکن است. تحقیقات در حوزه علوم پایه و ایجاد قلمروهای نو در دانش، موجب این تحولات شده است. از این‌رو، پیشرفت یک کشور نیازمند تحقیقات بنیادی در حوزه علوم پایه و بسترسازی دانش بومی است.

علم برخلاف فناوری مالکیت ندارد و ارزش آن به نشر، نحوه انتشار و میزان نفوذ آن در جامعه جهانی می‌باشد. دانشمندان یافته‌های علمی خود را در نشریات علمی منتشر می‌کنند و پایگاه‌های اطلاعات علمی آنها را خلاصه‌سازی، طبقه‌بندی و نمایه‌سازی می‌کنند تا به‌راحتی در دسترس عموم قرار بگیرد. کشورهایی می‌توانند از تولیدات علمی منتشر شده در جهان بهره کافی ببرند که خود نقش عمده در مرزشکنی دانش داشته و بتوانند یافته‌های علمی را درک کنند. از همین روست که کشورهایی که بیشترین انتشارات علمی معتبر جهان را دارند، بیشترین بهره‌برداری را در مصرف علم، نوآوری و خلق فناوری‌های نو دارند [۲]. توسعه و پیشرفت یک کشور تنها از مسیر سرمایه‌گذاری در تحقیقات علمی، گسترش مرزهای دانش و بهره‌برداری از دانش بشری میسر بوده و این نیازمند ورود به شبکه‌ها و ارتباطات علمی جهانی با دیپلماسی فعال علمی دانشمندان و دانشگران می‌باشد [۳-۴]. مصرف علم برای ظهور نوآوری و ساخت فناوری‌های نو، بدون داشتن نقش ارزنده در خلق دانش ناممکن است. همچنانکه کیفیت میوه یک درخت به ریشه‌های مستحکم آن وابسته است، نوآوری و ساخت فناوری های نو در هر کشور به میزان مشارکت و درک آن کشور در گسترش دانش بشری بستگی دارد. کشور چین با درک نقش سرمایه‌گذاری در توسعه علمی، توسعه نیروی انسانی پیشرفته، نخبه‌پروری و نخبه‌داری، مشارکت در خلق دانش و نوآوری، توسعه همکاری‌های بین‌المللی و دیپلماسی علمی، توسعه فن‌آوری‌های بومی و قابل رقابت، در حال کسب حکمرانی و رهبری جهان است.

چین در مسیر کسب قدرت اول انتشارات علمی جهان

پنجاه سال قبل، یعنی در سال ۱۹۷۵، در پایگاه اطلاعات علمی اسکوپوس ۵۵۴۵۸۱ سند علمی نمایه شده است. ایالات متحده امریکا با ثبت ۱۳۰۷۶۰ سند (۲۳/۶ درصد سهم جهانی) در مقام نخست قرار داشته است و کشور چین با ثبت ۷۲ مقاله (۰/۰۱۳ درصد سهم جهانی) در رتبه ۷۵ جهان قرار داشته است. در همان سال ایران با ثبت ۳۶۰ سند (۰/۰۶۵ درصد سهم جهانی) در رتبه ۴۱ و کشور هند با ثبت ۶۸۲۳ سند (۱/۲۳ درصد سهم جهانی) در رتبه ۹ جهان قرار داشته است. بنابراین، در سال ۱۹۷۵ میلادی، تعداد انتشارات علمی بین‌المللی ایران پنج برابر کشور چین بوده است. اکنون، پس از گذشت پنجاه سال، تعداد کل اسناد علمی ثبت شده جهان در پایگاه اسکوپوس در سال ۲۰۲۴ میلادی (گزارش شده در هفته اول سال ۲۰۲۵)، تقریباً هفت و نیم برابر، یعنی ۴۲۱۵۷۷۰ مورد، شده است و سهم کشور چین ۲۸/۴ درصد (رتبه اول)، امریکا ۱۷/۶ درصد (رتبه دوم)، هند ۸/۰ درصد (رتبه سوم)

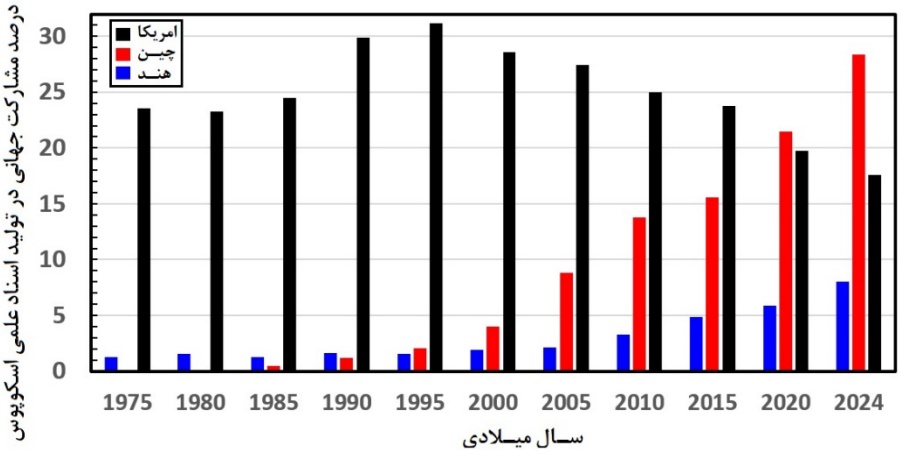
و ایران ۱/۸ درصد (رتبه هفدهم) می‌باشد. کشور چین موفق شد در سال ۲۰۲۰ میلادی، هم از نظر تعداد اسناد نمایه شدهو هم از نظر تعداد ارجاعات به اسناد نمایه شده در پایگاه اسکوپوس از امریکا پیشی بگیرد. در شکل (۱)، روند افزایش تعداد تعداد مقالات کشور چین طی پنجاه سال نشان داده شده است که از عدد ۷۲ در سال ۱۹۷۵ شروع و تا عدد ۱۱۷۹۹۸۳ در سال ۲۰۲۴ پیش رفته است.



شکل (۱): تعداد اسناد علمی نمایه شده کشور چین در پایگاه اطلاعات علمی استنادی اسکوپوس در پنجاه سال اخیر. در داخل شکل، مراحل و میزان رشد این اسناد را در طول سال‌های مختلف میلادی آشکار می‌کند.

چین در سال ۱۹۹۰ توانست سهم جهانی خود را در انتشارات نمایه شده در اسکوپوس به ۱/۲ درصد برساند و از آن سال جهش علمی خود را آغاز کند به‌طوری‌که در سال ۲۰۲۰ از امریکا پیشی بگیرد. هند در سال ۲۰۰۵ توانست سهم ۲/۲ درصدی را در تولید انتشارات علمی با رتبه جهانی یازدهم کسب کند و از آن سال به بعد شاهد صعود مرحله به مرحله در سال‌های بعد هستیم طوری‌که در سال ۲۰۲۴ با سهم هشت درصدی در تعداد نمایه‌های اسکوپوس، رتبه سوم جهان را کسب نمود. شکل (۲) درصد مشارکت سه کشور امریکا، چین و هند را در پنجاه سال اخیر نشان می‌دهد.

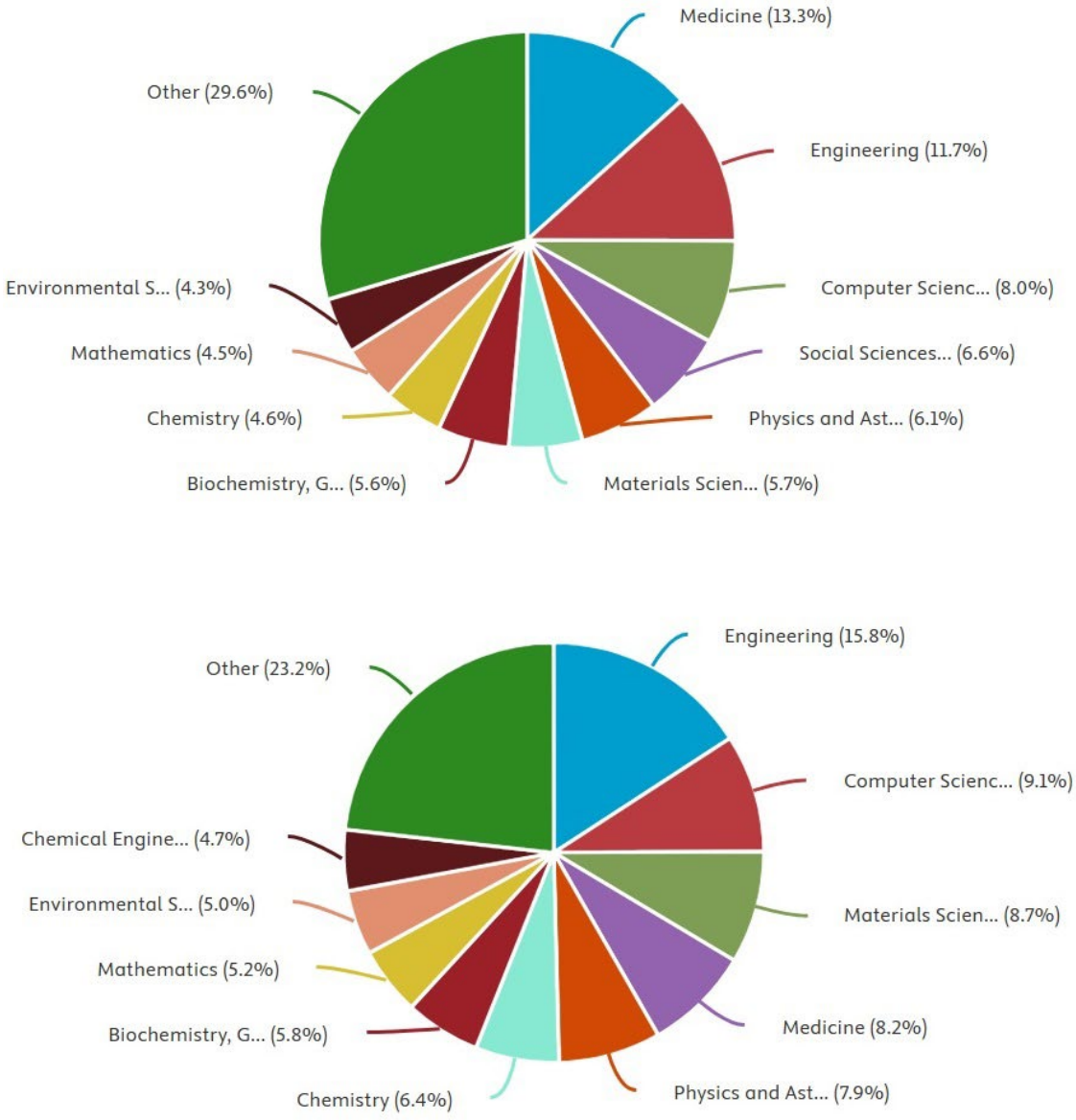
در سال ۲۰۲۴، بیشترین موضوع تحقیقاتی جهان پزشکی (۱۳/۳ درصد) و سپس مهندسی (۱۱/۷ درصد) بوده است و علوم کامپیوتر و علوم اجتماعی به ترتیب با ۸/۰ و ۶/۶ درصد رتبه‌های سوم و چهارم را داشته است. در حالی‌که در کشور چین، مهندسی با ۱۵/۸



شکل (۲): رشد درصد سهم سه کشور امریکا، چین و هند در تولید اسناد علمی نمایه شده در پایگاه اطلاعات علمی استنادی اسکوپوس در پنجاه سال اخیر.

درصد در رتبه نخست و پزشکی با ۸/۲ درصد در رتبه چهارم از نظر مشارکت در تحقیقات کشوری داشتند. شکل (۳) سهم موضوعات مختلف تحقیقات را در جهان و داخل کشور چین نشان می‌دهد. میزان مقالات با موضوع پزشکی در ایالات متحده امریکا در سال ۲۰۲۴ حدود ۱/۴ برابر چین می‌باشد، در حالی‌که تعداد مقالات مربوط به حوزه مهندسی چین ۳/۷ برابر امریکا بوده است. به‌علاوه، در حوزه مهندسی، کشور هند در مقام دوم و امریکا در مقام سوم از نظر تعداد آثار علمی منتشر شده است.

در پایگاه اطلاعات علمی استنادی اسکوپوس ۲۹۱۶۵ نشریه در سال ۲۰۲۳ نمایه شده است که ۹۴۶ مورد آن (تقریباً ۳/۲ درصد) متعلق به کشور چین بوده و از این تعداد۱۹۲ مورد (بیست درصد) در چارک اول (Q1) قرار دارد. در ضمن، برای مقایسه، تعداد ۳۲۰ نشریه ایرانی در پایگاه اسکوپوس نمایه می‌شوند که ۱۴ مورد آن در چارک اول قرار دارد.



شکل (۳): مقایسه درصد اسناد علمی نمایه شده در پایگاه اطلاعات علمی استنادی اسکوپوس در سال ۲۰۲۴ بین جهان (بالا) و چین (پایین).

توسعه نیروی انسانی در چین

چین با یک میلیارد و ۴۱۹ میلیون نفر، بعد از هند، پرجمعیت‌ترین کشور جهان است[1].سن میانه در کشور چین ۴۰ می‌باشد که نسبت به ایران (۳۳) عدد بالایی است. به این ترتیب، نیمی از کشور چین سن بالای چهل سال دارند و کشور از پیری سن رنج می‌برد. با این حال، شاخص توسعه نیروی انسانی (HDI)[2] چین ۰/۷۸۸ می‌باشد و در رتبه ۷۵ جهان قرار دارد. سوئیس با شاخص ۰/۹۶۷ در رتبه نخست و سودان با شاخص ۰/۳۸۱ با رتبه ۱۹۲ پایین‌ترین حد را داراست. میزان طول عمر و سلامتی، میزان دسترسی به اطلاعات و بهره‌مندی از دانش، برخورداری از سطح زندگی استاندارد، سه عامل مهم در ارزیابی HDI می‌باشد. کشورهایی مثل چین که HDI آنها بزرگتر از ۰/۷۵ باشد، کشورهای توسعه‌یافته از نظر نیروی انسانی می‌باشند.

براساس اطلاعات بروز شده پایگاه آزمون بین‌المللی هوش[3]، مربوط به اول ژانویه ۲۰۲۵، چین با شاخص ۱۰۷/۴۳ در رتبه نخست، ایران با شاخص ۱۰۶/۶۳ در رتبه دوم و کره جنوبی با شاخص ۱۰۶/۵۷ در رتبه سوم قرار دارد. ژاپن و سنگاپور در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

ظهور و بروز علم در چین

انتظار بر این است که سرمایه‌گذاری در تحقیقات علم باعث ظهور توانمندی، رفاه اجتماعی، کسب قدرت و مشروعیت جهانی شود. در واقع علم، عامل توانستن و قدرت است: توانا بود هر که دانا بود. سازمان غذا و داروی امریکا (FDA)، تأییدکننده هر غذا و دارو با پانزده هزار کارمند، در سطح جهان، یک مشروعیت ناشی از قدرت و توان علمی این کشور است. رشد اقتصادی چین در بازه زمانی پنج ساله اخیر، سالانه به بالاتر از ۵/۵ درصد رسیده است و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۳۰ کمتر از ۴/۵ درصد نباشد. این درحالی است که رشد اقتصادی امریکا در پنج سال گذشته کمتر از دو درصد بوده و تا سال ۲۰۳۰ هم از آن فراتر نرود[4]. به نقل از رویترز، نتایج تازه‌ترین تحقیقات انجام شده از سوی مرکز مطالعات اقتصادی و تجاری انگلیس (CEBR) ، حاکی از آن است که چین تا سال ۲۰۲۸، با پیشی گرفتن از آمریکا به برترین قدرت اقتصادی دنیا تبدیل خواهد شد.

اصل اول در اجرای سیاست چین برای تبدیل شدن به قدرت برتر جهان، دوری از ایجاد تنش در روابط بین‌الملل و جذب سرمایه‌گذاران خارجی، همراه با سیاستگذاری کلان در پیشرفت علم بوده است. یکی از دلایل توفیق چین این بوده است که ابتدا عمدتاً به کپی‌برداری از علم و فناوری موجود برای دستیابی به رشد اقتصادی بالا (با کشاندن شرکت‌های بین‌المللی بزرگ به مناطق آزاد چین) و خلق ثروت پرداخته است. رشد اقتصادی بالا به چین امکان داده است که در علم و تحقیقات سرمایه‌گذاری بیشتری کند و پیشبرد علم و تحقیقات نیز به تداوم رشد اقتصادی آن کمک کرده است. لذا بسیار ضروری است که زمینه فعالیت اقتصادی برای خلق ثروت فراهم باشد تا سرمایه‌گذاری در علم و رشد اقتصادی همدیگر را تقویت کنند.

درآمد سرانه مردم چین در سال ۱۹۹۰ برابر ۹۸۳ دلار بوده است، درحالی‌که به ۱۵۳۷۶ دلار در ۲۰۱۹ افزایش پیدا کرده است. پیش‌بینی می‌شود که این درآمد در سال ۲۰۲۵ به ۱۹۵۶۵ دلار برسد. البته این مقدار در مقایسه با درآمد سرانه ۶۶ هزار دلاری آمریکا شاید فاصله زیادی داشته باشد، اما وقتی درآمد یاد شده را در یک‌ونیم میلیارد جمعیت کشور ضرب شود، نشان از ثروت انبوهی خواهد داشت. ارزش بازار بورس چین با حضور صدها شرکت بزرگ چینی حدود ده تریلیون دلار است، درحالی‌که مصرف‌کنندگان در بازار داخلی چین در سال ۲۰۱۷ میلادی فقط به اندازه نیم مقدار از ارزش این مقدار سهام را مصرف کرده‌اند. در سال ۲۰۱۹، ذخایر ارزی کشور چین ۳/۲ تریلیون دلار بوده و صادرات چین در همان سال به ۲/۵ تریلیون دلار افزایش یافته است. در سال ۲۰۱۹، صادرات چین ۴۸۰ میلیارد دلار از واردات آن پیش گرفته است[5]. چین حدود بیست درصد بازار آمریکا و بیش از شانزده درصد بازار اروپا را تصاحب کرده است.

تجربه امروز نشان می‌دهد که نگاه سنتی و جنگ افروزانه، دیگر تعیین‌کننده استیلاجویی مطلق نیست و قدرت نرم کشورها

[1] https://www.worldometers.info/world-population/population-by-country/
[2] Human Development Index (HDI): https://hdr.undp.org/data-center/country-insights#/ranks
[3] International IQ Test: https://international-iq-test.com/en
[4] https://www.mehrnews.com/news/5105110
[5] https://www.ettelaat.com/?p=54095

تعیین‌کننده برتری و سلطه آنهاست. بنابراین، اکنون مرزشکنی و رقابت علمی برای نوآوری و خلق فن‌آوری‌های نو و تعیین حد و مرز علم، عامل نخست و تعیین‌کننده تقسیم قدرت بین کشورها می‌باشد. کشورهای نوظهوری که در قالب بریکس (برزیل، روسیه، هند، چین و آفریقای جنوبی) پیش‌بینی می‌شود در آینده نه‌چندان دور جایگاه قابل‌توجهی از اقتصاد جهانی را به‌دست آورند، تاحد بسیار زیادی متأثر از پیشرفت‌های علمی و فناوری این کشورهاست. اجازه پیوست ایران هم به این جمع، تنها به خاطر پیشرفت‌های علمی ما در دو دهه گذشته است.

چین در سال ۲۰۱۳ دست به ابتکار بزرگی تحت‌عنوان «یک کمربند یک جاده[1]» موسوم به طرح BRI[2]، زد که مقرر کرد باید تمام راه‌ها به چین ختم شوند و برای این کار بودجه هشت تریلیون دلاری منظور شد [۵]. این یک سیاست بلندمدت و برنامه سرمایه‌گذاری فراقاره‌ای است که هدف آن توسعه زیرساخت‌ها و تسریع یکپارچگی اقتصادی کشورها در مسیر جاده تاریخی ابریشم هم در زمین و هم در دریاست. براساس همین برنامه زیرساختاری برای توسعه اقتصادی، چین از سال ۲۰۱۳ تا اواسط سال ۲۰۲۰، حدود ۷۵۵ میلیارد دلار در کشورهای مختلف شامل برنامه سرمایه‌گذاری کرده است. اجرای طرح آبی کوهالا در ۱۷٤ کیلومتری اسلام‌آباد پاکستان برای ایجاد ۱۱۰۰ مگاوات برق (با بودجه ۲/٤ میلیارد دلار و اختتام در دسامبر ۲۰۲۵)، طرح تولید پنجاه مگاواتی برق بادی ایالت سند پاکستان (با بودجه ۲۲٤ میلیارد دلار و شروع عملیات از اواسط سال ۲۰۱۸)، طرح ساخت نیروگاه خورشیدی یک هزار مگاواتی قائد اعظم در ایالت پنجاب پاکستان (با بودجه ۱/۳ میلیارد دلاری طی سه فاز و شروع در سال ۲۰۱۵ که فاز سوم آن در حال اختتام است)، بخش‌هایی از این برنامه چین تنها در کشور پاکستان است. در بهار سال۲۰۱۹، ۱/۸ میلیارد یوان (معادل ۲٦۸ میلیون دلار) از بودجه طرح بزرگ یک کمربند یک جاده در اختیار آکادمی علوم چین قرار گرفت تا در بخش علوم و فناوری طرح هزینه شود [۵]. در طرحBRI، چین سرمایه‌گذاری زیادی در کشورهای مختلف قاره آفریقا انجام داده و در حال انجام است. از خطوط لوله نفت در سودان گرفته تا خطوط راه آهن در شاخ آفریقا و ناوگان ماهیگیری در غنا، نفوذ چین در همه جای آفریقا مشهود است. در عرصه تحقیق و توسعه، چین بر سه حوزه اصلی در آفریقا متمرکز شده است: فناوری اطلاعات، کشاورزی و آموزش. آژانس فضایی چین شش میلیون دلار برای کمک به اتیوپی برای پرتاب اولین ماهواره خود در اواخر سال ۲۰۱۹ که داده‌های علمی در مورد آب‌وهوا و پدیده‌های مرتبط با آب و هوا ارائه می‌دهد، کمک نموده است. دولت چین در سال ۲۰۱۵ میلادی، تعداد ۸٤۷۰ بورسیه تحصیلی به دانشجویان آفریقایی ارائه کرده است و از طریق کنترل شدید ویزا در چین، دانشجویان خارجی باید پس از اتمام دوره تحصیل خود به کشور خودشان بازگردند [۵]. چهل کشور آفریقایی و کمیسیون اتحادیه آفریقا، قراردادهای همکاری با طرحBRI را امضا کرده‌اند. شورای زبان چینی یا هانبان[3]، ده‌ها مؤسسه کنفوسیوس را برای گسترش آموزش زبان و فرهنگ چینی در کشورهای مختلف و به‌ویژه آفریقا تأسیس کرده است. نفوذ چین در کشورهای مختلف با انجام طرح‌های بزرگ عمرانی و صنعتی همراه است و این ناشی از افزایش دانایی و توانمندی علمی این کشور است.

دگرگونی در چند حوزه کلیدی برای باروری علم

چین طی چند دهه گذشته، گام‌های مهمی برای پیشرفت علمی برداشته است و از کشوری در حال پیشرفت به کشوری نوآوری‌محور تبدیل شده است. این دگرگونی در چند حوزه کلیدی مشهود است:

الف) چارچوب قانونگذاری و سیاست

۱- اصلاحات در قوانین علم و فناوری:

در سال ۲۰۲۱، چین قوانین اساسی خود را در زمینه علم و فناوری به‌روز کرد که بازنگری بی‌سابقه‌ای را در عمق و دامنه قوانین خود رقم زد. هدف این اصلاحیه تقویت پاسخ نهادی، نوآوری و رسیدگی به چالش‌های اجرایی است [٦].

۲- برنامه‌های استراتژیک:

برنامه میان‌مدت و بلندمدت شورای دولتی در مورد توسعه علم و فناوری، اهداف چین را برای افزایش هزینه‌های تحقیق و توسعه و حمایت از نوآوری‌های فناوری در بخش‌های مختلف مشخص می‌کند [۷].

[1] OBOR (One Belt One Road)
[2] BRI (Belt and Road Initiative)
[3] Hanban

ب) رشد کمی و کیفی

۱- خروجی تحقیقات:

بازده تحقیقاتی چین به طور چشمگیری افزایش یافته است و این کشور را به اولین تولیدکننده بزرگ مقالات علمی در سطح جهان تبدیل کرده است. با این حال، تأثیر این انتشارات که با استناد سنجیده می‌شود، مرتب در حال بهبود است که نشان‌دهنده تغییر از کمیت به کیفیت است [۸-۹].

۲- فعالیت ثبت اختراع:

تعداد اختراعات، به‌ویژه در بخش فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT)[1]، به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته، به‌طوری‌که شرکت‌ها به محرک‌های اصلی نوآوری‌های فناوری تبدیل شده‌اند [۱۰-۱۱].

ج) نوآوری و همکاری

۱- همکاری دانشگاه و صنعت:

تلاش‌های مشترک بین دانشگاه‌ها و صنایع در ایجاد نوآوری بسیار مهم بوده است. این مشارکت‌ها توسط مشوق‌های دولتی حمایت می‌شوند و به پیشرفت‌های فنآوری قابل‌توجهی منجر شده‌اند [۱۲-۱۳].

۲- تحقیقات بین‌رشته‌ای:

همکاری بین‌رشته‌ای به‌عنوان یک عامل کلیدی در دستیابی به پیشرفت‌های علمی شناخته شده است. مطالعات نشان می‌دهد که چنین همکاری‌هایی عملکرد نوآوری را افزایش می‌دهند، به‌ویژه زمانی‌که توسط رهبری تحول‌آفرین حمایت می‌شوند [۱٤].

د) چالش‌ها و جهت‌گیری‌های آینده

۱- کیفیت تحقیقات:

علیرغم افزایش انتشارات و آثار تحقیقاتی، کیفیت و تجاری‌سازی اختراعات همچنان زمینه‌های بهبود را دارند. سیاست‌های متمرکز بر دستاوردهای کمیت کوتاه‌مدت ممکن است بر توسعه پایدار بلندمدت تأثیر منفی بگذارد [۱۵].

۲- نابرابری‌های منطقه‌ای:

تفاوت‌های منطقه‌ای قابل‌توجهی در قابلیت‌های نوآوری وجود دارد، با مناطق شرقی مانند پکن و شانگهای که در بازده تحقیقاتی پیشرو هستند. تلاش‌هایی برای ایجاد توازن در توسعه در مناطق مختلف مورد نیاز است [۱۲ و۱٦].

هـ) تأثیر بر توسعه ملی

۱- مزایای اقتصادی و اجتماعی:

پیشرفت علمی به بخش‌های مختلفی از جمله کشاورزی، مراقبت‌های بهداشتی و حفاظت از محیط‌زیست کمک کرده است. پیشرفت‌ها در این زمینه‌ها، استانداردهای زندگی را بهبود بخشیده و از اهداف توسعه پایدار حمایت کرده است [۱۷-۱۸].

۲- جایگاه جهانی:

پیشرفت سریع چین در علم و فناوری، آن را به‌عنوان یک مدعی برای رهبری جهانی در نوآوری قرار می‌دهد. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که چین به‌زودی در چندین شاخص علمی با ایالات متحده و اتحادیه اروپا رقابت خواهد کرد [۱۹].

به‌طور خلاصه، پیشرفت علمی چین با حمایت قانونی قابل‌توجه، افزایش بازده تحقیقاتی و همکاری‌های قوی دانشگاه و صنعت مشخص شده است. با این حال، چالش‌هایی مانند بهبود کیفیت تحقیقات و رسیدگی به نابرابری‌های منطقه‌ای همچنان باقی است. تمرکز مداوم بر توسعه مبتنی بر نوآوری برای چین برای حفظ و ارتقای جایگاه علمی جهانی خود ضروری است.

برنامه‌های راهبردی چین برای توسعه علمی

چین برنامه‌های استراتژیک جامعی را برای پیشبرد قابلیت‌های علمی و فناوری خود با تمرکز بر نوآوری، پایداری و رهبری جهانی توسعه داده است. برنامه‌های استراتژیک چین برای پیشرفت علمی بر چند محور کلیدی متمرکز بوده‌اند که به‌طور خلاصه عبارتند از:

۱- سرمایه‌گذاری گسترده در تحقیق و توسعه (R&D):

چین به‌طور مداوم بودجه‌های کلانی را به تحقیق و توسعه اختصاص داده است. در سال‌های اخیر، این کشور به یکی از بزرگ‌ترین سرمایه‌گذاران جهانی در حوزه R&D تبدیل شده است. براساس گزارش‌ها، چین در سال ۲۰۲۰ بیش از ۲/٤ درصد از تولید ناخالص داخلی (GDP) خود را به تحقیق و توسعه اختصاص داد، درحالی‌که در سال۱۹۹٦ تنها ۰/٦ از تولید ناخالص داخلی خود را به تحقیق و توسعه اختصاص داده بود. در سال ۲۰۲٤، این عدد به ۲/۷ درصد از تولید ناخالص ملی رسید، معادل ۳/٦ تریلیون یوان (برابر ۵۰۰ میلیارد دلار امریکا) که در مقابل ۲/۱

[1] Information and Communication Technology (ICT)

درصد میانگین کشورهای عضو اتحادیه اروپا از یک طرف و مقدار زیاد GDP سالانه کشور چین مقدار زیادی است (۱).

۲- توسعه فناوری‌های پیشرفته:

چین بر توسعه فناوری‌های کلیدی مانند هوش مصنوعی، فناوری نانو، بیوتکنولوژی و انرژی‌های تجدیدپذیر تمرکز کرده است. برنامه‌هایی مانند «ساخت چین ۲۰۲۵»[1] و «برنامه‌ریزی ملی برای توسعه هوش مصنوعی» از جمله برنامه‌های مهم استراتژی در این حوزه هستند. در سال ۲۰۱۵، دولت چین برنامه بسیار بلند پروازیرا با نام «ساخت چین ۲۰۲۵» به‌عنوان ترویج انقلاب صنعتی چهارم به مرحله اجرا در آورد که اهداف خاصی برای سال ۲۰۲۵ داشت. این طرح بر روی ده بخش صنعتی کلیدی استراتژیک، شامل موارد زیر، تمرکز یافت [۲۰]:

- فناوری اطلاعات پیشرفته
- ماشین‌آلات پیشرفته و رباتیک
- هوافضا و تجهیزات هوایی
- تجهیزات دریایی و کشتی‌سازی پیشرفته
- قطارهای پرسرعت و تجهیزات ریلی
- خودروهای انرژی‌های جدید
- تجهیزات تولید انرژی‌های تجدیدپذیر
- تجهیزات پزشکی پیشرفته
- مواد پیشرفته (مانند نیمه‌هادی‌ها و کامپوزیت‌ها)
- کشاورزی مدرن و ماشین‌آلات کشاورزی

این طرح بر افزایش ظرفیت نوآوری مستقل صنعت تولید، ترویج تولید سبز و حمایت از صنایع با فناوری پیشرفته از طریق یارانه‌های تحقیق و توسعه و معافیت‌های مالیاتی تمرکز دارد [۲۱]. برنامه ساخت چین ۲۰۲۵ یکی از مهم‌ترین استراتژی‌های اقتصادی چین در دهه‌های اخیر است و تأثیرات عمیقی بر اقتصاد جهانی و رقابت‌های فناوری خواهد داشت. مطابق همین برنامه، چین قصد دارد تا سال ۲۰۳۵ به یک رهبر جهانی در نوآوری علمی و فناوری تبدیل شود و تا سال ۲۰۵۰، در تمام زمینه‌ها قدرت علمی پیشرو در جهان با توانایی رقابت با کشورهایی مانند ایالات متحده و اتحادیه اروپا تبدیل شود.

۳- توسعه نیروی انسانی متخصص:

چین برنامه‌های گسترده‌ای برای آموزش و جذب نخبگان علمی داخلی و بین‌المللی اجرا کرده است. در سال ۱۹۵۰ چین تنها ۱۲۰ هزار دانشجو داشت، این در حالی است که نزدیک به ۵۰ میلیون دانشجو در سه هزار دانشگاه و مرکز آموزش عالی با حدود ۱/۷ میلیون عضو هیئت علمی در این کشور مشغول به تحصیل هستند. از قریب به یک میلیون دانشجوی خارجی در آمریکا، ۳۵۰ هزار نفر چینی هستند. ذکر این نکته مهم است که نرخ تمایل به بازگشت به کشور در خصوص دانشجویان چینی از سال ۲۰۰۲ به بعد، به‌شدت افزایش یافته است در حالی‌که قبل از سال ۲۰۰۲ چنین تمایلی بسیار کم بود. با این حال، دولت چین ادعا می‌کند که طی ٤٠ سال، ۱۹۷۸ تا ۲۰۱۷، بیش از سه میلیون فارغ‌التحصیل چینی به کشورشان بازگشته‌اند. گزارش شده است که تنها در یک سال (۱۹۹۸)، ۵۵۰ هزار دانشجو از چین به امریکا رفته و ٤٨٠ هزار دانشجو به کشورشان برگشتند، یعنی ۸۷ درصد (۲).

در سال‌های اخیر، چین تلاش کرده است تا با جذب استادان بین‌المللی و افزایش کیفیت آموزش، تعداد و کیفیت اعضای هیئت علمی خود را بهبود بخشد. این کشوربرنامه‌ای بنام «برنامه هزار استعداد»[2] برای جذب دانشمندان و محققان برجسته چینی و غیرچینی از سراسر جهان طراحی کرده است و از سال ۲۰۰۸ به اجرا در آمده است [۲۲-۲۳]. برای نخبه‌پروری، اعزام دانشجویان به خارج از کشور برای کسب دانش و بازگشت به چین برنامه‌ریزی شده است. اینکه چگونه چین توانست نخبگان خود را به کشور بازگرداند، بسیار مهم است. چین رویکردی چند جانبه را برای تشویق نخبگان مهاجر خود به بازگشت به‌کار گرفته است و از ابتکارات دولت مرکزی و نظام مدیریت محلی استفاده می‌کند. در اینجا استراتژی‌ها و عوامل کلیدی که به این تلاش کمک کرده‌اند اشاره می‌شود [٢٤], (۳):

الف) سیاست‌های حمایتی دولت: برنامه‌های متنوعیمانند «برنامه هزار استعداد» و دیگر طرح‌های تشویقی مالی و تحقیقاتی.

ب) فرصت‌های شغلی و تحقیقاتی: ایجاد موقعیت‌های شغلی با درآمد بالا و امکانات پیشرفته در دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی.

[1] Made in China 2025
[2] Thousand Talents Plan

ج) توسعه اقتصادی: رشد سریع اقتصاد چین و افزایش سرمایه‌گذاری در بخش‌های فناوری و نوآوری.

د) زیرساخت‌های پیشرفته: ساخت آزمایشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی مدرن برای جذب محققان.

هـ) تسهیلات رفاهی: ارائه مسکن، بیمه درمانی و سایر مزایای اجتماعی برای دانشمندان و خانواده‌های آنها.

یکی از عوامل مهم نگهداری نخبگان در کشور چین و نیز بازگشت نخبگان چینی به کشورشان، حقوق مناسب پژوهشگران و اعضای هیئت علمی است. حقوق اعضای هیئت علمی دانشگاه در چین بسته به رتبه علمی (شامل استادیاران، دانشیاران و استادان)، شهر، دانشگاه و سابقه کار متفاوت است. حقوق این گروه‌ها در دو دهه اخیر افزایش چشمگیری یافته است، اما میزان آن به عوامل مختلفی مانند سیاست‌های دولت، منطقه جغرافیایی و سطح دانشگاه بستگی دارد. حقوق ماهیانه استادیاران حدود ده تا بیست هزار یوان (معادل ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ دلار امریکا)، حقوق ماهیانه دانشیاران حدود بیست هزار تا سی هزار یوان (معادل ۳۰۰۰ تا ٤۵۰۰ دلار امریکا و در مورد استادان حدود سی هزار تا پنجاه هزار یوان (معادل ٤۵۰۰ تا ۷۵۰۰ دلار امریکا) می‌باشد. استادان برجسته یا کسانی که در دانشگاه‌های معتبرتر کار می‌کنند، ممکن است حقوق بسیار بالاتری دریافت کنند. با این حال، چین به‌دنبال جذب استادان بین‌المللی و ارتقای کیفیت آموزش عالی است، بنابراین انتظار می‌رود این روند افزایش حقوق همچنان ادامه یابد (٤و۵).

و) احساس تعلق ملی: تمایل به مشارکت در پیشرفت کشور و تقویت حس ملی‌گرایی. چین با ایجاد شبکه‌های ملی و فراملی در بستر اینترنت باعث می‌شود که دانشجویان و پژوهشگران اغلب شبکه‌های اجتماعی فراملی را حفظ کنند و این موجب می‌شود که به آنها کمک شود تا فرآیند بازگشت را به‌سادگی طی کنند و در جوامع محلی و ملی ادغام شوند. این شبکه‌ها پشتیبانی و منابعی را فراهم می‌کنند که انتقال به چین را آسان نماید [۲۵]. حفظ هویت و تعلق خاطر به کشور زادگاه، فرآیند بسیار مهم فرهنگی و اجتماعی است که نقش مهمی در بازگشت به چین ایفا می‌کند. انگیزه بسیاری از بازگشت‌کنندگان، احساس تعلق فرهنگی و پیوندهای خانوادگی است که بر تصمیم آنها برای بازگشت و انتخاب مقصد آنها در چین تأثیر می‌گذارد [۲۵-۲۶].

ز) همکاری‌های بین‌المللی: ایجاد فرصت‌های همکاری با مراکز علمی جهانی و شرکت در طرح‌های بین‌المللی. چین رویه‌های صدور ویزا برای متخصصان خارجی را ساده‌تر کرده و ویزاهای بلندمدت و اجازه اقامت را بسادگی و سریع ارائه می‌دهد تا ورود و اقامت آنها را تسهیل کند [۲۷-۲۸].

این عوامل در کنار هم موجب بازگشت نخبگان چینی و تقویت توان علمی و فناوری کشور شده‌اند.

٤- همکاری‌های بین‌المللی:

چین با ایجاد مشارکت‌های علمی و فناوری با کشورها و سازمان‌های بین‌المللی، به‌دنبال تقویت جایگاه خود در عرصه جهانی است. طرح‌هایی مانند «یک کمربند یک جاده: BRI» هم شامل همکاری‌های علمی و فناوری هستند. بخشی از بودجه این طرح بسیار بزرگ در اختیار تصمیم‌سازان آکادمی علوم چین قرار گرفته است تا موجب همکاری‌های علمی در سطح جهان شود (٦). بسیاری از مشکلات جوامع امروز بشری به چالش‌های فراگیر و جهانی برمی‌گردد که یک کشور به تنهایی قادر نیست به حل آن بپردازد. ازاین‌رو، همکاریهای بین‌المللی اجتناب‌ناپذیر است. دولت چین با تسهیل رفت‌وآمدهای دانشمندان چینی را از کشور خود به اقصی نقاط جهان و همچنین به رفت‌وآمدهای دانشمندان کشورهای دیگر به چین، موجب دیپلماسی علمی فعال کشور شده است. در طول دو دهه اخیر، کشور چین به محل مناسبی برای برگزاری همایش‌ها و کنفرانس‌های علمی انجمن‌ها، اتحادیه‌ها و فدراسیون‌های بین‌المللی تبدیل شده است که نقش مهمی در فعالیت و دیپلماسی علمی چین دارد.

۵- توسعه زیرساخت‌های علمی:

چین به ساخت و توسعه مراکز تحقیقاتی پیشرفته، آزمایشگاه‌های ملی و زیرساخت‌های علمی مدرن پرداخته است. طرح‌هایی مانند ابررایانه‌های پیشرفته، توسعه زیرساخت‌های دیجیتال مانند شبکه‌های G5، ایستگاه فضایی تیانگونگ و تلسکوپ رادیویی FAST(بزرگ‌ترین تلسکوپ رادیویی تک‌دیافراگمی جهان) نمونه‌هایی از این تلاش‌ها هستند.

٦- تأکید بر نوآوری و مالکیت فکری:

چین به‌طور فزاینده‌ای بر اهمیت نوآوری و حفاظت از مالکیت فکری تأکید کرده است. این کشور در سال‌های اخیر به یکی از

بزرگ‌ترین ثبت‌کنندگان اختراعات جهانی تبدیل شده است. پارک‌های علم و فناوری در این کشور، مراکز اصلی برای نوآوری و توسعه فناوری‌های پیشرفته هستند. به عنوان مثال، پارک فناوری جونگ‌گوان سون در پکن به‌عنوان «سیلیکون ولی چین» شناخته می‌شود.

۷- گسترش نظام آموزش عالی و بین‌المللی‌سازی آن:

چین به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین سیستم‌های آموزش عالی در جهان، با بیش از سه هزار دانشگاه و قریب به دو میلیون عضو هیئت علمی یکی از پویاترین سیستم‌های آموزش عالی در جهان است. در سال‌های اخیر، چین تلاش کرده است تا با جذب استادان بین‌المللی و افزایش کیفیت آموزش، تعداد و کیفیت اعضای هیئت علمی خود را بهبود بخشد. چین در دو دهه اخیر سرمایه‌گذاری قابل‌توجهی در بخش آموزش عالی انجام داده است. این کشور به‌دنبال تبدیل شدن به یکی از قطب‌های جهانی آموزش و پژوهش است و برنامه‌هایی مانند طرح ۲۱۱ و طرح ۹۸۵ را برای ارتقای دانشگاه‌های خود اجرا کرده است. هدف از اجرای این دو برنامه کلیدی دولت چین، ارتقای سیستم آموزش عالی و تبدیل دانشگاه‌های این کشور به مؤسسات پیشرو در سطح جهانی بوده است. در ادامه خلاصه‌ای از این دو طرح ارائه می‌شود[۲۷-۲۹].(۷)

طرح آموزشی ۲۱۱

چینی‌ها با الگوبرداری از روسیه و شوروی، طرحی به نام «۲۱۱» را در سال ۱۹۹۵ برای پیشرفت علمی خود طراحی کردند. این طرح با هدف تقویت حدود ۱۰۰ دانشگاه و رشته‌های کلیدی برای پاسخگویی به نیازهای اقتصادی و اجتماعی چین در قرن ۲۱ آغاز شد. عدد «۲۱» در نام این طرح به قرن ۲۱ و «۱» به ۱۰۰ دانشگاه برتر اشاره دارد. در شروع برای این طرح دو میلیارد دلار اعتبار منظور شد و هرساله نیز اعتبار جدیدی برای آن منظور شد. با اجرای این طرح، دانشگاه‌های منتخب به پایگاه‌های پژوهشی تبدیل شدند و با افزایش بودجه، به بهبود کیفیت آموزش، توسعه رشته‌های علمی و فناوری و تقویت همکاری بین دانشگاه‌ها و صنعت پرداختند. تا سال ۲۰۱۷، حدود ۱۱۲ دانشگاه در این طرح مشارکت داشتند که نتایج آن منجر به ارتقای زیرساخت‌ها، پیشرفت پژوهش‌های زیربنایی و قرارگیری برخی از این دانشگاه‌ها در رتبه‌بندی‌های جهانی شد. نتایج این طرح به ارتقای زیرساخت‌ها و کیفیت آموزش در دانشگاه‌های منتخب کمک کرد و برخی از آنها را در رتبه‌بندی‌های جهانی مطرح ساخت.(۵).

طرح آموزشی ۹۸۵

چینی‌ها پس از اجرای طرح ۲۱۱، با معرفی طرح ۹۸۵ در سال ۱۹۹۸ (همزمان با صدمین سالگرد دانشگاه پکن)، گامی فراتر برداشتند تا گروهی از دانشگاه‌های برتر را برای رقابت در سطح جهانی تقویت کنند. این طرح با هدف تبدیل دانشگاه‌ها به مراکز تحقیقاتی پیشرو، ابتدا ۹ (موسوم به لیگ C9) و سپس ۳۹ دانشگاه برتر را تحت پوشش قرار داد و با افزایش بودجه، جذب اساتید و دانشجویان ممتاز و ایجاد همکاری‌های بین‌المللی، به پیشرفت چشمگیر آنها کمک کرد. در سال ۲۰۱۱ اعلام شد که هیچ دانشگاه جدید قادر به عضویت در این گروه انحصاری نخواهد بود. مقرر گردیده بود که دانشگاه‌های لیگ C9 ده درصد بودجه تحقیقاتی کشور را دریافت کنند. نتایج این طرح، صعود سریع دانشگاه‌هایی مانند Tsinghua و Peking در رتبه‌بندی‌های جهانی و تبدیل آنها به مراکز تحقیقاتی معتبر بود.

در خصوص تفاوت‌های کلیدی بین طرح ۲۱۱ و ۹۸۵ باید دانست که طرح ۲۱۱ بیشتر بر توسعه کلی سیستم آموزش عالی تمرکز دارد، درحالی‌که طرح ۹۸۵ به‌دنبال ایجاد دانشگاه‌های تراز اول جهانی است. از نظر بودجه، دانشگاه‌های طرح ۹۸۵ بودجه بسیار بیشتری نسبت به طرح ۲۱۱ دریافت می‌کنند. محدوده طرح ۲۱۱ گسترده‌تر است و دانشگاه‌های بیشتری را شامل می‌شود، درحالی‌که طرح ۹۸۵ بر تعداد محدودی از دانشگاه‌های برتر متمرکز است. طرح‌های ۲۱۱ و ۹۸۵ نقش مهمی در پیشرفت آموزش عالی چین و تبدیل آن به یکی از قطب‌های علمی جهان داشتند. این طرح‌ها زیرساخت‌ها، کیفیت آموزش و پژوهش، و جایگاه بین‌المللی دانشگاه‌های چین را به طور چشمگیری بهبود بخشیدند. در سال ۲۰۱۶، دولت چین اعلام کرد که این دو طرح به‌طور رسمی پایان یافته‌اند و جای خود را به برنامه‌های جدیدی مانند تراز اول دوگانه[1] داده‌اند. این برنامه جدید به‌دنبال ایجاد دانشگاه‌ها و رشته‌های درجه یک در سطح جهانی است.

[1] Double First Class

تراز اول دوگانه

تراز اول دوگانه، یک ابتکار ملی در چین است که در سال ۲۰۱۷ با هدف تقویت و ارتقای دانشگاه‌ها و رشته‌های دانشگاهی این کشور به سطح جهانی آغاز شد. این برنامه جایگزین طرح‌های قبلی مانند ۲۱۱ و ۹۸۵ شده و تمرکز اصلی آن بر دو بخش است:

الف) دانشگاه‌های تراز اول: انتخاب و تقویت گروهی از دانشگاه‌ها برای تبدیل شدن به مؤسسات آموزشی و پژوهشی پیشرو در سطح جهانی.

ب) رشته‌های تراز اول: توسعه و ارتقای رشته‌های دانشگاهی خاص به‌گونه‌ای که بتوانند در رقابت‌های جهانی جایگاه برتری داشته باشند.

اهداف اصلی در این طرح عبارت است از: افزایش کیفیت آموزش و پژوهش در دانشگاه‌های منتخب،تقویت همکاری‌های بین‌المللی و جذب دانشجویان و اساتید برتر از سراسر جهان و بالاخره توسعه فناوری‌های نوین و پاسخگویی به نیازهای اقتصادی و اجتماعی چین. در فاز اول این برنامه، ۱٤۰ دانشگاه و ٤٦٥ رشته انتخاب شدند. دانشگاه‌ها و رشته‌ها به‌صورت دوره‌ای ارزیابی می‌شوند و در صورت عدم دستیابی به اهداف، ممکن است از فهرست خارج شوند. این برنامه به رشد سریع دانشگاه‌های چینی در رتبه‌بندی‌های جهانی کمک کرده و برخی از آن‌ها مانند دانشگاه‌های Tsinghua و Peking را در میان برترین‌های جهان قرار داده است. همچنین، این طرح به تقویت رشته‌های علمی و فناوری‌های نوین در چین منجر شده است. در کل، این طرح یک استراتژی بلندمدت برای تبدیل چین به یکی از قطب‌های اصلی آموزش و پژوهش در جهان است.

سخن پایانی

عبور موفق از چالش‌های مختلف کشور و توسعه اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی کشور تنها از طریق توجه خاص به بنیان‌های علمی و پیشرفت علمی میسر می‌شود. چین الگوی خوبی برای توسعه علمی و پیشرفت همه‌جانبه بوده است. لازم است در قالب یک طرح، تعدادی از دانشگاه‌های برتر در یک رقابت علمی برای ورود به دانشگاه‌های برتر جهانی قرار بگیرند. در رده بعدی دانشگاهی، تعدادی از دانشگاه‌های دیگر در یک رقابت دیگر برای ارتقا و ورود به دانشگاه‌های برتر کشور قرار بگیرند. با ارزیابی جامع از تمام دانشگاه‌ها و مراکز آموزش عالی کشور، یک آمایش دقیق انجام شده و ادغام یا حذف برخی از دانشگاه‌ها و مراکز علمی انجام بگیرد. بستگی به تراز جهانی و ملی دانشگاه‌ها، بودجه آنها مشخص و زیرساخت‌های تحقیقاتی کشور بروزرسانی شود. اعضای هیئت علمی دانشگاه‌ها و پژوهشگران مورد توجه بیش‌از این قرار گرفته و سطح زندگی مناسبی برای آنها تأمین شود. انجمن‌های علمی کشور به اتحادیه‌ها و فدراسیون‌های بین‌المللی ارتباط داده شود و از رفت‌وآمدهای دانشمندان به کشور حمایت ویژه شود تا موجب تقویت دیپلماسی علمی گردد. نیاز است که از طریق اتحادیه‌ها و فدراسیون‌های بین‌المللی، به کمک انجمن‌های علمی همایش‌های علمی در کشور برگزار شود. با ایجاد یک شبکه علمی فعال، از نخبگان مهاجرت کرده کشور، در طرح‌های تحقیقاتی و توسعه علمی کشور استفاده شود. اگر نخبگان احساس کنند که برای کشورشان می‌توانند مفید باشند و از آنها در این جهت استفاده خواهد شد، به کشور خود برمی‌گردند.

قدردانی و تشکر

از جناب آقای دکتر موسوی موحدی، استاد ممتاز محترم دانشگاه تهران، به خاطر ارائه نظرات مفیدشان تشکر می‌کنم. از جناب آقای دکتر تیمور رحمانی، استاد محترم اقتصاد دانشگاه تهران برای مطالعه موارد اقتصادی این مقاله و ارائه پیشنهادات قدردانی می‌کنم.

پایگاه داده های دیده شده در این مقاله

(1) China's R&D spending reports rapid growth in 2024
https://english.www.gov.cn/archive/statistics/202501/23/content_WS6791e90fc6d0868f4e8ef19b.html

(۲) ۵ تکنیک چینی برای رشد علمی، روزنامه فرهیختگان، تاریخ ۱۵ آبان ۱۳۹۷. https://farhikhtegandaily.com/page/141711

(۳) (http://www.most.gov.cn) وبگاه وزارت علوم و فناوری چین & (http://www.cas.cn) وبگاه آکادمی علوم چین

(٤) وبگاه‌های دانشگاه‌های چین اطلاعاتی درباره حقوق و مزایای استادان در بخش استخدام یا منابع انسانی خود منتشر می‌کنند مانند:

Tsinghua University (https://www.tsinghua.edu.cn)
Peking University (https://www.pku.edu.cn)

(۵) وزارت آموزش چین و سازمان‌هایی هم گزارش‌هایی درباره حقوق و دستمزد در بخش آموزش عالی منتشرمی کنند. [Ministry of Education of the People's Republic of China](http://en.moe.gov.cn)

مطالعاتی که درباره سیستم آموزش عالی چین و شرایط کاری استادان انجام شده‌اند. مانند:

[QS World University Rankings] (https://www.topuniversities.com)

[Times Higher Education] (https://www.timeshighereducation.com)

(6). Search keywords of "Project 211 China higher education" or "Project 985 china" in Google.

(7) وزارت آموزش چین[Ministry of Education of the People's Republic of China] (http://en.moe.gov.cn)

منابع و مأخذ

[۱]. صبوری، علی اکبر و میرزایی، علی اکبر (۱۳۷۶). مکانیک کوانتم در شیمی، فصل سوم، نشر مشهد، مشهد.

[۲]. موسوی موحدی، علی اکبر (۱۴۰۳). علم دقیق و رفاه اجتماعی، نشا علم **۱۴**، ۸۴-۸۳.

[۳]. وزیری، اسماعیل؛ صبوری، علی اکبر؛ فیض آبادی، منصوره؛ محمدی، مرتضی (۱۴۰۰)، عوامل مؤثر بر همکاریهای علمی بین‌المللی از دیدگاه صاحب نظران عرصه دیپلماسی علم ایران، *مطالعات ملی کتابداری و سازماندهی اطلاعات* **۳۲** ، ۹۴-۷۸.

[۴]. وزیری، اسماعیل و صبوری، علی اکبر (۱۴۰۰)، تعاملات علمی بین المللی، پیشران دیپلماسی علم و فناوری، نشاء علم **۱۲**، ۲۰-۱۳.

[5]. Masoud, E. (2019). All roads lead to China. *Nature* 569 (2 May 2019), 20-23.

[6]. Xiao, Y. (2022) Towards new era of innovation law—Comments on 2021 revision of law of the People's Republic of China on science and technology progress [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*. 1, 101–111.

[7[. Wolff, A.WM (2007 China's drive toward innovation. *Issues in Science & Technology* 23 (3), 54-62.

[8]. Jin, B. & Rousseau, R. (2005) China's quantitative expansion phase: Exponential growth but low impact. *Proceedings of ISSI 2005: 10th International Conference of the International Society for Scientometrics and Informetrics*, 362–370. (Edited by P. Ingwersen and B. Larsen)

[9]. Xie, Y., Zhang, C. & Lai, Q. (2014) China's rise as a major contributor to science and technology. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111 (26), 9437–9442.

[10]. Motohashi, K. (2008) Assessment of technological capability in science industry linkage in China by patent database. *World Patent Information* 30 (3), 225 – 232.

[11]. Gao, X., Guo, X. & Guan, J. (2014) An analysis of the patenting activities and collaboration among industry-university-research institutes in the Chinese ICT sector. *Scientometrics* 98 (1), 247-263.

[12]. Zhuang, T., Zhao, S., Zheng, M. & Chu, J. (2021) Triple helix relationship research on China's regional university–industry–government collaborative innovation: Based on provincial patent data. *Growth and Change* 52 (3), 1361-1386.

[13]. Fiaz, M (2013) An empirical study of university-industry R&D collaboration in China: Implications for technology in society. *Technology in Society* 35 (3), 191-202.

[14]. Huang, S., Chen, J., Mei, L. & Mo, W. (2019) The effect of heterogeneity and leadership on innovation performance: Evidence from university research teams in China. *Sustainability* (Switzerland) 11 (16), Article number 4441.

[15]. Cong, H. & Peng, S. (2018) Effects of patent policy on innovation outputs and commercialization: evidence from universities in China. *Scientometrics* 117 (2), 687-703.

[16]. Wu, Y. Li, S. & Yan, J. (2020) Universities and geographical research development in China based on the bibliometrics analysis. *Dili Xuebao/Acta Geographica Sinica* 75 (2), 302-317.

[17]. Lu, Y (2006) Science and technology progress in China. *Science Progress in China*, A Book Chapter in Science Progress in China, pages 001 – 026, Elsevier.

[18]. Ding, X-C., Yang, P. & Liu, X.-L. (2024) Science linkage, governmental innovation subsidies and enterprise performance: An empirical study based on the ICT industry in China. *Studies in Science of Science* 42 (5), 1098-1109.

[19]. Shelton, R. D. & Foland, P. (2009) The race for world leadership of science and technology: Status and forecasts. *12th International Conference on Scientometrics and Informetrics*, ISSI 2009 (14- 17 July 2009), Code 105504.

[20]. Liu Mingfu (2015), "The China Dream: Great Power Thinking and Strategic Posture in the Post-American Era", CN Times Beijing Media Time United Publishing, China.

[21]. Shen, X. & Lin, B. (2020) "Policy incentives, R&D investment, and the energy intensity of China's manufacturing sector". *Journal of Cleaner Production* 255, Article number 120208

[22]. Cao, C., Baas, J., Wagner, C. S. & Jonkers, K. (2020) "Returning scientists and the emergence of China's science system". *Science*

[26]. Ma, L., Tan, Y., & Li, W. (2023) "Identity (re)construction, return destination selection and place attachment among Chinese academic returnees: A case study of Guangzhou, China". *Cities*
143, Article number 10456
[27]. Koslowski, R., & Ding, S. (2024) "Selective migration policies with Chinese characteristics". *Journal on Migration and Human Security* 12 (4), 369-387
[28]. Ding, S. & Koslowski, R. (2017) "Chinese soft power and immigration reform: Can Beijing's approach to pursuing global talent and maintaining domestic stability succeed?". *Journal of Chinese Political Science* 22 (1), 97-116
[34]. Gu, J., Li, X. & Wang, L. (2018) Higher Education in China, Spriner, Germany.
and Public Policy 47 (2), 172–183, https://doi.org/10.1093/scipol/scz05
[23]. Zhang, Z. Y., Yang, H. & Duan Y. Z. (2024). "A Study on the Return Phenomenon of China Overseas Talent Studying in the Post-Epidemic Era". *Journal of Global and Area Studies Review*, 3 (1), 1-16. https://doi.org/10.23112/gas24010201
[24]. Wang, H. & Miao, L. (2019 "China's Domestic and International Migration Development (International Talent Development in China)", Springer, Germany
[25]. Ma, L., Xie, Y., Zhang, B (2022) "Place embeddedness of Chinese academic returnees from the perspective of transnationalism". *Dili Xuebao/Acta Geographica Sinica* 77 (6), 1430 – 1445.

کربن دی‌اکسید: مهار، مدیریت و استفاده بهینه از آن

احمد شعبانی*[1]

چکیده

ایران تا سال ۲۰۲٤ بیش از ۲۰ میلیارد تن کربن دی‌اکسید منتشر کرده است و با سهمی دو درصدی، در رتبه ششم جهان قرار دارد. تخمین زده می‌شود از ۷۱ میلیارد مترمکعب گاز مصرفی در نیروگاه‌های تولید برق، سالانه معادل ۱۱۸ میلیون تن کربن دی‌اکسید با ارزش اقتصادی تقریباً برابر با کل صادرات فرآورده‌های پتروشیمی ایران، یعنی ۱۱/۸ میلیارد دلار، وارد جو می‌شود. همچنین، با توجه به اینکه برای تولید هر تن سیمان، حدود یک تن کربن دی‌اکسید منتشر می‌شود و میزان تولید سالانه سیمان در کشور حدود ۷۲ میلیون تن است، ارزش اقتصادی کربن دی‌اکسید در این صنعت بالغ بر ۷/۲ میلیارد دلار برآورد می‌شود. علاوه‌بر ارزش اقتصادی کربن دی‌اکسید، از منظر مسئولیت و وجدان اجتماعی، ملاحظات زیست‌محیطی، تغییرات آب‌وهوایی، الزامات قانونی و محدودیت‌های احتمالی آینده در فروش محصولات با منبع کربنی، مهار و مدیریت انتشار این گاز امری ضروری به‌نظر می‌رسد. کربن دی‌اکسید ماده اولیه‌ای ارزشمند با کاربردهای گسترده و متنوع در صنایع غذایی، شیمیایی، پتروشیمی، دارویی، ساختمان‌سازی، صنایع سرمایشی و از همه مهم‌تر در صنعت نفت برای ازدیاد برداشت استفاده می‌شود. بنابراین، اتخاذ تدابیر مناسب برای استفاده بهینه از این منبع ارزشمند، اهمیتی دوچندان می‌یابد. در این مقاله، جایگاه کربن دی‌اکسید در ایران و جهان، روش‌های مدیریت و بهره‌برداری بهینه از آن بررسی شده و پیشنهادهایی برای استفاده از این ثروت ملی ارائه شده است.

واژگان کلیدی: گازهای گلخانه‌ای، مهار، مدیریت، کربن دی‌اکسید، مالیات کربن، ازدیاد برداشت، کربن صفر، توافقنامه پاریس

* عهده‌دار مکاتبات: استاد ، تلفن: ۲۹۹۰۴۳۶۲ (۹۸۲۱)، دورنگار: ۲۲۴۳۱۶۷۱ (۹۸۲۱) ، آدرس الکترونیکی : a-shaabani@sbu.ac.ir

[1] دانشکده شیمی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

مقدمه

کربن دی‌اکسید از زمان کشف آن توسط جوزف بلک[1] در سال ۱۷۵۵ موردتوجه بوده است [۱].[2] کربن دی‌اکسید خوراک دو فرایند چرخه‌ای حیات در طبیعت یعنی فتوسنتز- تنفس سلولی است که از آن به‌عنوان کیمیایی‌ترین (سبزترین) و پایدارترین فرایند شیمیایی-بیوشیمیایی در طبیعت یاد می-شود. در دنیای صنعتی امروز، بشر با تولید بیش‌از مصرف کربن دی‌اکسید در طبیعت، سبب اختلال در این فرایند کیمیایی و پایدار شده و چالشی بزرگ برای جامعه علمی در جهت کاهش آن در جو ایجاد کرده است. اثرات مخرب افزایش غلظت کربن دی‌اکسید باعث عدم‌تعادل در اکوسیستم، عوارض و آسیب‌هایی از قبیل افزایش دمای متوسط زمین، تأثیر بر الگوها و میزان بارندگی، کاهش پوشش یخی و برفی، افزایش سطح دریا و اسیدیته اقیانوس‌ها را به‌دنبال داشته است [۲]. در چند دهه اخیر، مدیریت کربن که به جذب، استفاده و ذخیره‌سازی کربن دی‌اکسید اتلاق می‌شود، به‌دلایل متعددی از جمله عوارض محیط زیستی، مسئولیت و وجدان اجتماعی، جنبه اقتصادی و الزامات قانونی (محدودیت در ایجاد صادرات محصولات و تولیدات کربنی) همه کشورها را ملزم به مهار و بهره‌برداری از آن نموده است.

با توجه به اینکه کربن دی‌اکسید یک ماده بسیار ارزشمند و کاربردهای وسیعی در صنایع غذایی، شیمیایی، پتروشیمیایی، دارویی، صنعت ساختمان، صنایع سرمایشی و از همه مهمتر در صنعت نفت برای ازدیاد برداشت دارد، لذا ضروری است اقدامات مقتضی در مهار، مدیریت و استفاده بهینه از آن اندیشیده شود. البته علاوه‌بر ارزش اقتصادی کربن دی‌اکسید، از جنبه مسئولیت اجتماعی، محیط زیستی، و الزامات و قوانین بین‌المللی، اهمیت موضوع را دو چندان می‌کند. اولین اقدام در احداث واحدهای صنعتی انتشار دهنده کربن دی‌اکسید، داشتن پیوست محیط‌زیستی در مهار آن با تقلید از الگوهای طبیعت است. به‌طوری‌که طراحی چرخه‌ای بودن فرایند و استفاده بهینه از کربن دی‌اکسید تولیدی به‌عنوان خوراک تجدیدپذیر با انرژی تجدیدپذیر (خورشید) که سبب پایداری طبیعت می‌شود، جزء لاینفک آن باشد. افکار عمومی نسبت به مسائل زیست‌محیطی بسیار حساس و با توجه به الزام رعایت قوانین، ایران متعهد شده است تا ۴ درصد از گازهای گلخانه‌ای (یکی از پایه‌های اصلی گازهای گلخانه‌ای کربن دی‌اکسید است) را تا سال ۲۰۳۰ کاهش دهد (۱). راهبردهای فراوانی برای به حداقل رساندن انتشار کربن دی‌اکسید ناشی از فعالیت‌های صنعتی ارایه شده است: الف-جلوگیری یا کاهش انتشار کربن دی‌اکسید از طریق استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی‌های خورشیدی، هسته‌ای، آبی و بادی، ب- افزایش بهره‌وری در تولید انرژی با استفاده از فناوری‌های پیشرفته، پ-کاهش کربن دی‌اکسید در جو از طریق جنگل‌کاری، ت- ذخیره‌سازی زمین‌شناسی در رسوبات اعماق دریا یا ذخایر زیرزمینی، ث-استفاده از کربن دی‌اکسید بدون تبدیل و یا تبدیل آن به فراورده‌های شیمیایی با ارزش افزوده بالا، و ج- توسعه واکنش‌های شبه حیاتی مانند فتوسنتز مصنوعی. در حال حاضر هیچ فناوریی به‌تنهایی قادر به کاهش کربن دی‌اکسید تا سطح مورد نیاز پروتکل کیوتو نیست و مستلزم رویکرد تلفیقی با استفاده از فناوری‌های مختلف می‌باشد.

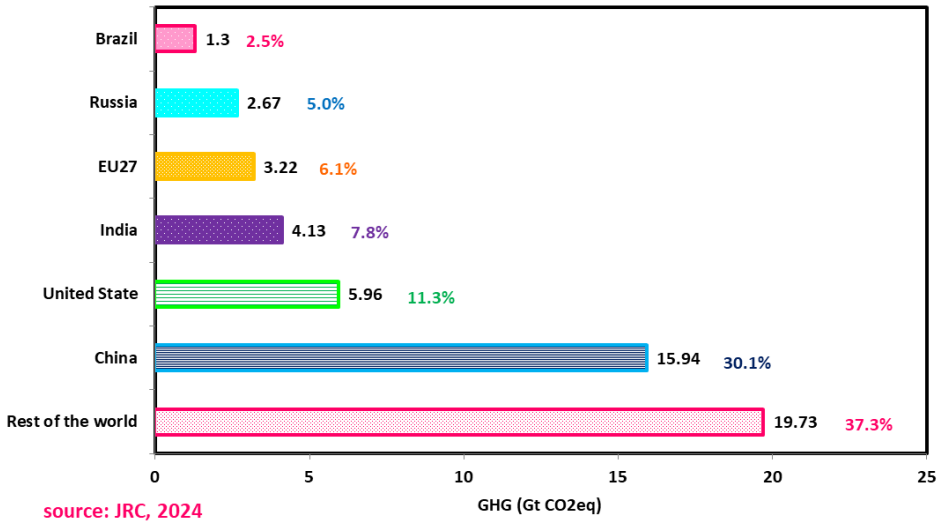
انتشار جهانی گازهای گلخانه‌ای از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۳

سهم شش کشور صنعتی بزرگ و سایر کشورهای تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای[3] در نمودار (۱) ارایه شده است. چین، ایالات متحده، هند، اتحادیه اروپا، روسیه و برزیل بزرگترین تولیدکنندگان گازهای گلخانه ای در سال ۲۰۲۳ بودند. آنها جمعا ۴۹/۸ درصد از جمعیت جهان، ۶۳/۲ درصد از تولید ناخالص داخلی جهانی، ۶۴/۲ درصد از مصرف سوخت‌های فسیلی و ۶۲/۷ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی را به خود اختصاص می‌دهند. در میان

[1] Joseph Black

[2] شماره وبگاه در پرانتز و شماره رفرنس در کروشه ارائه شده است.

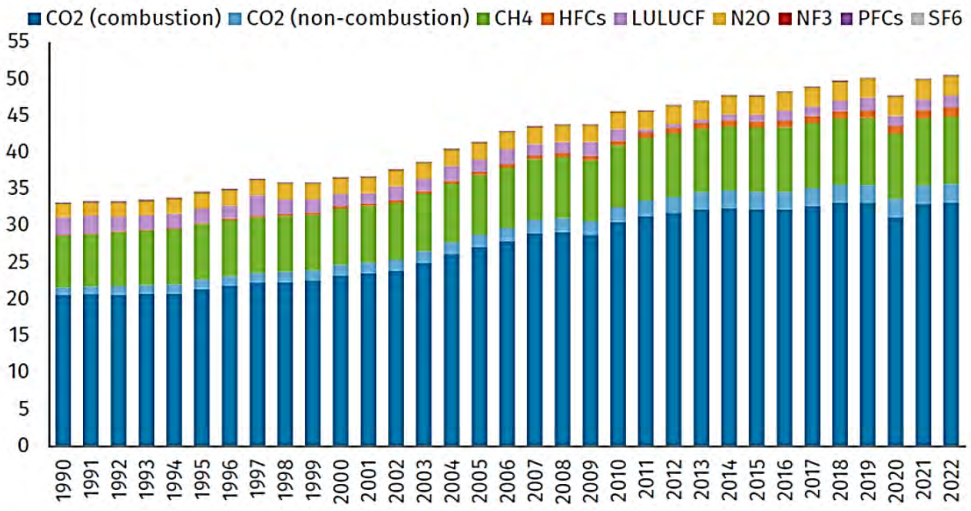
[3] اثر گلخانه ای به فرایندی که سطح زمین را گرم می کند اتلاق می شود. در اثر تابش انرژی خورشید به جو زمین بخشی از آن به با گازهای گلخانه ای جذب و انرژی جذب شده سبب گرمایش جو و سطح زمین می شود. به عبارتی گازهایی که گرما را در جو به دام می اندازند، گازهای گلخانه ای نامیده می شوند.



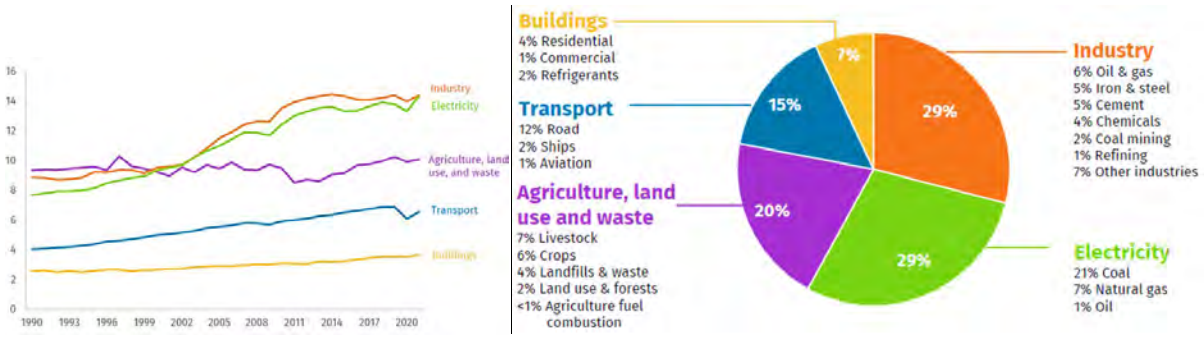
نمودار ۱: سهم شش کشور صنعتی بزرگ در مقایسه با سایر کشورهای انتشار دهنده گازهای گلخانه‌ای(گیگاتن کربن دی‌اکسید معادل[1] و درصد از کل) (۲)

آنها چین، هند، روسیه و برزیل بیشترین افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای را در سال ۲۰۲۳ در مقایسه با سال ۲۰۲۲ داشته‌اند.گازهای گلخانه‌ای از قرن ۲۱ به‌دلیل افزایش سوخت‌های فسیلی در چین و هند، روبه فزونی است و در سال ۲۰۲۳ نسبت به سال ۲۰۲۲، حدود ۲ درصد افزایش و به ۵۳ گیگاتن کربن دی‌اکسید معادل رسیده است. بخش قابل‌ملاحظه‌ای از گازهای گلخانه‌ای را کربن دی‌اکسید (۷۴ درصد) و در رتبه‌های بعدی به‌ترتیب متان (۱۹ درصد)، نیتروز اکسید (۴/۷ درصد) و گازهای فلوئوردار (۲/۷ درصد) تشکیل می‌دهد (نمودار ۲).

لازم به ذکر است هر یک از گازهای گلخانه‌ای در سال ۲۰۲۳ نسب به سال ۱۹۰۰ به‌ترتیب کربن دی‌اکسید ۷۲ درصد، متان ۲۸/۲ درصد، نیتروز اکسید ۳۲/۴ درصد، و گازهای فلوئورینه چهار برابر یعنی ۲۹۴ درصد افزایش یافته است. روند انتشار جهانی گازهای گلخانه‌ای در فاصله زمانی ۲۰۲۱-۱۹۹۰ و همچنین سهم هر یک از بخش‌های اصلی انتشار دهنده در سال ۲۰۲۱ به‌ترتیب الکتریسیته یا نیروگاه‌های برق ۲۹ درصد، صنعت ۲۹ درصد، کشاورزی۲۰ درصد، حمل‌ونقل ۱۵ درصد، ساختمان ۷ درصد، در نمودار ۳ (سمت راست) ارایه شده است و بخش‌های صنعت و الکتریسیته با شتاب بیشتری رو به فزونی می‌باشد (نمودار ۳، سمت چپ)(۳).



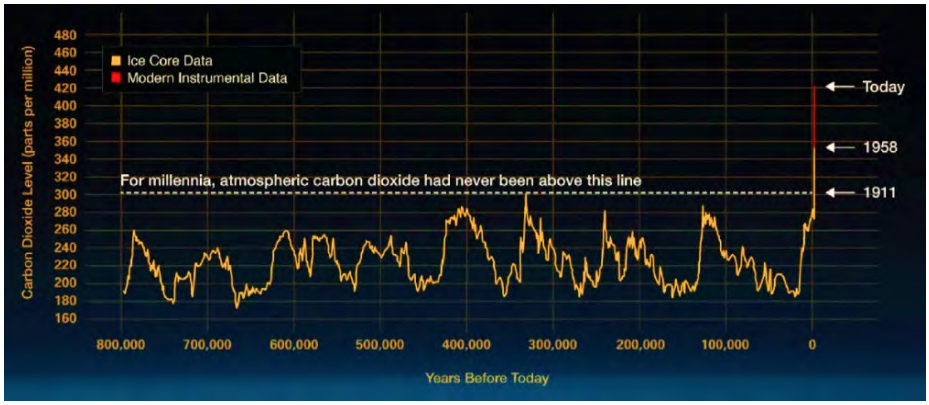
نمودار ۲: سهم هر یک از گازهای شش‌گانه[1] از گازهای گلخانه‌ای (۳).



نمودار ۳: سهم هر یک از بخش‌های الکتریسیته یا نیروگاه‌های برق، صنعت، کشاورزی، حمل‌ونقل و ساختمان (۳).

انتشار کربن دی‌اکسید در جهان

نرخ رشد انتشار کربن دی‌اکسید در جو از حدود سال ۱۸۵۰، همزمان با انقلاب صنعتی، شروع به تغییر می‌کند. این امر به‌دلیل انتشار مستقیم کربن دی‌اکسید از سوختن منابع انرژی فسیلی مانند نفت، زغال‌سنگ و چوب، و همچنین تأثیرات جنگل‌زدایی و تغییر کاربری زمین بوده است. در دوران پیشاصنعتی، غلظت کربن دی‌اکسید جو در حالت تعادل و در حدود ۲۸۰ قسمت در میلیون بوده، اما از آن زمان تاکنون باعث افزایش بی‌سابقه انتشارآن شده است، به‌طوری‌که غلظت کنونی آن در جو از ۴۲۰ قسمت در میلیون فراتر رفته است (نمودار ۴).



نمودار ۴: روند کربن دی‌اکسید در ۸۰۰۰۰۰ سال گذشته[۱] [۳].

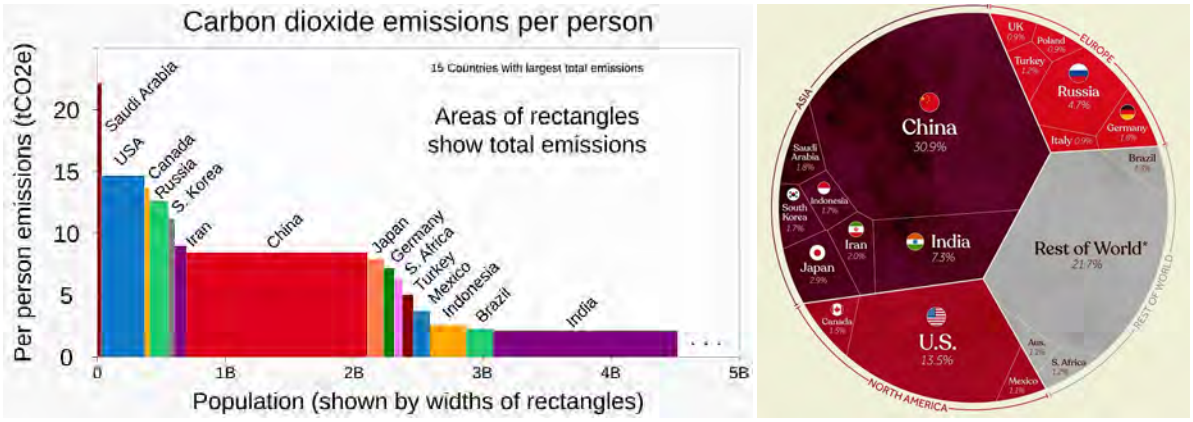
سهم کشورها و سهم سرانه پانزده کشور با بیشترین انتشار کربن دی‌اکسید در نمودار ۵ ارایه شده است. میزان انتشار کربن دی‌اکسید در سال ۲۰۲۴ حدود ۴۱/۶ میلیارد تن پیش‌بینی شده است، که نسبت به ۴۰/۶ میلیارد تن در سال گذشته یک میلیارد تن افزایش یافته است. براساس اطلس جهانی کربن، بزرگ‌ترین کشورهای آلاینده جهان چین، هند و آمریکا هستند که در سال ۲۰۲۱ سهم ۵۲ درصدی از انتشار کربن دی‌اکسید در جهان را داشتند و سهم هر یک به ترتیب ۳۰/۹، ۱۳/۵ و ۷/۳ درصد بوده است. این کشورها که بیشترین جمعیت را دارند، انتشار سرانه کربن دی‌اکسید آنها در آمریکا با ۱۵/۳۲ تن در رتبه اول و چین و هند به ترتیب با ۷/۴۴ و ۱/۸۹ تن در رتبه‌های بعدی قرار دارند. به لحاظ تاریخی، آمریکا بزرگ‌ترین انتشار دهنده کربن بوده و از زمان انقلاب صنعتی تاکنون ۴۲۲ میلیارد تن کربن دی‌اکسید به جو زمین منتشر کرده است. این مقدار معادل تقریباً یک‌چهارم کل کربن دی‌اکسید انتشار یافته از سوخت‌های فسیلی و فعالیت‌های صنعتی است. با توجه به جمعیت زیاد کشورهای چین و هند و این واقعیت که آنها در مسیر توسعه‌اند، پیش‌بینی می‌شود حتی انتشار کربن دی‌اکسید به بیش از مقادیر مذکور نیز افزایش یابد. به‌طوری‌که آژانس بین‌المللی انرژی[۲]

[۱] اندازه‌گیری روند کربن دی‌اکسید از طریق تحلیل هسته‌های یخی انجام می شود. دانشمندان با حفاری در یخ‌های ضخیم قطب جنوب به لایه‌های یخی می‌رسند که طی صدها هزار سال شکل گرفته‌اند و در آن‌ها حباب‌های هوا به دام افتاده‌اند. با جدا کردن این حباب‌ها، میزان کربن دی‌اکسید، متان و سایر گازها با استفاده از روش رادیوایزوتوپی و یا سایر روش ها اندازه‌گیری می شود.

[2] International Energy Agency (IAE)

پیش‌بینی کرده سهم هند از انتشار جهانی تا سال ۲۰۳۰ به ۱۰ درصد افزایش خواهد یافت. البته تولیدکنندگان اصلی کربن یعنی آمریکا، چین و هند برای کاهش انتشار کربن دی‌اکسید و دست‌یابی به کربن صفر به ترتیب سال ۲۰۵۰، ۲۰۶۰ و ۲۰۷۰ هدف گذاری و تعیین کردند.

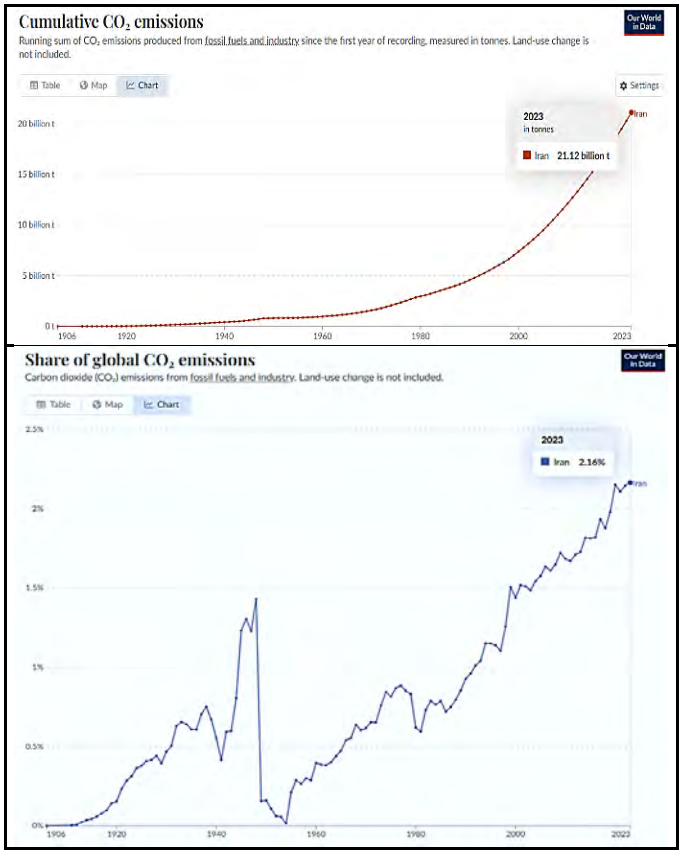
سهم کشورهایی از قبیل عربستان سعودی، روسیه، کانادا، کره جنوبی و ایران از انتشار کربن دی‌اکسید به ترتیب ۱/۸، ۴/۷، ۱/۵، ۱/۷ و ۲ درصد می‌باشد، اما براساس انتشار سرانه رتبه جهانی آنها از چین و هند بالاتر و به‌ترتیب در رتبه‌های اول، سوم، چهارم، پنجم و ششم قرار می‌گیرند.



نمودار ۵: سهم کشورهای مختلف از انتشار کربن در سال ۲۰۲۱ (سمت راست) و سهم سرانه پانزده کشور با بیشترین انتشار (سمت چپ) (۵، ۴).

انتشار کربن دی‌اکسید در ایران

سهم ایران از تولید و انتشار دی اکسیدکربن تا سال ۲۰۲۴، بیش از دو درصد و حدود ۲۱ میلیارد تن گزارش شده است (نمودار ۶). میزان انتشار فقط در سال ۲۰۲۳ حدود ۸۱۸ میلیون تن بوده که نسبت به دو دهه پیش یعنی ۲۰۰۳، دو برابر شده و سرانه انتشار حدود ۹ تن می‌باشد. ایران رتبه ششم را در جهان پس از چین، امریکا، هند، روسیه، و ژاپن در انتشار کربن دی اکسید دارد و در سرانه انتشار نیز با رتبه شش پس از عربستان سعودی، آمریکا، کانادا، روسیه و کره جنوبی قرار می‌گیرد.



نمودار ۶: مقدار و سهم ایران از انتشار کربن دی‌اکسید در جهان در سال ۱۹۰۶-۲۰۲۳ (سمت راست مقدار و سمت چپ درصد) (۶).

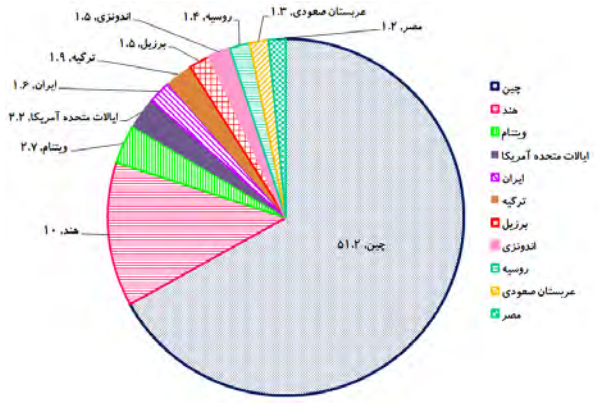
۱. میزان انتشار گاز کربن دی‌اکسید از مصرف گاز طبیعی در نیروگاه‌های تولید برق ایران

ایران با مصرف ۲۴۱/۱ میلیارد مترمکعب گاز طبیعی که معادل ۶ درصد کل مصرف جهان در سال ۲۰۲۱ است، به‌عنوان چهارمین مصرف‌کننده بزرگ گاز جهان در این سال شناخته شده است. تنها سه کشور آمریکا با مصرف ۲۰/۵ درصد ، روسیه با ۱۱/۸ درصد و چین با ۹/۴ درصد،

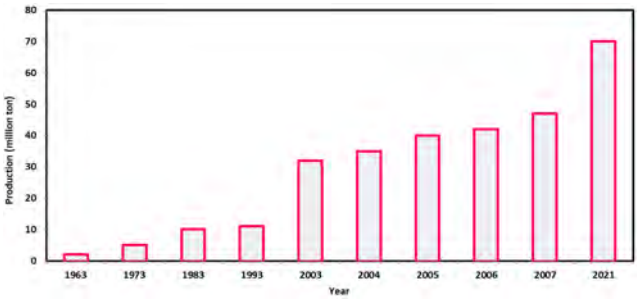
مصرف گاز بیشتری نسبت به ایران در سال ۲۰۲۱ داشته‌اند که وسعت و جمعیت هر کدام از آنها چندین برابر ایران می‌باشد. همچنین مصرف گاز طبیعی در ایران، حدوداً معادل نصف کل مصرف گاز طبیعی در قاره اروپا است. مصرف گاز در سال ۱۴۰۱ به حدود ۲۴۲ میلیارد متر مکعب و معادل مصرف روزانه ۶۶۳ میلیون متر مکعب بوده است (در فصل سرما حدود ۸۵۰ میلیون مترمکعب در روز است.). سهم گاز مصرفی در نیروگاه‌ها ۲۸ درصد و لذا حدود ۷۰ میلیارد مترمکعب در سال می‌باشد. نیروگاه‌های حرارتی در طول یکسال اخیر به‌طور متوسط روزانه یک میلیون مگاوات ساعت (یا یک میلیارد کیلووات ساعت) انرژی تولید کرده‌اند. با توجه به اینکه برای تولید هر کیلووات ساعت برق حرارتی ۳ متر مکعب گاز مصرف (بهره تبدیل گاز به برق در کشور حدود ۳۵ درصد است) و به عبارتی هر کیلووات ساعت برق حرارتی، نیم کیلو کربن دی‌اکسید تولید می‌کند، لذا برای تولید یک میلیارد کیلووات ساعت برق، ۵۰۰ میلیون کیلوگرم در روز (۵۰۰ هزار تن در روز) و در سال حدود ۱۸۰ میلیون تن کربن دی‌اکسید انتشار می‌یابد [۴].

۲. میزان انتشار گاز کربن دی‌اکسید از مصرف گاز طبیعی درصنعت سیمان

بر اساس آمارهای ارایه شده در رابطه با صنعت سیمان در جهان، در سال ۲۰۲۳ کشور چین بیش‌از نیمی از تولیدات سیمان (۵۱/۲ درصد) را به خود اختصاص داده است (نمودار۷). این کشور در سال گذشته ۲/۱ میلیارد تن سیمان تولید کرده است. پس از آن هند با میزان تولید ۴۱۰ میلیون تن سیمان، دومین رتبه را در میان تولیدکنندگان بزرگ کسب کرد. ایران با ظرفیت اسمی سالانه ۸۹ میلیون تن سیمان، در میان ۱۰ تولیدکننده برتر سیمان دنیا قرار دارد. ایران در سال ۱۴۰۲، ۷۱/۴ میلیون تن یعنی ۸۴ درصد از ظرفیت اسمی تولید داشته است. با توجه به اینکه تولید هر تن سیمان حدود ۰/۸ تا ۰/۹ تن انتشار کربن دی‌اکسید تولید می‌کند، لذا ایران در سال ۱۴۰۲ برای تولید ۷۱/۴ میلیون تن سیمان (نمودار ۸)، حدود ۷۰ میلیون تن کربن دی‌اکسید انتشار داده است. براساس گزارش رسمی مرکز پژوهش‌های مجلس، در تمامی شرکت‌های تولیدکننده سیمان حاشیه سود ناخالص فروش داخلی از حاشیه فروش صادراتی بیشتر است و به‌عبارتی صادرات سیمان در شرکت‌های مورد بررسی، صرفاً برای حفظ سطح تولید و درآمد شرکت و ایجاد درآمدهای ارزی انجام می‌شود [۵-۷].



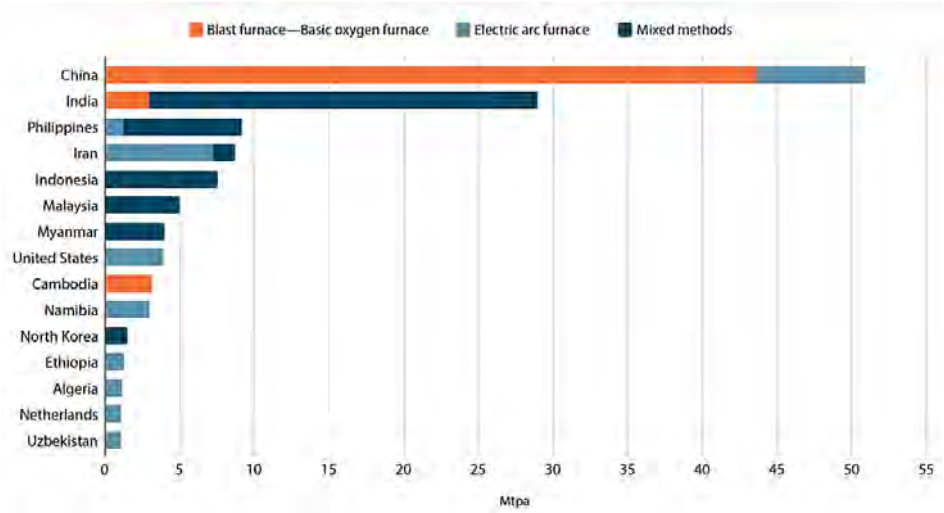
نمودار ۷: سهم کشورهای مختلف از جمله ایران در تولید سیمان (۷).



نمودار ۸: روند تولید سیمان در ایران ۲۰۲۱-۱۹۶۳[۴].

۳. میزان انتشار گاز کربن دی‌اکسید از مصرف گاز طبیعی در صنعت فولاد

سهم صنعت آهن و فولاد ۱۱ درصد از انتشار کربن دی‌اکسید جهانی است و برای همسویی با اهداف آب‌وهوایی باید این میزان به سرعت کاهش یابد. ظرفیت کارخانه‌های فولاد در سراسر جهان، برای کشورهای با تولید بیش‌از یک میلیون تن در سال در نمودار ۹ ارایه شده است. این کشورها سالیانه ۳ میلیارد تن کربن دی‌اکسید را که معادل ۹٪ جهانی است، انتشار می‌دهند. کشورهای چین و هند با فاصله زیادی از سایر کشورها رتبه‌های اول و دوم را دارند. ایران بعد از فیلیپین رتبه چهارم در تولید فولاد را دارد و میزان انتشار کربن دی‌اکسید ناشی از تولید فولاد، ۷ الی ۸ میلیون تن در سال می‌باشد (۸).



نمودار ۹: ظرفیت کارخانه‌های فولاد در سراسر جهان (کشورهای با تولید بیش‌از یک میلیون تن فولاد در سال) (۸).

ارزش اقتصادی کربن دی‌اکسید انتشار یافته در ایران و جهان

بیل گیتس [1] در سال ۲۰۲۱، میزان تولید گاز گلخانه‌ای کربن دی‌اکسید در جهان را بالغ بر ۵۱ میلیارد تن تخمین و ارزش اقتصادی آن را با بهای جهانی۱۰۰ دلار برای هر تن، برابر با ۵/۱ تریلیون دلار تقویم نموده است [۸]. لازم به ذکر است، گردش مالی سالیانه صنایع شیمیایی، پتروشیمیایی و دارویی در جهان معادل همین میزان یعنی حدود ۵ تریلیون دلار در سال می‌باشد[۴]. به‌عبارتی ارزش اقتصادی سالیانه کربن دی‌اکسید انتشار یافته با کل فروش محصولات شیمیایی، پتروشیمیایی و دارویی در جهان برابر است.

با یک محاسبه سرانگشتی نیروگاه‌های حرارتی تولید برق، صنعت سیمان و فولاد به ترتیب ۱۱۸، ۷۱/۴ و ۷ میلیون تن و جمعاً ۲۰ حدود ۲۰۰ میلیون تن کربن دی‌اکسید منتشر می‌کنند. لذا ارزش اقتصادی کربن دی‌اکسید انتشار یافته در سه بخش نیروگاه‌های حرارتی، سیمان و فولاد در ایران، براساس قیمت جهانی هر تن ۱۰۰ دلار، بالغ بر ۲۰ میلیارد دلار می‌باشد که تقریباً با کل صادرات فراورده‌های پتروشیمیایی در کشور برابری می‌کند (صادرات فراورده‌های پتروشیمیایی ۱۲ الی ۲۰ میلیارد دلار تخمین زده می‌شود) [۴]. لازم به ذکر است اگر قیمت هر تن سیمان در ایران به‌طور متوسط ۳۰ میلیون تومان و بهای کربن دی‌اکسید معادل یک صد دلار (ده میلیون تومان بر مبنای دلار یک صد هزار تومانی) فرض شود، ارزش اقتصادی کربن دی‌اکسید انتشار یافته از صنعت سیمان برابر با یک سوم ارزش اقتصادی سیمان تولید شده می‌باشد. با توجه به اینکه ایران حدود ۱۰ درصد از ذخایر نفت و ۱۸ درصد از گاز جهان دارد و بخش عمده‌ای از اقتصاد ایران مبتنی بر آنها می‌باشد. لذا توجه ویژه به اقتصاد کربن به‌دلیل محدودیت‌های که در آینده گریبانگیر ایران خواهد شد، ضروری است ضمن محور قرار دادن توسعه اقتصادی کشور مبتنی بر صنایع شیمیایی و پتروشیمیایی، با بهره‌گیری هوشمندانه از کربن دی‌اکسید و منابع طبیعی گاز و نفت که مهمترین مزیت رقابتی برای کشور در عرصه رقابت بین‌المللی محسوب می‌شود، جایگاه تولید ناخالص ملی را ارتقا دهد.

شیوه‌های مدیریت در کاهش انتشار کربن دی‌اکسید

بدیهی است علاوه‌بر ارزش اقتصادی گاز کربن دی‌اکسید، کلیه کشورها به‌دلیل مسئولیت‌های اخلاقی، اجتماعی، سیاسی و الزامات قانونی برای جلوگیری از عواقب مسائل محیطزیستی و تغییرات آب‌وهوایی ناشی‌از گازهای گلخانه‌ای که بخش عمده‌ای از آن را کربن دی‌اکسید تشکیل می‌دهد، موظفند انتشار کربن دی‌اکسید را کاهش دهند. به‌طوری‌که در اغلب کشورها پیش‌بینی شده است، میزان انتشار کربن دی‌اکسید در سال ۲۰۵۰ به‌سمت صفر کاهش یابد. لذا برای دست‌یابی به کربن صفر، انواع شیوه‌ها طراحی و در حال اجرا می‌باشد. به‌طور کلی سیاست‌های کاهش انتشار متشکل از نظارتی، اقتصادی و مشوقی دسته‌بندی می‌شود. ابزارهای اقتصادی از همه کارآمدتر هستند که مهم‌ترین سیاست آن قیمت‌گذاری کربن است. مشوق‌های کاهش

[1] Bill Gates

انتشار کربن و کاهش یارانه سوخت‌های فسیلی هم سیاست‌های مؤثر بعدی هستند؛ حدود ۶۰ درصد اقتصاد دنیا اکنون قیمت‌گذاری کربن شده است. بازارهای کربن یکی از بزرگ‌ترین ابزارها علیه تغییرات اقلیم محسوب می‌شوند و حجم تجارت در این بازارها در سال گذشته ۱۶۴درصد رشد داشته و به ۸۹۷ میلیارد دلار رسیده است. ایران در زمینه کربن نه‌تنها قیمت‌گذاری نکرده بلکه مالیاتی هم در نظر نگرفته است.

۱. الزامات قانونی و توافقنامه پاریس[1]

در سال ۲۰۱۵، یکصد و نود و شش کشور توافقنامه پاریس را در کنفرانس تغییرات آب‌وهوایی سازمان ملل متحد در پاریس امضا کردند؛ نتیجه این توافقنامه به یک معاهده اقدام اقلیمی الزام‌آور و قانونی تبدیل شد (۹). ازآن زمان، کشورهای سرتاسر جهان اقداماتی را برای محدود کردن افزایش میانگین دمای جهانی به کمتر از ۲ درجه سانتی‌گراد بالاتر از سطح قبل از صنعتی‌شدن و در حالت ایده‌آل زیر یک‌ونیم درجه سانتی‌گراد اندیشیدند. محدود کردن گرمایش جهانی به ۱/۵ درجه سانتی‌گراد، مستلزم کاهش ۴۳ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۳۰ می‌باشد. لذا، تمرکز اصلی بر کاهش انتشار و کربن‌زدایی در سطح جهانی است و پیش‌بینی شده تا سال ۲۰۵۰ به کربن صفر دست یافت. به‌طوری‌که سرمایه‌گذاری جهانی در افزایش انرژی‌های تجدیدپذیر از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ توسط کشورهای مختلف به جد دنبال می‌شود و چین (۷۵۸ میلیارد دلار)، آمریکا (۳۵۶ میلیارد دلار)، ژاپن (۲۰۲ میلیارد دلار)، آلمان (۱۷۹ میلیارد دلار) و انگلیس (۱۲۲ میلیارد دلار)، پیشتاز مسابقه کاهش کربن هستند. ایران در بین ۱۰ کشور با بالاترین سهم در انتشار کربن را دارد و بر اساس آمارهای سال ۲۰۱۹، ۱۰ کشور چین، آمریکا، هند، روسیه، ژاپن، آلمان، کره جنوبی، ایران، کانادا و عربستان سعودی بیشترین میزان انتشار کربن را داشتند و این آمار نشان می‌دهد ایران در مسیر کربن زدایی چندان موفق نبوده است. راهبردهای مختلفی برای دستیابی به هدف توافقنامه پاریس ارایه شده است: الف–محدود کردن و کاهش انتشار کربن دی اکسید و سایر گازهای گلخانه‌ای که با اقداماتی از قبیل استفاده از سوخت‌های پایدار، فناوری باتری، فناوری‌های خورشیدی و گرمایشی فراهم می‌شود. ب–جذب انتشار کربن دی‌اکسید ناشی از احتراق از طریق فناوری‌های جذب کربن دی اکسید که در حال حاضر، جذب کربن دی‌اکسید در مقیاس نسبتاً کمی انجام می‌شود. به‌طوری‌که در سال ۲۰۲۲، در جهان ۳۷ گیگاتن کربن دی‌اکسید منتشر شده و فقط ۴۶ مگاتن آن از طریق جذب و ذخیره‌سازی کاهش یافته که کمتر از ۰/۱ درصد است. برای سال ۲۰۳۰، آژانس بین‌المللی انرژی انتظار دارد، انتشار کربن دی‌اکسید به ۲۴ گیگاتن کاهش یابد درصورتی‌که ظرفیت کلی جذب (شامل پروژه‌های عملیاتی در حال ساخت و برنامه‌ریزی شده) ۳۲۱ مگاتن می‌باشد که معادل ۱/۳ درصد در برنامه کاهش انتشار می‌باشد. گرچه این میزان از کاهش، پیشرفت قابل‌توجهی در ظرفیت جذب نسبت به سال ۲۰۲۲ محسوب می‌شود، اما همچنان سهم بسیار کوچکی از کاهش کربن دی‌اکسید در مقایسه با کل انتشار می‌باشد. و ج– جذب کربن دی‌اکسید و سایر گازهای گلخانه‌ای از جو که به آن جذب مستقیم از هوا نیز گفته می‌شود. بدیهی است برای دست‌یابی به سطح کربن صفر، استفاده ترکیبی از هر سه روش، ضروری است. لازم به ذکر است، ایران عضویت در پیمان کیوتو[2-3] در سال ۱۳۸۴ و برنامه مشارکت ملی[4] در زمینه کاهش انتشار گازهای گلخانه ای را پذیرفته و براساس آنها تعهدات کشـــور کاهش ۴ درصدی (مشروط به رفع تمام تحریم‌های بین‌المللی) با تأمین سرمایه‌گذاری مورد نیاز از منابع بین‌المللی است. درضمن دولت ایران توافقنامه پاریس را تأیید (هیئت وزیران ایران این توافق را درسال ۲۰۱۶ تأیید کردند.)، اما تاکنون در مجلس به تصویب نرسیده است. همچنین در مذاکرات بین‌المللی آب‌وهوا، ایران عضو گروه جی–۷۷[5] و گروه همفکر کشورهای درحال‌توسعه[6] می‌باشد (۱۰،۱۱).

۲. مالیات کربن[7]

مالیات کربن ابزار جدیدی است که اتحادیه اروپا با ایجاد محدودیت‌های تجاری وضع کرده است. به‌طوری‌که این اتحادیه، از ابتدای سال ۲۰۲۶ میلادی، براساس میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، کالاها در فرآیند تولید، مشمول پرداخت مالیات کربن خواهند شد. این

[1] The Paris Agreement
[2] Kyoto Protocol
[3] پیمان کیوتو به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، که عامل اصلی گرم‌شدن زمین است، کشورهای صنعتی در سال ۱۹۷۷ متعهد شدند ظرف ده سال آینده میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را ۵ درصد کاهش دهند.
[4] G77
[5] Intended Nationally Determined Contribution (INDC)
[6] Like-Minded Group of Developing Countries (LMDC)
[7] carbon tax

مالیات در راستای برنامه اروپا برای کاهش ۵۵ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۳۰ میلادی در مقایسه با سال ۱۹۹۰ در دستورکار قرار گرفته است. براساس قانونی که پارلمان اروپا تصویب کرده است، چند قلم کالا برای ورود به خاک این قاره باید گواهی کربن عرضه کنند و چنانچه از میزان استاندارد تعیین‌شده بیشتر باشد، باید مبلغی به‌عنوان جریمه و مالیات پرداخت کنند. اگرچه اروپا سردمدار این کار به‌شمار می‌رود؛ اما شواهد حاکی است که بقیه مناطق جهان نیز به این‌سو در حرکت‌اند. اتحادیه اروپا از وضع این مالیات، دو هدف را دنبال می‌کند؛ در ابتدا این مالیات به افزایش رقابت‌پذیری صنایع داخلی اتحادیه اروپا در کاهش کربن منجر می‌شود و در وهله دوم تقویت تجارت با کشورهایی که سیاست‌های کربن‌زدایی مشابه اتحادیه اروپا دارند را درپی خواهد داشت. ایران از نظر مقدار انتشار کربن در رتبه نهم و از نظر سرانه انتشار در رتبه ششم جهان قرار می‌گیرد. حال اگر همین ارزیابی به ازای هر دلار تولید ناخالص داخلی محاسبه شود، ایران به رتبه اول انتشار در جهان صعود می‌کند که اصلا رتبه خوبی نیست و جهان در آینده با آن کنار نخواهد آمد و در روابط تجاری و بین‌المللی با مشکل مواجه خواهد شد.

۳. اعتبار کربن[1]

اعتبار کربن عبارتست از هر نوع مجوز یا گواهی قابل‌معامله برای خروج یک تن کربن دی‌اکسیدیا هر نوع گاز گلخانه‌ای دیگر که حجمی معادل یک تن کربن دی‌اکسیددارد. به عبارتی اعتبار کربن به یک کشور یا سازمان اجازه می‌دهد مقدار معینی انتشار کربن داشته باشد و اگر کل سهمیه استفاده نشود، این اعتبار می‌تواند معامله شود. فعالیت‌هایی که نمی‌توانند بدون انتشار کربن دی‌اکسیدانجام شوند، یکی از شیوه‌ها استفاده از اعتبار کربنی است. به‌طوری‌که اگر یک واحد صنعتی نتواند انتشار کربن دی‌اکسیدخود را متوقف کند، در عوض می‌تواند از واحد دیگری بخواهد انتشار کربن خود را کاهش دهد تا در مجموع، مقدار کربن موجود در جو کاهش یابد. لذا، شرکت‌ها با پرداخت هزینه به دیگران برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای یا جذب کربن، می‌توانند اثرات تخریب زیست‌محیطی خود را جبران کنند. سه نوع اعتبار کربنی تعریف شده است. الف-کاهش انتشار (معمولاً از طریق افزایش بهره‌وری فرایند، جذب، ذخیره‌سازی و استفاده در تولید سایر مواد شیمیایی و صنعتی مورد نیاز جامعه)، ب-حذف انتشار (مانند جذب کربن و کاشت جنگل‌ها) و ج-اجتناب از انتشار (مثلاً خودداری از قطع درختان جنگل‌ها). به عبارتی اعتبارات کربن از طریق جنگل‌کاری، انرژی‌های تجدیدپذیر، جذب و ذخیره کربن، جمع‌آوری متان و خرید از بازارهای معاملاتی اعتبارات کربن به‌دست می‌آیند.

۴. تجارت کربن[2]

طی سالیان اخیر تجارت انتشـــار گازهای گلخانه‌ای پاسخ مدیریتی و سیاستی کارآمد به تغییرات اقلیمی بوده که در سطح جهان مورد توجه قرار گرفته است. قیمت‌گذاری کربن، روشی است که در آن بر آلودگی‌های ناشی از کربن هزینه اعمال می‌شود تا صنایع آلاینده به کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای ترغیب شوند [۹].

۵. سیاست‌های تشویقی

ارایه مشوق‌های اقتصادی در کاهش مصرف انرژی و بالطبع کاهش تولید کربن دی‌اکسید، استفاده از انرژی خورشیدی، عایق‌کاری ساختمان ها، جنگل کاری، و ... بسیار مؤثر خواهند بود.

۶. هزینه‌های اجتماعی کربن دی‌اکسید

هزینه اجتماعی کربن‌دی‌اکسید[3] ارزش پولی خسارات تحمیل‌شده به جامعه ناشی از انتشار هر تن اضافی از کربن دی‌اکسید اندازه‌گیری و سنجش می‌شود و شاخص کلیدی برای سیاست‌های اقلیمی محسوب می‌شود. این شاخص بیش از یک دهه است توسط دولت‌ها و سایر تصمیم‌گیرندگان در تحلیل هزینه-فایده استفاده می‌شود و برمبنای علوم اقلیمی، اقتصاد، جمعیت‌شناسی و دیگر رشته‌ها برآورد می‌شود. برآورد میانگین ترجیحی برای هزینه اجتماعی کربن دی‌اکسیدبرابر با ۱۸۵ دلار به‌ازای هر تن کربن دی‌اکسید محاسبه می‌شود [۱۰]. آلودگی هوا دومین عامل اصلی مرگ‌ومیر در سراسر جهان است. برای حفظ سلامت عمومی، به‌روزرسانی استانداردهای کیفیت هوا، بهره‌گیری از ابزارهای پیشرفته و ایجاد شبکه‌های همکاری ضروری است تا ارزیابی کیفیت هوا متناسب با نیازهای قرن بیست‌ویکم انجام شود. یکی از چالش‌های اصلی به‌روزرسانی شاخص کیفیت هوا[4] است. این شاخص که توسط آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده توسعه یافته، معیار جهانی کلیدی برای اطلاع‌رسانی در مورد کیفیت هوا محسوب می‌شود. اما متأسفانه تعداد محدودی از آلاینده‌ها را شامل و هزاران ترکیب آلی فرار و دیگر سموم که در جو شناسایی شده‌اند

[1] carbon credit
[2] carbon trade
[3] The social cost of carbon dioxide ($SC\text{-}CO_2$)
[4] The Air Quality Index (AQI)

را شامل نمی‌شود. به‌عنوان نمونه، در آتش‌سوزی سال ۲۰۲۵ لس‌آنجلس در کالیفرنیا، قرائت‌های شاخص کیفیت هوا، کیفیت هوا را در وضعیت خوب نشان می‌دادند، زیرا دود مرئی به‌سمت دریا حرکت کرده بود و این شاخص به‌طور گمراه‌کننده‌ای نشان می‌داد که هوا ایمن است، درحالی‌که سموم نامرئی همچنان در حال انتشار بودند. در شکل کنونی، شاخص کیفیت هوا نمی‌تواند به‌درستی خطرات ناشی از سموم منتشرشده در چنین آتش‌سوزی‌های شهری را نشان دهد. انتظار می‌رود با یکپارچه‌سازی داده‌های هواشناسی، داده‌های سلامت، سیستم‌های زیست‌شناسی محاسباتی و هوش مصنوعی در یک سامانه نقشه‌برداری جهانی، مبانی اولیه تعیین و ناهنجاری‌ها شناسایی و ترکیبات آلاینده‌ای که خطرات جدی برای سلامت دارند را مشخص کرد [۱۱].

اصلاح فرایندهای صنعتی در کاهش کربن دی‌اکسید در ایران

صنعت برق یکی از بزرگترین مصرف‌کننده گاز طبیعی در کشور محسوب می‌شود و با افزایش بهره‌وری در نیروگاه‌های حرارتی می‌توان میزان انتشارکربن دی‌اکسید را کاهش داد. درحال حاضر نیروگاه‌ها از ۷۵ درصد سوخت گاز، ۲۰ درصد گازوئیل و نزدیک به ۵ درصد از مازوت استفاده می‌کنند. به‌طوری‌که ۹۵ درصد تولید برق نیروگاه‌ها با سوخت گاز تأمین می‌شود. میزان گاز مصرفی نیروگاه‌ها در شرایط فعلی ۲۶۰ میلیون مترمکعب در روز می‌باشد. از ابتدای سال ۱۴۰۰ تا ۲۳ مهر سال ۱۴۰۰، ۳۶ درصد از ۶۷۳ میلیون متر مکعب گاز مصرف‌شده در کشور در واحدهای تولید برق بوده است. از سال ۹۵ به بعد سالانه بیش‌از ۶۰ میلیارد مترمکعب گاز طبیعی در بخش نیروگاهی مصرف شده که در سال ۱۴۰۰ این مقدار به ۷۱ میلیارد مترمکعب افزایش یافته است.

لازم به ذکر است ظرفیت قابل‌توجهی از نیروگاه‌های گازی با متوسط راندمان ۳۵ درصد قابل تبدیل به سیکل ترکیبی‌اند که با اجرایی شدن آن، راندمان نهایی نیروگاه‌های سیکل ترکیبی به حدود ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت. با توجه به عدم‌نیاز واحدهای سیکل ترکیبی به مصرف سوخت اضافی، احداث این واحدها سالانه ۱۲ میلیارد مترمکعب صرفه‌جویی در مصرف گاز و منجر به کاهش ۱۲/۶ میلیون تن کربن دی‌اکسید خواهد شد. بدیهی است زمینه برای افزایش بهره‌وری به‌منظور صرف‌جویی در مصرف گاز طبیعی و کاهش انتشار کربن دی‌اکسید در صنعت سیمان و فولاد نیز وجود دارد.

کاربردهای کربن دی‌اکسید

کربن دی‌اکسید یک ترکیب شیمیایی ارزشمند است و کاربردهای متنوع و متعددی دارد (۱۴-۱۲). فناوری برخی از کاربردهای کربن دی‌اکسید در دسترس هستند، اما هنوز پرهزینه می‌باشند، مانند تولید سوخت‌های مصنوعی (سنتزی)و انرژی‌های تجدیدپذیر (مثل تولید متانول و اتانول از کربن دی‌اکسید و...). برخی کاربردهای کربن دی‌اکسید در سطوح اولیه آمادگی فناوری قرار دارند، مانند استفاده از آن در کشت جلبک‌ها. برخی دیگر مانند استفاده از کربن دی اکسید در تولید بلوک های ساختاری ترکیبات شیمیایی[۱۴-۱۲]، ازدیاد برداشت نفت و گاز [۱۵]. و ذخیره‌سازی آن برای طولانی‌مدت از طریق ذخیره‌سازی زمین‌شناختی که فناوری آنها به مرحله بلوغ رسیده‌اند [۱۶،۱۷]. به‌طوری‌که در سطح جهانی، سالانه حدود ۲۳۰ میلیون تن از آن مورد استفاده قرار می‌گیرد و بزرگ‌ترین مصرف‌کننده، صنعت کودهای شیمیایی است که۱۳۰ میلیون تن برای تولید اوره

شکل ۱: کاربردهای کربن دی‌اکسید به‌طور مستقیم یا طی تبدیلات شیمیایی

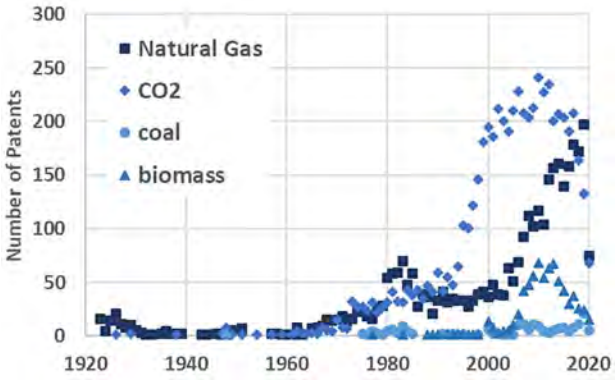
استفاده می‌شود. پس‌از آن، صنعت نفت و گاز است که ۷۰ تا ۸۰ میلیون تن برای ازدیاد برداشت نفت مصرف می‌شود. برخی دیگر از کاربردهای تجاری فناوری‌ها شامل تولید مواد غذایی و نوشیدنی، ساخت فلزات، سیستم‌های خنک‌کننده، مهار آتش و تحریک رشد گیاهان در گلخانه‌ها است که اغلب از آن به‌طور مستقیم استفاده می‌شود (شکل ۱).سرمایه گذاری در حوزه پژوهش و فناوری در جهت استفاده از کربن دی‌اکسید به‌عنوان یکی از مواد پایه پتروشیمی و همچنین تدوین نقشه راه کربن دی‌اکسید همانند کشور چین از جمله مسائل مهمی می‌باشند که باید در اولویت قرار گیرد [۲۰-۱۸].

کاربرد راهبردی کربن دی‌اکسید در مرزهای دانش

از جمله روش‌های نوین، تبدیل کربن دی‌اکسید به سوخت‌ها، مواد شیمیایی و مصالح ساختمانی است که مورد توجه روزافزون دولت‌ها، صنعت و مراکز تحقیقاتی قرار گرفته، اما اکثر آنها هنوز در مراحل اولیه توسعه بوده و توجیه اقتصادی ندارند. فرایندهای تولید سوخت و مواد شیمیایی مبتنی بر کربن دی‌اکسید از نظر انرژی پرمصرف است، اما مسیرهای کم‌هزینه‌تر شامل واکنش کربن دی‌اکسید با مواد معدنی یا پسماندهایی مانند سرباره آهن است که منجر به تشکیل کربنات‌ها برای مصالح ساختمانی است. در میان روش‌های نوین تبدیل کربن دی‌اکسید به مواد با ارزش افزوده بالا، تولید متانول و اتانول بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. متانول خوراک طیف وسیعی از مواد شیمیایی از قبیل اسید استیک، الفین‌ها، وینیل استات، اتیل استات، اتانول، اتیلن گلیکول و الکل‌های سنگین‌تر می‌باشد. البته ضروری است برای این فرآیندها، کاتالیزورهای مؤثرتری با گزینش‌پذیری بالاتری نسبت به الفین‌های ارائه و معرفی شود. علاوه‌بر این، از کربن دی‌اکسید در تولید پلیمرهایی مانند پلی‌یورتان‌ها و پلی‌کربنات‌ها نیز استفاده می‌شود. بازارهای با ارزش بالا، از جمله مواد ساختمانی (جایگزین شیشه، فولاد و سیمان در برخی موارد)، کامپوزیت‌های مورد استفاده در صنایع هوافضا، قطعات الکترونیکی، الکترولیت‌های باتری، مواد حسگر و تشخیصی، از جمله کاربردهای بالقوه این مواد هستند. کاتالیزورهای جدید نه‌تنها می‌توانند بهره‌وری تولید را افزایش دهند، بلکه تعداد محصولات جدیدی که می‌توان تولید کرد را نیز افزایش خواهند داد.

۱. تبدیل کربن دی اکسید به متانول

برای تولید صنعتی متانول از زغال سنگ، زیست توده و گاز طبیعی استفاده می‌شود. برای تبدیل گاز طبیعی به گاز سنتز، از یک عامل اکسیدکننده قوی مانند اکسیژن یا یک عامل ضعیف‌تر مانند بخار آب استفاده می‌شود. هر یک از این رویکردها مزایا و معایب خاص خود را دارند. در فرآیند ریفرمینگ خشک از کربن دی‌اکسید به‌عنوان عامل اکسیدکننده گاز طبیعی استفاده می‌شود. در طی این فرآیند، اکسیدشده‌ترین شکل کربن، یعنی کربن دی‌اکسید، با کاهش‌یافته‌ترین شکل آن، یعنی متان، واکنش داده و گاز سنتز را به‌دست می‌دهد. از نظر ترمودینامیکی، واکنش ریفرمینگ خشک در مقایسه با دو واکنش دیگر چندان مطلوب نیست. علاوه‌بر مانع ترمودینامیکی که چالشی بزرگ محسوب می‌شود، این فرآیند به یک منبع خالص و پایدار از کربن دی‌اکسید نیاز دارد که خوشبختانه در کشور قابل‌دسترس است. با استفاده از سیستم‌های کاتالیستی، امکان کاهش انرژی مصرفی این فرآیند و نزدیک‌تر شدن آن به یک فرآیند اقتصادی وجود دارد. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، تعداد اختراعات ثبت‌شده در زمینه تولید متانول از خوراک‌هایی مانند گاز طبیعی، کربن دی‌اکسید ، زغال‌سنگ و زیست‌توده، در مورد کربن دی‌اکسید بیشترین مقدار را دارد که این امر نشان‌دهنده اهمیت این حوزه و پیشرو بودن آن در مرزهای دانش و فناوری است [۲۱،۲۲].



شکل ۲: توزیع اختراعات بر حسب نوع خوراک در تولید متانول [۲۲].

۲. تبدیل کربن دی‌اکسید به اتانول

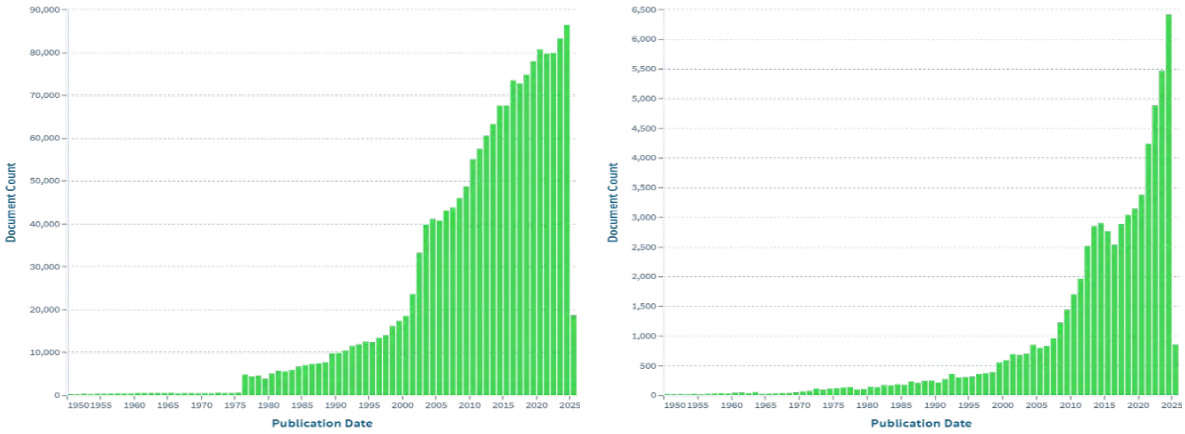
هیدروژناسیون کربن دی‌اکسید و تبدیل آن به مواد شیمیایی با ارزش افزوده بالا با استفاده از هیدروژنی که از طریق فوتوالکترولیز آب تأمین می‌شود، روشی امیدوارکننده در کاهش انتشار کربن است. اخیراً، هیدروژناسیون کربن دی‌اکسید در تبدیل به فراورده‌هایی مانند سوخت‌های مایع، الفین‌های سبک و مواد آروماتیک، به‌طور گسترده مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است. کماکان چالش‌های این فرایند کاتالیستی، بازده پایین و انتخاب‌پذیری محصول مورد نظر با ارزش افزوده بالاست. اتانول، به‌عنوان یک ماده شیمیایی پرکاربرد که ارتباط نزدیکی با زندگی روزمره دارد، عمدتاً از طریق تخمیر زیست‌توده

سلولزی یا آبدار شدن[1] اتیلن حاصل از سوخت‌های فسیلی تولید می‌شود. با توجه به تقاضای بالای زیست‌توده سلولزی برای تأمین غذا و کاهش منابع غیرقابل‌تجدید (مانند زغال‌سنگ و نفت خام)، جستجوی یک راهبرد جایگزین برای سنتز اتانول امری بسیار ضروری است. هیدروژناسیون کربن دی‌اکسید به اتانول توجه زیادی را به خود جلب کرده است، زیرا این روش می‌تواند همزمان گاز گلخانه‌ای کربن دی‌اکسید را حذف و مواد شیمیایی با ارزش افزوده بالا به‌دست دهد [۲۳].

جایگاه ایران و جهان در انتشار مقاله و ثبت اختراع در حوزه کربن دی‌اکسید

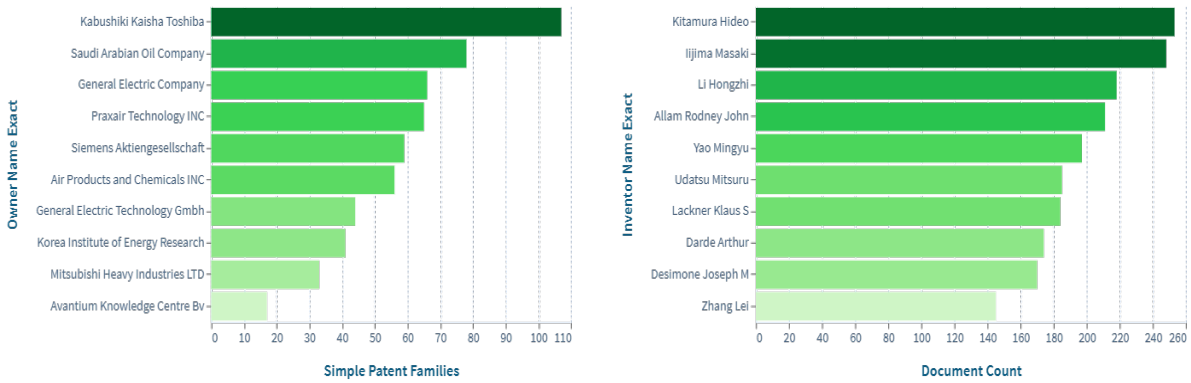
۱. اختراع

تعداد اختراع ثبت‌شده در جهان،[2] با کلید واژه «کربن دی‌اکسید»[3] بالغ بر یک میلیون و هفت صد هزار می‌باشد که در دو دهه اخیر با شتاب تندتر و به‌طور نمایی رشد داشته است (نمودار ۱۰، سمت چپ). با محدود کردن بررسی به «عنوان»[4]، تعداد اختراع به حدود



نمودار ۱۰: اختراعات ثبت‌شده با کلیدواژه کربن دی‌اکسید در هر جای اختراع (سمت چپ) و عنوان (سمت راست) اختراع ۲۰۲۵-۱۹۵۰

۶۷ هزار کاهش می‌یابد (نمودار۱۰، سمت راست). لازم به ذکر است، با مالکیت ایران اختراعی در مورد کربن دی‌اکسید به ثبت نرسیده است. با توجه به اینکه استفاده ازکربن دی‌اکسید از جنبه اقتصادی بسیار حائز اهمیت است، تعداد اختراعات ثبت شده با کلید واژه «کربن دی‌اکسید+کاربرد»[5] و «کربن دی‌اکسید+ تثبیت»[6] در عنوان، به ترتیب به ۲۰۹۳ و ۳۲۱ می‌باشد. در نمودار ۱۱، ده شرکت با بیشترین مالکیت ثبت اختراع (سمت چپ) که ۹۰ درصد آنها شرکت‌های صنعتی و فقط یک مورد مرکز تحقیقاتی است (مرکز تحقیقات انرژی کره) و همچنین ده مخترع با بیشترین ثبت اختراع (سمت راست) ارایه شده است.



نمودار ۱۱: ده شرکت و مخترع به ترتیب با بیشترین مالکیت (سمت چپ) و اختراع (سمت راست) ۲۰۲۵-۱۹۵۰

[1] hydration

[2] این بررسی در سامانه اختراعات lens.org که دانش جهانی علم و فناوری را در لینک https://www.lens.org/ کاوش می کند انجام شده است.

[3] carbon dioxide

[4] Title

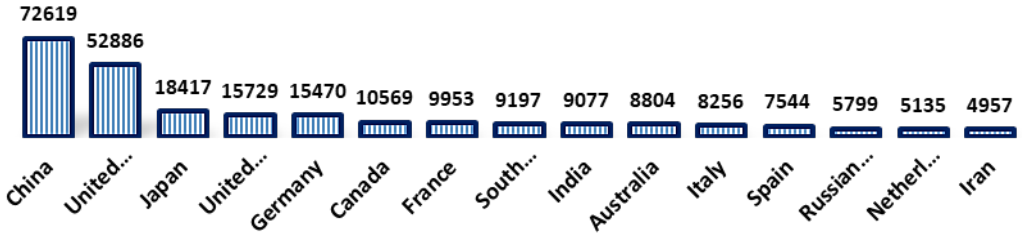
[5] carbon dioxide+applications

[6] carbon dioxide+fixation

۲. اسناد علمی

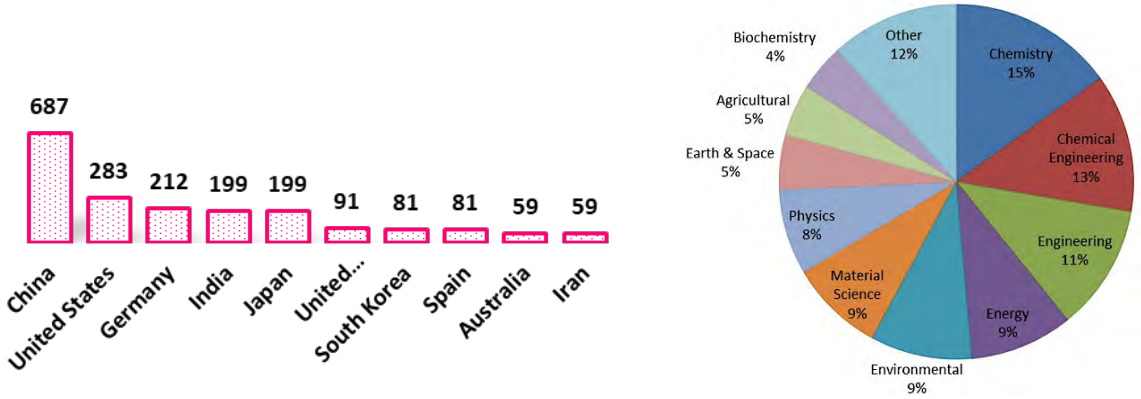
تعداد اسناد علمی (مقالات و...)[1] منتشر شده در جهان با کلیدواژه «کربن دی‌اکسید یا CO_2»[2] در عنوان، بالغ بر دویست و هفتاد و یک هزار است که بیش از ۸۰ درصد آنها را مقالات تشکیل می‌دهد. آمریکا، چین و ژاپن به‌ترتیب رتبه اول تا سوم و ایران با ۴۹۵۷ سند علمی که بیش از ۴۵۰۰ مورد آن مقاله است رتبه پانزدهم را دارد (نمودار ۱۲).

در ضمن میان بیست نویسنده برتر که هریک بیش از ۱۳۵ سند علمی در عنوان با کلیدواژه کربن دی‌اکسید یا CO_2 منتشر کرده، نویسنده‌ای از ایران مشاهده نمی‌شود. در ضمن بررسی با کلید واژه «کربن دی‌اکسید» در عنوان، چکیده و کلیدواژه تعداد اسناد در جهان بیش از ۶۵۰ هزار و ایران با حدود ده هزار وچهار صد سند رتبه هفدهم را دارد.



نمودار ۱۲: پانزده کشور با بیشترین اسناد علمی منتشر شده در مورد کربن دی‌اکسید در عنوان

یکی از حوزه های مهم مهار کربن دی‌اکسید طی فرایند تثبیت[3] است. بررسی با کلید واژه «تثبیت CO_2»[4] در عنوان، نشان می‌دهد بیش از دو هزار و یکصد مقاله در جهان به چاپ رسیده که کشورهای چین، آمریکا و آلمان به‌ترتیب رتبه‌های اول تا سوم را دارند (نمودار ۱۳، سمت چپ) و توزیع موضوعی آنها به‌ترتیب شیمی، مهندسی شیمی، بیوشیمی، محیط‌زیست، کشاورزی، علوم مواد، انرژی و... می‌باشد (نمودار ۱۳، سمت راست). ایران با چاپ ۵۹ مقاله که از این تعداد ۵۰ مقاله تحقیقی و ۶ مقاله مروری است،



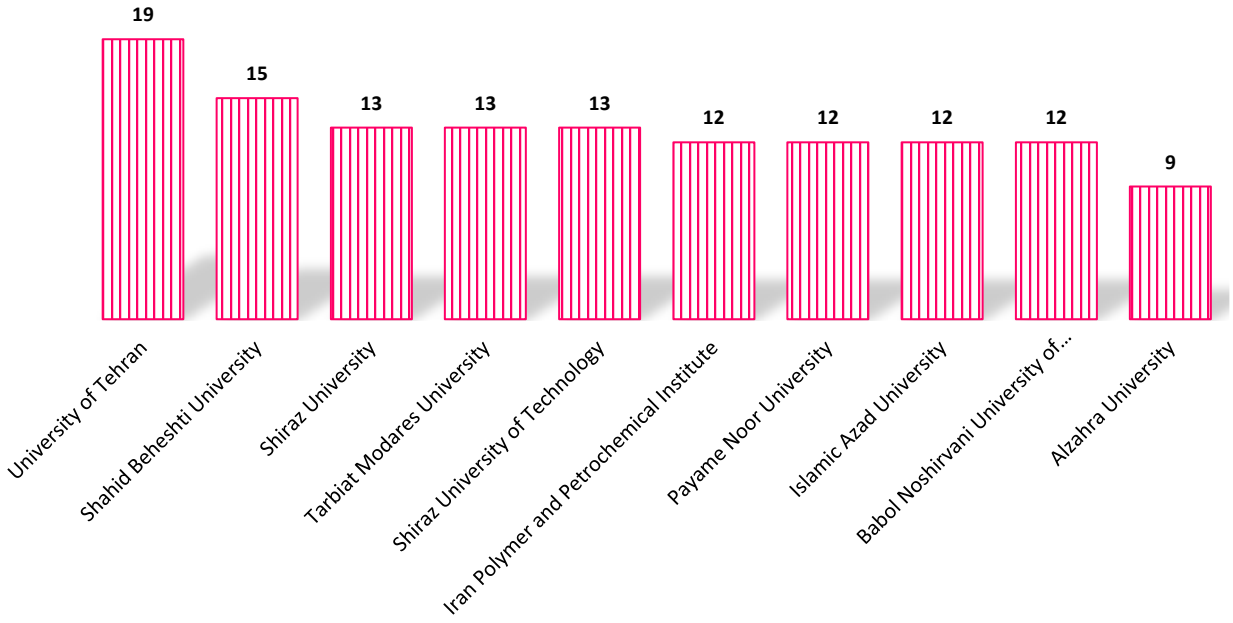
نمودار ۱۳: ده کشو برتر در انتشار اسناد علمی (عنوان، چکیده و کلیدواژه) در زمینه تثبیت کربن (سمت چپ) و توزیع موضوعی آنها (سمت راست)

رتبه دهم را دارد. توزیع موضوعی مقالات ایرانی شامل ۳۲ درصد شیمی، ۲۳ درصد مهندسی شیمی و ۱۶ درصد را علوم مواد تشکیل می‌دهد. همین بررسی در عنوان، چکیده و کلیدواژه نشان می‌دهد در جهان ۱۴۴۱۸ و در ایران ۱۷۷ سند علمی (۱۴۳ مقاله، ۲۳ مقاله مروری و ۶ فصلی از کتاب) منتشر شده و رتبه ایران نوزدهم می‌باشد. توزیع موضوعی اسناد ایرانی شامل ۲۱ درصد مهندسی شیمی، ۲۰ درصد شیمی، ۱۶ درصد محیط‌زیست، ۱۰ درصد مواد، ۷ درصد مهندسی، ۵ درصد انرژی، بیوشیمی، کشاورزی و فیزیک هر کدام حدود ۴ درصد

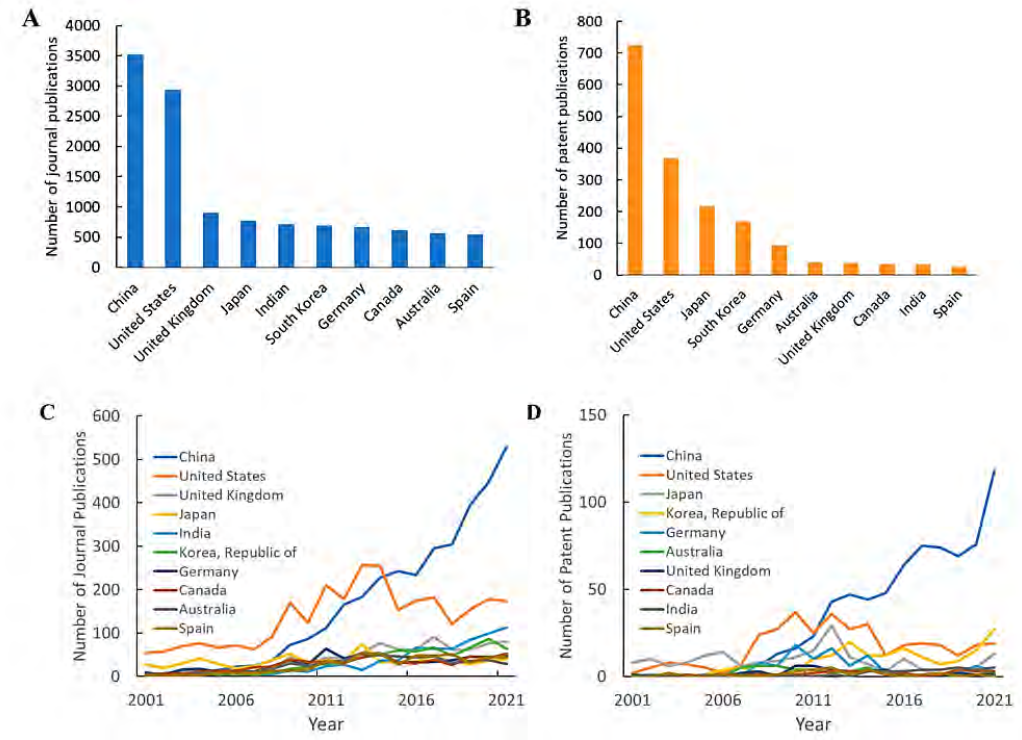
[1] مقالات منتشر شده در سامانه Scopus که در لینک https://www.scopus.com کاوش می کند استخراج و بررسی شده است.
[2] carbon dioxide or CO_2
[3] fixation
[4] CO_2 fixation

و پزشکی ۲ درصد می‌باشد. ده دانشگاه با بیشترین اسناد علمی در تثبیت کربن در نمودار ۱۴ ارایه شده است.

یکی دیگر از حوزه‌های مهم مهار کربن دی‌اکسید طی فرایندهای جذب و ذخیره‌سازی است. ده کشور با بیشترین مقالات و اختراعات با موضوع جذب و ذخیره‌سازی کربن دی اکسید از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ در نمودار ۱۵ ارایه شده است، که در هر دو مورد کشورها یکسان و فقط در رتبه‌بندی موقعیت آنها جابه‌جا شده است. چین در هر دو مورد نه‌تنها رتبه اول را به‌خود اختصاص داده بلکه روند رشد آن نیز با شیب بسیار تند از بقیه کشورها جلوتر می‌باشد.



نمودار ۱۴: ده دانشگاه با انتشار بیشترین اسناد علمی در حوزه تثبیت کربن در ایران



نمودار۱۵: ده کشور برتر در جذب و ذخیره‌سازی کربن دی‌اکسید از نظر تعداد و مقایسه روند رشد مقالات و اختراعات (رتبه‌بندی کشورها در تعداد مقالات (A)؛ رتبه‌بندی کشورها در تعداد اختراع (B)؛ روند رشد مقالات ۱۰ کشور برتر (C)؛ و روند رشد اختراعات ۱۰ کشور برتر (D)) [۲۴،۲۵].

نتیجه‌گیری و ارایه پیشنهادات

در دنیای علم و فناوری که نیازهای جامعه بشری به منابع ملی افزایش می‌یابد، نگاه به کربن دی‌اکسید به‌عنوان یک زباله یا پسماند نه‌تنها یک زیان اقتصادی است بلکه جوامع بشری را با آسیب‌ها و چالش‌های گوناگون گرفتار می‌کند. انتظار می‌رود با بررسی روند تحقیقات در حوزه کربن دی‌اکسید، دیدگاه واقع‌بینانه‌ای به کاربردهای بالقوه آن شود و در آینده با توسعه فناوری‌های تجاری، زمینه برای ایجاد یک اقتصاد مبتنی بر کربن دی‌اکسید فراهم شود. امروز حذف کربن دی‌اکسید نه‌تنها یکی از موضوعات مهم پژوهشی و فناورانه است، بلکه در کنار کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، یک ضرورت برای مقابله با تغییرات اقلیمی محسوب می‌شود. جای تعجب نیست، که ۲/۶ تریلیون دلار بودجه تحقیقاتی در سراسر جهان طی هشت سال گذشته (۲۰۱۵–۲۰۲۳) در اختیار دانشمندان و محققان قرار گرفته تا علوم و فناوری‌های نوینی برای پیشگیری از انتشار، کاهش، حذف، ذخیره و استفاده به‌عنوان ماده اولیه از کربن دی‌اکسید ارایه و توسعه دهند [۳].

در این مقاله کوشش شد تا نشان داده شود که کربن دی‌اکسید سرمایه ملی عظیمی است که به آن بی‌توجهی می‌شود، علیرغم اینکه روش‌های مختلفی برای استفاده از آن بدون تبدیل و به‌طور مستقیم مانند استفاده از آن در استخراج و فرآوری مواد، ازدیاد برداشت نفت، ذخیره‌سازی و یا از طریق فرآیندهای تبدیلی به‌عنوان خوراک برای تولید مواد شیمیایی با ارزش افزوده بالا، سوخت‌ها و تولید زیست‌توده از طریق کشت جلبک وجود دارد. در ضمن اشاره شد علاوه‌بر ارزش اقتصادی کربن دی‌اکسید، از جنبه‌های مسئولیت اجتماعی، زیست محیطی، تغییرات آب‌وهوایی و الزامات قانونی، و محدودیت‌هایی که فروش محصولات با منبع کربنی در آینده خواهند داشت، اهمیت مدیریت، مهار و استفاده بهینه از کربن دی اکسید را دوچندان می‌کند. لازم به ذکر است، علیرغم اینکه کربن دی‌اکسید ظرفیت‌های کاربردی بسیار بالایی دارد، اما بدلیل فعالیت شیمیایی پایین آن که در بالاترین سطح اکسایش کربن قرار دارد، محدودیت‌ها و چالش‌هایی در فرایندهایی تبدیلی به‌دلیل مصرف انرژی بالا دارد (۱۵). یقینا با تحقیق و پژوهش و با طراحی و معرفی کاتالیست‌های جدید می‌توان بر این محدودیت‌ها فائق آمد.

پیشنهادات

ایران با در اختیار داشتن به‌طور متوسط ۱۵ درصد ذخایر نفت و گاز جهان، باید محور اصلی پیشرفت اقتصادی کشور را صنایع شیمیایی، دارویی و پتروشیمیایی قرار دهد و با بهره‌گیری هوشمندانه از این منابع طبیعی و از جمله کربن دی‌اکسید که در شرایط فعلی زباله و پسماند صنعت نفت و گاز تلقی می‌شود و ارزش اقتصادی خام آن در کشور بیش‌از ۲۰ میلیارد دلار می‌باشد، به‌عنوان مهمترین مزیت رقابتی برای کشور در عرصه رقابت بین‌المللی، جایگاه ایران را در تولید ناخالص ملی ارتقا داد.

- اختراعات ثبت شده در جهان در موضوع کربن دی‌اکسید اغلب توسط شرکت‌های دانش‌بنیان، صنعتی و تولیدی برای دست‌یابی به فناوری‌های نوین در افزایش بهره‌وری به ثبت رسیده است. علیرغم اینکه قوانین خوبی در کشور برای سرمایه‌گذاری صنایع در حوزه پژوهش و فناوری تصویب شده است، اما عملکرد بسیار ضعیف است. به‌طوری‌که با بیش‌از ۱/۵ میلیون اختراع ثبت شده با موضوع کربن دی‌اکسید در جهان، حتی یک اختراع با مالکیت ایرانی در میان آنها دیده نمی‌شود. به‌عبارتی کماکان تولید ثروت در کشور مبتنی بر خام‌فروشی و با بهره‌وری بسیار پایین از منابع طبیعی (نفت، گاز، فراوردهای پتروشیمی و...) استوار می‌باشد. لذا ضروری است برای دست‌یابی به تولید ثروت دانش و فناوری بنیان، هزینه‌ها و حق‌آبه پژوهش و تولید فناوری در جهت بهبود و ارتقای بهره‌وری در استفاده از منابع طبیعی، در چارچوب قوانین مصوب اجرایی شود [۲۶–۲۸].

- مکلف نمودن صنایع جدیدالتأسیس به ایجاد همزمان صنعت جذب و ذخیره‌سازی کربن دی‌اکسید با مشارکت بخش خصوصی به صورت ساخت، بهره‌برداری و واگذاری[1]، تأسیس بورس کربن داخلی و وضع مالیات کربن برای واحدهای صنعتی انتشار دهنده کربن دی‌اکسید از قبیل نیروگاه‌های حرارتی، صنایع سیمان، فولاد و پتروشیمی‌ها در جهت کاهش آن و هزینه‌کرد بخشی از درآمد حاصل، به‌عنوان مشوق‌های کاهش کربن و در تحقیق و توسعه به‌منظور مهار، مدیریت و استفاده بهینه از کربن دی‌اکسید هزینه شود.

تقدیر و تشکر

از استاد ارجمند جناب آقای دکتر محمد علی زلفیگل رئیس محترم هیات‌مدیره مؤسسه تحقیق و توسعه دانشمند که با حوصله پیش‌نویس این مقاله را به‌دقت مطالعه، و پیشنهادات ارزنده و نوآورانه‌ای در جهت ارتقای کیفی آن ارائه فرمودند و از همکار

[1] Build–Operate–Transfer (B.O.T)

محترم سرکار خانم دکتر مهسا باغبان صالحی عضو محترم هیات علمی دانشکده مهندسی شیمی پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران که پیشنهادات ارزنده‌ای در جهت اصلاح متن و به‌ویژه در ارتقای کیفی شکل‌ها و نمودارها ارایه نمودند، کمال تشکر و امتنان را دارم. همچنین از استاد ارجمند جناب آقای دکتر موسوی موحدی که با حوصله پیش‌نویس این مقاله را به دقت مطالعه، و پیشنهادات ارزنده‌ای در جهت ارتقای کیفی آن ارائه فرمودند، کمال امتنان و تشکر را دارم.

پایگاه داده های دیده شده در این مقاله

(۱). isna.ir/xcdnLf تعهد ایران برای کاهش۴درصدی گازهای گلخانه‌ای تا ۲۰۳۰

(2). European Commission, Joint Research Centre, Crippa, M., Guizzardi, D., Pagani, F., Banja, M., Muntean, M., Schaaf, E., Monforti-Ferrario, F., Becker, W.E., Quadrelli, R., Risquez Martin, A., Taghavi-Moharamli, P., Köykkä, J., Grassi, G., Rossi, S., Melo, J., Oom, D., Branco, A., San-Miguel, J., Manca, G., Pisoni, E., Vignati, E. and Pekar, F., GHG emissions of all world countries, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2024, https://data.europa.eu/doi/10.2760/4002897, JRC138862.

(3). Global Greenhouse Gas Emissions: 1990-2021 and Preliminary 2022 Estimates: https://rhg.com/research/global-greenhouse-gas-emissions-2022/

(4). INFOGRAPHIC: Visualizing All the World's Carbon Emissions by Country–Visual Capitalisthttps://energynow.ca/2023/11/infographic-visualizing-all-the-worlds-carbon-emissions-by-country-visual-capitalist/

(5). Carbon dioxide emissions per person https://commons.wikimedia.org/wiki/File:20210626_Variwide_chart_of_greenhouse_gas_emissions_per_capita_by_country.svg

(6). Iran: CO2 Country Profile: https://ourworldindata.org/co2/country/iran#

(۷). تحلیل بنیادی صنعت سیمان در ایران -https://enigma.ir/blog/cement industry

(8). The iron and steel industry is responsible for 11% of global carbon dioxide emissions and will need to change rapidly to align with the world's climate goals. https://www.onlynaturalenergy.com/these-553-steel-plants-are-responsible-for-9-of-global-co2-emissions/

(9). https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement

(۱۰). قانون الحاق https://rc.majlis.ir/fa/law/show/97764 دولت جمهوری اسلامی ایران به پروتکل کیوتو در مورد کنوانسیون چارچوب سازمان ملل متحد در مورد تغییر آب و هوا

(11). Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change: https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf

(12). The wide possibilities for using CO_2: https://www.abnamro.com/research/en/our-research/esg-economist-the-wide-possibilities-for-using-co2

(13). Carbon Dioxide Enhanced Oil Recovery: https://www.netl.doe.gov/sites/default/files/netl-file/co2_eor_primer.pdf

(14). Putting CO2 to Use September 2019 Creating value from emissions (International Energy Agency(IAE)publication:https://iea.blob.core.windows.net/assets/50652405-26db-4c41-82dc-c23657893059/Putting_CO2_to_Use.pdf

(15). The potential and limitations of using carbon dioxide: https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/carbon-dioxide/policy-briefing-potential-and-limitations-of-using-carbon-dioxide.pdf

منابع و مأخذ

[1]. Foregger, R. (1957). Closed carbon dioxide filtration revisited, Anesthesiology 18, 257-264.

[2]. Song, C. (2006). Global challenges and strategies for control, conversion and utilization of CO_2 for sustainable development involving energy, catalysis, adsorption and chemical processing, Catal. Today, 115, 2-32: https://doi.org/10.1016/j.cattod.2006.02.029.

[3]. Lauren J. Barrett, Samantha Rush, Penny Vlahos (2024). Chemistry of Carbon Dioxide Removal, American Chemical Society, DOI: 10.1021/acsinfocus.7e8006; https://books.google.com/books/about/Chemistry_of_Carbon_Dioxide_Removal.html?id=55wPEQAAQBAJ

[۴]. شعبانی، احمد(۱۴۰۱). جایگاه جهانی صنایع شیمیایی در تولید ناخالص ملی کشورها، نامه علوم پایه، شماره هفتم و هشتم، صفحات ۹۸-۱۱۱.

[5]. Avami, A., Sattari, S. (2007). Energy Conservation Opportunities: Cement Industry in Iran, International Journal of Energy, 1(3), 65-71.

[۶]. فاطمی، سیدعلیرضا، مصطفی پور، علی، پیروی، محمدحسین (۱۴۰۳). تحلیل وضعیت تجارت سیمان در ایران و جهان، مرکز پژوهش های مجلس شورای اسلامی ایران.

[7]. Massoumi Nejad, B., Enferadi, S., Andrew, R. (2025). A comprehensive analysis of process-related CO2 emissions from Iran's, Cleaner Environmental Systems,16,100251: https://doi.org/10.1016/j.cesys.2024.100251

[8]. Bill Gates (2022). How to Avoid a Climate Disaster: https://doi.org/10.1162/desi_r_00674

[۹]. رضائی، مسعود(۱۴۰۲). درآمدی بر اجرای سامانه تجارت انتشار گازهای گلخانهای، مرکز پژوهش های مجلس شورای اسلامی ایران. https://rc.majlis.ir/fa/report/show/1773159

[10]. Rennert, K., et.al. (2022). Comprehensive evidence implies a higher social cost of CO_2, Nature, 610, 691: https://doi.org/10.1038/s41586-022-05224-9

[11]. Prather, K., Barsanti, K. (2025). Is the air we breathe safe? Science, 387 (6738) 1019: 10.1126/science.adx1128.

[12]. Qiang Liu, Lipeng Wu, Ralf Jackstell1 & Matthias Beller (2015). Using carbon dioxide as a building block in organic synthesis, Nature Communications, 6, 5933: https://doi.org/10.1038/ncomms6933.

[13]. Shaheed, N., Nasiriani, T., Shaabani, A. (2024). Post-synthetic modification of NH2-tagged metal-organic framework, A selective, effective, and recyclable heterogeneous catalyst for CO_2 conversion into cyclic carbonates, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 164,105679: https://doi.org/10.1016/j.jtice.2024.105679.

[14]. Nasiriani, T., Adabi Nigjeh, N., Torabi, S., Shaabani, A. (2024). MIL-88-NH2 (Fe) conjugated pectin through a post-modification Ugi four-component reaction: A robust bio-based catalyst for the synthesis of cyclic carbonate via CO_2 fixation, Carbohydrate Polymers, 342, 122418: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122418.

[15]. Al-Shargabi, M., Davoodi, S., Wood, D. A., Rukavishnikov, V. S., Konstantin M. (2022). Carbon dioxide applications for enhanced oil recovery assisted by nanoparticles: Recent developments, ACS Omega, 7, 9984−9994:https://doi.org/10.1021/acsomega.1c07123.

[16]. Davidson, O., de Coninck, H. C., Loos, M., Meyer, L. A. (eds.) (2005). Carbon ioxide Capture and Storage, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

[17]. Efthymia Ioanna Koytsoumpa, Chistian Bergins, Emmanouil Kakaras (2018). The CO_2 economy: Review of CO_2 capture and reuse technologies, Journal of Supercritical Fluids, 132, 3-16: http://dx.doi.org/10.1016/j.supflu.2017.07.029.

[18]. Chenchen Zou, Minda Ma, Nan Zhou, Wei Feng, Kairui You, Shufan Zhang (2023). Toward carbon free by 2060: A decarbonization roadmap of operational residential buildings in China, Energy, 277, 127689: https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127689

[19]. Yinan Li, Song Lan, Morten Ryberg, Javier Pérez-Ramírez, Xiaonan Wang (2021). A quantitative roadmap for China towards carbon neutrality in 2060 using methanol and ammonia as energy carriers, iScience, 24(6),102313: 10251310.1016/j.isci.2021.102513.

[20]. Lei Li, Ning Zhao, Wei Wei, Yuhan Sun (2013). A review of research progress on CO_2 capture, storage, and utilization in Chinese Academy of Sciences, Fuel, 108, 112-130: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.08.022.

[21]. Mohamad H. A. (2018). A mini-review on CO_2 reforming of methane. Progress Petrochem Sci. 2(2), 161-165: 10.31031/PPS.2018.02.000532.

[22]. Filippo Bisotti, Matteo Fedeli, Kristiano Prifti, Andrea Galeazzi, Anna Dell'Angelo, Massimo Barbieri, Carlo Pirola, Giulia Bozzano, and Flavio Manenti (2021). Century of technology trends in methanol synthesis: Any need for kinetics refitting? Ind. Eng. Chem. Res., 60, 16032−16053: https://doi.org/10.1021/acs.iecr.1c02877.

[23]. Yang Wang, Kangzhou Wang, Baizhang Zhang, Xiaobo Peng, Xinhua Gao, Guohui Yang, Han Hu, Mingbo Wu, and Noritatsu Tsubaki (2021). Direct conversion of CO_2 to ethanol boosted by intimacy-sensitive, ACS Catal., 11, 11742−11753: https://doi.org/10.1021/acscatal.1c01504.

[24]. Xiang Yu, et.al.(2023). Trends in Research and Development for CO2 Capture and Sequestration, ACS Omega, 8, 11643−11664: https://doi.org/10.1021/acsomega.2c05070

[25]. Xin Li, Ning Gao, Fei Yuan, Lucheng Huang (2024). The development trends, technological competition situations and cooperation status of carbon-negative technology: A patent landscape analysis, Journal of CO2 Utilization, 89, 102966: https://doi.org/10.1016/j.jcou.2024.102966.

[۲۶]. شعبانی، احمد، داوری اردکانی، نگار (۱۳۹۲) . تبیین راهکارهای فرایند تولید ثروت دانش بنیان، نشریه نشا علم، سال چهارم، شماره اول، ۴۲-۳۵.

[۲۷]. شعبانی، احمد(۱۳۹۸). روزآمد نمودن همکاری دانشگاه با صنعت، نشریه نشا علم، سال نهم شماره اول، ۲۰-۱۴.

[۲۸]. شعبانی، احمد(۱۴۰۰). جایگاه علوم شیمی و نقش آن در توسعه پایدار. نامه علوم پایه فرهنگستان علوم، شماره ۱، ۳۶-۲۹

انقلاب زیستی با سایبورگ‌ها:
ادغام هوش مصنوعی و بدن انسان

سیده معصومه احمدی[1]، علی خلخالی*[،1]، اسماعیل کاظم پور[1]

چکیده

پیشرفت‌های شگرف در حوزه‌های زیست فناوری، رباتیک و هوش مصنوعی، مرزهای سنتی بین انسان و ماشین را به‌تدریج محو نموده و مفاهیم سایبورگ و پساانسان‌گرایی را در کانون مباحثات علمی و فلسفی معاصر قرار داده است. مفهوم سایبورگ، که با الهام ازتئوری سایبورگ دونا هاراوی و تئوری همزیستی درون‌سلولی لین مارگولیس شکل گرفته است، به‌عنوان نمادی از گذار به عصری جدید معرفی می‌گردد. این موجودات هیبریدی، که از ترکیب اجزای زیستی و مصنوعی پدید آمده‌اند، با بهره‌گیری از فناوری‌هایی نظیر رابط‌های مغز–رایانه، نانورباتیک و سلول‌های سوختی زیستی، امکان ادغام عمیق زیست‌شناسی و مهندسی را فراهم می‌سازند. با این حال، چالش‌های عمیقی همچون ابهام در شخصیت حقوقی سایبورگ‌ها، شکاف دیجیتالی گسترده، مصرف انرژی فزاینده مراکز داده، توسعه این فناوری‌ها را با موانع جدی مواجه ساخته است. این مقاله، با ترسیم سه سناریوی محتمل برای آینده، یعنی بهینه‌سازی انسان، فراانسان‌گرایی و اکوسیستم‌های سایبر بیولوژیک نشان می‌دهد که مسیر پیش‌رو نه‌تنها به پیشرفت‌های فناورانه وابسته است، بلکه نیازمند بازاندیشی در مفاهیم اخلاقی و اجتماعی است. در نهایت، مقاله بر ضرورت خروج از انسان‌محوری و حرکت به‌سوی همزیستی اکولوژیک تأکید می‌نماید. این گذار، مستلزم ایجاد فلسفه سایبورگ‌ها و چارچوب‌های جهانی نظیر حکمرانی سایبر–زیستی، استانداردهای طراحی سبز و نهادهایی همچون سازمان ملل سایبرنتیک برای تضمین عدالت فناوری است. پذیرش سیالیت هویت انسانی و تقویت گفت‌وگوهای بین‌رشته‌ای،کلید تبدیل سایبورگ‌ها از نمادی از سلطه به محرکی برای دموکراسی زیستی و تعادل اکولوژیک محسوب می‌گردد.

واژگان کلیدی: سایبورگ، فلسفه سایبورگ، انقلاب صنعتی پنجم، همگرایی فناوری، هک شدن قطعات سایبورگ، همکاری زیستی، پیچیدگی حقوقی، عدالت فناوری، فراانسان‌گرایی

* عهده‌دار مکاتبات: دانشیار، تلفن: ۰۹۱۱۱۹۲۶۷۷۳، پست الکترونیکی: khalkhali_ali @iau.ac.ir

[1] گروه مدیریت آموزشی، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران

مقدمه

فناوری، از نخستین ابزارهای سنگی تا پیچیده‌ترین سیستم‌های هوش مصنوعی، همواره پویا و در حال تکامل بوده است. این مسیر تکاملی در چهار انقلاب صنعتی متجلی شده است: انقلاب اول (۱۷۶۰–۱۸۴۰) با محوریت ماشین بخار و راه‌آهن، تولید ماشینی را بنیان نهاد؛ انقلاب دوم (۱۸۷۰–۱۹۱۴) با معرفی برق و خطوط مونتاژ، عصر تولید انبوه را رقم زد؛ انقلاب سوم (۱۹۶۰) با دیجیتال‌سازی و اتوماسیون، جهان را به‌سوی جامعه اطلاعاتی سوق داد؛ و انقلاب چهارم (اوایل قرن ۲۱) با همگرایی هوش مصنوعی، نانوتکنولوژی و زیست‌فناوری، مرزهای بین جهان فیزیکی، دیجیتال و زیستی را محو کرد با این حال، این پیشرفت‌ها با چالش‌های عمیقی همراه بوده‌اند [۱]. در زمان وقوع انقلاب صنعتی چهارم، ۱۷ درصد از جمعیت جهان هنوز به برق دسترسی نداشتند و بیش‌از نیمی از جمعیت جهان، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، از اینترنت محروم بودند، شکافی که نشانگر نابرابری در بهره‌مندی از دستاوردهای فناورانه است[۲].

اکنون، در آستانه انقلاب صنعتی پنجم، بشر با پرسشی بنیادین روبه‌روست: چگونه می‌توان فناوری را نه به‌مثابه ابزار سلطه، بلکه به‌عنوان شریکی برای همزیستی پایدار با طبیعت بازتعریف کرد؟ این انقلاب، با محوریت همگرایی انسان–ماشین و پایداری زیستی، در حال بازنویسی مفهوم انسانیت است [۳]. سایبورگ‌ها ترکیبی از اجزای ارگانیک و مصنوعی نماد این گذار تاریخی هستند. دونا هاراوی[1] در مانیفست سایبورگ (۱۹۹۱) این موجودات را نه به‌عنوان هیولاهای علمی–تخیلی، بلکه به‌مثابه نماد امکانی رهایی‌بخش برای عبور از دوگانگی‌های سنتی (انسان/ماشین، طبیعت/فرهنگ) توصیف می‌کند [۴]. از سوی دیگر، لین مارگولیس[2] با نظریه همزیستی درون‌سلولی (۱۹۶۷) نشان می‌دهد که تکامل زیستی نیز همواره از همکاری بین گونه‌ها شکل گرفته است. ایده‌ای که می‌تواند الگویی برای همزیستی انسان و فناوری در عصر حاضر باشد [۵].

این مقاله با تکیه بر چارچوب نظری هاراوی و مارگولیس، به بررسی این پرسش می‌پردازد که چگونه سایبورگ‌ها به‌عنوان نماد همگرایی زیستی فناورانه، می‌توانند بازتعریف انسانیت در عصر انقلاب صنعتی پنجم را شکل دهند و چه پیامدهایی برای مفاهیمی چون عاملیت، اخلاق زیستی و عدالت اجتماعی به‌همراه خواهند داشت.

روش تحقیق

این مطالعه کیفی با روش کتابخانه‌ای انجام شده و برای گردآوری داده‌ها از پایگاه‌های معتبری مانند پابمد[3]، ساینس دایرکت[4]، گوگل اسکولار[5]، و پایگاه استنادی جهان اسلام[6] و پرتابل جامع علوم انسانی استفاده کرده است. جستجو با کلیدواژه‌هایی نظیر فناوری، سایبورگ، انقلاب صنعتی پنجم، همگرایی فناوری، عدالت تکنولوژیک و معادل انگلیسی آنها انجام شد و مقالات منتشرشده پس از سال ۱۳۹۴ (به‌جز موارد ضروری خاص) در عنوان، چکیده یا کلیدواژه‌ها بررسی گردید. پس از شناسایی اولیه مقالات مرتبط در نشریات معتبر، فرآیند غربالگری در دو مرحله ارزیابی عنوان و چکیده صورت گرفت و در نهایت ۲۷ مقاله که معیارهای ورود به مطالعه (مانند ارتباط با اهداف پژوهش و دارا بودن اطلاعات کلیدی) را داشتند، انتخاب و برای تحلیل نهایی استخراج شدند.

فلسفه سایبورگ: به‌مثابه ابزار واسازی دوگانگی‌ها

سایبورگ[7]، که از ترکیب دو واژه سایبرنتیک[8] و ارگانیسم[9] تشکیل شده است، به موجوداتی اشاره دارد که از ترکیب بخش‌های زنده مثل اندام‌های بدن و فناوری‌های مصنوعی مثل ربات یا تراشه‌های کامپیوتری ساخته می‌شوند. این ایده اولین بار در دهه ۱۹۶۰ توسط ناسا برای کمک به فضانوردان در شرایط سخت فضایی مطرح شد، اما فیلسوفی به نام دونا هاراوی در کتاب معروف خود به نام مانیفست سایبورگ آن را به نمادی برای نقد دنیای مدرن تبدیل کرد. هاراوی معتقد بود سایبورگ‌ها مرزهای سنتی بین انسان و ماشین، طبیعت و فناوری، یا حتی زن و مرد را از بین می‌برند و نشان می‌دهند که هویت انسان‌ها ثابت نیست، بلکه در تعامل با فناوری و جامعه شکل می‌گیرد[۶].

هاراوی از سایبورگ‌ها به‌عنوان ابزاری برای مقابله با نظام‌های قدرت مثل سرمایه‌داری افراطی یا نابرابری‌های جنسیتی استفاده

[1] Donna J. Haraway
[2] Lynn Margulis
[3] PubMed
[4] ScienceDirect
[5] Google Scholar
[6] ISC
[7] Cyborg
[8] Cybernetic
[9] Organism

می‌کند. او می‌گوید همانطور که سایبورگ‌ها انسان و ماشین را یکی می‌کنند، باید رابطه سلطه‌جویانه انسان بر طبیعت را هم تغییر دهیم و به جای کنترل، به همکاری با محیط‌زیست بپردازیم. این ایده با نظریه‌های اکوفمینیسم همسو است که بر احترام به طبیعت و برابری تأکید دارند. به گفته هاراوی، سایبورگ‌ها امیدی برای ساختن دنیایی عادلانه‌تر و آزادتر هستند [۴].

پایه‌های علمی سایبورگ‌ها: از زیست‌فناوری تا هوش مصنوعی

سایبورگ‌ها ترکیبی از زیست‌فناوری، نانوتکنولوژی، رباتیک و هوش مصنوعی هستند [۷]. در مرکز این فناوری‌ها، زیست‌فناوری نقش مهمی دارد، به‌خصوص در توسعه ابزارهایی که مغز انسان را مستقیماً به سیستم‌های دیجیتال متصل می‌کنند [۸]. این ابزارها می‌توانند پیام‌های مغزی را بخوانند و آنها را به دستورات قابل‌فهم برای رایانه تبدیل کنند. به‌عنوان مثال، در سال ۲۰۲۱، محققان توانستند افکار ذهنی بیماران فلج را با دقت بالا به متن تبدیل کنند [۹].

نانوتکنولوژی نیز امکان می‌دهد سیستم‌های مصنوعی در مقیاس بسیار کوچک مانند نانوربات‌ها با بدن انسان ادغام شوند. این فناوری می‌تواند برای ارسال داروها به نقاط خاص بدن یا اتصال نورون‌ها به تراشه‌های الکترونیکی استفاده شود. در مؤسسه ویس هاروارد[1]، محققان نانو ساختارهایی طراحی کردند که می‌توانند شبکه‌های الکتریکی در بافت عصبی ایجاد کنند[۱۰].

توسعه زیست‌مواد سازگار[2] مانند هیدروژل‌های حساس به محرک‌های زیستی، چالش پس‌زدن ایمپلنت‌ها را کاهش داده است. برای مثال، پوشش‌های ویژه‌ای برای پروتزهای استخوانی ساخته شده‌اند که باعث کاهش رد شدن آنها توسط بدن می‌شوند[۱۱].

هوش مصنوعی و یادگیری ماشین نیز با تحلیل داده‌های بدن انسان، به سایبورگ‌ها کمک می‌کنند تا بهتر با محیط اطراف تعامل داشته باشند. در دانشگاه ام‌آی‌تی[3]، یک دست مصنوعی مجهز به هوش مصنوعی توانست اشیا ظریف را بدون آسیب بلند کند. [۱۲].

سینبیولوژی[4] (ترکیب زیست‌شناسی و فناوری) نیز با مهندسی ژنتیک سلول‌ها، امکان ساخت ارگان‌های ترکیبی را فراهم کرده است. در دانشگاه برکلی، محققان نورون‌ها را طوری تغییر دادند که با تحریک نوری کنترل شوند [۱۳].

در نهایت، انرژی زیستی[5] نیز به‌دنبال حل مشکل تأمین انرژی برای دستگاه‌های سایبرنتیک است. برای مثال، سلول‌های سوختی که از گلوکز بدن استفاده می‌کنند یا ژنراتورهای کوچک که از حرکت بدن انرژی تولید می‌کنند، از جمله این تلاش‌ها هستند [۱۴].

چالش‌های بنیادین سایبورگ‌ها: از زیست‌شناسی تا اخلاق و جامعه

سایبورگ‌ها، با چالش‌های علمی، اخلاقی و اجتماعی عمیقی روبه‌رو هستند. این چالش‌ها فراتر از مسائل فنی، بازتابی از تنش بین پیشرفت فناوری و ارزش‌های انسانی است. حل این چالش‌ها مستلزم سرمایه‌گذاری در پژوهش‌های بین‌رشته‌ای (مانند اخلاق زیستی–سایبری)، و مشارکت عمومی در تصمیم‌گیری درباره مرزهای انسانی–ماشینی است. تنها از این طریق می‌توان از تبدیل سایبورگ‌ها از نماد امید به ابزار سلطه جلوگیری کرد.

۱. چالش‌های زیست فنی[6]

یکی از مشکلات بزرگ در ساخت ایمپلنت‌ها، بیوسازگاری[7] و ادغام سامانه‌های مصنوعی با بافت‌های زنده بدن است، زیرا ممکن است بدن به ایمپلنت‌های فلزی یا پلیمری واکنش التهابی نشان دهد و آنها را رد کند. حتی وقتی از مواد پیشرفته مثل هیدروژل‌ها استفاده می‌شود، حفظ عملکرد ایمپلنت در شرایط متغیر بدن مثل تغییرات pHیا فشاردشوار است. برای مثال، الکترودهایی که مغز را به رایانه متصل می‌کنند، پس‌از مدتی توسط بافت‌های عصبی احاطه شده و دیگر به‌درستی کار نمی‌کنند. مشکل دیگر، تأمین انرژی برای ایمپلنت‌هاست، زیرا باتری‌های فعلی بزرگ، سنگین و عمر کوتاهی دارند. محققان روی سلول‌های سوختی زیستی[8] که از گلوکز خون انرژی می‌گیرند کار می‌کنند، اما بازده آنها هنوز برای ایمپلنت‌های پیچیده کافی نیست [۱۵].

۲. پیچیدگی‌های عصب‌شناسی و اتصال سایبرنتیک

برای اتصال دستگاه‌های الکترونیکی به سیستم عصبی انسان، باید نقشه اتصالات مغز و سیگنال‌های آن را به‌خوبی درک شود. اما

[1] Wyss
[2] Biocompatible Materials
[3] MIT
[4] Synthetic Biology
[5] Bioenergy Harvesting
[6] Bioengineering Challenges
[7] Biocompatibility
[8] Biofuel Cells

حتی فناوری‌های پیشرفته مثل پروژه نورالینک[1] تنها می‌توانند فعالیت تعداد کمی از ۸۶ میلیارد سلول عصبی مغز را ثبت کنند. مشکل دیگر انعطاف‌پذیری مغز است که می‌تواند اتصالات خود را تغییر دهد. این ویژگی ممکن است باعث شود مغز اطراف ایمپلنت‌ها مسیرهای جدید و غلط بسازد و سیگنال‌ها به‌درستی منتقل نشوند. به‌عنوان مثال، در آزمایش روی موش‌ها، تحریک مصنوعی منجر به ارتباطات نادرست بین سلول‌های عصبی و حرکات غیرقابل کنترل مثل پرش‌های ناگهانی شد [۱۶].

۳. چهار بحران نظری بنیادین در گسترش فناوری سایبورگ‌ها

گسترش فناوری سایبورگ‌ها بحران‌های نظری بنیادین در حوزه‌های حقوقی، اجتماعی، فلسفی ایجاد می‌کند. این بحران‌ها بازتابی از پیچیدگی‌های همگرایی فناوری‌های پیشرفته با ماهیت انسانی است و نیازمند بازنگری در مفاهیم کلیدی و توسعه چارچوب‌های نوین برای سیاست‌گذاری بین‌رشته‌ای است.

الف) بحران حقوقی

ماده ۱ اعلامیه جهانی حقوق بشر (۱۹۴۸) انسان‌ها را آزاد و برابر در حقوق می‌داند. با این حال، ظهور سایبورگ‌ها ، مفاهیم انسانیت و شخصیت حقوقی را دگرگون کرده است. پژوهش‌ها نشان می‌دهند نظام‌های حقوقی کنونی فاقد چارچوبی برای مسئولیت سایبرنتیکی هستند. برای مثال، در موارد نقض حریم خصوصی توسط ایمپلنت‌های متصل به اینترنت اشیاء، تعیین مسئولیت فرد، شرکت سازنده، یا الگوریتم ناممکن است. این خلاء حقوقی، بازتاب ناتوانی فلسفه حقوق در تطابق با مفاهیمی مانند عاملیت توزیع شده است [۷]. لذا در آینده می‌باید برای شناخت بیشتر حقوق سایبرنتکی، رشته‌های دانشگاهی برمبنای این موضوع ایجاد شود.

ب) شکاف فناورانه

دسترسی نابرابر به فناوری‌های ارتقاءدهنده مانند ایمپلنت‌های شناختی[2] به آپارتاید سایبرنتیک می‌انجامد. داده‌های سازمان جهانی بهداشت (۲۰۲۱) نشان می‌دهد تنها ۱۰٪ از نیازهای پروتزی در کشورهای کم‌درآمد تأمین می‌شود [۱۷]. هابرماس (۲۰۰۳) مهندسی ژنتیک را تهدیدی برای برابری ذاتی انسان‌ها می‌داند [۷].

لذا در آینده می‌باید برای شناخت بیشتر حقوق سایبرنتکی، رشته‌های دانشگاهی برمبنای این موضوع ایجاد شود.

ج) معمای خودآگاهی

اگر هوش مصنوعی روزی به مرحله‌ای برسد که خودآگاه شود، آیا باید حقوق اخلاقی برای آن درنظر گرفت؟ پروژه Blue Brain با شبیه‌سازی سلول‌های مغز، خطفاصل بین هوش مصنوعی و هوشیاری را تقریباً از بین برده است. این موضوع نشان می‌دهد که باید قوانین موجود درباره بردگی و حقوق موجودات را دوباره تعریف کنیم [۸].

د) بازتعریف مرگ و جاودانگی دیجیتال

فناوری‌هایی مانند آپلودینگ ذهن[3] (انتقال محتوای آگاهی به سیستم‌های دیجیتال)، مفاهیم فلسفی ریشه‌داری مانند مرگ را به چالش می‌کشند هایدگر معتقد بود مرگ بخشی از زندگی انسان است که به آن معنا می‌دهد و باعث می‌شود انسان‌ها مسئولانه زندگی‌کنند. اما اگر آپلودینگ ذهن عملی شود، این پرسش مطرح می‌شود: آیا منِ دیجیتال که از مرگ زیستی جان سالم به در برده، می‌تواند تجربه هستی اصیل هایدگری را بازتولید کند؟ یا این فناوری صرفاً توهمی از جاودانگی ایجاد می‌کند که هستیِ انسانی را به سطحی تقلیل‌یافته از محاسبات الگوریتمی تنزل می‌دهد؟

از سوی دیگر، پیاده‌سازی این فناوری مستلزم زیرساخت‌های عظیم فنی است. براساس پژوهش سوجیت و مائو[4] (۲۰۲۰) مراکز داده میزبان یا ذهن‌های آپلودشده تا سال ۲۰۴۰ به ۱۴٪ از کل انرژی جهانی مصرفی خواهند رسید [۱۸]. چنین مصرفی نه‌تنها تغییرات اقلیمی را تشدید می‌کند، بلکه پرسش‌هایی اخلاقی درباره توزیع منابع مطرح می‌سازد: آیا جوامع فقیر باید بار انرژیِ جاودانگی دیجیتال ثروتمندان را به دوش بکشند؟

این تناقض، ماهیت پارادوکسیکال فناوری‌های پیشرفته را آشکار می‌سازد: از یک سو، وعده رهایی از مرگ را می‌دهند و از سوی دیگر، تهدیدی برای بقای جمعی زمین محسوب می‌شوند. همان‌گونه که هایدگر هشدار می‌داد، فناوری می‌تواند به چیرگی بی‌قید و شرط اراده معطوف به قدرت تبدیل شود، جایی که انسان در دام خواسته‌های سیری‌ناپذیر خود گرفتار می‌شود.

[1] Neuralink
[2] CRISPR-Cas9
[3] Mind Uploading
[4] Das, Sujit, and Elizabeth Mao

٤. مخاطرات امنیتی و حریم خصوصی

سایبورگ‌ها و ایمپلنت‌های متصل به اینترنت، مثل دستگاه‌های نظارت بر قند خون یا ضربان‌سازهای قلبی، در معرض خطرات سایبری قرار دارند. در سال ۲۰۱۷، محققان نشان دادند که ضربان‌سازهای قلبی با قابلیت وایفای می‌توانند هک شوند و تنظیمات آنها تغییر داده شود. این حملات می‌توانند منجر به مشکلات جدی مثل ایجاد شوک الکتریکی یا سرقت اطلاعات حساس بدنی (مثل پیام‌های مغزی) شوند [۱۹].

۵. تأثیرات اکولوژیک و پایداری

تولید انبوه سایبورگ‌ها با مشکلات زیست‌محیطی بزرگی همراه است. باتری‌های لیتیوم-یونی که در پروتزها و ایمپلنت‌ها استفاده می‌شوند، شامل فلزات سنگینی مثل کبالت و نیکل هستند که استخراج و بازیافت آنها باعث آلودگی خاک و آب می‌شود. به‌علاوه، تنها ٪۵ از این باتری‌ها به‌درستی بازیافت می‌شوند که این موضوع مشکل زباله‌های الکترونیکی را بدتر می‌کند [۲۰].

همچنین، مراکز داده‌ای که برای پردازش اطلاعات عصبی (مثل ارتباط مغز با رایانه) استفاده می‌شوند، مقدار زیادی انرژی مصرف می‌کنند. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰، این مراکز حدود ٪۲۰ از کل انرژی جهانی را مصرف کنند که معادل انتشار ۱/۵ میلیارد تن دی‌اکسید کربن است. اگر فناوری‌های شبیه‌ساز مغز نیز اضافه شوند، این رقم می‌تواند به ٪۳۰ برسد. برای حل این مشکلات، کارشناسان معتقدند که توسعه قوانین بین‌المللی برای اقتصاد چرخشی و استفاده از طراحی سبز در تولید ایمپلنت‌ها ضروری است. گزارش سازمان ملل نشان می‌دهد که اعمال اصول طراحی سبز می‌تواند ردپای کربن این فناوری‌ها را تا ٪۴۰ کاهش دهد [۲۱].

آینده سایبورگ‌ها: سناریوهای ممکن

پیشرفت‌های سریع در فناوری‌های زیستی، رباتیک، و هوش مصنوعی، آینده سایبورگ‌ها را به یکی از بحث‌برانگیزترین و امیدوارکننده‌ترین حوزه‌های علم معاصر تبدیل کرده است. در این میان، سه سناریوی کلیدی به‌عنوان مسیرهای محتمل برای تکامل سایبورگ‌ها مطرح می‌شود که هر یک پیامدهای عمیقی برای اخلاق، جامعه، و تعریف هویت انسانی دارند.

۱. بهینه‌سازی انسان: درمانگری و اخلاق محافظه‌کارانه

این سناریو بر استفاده محدود و اخلاقی از فناوری‌های پزشکی برای بهبود زندگی انسان‌ها تمرکز دارد. در این رویکرد، فناوری‌ها فقط برای درمان بیماری‌ها و جبران ناتوانی‌ها (مثل نابینایی، قطع عضو یا دیابت) توسعه می‌یابند و مرز مشخصی بین درمان و تقویت مصنوعی توانایی‌ها وجود دارد. به‌عنوان مثال، دستگاه‌های تنظیم ضربان قلب و چشم‌های مصنوعی مانند سیستم Argus II که بینایی جزئی را به افراد نابینا بازمی‌گردانند، نمونه‌هایی از کاربردهای درمانی هستند [۲۲].

نهادهای قانونگذاری و نظارتی پزشکی مثل سازمان غذا و داروی آمریکا[1] و اتحادیه اروپا[2] با تعیین استانداردهای سخت‌گیرانه، ایمنی و اثربخشی این فناوری‌ها را کنترل می‌کنند. آنها تأکید می‌کنند که منافع درمانی این فناوری‌ها باید بیشتر از خطرات احتمالی باشد. این رویکرد برای جلوگیری از تبدیل شدن فناوری‌ها به ابزاری برای نابرابری اجتماعی یا دستکاری غیرضروری بدن انسان است.

با این حال، مسائل اخلاقی پیچیده‌ای وجود دارد. برای مثال، اگر یک پروتز نه‌تنها عملکرد طبیعی بدن را بازگرداند، بلکه توانایی‌های فراتر از حدطبیعی انسان ایجاد کند، آیا این فناوری درمان محسوب می‌شود یا تقویت؟ این ابهامات نیاز به توسعه قوانین اخلاقی انعطاف‌پذیر را نشان می‌دهد که بتوانند با پیشرفت فناوری همراه شوند.

همچنین، حتی فناوری‌های درمانی نیز ممکن است به نابرابری‌های جهانی دامن بزنند. دسترسی نابرابر به پروتزهای هوشمند در کشورهای کم‌درآمد می‌تواند شکاف سلامت را تشدید کند. بنابراین، پیشنهاد می‌شود سازمان‌هایی مثل سازمان بهداشت جهانی[3] استانداردهایی برای توزیع عادلانه این فناوری‌ها تدوین کنند.

۲. فراانسان‌گرایی: فراتر از محدودیت‌های زیست‌شناختی

سناریوی فراانسان گرایی[4] می‌خواهد مرزهای طبیعی بدن انسان را با فناوری‌های پیشرفته مثل ایمپلنت‌های حافظه مصنوعی، اسکلت‌های رباتیک یا تراشه‌های افزایش‌دهنده هوش از بین ببرد تا انسان‌ها به موجوداتی با توانایی‌های فراتر از محدودیت‌های

[1] FDA
[2] EMA
[3] WHO
[4] Transhumanism

امروزی تبدیل شوند. طرفداران این ایده، مانند ری کورزویل[1]، معتقدند این فناوری‌ها نه‌تنها اجتناب‌ناپذیرند، بلکه برای بقای انسان در برابر چالش‌هایی مانند تغییرات آب‌وهوایی یا هوش مصنوعی پیشرفته ضروری هستند. اما منتقدان هشدار می‌دهند این اهداف مشکلات بزرگی دارند: تمرکز بیش‌ازحد روی بهبود انسان‌ها با فناوری ممکن است باعث ایجاد شکاف‌های عمیق اجتماعی شود و حتی مفهوم هویت انسانی و عدالت را زیرسوال ببرد [۲۳].

از سوی دیگر، پژوهش‌ها نشان می‌دهند بدون قوانین جهانی برای کنترل این فناوری‌ها، ممکن است جامعه‌ای شکل بگیرد که در آن، ثروتمندان با دسترسی به فناوری‌های تقویتی، دارای قدرت شده و دیگران را تحت‌سلطه بگیرند [۲۴]. همچنین، وابستگی انسان به سیستم‌های فناورانه ممکن است از کنترل خارج شود و آسیب‌های زیستی و محیطی بزرگی ایجاد کند. مثلاً تولید انبوه ایمپلنت‌ها می‌تواند به محیط‌زیست آسیب برساند [۲۵]. درنتیجه، سوال اصلی این است: آیا تلاش برای فراتررفتن از انسانیت، باعث تکرار اشتباهات گذشته (مانند استثمار طبیعت و نابرابری) نخواهد شد؟

۳. اکوسیستم‌های سایبربیولوژیک: همزیستی با طبیعت

این ایده، سایبورگ‌ها را نه به‌عنوان موجوداتی جدا، بلکه به‌عنوان بخشی از یک شبکه بزرگترِ طبیعت معرفی می‌کند. این دیدگاه از نظریه همکاری زیستی[2] لین مارگولیس الهام گرفته است که نشان داد تکاملِ موجودات زنده، تنها نتیجه رقابت نیست، بلکه حاصل همکاری بین جانداران است[۲۶]. امروز، این نظریه به فناوری‌هایی مانند ربات‌های تجزیه‌پذیر که با کمک باکتری‌ها آلودگی‌ها را پاک می‌کنند، یا ایمپلنت‌هایی که داده‌های بدن را با محیط به اشتراک می‌گذارند، گسترش یافته است. این فناوری‌ها مرز بین انسان، ماشین و طبیعت را از بین می‌برند و سیستم‌های یکپارچه‌ای می‌سازند که برای حفظ تعادل محیط زیست تلاش می‌کنند.

همانگونه که ساگان (۲۰۲۱) تأکید می‌کند، میراث مارگولیس به ما می‌آموزد که: زندگی، تلاش برای تسلط بر زمین نیست، بلکه هنر همزیستی با آن است. این فلسفه امروزه در تلاقی زیست‌شناسی و فناوری، به الگویی برای طراحی اکوسیستم‌های یکپارچه انسانی–ماشینی تبدیل شده است [۲۶]. در دنیای امروز که فناوری‌های پیشرفته مانند هوش مصنوعی و سایبورگ‌ها به‌طور فزایندهای با طبیعت ادغام می‌شوند، این نگاه می‌تواند راه‌حلی برای بحران‌هایی مانند تغییرات آب‌وهوایی باشد. به‌جای کنترل یک‌طرفه طبیعت، باید مانند همکاری بین سلول‌ها و باکتری‌ها، فناوری را طوری طراحی کنیم که با محیط‌زیست هماهنگ شود [۲۷]. این تغییر نگرش، امیدی برای ایجاد تعادل بین پیشرفت های انسانی و حفاظت از زمین است.

نتیجه‌گیری

تئوری سایبورگ با شکستن دوگانه‌های سنتی مانند طبیعت/فناوری و انسان/ماشین، به‌عنوان ابزاری فلسفی ساختارهای قدرت و مفاهیم هویت و عاملیت را بازتعریف می‌کند. آینده سایبورگ‌ها نه‌تنها به پیشرفت فناوری، بلکه به انتخاب‌های اخلاقی و اجتماعی انسان‌ها وابسته است. با الهام از نظریه همکاری تکاملی لین مارگولیس، می‌توان با تدوین چارچوب‌های جهانیِ انعطاف‌پذیر مانند منشور پایداری سایبر–زیستی، از تبدیل این فناوری‌ها به ابزار سلطه یا نابودی زیست‌کره جلوگیری کرد. پذیرش سیالیت انسانیت و تقویت گفتمان‌های انتقادی، مسیری است برای تبدیل سایبورگ‌ها به محرکی در جهت دموکراسی زیستی و بهبود کیفیت زندگی، به شرطی که جامعه جهانی بتواند بر چالش‌هایی مانند عدالت دیجیتال و تعادل اکولوژیک غلبه کند. در نهایت، ذهنیتی تاب‌آور که هم از فرصت‌های بی‌سابقه استقبال کند و هم از خطرات آرمانشهرها یا ضدآرمانشهرهای افراطی بپرهیزد، کلید عبور از این گذار تاریخی خواهد بود.

این مقاله توسط ماشین نگارش نشده است و جایی دیگر هم به چاپ نرسیده است.

منابع و ماخذ

[1]. Schwab, K. (2016). The fourth industrial revolution. Geneva: World Economic Forum; 2016.

[2]. Feenberg, A. (2010). Ten paradoxes of technology. Techne: Research in Philosophy & Technology, 14(1).

[۳]. آراسته حمیدرضا, & خباره کبری. (۲۰۲۳). نقش هوش مصنوعی و تحول در آموزش عالی.۱۴(۱). ۸-۲.

[4]. Haraway D. (1991). A cyborg manifesto: Science, technology, and socialist-feminism in the late

[1] Ray Kurzweil

[2] Endosymbiotic theory

twentieth century. In: Simians, cyborgs and women. New York: Routledge; 1991.
[5]. Margulis L. (1967).Origin of eukaryotic cells. New Haven: Yale University Press; 1967.
[۶]. مظفری, فاطمه, & عامری, فیروزه. (۱۴۰۳). درهم‌آمیختگی و توانمندسازی: واکاوی پیکربندی «خودِ پسامدرن» از منظر فمنیسم سایبورگ. مجله پژوهش های فلسفی
[۷]. مرادی برلیان, مهدی . (۱۴۰۲). سایبورگ و چالش های آن؛ درنگی از چشم انداز حقوق بشر. دوفصلنامهٔ بین‌المللی حقوق‌بشر, ۱۸(۱), ۲۴۱-۲۶۲
[8]. Grinin, L., & Grinin, A. (2020). The cybernetic revolution and the future of technologies. The 21st century singularity and global futures: a big history perspective, 377-396. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33730-8_17
[9]. Willett, F. R., Avansino, D. T., Hochberg, L. R., Henderson, J. M., & Shenoy, K. V. (2021). High-performance brain-to-text communication via handwriting. Nature, 593(7858), 249-254.
[10]. Martel, S. (2015). Magnetic nanoparticles in medical nanorobotics. Journal of Nanoparticle Research, 17, 1-15.
[11]. Shah, N. J., Hyder, M. N., Quadir, M. A., Dorval Courchesne, N. M., Seeherman, H. J., Nevins, M., & Hammond, P. T. (2014). Adaptive growth factor delivery from a polyelectrolyte coating promotes synergistic bone tissue repair and reconstruction. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(35), 12847-12852.
[12]. Svensson, P., Wijk, U., Björkman, A., & Antfolk, C. (2017). A review of invasive and non-invasive sensory feedback in upper limb prostheses. Expert Review of Medical Devices, 14(6), 439-447.
[13]. Bashor, C. J., & Collins, J. J. (2018). Understanding biological regulation through synthetic biology. Annual Review of Biophysics, 47(1), 399-423.
[14]. Wang, Z. L. (2013). Triboelectric nanogenerators as new energy technology for self-powered systems and as active mechanical and chemical sensors. ACS Nano, 7(11), 9533-9557.
[15]. Piech, D. K., Johnson, B. C., Shen, K., Ghanbari, M. M., Li, K. Y., Neely, R. M., & Muller, R. (2020). A wireless millimetre-scale implantable neural stimulator with ultrasonically powered bidirectional communication. Nature Biomedical Engineering, 4(2), 207-222.
[16]. Moulin, T. C. (2020). Chronic optogenetic stimulation in freely moving rodents. In Channelrhodopsin: Methods and protocols (pp. 391-401). New York, NY: Springer US.
[17]. World Health Organization (WHO). (2021). Global report on assistive technology. 2021. ISBN: 978-92-4-004945-1.
[18]. Das, S., & Mao, E. (2020). The global energy footprint of information and communication technology electronics in connected Internet-of-things devices. Sustainable Energy, Grids and Networks, 24, 100408.
[19]. Barua, A., Al Alamin, M. A., Hossain, M. S., & Hossain, E. (2022). Security and privacy threats for bluetooth low energy in IOT and wearable devices: A comprehensive survey. IEEE Open Journal of the Communications Society, 3, 251-281.
[20]. Xu, C., Dai, Q., Gaines, L., Hu, M., Tukker, A., & Steubing, B. (2020). Future material demand for automotive lithium-based batteries. Communications Materials, 1(1), 99.
[21]. Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., & Koomey, J. (2020). Recalibrating global data center energy-use estimates. Science, 367(6481), 984-986.
[22]. da Cruz, L., Dorn, J. D., Humayun, M. S., Dagnelie, G., Handa, J., Barale, P. O., & Argus II Study Group. (2016). Five-year safety and performance results from the Argus II retinal prosthesis system clinical trial. Ophthalmology, 123(10), 2248-2254.
[23]. Hofmann, B. (2017). Limits to human enhancement: nature, disease, therapy or betterment? BMC Medical Ethics, 18, 1-11.
[24]. Braidotti, R. (2019). A theoretical framework for the critical posthumanities. Theory, Culture & Society, 36(6), 31-61.
[25]. Ezeani, C. C., & Nweke, C. C. (2023). Transhumanism and limits of enhancement. CACH Journal of Humanities and Cultural Studies, 4, 15-31.
[26]. Sagan, D. (2021). From empedocles to symbiogenetics: Lynn Margulis's revolutionary influence on evolutionary biology. BioSystems, 204, 104386.
[27]. Gray, M. W. (2017). Lynn Margulis and the endosymbiont hypothesis: 50 years later. Molecular Biology of the Cell, 28(10), 1285-1287.

مقایسه تطبیقی نظام‌های تأمین مالی پژوهش و فناوری

سیدرضا میرنظامی[۱]، علی ملکی[۱]، احمد کیخا*[۱]

چکیده

تأمین مالی پژوهش و فناوری از عوامل اساسی در توسعه علمی و اقتصادی کشورها به‌شمار می‌رود. این پژوهش با استفاده از روش مروری نظام‌مند، به بررسی تطبیقی نظام‌های تأمین مالی پژوهش و فناوری در پنج کشور منتخب (ایالات متحده آمریکا، انگلستان، آلمان، استرالیا و چین) پرداخته و با تحلیل سیاست‌ها، سازوکارها و روندهای تخصیص منابع مالی، راهکارهایی برای بهبود نظام تأمین مالی پژوهش در ایران ارائه کرده است. داده‌های این مطالعه بر اساس چارچوب مفهومی شامل ۹ بعد کلیدی (سیاستگذاری، سازوکارهای تخصیص منابع، رفتار تخصیص منابع، تأمین مالی، دسترسی، ارزیابی، حمایت و تشویق، منطقه‌ای و دیپلماسی علم و فناوری) گردآوری و تحلیل شده است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که کشورها از ترکیب متنوعی از مدل‌های تأمین مالی دولتی و خصوصی بهره می‌برند و به شیوه‌های رقابتی، شاخص‌محور و بلندمدت در تخصیص منابع مالی توجه دارند. همچنین، کشورهای توسعه‌یافته با تأکید بر تجاری‌سازی پژوهش‌ها، سیاست‌های تشویقی مالی، شفافیت در دسترسی به داده‌ها، و همکاری‌های بین‌المللی، مسیر پایداری را برای توسعه علمی خود ترسیم کرده‌اند. در پایان، پیشنهادهایی برای بهبود نظام تأمین مالی پژوهش در ایران ارائه شده است که شامل ایجاد سیستم تخصیص رقابتی منابع، توسعه تأمین مالی ترکیبی، تمرکز بر پژوهش‌های کاربردی، ایجاد صندوق‌های تخصصی، افزایش شفافیت و حمایت از تحقیقات بلندمدت و پرریسک می‌باشد.

واژگان کلیدی: مطالعه تطبیقی، تخصیص منابع مالی، تامین منابع مالی، پژوهش و فناوری، سیاستگذاری علم و فناوری

* عهده‌دار مکاتبات: پژوهشگر پسا دکترا ، تلفن: ۹۱۲۹۵۸۳۸۸۹ (۹۸)، ، آدرس الکترونیکی : ahmad.keykha72@sharif.edu

[۱] پژوهشکده سیاستگذاری علم، فناوری و صنعت، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

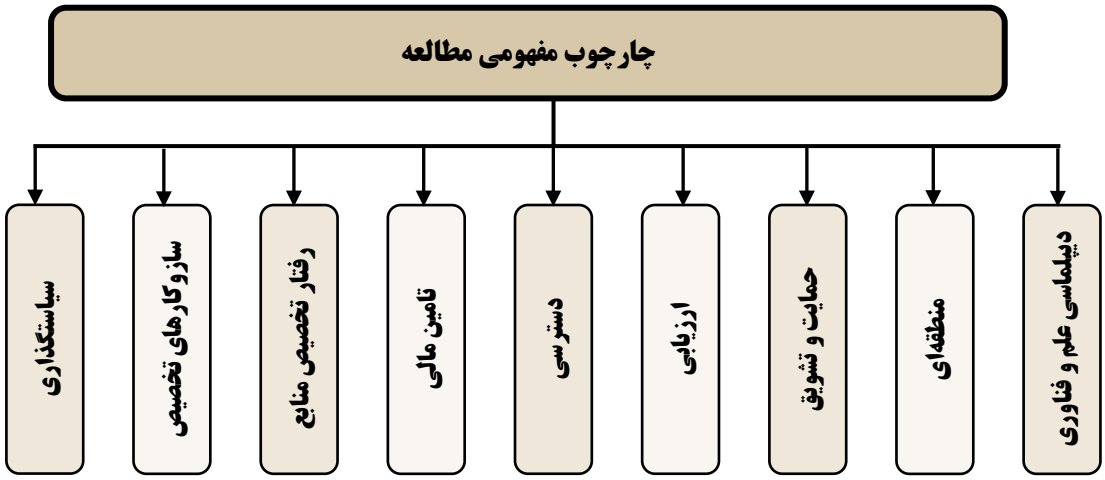
مقدمه

در سال های اخیر، تحولات فناورانه و نوآوری‌های پیاپی در فرایندهای ساخت و تولید، تغییرات عمیقی را در چشم‌انداز صنعتی جهان و پژوهش و فناوری ایجاد کرده است [۱]. پژوهش و فناوری در تحولات مختلف اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و سیاسی جوامع بشری نقش مهمی دارد. علم سرچشمه قدرت، دانایی و توانایی است [۲]. به‌همین دلیل، در سه دهه گذشته، شاهد رشد چشمگیر سرمایه‌گذاری در پژوهش و فناوری در سطح جهانی بوده‌ایم؛ به‌ویژه در آموزش عالی و تحقیقات دانشگاهی، اهمیت تحقیق به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است [۳]. این روند، پژوهش را به یک نیاز اساسی در توسعه ملی و بین‌المللی تبدیل کرده است. دولت‌ها و بخش خصوصی هر دو منابع قابل‌توجهی را به این حوزه اختصاص داده‌اند. با این حال، چالش اصلی، ارتقاء کیفیت و اثربخشی پژوهش در شرایط محدودیت منابع است [۴]. از دهه ۱۹۷۰، اصلاحات گسترده‌ای در شیوه‌های تأمین مالی تحقیق و توسعه آغاز شد که در دهه‌های بعدی شدت یافت. اهمیت این اصلاحات به‌دلیل تأثیر گسترده پژوهش و فناوری بر پیشرفت‌های علمی، اجتماعی و اقتصادی، روزافزون شده است [۵]. با توجه این واقعیت اذعان شده که سطح فعالیت‌های پژوهشی و فناوری از جمله شاخص‌های بنیادین توسعه‌یافتگی محسوب می‌شود، می‌توان اظهار داشت که موفقیت هر کشور در عرصه‌های مختلف توسعه، به‌طور مس**تقیم وابسته به میزان گسترش و کارآمدی این فعالیت‌ها است** [۶-۸]. در این میان، کشورهای در حال توسعه با ضعف در تولید علم و فناوری روبرو هستند و یکی از موانع اصلی آن، ناکارآمدی نظام‌های تأمین مالی است.

توسعه علم، فناوری و نوآوری در اقتصاد ایران به‌عنوان یک هدف اصلی مورد توجه قوانین بالادستی از جمله سند چشم‌انداز و افق ۱۴۴۰ قرارگرفته است. دستیابی به این هدف در کنار حمایت‌های مالی، نیازمند توجه به عوامل نهادی است [۹]. بر اساس سند چشم‌انداز بیست‌ساله، جمهوری اسلامی ایران با تکیه بر پژوهش و توسعه نظام آموزش عالی، دستیابی به جایگاه نخست علمی در منطقه را هدف‌گذاری کرده است. تحقق این هدف مستلزم بررسی وضعیت کشورهای پیشرو در حوزه پژوهش و فناوری است، چراکه ارتباط مثبت میان پژوهش و توسعه همه‌جانبه (اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و فرهنگی) اثبات‌شده است. در کشورهای در حال توسعه، ضعف در تولید علم یکی از موانع اصلی پیشرفت به شمار می‌رود. از جمله ارکان کلیدی در این حوزه، سازوکارهای تأمین مالی است که نقشی محوری در هدایت تحقیقات دارند. در ایران، این نظام با چالش‌هایی مواجه است که نیازمند اصلاح و بازنگری سیاستی است. در شرایط فشار اقتصادی و تحریم‌ها، تقویت نظام تأمین مالی پژوهش امری حیاتی محسوب می‌شود. پژوهش حاضر با هدف بهره‌گیری از تجارب کشورهای آمریکا، انگلیس، آلمان، استرالیا و چین، به بررسی تطبیقی نظام تأمین مالی پژوهش آنها پرداخته است.

چارچوب مفهومی مطالعه

در گام نخست پژوهش، با انجام مرور اولیه بر ادبیات نظری مرتبط با نظام‌های تأمین مالی پژوهش و فناوری، ابعاد و مؤلفه‌های کلیدی این حوزه استخراج شد. این مرور اولیه، مبتنی بر تحلیل مطالعات معتبر بین‌المللی و مستندات تجربی صورت گرفت و نتایج حاصل



شکل ۱: چارچوب مفهومی پژوهش

از آن مبنای طراحی چارچوب مفهومی پژوهش قرار گرفت. در ادامه و پس‌از ارائه چارچوب مفهومی، جزئیات بیشتری درباره پیشینه پژوهش‌ها و منابع مورد استفاده ارائه خواهد شد.[1] این چارچوب دارای ۹ بعد است که در هر بعد به معیارها به‌صورت دو دویی مطرح شده است.

روش پژوهش

با توجه به ماهیت تحقیق که هدف آن استخراج درس‌آموخته‌های سیاستی از نظام‌های تأمین مالی پژوهش و فناوری در چند کشور منتخب است، ترکیب دو رویکرد «مرور نظام‌مند» به‌طور خاص از راهبرد کچنهام و چارترز [۱۰] و «تحلیل تطبیقی» انتخاب شده است. ابزار گردآوری اطلاعات در این پژوهش، فیش‌برداری از اسناد، گزارش‌های بین‌المللی، مقالات علمی و منابع کتابخانه‌ای منتشرشده طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ میلادی (۱۳۸۰ تا ۱۴۰۳ شمسی) بود. با رویکرد مرور نظام‌مند، پایگاه‌ها و وب‌سایت‌های رسمی وزارتخانه‌های آموزشی و پژوهشی کشورهای هدف مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، با استفاده از کلیدواژه‌هایی مانند «نظام تامین مالی پژوهش و فناوری» به تفکیک کشورها، جستجو در پایگاه‌های بین‌المللی نظیر ScienceDirect، Springer، Wiley Online، ERIC، Sage و Emerald و پایگاه‌های ملی همچون مگیران، نورمگز و پرتال جامع علوم انسانی انجام شد. انتخاب منابع با روش نمونه‌گیری قضاوتی و هدفمند، مطابق با راهبرد «دست‌چین» در مطالعات فراترکیب صورت گرفت [۱۱].

برای ارتقاء کیفیت داده‌ها در این پژوهش، از ترکیبی از چهار روش ارزیابی استفاده شده است: ۱) چندگانگی تحلیلی، با مشارکت مستمر چند پژوهشگر در بازکاوی داده‌ها جهت افزایش دقت و کاهش سوگیری؛ ۲) گسترش میدان نظری، از طریق غوطه‌وری در ادبیات نظری و تدوین چارچوب مفهومی منسجم و سازگار با داده‌ها؛ ۳) اعتبار همگرایانه (وفاقی)، با گفت‌وگو و اجماع میان اعضای تیم پژوهشی برای دستیابی به تفسیر مشترک از یافته‌ها؛ و ۴) روایی بازاندیشانه، که طی آن پژوهشگران با رویکردی خودانتقادی، یافته‌ها و فرایند پژوهش را چندباره بررسی کردند. در مرحله استخراج داده‌ها، اطلاعات کلیدی از منابع منتخب و منطبق با چارچوب مفهومی پژوهش فیش‌برداری شد. این داده‌ها شامل جزئیات مرتبط با هر یک از ۹ بُعد پژوهش بوده و در جدولی برای سنتز نهایی ذخیره شدند. همچنین، برای استخراج گزاره‌های کلیدی، از روش تحلیل محتوای کیفی جهت‌دار بهره گرفته شد، که زمانی به‌کار می‌رود که تحلیل برمبنای چارچوبی نظام‌مند و از پیش تعیین‌شده صورت گیرد [۱۲].

یافته‌های پژوهش

در ادامه به تفکیک ابعاد و زیر معیارها برای هر کشور جهت‌گیری آن تبیین و تحلیل شده است.

سیاست‌گذاری

در جدول ۱ جهت‌گیری سیاستی کشورهای مورد مطالعه در بعد سیاستگذاری تأمین مالی پژوهش و فناوری بیان شده است.

جدول ۱: جهت‌گیری سیاستی کشورهای مورد مطالعه در بعد سیاست‌گذاری[2]

کشور	جهت‌گیری سیاستی	منابع
ایالات متحده آمریکا	دولت فدرال به‌عنوان تأمین‌کننده اصلی منابع مالی پژوهش، نقش محوری دارد. دانشگاهیان با ارائه پروپوزال رقابت می‌کنند. سیاست تخصیص بودجه میان اولویت‌های ملی و استقلال پژوهشی توازن می‌یابد. یک آژانس مرکزی، بر اساس نیازهای دولت، اولویت‌ها را تعیین و منابع را تخصیص می‌دهد.	(۱) (۲) (۳)[۱۳]
انگلستان	در انگلستان، نظام تأمین مالی پژوهش ترکیبی از منابع دولتی و خصوصی است. دولت از طریق نهادهایی چون دفتر علم و فناوری و شوراهای تحقیقاتی، اولویت‌های راهبردی کلان را مشخص می‌کند. با این حال، تصمیم‌گیری نهایی درباره تخصیص منابع توسط شوراهای تحقیقاتی و دانشگاه‌ها انجام می‌شود. این رویکرد ترکیبی از سیاستگذاری بالا به پایین و استقلال نهادی پایین به بالاست (اصل هالند).	(۴)[۱۵][۱۷](۵)

[1] چارچوب مفهومی بر گرفته از طرح پژوهشی با عنوان (مطالعه تطبیقی کمی و کیفی نظام تامین مالی پژوهش و فناوری در سطح ملی و کشورهای منتخب: ایالات متحده، انگلیس، استرالیا، آلمان و چین) می‌باشد.

[2] در تمامی جداول یافته‌ها در ستون منابع با توجه به اینکه (۱) پژوهش حاضر مستخرج از پروژه پسادکتری در پژوهشکده سیاستگذاری دانشگاه صنعت شریف است و تعداد رفرنس‌های هر بخش زیاد است و (۲) محدودیت تعداد رفرنس در ژورنال فقط به گزیده‌ای از رفرنس‌ها اشاره شده است.

آلمان	تخصیص منابع مالی پژوهش عمدتاً توسط دولت انجام می‌شود، اما فرآیند تصمیم‌گیری ترکیبی از سیاستگذاری دولتی و استقلال نهادی است. دولت فدرال و ایالتی اولویت‌ها و راهبردها را تعیین می‌کنند و مؤسسات پژوهشی در چارچوب این سیاست‌ها، در تخصیص منابع نقش دارند.	(۶) (۷)
استرالیا	تخصیص منابع مالی پژوهش و فناوری عمدتاً برعهده دولت است. سیاست‌های کلان توسط دولت تعیین می‌شود، اما نهادهای پژوهشی و دانشگاهیان در چارچوب این سیاست‌ها نقش فعالی دارند. اولویت‌بندی منابع مالی ترکیبی از سیاست‌های دولتی و نیازهای مؤسسات پژوهشی است و تصمیم‌گیری به‌صورت مشارکتی انجام می‌شود.	(۸) (۹)
چین	تخصیص منابع مالی پژوهش عمدتاً توسط دولت انجام می‌شود. دولت سیاست‌های کلان را تعیین می‌کند و مؤسسات پژوهشی در چارچوب آنها نقش اجرایی دارند. اولویت‌ها بیشتر دولتی‌اند، اما برخی نهادها در حوزه‌هایی استقلال نسبی دارند.	[۱۶] [۱۷] (۱۰)

سازوکارهای تخصیص منابع

در جدول ۲ جهت‌گیری سیاستی کشورهای مورد مطالعه در بعد سازوکارهای تخصیص منابع مالی پژوهش و فناوری تشریح شده است.

جدول ۲: جهت‌گیری سیاستی کشورهای مورد مطالعه در بعد سازوکارهای تخصیص منابع مالی

کشور	جهت‌گیری سیاستی	منابع
ایالات متحده آمریکا	روند کلی بر تقویت نظام رقابتی، تمرکز بر نتایج و خروجی‌های پژوهش به‌جای معیارهای درون‌دادی، افزایش توجه به تحقیقات کاربردی و حمایت از تحقیقات بنیادی در چارچوب دولتی است؛ همچنین، هماهنگی با استانداردهای ملی و بین‌المللی مورد تأکید است.	(۳)(۲)(۱)
انگلستان	در انگلستان، تخصیص منابع مالی پژوهش ترکیبی است، اما تمرکز بر حمایت پروژه‌محور و رقابتی با سیستم دوگانه است. شاخص‌های عملکردی مانند کیفیت، تأثیر، محیط پژوهشی و خروجی‌ها مبنای ارزیابی‌اند. پژوهش‌های کاربردی اولویت دارند و ارزیابی‌ها براساس استانداردهای ملی مانند چارچوب تعالی پژوهش انجام می‌شود.	[۱۷] [۱۵] [۱۸] (۴)
آلمان	- تخصیص منابع مالی پژوهش و فناوری عمدتا پروژه‌محور رقابتی - نشانگرهای تخصیص منابع مالی بیشتر بر شاخص‌های عملکردی مانند کیفیت پژوهش، تأثیرگذاری و خروجی‌های علمی متمرکز هستند. - تأکید بیشتر به‌سمت تحقیقات کاربردی - ترکیب استانداردهای ملی و بین‌المللی لحاظ می‌گردد.	(۶) [۱۹](۷)
استرالیا	در استرالیا، تخصیص منابع پژوهشی عمدتاً پروژه‌محور و رقابتی است، با بودجه‌ریزی مؤسسه‌ای برای زیرساخت‌ها. شاخص‌های عملکردی، به‌ویژه در دانشگاه‌های Go8، نقش کلیدی دارند. تأکید بر پژوهش‌های کاربردی و تجاری‌سازی است و استانداردها با معیارهای بین‌المللی هم‌راستا هستند.	[۲۰](۱۱)
چین	- عمدتاً به‌صورت پروژه‌محور و رقابتی انجام می‌شود. - تأکید بر شاخص‌های خروجی‌محور است. - تأمین مالی تحقیقات شامل هر دو نوع پژوهش‌های بنیادی و کاربردی است اما جهت‌گیری اخیر به‌سمت تحقیقات کاربردی است. - در زمینه استانداردهای چین بیشتر به معیارهای ملی متکی است.	[۲۲][۲۱]

رفتار تخصیص منابع

در جدول ۳ جهت‌گیری سیاستی کشورهای مورد مطالعه در بعد رفتار تخصیص منابع پژوهش و فناوری تشریح شده است.

جدول ۳: جهت‌گیری سیاستی کشورهای مورد مطالعه در بعد رفتار تخصیص منابع

کشور	جهت‌گیری سیاستی	منابع
ایالات متحده آمریکا	روند کلی تأمین مالی پژوهش به‌سمت حمایت از پروژه‌های پرریسک، متوازن‌سازی بین پروژه‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت، تمرکز بر شایستگی علمی، توجه به مشارکت اقلیت‌ها، ترویج پژوهش‌های چندرشته‌ای، توسعه فناوری‌های نوین و پشتیبانی همزمان از پروژه‌های کوچک‌مقیاس نوآورانه و پروژه‌های بزرگ‌مقیاس با اهداف ملی و جهانی است.	(۱) (۲) (۳)[۱۳]

انگلستان	در انگلستان، تخصیص منابع مالی پژوهشی با تمرکز بر پروژه‌های بلندمدت و استراتژیک انجام می‌شود، درحالی‌که پروژه‌های کوتاه‌مدت نیز حمایت می‌شوند. ریسک‌پذیری متوسط است اما در پروژه‌های با پتانسیل بالا پذیرفته می‌شود. انتخاب بر پایه سابقه پژوهشگران، پژوهش‌های میان‌رشته‌ای و توسعه فناوری‌های نوین و پروژه‌های بزرگ‌مقیاس انجام می‌شود.	[۱۵] (۵)
آلمان	در این نظام، ریسک‌پذیری از سطح متوسط تا بالا متغیر است و از پروژه‌های نوآورانه، به‌ویژه در مراحل اولیه، حمایت می‌شود. تمرکز بر پروژه‌های بلندمدت، فناوری‌های نوین اکتشافی و پژوهش‌های میان‌رشته‌ای است. تأمین مالی به‌شدت به سوابق پژوهشگران وابسته بوده و پروژه‌های بزرگ‌مقیاس استراتژیک اولویت دارند.	(۶) (۷) (۱۲)
استرالیا	در این نظام، ریسک‌پذیری در تخصیص منابع مالی پژوهشی در سطح متوسط تا بالا قرار دارد. پروژه‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت به‌صورت ترکیبی حمایت می‌شوند. ارزیابی براساس پروفایل علمی پژوهشگران انجام می‌شود. پژوهش‌های میان‌رشته‌ای، توسعه فناوری‌های نوین و پروژه‌های بزرگ‌مقیاس در اولویت قرار دارند.	(۱۳) (۱۴)
چین	در این الگو، ریسک‌پذیری مالی پژوهش در سطح متوسط است و تمرکز بر پروژه‌های با احتمال موفقیت بالا و کاربرد عملی است. سرمایه‌گذاری بر تحقیقات بلندمدت، وابستگی به سوابق پژوهشگران، حمایت از پژوهش‌های میان‌رشته‌ای، بومی‌سازی و ارتقای فناوری، و تأکید بر پروژه‌های بزرگ‌مقیاس با تأثیر ملی دیده می‌شود	(۱۴) [۱۶] [۲۲]

تأمین مالی

در جدول ۴ جهت‌گیری سیاستی کشورهای مورد مطالعه در بعد تأمین مالی پژوهش و فناوری تشریح شده است.

جدول ۴: جهت‌گیری سیاستی کشورهای مورد مطالعه در بعد تأمین مالی

کشور	جهت‌گیری سیاستی	منابع
ایالات متحده آمریکا	روند کلی به‌سمت تجاری‌سازی پژوهش، ایجاد صندوق‌های تخصصی در حوزه‌های خاص و کاهش مشارکت مستقیم بانک‌هاست.	[۲۳] (۱)
انگلستان	تأمین مالی پژوهش بر تجاری‌سازی نتایج تمرکز دارد و از مدل ترکیبی صندوق‌های مشترک و تخصصی استفاده می‌شود، بدون مشارکت مستقیم بانک‌ها	[۱۸] [۲۴] (۱۶)
آلمان	تأمین مالی پژوهش بر تجاری‌سازی تمرکز دارد و صرف انجام پژوهش کافی نیست. منابع از طریق ترکیبی از صندوق‌های مشترک و تخصصی تخصیص می‌یابد. بانک‌ها، به‌ویژه در حمایت از استارت‌آپ‌ها و شرکت‌های میتل‌استند، نقش فعالی ایفا می‌کنند.	(۱۷) (۱۸)
استرالیا	تأکید بر تجاری‌سازی پژوهش، توسعه صندوق‌های مشترک، و مشارکت محدود بانک‌ها در تأمین مالی پژوهش مشاهده می‌شود.	(۱۳) (۱۹)
چین	تأکید بر تجاری‌سازی پژوهش، استفاده از صندوق‌های تأمین مالی مشترک، و نقش فعال بانک‌ها در حمایت مالی از پژوهش و فناوری است.	[۱۶] [۱۷]

دسترسی

در جدول ۵ جهت‌گیری سیاستی کشورهای مورد مطالعه در بعد دسترسی بیان شده است.

جدول ۵: جهت‌گیری سیاستی کشورهای مورد مطالعه در بعد دسترسی

کشور	جهت‌گیری سیاستی	منابع
ایالات متحده آمریکا	روند کلی به‌سمت انتشار عمومی نتایج پژوهش و افزایش دسترسی به داده‌های پژوهشی است. در عین حال، حفظ محرمانگی داوران و نتایج داوری برای تضمین بی‌طرفی و کیفیت ارزیابی‌ها مورد تأکید قرار دارد.	(۱) (۲)
انگلستان	انتشار نتایج پژوهش هم در سطح عمومی و هم دانشگاهی انجام می‌شود. دسترسی به داده‌ها به‌سمت شفافیت و اشتراک‌گذاری برای پژوهشگران و عموم جهت‌گیری دارد، با رعایت محرمانگی در موارد حساس. نتایج ارزیابی‌ها به‌صورت عمومی، اما با حفظ هویت داوران منتشر می‌شود.	[۱۴] [۱۸]
آلمان	نتایج پژوهش به‌صورت گسترده و آنلاین منتشر می‌شود، داده‌ها در دسترس پژوهشگران‌اند و ارزیابی‌ها عمومی‌اند.	(۲۰) (۲۱)

استرالیا	نتایج پژوهش در سطوح عمومی و دانشگاهی منتشر می‌شود. داده‌های علمی با دسترسی کنترل‌شده در اختیار عموم قرار می‌گیرند و نتایج ارزیابی‌ها بدون افشای هویت داوران منتشر می‌شوند.	(۲۲) (۲۳)
چین	انتشار نتایج پژوهشی عمدتاً در سطح دانشگاهی است. دسترسی به داده‌های پژوهشی کنترل‌شده و محدود بوده و محرمانگی رعایت می‌شود. نتایج ارزیابی‌ها منتشر می‌شود، اما هویت داوران محفوظ می‌ماند.	(۱۴) [۲۵]

ارزیابی

در جدول ۶ جهت‌گیری سیاستی کشورهای مورد مطالعه در بعد ارزیابی بیان شده است.

جدول ۶: جهت‌گیری سیاستی کشورهای مورد مطالعه در بعد ارزیابی

کشور	جهت‌گیری سیاستی	منابع
ایالات متحده آمریکا	روند ارزیابی پژوهش‌ها به‌سمت استفاده از ترکیب بررسی همتا و پانل‌های خبرگان، معیارهای استاندارد، ارزیابی پیشینی و پسینی با تأکید بر امکان‌سنجی، و حفظ استقلال داوران همراه با نظارت بر کیفیت داوری گرایش دارد	(۲۴) [۲۶]
انگلستان	ارزیابی طرح‌های پژوهشی با تکیه بر بررسی همتا و پانل‌های خبرگان انجام می‌شود. معیارها بر اساس چارچوب‌های استاندارد تعیین می‌گردد. ارزیابی در مراحل پیش و پس از اجرا صورت می‌گیرد و عملکرد داوران با حفظ استقلالشان بررسی و رتبه‌بندی می‌شود.	[۱۴] [۱۵]
آلمان	ارزیابی طرح‌های پژوهشی از طریق بررسی همتا و پانل‌های خبرگان انجام می‌شود. معیارهای استاندارد هر پنج سال بازنگری می‌شوند. ارزیابی در دو مرحله پیش و پس از اجرا صورت می‌گیرد و داوران با حفظ استقلال، ارزیابی و رتبه‌بندی می‌شوند.	(۲۵) (۲۱) (۲۰)
استرالیا	ارزیابی پژوهش‌ها با بررسی همتا، بر پایه چارچوب‌های استاندارد انجام می‌شود و دوره ارزیابی برای سنجش و رتبه‌بندی اثرات تنظیم می‌شود.	[۲۰] (۲۲)
چین	ارزیابی طرح‌های پژوهشی با بررسی همتا و پانل‌های خبرگان انجام می‌شود. معیارها استاندارد و غیرشخصی هستند. ارزیابی پیش و پس از اجرا انجام شده و عملکرد داوران نیز بررسی و رتبه‌بندی می‌شود.	[۲۱] [۲۲]

حمایت و تشویق

در جدول ۷ جهت‌گیری سیاستی کشورهای مورد مطالعه در بعد ارزیابی بیان شده است.

جدول ۷: جهت‌گیری سیاستی کشورهای مورد مطالعه در بعد ارزیابی

کشور	جهت‌گیری سیاستی	منابع
ایالات متحده آمریکا	- روند کلی به سمت پرداخت بودجه‌های تشویقی و مازاد برحسب عملکرد است. - روند کلی به سمت تشویق‌های بودجه‌ای در هر دو سطح ملی و بین‌المللی است.	(۱) (۲) (۲۴)
انگلستان	- پاداش‌های مالی مازاد بر بودجه پژوهشی براساس عملکرد و تأثیرگذاری تحقیقات در نظر گرفته می‌شود. - تشویق‌های بودجه‌ای برای پژوهش و فناوری هم در سطح ملی و هم در سطح بین‌المللی اعمال می‌شود.	[۱۴] [۱۵]
آلمان	- پاداش‌های مالی مازاد بر بودجه به‌صورت تشویقی و براساس عملکرد پژوهشگران و مؤسسات پژوهشی پرداخت می‌شود. - تشویق‌های بودجه‌ای برای پژوهش و فناوری در سطح ملی و به‌عنوان اهرامی برای جبران رقابت‌پذیری پایین‌تر مناطق شرقی و غربی یا افزایش مشوق‌های مالیاتی	(۶) (۱۷)
استرالیا	- کمک‌های مالی اضافی و مشوق‌های مالیاتی - تشویق‌های بودجه‌ای در سطح ملی و هم در سطح بین‌المللی	(۱۳) (۱۴)
چین	- پاداش‌های مالی مازاد و افزایش میزان مشوق‌های مالیاتی و سیاست‌های تشویقی همکاری‌های پژوهشی - تشویق‌های بودجه‌ای برای پژوهش و فناوری عمدتاً در سطح ملی ارائه می‌شود.	[۱۷] [۲۷]

منطقه‌ای

در جدول ۸ جهت‌گیری سیاستی کشورهای مورد مطالعه در بعد منطقه‌ای بیان شده است.

جدول ۸: جهت‌گیری سیاستی کشورهای مورد مطالعه در بعد منطقه‌ای

کشور	جهت‌گیری سیاستی	منابع
ایالات متحده آمریکا	روند کلی تخصیص منابع مالی پژوهشی به‌سمت توازن بین سطوح منطقه‌ای و ملی است. در سطح ایالتی، سرمایه‌گذاری بر اساس نیازها و ظرفیت‌ها انجام می‌شود. سیاست‌های منطقه‌ای توسعه متوازن را دنبال می‌کنند و سیاست‌های ملی بر رفع نیازهای کلان و اجتماعی با مداخله دولتی تمرکز دارند.	(۱) (۲)
انگلستان	تخصیص منابع مالی پژوهش در هر دو سطح ملی و منطقه‌ای انجام می‌شود. اگرچه سیاستگذاری عمدتاً ملی است، اما توجه به سیاست‌های منطقه‌ای رو به افزایش است.	[۱۵][۱۸] [۲۴]
آلمان	تخصیص منابع مالی پژوهش و فناوری در هر دو سطح ملی و منطقه‌ای انجام می‌شود. سیاست‌گذاری ترکیبی است؛ ایالت‌ها با توجه به ویژگی‌های خود، استراتژی‌های نوآوری منطقه‌ای را در هماهنگی با استانداردهای ملی و بین‌المللی تدوین می‌کنند.	(۶) [۱۹]
استرالیا	تأمین مالی با مشارکت گسترده دولت‌های منطقه‌ای انجام می‌شود و سیاست‌گذاری ترکیبی از اولویت‌های ملی و محلی در هدایت منابع است.	(۹) (۱۳)
چین	سیاست‌گذاری تأمین مالی پژوهش عمدتاً ملی است، اما توسعه سیاست‌های نوآوری منطقه‌ای برای دستیابی به رشد علمی و فناورانه متوازن نیز مورد توجه قرار دارد.	(۱۰) (۱۴)

دیپلماسی علم و فناوری

در جدول ۹ جهت‌گیری سیاستی کشورهای مورد مطالعه در بعد دیپلماسی علم و فناوری بیان شده است.

جدول ۹: جهت‌گیری سیاستی کشورهای مورد مطالعه در بعد دیپلماسی علم و فناوری

کشور	جهت‌گیری سیاستی	منابع
ایالات متحده آمریکا	روند کلی به‌سمت تقویت همکاری‌های بین‌المللی در کنار توسعه ظرفیت‌های ملی است. بازاریابی دستاوردهای پژوهشی در سطوح ملی و جهانی دنبال می‌شود. همچنین، جذب پژوهشگران با ارائه فرصت‌های تحقیقاتی جذاب، تسهیلات پیشرفته و برنامه‌های حمایتی در سطح بین‌المللی و داخلی مورد تأکید است.	[۲۸] (۲۶)
انگلستان	دیپلماسی علم و فناوری با تمرکز بر همکاری‌های بین‌المللی توسعه می‌یابد. بازاریابی پژوهش و جذب پژوهشگران در هر دو سطح ملی و بین‌المللی به‌صورت هم‌زمان دنبال می‌شود.	[۱۸] [۲۴]
آلمان	مشارکت فعال در برنامه‌های پژوهشی اتحادیه اروپا و سازمان‌های چندجانبه، همراه با بازاریابی نتایج پژوهش در سطوح ملی و بین‌المللی، موجب ورود نوآوری‌ها به بازار جهانی و جذب پژوهشگران بین‌المللی در چارچوب ابتکار تعالی می‌شود.	(۶) (۷)
استرالیا	دیپلماسی علم و فناوری با تمرکز بر همکاری‌های بین‌المللی و پروژه‌هایی مانند MRFF توسعه می‌یابد. هاب‌هایی برای تیم‌های پژوهشی ملی و بین‌المللی ایجاد شده‌اند. همچنین، بازاریابی نتایج پژوهش و جذب استعدادهای داخلی و بین‌المللی هم‌زمان دنبال می‌شود.	(۱۳) (۱۹) (۸)
چین	همکاری‌های بین‌المللی، به‌ویژه با اتحادیه اروپا، تعمیق یافته است. بازاریابی پژوهش از طریق پیش‌خرید دولتی در سطح ملی انجام می‌شود. سازوکارهای جذب پژوهشگران، با تمرکز بر حمایت داخلی و جذب نخبگان جهانی در حوزه‌هایی مانند هوش مصنوعی طراحی شده‌اند.	[۲۷] (۱۰)

نتیجه‌گیری

در دهه‌های اخیر، با توجه به محدودیت منابع مالی، نحوه تخصیص بهینه و اثربخش بودجه‌های پژوهشی و فناورانه به یکی از دغدغه‌های اصلی کشورهای مختلف تبدیل شده است. در همین راستا، پژوهش حاضر با هدف بررسی تطبیقی نظام‌های تأمین مالی پژوهش و فناوری در پنج کشور ایالات متحده، انگلستان، آلمان، استرالیا و چین انجام شده است. این مطالعه با بهره‌گیری از چارچوب مفهومی ۹ بُعدی، به تحلیل و تبیین نظام‌های تأمین مالی این کشورها پرداخته و در نهایت، مجموعه‌ای از پیشنهادهای سیاستی برای ایران ارائه کرده است:

- ایجاد سیستم تخصیص منابع رقابتی: بودجه پژوهشی باید بر اساس فرآیند شفاف و نیازمحور، و با توجه به اثربخشی

اجتماعی و علمی، تخصیص یابد تا رقابت سالم میان پژوهشگران تقویت شود

- توسعه رویکرد تأمین مالی ترکیبی: با تشویق مشارکت بخش خصوصی در کنار دولت، وابستگی به منابع دولتی کاهش یافته و پایداری مالی افزایش می‌یابد.
- تمرکز بر پژوهش‌های کاربردی و قابل تجاری‌سازی: سرمایه‌گذاری در پژوهش‌هایی که پتانسیل تبدیل به محصولات و خدمات دارند، به رفع نیازهای کشور و رشد اقتصادی کمک می‌کند.
- ایجاد صندوق‌های تأمین مالی تخصصی: تمرکز بر حوزه‌های اولویت‌دار مانند هوش مصنوعی، انرژی‌های نو و زیست‌فناوری با تأسیس صندوق‌های تخصصی، بهره‌وری را افزایش می‌دهد.
- توسعه سیاست‌های تشویقی مالی: با معافیت‌های مالیاتی برای شرکت‌های سرمایه‌گذار در پژوهش و پاداش‌های عملکردی برای پژوهشگران، انگیزه‌ها تقویت می‌شود.
- افزایش شفافیت و دسترسی به نتایج: ایجاد پلتفرم‌های ملی برای انتشار آزاد نتایج پژوهش‌ها، به‌جز موارد حساس، بهره‌برداری عمومی از دانش تولیدشده را ممکن می‌سازد.
- گسترش همکاری‌های بین‌المللی: جذب سرمایه و دانش از طریق مشارکت در پروژه‌های بین‌المللی می‌تواند ظرفیت پژوهشی کشور را ارتقا دهد.
- حمایت از پژوهش‌های بلندمدت و پرریسک: دولت باید تأمین مالی پژوهش‌های بنیادی و نوآورانه را که بخش خصوصی از آن‌ها اجتناب می‌کند، برعهده گیرد.
- افزایش بودجه پژوهش‌های میان‌رشته‌ای: حمایت از پروژه‌های ترکیبی با ماهیت چندرشته‌ای، نوآوری و کارآمدی پژوهش را ارتقا می‌دهد.
- طراحی مکانیزم‌های ارزیابی مستمر: ارزیابی منظم تأثیر پژوهش‌های تأمین مالی‌شده، به اصلاح سیاست‌ها و افزایش بهره‌وری منابع منجر می‌شود.

سپاسگزاری

این پژوهش برگرفته از طرح پژوهشی با عنوان «مطالعه تطبیقی کمی و کیفی نظام تأمین مالی پژوهش و فناوری در سطح ملی و کشورهای منتخب (ایالات متحده، انگلیس، استرالیا، آلمان و چین)» است که توسط مرکز مطالعات و همکاری‌های علمی بین‌المللی وزارت علوم تحقیقات و فناوری تأمین مالی آن صورت گرفته است. همچنین، این مقاله و یا قسمتی از ان قبلا به چاپ نرسیده و مقاله هیچ بخشی از ان توسط ماشین نگارش نشده است.

وبگاه‌های بازدید شده

(1). University of Cambridge. A brief history of research funding in the United States. 2017. Available from: https://www.cambridge.org/core/books/abs/get-funded-an-insiders-guide-to-building-an-academic-research-program/brief-history-of-research-funding-in-the-united-states/4314EE7DEEED256B56D44D9D3710F3E2
(2). Research and Development. U.S. Government. 2023. Available from: https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/04/ap_18_research_fy2023.pdf
(3). National Science Foundation. FY 2023 budget request to Congress. 2023. Available from: https://nsf-gov-resources.nsf.gov/about/budget/fy2023/pdf/01_fy2023.pdf
(4). UK Parliament Commons Library. Research and development funding policy. 2023. Available from: https://commonslibrary.parliament.uk/research-briefings/cbp-7237/
(5). UK Parliament, House of Lords Science and Technology Committee. “Science and technology superpower”: more than a slogan? 2023. Available from: https://publications.parliament.uk/pa/ld5803/ldselect/ldsctech/47/47.pdf
(6). Federal Ministry of Education and Research (Germany). Facts and figures. 2020. Published November 27. Accessed January 5, 2021. Available from: https://www.research-in-germany.org/en/research-landscape/facts-and-figures.html
(7). Federal Ministry of Education and Research (Germany). Federal report on research and innovation 2020: short version. Berlin: BMBF; 2020.
(8). Australian Research Council. ARC at a glance. 2023. Available from: https://www.arc.gov.au/sites/default/files/2023-06/ARC%20at%20a%20Glance%20-%20June%202023%20v4_double-page.pdf
(9). Australian Research Council. Funding agencies and organizations in the Asia and Oceania region. 2018. Available from: https://www.ifla.org/wp-content/uploads/2019/05/assets/asia-and-oceania/FundingAgencies/rscao_funding_agencies_31jul18.pdf
(10). European Union. Map of major funding agencies and stakeholders in Europe and China. 2020.

(21). Leibniz Association. Guidelines for the use of Leibniz Competition funds. 2024. Available from: https://www.leibniz-gemeinschaft.de/fileadmin/user_upload/Bilder_und_Downloads/Forschung/Wettbewerb/Dokumente/16_Verwendungsrichtlinie_EN.pdf
(22). Australian Government. Financial assistance to support the Australian Medical Research and Innovation Priorities 2020–2022. 2023. Available from: https://www.health.gov.au/sites/default/files/2023-09/financial-assistance-to-support-the-australian-medical-research-and-innovation-priorities-2020-2022.pdf
(23). ACIL Allen. Impact assessment of ARC-funded research: summary report. 2023. Available from: https://www.arc.gov.au/sites/default/files/2023-08/Impact%20assessment%20of%20ARC-funded%20research%20-%20Summary%20report.pdf
(24). National Science Foundation. Notice to research community: use of generative artificial intelligence technology in the NSF merit review process. 2022. Available from: https://new.nsf.gov/news/notice-to-the-research-communityon-ai
(25). Max Planck Society. Max Planck–Humboldt Research Award – regulations on the use of funds. 2023. Available from: https://www.humboldt-foundation.de/fileadmin/Bewerben/Programme/Max-Planck-Humboldt-Forschungspreis/max-planck-humboldt-award_regulations_use_of_funds.pdf
(26). The Office of Science and Technology Policy (USA). 2023. Available from: https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R47410/2

منابع و ماخذ

[۱] کیانی بختیاری، ابوالفضل، موسوی موحدی، علی‌اکبر (۱۴۰۰). انقلاب صنعتی چهارم و تغییرات بنیادین پیش‌رو، نشریه نشاء علم ۱۱، ۲، ۱۵۵–۱۶۳.

[۲] وزیری، اسماعیل، صبوری، علی‌اکبر (۱۴۰۰). تعاملات علمی بین‌المللی، پیشران دیپلماسی علم و فناوری، نشریه نشاء علم ۱۲، ۱، ۱۳–۲۰.

[3] Vincent-Lancrin, S. (2006). What is changing in academic research? Trends and future scenarios ، *European Journal of Education* 41, 2, 169-202
[4] Jonkers, K., Zacharewicz, T. (2017). Research performance-based funding systems: a comparative assessment ،Publications Office of the European Union ،Luxembourg.
[5] Hjort, J., Moreira, D., Rao, G., Santini, J.F. (2021). How research affects policy: experimental evidence Available from: https://www.senet-hub.eu/wp-content/uploads/2020/09/SENET_Map-of-major-funding-agencies-and-stakeholders_website.pdf
(11). Innovation Research Universities (Australia). Concentration and diversity in Australian research funding, output and impact. 2023. Available from: https://iru.edu.au/wp-content/uploads/2023/06/Concentration-and-diversity-in-Australian-research-funding-output-and-impact-June-2023.pdf
(12). Teja R. Science and technology policy of France and Germany. 2022. Available from: https://jgu.s3.ap-south-1.amazonaws.com/jsia/Arun+Teja+-+Technology+Policy+of+France_Germany.pdf
(13). Australian Government. Australian Medical Research and Innovation Strategy 2016–2021. 2021. Available from: https://www.health.gov.au/resources/publications/australian-medical-research-and-innovation-strategy-2016-2021
(14). Research Australia. Inquiry into funding Australia's research. 2018. Available from: https://www.aph.gov.au/Parliamentary_Business/Committees/House/Employment_Education_and_Training/FundingResearch
(15). The Swedish Foundation for International Cooperation in Research and Higher Education (STINT). Public research and innovation funding actors in China. 2020. Available from: https://www.stint.se/wp-content/uploads/2020/09/23087_STINT_rapport_Public_Research_and_Innovation_Funding_Actors_in_China_webb.pdf
(16). Department of Science, Innovation and Technology (UK). The UK science and technology framework. 2023. Available from: https://www.gov.uk/government/publications/uk-science-and-technology-framework/the-uk-science-and-technology-framework
(17). OECD. Bridging the gap in the financing of intangibles to support productivity: background paper. 2021. Available from: https://www.oecd.org/global-forumproductivity/events/Bridging-the-gap-in-the-financing-of-intangibles-to-support-productivitybackground-paper.pdf
(18). World Bank. Domestic credit to private sector by banks (% of GDP). 2020. Available from: https://data.worldbank.org/indicator/FD.AST.PRVT.GD.ZS?locations=DEOE-US-FR
(19). The Group of Eight (Go8). Essential decisions for national success: supporting Australian research. 2020. Available from: https://go8.edu.au/category/essential-decisions
(20). Fraunhofer. The funding program Fraunhofer Attract. 2023. Available from: https://www.fraunhofer.de/en/jobs-and-career/seasoned-professionals/fraunhofer-attract.html

from 2,150 Brazilian municipalities ،American Economic Review 111, 5, 1442–1480.

[۶] علیایی، محمدصادق (۱۴۰۰). مروری بر تاریخچه فعالیت شبکه آزمایشگاه‌های تحقیقاتی کشور، نشریه نشاء علم ۱۱، ۲، ۱۴۴–۱۵۴.

[7] Thelwall, M., Simrick, S., Viney, I., Van den Besselaar, P. (2023). What is research funding, how does it influence research, and how is it recorded؟ Scientometrics 128,11: 6085-6606

[8] Soroya, S.H., Umar, M., Aljohani, N.R., Visvizi, A., Nawaz, R. (2022). How effective is research funding? Exploring research performance indicators, Journal of Scientometric Research 11, 3, 309–317.

[9] Khalili Araghi, Mansour, Barkhordari, Sajjad (2018). An investigation of effects of institutional factors on development of science, technology and innovation ،Science Cultivation Journal 8, 2: 74

[10] Kitchenham, B., Charters, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering ،Technical Report ،Keele University and Durham University.

[11] Finfgeld-Connett, D., Johnson, E.D. (2013). Literature search strategies for conducting knowledge-building and theory-generating qualitative systematic reviews ،Journal of Advanced Nursing 69, 1: 194-204

[12] Graneheim, U.H., Lundman, B. (2004). Qualitative content analysis in nursing research: concepts, procedures and measures to achieve trustworthiness, Nurse Education Today 24, 2, 105–112.

[13] Evans, K.M., Hazan, G., Kamepalli, S., Matthews, K.R. (2021). US federal scientific research and development: budget overview and outlook.

[14] Gideon, A. (2017). The structure of research funding in Germany, the Netherlands and England (UK), in: Higher Education Institutions in the EU: Between Competition and Public Service, pp. 115–167.

[15] Grove, L. (2017). The effects of funding policies on academic research [dissertation], London: University College London.

[16] Zhang, J., Zhang, B. (2019). Planning science and technology: working out and implementing the long-term program for developing sciences and technology from 1956 to 1967, Bulletin of the Chinese Academy of Sciences 34, 9, 982–990.

[17] Bouillenois, C., Kratz, A., Gormely, L. (2023). Spread thin: China's science and technology spending in an economic slowdown, Rhodium Group.

[18] Velde, R., Korlaar, L., den Hertog, P., Steur, J., Lilischkis, S. (2014). The effectiveness of national research funding systems, European Commission DG Research and Innovation, May.

[19] Blind, K., Lorenz, A., Rauber, J. (2020). Drivers for companies' entry into standard-setting organizations, IEEE Transactions on Engineering Management 68, 1, 33–44.

[20] Donovan, C. (2008). The Australian Research Quality Framework: a live experiment in capturing the social, economic, environmental, and cultural returns of publicly funded research, New Directions for Evaluation 118, 47–60.

[21] Bai, A., Wu, C., Yang, K. (2021). Evolution and features of China's central government funding system for basic research, Frontiers in Research Metrics and Analytics 6, 751497

[22] Yang, W. (2016). National Natural Science Foundation of China: funding excellent basic research for 30 years, Nature 537, 7618.

[23] Hourihan, M., Parkes, D. (2016). Federal R&D budget trends: a short summary, American Association for the Advancement of Science.

[24] Nurse, P. (2023). Independent review of the UK's research, development and innovation organizational landscape: final report and recommendations.

[25] Hu, A.G. (2020). Public funding and the ascent of Chinese science: evidence from the National Natural Science Foundation of China, Research Policy 49, 5, 103983.

[26] Azoulay, P., Fuchs, E., Goldstein, A.P., Kearney, M. (2019). Funding breakthrough research: promises and challenges of the "ARPA Model", Innovation Policy and the Economy 19, 1, 69–96.

[27] Li, Y., Li, Y., Liu, R. (2021). Public finance policy and technological innovation in China, E3S Web of Conferences 275, 03034.

[28] Schacht, W.H. (2012). Technology transfer: use of federally funded research and development, Washington: Congressional Research Service.

مدیریت انرژی پایدار از لجن شوری‌زدایی آب دریا با رویکرد اقتصاد چرخشی

آسیه السادات کاظمی[۱]، مهسا شاهی[۲]، سید موسی حسینی[*،۳]

چکیده

در سال‌های اخیر با افزایش جمعیت جهان، تقاضا برای آب شیرین در حال افزایش است و فرآیند شوری‌زدایی از آب دریا به‌عنوان یک منبع نامتعارف آب شیرین، مورد توجه جهانی قرار گرفته است. پسماند غلیظ حاصل از فرآیند شوری‌زدایی از آب دریا که لجن نامیده می‌شود، به دلیل ملاحظات محیط‌زیستی ناشی از دفع آن در خاک و رعایت استانداردهای قانونی برای بازگردانی آن به دریا، یافتن روشی مناسب برای مدیریت پایدار لجن ضروری است. در این تحقیق به بررسی و مقایسه روش‌های مختلف بازیافت لجن حاصل از تصفیه آب دریا پرداخته شده است. روش‌های بازیافت بر اساس مفهوم اقتصاد چرخشی شامل استفاده مجدد از لجن به‌عنوان منعقدکننده‌ها، در صنعت کشاورزی، در ساخت‌وساز و در قطعات الکترونیکی جهت ذخیره انرژی است. بررسی‌ها نشان داده است که براساس رشد فزاینده طراحی و پیاده‌سازی سامانه‌های آب‌شیرین‌کن دریا، تبدیل لجن تولیدشده در سیستم‌های شوری‌زدایی از آب دریا به محصولات دارای ارزش‌افزوده، می‌تواند یک روش جایگزین بسیار مناسب و سازگار با محیط‌زیست برای مدیریت پایدار آن باشد.

واژگان کلیدی: لجن شوری‌زدایی از آب دریا، اقتصاد چرخشی، منعقدکننده، کشاورزی، ساخت‌وساز، ذخیره انرژی

[*] عهده‌دار مکاتبات: دانشیار، تلفن: ۶۱۱۱۲۹۳۸ (۹۸۲۱)، پست الکترونیکی: smhosseini@ut.ac.ir

[۱] دانشکده فیزیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

[۲] دانشکده مهندسی عمران- مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

[۳] گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

مقدمه

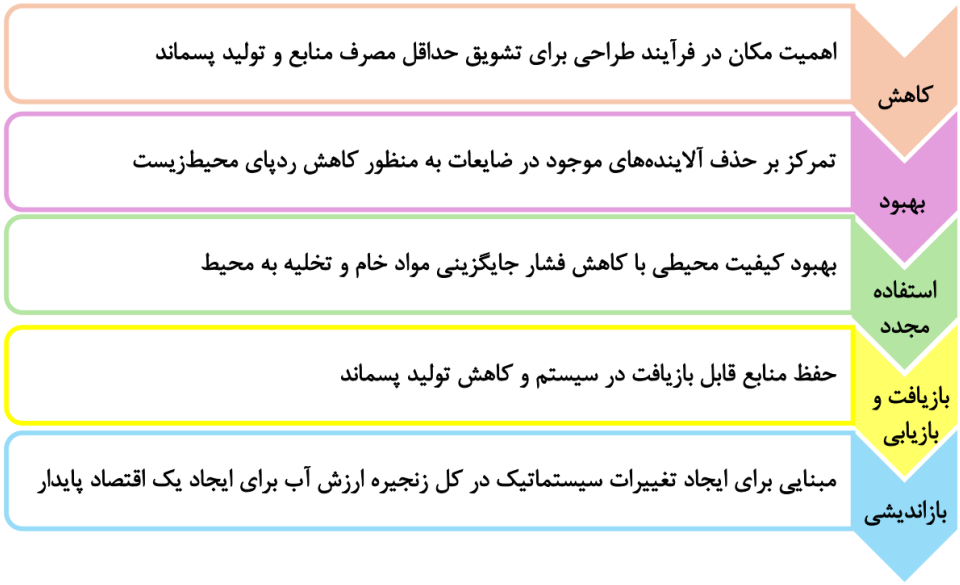
جمعیت جهان با نرخ حدود ۸۰ میلیون نفر در سال در حال افزایش است و تغییرات در سبک زندگی و عادات غذایی در سال‌های اخیر مستلزم مصرف سرانه آب بیشتری است [۱]. امروزه رشد جمعیت، کاهش منابع و تغییرات آب‌وهوایی بر کمبود آب در سطح دنیا اثر دارند [۲و ۳]. بنابراین شوری‌زدایی یک فناوری قدرتمند در جلوگیری از بحران کمبود آب شیرین و کاهش تبعات منفی آن است [۳و ۴]. در حین تولید آب آشامیدنی از فرآیند شوری‌زدایی از آب دریا، پسماندهای مختلفی تولید می‌شوند که در اکثر موارد به‌صورت سوسپانسیون‌های غلیظ به نام «لجن[۱]» جمع می‌شوند. ویژگی مشترک همه لجن‌ها این است که پسماندهایی با «ارزش‌افزوده پایین[۲]» را تشکیل می‌دهند [۵]. تولید لجن از فرآیند شوری‌زدایی از آب دریا (WTS)[۳] معمولاً ۱ تا ۳٪ حجمی از آب خام مصرفی از طریق فرآیند تصفیه می‌باشد. در سطح جهان، سالانه میلیون‌ها تن پسماند WTS تولید می‌شود و با افزایش تقاضای آب، این حجم تولید لجن در حال افزایش است [۶]. برای محافظت از سلامت عمومی، آب خام قبل از توزیع آب آشامیدنی از طریق فرآیند انعقاد، لخته‌سازی، رسوب‌گذاری، فیلتراسیون و گندزدایی با استاندارد بالایی در تصفیه‌خانه‌های آب تصفیه می‌شود [۷]. انعقاد و لخته‌سازی روش‌های پیش‌تصفیه ضروری است که توسط صنایع آب در سراسر جهان برای تصفیه آب از جمله آب دریا استفاده می‌شوند و به‌طور معمول نمک‌های آلومینیوم و آهن با اثربخشی و هزینه کم، به‌عنوان متداول‌ترین عوامل منعقدکننده اولیه کاربرد دارند [۸]. مسئله کلیدی مرتبط با WTS، دفع مقرون‌به‌صرفه و کارآمد به دلیل حجم زیاد لجن و معایب محیط‌زیستی آن است؛ همچنین لازم به ذکر است در اکثر کشورهای توسعه‌یافته دفع WTS در محیط‌زیست به‌دلیل عواملی مانند هزینه‌های بالای دفع، هزینه‌های حمل و نقل بالا و محدودیت‌های قانونی ممنوع شده است، بنابراین یافتن روشی مناسب برای مدیریت WTS ضروری است [۹]. روش‌های دپو کردن[۴] لجن، دفع در فاضلاب و دفن آن به‌طور گسترده پذیرفته شده است؛ اما هزینه‌های مالی و محیط‌زیستی این شیوه‌ها در حال افزایش است و صنعت مجبور است تا استراتژی‌های مدیریت بومی جایگزین مانند بازیافت، استفاده مجدد و بازیابی لجن را مورد توجه قرار دهد [۱۰]. بنابراین، نیاز واضحی به بررسی و ارزیابی گزینه‌های مدیریتی مناسب تجاری برای استفاده مجدد از لجن وجود دارد. هدف از این تحقیق، بررسی رویکردهای مختلف در سطح بین‌المللی غیر از دفن، جهت کاربری لجن است. بنابراین در این تحقیق به معرفی لجن، بازیافت منعقدکننده‌ها، کاربرد در کشاورزی و ساخت‌وساز، قطعات ذخیره انرژی و در نهایت جمع‌بندی و نتیجه‌گیری پرداخته می‌شود.

بازیافت لجن تصفیه آب دریا بر اساس مفهوم اقتصاد چرخشی[۵]

بر اساس مقررات، WTS به‌عنوان «پسماند غیرخطرناک[۶]» یا «پسماند صنعتی معمولی[۷]» طبقه‌بندی می‌شود، لذا محدودیت‌های سنگین «پسماندهای خطرناک[۸]» برای آن‌ها اعمال نمی‌گردد. در مقایسه با لجن تصفیه فاضلاب، خطرات محیط‌زیستی مرتبط با WTS به‌دلیل تمیزی نسبی منبع آب از نظر فلزات سنگین و مواد آلی و همچنین سطوح پاتوژن، کم‌تر است. ویژگی‌های WTS بر اساس ویژگی آب منبع و روش‌های پیش‌تصفیه متفاوت است. با این حال، از زمان خروج از کارخانه آب آشامیدنی تا پایان بازیابی آن‌ها، طبق مقررات نیاز به ردیابی است [۱۱]. ذخیره‌سازی و سپس تخلیه WTS به محل‌های دفن پسماند[۹] رایج‌ترین روش است که به‌طور بالقوه منجر به مشکلات محیط‌زیستی می‌شود. علاوه‌بر این، به‌دلیل کمبود مکان‌های دفن پسماند در کنار اعمال مقررات محیط‌زیستی سخت‌گیرانه توسط جوامع، دفن WTS پرهزینه‌تر می‌شود. به این ترتیب، نیاز به توسعه شیوه‌های مدیریت پایدار لجن، از جمله بازیابی[۱۰]، استفاده مجدد[۱۱] و بازیافت[۱۲] لجن وجود دارد [۱۲]. برای تسلط بر مدیریت لجن از نظر فنی و اقتصادی، جوامع باید به‌سمت راه‌حل‌های انعطاف‌پذیرتر و اغلب چندمنظوره حرکت

[1] Sludge
[2] Low value-added
[3] Water treatment sludge
[4] Stockpiling
[5] Circular economy (CE)
[6] Non-hazardous waste
[7] Banal industrial waste (BIW)
[8] Hazardous waste
[9] Landfill sites
[10] Recovering
[11] Reuse
[12] Recycling

کنند [۱۳]. اقتصاد چرخشی (CE) در مدیریت محیط‌زیست به‌ویژه در بخش‌های آب و فاضلاب محبوبیت بیشتری پیدا کرده است [۱۴]. از جنبه‌های اساسی مکانیسم CE، حفظ منابع در بیشترین زمان ممکن است تا محصول به‌دست‌آمده از آن به‌طور مداوم برای ایجاد ارزش افزوده، مجددا استفاده شود. شرکت‌های آب، اکنون رویکردهای CE را در مدیریت منابع خود با استراتژی‌های پایدار درنظر می‌گیرند [۱۵]. در CE، مدیریت پسماند نقش مهمی ایفا می‌کند و راهبرد «تولید پسماند صفر» یکی از اهداف اساسی است. این راهبرد شامل اتلاف صفر منابع (انرژی، مواد، نیروی انسانی)، انتشار یا تخلیه صفر پسماند (در آب، هوا، خاک)، اتلاف صفر فعالیت‌ها (تولید، مدیریت)، اتلاف صفر عمر محصول (حمل و نقل، استفاده، پایان عمر) و استفاده صفر از مواد سمی (فرآیندها و محصولات) است [۱۶]. در این راستا، باید در سراسر زنجیره تصفیه آب، کاهش تولید، بازیافت و حذف دفن WTS، طراحی شود. یک چارچوب مدل CE در بخش آب و فاضلاب شامل موارد کاهش، بهبود، استفاده مجدد، بازیافت، بازیابی و بازاندیشی است که در شکل ۱ خلاصه شده است [۱۷].



شکل ۱: مدل اقتصاد چرخشی CE در بخش آب و فاضلاب [۱۸].

به‌منظور اجرای این رویکردها، تغییرات کل‌نگر در سیستم، نه‌تنها از نظر فنی و مالی، بلکه از نظر سازمانی نیز مورد نیاز است تا یک فرهنگ پایدار و بازیافت‌محور در سازمان‌ها ایجاد شود [۱۷]. مقدار و محتوی تشکیل‌دهنده WTS، به کیفیت آب خام، انواع مواد منعقدکننده و مقدار تزریقی آن‌ها بستگی دارد. درحالی‌که با تغییر فصل کیفیت آب خام به‌طور قابل‌توجهی تغییر می‌کند، تولید WTS را می‌توان با انتخاب منعقدکننده‌ها و بهینه‌سازی مقدار تزریقی به خواص آب خام و نتایج آزمایش‌های مختلف کاهش داد [۱۹]. همچنین، WTS می‌تواند در بسیاری از کاربردها از تصفیه فاضلاب، رواناب، بازیافت مجدد به فرآیند تصفیه آب یا بازیافت برای منعقدکننده‌ها، کاربردهای زمین کشاورزی، ساخت مصالح ساختمانی و یا ذخیره انرژی مورد استفاده مجدد قرار گیرد [۲۰]. گرایش به مفهوم مدل «استخراج منابع – تولید –مصرف و دورریختن[1]» در مدیریت WTS می‌تواند چندین مزیت محیط–زیستی، اقتصادی و اجتماعی را برای شرکت‌های آب به ارمغان آورد. مزایا و موانع این مدیریت در جدول ۱ خلاصه شده است.

[1] Take-make-dispose model

جدول ۱: تجزیه‌وتحلیل مزایا و موانع شیوه‌های مدیریت لجن تصفیه آب دریا در راستای مفهوم اقتصاد چرخشی

مزایا	پیامدهای آینده	مرجع
محیط‌زیستی	▪ بهبود سلامت محیط‌زیست و سلامت اکوسیستم‌های آبی ▪ کاهش ردپای محیط‌زیستی فعالیت‌های کشاورزی ▪ کاهش نیاز صنایع به مواد جدید	[۲۰]
اقتصادی	▪ کاهش هزینه مواد اولیه ▪ کاهش هزینه‌های ناشی از قوانین محیط‌زیستی ▪ کاهش مالیات	[۲۱,۲۰]
اجتماعی	▪ ایجاد حس اجتماعی و همکاری ▪ مشارکت از طریق اقتصاد اشتراکی ▪ فرهنگ نوآوری ▪ شناسایی فرصت‌های تجاری جدید ▪ پذیرش فناوری	[۲۰]
موانع		
فنی(تکنیکی)	▪ کاهش سازگارپذیری فناوری	[۲۲]
پردازش مورد نیاز	▪ تغییرات در سیستم برای انطباق با مواد جدید ▪ افزایش هزینه‌های عملیاتی	[۲۴,۲۳]
مالی	▪ افزایش سرمایه‌گذاری ▪ افزایش هزینه‌های سرمایه	[۲۲]
نظارتی	▪ کاهش اطمینان در استفاده از لجن ▪ محدود شدن استفاده بالقوه از لجن ▪ ایجاد رویکردهای شکاکانه مقامات آب به کاربرد لجن	[۲۲]

۱. کاربرد WTS در بازتولید منعقدکننده‌ها

تصفیه آب دریا شامل تولید مقادیر زیادی WTS حاوی انواع مواد آلی و معدنی است [۲۵]. بقایای واحد انعقاد و لخته‌سازی شامل ناخالصی‌های معلق و کلوئیدی و همچنین منعقدکننده‌های مصرفی است که متعاقباً از فاز مایع در واحدهای ته‌نشینی/فیلتراسیون حذف می‌شوند. حجم زیادی از WTS که در طی فرآیند انعقاد و لخته-سازی ایجاد می‌شود شامل ذرات خاک، مواد آلی و اکسیدهای فلزی آلومینیوم یا آهن است [۲۶]. انعقاد و لخته‌سازی[1] (CFT) به‌عنوان یک فرآیند کلیدی در تصفیه‌خانه‌های آب دریا، قادر به کاهش یا حذف مواد کلوئیدی، آلاینده‌های نوظهور مانند فلزات سنگین، آنتی‌بیوتیک‌ها، آفت‌کش‌ها، مواد شیمیایی مختل‌کننده غدد درون‌ریز از آب خام است [۲۷]. در دهه‌های گذشته، فرآیند CFT به دلیل خواص برجسته‌ای مانند مصرف پایین انرژی، سادگی در طراحی، بهره‌برداری آسان، راندمان بالا، غیرسمی و مقرون‌به‌صرفه بودن به‌طور گسترده برای حذف آلاینده‌ها در تصفیه آب، استفاده شده است [۲۸]. منعقدکننده‌های اصلی به چهار گروه شیمیایی، غیرشیمیایی، مواد مصنوعی یا بیولوژیکی تقسیم می‌شوند [۲۷]. در میان آن‌ها، نمک‌های آهن و ترکیبات آلومینیوم (مانند سولفات آلومینیوم، سولفات آهن و کلرید آهن) به‌عنوان منعقدکننده‌های معدنی [۲۹] شناخته شده است و در اکثر سیستم‌های تصفیه آب در سراسر جهان با ذرات معلق بالا، مورد استفاده قرار می‌گیرند [۳۰]. درحالی‌که منعقدکننده اصلی مورد استفاده در فرآیند نرم‌کردن آب با سطوح سختی بالا، آهک است [۳۱]. این منعقدکننده‌ها در حذف طیف گسترده‌ای از ناخالصی‌های آب از جمله ذرات کلوئیدی و مواد آلی محلول مؤثرند. عوامل متعددی از جمله کیفیت بهتر آب تصفیه‌شده، در دسترس بودن محلی، کاهش هزینه و حجم WTS منجر به استفاده از یک نوع خاص از منعقدکننده در تصفیه آب می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد استفاده از منعقدکننده‌های بیولوژیکی در مقایسه با شیمیایی، منجر به کاهش ۳۰٪ در تولید WTS می‌گردند [۳۲]. از آنجایی‌که تقاضا برای استفاده از منعقدکننده‌ها در سراسر جهان درحال افزایش است، بنابراین، تکنیک‌های مقرون‌به‌صرفه بازیابی منعقدکننده‌ها، می‌تواند راه‌حلی حیاتی برای به‌حداقل‌رساندن نیاز شیمیایی منعقدکننده‌ها و کاهش حجم پسماندهای جامد درنظر گرفته شود. مطالعات نشان داده‌اند که WTS با تمرکز بر بازیافت منعقدکننده‌ها، یک گزینه مؤثر برای مدیریت WTS به‌عنوان یک روش اقتصادی و سازگار با محیط‌زیست است [۳۳]. در جدول ۲ مزایا و معایب روش‌های جداسازی منعقدکننده‌ها خلاصه شده است.

[1] Coagulation-flocculation technique (CFT)

جدول ۲: مقایسه مزایا و معایب فرآیندهای مختلف بازیافت منعقدکننده از WTS [۳۳].

روش	مزایا	معایب
هضم اسیدی	▪ نرخ بازیابی بالای آلومینیوم ▪ کاهش حجم/مواد جامد باقیمانده ▪ افزایش راندمان زهکشی ▪ افزایش سرعت ته‌نشینی لجن	▪ انحلال بیشتر آلومینیوم و در نتیجه افزایش هزینه و خطر ▪ ترکیبات آلی موجود در لجن باقیمانده ▪ رسوب یون‌های معدنی (مانند کلسیم، سیلیس) ▪ فرآیند غیرانتخابی
هضم اسیدی اولتراسونیک	▪ مصرف اسید کمتر ▪ راندمان هضم بیشتر از اسید (به‌تنهایی)	▪ گسستگی شدیدتر لخته‌های لجن با افزایش زمان اولتراسونیک ▪ مصرف انرژی بالا ▪ هزینه بالا
قلیایی‌سازی	▪ نرخ بازیابی بالای آلومینیوم ▪ کاهش حجم/مواد جامد باقیمانده	▪ حل مواد آلی موجود در لجن آلوم در محلول قلیایی قوی
هضم اسیدی دونان[1]	▪ حذف انتخابی ▪ گرفتگی غشاء کم ▪ مصرف کم انرژی	▪ زمان تماس طولانی با سطح غشا به‌دلیل عدم گرادیان فشار
غشای تبادل یونی	▪ بدون خطر ▪ ساده ▪ روند بازیابی ایمن ▪ حداقل تولید رسوب به‌دلیل عدم فشار غشایی ▪ درصد بالای حذف آلاینده‌های آلی	▪ عدم بازیابی غلظت بالای یون‌های آلومینیوم ▪ تولید جریان زباله اسیدی در پایان فرآیند بازیابی

۲. کاربرد WTS در بخش کشاورزی

روش‌های استفاده از WTS در کشاورزی، شامل کاربرد در مراتع و زمین‌های زراعی، جنگل‌ها، پارک‌های عمومی، نهالستان‌های گیاهی، کنار جاده‌ها، زمین‌های گلف، چمن‌ها و باغچه‌های خانگی است. استفاده مجدد اکولوژیکی از WTS شامل احیاء دریاچه‌ها (پوشش رسوبات، با تثبیت فسفر) است. کاربردهای WTS در زمین‌های کشاورزی به‌مقدار (۱۰۰–۲۰۰ تن در هکتار در سال) به‌منظور به‌حرکت درآوردن عملکرد میکروارگانیسم‌های خاک و تثبیت اثرات فلزات توسط خاک است. کاربرد موفقیت‌آمیز WTS در زمین برای استفاده مجدد در کشاورزی، مستلزم ارزیابی اثرات این باقیمانده‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی خاک، رشد گیاه و کیفیت آب‌های زیرزمینی است [۳۴]. شایان ذکر است که آلومینیوم و هیدروکسیدهای آهن موجود در WTS، به تثبیت فسفر موجود در خاک کمک می‌کنند. تثبیت فسفر توسط لجن در خاک می‌تواند هم اثر منفی (کاهش فسفر در اختیار گیاه) داشته باشد و اگر خاک تحت بار فسفر بیش‌از حدی قرار گیرد، اثر مثبت داشته باشد [۳۵].

کاربرد زمینی[2] به‌عنوان یکی از امیدوارکننده‌ترین رویکردها و بهترین گزینه محیط‌زیستی برای مدیریت WTS درنظر گرفته شده است. این کاربردها به‌عنوان کود طبیعی[3] کم‌هزینه، توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است. WTS از عناصر درشت‌مغذی[4] و ریزمغذی[5] تشکیل شده است که می‌تواند خواص فیزیکی خاک و محتوای آلی خاک را افزایش دهد. هنگام افزودن WTS به خاک، خواص فیزیکی و شیمیایی مختلف خاک مانند ظرفیت نگهداری آب[6] (WHC)، ظرفیت تبادل کاتیونی[7] (CEC)، محتوای مواد آلی، اسیدیته، هدایت الکتریکی (EC) و تهویه خاک بهبود می‌یابد [۳۶]. مزایا و معایب بالقوه لجن تصفیه آب آشامیدنی برای استفاده در زمین در شکل ۲ ارائه شده است.

[1] Donnan
[2] Land-based application
[3] Natural fertilizer
[4] Macronutrient
[5] Micronutrient
[6] Water holding capacity
[7] Cation exchange capacity

شکل ۲: مزایا و معایب بالقوه استفاده از لجن در زمین [۳۷].

۳. کاربرد WTS در ساخت‌وساز

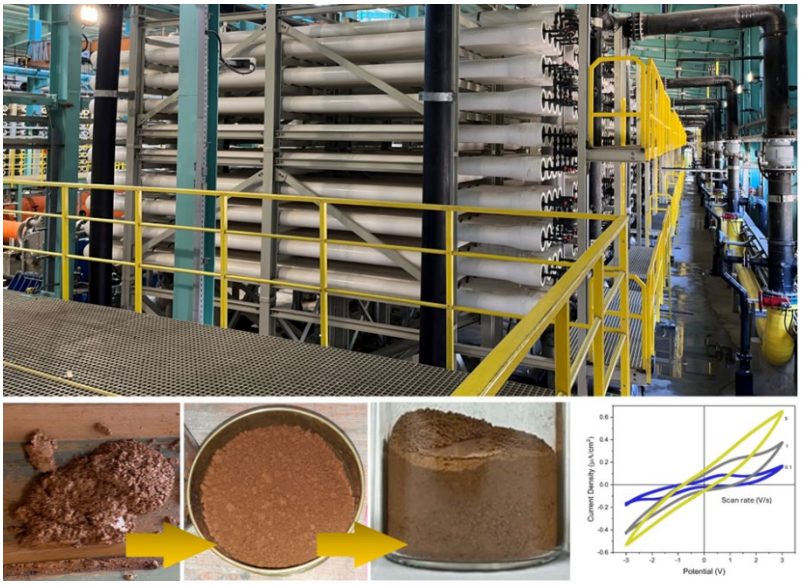
استفاده از WTS برای اجرای برنامه مدیریت پسماند، به‌عنوان جایگزین جزئی خاک‌های طبیعی با کاربردهای ساختمانی از جمله سنگدانه‌های مصنوعی سبک[1]، مصالح سیمانی و آجر در سراسر جهان نتایج مثبتی نشان داده است. این فرآیند نسبتاً آسان و از نظر تجاری امکان‌پذیر است، زیرا WTS حاوی مهم‌ترین اجزاء مانند خاک رس، آلومینیوم، سیلیس و اکسیدهای آهن است. ترکیب WTS بسته به منبع آب و نوع فرآیند تصفیه مورداستفاده، می‌تواند متفاوت باشد، اما معمولاً حاوی مخلوطی از مواد آلی و معدنی است [۳۸]. کاربردهای مختلفی از WTS در مصالح ساختمانی شامل تولید مواد سرامیکی [۳۹] مانند آجر معمولی [۴۰]، آجرهای غیرسازه‌ای و زینتی [۴۱]، ژئوپلیمرهای بدون سیمان [۴۲]، کاشی‌های لعاب‌دار [۴۳]، روسازی، سنگدانه‌های سبک و مصنوعی، بتن [۴۴] و ماده پوششی در محل‌های دفن زباله [۶] بررسی شده است. WTS می‌تواند به‌عنوان جایگزینی برای ماسه در تولید کاشی استفاده شود. محققان دریافته‌اند که کاشی‌های ساخته‌شده با WTS، استحکام مکانیکی را بهبود می‌بخشند و جذب آب را در مقایسه با کاشی‌های معمولی کاهش می‌دهند [۴۳].

۴. کاربرد WTS در قطعات ذخیره انرژی

یک قطعه ذخیره انرژی با دو الکترود متشکل از مواد مختلف، از طریق اختلاف پتانسیل، جریان ایجاد می‌کند. قطعات ذخیره‌سازی انرژی مانند باتری‌ها و ابرخازن‌ها، انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند که یک فرآیند برگشت‌پذیر است [۴۵]. ابرخازن‌ها ظرفیت بهتری نسبت به خازن‌های معمولی دارند و برخلاف باتری‌ها، واکنش شیمیایی در میان نیست؛ بنابراین، عمر چرخه شارژ–دشارژ ابرخازن‌ها تقریباً نامحدود است [۴۶]. چگالی توان بالاتر، تعداد زیاد سیکل‌های شارژ–دشارژ، و محدوده عملیات حرارتی گسترده از دیگر مزایای این قطعات است [۴۵]. طبق گزارش IDTechEx، بازار جهانی ابرخازن‌ها تا سال ۲۰۲۵ به ۸/۳ میلیارد دلار می‌رسد [۴۷]. خازن‌های الکتریکی دولایه، شبه‌خازن‌ها و ابرخازن‌های هیبریدی، انواع اصلی ابرخازن‌ها می‌باشند. شبه‌خازن‌ها ظرفیت ویژه و چگالی انرژی بالاتری نسبت به خازن‌های دولایه و ابرخازن‌های هیبریدی دارند و با مکانیسم ذخیره بار فارادی، کار می‌کنند [۴۶] درحالی‌که قابلیت سرعت و پایداری چرخه خازن‌های دولایه بهتر از شبه‌خازن‌ها و ابرخازن‌های هیبریدی است [۴۸]. در بین شبه‌خازن‌ها، شبه‌خازن‌های اکسید فلزی مورد توجه است؛ نمونه‌هایی از اکسیدهای فلزی که به‌عنوان مواد الکترود در این خازن‌ها استفاده می شوند عبارتند از MnO_2، NiO، SnO_2، In_2O_3، Co_2O_3، V_2O_5 و Fe_2O_3 [۴۹]؛ که WTS سرشار از این اکسیدهای فلزی است. با اینکه تلاش‌های زیادی برای کاهش استفاده از سوخت‌های

[1] Light weight artificial aggregates

فسیلی به‌دلیل آلودگی محیط‌زیست و گرم شدن زمین صورت گرفته است، هنوز هم عمده انرژی الکتریکی در جهان از سوخت‌های فسیلی مانند زغال سنگ، نفت و گازهای طبیعی به‌دست می‌آید. درحالی‌که تلاش‌ها برای ذخیره‌سازی منابع انرژی جایگزین یا تجدیدپذیر سبز و پایدار همچنان در حال رشد است [۵۰]، قطعات ذخیره‌سازی انرژی مانند نسل جدید باتری‌ها و ابرخازن‌ها بسیاری از محققین را به خود جذب کرده است [۵۱]. اخیراً ترکیب زباله‌های متنوعی از جمله نخل، پلاستیک، زباله‌های الکترونیکی، چای، ضایعات کشاورزی و ضایعات حیوانی به کربن فعال تبدیل و ابرخازن‌ها تولید شده است؛ بنابراین راه‌های جدیدی برای انرژی پایدار و مدیریت پسماند ایجاد شده است [۵۲]. مطالعات نشان می‌دهد که بازیابی انرژی بیوگاز تجدیدپذیر با هضم بی‌هوازی[1]، یک استراتژی امیدوارکننده برای مقابله با تضاد بین خنثی‌سازی کربن و افزایش شدید لجن فاضلاب است [۵۳]. اسید هیومیک[2] در لجن، یک بازدارنده اصلی تولید بیوگاز است و نیاز به حذف یا پیش‌تصفیه دارد. با این حال، اسید هیومیک در لجن به‌عنوان ماده‌ای شبیه اکسید گرافن، یک پیش‌ساز ایده‌آل برای تهیه قطعات ذخیره انرژی با عملکرد بالا مانند ظرفیت ویژه بسیار بالا، سرعت عالی و پایداری چرخه شارژ–دشارژ است. مطالعه دیگر حاکی از تهیه نانوصفحات کربنی حاوی نیتروژن با سطح بسیار بالا از لجن فاضلاب برای ذخیره انرژی و تصفیه فاضلاب است [۵۴]. مدیریت لجن فاضلاب با تولید نیرو به‌عنوان انرژی زیستی با سیستم جذب کربن و با تمرکز بر فناوری‌های ترموشیمیایی، از تحقیقات دیگر در این حوزه است [۵۵]. WTS حاوی مقادیر قابل‌توجهی از عناصر فلزی است و دارای ظرفیت جذب بالا، تبادل یونی زیاد، مقاومت در برابر دمای بالا و پایداری است [۴۹]؛ که آن را کاندیدای مناسبی برای تهیه حسگرهای الکتروشیمیایی اصلاح‌شده می‌کند. در مطالعه‌ای، از این مواد در تشخیص Bisphenol-A با الکترود خمیر کربن اصلاح‌شده با WTS استفاده شده است [۵۶]. نتایج به‌دست‌آمده نقش WTS را در افزایش انتقال الکترون و فراهم کردن سطح فعال اضافی الکترودها تأیید کرده است. در مطالعه‌ای دیگر، از WTS جامد به‌طور مستقیم و بدون استفاده از فرایندهای پیچیده شیمیایی یا مکانیکی، در دمای اتاق، برای تولید شبه‌خازن‌ها استفاده شده است (شکل ۳) [۵۷]. نتایج این تحقیق می‌تواند بطور قابل‌توجهی به رویکرد اقتصاد چرخشی در استفاده مستمر از منابع و کاهش مسائل زیست‌محیطی کمک کند.



شکل ۳: نمایی از پلنت‌های شوری‌زدایی آب در خلیج فارس و مراحل خشک، پودر و قرص کردن نمونه‌های WTS به‌همراه نتایج سیکلوولتامتری از شبه‌خازن مبتنی بر آن‌ها [۵۷].

[1] Anaerobic digestion (AD)
[2] Humic acid (HA)

نتیجه‌گیری

تقاضای جهانی برای آب آشامیدنی به‌طور تصاعدی درحال افزایش است؛ زیرا آب پاک یک کالای ضروری برای زندگی، رشد انسان و حق جهانی بشر است. در نتیجه فرآیندهای مختلف تصفیه آب، حجم زیادی از لجن در سراسر جهان تولید می‌شود و نیاز به مدیریت آن به روشی اقتصادی، پایدار و سازگار با محیط‌زیست وجود دارد. اقتصاد چرخشی، با هدف حذف ضایعات و حفظ منابع در سیستم تا حد ممکن، به‌طور فزاینده‌ای در بخش آب مورد توجه قرار گرفته است. اجرای مفهوم اقتصاد چرخشی با لجن عمدتاً به‌دلیل تنوع در خواص شیمیایی و فیزیکی لجن در طول زمان کاملاً چالش‌برانگیز است. تبدیل لجن حجیم تولیدشده در سیستم‌های تصفیه آب دریا به محصولات با ارزش‌افزوده مفید، می‌تواند یک روش جایگزین بسیار مناسب و سازگار با محیط‌زیست برای مدیریت لجن باشد.

در این میان بازیابی منعقدکننده‌ها به‌عنوان روشی سبز در دهه‌های اخیر توجه بیشتر دوستداران محیط‌زیست را به خود جلب کرده است. از سوی دیگر، نقاط قوت استفاده مجدد از لجن تولید شده از تصفیه آب، در بخش کشاورزی به‌عنوان جایگزین معتبری برای دفع آن ترجیح داده شده است. لجن می‌تواند به‌عنوان یک ماده کم‌هزینه در کشاورزی به‌منظور اصلاح اسیدیته خاک و بهبود شرایط فیزیکی خاک استفاده شود. همچنین لجن می‌تواند به‌عنوان کاهش‌دهنده مؤثر فسفر با هزینه کم در خاک‌های حاوی مواد مغذی، مورد استفاده قرار گیرد. در سال‌های اخیر، ویژگی‌های منحصربه‌فرد لجن، امکان ترکیب آن در مصالح ساختمانی مانند آجر، سرامیک، سنگدانه‌های سبک، سیمان و ژئوپلیمرها را فراهم می‌کند. چالش‌های اصلی در کاربرد لجن در مصالح ساختمانی ناشی از تنوع بالای آن در خواص فیزیکی-شیمیایی و محتوای نسبتاً بالای مواد آلی است؛ که تخلخل و جذب آب را افزایش می‌دهد.

در راستای کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی به دلیل آلودگی محیط‌زیست و گرم‌شدن زمین، تلاش‌های زیادی برای ذخیره‌سازی انرژی با منابع جایگزین تجدیدپذیر سبز و پایدار، در حال توسعه است و مطالعات نشان داده که لجن با ترکیب فلزات مختلف، قابلیت بالایی در تولید نسل جدید قطعات الکترونیکی ذخیره انرژی مانند خازن‌ها دارد. با توجه به موارد ذکرشده و بر اساس پیچیدگی لجن، بهتر است اقدامات و مطالعات بیشتری برای به‌کارگیری اقتصاد چرخشی لجن در صنایع مختلف از جمله کاربردهای احتمالی لجن در صنعت مراقبت سلامت و پزشکی انجام شود.

منابع و ماخذ

[1]. Gerbens-Leenes, P.W., Hoekstra, A.Y., van der Meer, T. (2009). The water footprint of energy from biomass: a quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply. Ecological economics, 68 (4), 1052–1060.

[۲]. اعلائی شهمیرزادی، محمد امین، حسینی، سید سعید (۱۳۹۳). مدیریت شورابه‌های ناشی از نمک‌زدایی آب دریا از منظر محیط زیست، تحقیقات منابع آب ایران، سال ۱۰، شماره ۳، صص ۱۱۲-۱۰۴.

[۳]. فدائی تهرانی، محمدرضا، ابارشی، مریم (۱۴۰۳). بررسی فنی، محیط زیستی و اقتصادی نمک زدایی آب شور و تحلیل شرایط برای ایران، نشریه علمی علوم و مهندسی آب و فاضلاب، سال ۹، شماره ۱، صص ۸۵-۷۱.

[۴]. رازقی، ناصر (۱۳۹۵) فناوری های نمک زدایی در توسعه منابع آب (پیشگفتار)، نشریه آب و فاضلاب، سال ۲۷، شماره ۵، صص ۲-۱.

[5]. Mogashane, T. M., Maree, J. P., Mujuru, M., Mphahlele-Makgwane, M. M. (2020). Technologies that can be used for the treatment of wastewater and brine for the recovery of drinking water and saleable products. Recovery of Byproducts from Acid Mine Drainage Treatment, 97-156.

[6]. Caniani, D., Masi, S., Mancini, I.M., Trulli, E. (2013). Innovative reuse of drinking water sludge in geo-environmental applications. Waste Management, 33(6), 1461-1468.

[7]. Ahmad, T., Ahmad, K., Alam, M. (2017). Sludge quantification at water treatment plant and its management scenario. Environmental Monitoring and Assessment, 189 (9), 1–10.

[8]. Zhao, Y.Q., Babatunde, A.O., Hu, Y.S., Kumar, J.L.G., Zhao, X.H. (2011). Pilot field-scale demonstration of a novel alum sludge-based constructed wetland system for enhanced wastewater treatment. Process Biochemistry, 46 (1), 278–283.

[9]. Ayoub, M., Abdelfattah, A. (2016). A parametric study of alum recovery from water treatment sludge. Water Science and Technology, 74(2), 516–523.

[10]. Kolarik, L.O., Priestley, A.J. (1995). Modern techniques in water and waste water treatments. CSIRO Publishing, East Melbourne, Victoria 3002, Australia, pp. 24– 38.

[11]. Żoczek, Ł., Dudziak, M. (2022). Types and valorization of sludge generated in water treatment processes. ACEE, 1, 115-121.
[12]. Jung, K.-W., Hwang, M.-J., Park, D.-S., Ahn, K.-H. (2016). Comprehensive reuse of drinking water treatment residuals in coagulation and adsorption processes. Journal of Environmental Management, 181, 425–434.
[13]. Mauter, M. S., Fiske, P. S. (2020). Desalination for a circular water economy. Energy and Environmental Science, 13(10), 3180-3184.
[14]. Ferronato, N., Rada, E.C., Gorritty Portillo, M.A., Cioca, L.I., Ragazzi, M., Torretta, V. (2019). Introduction of the circular economy within developing regions: a comparative analysis of advantages and opportunities for waste valorization. Journal of Environmental Management,230, 366–378.
[15]. MacArthur, E. (2013). Towards the circular economy. Journal of Industrial Ecology, 2(1), 23–44.
[16]. Curran, T., Williams, I. (2012). A zero waste vision for industrial networks in Europe. Journal of Hazardous Materials, 207, 3–7.
[17]. Smol, M., Adam, C., Preisner, M. (2020). Circular economy model framework in the European water and wastewater sector. Journal of Material Cycles and Waste Management, 22, 682-697.
[18]. Lee, P., Sims, E., Bertham, O., Symington, H., Bell, N., Pfaltzgraff, L., Sjögren, P., Wilts, C.H., O'Brien, M. (2017). Towards a Circular Economy: Waste Management in the EU; study. Europ. Union.
[19]. Wilson, H.E. (2003). Innovative reuse options for water treatment plant sludges. Deakin University.
[20]. Nguyen, M. D., Thomas, M., Surapaneni, A., Moon, E. M., Milne, N. A. (2022). Beneficial reuse of water treatment sludge in the context of circular economy. Environmental Technology and Innovation, 102651.
[21]. Maiden, P., Hearn, M., Boysen, R., Chier, P., Warnecke, M., Jackson, W. (2015). Alum sludge re-use, Investigation (10OS-42) prepared by GHD and Centre for Green Chemistry (Monash University) for the Smart Water Fund. Victoria, ACTEW Water and Seawater', Melbourne, Australia.
[22]. Muisa, N., Nhapi, I., Ruziwa, W., Manyuchi, M.M. (2020). Utilization of alum sludge as adsorbent for phosphorus removal in municipal wastewater: a review. Journal of Water Process Engineering, 35, 101187.
[23]. Guine, J., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., Udo de Haes, H., Van der Voet, E., Wrisberg, M. (2002). Life cycle assessment. In: An Operational Guide to ISO Stand, Vols: 1-3.
[24]. Pradel, M., Aissani, L., Villot, J., Baudez, J.-C., Laforest, V. (2016). From waste to added value product: towards a paradigm shift in life cycle assessment applied to wastewater sludge – a review. Journal of cleaner production, 131, 60–75.
[25]. Pestana, C.J., Reeve, P.J., Sawade, E., Voldoire, C.F., Newton, K., Praptiwi, R., Collingnon, L., Dreyfus, J., Hobson, P., Gaget, V. (2016). Fate of cyanobacteria in drinking water treatment plant lagoon supernatant and sludge. Science of the Total Environment, 565, 1192–1200.
[26]. Ahmad, T., Ahmad, K., Alam, M. (2021). Simultaneous modelling of coagulant recovery and reuse by response surface methodology. Journal of Environmental Management, 285, 112139.
[27]. Tetteh, E.K., Rathilal, S. (2019). Application of organic coagulants in water and wastewater treatment. Organic Polymers, 51.
[28]. Lim, B.-C., Lim, J.-W., Ho, Y.-C. (2018). Garden cress mucilage as a potential emerging biopolymer for improving turbidity removal in water treatment. Process Safety and Environmental Protection, 119, 233–241.
[29]. Ozairi, N., Mousavi, S.A., Samadi, M.T., Seidmohammadi, A., Nayeri, D. (2020). Removal of fluoride from water using coagulation-flocculation process: a comparative study. Desalination and Water Treatment, 180, 265–270.
[30]. Iwuozor, K. O. (2019). Prospects and challenges of using coagulation-flocculation method in the treatment of effluents. Advanced Journal of Chemistry-Section A, 2(2), 105-127.
[31]. Sales, A., de Souza, F.R., Almeida, F.d.C.R. (2011). Mechanical properties of concrete produced with a composite of water treatment sludge and sawdust. Construction and Building Materials, 25 (6), 2793–2798.
[32]. Kurniawan, S. B., Abdullah, S. R. S., Imron, M. F., Said, N. S. M., Ismail, N. I., Hasan, H. A., Othman, A.R., Purwanti, I. F. (2020). Challenges and opportunities of biocoagulant/bioflocculant application for drinking water and wastewater treatment and its potential for sludge recovery, International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(24), 9312.
[33]. Nayeri, D., Mousavi, S. A. (2022). A comprehensive review on the coagulant recovery and reuse from drinking water treatment sludge. Journal of Environmental Management, 319, 115649.
[34]. Elliott, H. A., Dempsey, B. A., Hamilton, D. W., DeWolfe, J. R. (1990). Land application of water treatment sludges: impact and management. Am. Water Works Assoc. Res. Foundation, Denver, CO.
[35]. Wang, X., Shi, C., Hao, X., van Loosdrecht, M. C., Wu, Y. (2023). Synergy of phosphate recovery from sludge-incinerated ash and coagulant production by desalinated brine. Water Research, 231, 119658.
[36]. Zhao, Y., Liu, R., Awe, O.W., Yang, Y., Shen, C. (2018). Acceptability of land application of alum-based water treatment residuals–an explicit and comprehensive review. Chemical Engineering Journal, 353, 717–726.

device applications. Journal of Energy Storage, 31, 101652.
[48]. Benoy, S. M., Pandey, M., Bhattacharjya, D., Saikia, B. K. (2022). Recent trends in supercapacitor-battery hybrid energy storage devices based on carbon materials. Journal of Energy Storage, 52, 104938.
[49]. Augustyn, V., Simon, P., Dunn, B. (2014). Pseudocapacitive oxide materials for high-rate electrochemical energy storage. Energy and Environmental Science, 7(5), 1597-1614.
[50]. Vangari, M., Pryor, T., Jiang, L. (2013). Supercapacitors: review of materials and fabrication methods. Journal of Energy Engineering, 139(2), 72-79.
[51]. Iqbal, J., Numan, A., Rafique, S., Jafer, R., Mohamad, S., Ramesh, K., Ramesh, S. J. E. A. (2018). High performance supercapattery incorporating ternary nanocomposite of multiwalled carbon nanotubes decorated with Co_3O_4 nanograins and silver nanoparticles as electrode material. Electrochimica Acta, 278, 72-82.
[52]. Bhat, S. A., Kumar, V., Kumar, S., Atabani, A. E., Badruddin, I. A., Chae, K. J. (2023). Supercapacitors production from waste: a new window for sustainable energy and waste management. Fuel, 337, 127125.
[53]. Li, Y., Jia, X., Li, X., Liu, P., Zhang, X., Guo, M. (2023). Study on the potential of sludge-derived humic acid as energy storage material. Waste Management, 162, 55-62.
[54]. Du, Z., Wang, Q., Du, Y., Xu, Q., Wang, D., Zhang, W. (2022). Obtaining high-value nitrogen-containing carbon nanosheets with ultrahigh surface area from waste sludge for energy storage and wastewater treatment. Science of the Total Environment, 805, 150353.
[55]. Nkuna, S. G., Olwal, T. O., Chowdhury, S. D., Ndambuki, J. M. (2024). A review of wastewater sludge-to-energy generation focused on thermochemical technologies: an improved technological, economical and socio-environmental aspect. Cleaner Waste Systems, 7, 100130.
[56] Mouratib, R., Oularbi, L., Achargui, N., El Krati, M., Younssi, S. A., Tahiri, S., El Rhazi, M. (2022). Carbon paste electrode modified with Al-and Si-rich water treatment sludge for Bisphenol-A detection. Journal of Environmental Chemical Engineering, 10(4), 108072.
[57] Kazemi, A.S., Arshia, M.J., Khabazian, A. (2025). Sea water desalination sludge properties and applications; from membranes to energy storage devices, In peer review.
[37]. Gilmour, D., Jorat, E., Minto, A., Tierney, I., Aitkenhead, M., Coull, M., Hough, R. (2022). Applying drinking water treatment residuals to land: opportunities and implications.
[38]. Mattoso, A. P., Cunha, S., Aguiar, J., Duarte, A., Lemos, H. (2024). Valorization of water treatment sludge for applications in the construction industry: a review. Materials, 17(8), 1824.
[39]. Ramirez Zamora, R., Ayala, F.E., Garcia, L.C., Moreno, A.D., Schouwenaars, R. (2008). Optimization of the preparation conditions of ceramic products using drinking water treatment sludges. Journal of Environmental Science and Health Part A, 43 (13), 1562–1568.
[40]. Niwagaba, C.B., Ayii, A.E., Kibuuka, A.O., Pomi, R. (2019). Possibilities for the use of sludge from A drinking water treatment plant at Ggaba III in Kampala, Uganda. Detritus, 6, 59–67.
[41]. Herreno, ˜ L.C.F., Solano, D.M.V., Sarabia, K.D.R., P´erez, J.O.C., Quintero, A.A.M. (2019). Drinking water treatment sludge as a partial substitute for clays in nonstructural brick production. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1409, No. 1, p. 012013). IOP Publishing.
[42]. Dohim, M.A., Abdelaal, A., Beheary, M.S., Abdullah, N.A., Razek, T.M.A. (2019). Compressive strength of geopolymeric cubes produced from solid wastes of alum industry and drinking water treatment plants. Egyptian Journal of Chemistry, 62(12), 2331-2340.
[43]. Cremades, L.V., Cusidó, J.A., Arteaga, F. (2018). Recycling of sludge from drinking water treatment as ceramic material for the manufacture of tiles. Journal of Cleaner Production, 201, 1071–1080.
[44]. Gomes, S.D.C., Zhou, J.L., Li, W., Long, G. (2019). Progress in manufacture and properties of construction materials incorporating water treatment sludge: a review. Resources, Conservation and Recycling, 145, 148–159.
[45]. Gerard, O., Numan, A., Krishnan, S., Khalid, M., Subramaniam, R., Kasi, R. (2022). A review on the recent advances in binder-free electrodes for electrochemical energy storage application. Journal of Energy Storage, 50, 104283.
[46]. Afif, A., Rahman, S. M., Azad, A. T., Zaini, J., Islan, M. A., Azad, A. K. (2019). Advanced materials and technologies for hybrid supercapacitors for energy storage–A review. Journal of Energy Storage, 25, 100852.
[47] Raghavendra, K. V. G., Vinoth, R., Zeb, K., Gopi, C. V. M., Sambasivam, S., Kummara, M. R.,
Obaidat, I.M., Kim, H. J. (2020). An intuitive review of supercapacitors with recent progress and novel

نقش رایحه‌درمانی در سبک زندگی سالم برای سلامت مغز

مهزاد ایراندوست،[1] سعید نیازی وحدتی[1] و عارفه سیدعربی*[1]

چکیده

در سبک زندگی مدرن، سلامت مغز و عملکرد شناختی به یکی از محورهای اصلی مورد توجه تبدیل شده است. این مقاله مروری به بررسی نقش رایحه‌درمانی به‌عنوان رویکردی جایگزین در ارتقاء سلامت مغز می‌پردازد. رایحه‌درمانی با بهره‌گیری از ترکیبات فرار گیاهی، از طریق تأثیر بر سیستم بویایی و مکانیسم‌های عصبی، می‌تواند در بهبود عملکرد شناختی، کاهش استرس و پیشگیری از بیماری‌های تحلیل برنده عصبی مؤثر باشد. همچنین، سبک زندگی سالم شامل مدیریت استرس، خواب کافی، تغذیه متعادل و توانمندی در بویایی، نقش مهمی در حفظ سلامت مغز ایفا می‌کند. مطالعات نشان داده‌اند که ترکیباتی نظیر آلفا-آسارون، بتا-کاریوفایلین، سینامالدئید و فنیل‌اتیل الکل قادر به مهار فرآیندهای تجمع پروتئینی مرتبط با آلزایمر و پارکینسون می‌باشند. در کنار این موارد، اختلالات بویایی مانند آنوسمیا، به‌ویژه پس از کووید-۱۹، بر کیفیت زندگی، سلامت روان و عملکرد شناختی تأثیر منفی داشته و اهمیت توجه به حس بویایی را افزایش داده است. یافته‌های این مقاله بر لزوم توسعه تحقیقات بنیادی و بالینی در حوزه کاربرد درمانی رایحه‌ها در پیشگیری و مدیریت اختلالات عصبی تأکید دارند.

واژگان کلیدی :رایحه‌درمانی، سلامت مغز، ترکیبات فرار گیاهی، بیماری‌های تحلیل برنده عصبی، آنوسمیا، سبک زندگی

* عهده‌دار مکاتبات، دانشیار دانشگاه تهران، تلفن : ۶۶۹۵۶۹۷۴ (۰۰۹۸ ۲۱)، پست الکترونیکی: a.seyedarabi@ut.ac.ir

[1] مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران

ضرورت توجه به سلامت مغز در سبک زندگی مدرن

در دنیای پرشتاب و پرتنش امروزی، حفظ سلامت مغز و عملکرد شناختی به یکی از اولویت‌های مهم و اصلی در سبک زندگی سالم تبدیل شده است. در این میان، رایحه‌درمانی یا آروماتراپی[1] به‌عنوان یکی از روش‌های مکمل و غیرتهاجمی، توجه بسیاری از مردم را به خود جلب کرده است. این روش با بهره‌گیری از اسانس‌های طبیعی گیاهان، تأثیرات مثبتی بر سلامت روان و عملکرد مغز دارد [1].

تعاریف پایه‌ای و پیشینه رایحه‌درمانی

رایحه‌درمانی یک بخش تخصصی از گیاه درمانی است که در آن از عصاره‌های فرار مشتق شده از گیاهان به‌نام روغن‌های اساسی استفاده می‌شود. این روغن‌ها، حاوی ترکیبات شیمیایی طبیعی هستند که دارای خواص متعددی مثل ویژگی‌های ضدمیکروبی، ضدالتهابی، کاهنده درد و استرس هستند. استفاده از این نوع درمان از زمان‌های قدیم در طب سنتی مرسوم بوده است. علاوه‌بر این، گرایش به درمان‌هایی مثل رایحه‌درمانی در طب نوین نیز به‌دلیل عوارض داروهای شیمیایی، ایجاد شده است [۲]. شناسایی ترکیبات گیاهان دارویی در قرن ۱۸ و ۱۹ مقدمه‌ای برای استفاده از آنها در رایحه درمانی به‌شمار می‌رفت و اولین بار فردی به نام گاتفوسه[2]، شیمیدان فرانسوی، زمانی‌که مشغول بررسی اثرات ضدمیکروبی گیاهان معطر بر روی جراحت‌های بدن سربازان در جنگ جهانی اول بود، به‌کار گرفته شد [۳]. ابن‌سینا نیز در کتاب "القانون فی‌الطب" به‌طور گسترده به تأثیرات درمانی رایحه‌ها پرداخته و بیشتر از ۶۰ نوع داروی معطر را معرفی کرده است. او معتقد بود که مواد معطر، چه با منشأ گیاهی مانند گلاب و ریحان و چه با منشأ جانوری مانند مشک و عنبر، می‌توانند با روش‌هایی چون استشمام، بخور و حتی به‌صورت خوراکی، بر سلامت جسم و روان انسان تأثیر بگذارند. از دیدگاه ابن‌سینا، این رایحه‌ها از طریق تأثیر بر مغز، قادرند موجب بهبود علائمی مانند سردرد، صرع، مالیخولیا و اختلالات خواب شوند. وی بر استفاده از رایحه‌های متناسب با مزاج فرد تأکید داشته و آن را جزئی از یک رویکرد جامع در درمان می‌دانست که شامل دارو، تغذیه و تدابیر روحی‌روانی است [۴].

ویژگی‌های زیستی و شیمیایی روغن‌های اساسی

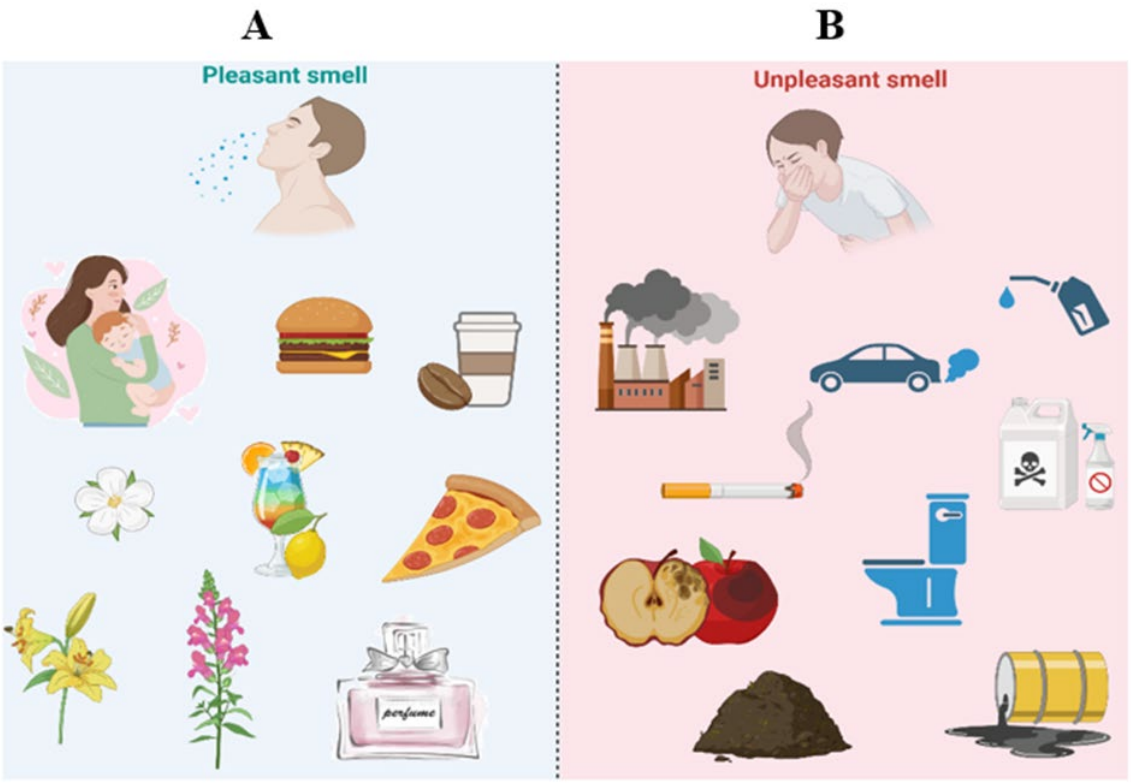
تنوع زیستی ساختاری در قلمرو گیاهان به ما منبعی غنی از ترکیبات فعال زیستی طبیعی را پیشنهاد می‌دهد. روغن‌های اساسی[3] نوعی از ترکیبات گیاهی هستند که تنها در حدود ۳۰۰۰ گونه گیاهی یافت می‌شوند. البته، به این روغن‌ها، روغن فرار[4] و یا روغن معطر[5] نیز گفته می‌شود. این روغن‌ها سرشار از اجزای چربی‌دوست[6] و ترکیبات با وزن مولکولی پایین هستند. اجزای این روغن‌ها به‌دلیل داشتن این قابلیت‌ها، توانایی عبور از غشاهای مختلف و همچنین سد خونی-مغزی[7] را دارند. به‌طور خاص، کوچک بودن مولکول‌ها، چربی‌دوستی و غیرقطبی بودن آنها، موجب نفوذپذیری مؤثر به بافت عصبی و عملکرد مستقیم بر سیستم عصبی مرکزی می‌شود. داشتن این ویژگی در نقش مؤثر این روغن‌ها در درمان بیماری‌های مختلف کمک کرده است [۶ و۵]. روغن‌های اساسی معمولاً از طریق روش تقطیر از قسمت‌های مختلف گیاهان به‌دست می‌آیند. این روغن‌ها حاوی ترکیبات زیست‌فعال با غلظت بالا هستند که نسبت به گیاه خام، اثرات زیستی قوی‌تری از خود نشان می‌دهند. در فرآیند تقطیر، اجزای فرار و فعال گیاه استخراج و تغلیظ می‌شوند و بسیاری از ترکیبات غیرفعال یا غیرضروری حذف می‌گردند. این ویژگی‌ها باعث شده است که روغن‌های اساسی به‌عنوان عصاره‌هایی مؤثر در زمینه‌های درمانی و دارویی مورد توجه قرار گیرند [۸ و۷]. اثرات این روغن‌ها به‌دلیل ترکیبات کتونی، آلدئیدی و استری موجود در آنها است [۹].

انواع رایحه و ادراک بوهای مختلف

از آنجایی‌که بوها یا رایحه‌ها، ترکیبات شیمیایی فراری هستند، به‌واسطه گیرنده‌های بویایی در مخاط بینی شناسایی می‌شوند. این ترکیبات می‌توانند از منابع طبیعی یا مصنوعی منشأ بگیرند و براساس تجربه‌ی ذهنی فرد، به‌عنوان بوی خوش (رایحه) یا بوی

[1] Aromatherapy
[2] Gattefossé
[3] Essential oils
[4] Volatile oils
[5] Aromatic oils
[6] Lipophilic
[7] Blood-brain barrier

ناخوشایند درک شوند. رایحه‌های مطبوع مانند اسانس‌های گیاهی مورد استفاده در رایحه‌های (نظیر اسطوخودوس یا بابونه)، معمولاً با احساس آرامش، شادی یا تمرکز ذهنی همراه هستند، درحالی‌که بوهای نامطبوع (مانند بوی فاسدشدگی یا گوگرد) اغلب واکنش‌های دفاعی و گریز را برمی‌انگیزند (شکل ۱). این تفاوت ادراکی، ناشی از برهم‌کنش میان گیرنده‌های بویایی و سیستم عصبی مرکزی است که در پردازش هیجانی و حافظه نقش دارند [۱۰]. از آن‌جاکه احساس بویایی مستقیماً با مراکز هیجانی مغز در ارتباط است، رایحه‌های مختلف می‌توانند واکنش‌های روانی و فیزیولوژیکی متمایزی ایجاد کنند، که این ویژگی، پایه‌ای برای کاربردهای درمانی رایحه‌ها محسوب می‌شود [۱۱].



شکل ۱: تقسیم بندی بوهای خوشایند و ناخوشایند. (A) نمونه‌هایی از بوهای مطبوع و(B) نمونه هایی از بوهای نامطبوع، به‌منظور بررسی تأثیرات آن‌ها بر ادراک انسان. تصویر با نرم‌افزار BioRender طراحی شده است (www.biorender.com).

رایحه از طریق سیستم بویایی توسط انسان و سایر حیوانات قابل شناسایی است [۱۲]. رایحه‌های مختلف ناشی از اجزای روغن‌ها توسط گیرنده‌های بویایی[1] در مخاط بویاییِ[2] حفره بینی[3] دریافت و شناسایی می‌شود. مکانیسم درک ترکیبات با رایحه‌های متمایز در طی سالیان زیادی ناشناخته مانده بود، تا اینکه، به کمک تحقیقات دو دانشمند در سال ۱۹۹۱، ژن‌های مربوط به گیرنده بویایی در مغز موش شناسایی شد [۱۳]. هریک از گیرنده‌های بویایی قادر به شناسایی و تمایز رایحه‌های محدود و مشخص می‌باشد. در ژنوم انسان نیز ژن‌های کدکننده این گیرنده‌ها وجود دارد که به انسان توانایی شناسایی و تمایز بیش از ۱۰ هزار نوع رایحه مختلف را می‌دهد [۱۴]. مولکول‌هایی که از طریق حفره بینی وارد سیستم بویایی می‌شوند، می‌توانند از دو مسیر به مغز منتقل شوند. مسیر اول که اصلی و مستقیم است، به‌واسطه گیرنده‌های بویایی در اپی‌تلیوم بویایی انجام می‌شود؛ به‌طوری‌که پس از شناسایی مولکول، سیگنال عصبی از طریق پیاز بویایی[4] و اعصاب بویایی به نواحی مختلف مغز از جمله غده بویایی

[1] Olfactory receptors
[2] Olfactory mucosa
[3] Nasal cavity
[4] Olfactory bulb

رینسفالن[1]، هسته آمیگدالوئید[2]، قشر قدامی[3]، قشر بویایی داخلی[4]، هیپوکمپ و مناطق دیگر در مرکز بویایی منتقل می شود [۱۵]. علاوه بر این، برخی مولکول‌ها نیز از طریق مسیرهای عصبی فرعی، نظیر عصب سه‌قلو[5] می‌توانند اثراتی در مغز ایجاد کنند [۱۷و۱۶]. بنابراین این سیستم دریافت داخل بینی می‌تواند به عنوان مسیری مؤثر برای انتقال ترکیبات دارویی به مغز مورد استفاده قرار گیرد.

مطالعات اخیر اهمیت اساسی سیستم بویایی را در سلامت انسان نشان داده‌اند. حس بویایی نقش مهمی در تنظیم رفتارهای تغذیه‌ای، شناسایی خطرات محیطی و تعاملات اجتماعی ایفا می‌کند. همچنین، این حس می‌تواند بر انتقال وضعیت‌های هیجانی، انتخاب شریک زندگی و شکل‌گیری خاطرات تأثیرگذار باشد. اختلال یا کاهش عملکرد بویایی که ممکن است به‌دلایل مختلفی مانند آسیب مغزی، افزایش سن یا بیماری‌های ویروسی از جمله کووید-۱۹ رخ دهد، می‌تواند منجر به کاهش کیفیت زندگی، مشکلات تغذیه‌ای و انزوای اجتماعی شود. بنابراین، حفظ سلامت سیستم بویایی برای ارتقای کیفیت زندگی انسان اهمیت ویژه‌ای دارد [۱۸].

ناتوانی در بویایی یا آنوسمیا

آنوسمیا[6]، نوعی اختلال عملکردی در سیستم بویایی است که می‌تواند بر اثر عوامل مختلفی از جمله عفونت‌های ویروسی، ضربه‌های مغزی، بیماری‌های تحلیل برنده عصبی نظیر پارکینسون و آلزایمر، یا ناهنجاری‌های مادرزادی رخ دهد. این اختلال نه‌تنها توانایی تشخیص و تمایز بوها را مختل می‌کند، بلکه با پیامدهای روان‌شناختی و اجتماعی گسترده‌ای ازجمله کاهش اشتها، افسردگی، اختلال در تعاملات اجتماعی و کاهش کیفیت زندگی همراه است. پژوهش‌ها همچنین به نقش آنوسمیا به‌عنوان یک شاخص هشدار اولیه در برخی بیماری‌های عصبی مانند آلزایمر و پارکینسون اشاره کرده‌اند [۱۹].

ناتوانی در بویایی از نگاه طب سنتی و مدرن

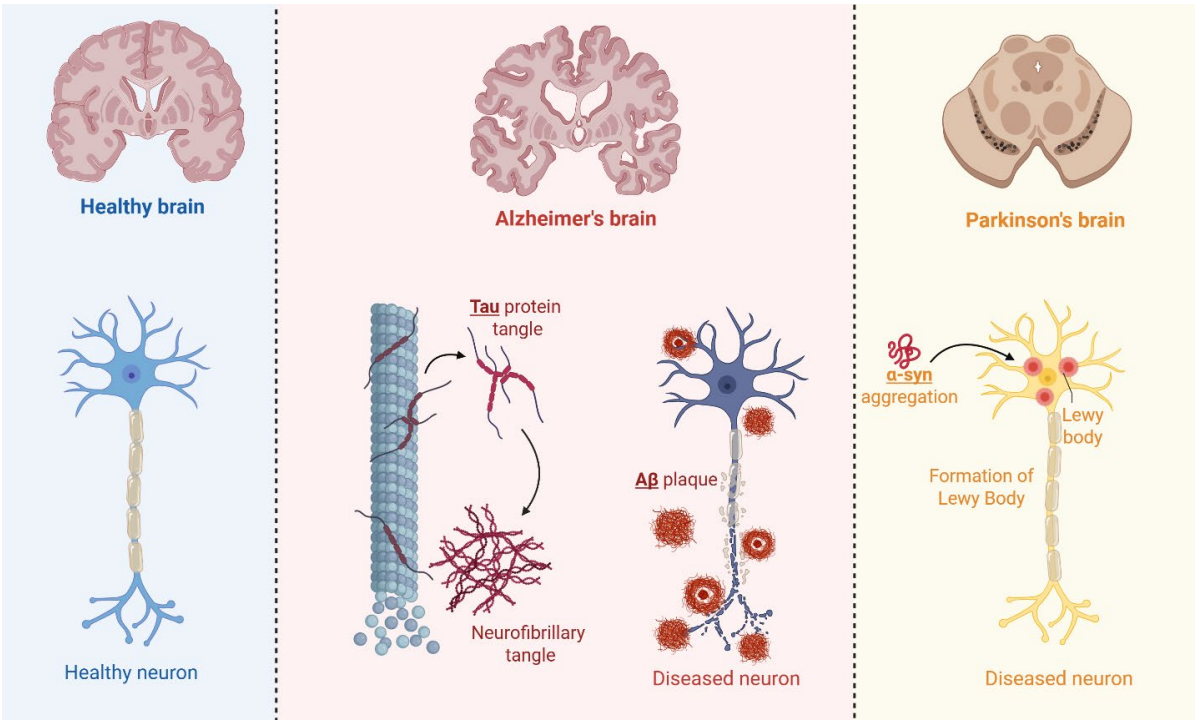
در طب سنتی چینی، اختلالات بویایی مانند آنوسمیا به‌عنوان نشانه‌ای از عدم‌تعادل در بدن تلقی می‌شوند و درمان‌هایی مانند طب سوزنی و گیاه‌درمانی برای بازگرداندن تعادل و بهبود حس بویایی به‌کار می‌روند. یک مطالعه مروری در سال ۲۰۲۴، نشان داده است که این روش‌ها، به‌ویژه پس‌از عفونت‌های ویروسی، می‌توانند به بهبود عملکرد بویایی بیماران کمک کنند. این درمان‌ها براساس اصول تنظیم انرژی بدن در طب سنتی چینی طراحی شده‌اند و نتایج مثبتی در مطالعات بالینی به‌همراه داشته‌اند [۲۰]. در طب سنتی و پزشکی مکمل، پیشگیری از بیماری‌ها و حفظ تعادل بدن پیش‌از بروز علائم اهمیت زیادی دارد. اصلاح سبک زندگی شامل افزایش فعالیت بدنی، تنظیم خواب و مدیریت استرس از ارکان اصلی این رویکردهاست [۲۱]. همچنین استفاده از عطر درمانی و بوییدن گل‌ها به‌عنوان روش‌های مکمل برای بهبود سلامت روان و کاهش اضطراب مورد مطالعه قرار گرفته است [۲۲]. گوش دادن به موسیقی نیز در بهبود خلق‌وخو و کاهش استرس نقش مؤثری دارد و به‌عنوان یک روش غیردارویی در کنار درمان‌های پزشکی توصیه می‌شود [۲۳]. همچنین در طب مدرن، استفاده از گیاهان دارویی برای درمان آنوسمیا رواج دارد. به‌عنوان نمونه، مطالعه‌ای در سال ۲۰۲۱ تأثیر شستشوی بینی با عصاره بابونه (*Matricaria chamomilla*) را بر آنوسمی ناشی از کووید-۱۹ بررسی کرده است. نتایج این تحقیق نشان داده است که استفاده از عصاره بابونه می‌تواند به کاهش التهاب و بهبود حس بویایی در بیماران مبتلا به این اختلال کمک کند [۲۴].

تجمعات پروتئین در اختلالات بویایی

در مقاله Klein و همکاران (۲۰۲۱)، اختلالات بویایی به‌عنوان یکی‌از علائم پیش‌بالینی بیماری آلزایمر مورد بررسی قرار گرفته است. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که نقص بویایی می‌تواند نشانگر اولیه‌ای برای ابتلا به این بیماری عصبی باشد. در این تحقیق، از مجموعه‌ای از آزمون‌ها و ابزارهای پیشرفته برای ارزیابی عملکرد بویایی بیماران آلزایمری استفاده شد و نتایج حاکی از این است که کاهش حس بویایی در مراحل ابتدایی بیماری به‌وضوح قابل‌مشاهده است. این یافته‌ها نشان می‌دهند که آسیب به سیستم بویایی می‌تواند به‌عنوان یک نشانه هشداردهنده برای تشخیص زودهنگام آلزایمر مورد استفاده قرار گیرد و از این‌رو توجه به اختلالات بویایی به‌ویژه در افراد مسن، می‌تواند ابزار مهمی در تشخیص پیشرفته بیماری آلزایمر باشد [۲۵]. همچنین مطالعه‌ای

[1] Rhinencephalon
[2] Amygdaloide nucleus
[3] Anterior cortex
[4] Medial olfactory cortex
[5] trigeminal nerve
[3] Anosmia

که در سال ۲۰۲۴ توسط Chen و Kostka منتشر شده است، نشان می‌دهد که اختلالات بویایی نه‌تنها در بیماری‌های عصبی مانند آلزایمر و پارکینسون مشاهده می‌شوند، بلکه در اختلالات عصبی توسعه‌ای مانند اسکیزوفرنی و اوتیسم نیز رایج هستند. این اختلالات بویایی معمولاً در مراحل پیش‌بالینی بیماری‌ها ظاهر می‌شوند و ممکن است به‌عنوان یک نشانگر اولیه برای تشخیص زودهنگام این اختلالات عصبی مورد استفاده قرار گیرند. این یافته‌ها بر اهمیت توجه به عملکرد بویایی در تشخیص و پیشگیری از بیماری‌های عصبی تأکید دارند [۲۶]. به‌منظور جمع‌بندی مطالب فوق، شکل ۲، به‌صورت شماتیک تفاوت‌های ساختاری بین نورون‌های سالم و نورون‌های درگیر در بیماری‌های عصبی مانند آلزایمر و پارکینسون را نمایش می‌دهد. این تصویر، نقش کلیدی تجمعات پروتئینی را در آسیب به نورون‌ها و تخریب سیستم عصبی برجسته می‌کند.



شکل ۲: نمایش شماتیک از تفاوت‌های ساختاری بین مغز و نورون‌های سالم و بیمار در بیماری‌های آلزایمر و پارکینسون. تصویر با نرم‌افزار BioRender طراحی شده است (www.biorender.com).

اهمیت بویایی در سبک زندگی

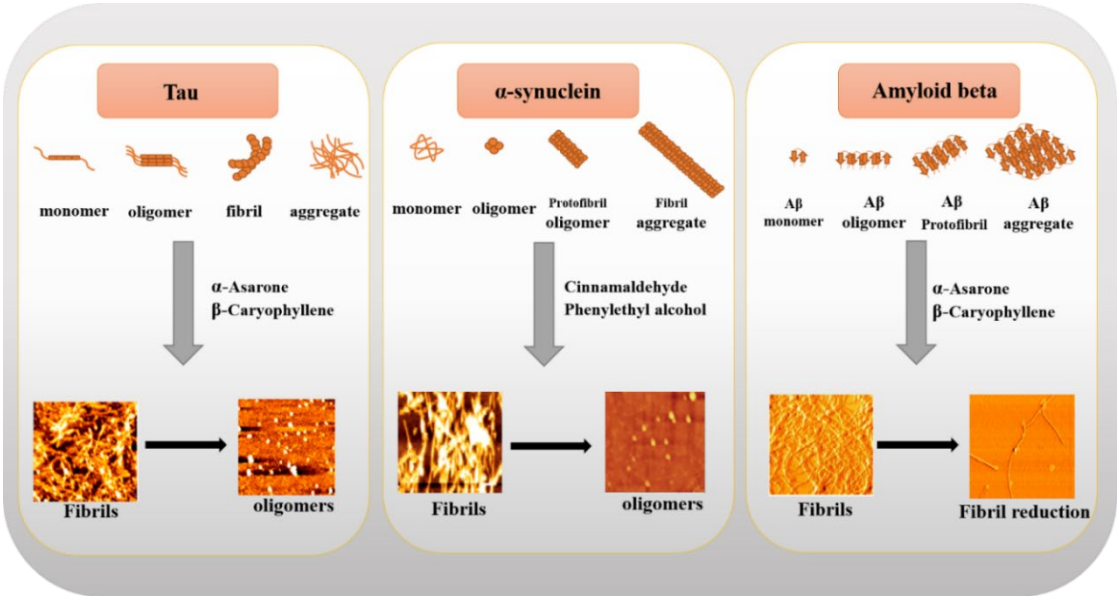
با توجه به نقش حیاتی حس بویایی در کیفیت زندگی و تعامل انسان با محیط اطراف، بازیابی این حس پس‌از اختلالات بویایی ناشی از بیماری‌ها نیازمند مداخلات چندجانبه است. مطالعات نشان داده‌اند که تمرین‌های مداوم بویایی[1] به‌عنوان روشی ساده و مؤثر، برای بهبود اختلال بویایی ناشی از کووید-۱۹ است. در یک مطالعه، مشخص شد که انجام تمرین بویایی با استفاده از چهار رایحه مختلف به مدت ۱۲ هفته، منجر به بهبود معنادار در ارزیابی عملکرد بویایی و کاهش شیوع پاروسمیا[2] در بیماران شد، هرچند تغییر قابل‌توجهی در نتایج آزمون‌های بویایی مشاهده نشد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که تمرین بویایی می‌تواند به‌عنوان روشی ساده و ایمن، روند بازیابی حس بویایی و کیفیت زندگی بیماران مبتلا به اختلال بویایی پس از کووید-۱۹ را بهبود بخشد [۲۷].

بررسی‌های علمی

مطالعات اخیر که در «آزمایشگاه علوم ساختاری و عملکردی پروتئین‌ها» در مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک دانشگاه تهران انجام شده‌اند، نشان داده‌اند که برخی ترکیبات فرار طبیعی می‌توانند نقش قابل‌توجهی در جلوگیری از تجمع و فیبریل شدن پروتئین‌های

[1] olfactory training
[2] Parosmia

مرتبط با بیماری‌های تحلیل‌برنده عصبی ایفا کنند. برای مثال، ترکیبات آلفا–آسارون [1] و بتا–کاریوفایلین [2] توانسته‌اند از تشکیل فیبریل پروتئین تاو [3] جلوگیری کرده و به‌عنوان عوامل بالقوه درمانی برای بیماری آلزایمر مطرح شوند [۲۹و۲۸]. در مطالعه‌ای دیگر، استفاده از ترکیبات فرار آلفا–آسارون، بتا–کاریوفایلین، سینامالدئید [4] و فنیل‌اتیل الکل [5] بر روی ناحیه فیبریلاسیون پپتید آمیلوئید بتا منجر به مهار تجمعات پروتئینی و کاهش پتانسیل فیبریل‌زایی شده است .همچنین، در یک مطالعه دیگر، اثرات سینامالدئید و فنیل اتیل الکل در جلوگیری از شکل گیری فیبریل در پروتئین های تاو و آلفا سینوکلئین [6] بررسی شد. نتایج این پژوهش که نیز در همین آزمایشگاه صورت گرفته، نشان داد که هر دو ترکیب دارای اثرات بازدارنده مؤثری بودند و باعث کاهش تجمع پروتئینی شدند [۳۱]. اهمیت این یافته‌ها در آن است که برای نخستین بار ترکیباتی طبیعی و نسبتاً ایمن، توانسته‌اند در مدل‌های آزمایشگاهی مکانیسم‌های کلیدی بیماری‌های تحلیل‌برنده عصبی را هدف قرار دهند. . این ویژگی، ترکیبات نام برده را به گزینه‌هایی جذاب برای توسعه درمان‌های غیرتهاجمی، با کمترین عوارض جانبی تبدیل می‌کند. در تحقیقات انجام‌شده در این آزمایشگاه، از مجموعه‌ای از تکنیک‌های پیشرفته شامل الکتروفورز [7]، طیف‌سنجی فلورسانس [8]، تست سمیت سلولی [9]، دورنگ‌نمایی دورانی [10] و میکروسکوپی نیروی اتمی [11] برای تحلیل ساختار و عملکرد پروتئین‌های مرتبط با بیماری‌های تحلیل‌برنده عصبی استفاده شده است. شکل ۳، نمایی شماتیک از روند تجمع و تخریب ساختارهای فیبریل مربوط به پروتئین‌های تاو، آلفا–سینوکلئین و آمیلوئید–بتا را نشان می‌دهد که به‌واسطه ترکیبات مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند. تصاویر AFM ارائه‌شده به‌وضوح تغییرات ساختاری از فیبریل به الیگومر یا کاهش فیبریل‌ها را نمایش می‌دهند و به درک بهتر عملکرد مهارکننده‌ها کمک می‌کنند.



شکل ۳: تصاویر **AFM** از فیبریل‌های پروتئینی پس از تیمار با ترکیبات فرار مختلف. تغییرات مورفولوژیکی مشاهده‌شده نشان‌دهنده کاهش تجمعات فیبریلی که بیانگر اثر مهارکنندگی این ترکیبات بر روند تجمع پروتئین‌ها می‌باشد.

[1] α-asarone
[2] β-caryophyllene
[3] Tau
[4] Cinnamaldehyde
[5] Phenyl ethyl alcohol
[6] α-synuclein
[7] Sodium Dodecyl Sulfate–Polyacrylamide Gel Electrophoresis (SDS-PAGE)
[8] Fluorescence spectroscopy
[9] Cytotoxicity assay
[10] Circular Dichroism Spectroscopy
[11] Atomic Force Microscopy (AFM)

بحث و نتیجه‌گیری

رایحه‌درمانی، به‌عنوان یک روش در درمان و بهبود سلامت مغز و عملکرد شناختی، در دنیای مدرن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. استفاده از ترکیبات فرار طبیعی گیاهان در رایحه‌درمانی نه‌تنها تأثیرات مثبتی بر سلامت روان دارد، بلکه شواهد جدید نشان می‌دهند که این ترکیبات قادر به مهار فرایندهای آسیب‌زای مولکولی مانند تجمعات پروتئین‌های مختلف در بیماری‌های تحلیل‌برنده عصبی همچون آلزایمر و پارکینسون هستند. مطالعات انجام‌شده در مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک دانشگاه تهران نشان داده‌اند که ترکیباتی نظیر آلفا-آسارون (مشتق از گیاه وج، *Acorus calamus*) و بتا-کاریوفایلین (مشتق از گیاه بادرنجبویه، *Melissa officinalis*)، قادرند از تشکیل فیبریل‌های پروتئینی مرتبط با بیماری‌های عصبی جلوگیری کنند. همچنین، ترکیبات دیگری چون سینامالدئید (موجود در دارچین، *Cinnamomum verum*) و فنیل‌اتیل الکل (موجود در *Rosa damascena*) نیز در مهار تجمعات پروتئینی مؤثر بوده‌اند. این یافته‌ها بر اهمیت ادامه تحقیقات در زمینه اثرات مولکولی رایحه‌های گیاهی، به‌ویژه در سطح ساختار ماکرومولکول‌ها، که می‌تواند به‌عنوان یک راهکار نوین در پیشگیری و درمان بیماری‌های تحلیل‌برنده عصبی مطرح گردد، تأکید دارند.

نتایج نشان می‌دهند که رایحه‌درمانی می‌تواند نه‌تنها از طریق تأثیرات مستقیم بر سیستم بویایی، بلکه از طریق اثرات مولکولی این ترکیبات فرار، به‌عنوان یک روش مؤثر در بهبود سلامت مغز و پیشگیری از اختلالات عصبی و شناختی، در آینده به‌کار گرفته شود. همچنین، این تحقیق نشان می‌دهد که توانایی درک بوهای مختلف و استفاده از رایحه‌ها در زندگی روزمره می‌تواند تأثیرات قابل‌توجهی در ارتقاء سلامت مغز داشته باشد. بنابراین، توجه به این حوزه در تحقیقات علمی و پزشکی، نیازمند حمایت و توسعه بیشتر است.

(این مقاله یا بخشی از آن در جای دیگر به چاپ نرسیده و توسط ماشین هم به نگارش نشده است).

منابع و مواخذ

[1]. Chamine, I., & Oken, B. S. (2016). Aroma effects on physiologic and cognitive function following acute stress: A mechanism investigation. Journal of Alternative and Complementary Medicine, 22(8), 713–721.

[2]. Buckle, J. (1999). Use of aromatherapy as a complementary treatment for chronic pain. Alternative Therapies in Health and Medicine, 5(1), 42.

[3]. Cooke, B., & Ernst, E. (2000). Aromatherapy: a systematic review. British Journal of General Practice, 50(460), 493–496.

[۴]. دهقان، معصومه؛ فرخنده‌زاده، محبوبه؛ نیمروزی، مجید (۱۳۹۹). القانون و جایگاه عطردرمانی در پیشگیری از ابتلا به بیماری‌ها یا مداوای آن‌ها به‌عنوان روشی درمانگر، دین و سلامت، دوره ۸، شماره ۲، صص ۷۹-۷۱.

[5]. Scuteri, D., Morrone, L. A., Rombolà, L., Avato, P. R., Bilia, A. R., Corasaniti, M. T., et al. (2017). Aromatherapy and aromatic plants for the treatment of behavioural and psychological symptoms of dementia in patients with Alzheimer's disease: clinical evidence and possible mechanisms. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2017, Article ID 9416305.

[6]. Cornelissen, F. M., Markert, G., Deutsch, G., Antonara, M., Faaij, N., Bartelink, I., et al. (2023). Explaining blood–brain barrier permeability of small molecules by integrated analysis of different transport mechanisms. Journal of Medicinal Chemistry, 66(11), 7253–7267.

[7]. Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils–a review. Food and Chemical Toxicology, 46(2), 446–475.

[8]. Maggio, A., Rosselli, S., & Bruno, M. (2016). Essential oils and pure volatile compounds as potential drugs in Alzheimer's disease therapy: An updated review of the literature. Current Pharmaceutical Design, 22(28), 4011–4027.

[9]. Tseng, Y.-H. (2005). Aromatherapy in nursing practice. Hu Li Za Zhi, 52(1), 11–15.

[10]. Buck, L., & Axel, R. (1991). A novel multigene family may encode odorant receptors: A molecular basis for odor recognition. Cell, 65(1), 175–187.

[11]. Herz, R. S. (2009). A naturalistic analysis of autobiographical memories triggered by olfactory, visual and auditory stimuli. Chemical Senses, 29(3), 217–224.

[12]. Sowndhararajan, K., & Kim, S. (2016). Influence of fragrances on human psychophysiological activity: With special reference to human electroencephalographic response. Scientia Pharmaceutica, 84(4), 724–752.

[13]. Buck, L. B. (2004). Unraveling the sense of smell. Les Prix Nobel, 2004, 267–283.

[14]. Malnic, B., Godfrey, P. A., & Buck, L. B. (2004). The human olfactory receptor gene family.

Proceedings of the National Academy of Sciences, 101(8), 2584–2589.
[15]. Einer-Jensen, N., & Hunter, R. H. F. (2005). Counter-current transfer in reproductive biology. Reproduction, 129(1), 9–18.
[16]. Dong, J., Shang, Y., Inthavong, K., Chan, H.-K., & Tu, J. (2018). Numerical comparison of nasal aerosol administration systems for efficient nose-to-brain drug delivery. Pharmaceutical Research, 35(1), 1–12.
[17]. Frey II, W. H. (2016). Intranasal drug delivery bypasses the blood–brain barrier. Neurology Reviews, 24(1), 40–41.
[18]. Boesveldt, S., & Parma, V. (2021). The importance of the olfactory system in human well-being, through nutrition and social behavior. Cell and Tissue Research, 383(3), 559–567.
[19]. Boesveldt, S., Postma, E. M., Boak, D., Welge-Luessen, A., Schöpf, V., Mainland, J. D., et al. (2017). Anosmia-a clinical review. Chemical Senses, 42(7), 513–523.
[20]. Zou, X., Liu, X., Lu, C., Jin, X., He, B., Liao, Y., et al. (2024). Traditional Chinese medicine for post-viral olfactory dysfunction: A systematic review. Integrative Medicine Research, 13, Article 101045.
[21]. Smith, J., Lee, R., Patel, M., Nguyen, T., Garcia, L., & Johnson, P. (2019). Complementary medicine: A review. Journal of Integrative Medicine, 17(4), 250–260.
[22]. Jones, P., & Brown, S. (2020). Aromatherapy and olfactory stimulation in mental health care: A systematic review. Complementary Therapies in Medicine, 52, 102485.
[23]. Williams, C., Thompson, D., & Garcia, M. (2018). The effects of music therapy on stress and anxiety in clinical populations: A meta-analysis. Journal of Music Therapy, 55(3), 243–270.
[24]. Haider, R. (2021). Potential treatment option for COVID-19 related Anosmia-Chamomile (Matricaria chamomilla) extract nasal irrigation: A literature review. International Journal of Medical Science and Diagnosis Research, 5.
[25]. Klein, J., Yan, X., Johnson, A., Tomljanovic, Z., Zou, J., Polly, K., et al. (2021). Olfactory impairment is related to tau pathology and neuroinflammation in Alzheimer’s disease. Journal of Alzheimer’s Disease, 80(3), 1051–1065.
[26]. Chen, Y.-N., & Kostka, J. K. (2024). Beyond anosmia: olfactory dysfunction as a common denominator in neurodegenerative and neurodevelopmental disorders. Frontiers in Neuroscience, 18, Article 1502779.
[27]. Berube, S., Demers, C., Bussière, N., Cloutier, F., Pek, V., Chen, A., et al. (2023). Olfactory training impacts olfactory dysfunction induced by COVID-19: a pilot study. ORL, 85(1), 57–66.
[28]. Anbaraki, A., Dindar, Z., Mousavi-Jarrahi, Z., Ghasemi, A., Moeini, Z., Evini, M., et al. (2024). The novel anti-fibrillary effects of volatile compounds α-asarone and β-caryophyllene on tau protein: Towards promising therapeutic agents for Alzheimer’s disease. International Journal of Biological Macromolecules, 271, 132401.
[29]. Irandoust, M., Anbaraki, A., Dindar, Z., Ghasemi, A., Saboury, A. A., Rayati, S., & Seyedarabi, A. (2025). Concentration-Based Analysis of Metal-Induced Tau Fibrillar versus non-fibrillar Aggregation: Implications for Neurotoxicity in Alzheimer's Disease. ChemistryOpen, e202400493.
[30]. Dindar, Z., Anbaraki, A., Hosseini, S. S., Harati, Z., Bahrami, A., Balalaie, S., et al. (2025). The use of natural volatile compounds on the fibrillation domain of amyloid beta (GSNKGAIIGLM)─ Towards promising agents to combat Alzheimer’s disease. ACS Chemical Neuroscience.
[31]. Moeini, Z., Seraj, Z., Zohoorian Abootorabi, T., Ashrafi-Kooshk, M., Riazi, G., Saboury, A. A., et al. (2022). Unravelling the novel effects of three volatile compounds in preventing fibril formation of disease-related tau and α-synuclein proteins-Towards identifying candidate aromatic substances for treating neurodegenerative diseases. Frontiers in Pharmacology, 13, 793727.

پارابن‌ها و اثرات آنها بر سلامت انسان

زهرا حق پرس[۱]، مهران حبیبی رضائی[۲]، مسعود امانلو[۳]، علی اکبر موسوی موحدی*[۴،۱]

چکیده

پارابن‌ها (Parabens) دسته‌ای از مواد شیمیایی هستند که به‌دلیل ویژگی‌های ضدمیکروبی و ضداکسیدانی خود در صنایع مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نقش اصلی پارابن‌ها جلوگیری از رشد میکروب‌ها، کپک‌ها و قارچ‌ها است و بدین ترتیب به افزایش ماندگاری محصولات کمک می‌کنند. از این‌رو، پارابن‌ها در بسیاری از محصولات رایجِ آرایشی، بهداشتی، دارویی و حتی برخی از مواد غذایی عمدتاً به‌عنوان نگهدارنده استفاده می‌شوند. ضدآفتاب‌ها پرکاربردترین و رایج‌ترین محصولات حاوی پارابن هستند که روزانه و به‌صورت مداوم مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این حال، در سال‌های اخیر نگرانی‌های علمی و عمومی درباره اثرات منفی این ترکیبات بر سلامت انسان افزایش یافته و نتایج مطالعات متعدد منتشر شده در این خصوص، بیانگر اثرات منفی پارابن‌ها بر سلامت انسان هستند. پارابن‌ها ترکیبات شیمیایی سنتزی با اثرات مشابه استروژن هستند که به‌عنوان مختل‌کننده‌های غدد درون‌ریز و ترکیبات زنواستروژن شناخته می‌شوند. آنها با اتصال به گیرنده‌های استروژنی در عملکرد هورمون‌های طبیعی تداخل ایجاد می‌کنند. همچنین تحقیقات نشان می‌دهد که پارابن‌ها ممکن است موجب اختلالات هورمونی، مشکلات قاعدگی، نازایی و افزایش خطر تومورهای وابسته به استروژن، از جمله سرطان سینه شوند. به‌علاوه پارابن‌ها به‌راحتی از طریق پوست جذب می‌شوند و منجر به بروز آلرژی و تحریکات پوستی خواهند شد، بنابراین استفاده مداوم و روزانه از ضدآفتاب‌های حاوی پارابن خطر بروز چنین عارضه‌هایی را به مراتب افزایش خواهد داد. همچنین از آنجائی‌که تحت تابش نور خورشید، برخی از محصولات تجزیه نوری پارابن‌ها می‌توانند به کلاژن و الاستین پوست آسیب برسانند. این ترکیبات مصنوعی در بدن قابل تجزیه نیستند و به‌ویژه در بافت‌های چربی انباشته خواهند شد که منجر به بروز پدیده تجمع زیستی می‌گردند. در این مقاله به بررسی ساختار، کاربردها و پیامدهای استفاده از پارابن‌ها بر سلامت انسان پرداخته شده است تا زمینه‌ای برای درک بیشتر این ترکیبات و لزوم استفاده از جایگزین‌های ایمن‌تر فراهم شود.

واژگان کلیدی: پارابن‌ها، میکروارگانیسم، نگهدارنده، جذب پوستی، تجمع زیستی، التهاب و اختلالات عصبی، سبک زندگی

* عهده‌دار مکاتبات: استاد. تلفن: ۶۶۴۰۹۵۱۷ (۹۸۲۱)، نمابر: ۶۶۴۰۴۶۸۰ (۹۸۲۱)، نشانی الکترونیکی: moosavi@ut.ac.ir

[۱] مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

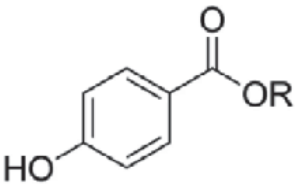
[۲] دانشکده زیست‌شناسی، دانشکدگان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

[۳] دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشگاه تهران، تهران، ایران

[۴] کرسی یونسکو در تحقیقات بین‌رشته‌ای در دیابت، دانشگاه تهران، ، تهران، ایران

مقدمه

پارابن‌ها ترکیباتی از گروه پاراهیدروکسی‌بنزوات‌ها هستند که به‌دلیل ویژگی‌های ضدمیکروبی و ضداکسیدانی غالباً به‌عنوان نگهدارنده در صنایع متعدد کاربرد دارند. انواع مختلفی از پارابن‌ها وجود دارد، اما رایج‌ترین آنها استرهای متیل، اتیل، پروپیل و بوتیل پارابن می‌باشد (شکل ۱). این ترکیبات همه به یک هدف کلی در جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها عمل می‌کنند [۱,۲].



Paraben	R
Methylparaben	$-CH_3$
Ethylparaben	$-CH_2CH_3$
Propylparaben	$-CH_2CH_2CH_3$
Butylparaben	$-CH_2CH_2CH_2CH_3$

شکل ۱: ساختار شیمیایی استرهای مختلف پارابن [۱]

پارابن‌ها در گستره وسیعی از محصولات آرایشی و بهداشتی مانند ضدآفتاب، شامپو، نرم‌کننده، لوسیون، مرطوب‌کننده و دئودورانت، در برخی داروها همچون کرم‌ها، پمادها و داروهای خوراکی، و حتی در محصولات غذایی فرآوری شده و مواد غذایی بسته‌بندی شده به‌منظور جلوگیری از فساد یافت می‌شوند [۱]. علی‌رغم استفاده گسترده از این ترکیبات، پژوهش‌ها نشان می‌دهند که پارابن‌ها ممکن است اثرات منفی بر سلامت انسان داشته باشند [۲,۳]. در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی در این خصوص به انجام رسیده است. پارابن‌ها به‌عنوان ترکیبات زنواستروژن[1] شناخته می‌شوند. آنها ترکیبات شیمیایی سنتزی با اثرات استروژن مانند بر روی سیستم هورمونی هستند و به‌عنوان ترکیبات شیمیایی مختل‌کننده‌های عملکرد غدد درون‌ریز (EDC)[2] محسوب می‌شوند. پارابن‌ها به‌دلیل تمایل اتصال به گیرنده‌های استروژنی، در عملکرد هورمون‌های استروژنی تداخل دارند. از این‌رو آنها در سنجش گیرنده‌های استروژن و پروژسترون، که از آزمایش‌های مهم در تشخیص و درمان سرطان سینه هستند نیز تداخل دارند. این آزمون‌ها کمک می‌کنند تا میزان حساسیت سلول‌های سرطانی به هورمون‌ها مشخص و بر اساس آن، برنامه درمانی مناسب برای بیمار تدوین شود [۴].

پارابن‌ها می‌توانند در سیستم غدد درون‌ریز اختلال ایجاد کرده و خطر ابتلا به برخی سرطان‌ها، به‌ویژه سرطان سینه، را افزایش دهند [۳,۵]. برخی از این پژوهش‌ها نیز نشان می‌دهند که پارابن‌ها، به‌ویژه در صورت استفاده طولانی‌مدت، ممکن است منجر به بروز اختلالات هورمونی شوند [۱,۲]. همچنین گزارش‌هایی از اثرات آلرژیک [۶]، تحریکات پوستی [۱]، تجمع زیستی در بافت‌های بدن [۷] و ایجاد اختلال در سیستم تولیدمثل آقایان وجود دارند [۱,۴,۸].

این موضوع سبب افزایش توجهات علمی و عمومی نسبت به اثرات این ترکیبات شیمیایی بر بدن انسان شده است. از این‌رو هدف از این مطالعه بررسی کاربردها و تأثیرات پارابن‌ها بر سلامت انسان می‌باشد.

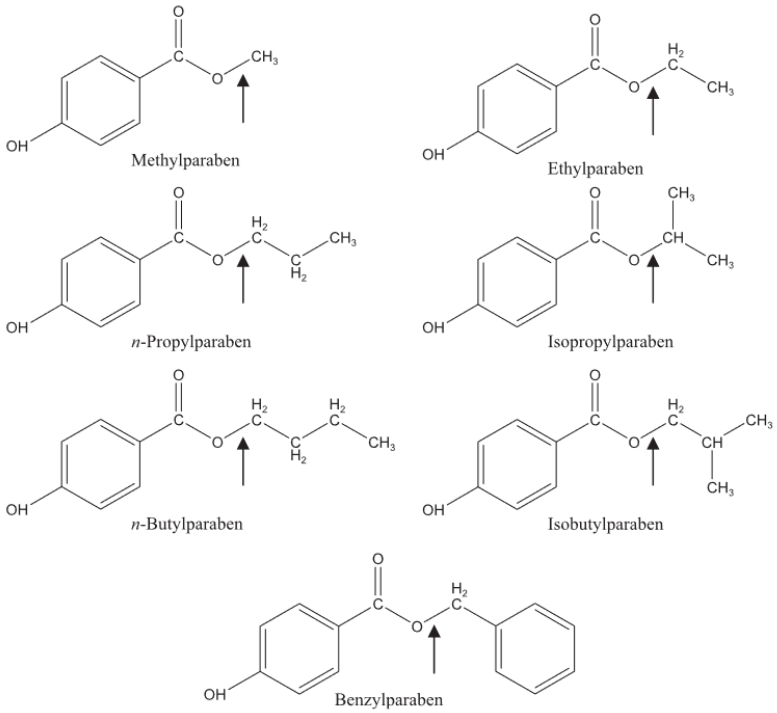
ساختار، خواص و ویژگی‌های پارابن‌ها

پارابن‌ها استرهای پارا-هیدروکسی بنزوئیک اسید با گروه‌های مختلف آلکیل (متیل، اتیل، پروپیل، ایزوپروپیل، بوتیل، ایزوبوتیل، پنتیل، هپتیل) یا آریل (بنزیل، فنیل) هستند که در شکل ۲ نشان داده شده است [۹]. در صنعت، متیل پارابن با نام E-218، اتیل پارابن با نام E-214 و پروپیل پارابن با نام E-216 شناخته می‌شود [۸].

این ترکیبات شیمیایی تحت مقادیر اندک دربرخی از باکتری‌ها [۱۰]، گیاهان [۹,۱۱] و میوه‌ها [۱۲] نیز گزارش شده‌اند و از سال ۱۹۲۰ سنتز شده و توسط صنایع مختلف استفاده می‌شوند [۱۳]. از دهه ۱۹۹۰، استفاده از پارابن‌ها هر سال افزایش یافته و در حال

[1] Xenoestrogens
[2] Endocrine disruptors chemicals

حاضر در زمینه‌های مختلف مانند داروسازی، صنایع غذایی، محصولات آرایشی و بهداشتی و حتی پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اخیراً استفاده از پارابن‌ها به‌ویژه در صنایع غذایی گسترش یافته است به‌گونه‌ای که از سال ۲۰۱۳ بخشی از غذاهای کنسرو شده یا بسته‌بندی شده حاوی پارابن هستند [۲].



شکل ۲: ساختار شیمیایی هفت استر آلکیل از پارابن‌ها که به‌طور رایج در محصولات مصرفی استفاده می‌شوند. هیدرولیز پیوند استری (فلش) باعث تولید متابولیت مشترک پارابن یعنی اسید p–هیدروکسی‌بنزوئیک می‌شود [۱].

سه عامل مهم در استفاده پارابن‌ها در صنایع گوناگون، نقش اساسی دارند که به تفصیل در زیر بیان شده‌اند [۱۴,۱۵]:

- **افزایش ماندگاری محصولات:** پارابن‌ها دارای طیف وسیعی از فعالیت در برابر میکروب‌ها هستند که به حفظ ایمنی محصولات برای مدت طولانی‌تر کمک می‌کنند.
- **قیمت پایین:** در مقایسه با نگهدارنده‌های جایگزین، پارابن‌ها مقرون‌به‌صرفه هستند و آنها را به انتخابی جذاب برای تولیدکنندگان تبدیل می‌کند.
- **پایداری مناسب:** در طول زمان حتی در شرایط مختلف مانند قرار گرفتن در معرض گرما و نور مؤثر باقی می‌مانند.

علاوه‌بر موارد ذکر شده، واکنش‌پذیری اندک، حلالیت کم در آب، عدم تغییر قوام یا رنگ محصولات، بو و طعم نامحسوس مهمترین خواصی هستند که پارابن‌ها را به ترکیبات جالبی تبدیل می‌کنند [۱۵].

پارابن در محصولات دارویی و پزشکی

خواص و ویژگی پارابن‌ها که پیشتر ذکر شد، آنها را به محصولی کارآمد در صنایع دارویی و پزشکی تبدیل کرده است؛ چرا که داروهای پوستی، کرم‌ها، و پمادها مستعد آلوده شدن به میکروب هستند [۳]. در برخی داروهای خوراکی نیز مانند شربت‌ها و قرص‌های مایع، از پارابن‌ها برای جلوگیری از آلودگی باکتریایی و قارچی استفاده می‌شود. این موضوع باعث می‌شود داروها در طولانی‌مدت در شرایط بهداشتی باقی بمانند. اگرچه به‌دلیل احتمال تحریک چشم، پارابن‌ها برای برخی از داروهای چشمی مناسب نیستند، اما در برخی فرمولاسیون‌های خاص، به‌عنوان نگهدارنده به‌کار می‌روند. پارابن‌ها همچنین در برخی فرمولاسیون‌های تزریقی استفاده می‌شوند [۱,۲]. البته به‌دلیل اثرات جانبی بالقوه و نگرانی‌های مرتبط با ایمنی، استفاده از پارابن‌ها در محصولات تزریقی به‌صورت محدود و با بررسی‌های دقیق انجام می‌گردد.

برخی از مواد مورد استفاده در عمل‌های جراحی و پزشکی نیز ممکن است حاوی پارابن باشند تا از رشد باکتری‌ها و سایر میکروارگانیسم‌ها جلوگیری کرده و این مواد را در شرایط استریل حفظ کنند [۳].

پارابن در صنایع غذایی

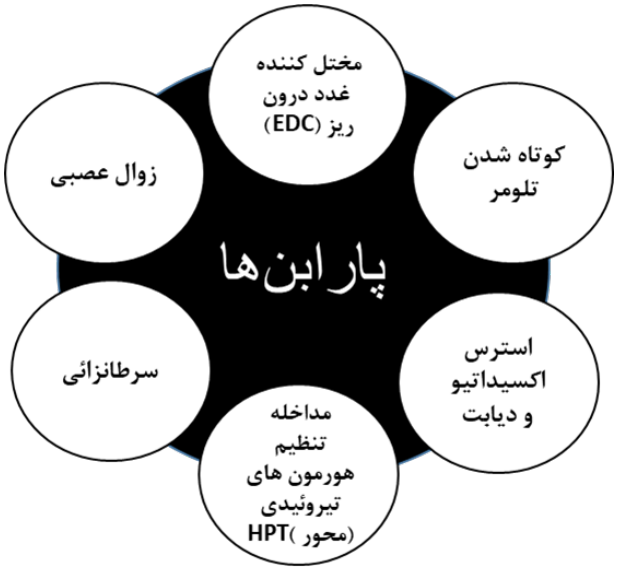
اگرچه پارابن‌ها به‌عنوان افزودنی‌های غذایی مؤثر هستند، اما استفاده از آنها در صنایع غذایی با نگرانی‌های بسیاری همراه است. این نگرانی‌ها عمدتاً به‌دلیل اثرات احتمالی پارابن‌ها بر سیستم هورمونی و نقش آنها به‌عنوان اختلال‌گرهای غدد درون‌ریز مطرح می‌شوند. پارابن‌ها در صنایع غذایی به‌عنوان نگهدارنده‌های ضدباکتری و ضدقارچ به‌کار می‌روند. این ترکیبات با جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها، ماندگاری محصولات غذایی را افزایش می‌دهند و از فساد زودرس جلوگیری می‌کنند. پارابن‌ها به‌عنوان یک افزودنی نگهدارنده در آبمیوه‌ها و نوشیدنی‌ها به‌کار می‌روند تا از رشد میکروب‌ها و فساد آنها جلوگیری کنند. در برخی از محصولات نانوایی نیز به‌ویژه کیک‌ها و کلوچه‌ها، به‌عنوان نگهدارنده استفاده می‌شوند. پارابن‌ها همچنین به‌دلیل حلالیت در روغن و خاصیت نگهدارندگی بالا، در سس‌ها و محصولات مایعِ مشابه به‌کار می‌روند. علاوه‌بر موارد فوق، به‌منظور افزایش ماندگاری میوه‌ها و سبزیجات فرآوری‌شده و جلوگیری از رشد کپک و باکتری در آنها از پارابن‌ها استفاده می‌شود [۱,۲].

پارابن در محصولات آرایشی و بهداشتی

استفاده از پارابن‌ها در محصولات آرایشی و بهداشتی به‌عنوان مواد نگهدارنده رایج هستند. ضدآفتاب‌ها به‌عنوان پرکاربردترین محصولات آرایشی و بهداشتی، به‌دلیل مزایای اقتصادی و ویژگی‌های ضدمیکروبی اغلب دارای ترکیبات پارابن می‌باشند. همچنین در کرم‌ها و لوسیون‌ها به‌منظور جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها و افزایش ماندگاری به‌کار می‌روند. پارابن‌ها در شامپوها، نرم‌کننده‌ها و سایر محصولات مراقبت از مو برای حفظ کیفیت و جلوگیری از رشد قارچ و باکتری استفاده می‌شوند. علاوه‌بر این در محصولات آرایشی مانند کرم‌پودر، ریمل، و خط چشم نیز از پارابن‌ها برای جلوگیری از فساد زودرس استفاده می‌شود. برخی دئودورانت‌ها و ضدتعریق‌ها نیز حاوی پارابن بوده که از رشد باکتری‌ها و بوی ناخوشایند جلوگیری می‌کنند [۲,۳].

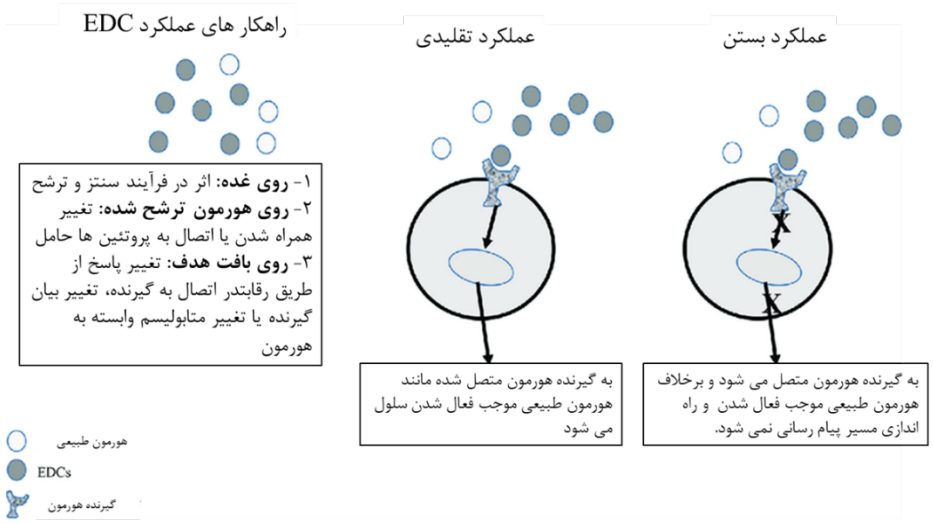
خطرات احتمالی پارابن‌ها بر سلامت انسان

همانطور که پیشتر گفته شد، پارابن‌ها برای طولانی‌تر کردن عمر مفید محصولات بسیار مؤثرند، اما استفاده گسترده از آنها توسط جامعه علمی و نهادهای مختلف مورد بحث است. مطالعات انجام شده حاکی از این است که استفاده از محصولاتِ حاوی پارابن منجر به بروز اختلال در سلامت انسان می‌گردد [۳,۴,۵,۸].



شکل ۳: فهرست عوارض و اثرات استفاده مداوم از پارابن‌ها [۱,۴,۶,۷,۱۱]

در شکل ۳ فهرست عوارض و اثرات پارابن‌ها معرفی شده است. بر این اساس یکی از مخاطرات آن اختلال در سیستم عملکرد غدد درون‌ریز می‌باشد. همانطور که پیشتر اشاره شد، پارابن‌ها به‌دلیل شباهت ساختاری به استروژن می‌توانند عملکرد طبیعی هورمون‌ها را مختل کنند و بر سیستم غدد درون‌ریز تأثیر بگذارند. این موضوع ممکن است باعث مشکلات تولیدمثلی و تغییرات هورمونی شود [۴]. کوتاه شدن تلومر از دیگر عوارض پارابن‌ها می‌باشد. تلومرها انتهای کروموزوم‌ها را محافظت می‌کنند و کوتاه شدن آنها با پیری زودرس و بیماری‌های مرتبط با افزایش سن مانند سرطان و بیماری‌های قلبی مرتبط است. برخی مطالعات نشان داده‌اند که پارابن‌ها می‌توانند باعث تسریع درکوتاه شدن تلومرها شوند [۶]. پارابن‌ها به‌ویژه متیل‌پارابن با افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS) استرس اکسایشی را افزایش می‌دهند که می‌تواند منجر به آسیب سلولی، پیری زودرس و افزایش مقاومت به انسولین شود. در نتیجه خطر ابتلا به بیماری‌های مزمن از جمله دیابت نوع ۲ افزایش می‌یابد [۷]. پارابن‌ها همچنین در عملکرد طبیعی غدد تیروئید مداخله می‌کنند که در ادامه به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرد [۱]. مطالعات نشان داده‌اند که پارابن‌ها می‌توانند در بافت‌های چربی تجمع یابند و به بروز سرطان به‌ویژه سرطان پستان منجر شوند [۶,۱۱]. همانطور که اشاره شد قرار گرفتن در معرض پارابن‌ها با افزایش استرس اکسایشی همراه بوده که این موضوع با بروز التهاب عصبی مرتبط است. لذا در طولانی‌مدت می‌تواند به بیماری‌هایی مانند آلزایمر و سایر اختلالات عصبی منجر شود [۷]. پارابن‌ها به‌همراه گروه دیگری از مواد شیمیائی یا ترکیبی از آنها در عملکردهای هورمون‌های درون‌ریز مداخله می‌کنند از این‌رو به‌عنوان مواد شمیایی مختل‌کننده درون‌ریز یا EDC شناخته می‌شوند [۲]. آنها ممکن است با مختل کردن سنتز، ترشح، انتقال، اتصال یا تخریب هورمون، موجب تغییر در سطح هورمون‌های درون‌زا شوند (شکل ۴). از آنجایی‌که سیستم غدد درون‌ریز نقش مهمی در تنظیم هورمون‌ها و فرآیندهای متابولیکی دارد، اختلال در عملکرد این سیستم می‌تواند منجر به بروز مشکلاتی از قبیل اختلالات قاعدگی، نازایی، و در مواردی حتی به رشد تومورهای وابسته به هورمون استروژن، مانند سرطان سینه، منجر شود [۵].



شکل ۴: فعالیت شبه استروژنی پارابن‌ها در فعال شدن سلول و یا عملکرد بستن [۶]

همان‌طور که اشاره شد، پارابن‌ها با فعالیت‌های استروژنی و ضدآندروژنیِ خود، در بروز تومورها، از جمله تومورهای سینه، و نیز ناباروری مردان مرتبط بوده‌اند. مطالعات نشان داده‌اند که برخی از پارابن‌ها، مانند متیل‌پارابن و اتیل‌پارابن، اثرات اسپرم‌کشی دارند و به کاهش تعداد و حرکت اسپرم کمک می‌کنند درنتیجه منجر به بروز اختلال در تولیدمثل می‌گردند [۱,۲,۸]. این ترکیبات مصنوعی به‌عنوان یک عامل بالقوه با خطر برای سلامت انسان شناخته شده و محصولات دارویی و آرایشی به‌ویژه ضدآفتاب‌ها به‌عنوان منابع اصلی تماس انسان با پارابن‌ها ذکر شده است [۱۶,۱۷]. پارابن‌ها همچنین می‌توانند از مادر به جنین منتقل شوند. در یک مطالعه که روی ۵۰ جفت مادر و فرزند انجام شد، پارابن‌ها در خون مادران

و جنین‌ها شناسایی شدند. همچنین، برخی مطالعات نشان داده‌اند که پارابن‌ها می‌توانند بر کیفیت اسپرم مردان و سطح هورمون‌های باروری در دختران جوان تأثیر بگذارند [۱,۲].

پاربن‌ها با اثرگذاری بر تنظیم طبیعی سنتز هورمون‌های تیروئیدی (TH)[1] از طریق محور هیپوتالاموسی- هیپوفیزی-تیروئیدی (HPT)[2] در عملکرد طبیعی غده تیروئید مداخله می‌کنند. در منبع علمی چگونگی تأثیر انواع استرهای پارابن در مسیر مورد نظر را نمایش می‌دهد [۱]. با توجه به نقش حیاتی این هورمون‌ها در سلامت و شواهد رو به رشد بیماری‌های مرتبط با اختلال عملکرد تیروئید، قرار گرفتن در معرض پارابن‌ها می‌تواند به‌عنوان تهدید سلامت مورد توجه قرار گیرد. در همین ارتباط، پارابن‌ها و سایر مواد شیمیایی خارجی از طریق اختلال در محور HPT، می‌توانند در انسان به‌ویژه زنان موجب اختلالات تولیدمثلی شوند [۱]. مختل‌کننده‌های غدد درون‌ریز می‌توانند بر عملکرد هورمون‌های داخلی، سنتز، متابولیسم و انتقال آنها تأثیر بگذارند. همچنین این ترکیبات ممکن است در عملکرد طبیعی سیستم عصبی مرکزی، سیستم ایمنی، تعادل چربی‌ها، سطح گلوکز، عملکرد تیروئید و به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های اپی‌ژنتیک تأثیرگذار باشند و حتی باعث ایجاد اثرات نسلی شوند [۱۶,۱۷].

پارابن‌ها می‌توانند در برخی افراد باعث ایجاد حساسیت پوستی و واکنش‌های آلرژیک شوند. این مواد به‌ویژه در افراد با پوست حساس و آسیب‌پذیر ممکن است باعث ایجاد عارضه‌هایی از قبیل التهاب، خارش، سوزش و قرمزی پوست شوند. همچنین، در برخی موارد، استفاده طولانی‌مدت از محصولاتی که حاوی پارابن هستند، می‌تواند موجب بیماری‌های پوستی تماسی یا اگزما شود [۱,۶]. پروپیل پارابن به‌طور معمول برای پوست‌های سالم، غیرمحرک و غیرحساسیت‌زا است، اما در مواردی که داروهای حاوی پارابن بر پوست آسیب‌دیده استفاده شد، اثرات حساسیت‌زا مشاهده گردیده است [۱,۱۶,۱۷]. استفاده روزانه و مداوم از کرم‌های ضدآفتابِ حاوی پارابن، احتمال بروز عارضه‌های ناشی از این ترکیبات سنتزی را افزایش خواهد داد؛ چرا که پارابن‌ها به راحتی از طریق پوست جذب می‌شوند. برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که پارابن‌ها ممکن است تحت تابش نور خورشید ترکیبات مضر آزاد کنند که می‌توانند به کلاژن و الاستین پوست آسیب برسانند و روند پیری پوست را تسریع کنند [۲].

پارابن‌ها همچنین به‌عنوان آلاینده‌های نوظهور (EC)[3] و برخورداری از اثرات سموم اکولوژیک[4] می‌توانند تهدیدکننده سلامت انسان باشند. از آنجا که پارابن‌ها به‌طور کامل تجزیه نمی‌شوند ممکن است در بافت‌های مختلف به‌ویژه بافت‌های چربی تجمع پیدا کنند که به این پدیده «تجمع زیستی» گفته می‌شود [۷]. بر اساس پژوهش‌های انجام شده، متیل پارابن تأثیرات زیان‌باری بر تجمع زیستی به‌ویژه در افراد دیابتی دارد. این ترکیب با افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و اتصال کووالانسی قند به پروتئین، موجب تغییرات ساختاری و تخریب پروتئین‌هایی نظیر هموگلوبین می‌شود [۱۸]. این تغییرات می‌توانند عملکرد پروتئین‌های حیاتی را مختل کنند و منجر به عوارض جدی شوند. همچنین، استفاده از محصولات حاوی متیل‌پارابن باعث افزایش لیپید پراکسیداسیون و تری‌گلیسیرید در خون می‌شود که این عوامل در تشدید عوارض دیابت نقش مهمی دارند [۱۸]. این اثرات، اهمیت محدود کردن مصرف متیل‌پارابن در مواد آرایشی، بهداشتی و خوراکی را برجسته می‌کند.

پارابن‌ها نه‌تنها توسط مواد شوینده تجزیه نمی‌شوند و از بین نمی‌روند، بلکه از این طریق نیز وارد آب‌های محیط‌زیست شده که می‌توانند اکوسیستم‌های آبی را تحت‌تأثیر قرار دهند. پارابن‌ها ممکن است برای جانداران آبزی سمی باشند و تعادل طبیعی اکوسیستم‌ها را مختل کنند. از این‌رو پارابن‌ها می‌توانند منجر به تجمع زیستی و بروز اثرات محیطی شده و از این طریق مجدداً وارد بدن شوند [۱]. به‌دلیل نگرانی‌های بهداشتی، برخی کشورها استفاده از ضدآفتاب‌های حاوی پارابن را محدود کرده و این محصولات را از بازار حذف کرده‌اند. همچنین سازمان غذا و داروی ایالات متحده، متیل و پروپیل‌پارابن‌ها را برای استفاده در داروهای چشمی مناسب نمی‌داند، زیرا می‌توانند باعث تحریک چشم شوند [۱,۱۶,۱۷].

جایگزین‌های ایمن‌تر برای پارابن

علی‌رغم اینکه پارابن‌ها هنوز در صنایع گوناگون استفاده می‌شوند، به‌دلیل افزایش آگاهی از عوارض جانبی آنها، تلاش‌هایی درخصوص

[1] Thyroid hormones
[2] Hypothalamic–pituitary–thyroid axis
[3] Emerging contaminants
[4] Ecotoxicity

کاهش مصرف این ترکیبات و جایگزینی آنها با گزینه‌های ایمن‌تر در جریان است. امروزه بسیاری از شرکت‌های داروسازی از ترکیبات نگهدارندهِ جایگزین مانند فنوکسی‌اتانول، سوربات پتاسیم و بنزوات سدیم استفاده می‌کنند [۲,۳,۱۷] که این ترکیبات هم دارای مضرات بسیاری هستند از جمله به فیبریل شدن پروتئین‌ها منجر می‌شود [۲۱-۱۹].

همچنین بسیاری از صنایع غذایی از ترکیباتی مانند اسید سیتریک، اسید سوربیک، و اسید بنزوئیک به‌عنوان جایگزین‌هایی برای مشتقات پارابن استفاده می‌کنند [۱]. بسیاری از شرکت‌های تولید محصولات آرایشی و بهداشتی، فرمولاسیون‌های خود را تغییر داده و با استفاده از ترکیباتی همچون روغن درخت چای (TTO)[1]، روغن اسطوخودوس[2]، عصاره دانه گریپ‌فروت و ویتامین‌های E و C، محصولات بدون پارابن تولید می‌کنند [۲,۳]. این ترکیبات جایگزین، خواص ضدباکتری و ضدقارچی داشته و با خاصیت نگهدارنده گی و ضدعفونی‌کننده بالا، به حفظ تازگی و کیفیت محصولات کمک می‌کنند [۲,۳]. این ترکیبات که کمتر بحث‌برانگیز هستند و به‌عنوان نگهدارنده‌های ایمن‌تر در صنایع گوناگون استفاده می‌شوند، احتمالاً اثرات منفی کمتری بر سلامت انسان دارند.

قابل ذکر است که ترکیبات سوربات پتاسیم و بنزوات سدیم به‌دلیل قابلیت تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن احتمال می‌رود که می‌توانند منجر به بروز سرطان شوند [۱۹,۲۲,۲۳]. تحقیقات نشان داده‌اند که این دو ترکیب با افزایش تولید سموم مرتبط با دیابت، تأثیر بسزایی در افزایش خطر بروز این بیماری را دارند [۱۹,۲۲,۲۳]. بنابراین، استفاده از هیچ‌یک از این ترکیبات به‌عنوان جایگزینِ مشتقات پارابن توصیه نمی‌شود، زیرا هرکدام عوارض و مضرات خاص خود را دارند لذا محققان شایسته است کوشش‌های بیشتری برای یافتن ترکیبات طبیعی جایگزین داشته باشند.

نتیجه‌گیری

پارابن‌ها به‌دلیل ویژگی‌های ضدمیکروبی و پایداری بالا، به‌عنوان نگهدارنده در محصولات مختلف کاربرد دارند. اما تحقیقات نشان می‌دهند که استفاده طولانی‌مدت از این ترکیبات ممکن است اثرات منفی بر سلامت انسان داشته باشد. با توجه به عوارض و مضرات آنها برای سلامتی، بهتر است استفاده از محصولاتی که حاوی پارابن هستند محدود شود. اگرچه هنوز مطالعات بیشتری برای تأیید این نتایج مورد نیاز است، اما جایگزین‌های طبیعی و ایمن‌تر برای پارابن‌ها می‌توانند راه‌حلی مناسب برای کاهش خطرات احتمالی باشند. این موضوع می‌تواند خطرات ناشی از تجمع و قرارگیری طولانی‌مدت در معرض ترکیبات پارابن را کاهش داده و به حفظ سلامت بدن و محیط زیست کمک کند.

برای جایگزینی پارابن‌ها در مواد آرایشی و غذایی می‌توان از ترکیبات طبیعی و ایمن استفاده کرد. در محصولات آرایشی، عصاره‌های گیاهی مانند روغن درخت چای، عصاره هسته گریپ فروت، روغن رزماری، و ویتامین E خاصیت ضدباکتری و آنتی‌اکسیدانی دارند. در صنایع غذایی، موادی مانند اسید سیتریک (از لیمو)، سرکه سیب، عصاره رزماری، و عصاره زغال‌اخته می‌توانند به حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری کمک کنند. این ترکیبات علاوه‌بر ایمنی بالا، حساسیت‌زا نبوده و اثرات مخرب پارابن‌ها را ندارند.

امروز نیاز است علاوه‌بر استفاده صحیح از فناوری‌های علمی از سبک زندگی زیست‌سازگار و خردمندانه هم استفاده نمود. سبک زندگی سالم نیاز به دانش فردی و اجتماعی دارد که هر فرد می‌باید در حد امکان آگاهی‌های زندگی متعادل و سبک زندگی متعالی را حاصل نماید. امروز علم و دانش فقط موضوع مدرسه و دانشگاه نیست بلکه یک معیار بزرگ اجتماعی است که جامعه می‌باید دانش شبکه‌سازی شده بر مبنای حقیقت را در اختیار شهروند خود قرار دهد.

سپاس:

از حمایت‌های دانشگاه تهران، کمیسیون ملی یونسکو در ایران، بنیاد ملی علم ایران تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع و مآخذ

[1]. Darbre, Philippa D., Harvey, Philip W. (2008). Paraben esters: Review of recent studies of endocrine toxicity, absorption, esterase and human exposure, and discussion of potential human health risks. J. Appl. Toxicol., 28, 561–78.

[2]. Lincho, João, Martins, Rui C., Gomes, João (2021). Paraben compounds—part I: An overview of their characteristics, detection, and impacts., Appl. Sci., 11, 1–38.

[1] Melaleuca alternifolia

[2] Lavandula

[3]. Dodge, Laura E. et al. (2015). Medications as a source of paraben exposure, Reprod. Toxicol., 52, 93–100.
[4]. Oishi, Shinshi (2002). Effects of butyl paraben on the male reproductive system in mice, Arch. Toxicol., 76, 423–9.
[5]. Hager, Emily, Chen, Jiangang, Zhao, Ling (2022). Minireview: Parabens Exposure and Breast Cancer, Int. J. Environ. Res. Public Health, 19, 1873.
[6]. Nagel, James E., Fuscaldo, John T., Fireman, Philip (1977). Paraben Allergy, JAMA, 237, 1594-5.
[۷] . پیشکاری، نیلوفر، موسوی موحدی، علی اکبر (۱۳۹۷). بررسی گلایکه شدن هموگلوبین با فروکتوز در حضور و عدم حضور متیل پارابن، پایان نامه ارشد، گروه بیوفیزیک، مرکز تحقیقات بیوشیمی بیوفیزیک، دانشگاه تهران.
[8]. Oishi, S. (2002). Effects of propyl paraben on the male reproductive system, Food Chem. Toxicol., 40, 1807–1813.
[9]. Juliano, Claudia, Magrini, Giovanni Antonio (2017). Cosmetic ingredients as emerging pollutants of environmental and health concern A mini-review, Cosmetics, 4, 1-18.
[10]. Peng, Xue et al. (2006). Discovery of a marine bacterium producing 4-hydroxybenzoate and its alkyl esters, parabens, Appl Environ Microbiol., 72, 5556–61.
[11]. Baardseth, Pernille, Russwurm Jr, Hellmut (1978). Content of some organic acids in cloudberry, Food Chem., 3, 43-6.
[12]. Tade, Rahul S., More, Mahesh P, Chatap, V K, Deshmukh, P K, Patil, P O (2018). Safety and toxicity assessment of parabens in pharmaceutical and food products, Inventi Rapid: Pharmacy Practice., 3, 1–9.
[13]. Haman, Camille, Dauchy, Xavier, Rosin, Christophe, Munoz, Jean-Francois (2015). Occurrence, fate and behavior of parabens in aquatic environments: A review, Water Research, 68, 1–11.
[14]. Li, Wenhui et al. (2016). Spatial distribution, temporal variation and risks of parabens and their chlorinated derivatives in urban surface water in Beijing, China, Sci. Total Environ., 539, 262–70.
[15]. Ana, Francisco, Paula, Fonseca Ana (2016). Parabens paradoxes in cosmetic formulations: a review, Int. J. Med. Res. Pharm. Sci., 8, 3-14.
[16]. Soni, M. G., Taylor, S. L., Greenberg, N. A., Burdock, G. A. (2002). Evaluation of the health aspects of methyl paraben: a review of the published literature, Food. Chem. Toxicol., 40, 1335–1373.
[17]. Soni, M. G., Burdock, G. A., Taylor, S. L., Greenberg, N. A. (2001). Safety assessment of propyl paraben: a review of the published literature, Food. Chem. Toxicol., 39, 513-532.
[18]. Pishkari, N. et al. (2020). The correlation between ROS generation and LPO process as the function of methylparaben concentrations during hemoglobin fructation, J. Iran. Chem. Soc., 17, 1249-1255.
[19]. Taghavi, F. et al. (2013). Potassium sorbate as an AGE activator for human serum albumin in the presence and absence of glucose, Int. J. Biol. Macromol., 62, 146-154.
[20]. Taghavi, F. et al. (2016). Antiamyloidogenic Effects of Ellagic Acid on Human Serum Albumin Fibril Formation Induced by Potassium Sorbate and Glucose, J. Mol. Recognition, 29, 611-618.
[21]. Taghavi, F., Habibi-Rezaei, M., Bohlooli, M., Saboury, A. A., Moosavi-Movahedi, A. A. (2016). The comparative studies of potassium sorbate and sodium benzoate upon treated with human serum albumin concerning Maillard reaction and amyloid formation, Journal of International Society of Antioxidants in Nutrition & Health (JISANH), 3, The 3rd World Congress on Maillard Reaction was to be held at the Hungarian Academy of Sciences in Budapest, Hungary on May 26-27, DOI: http://dx.doi.org/10.18143/JISANH_v3i2_1065.
[22]. Vahdat-Ahar, E., Moosavi-Movahedi, A. A., Taghavi, F., Habibi-Rezaei, M., Sheibani, N. (2018). Lag phase alteration in the modified bovine serum albumin under the inducing and inhibitory effect of vitamin C, J. Iran. Chem. Soc., 15, 1337-1346.
[23]. Taghavi, F. et al. (2014). Energetic domains and conformational analysis of human serum albumin upon co-incubation with sodium benzoate and glucose, Journal of Biomolecular Structure and Dynamics, 32, 438-447.
[۲۴] . بهنام راد، محمّد، تقوی، فرشته، موسوی موحدی، علی اکبر (۱۳۹۴). نقش سبک زندگی در تعدیل دیابت، نشریه نشا علم، مجله ۵، شماره۱، صفحات ۱۲–۲۱.
[۲۵] . موسوی موحدی، علی اکبر، قره قومی، سمیه، دانش، ناهید، مقدم نیا، سید حسن (۱۴۰۱). علوم، سبک زندگی و نوآوری های معنوی، نشریه فرهنگ و ارتقای سلامت فرهنگستان علوم پزشکی، مجله ۶، شماره ۱، صفحات۳۴–۳۹.

ژنوم مواد (MGI): نوآوری برافکن در کشف، طراحی، توسعه و تجاری‌سازی مواد جدید

حسین کیوان بهجو[۲،۱]، مالک نادری*[۲،۱]

چکیده

توسعه هر فناوری، به‌شدت وابسته به تأمین مواد و ترکیبات مورد نیاز است. اگر شتاب کشف و معرفی و تولید مواد نوین با شتاب توسعه فناوری همخوانی نداشته باشد، قطعاً توسعه فناوری‌های نوین با چالش اساسی مواجه خواهد شد. روش‌های متداول کشف و تولید مواد که به‌طور عمده متمرکز بر روش‌های تجربی و گاهی همراه با محاسبات می‌باشد، پاسخگوی این شتاب نبوده است. برنامه ژنوم مواد که توسط ایالات متحده آمریکا در سال ۲۰۱۱ معرفی شد، بر مبنای بانک داده بسیار قوی، ابزارهای محاسباتی (از جمله شبکه گراف معرفی شده توسط گروه تفکر عمیق گوگل) و آزمایشگاه خودران مستقر در آزمایشگاه ملی لارنس برکلی، تحول بی‌بدیلی در طراحی، کشف، تولید و کاربردی‌سازی مواد نوین و ناموجود برای خلق فرصت‌های جدید در اختیار فناوری‌های بدیع و نوظهور فراهم کرد. با این ابزارها، زمان دستیابی به این مواد از بیش از دو دهه به کمتر از یک سال کاهش یافت. این یک تحول برافکن در حوزه فناوری است. عدم آشنایی و ورود به این حوزه قطعاً در کوتاه‌مدت و بلندمدت غافلگیری فناوری بسیار جدی را رقم خواهد زد. پیشنهاد این است که در کوتاه‌مدت، برنامه راهبردی ژنوم مواد ایران تدوین و در یک برنامه میان‌مدت در بازه ۵ تا ۷ سال آزمایشگاه خودران در حوزه ژنوم مواد راه‌اندازی شود. بدیهی است، تأسیس یک مرکز ملی ژنوم مواد برای راهبری این برنامه ضروری خواهد بود.

واژگان کلیدی: رویکرد ژنوم مواد (MGI)، زیرساخت نوآوری مواد، نوآوری برافکن و پروژه مواد

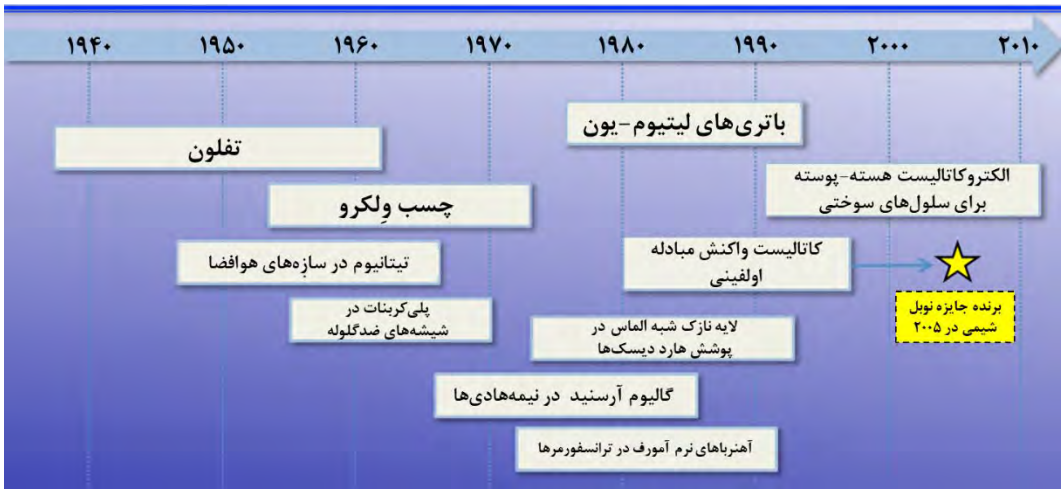
* عهده‌دار مکاتبات، استاد، تلفن/نمابر: ۶۴۵۴۲۹۹۲ (۲۱ ۹۸+)، نشانی الکترونیکی: Mnaderi@aut.ac.ir

[۱] آزمایشگاه گرافن و مواد پیشرفته (گام)، برج فناوری و نوآوری شماره ۱ (ساختمان ابن سینا)، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)، تهران، ایران.

[۲] دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)، تهران، ایران.

مقدمه

با شروع دهه ۱۹۸۰ میلادی، جهش‌های فنّاورانه و پیشرفت‌های اقتصادی کشورها بیش‌از گذشته به توسعه مواد جدید وابسته شد. ایجاد صنایع نوظهور و با ارزش میلیاردها دلار در سال‌های اخیر، به کمک مواد جدید صورت گرفت. این امر موجب شد تا راه‌حل‌های متنوّعی برای چالش‌های حوزه انرژی، امنیت ملی و رفاه بشری یافت شوند [۲,۱]. به‌عنوان مثال، باتری‌های لیتیوم-یون، چشم‌انداز جدیدی را برای فناوری‌های عرصه حمل‌ونقل ترسیم کردند. امروزه این باتری‌ها در تمام دستگاه‌های الکترونیکی (به‌ویژه موارد قابل‌حمل) یافت می‌شوند. امّا، حدود ۲۰ سال طول کشید (شکل ۱) تا این باتری‌ها از یک ایده آزمایشگاهی در اواسط دهه ۱۹۷۰ میلادی به بازار عرضه شوند [۴,۳].



شکل ۱: مدت زمان مورد نیاز برای تجاری شدن تأثیرگذارترین مواد در قرن ۲۰ میلادی **[۵]**.

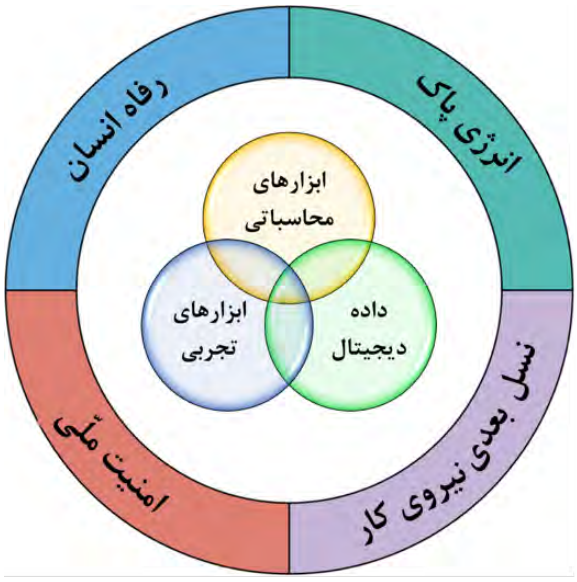
برای کاهش این زمان و هزینه‌های مربوط به آن، تلاش‌های بسیاری هم‌زمان با آغاز قرن ۲۱ میلادی انجام گرفت. در سال ۲۰۰۲ میلادی شرکتی تحت عنوان Materials Genome®، متأثر از موفقیت مدل محاسباتی دیاگرام‌های فازی[1] (CALPHAD) و با الهام از برنامه ژنوم انسان[2] (HGP) تأسیس شد [۶]. هدف از تأسیس این شرکت، تأمین زیرساخت‌های نرم برای توسعه مواد، از قبیل پایگاه داده و ابزارهای محاسباتی بر اساس نیاز مشتریان بود. اطلاق واژه «ژنوم» به مواد، شاید بر این اساس بوده است که در این مسیر، داده‌های مربوط به هر عنصر و ساختار در مواد به صورت نظام‌مند با هم ترکیب شده و مواد جدیدی خلق و معرفی می‌شوند. هرچند، در سال‌های بعد گروه تفکر عمیق گوگل (Google DeepMind Team) عبارت شبکه‌های گراف برای اکتشاف مواد[3] (GNoME) را برای نزدیک کردن دیدگاه‌ها معرفی کرد [۷]. بزنگاه سلسله اقدامات انجام‌شده در این حوزه، به سال ۲۰۱۱ میلادی برمی‌گردد. در ۲۴ ژانویه این سال، انجمن ملی علم و فناوری ایالات متحده آمریکا[4] (NSTC) گزارشی را با عنوان «MGI برای رقابت‌پذیری جهانی» منتشر کرد. در این گزارش اذعان شده بود که یکی از موانع تجاری‌شدن سریع مواد جدید، به‌کارگیری روش متداول و مبتنی بر آزمون و خطاست که در طی آن مواد به صورت گام‌به‌گام مراحل توسعه خود را طی می‌کنند (شکل ۲) [۹,۸].

شکل ۲: روش متداول تجاری‌شدن یک ماده جدید **[۹]**.

[1] CALculation of PHAse Diagrams
[2] Human Genome Project
[3] Graph Networks for Materials Exploration
[4] National Science and Technology Council

در این روش یک ماده جدید در ۷ گام، از ایده اولیه به یک محصول قابل‌عرضه در بازار تبدیل می‌شود. هر گام توسط تیم‌های مهندسی یا علمی متفاوتی انجام می‌شوند؛ امّا در این روش، بستری برای به اشتراک گذاشتن تجربیات وجود ندارد تا سرعت تیم‌ها افزایش یابد. به‌عنوان نمونه، در مرحله کشف بسیار مهم است که محققان به یک پایگاه‌داده جامع دسترسی داشته باشند تا براساس آن مدل‌های خود را پایه‌گذاری کنند؛ بنابراین قادر می‌شوند تا تصویر کامل‌تری از ویژگی‌های یک ماده را ارائه کنند. همچنین نبود یک دستورالعمل استاندارد که بر اساس آن دانشمندان مدل‌های پیش‌بینی و محاسباتی عملکرد مواد مختلف را با یکدیگر به اشتراک بگذارند، مانع تجاری‌شدن سریع مواد نوین و نوظهور شده است. در روش متداول لازم بود تا الگوهای محاسباتی قدرتمند، وابستگی محققان را به تجربیات فیزیکی کاهش دهند؛ بنابراین در روش جدید، نظام اشتراک داده‌ها اصلاح شد و تیم‌های مهندسی یکپارچه شدند تا هر تیم بتواند تعامل اثربخش‌تری را با سایر تیم‌ها داشته باشد.

هم‌زمان با انتشار گزارش NSTC، رئیس‌جمهور وقت آمریکا، به‌طور رسمی عنوان کرد که: «برای کمک به کسب‌وکارها در کشف، توسعه و به‌کارگیری دو برابر سریع‌تر مواد جدید، MGI را دنبال خواهیم کرد. اختراع مدارهای سیلیکونی و باتری‌های لیتیوم–یون



شکل ۳: ارکان و اهداف کلی زیرساخت نوآوری مواد در رویکرد ژنوم مواد [۹].

بود که تولید رایانه‌ها، آی‌پادها و آی‌پُدها[1] را امکان‌پذیر کرد؛ امّا سال‌ها طول کشید تا این فناوری‌ها از میز طراحی به بازار عرضه شوند. ما می‌توانیم این مسیر را سریع‌تر طی کنیم». بنابراین به‌منظور بهره‌برداری از MGI، مجموعه‌ای از ابزارها و ظرفیت‌های میان‌رشته‌ای باعنوان زیرساخت نوآوری مواد[2] در گزارش NSTC معرفی شد. این زیرساخت که بر ۳ رکن اصلی ابزارهای محاسباتی، ابزارهای تجربی و داده‌های دیجیتال استوار است، در نظر دارد تا ۴ هدف بهبود رفاه انسان‌ها، تضمین امنیت در سطح ملی، گسترش فرهنگ استفاده از انرژی‌های پاک و آموزش نسل بعدی نیروی کار را تحقق بخشد (شکل ۳).

ارکان و اهداف کلی MGI

مطابق زیرساختی که NSTC برای توسعه MGI تعریف کرد، محققان با استفاده از ابزارهای محاسباتی همچون نرم‌افزارهای مدل‌سازی، از انجام برخی آزمایش‌های فیزیکی پرهزینه برای اعتبارسنجی عملکرد مواد بی‌نیاز می‌شوند. همچنین این ابزارها محققان را قادر می‌سازد تا خواص مواد را در شرایط کاری مختلف پیش‌بینی کنند. به‌عنوان مثال، تغییر ناخواسته استحکام کششی یک پیچ در طول فرآیند ساخت برای عملکرد آن بسیار مخرب است. پیش‌بینی اثر این تغییرات در مورفولوژی و خواص پیچ، طراحی سریع‌تر و مطمئن‌تری را رقم می‌زند. پر واضح است که محاسبات نظری به‌تنهایی قادر به ارائه یک مدل دقیق نیستند. در این شرایط، انجام آزمایش‌های تجربی این شکاف را پر می‌کنند. اصلاح مستمر محاسبات با داده‌های جدید، مدل‌هایی کارآمدتر را به‌همراه دارد. بنابراین خواص مواد در حین تولید، با آزمون‌های مشخصه‌یابی درمحل، به‌صورت لحظه‌ای پایش می‌شود. بدین‌ترتیب، هر محقق قادر می‌شود تا داده‌های خود را به یک مدل بهینه تبدیل کند، اما هدف از MGI وسیع‌تر است. این هدف در مقیاسی جامع‌تر، شامل ایجاد یک شبکه یکپارچه انتقال و ذخیره داده میان محققان رشته‌ها و مؤسسات مختلف می‌شود. در نتیجه، می‌توان انتظار داشت که محققان با دسترسی گسترده به تجربیات سایر افراد، مدل‌های بهینه و دقیق خود را سریعتر ارائه کنند. به‌عنوان نمونه می‌توان به وبگاه nanoHUB اشاره کرد. این پایگاه‌داده، در راستای یکی از

[1] iPads and iPods
[2] Materials Innovation Infrastructure

برنامه‌های بنیاد ملی علم آمریکا[1] (NSF) ایجاد شد. از طریق آن محققان می‌توانند برنامه‌های مدل‌سازی و شبیه‌سازی و داده‌های مرتبط با حوزه فناوری نانو را دریافت و استفاده کنند [۹].

حال این سؤال مطرح می‌شود که قرار است با MGI به چه چالش‌هایی پاسخ داده شود؟ اولین چالش ذکر شده در گزارش NSTC، تضمین امنیت ملی کشور ایالات متحده آمریکا است. هر فرد در ایالات متحده به‌طور متوسط سالانه ۲۵,۰۰۰ پوند مواد معدنی غیرسوختی[2] مصرف می‌کند. از این مواد معدنی، تعدادی حیاتی تلقی می‌شوند. منظور از یک ماده معدنی حیاتی ماده‌ای است که یا زنجیره تأمین آن با تهدید جدی مواجه است و یا محدودیت در عرضه آنها اثرات مخرب شدیدی را به‌دنبال خواهد داشت. استفاده از MGI به محققان کمک می‌کند تا بتوانند برای مواد معدنی حیاتی (به‌ویژه عناصر نادر خاکی)، در زمان بسیار کوتاه جایگزینی را با همان کارایی پیدا کنند. بدین ترتیب، وابستگی صنایع مختلف (از جمله نظامی) به منابع ناپایدار داخلی یا خارجی تأمین این مواد رفع می‌شود. چالش دوم، ارتقای سطح رفاه انسان‌ها با استفاده از مواد پیشرفته است. ضربه مغزی پدیده‌ای است که حدود ۳۶۰,۰۰۰ نظامی آمریکایی در جنگ عراق و افغانستان با آن مواجه شدند و سالانه ۱٫۷ میلیون انسان در تصادفات دچار این ضایعه می‌شوند. تخمین زده شده که هرسال حدود ۶۰ میلیارد دلار اعتبار به درمان آسیب‌های ناشی از ضربه‌مغزی اختصاص می‌یابد. به کمک MGI می‌توان بهینه‌سازی مواد طراحی‌شده ساخت ادوات محافظتی بخش‌های نظامی و غیرنظامی را با سرعت بیشتر و هزینه کمتر دنبال کرد. MGI همچنین قادر است تا به چالش‌های حوزه انرژی پاک پاسخگو باشد. از ۱۲ میلیون بشکه نفت وارداتی آمریکا در سال ۲۰۰۹ میلادی، دو سوم آن برای حمل‌ونقل استفاده شد. جهت کاهش این عدد می‌توان مبتنی بر MGI، ابزارهایی را برای بهینه‌سازی و به‌کارگیری مواد سازه‌ای جدید، کارآمد، سبک و مقرون‌به‌صرفه فراهم کرد. در نتیجه دستگاه‌هایی قابل‌حمل برای ذخیره‌سازی و تولید انرژی پاک ساخته خواهند شد. چالش آخر، تجهیز نسل بعدی نیروی کار به ابزارها و رویکردهای لازم برای دستیابی به اهداف ملی است. دانشگاه‌ها و بنیادهای علمی موظف هستند تا مهندسان آینده را به استفاده از الگوهای محاسباتی در حل مسئله و به اشتراک گذاشتن نتایج خود تشویق کنند. این امر مستلزم آن است که متولیان امر در دولت، دانشگاه و صنعت مفاد MGI را بپذیرند و به‌طور مداوم آن را توسعه بدهند [۹].

اهرم‌های راهبری MGI

بعد از گذشت ۳ سال از انتشار گزارش NSTC، سند برنامه راهبردی MGI توسط همین نهاد تهیه و در سال ۲۰۱۴ میلادی منتشر شد. مقرر شد تا آژانس‌های فدرال در چارچوب این سند اهداف MGI را محقق کنند. در سال ۲۰۲۱ میلادی، این سند به‌روزرسانی شد. در نسخه جدید، اهداف پنج سال آینده به‌همراه شرح وظایف نهادها براساس پیشرفت‌های یک دهه قبل MGI ارائه گردید. با مطالعه هر دو نسخه این سند، مشخص گردید که MGI با محوریت ۳ بازیگر اصلی توسعه چشمگیری یافته است:

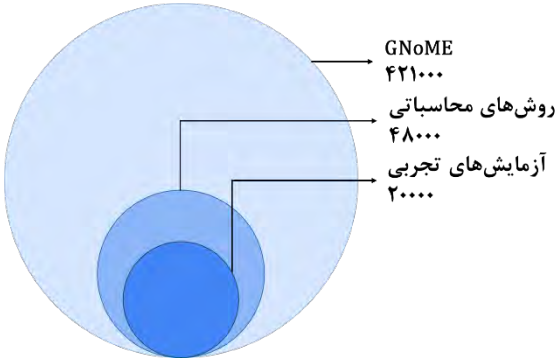
۱. پایگاه‌داده پروژه مواد[3] (MP)

مبتکرین ایده MGI، داده‌های مربوط به پایداری فاز میلیون‌ها ترکیب را جمع‌آوری کردند و آنها را از طریق درگاه MP (www.materialsproject.org) و تحت نظارت آزمایشگاه ملی لارنس برکلی[4] (LBNL) در اختیار همگان قرار دادند. هدف اصلی از ایجاد این پایگاه‌داده، متمرکز کردن آزمایش‌ها بر روی ترکیباتی است که احتمال تشکیل شدن آنها به‌صورت پایدار بیشتر از سایرین است. در حال حاضر MP با بیش از ۵۰۰,۰۰۰ کاربر در سراسر جهان، داده‌های مربوط به ۱۵۳,۲۳۵ ماده و ۲۲۱,۵۹۸ مولکول را محاسبه و منتشر کرده است [۱۰].

۲. ابزار محاسباتی GNoME

در سال ۲۰۲۳ میلادی، گروه تفکر عمیق گوگل GNoME را با انتشار یک مقاله در مجله «Nature» معرفی کرد [۱۱]. GNoME یک الگوی یادگیری عمیق نوین است که با پیش‌بینی پایدار بودن مواد جدید (برمبنای انرژی تجزیه)، سرعت و کارایی اکتشاف آنها را به‌طور چشمگیری افزایش داد. در مقاله عنوان گردید که با استفاده از GNoME، تعداد ۲٫۲ میلیون ساختار کریستالی جدید تنها در عرض ۲ سال پیش‌بینی شد. از این بین، ۳۸۰,۰۰۰ مورد به‌عنوان پایدارترین ساختارها تعیین شدند تا به‌صورت تجربی ادعای پایدار بودن آنها در عمل هم بررسی شود (شکل ۴). اگر قرار بود این کار بدون استفاده از ابزار GNoME انجام شود، باید معادل ۸۰۰ سال کار پژوهشی انجام می‌شد [۱۱].

[1] National Science Foundation
[2] Non-Fuel Minerals
[3] Materials Project
[4] Lawrence Berkeley National Laboratory

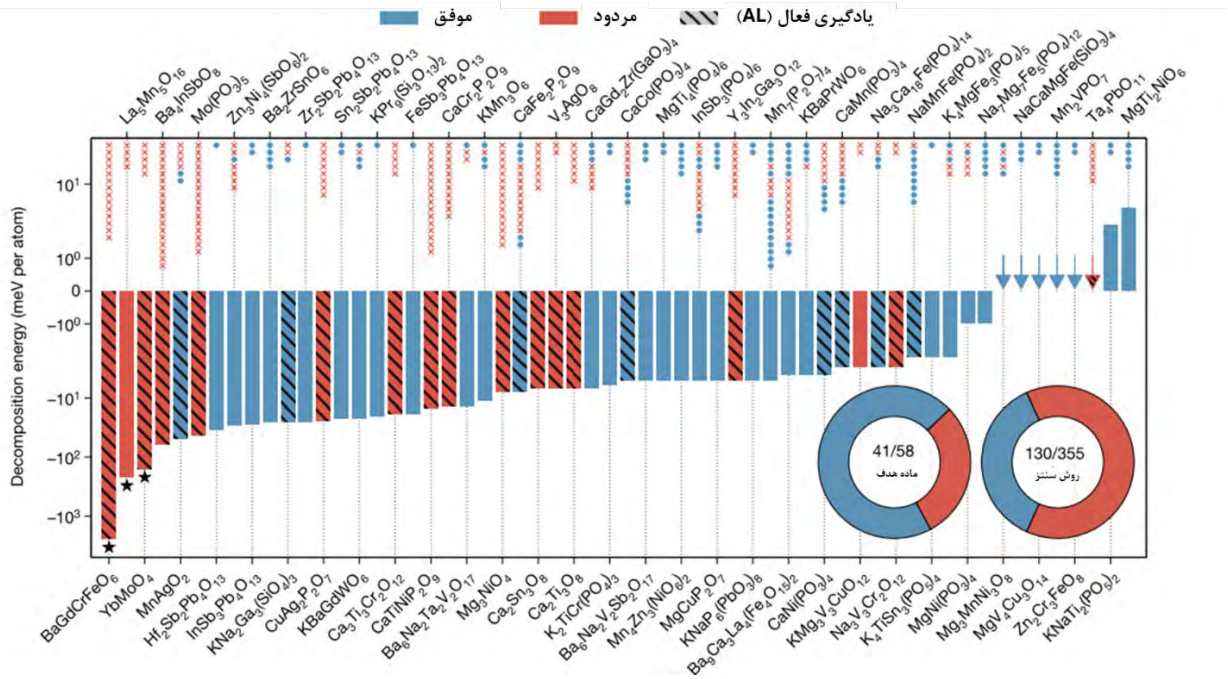


شکل ۴: حدود ۲۰,۰۰۰ کریستال پایدار در دهه‌های مختلف و بطور تجربی در پایگاه‌داده ساختارهای کریستالی معدنی[1] (ICSD) ثبت شدند. رویکردهای محاسباتی مبتنی بر داده‌های ۳ پایگاه MP، OQMD[2] و WBM[3] این عدد را به ۴۸,۰۰۰ رساند. در نهایت ابزار محاسباتی GNoME موفق شد تا تعداد کریستال‌های پایدار را به ۴۲۱,۰۰۰ افزایش دهد [۱۲].

۳. آزمایشگاه خودران[4] (A-Lab) لارنس برکلی

تاکنون ۷۳۶ مورد از ۳۸۰,۰۰۰ ساختار پایدار معرفی شده توسط GNoME در آزمایشگاه‌های مختلفی سنتز شده است [۱۲]. یکی از این آزمایشگاه‌ها، A-Lab واقع در LBNL است که توانست در مدت فقط ۱۷ روز و با استفاده از داده‌های دو بستر Google DeepMind و MP، ۴۱ ترکیب جدید را از میان ۵۸ ترکیبی که هدف‌گذاری کرده بود (معادل ۷۱٪ بهره‌وری) سنتز کند. در این پژوهش، با به‌کارگیری الگوهای یادگیری ماشین[5] (ML) بر روش‌های سنتز موجود در منابع، ۳۵۵ روش سنتز کشف شد و مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۵)[۱۳].

A-Lab با استفاده از سه بخش مجهز به بازوی رُباتیک (به مساحت حدود m^2 ۵۵)، تمام مراحل آماده‌سازی نمونه و مشخصه‌یابی پژوهش‌های خود را به‌صورت خودکار پیش می‌برد و قادر است بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ سنتز را تنها در یک شبانه‌روز انجام دهد (شکل ۶). رُبات بخش اول A-Lab، موظف است تا از میان ۲۰۰ پودر آزمایشگاهی، پیش‌ماده‌های لازم برای سنتز یک ترکیب مشخص را وزن و با نسبت معیّنی مخلوط کند. در بخش دوم، رُبات دیگری بوته‌های حاوی این مخلوط ها را درون یک کوره آزمایشگاهی می‌گذارد. در این بخش، هوش مصنوعی (AI[4]) تعیین می‌کند که



شکل ۵- نتیجه سنتز مواد پایدار پیش‌بینی شده در A-Lab؛ میله‌های آبی رنگ نشان‌دهنده سنتز موفق و میله‌های قرمز رنگ بیانگر عدم‌موفقیت در سنتز ترکیب‌های هدف است [۱۳].

[1] Inorganic Crystal Structure Database
[2] Open Quantum Materials Database
[3] Wang, Botti and Marques
[4] Artificial Intelligence
[4] Autonomous Laboratory
[5] Machine Learning

برای دستیابی به خواص مورد نیاز، چه دما و اتمسفری باید به مخلوط ها اعمال شود. پس از خروج بوته‌ها از کوره و خنک شدن، رُبات بخش سوم آنها را آسیاب کرده و ساختار تشکیل شده را با روش پراش اشعه ایکس[1] (XRD) مورد مطالعه قرار می‌دهد. تمام نتایج جهت بهینه کردن فرآیند به هوش مصنوعی ارجاع داده می‌شود. در واقع عملکرد این آزمایشگاه خودران[2]، از طریق یک برنامه نرم‌افزاری کنترل می‌شود و امکان بررسی در لحظه را برای محققان انسانی فراهم می‌کند [۱۴].

شکل ۶: بخش‌های رُباتیک الف) تهیه پودر، ب) عملیات حرارتی نمونه‌ها و پ) مشخصه‌یابی با **XRD** در **A-Lab** [۱۳].

نتیجه‌گیری

باتوجه‌به آنچه گفته شد، کشف، مشخصه‌یابی و صنعتی‌شدن مواد جدید در توسعه نسل بعدی فناوری‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است و در قرن ۲۱ میلادی، MGI می‌تواند یک کشور را بسیار سریع‌تر و ارزان‌تر از سایر رقبا به این هدف برساند. در این راستا، مثال‌هایی از به‌کارگیری این رویکرد در پاسخ به چالش‌های نظامی، سلامت و انرژی کشور آمریکا بیان شد. کشور ایران هم با برخورداری از مزیت رقابتی در عرصه هوش مصنوعی و ابزارهای پیشرفته محاسباتی قادر است که خود را در زمره سرآمدان MGI قرار دهد و از یک غافلگیری فناورانه بی‌سابقه جلوگیری کند. پیشنهاد می‌شود در کوتاه‌مدت برنامه راهبردی ملی ژنوم مواد با لحاظ کردن ظرفیت‌های ملی و بین‌المللی تدوین و به تصویب بالاترین رکن تصمیم‌گیری نظام توسعه علمی و فناوری کشور برسد. بدیهی است، طراحی و تأسیس یک آزمایشگاه ملی خودران برای توسعه برنامه ژنوم مواد و همراه‌سازی یک ابزار محاسباتی ابری بسیار قوی برای تسریع و تسهیل تحقیقات دانشمندان ملی و بین‌المللی بسیار ضروری است.

منابع و مآخذ

[1]. Moskowitz, S. L., (2008). The Advanced Materials Revolution: Technology and Economic Growth in the Age of Globalization. Wiley.
[2]. Roberto, J., (2010). Computational Materials Science and Chemistry for Innovation, Office of Science, U.S. Department of Energy, Washington, District of Columbia, United States.
[3]. Brodd, R. J. Comments on the History of Lithium-Ion Batteries, Broddarp of Nevada, Inc.
[4]. Whittingham, M. S., (1976). Electrical Energy Storage and Intercalation Chemistry, Science, Vol. 192, Issue 4244, PP. 1126–1127.
[5]. Eagar, T. W., (1995). Bringing new materials to market, Technology Review, Vol. 98, Issue 2, PP. 42–49.
[6]. Liu, Z., (2014). Perspective on Materials Genome®, Chinese Science Bulletin, Vol. 59, Issue. 15, PP. 1619–1623.
[7]. Long, B., Amaral, G. S., Dessauw, P., & Bouhanni, H., (2024). Community-Scale Problem-Solving: Reflections on a Decade of Infrastructure Development in the MGI, Integrating Materials and Manufacturing Innovation, Vol. 13, Issue 3, PP. 622–640.
[8]. Xie, J., (2023). Prospects of materials genome engineering frontiers, Materials Genome Engineering Advances, Vol. 1, Issue 2.
[9]. (2011). Materials Genome Initiative for Global Competitiveness, The Office of Science and

[1] X-ray Diffraction
[2] Self-Driving Laboratory

Technology Policy, National Science and Technology Council (NSTC), Washington, District of Columbia, United States.
[10]. Subcommittee on the Materials Genome Initiative, N. (2021). Materials Genome Initiative Strategic Plan. http://www.whitehouse.gov/ostp.
[11]. [۱۱] Merchant, A., Batzner, S., Schoenholz, S. S., Aykol, M., Cheon, G., & Cubuk, E. D., (2023). Scaling deep learning for materials discovery, Nature, Vol. 624, Issue 7990, PP. 80–85.
[12]. Merchant, A., & Cubuk, E. D., (2023). Millions of new materials discovered with deep learning, Google DeepMind.
[13]. Szymanski, N. J., et al., (2023). An autonomous laboratory for the accelerated synthesis of novel materials, Nature, Vol. 624, Issue. 7990, PP. 86–91.
[14]. Biron, L., (2023). Meet the Autonomous Lab of the Future, Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, California, United States.

تحول آموزش زبان با فناوری‌های تعاملی: از کلاس‌های سنتی تا جهانی‌سازی محتوای آموزشی

عباس پورحسین گیلاکجانی*[1]

چکیده

فناوری‌های تعاملی مانند هوش مصنوعی (AI)، واقعیت مجازی (VR)، واقعیت افزوده (AR) و بازی‌سازی با ایجاد محیط‌های یادگیری پویا، شخصی‌سازی‌شده و انگیزه‌بخش، آموزش زبان را از روش‌های سنتی به رویکردهای نوین و مؤثر متحول کرده‌اند. این مطالعه مروری سیستماتیک با تحلیل ۱۸ منبع علمی، اثربخشی این فناوری‌ها را از منظر نظریه‌های یادگیری کلب، زیمرمن، دسی و رایان و چاپل بررسی می‌کند. چت‌بات‌ها مهارت‌های گفتاری را تا ۲۵٪، واقعیت مجازی حفظ واژگان را تا ۱۸٪، بازی‌سازی مشارکت را تا ۳۵٪ و سیستم‌های تطبیقی سرعت یادگیری را تا ۱۵٪ بهبود می‌بخشند. آموزش هوش مصنوعی برای یادگیری محتوای کلاس‌های درس به زبان فارسی و ارائه آن به‌صورت چندزبانه، نه‌تنها دانش را جهانی می‌کند، بلکه با حفظ ظرافت‌های فرهنگی، مانند مفاهیم عرفانی ادبیات پارسی، به ترویج میراث فرهنگی ایران کمک می‌کند. با این حال، چالش‌هایی مانند شکاف دیجیتال، هزینه‌های بالای فناوری، نگرانی‌های حریم خصوصی و کمبود آموزش معلمان در ایران موانع جدی ایجاد کرده‌اند. این مقاله پیشنهادهایی از جمله سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های دیجیتال، آموزش معلمان، توسعه ابزارهای بومی‌سازی‌شده و اتخاذ رویکردهای ترکیبی ارائه می‌دهد. تحقیقات آینده باید بر تأثیرات بلندمدت، بومی‌سازی فرهنگی و طراحی مدل‌های ترکیبی متمرکز شوند تا آموزش زبان در ایران و جهان ارتقا یابد.

واژگان کلیدی: فناوری‌های تعاملی، آموزش زبان، هوش مصنوعی، واقعیت مجازی، بازی‌سازی، خودتنظیمی، ایران

* عهده‌دار مکاتبات: دانشیار ، تلفن: ۴۲۴۲۱۷۳۳ (۹۸۱۳)، آدرس الکترونیکی :abbas.pourhosein@iau.ac.ir

[1] گروه مترجمی زبان، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

مقدمه

پیشرفت‌های فناوری در قرن بیست‌ویکم، آموزش زبان را از کلاس‌های سنتی مبتنی بر کتاب و تخته‌سیاه به محیط‌های پویا، تعاملی و شخصی‌سازی‌شده تبدیل کرده است. فناوری‌های تعاملی[1] مانند هوش مصنوعی[2] ، واقعیت مجازی[3] ، واقعیت افزوده[4] و بازی‌سازی[5] با ارائه بازخورد سریع، شبیه‌سازی موقعیت‌های واقعی و محتوای متناسب با نیازهای فردی، یادگیری را جذاب‌تر و مؤثرتر کرده‌اند [۱]. این ابزارها موانع جغرافیایی و اقتصادی را کاهش داده و در جهانی که چندزبانگی به‌دلیل جهانی‌سازی و نیازهای حرفه‌ای به مهارتی کلیدی تبدیل شده، تجربه‌ای عملی و انگیزه‌بخش ارائه می‌دهند [۲].

در ایران، تقاضا برای تسلط بر زبان‌های خارجی، به‌ویژه انگلیسی، به‌دلیل اهداف آکادمیک، تجارت جهانی و مهاجرت به‌شدت افزایش یافته است. با این حال، نظام آموزشی سنتی با چالش‌های جدی مواجه است: کمبود مربیان بومی‌زبان، کلاس‌های شلوغ، منابع محدود و رویکردهای آموزشی منسوخ که اغلب انگیزه زبان‌آموزان را تضعیف می‌کنند [۳]. فناوری‌های تعاملی راه‌حل‌های نویدبخشی ارائه می‌دهند؛ برای مثال، چت‌بات‌ها[6] یا ربات‌های گفتگوکننده مبتنی بر هوش مصنوعی تمرین مکالمه را بدون نیاز به معلم بومی امکان‌پذیر می‌کنند و بسترهای واقعیت مجازی[7] تجربه‌های فرهنگی غنی را شبیه‌سازی می‌کنند که در محیط‌های سنتی قابل‌دسترس نیستند [۴,۵]. اما ایران در بهره‌برداری کامل از این فناوری‌ها با موانعی مواجه است. شکاف دیجیتال، به‌ویژه در مناطق روستایی و کم‌برخوردار، دسترسی عادلانه به ابزارهای دیجیتال را محدود کرده و تنها حدود ۴۵٪ از زبان‌آموزان به این منابع دسترسی دارند [۶]. هزینه‌های بالای فناوری‌های پیشرفته، مانند کلاهک‌های واقعیت مجازی[8]، و نگرانی‌های حریم خصوصی مرتبط با جمع‌آوری داده‌ها، پذیرش گسترده را پیچیده‌تر کرده‌اند [۶,۷].

یکی از کاربردهای پیشگامانه این فناوری‌ها، آموزش هوش مصنوعی برای ثبت محتوای کلاس‌های درس مانند سخنرانی‌های ارائه‌شده به زبان فارسی توسط اساتید ایرانی و ارائه آن به‌صورت چندزبانه به مخاطبان جهانی است. این فرآیند نه‌تنها دانش را از محدودیت‌های زبانی و جغرافیایی رها می‌کند، بلکه با حفظ و اشتراک‌گذاری ظرافت‌های فرهنگی، مانند عمق فلسفی شعر پارسی، میراث فرهنگی ایران را در سطح جهانی ترویج می‌دهد [۲,۸]. این رویکرد با بهره‌گیری از جمع‌آوری داده‌ها، آموزش تخصصی هوش مصنوعی و ترجمه‌های چندزبانه پیشرفته، آموزش را به منبعی جهانی تبدیل کرده و تبادل دانش بین‌فرهنگی را تقویت می‌کند.

این مرور سیستماتیک اثربخشی فناوری‌های تعاملی در آموزش زبان را بررسی می‌کند، با تمرکز ویژه بر زمینه ایران و پتانسیل تحول‌آفرین هوش مصنوعی در جهانی‌سازی محتوای آموزشی. این مطالعه با بهره‌گیری از چارچوب‌های نظری کلب[9]، زیمرمن[10]، دسی و رایان[11] و چاپل[12]، منابع علمی را تحلیل می‌کند تا مکانیزم‌ها، مزایا و چالش‌های این فناوری‌ها را روشن سازد و راهکارهایی برای رفع محدودیت‌های موجود پیشنهاد دهد.

روش‌شناسی

این مطالعه از رویکرد مرور سیستماتیک منابع علمی استفاده می‌کند. داده‌ها از ۱۸ مطالعه منتشرشده بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ در پایگاه‌های معتبر مانند Scopus، Web of Science، Google Scholar، Magiran و پرتال جامع علوم انسانی جمع‌آوری شدند. کلیدواژه‌های جستجو شامل «فناوری‌های تعاملی»، «آموزش زبان»، «هوش مصنوعی»، «واقعیت مجازی»، «بازی‌سازی» و معادل‌های انگلیسی آنها بود. معیارهای انتخاب شامل انتشار در مجلات معتبر، تمرکز بر آموزش زبان و فناوری‌های تعاملی و ارائه داده‌های تجربی یا تحلیل نظری بود. منابع غیرمرتبط یا بدون روش‌شناسی مشخص کنار گذاشته شدند. تحلیل داده‌ها در سه مرحله انجام شد: شناسایی موضوعات کلیدی (اثربخشی، چالش‌ها و مکانیزم‌ها)، مقایسه فناوری‌ها از نظر تأثیر بر مهارت‌های زبانی و تلفیق یافته‌ها با چارچوب‌های نظری کلب، زیمرمن، دسی و رایان و چاپل. این روش ساده و نظام‌مند تحلیل دقیق یافته‌ها را ممکن ساخت.

---

1 Interactive Technologies
2 Artificial Intelligence (AI)
3 Virtual Reality (VR)
4 Augmented Reality (AR)
5 Gamification
6 Chatbot
7 Platforms Virtual Reality
8 Headset Virtual Reality
9 Experiential Learning Club
10 Zimmerman's Self-Regulated Learning Theory
11 Deci and Ryan's Self-Determination Theory (SDT)
12 Chapelle's Framework for CALL

چارچوب‌های نظری

یادگیری تجربی کلب

دیوید کلب نظریه یادگیری تجربی را ارائه کرد که بر چرخه‌ای چهار مرحله‌ای شامل تجربه عینی (احساس کردن)، مشاهده تأملی (تفکر)، مفهوم‌سازی انتزاعی (تحلیل) و آزمایش فعال (عمل کردن) استوار است. این نظریه تأکید دارد که یادگیری از طریق تجربه‌های عملی و تأمل در آنها شکل می‌گیرد و افراد بسته به سبک یادگیری خود (تجربه‌گرا، تأمل‌گرا، نظریه‌پرداز یا عمل‌گرا) با این چرخه تعامل دارند [۹].

خودتنظیمی زیمرمن

زیمرمن نظریه خودتنظیمی را مطرح کرد که بر توانایی یادگیرنده برای مدیریت فعال فرآیند یادگیری خود تمرکز دارد. این نظریه شامل سه مرحله است: برنامه‌ریزی (هدف‌گذاری و استراتژی‌سازی)، اجرا (نظارت بر عملکرد) و خود–ارزیابی (بازتاب و اصلاح). زیمرمن معتقد است که خودتنظیمی، انگیزه و موفقیت تحصیلی را بهبود می‌بخشد [۱۰].

خودتعیین‌گری دسی و رایان

ادوارد دسی و ریچارد رایان نظریه خودتعیین‌گری (SDT) را توسعه دادند که بر نقش انگیزه در یادگیری تأکید دارد. این نظریه سه نیاز روان‌شناختی اساسی (خودمختاری، شایستگی و ارتباط) را برای تقویت انگیزه درونی و یادگیری مؤثر ضروری می‌داند. بر اساس این نظریه، محیط‌هایی که این نیازها را برآورده کنند، یادگیری عمیق‌تر و پایدارتری را تسهیل می‌کنند [۱۱].

یادگیری مبتنی بر فناوری چاپل

نظریه چاپل: نظریه یادگیری مبتنی بر پروژه چاپل بر یادگیری از طریق فعالیت‌های عملی و پروژه‌های واقعی تمرکز دارد. این رویکرد یادگیرندگان را درگیر مسائل دنیای واقعی می‌کند و آنها را تشویق به حل مسئله، همکاری و تفکر خلاق می‌نماید. چاپل معتقد است این روش یادگیری را معنادارتر کرده و مهارت‌های عملی را تقویت می‌کند [۱۲].

فناوری‌های تعاملی: یادگیری شخصی‌شده و جهانی‌سازی آموزش

در سال‌های اخیر فناوری‌های آموزشی نوین مانند چت‌بات‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، سیستم‌های یادگیری تطبیقی، کلاس‌های مجازی چندزبانه و بسترهای[1] تعاملی، یادگیری را شخصی‌سازی و مرزهای جغرافیایی را محو کرده‌اند. نمونه‌های کاربردی این فناوری‌ها در ادامه توضیح داده می‌شود.

چت‌بات‌های مبتنی بر هوش مصنوعی

چت‌بات‌های پیشرفته‌ای مانند ELSA Speak و SpeakBuddy با بهره‌گیری از قدرت پردازش زبان طبیعی(NLP) ، فضایی امن و بدون اضطراب برای تمرین مکالمه فراهم می‌کنند. این دستیاران مجازی با تحلیل لحظه‌ای تلفظ، شناسایی خطاهای دستوری و ارزیابی دایره واژگان، بازخوردی دقیق و فوری ارائه می‌دهند. برای مثال، اگر کاربر کلمه‌ای را با استرس نادرست تلفظ کند، ربات بلافاصله با نمایش موج صوتی و مقایسه آن با الگوی صحیح، خطا را تصحیح می‌کند. این ویژگی به‌ویژه برای زبان‌آموزانی که از صحبت کردن در جمع هراس دارند، راهکاری انقلابی محسوب می‌شود [۴].

یکی از قابلیت‌های برجسته هوش مصنوعی در آموزش زبان، توانایی آن در یادگیری محتوای کلاس‌های درس و ارائه آن به کاربران جهانی با زبان‌های مختلف است [۱۰]. این فرآیند می‌تواند محتوای آموزشی یک استاد ایرانی، به زبان فارسی را به منبعی جهانی تبدیل کند که در حافظه بلندمدت هوش مصنوعی ذخیره شده و برای کاربران در سراسر جهان قابل‌دسترسی باشد. این فرآیند شامل مراحل زیر است:

جمع‌آوری و آماده‌سازی داده‌ها: محتوای کلاس درس، شامل سخنرانی‌های صوتی، اسلایدها یا یادداشت‌های متنی، ضبط و با فناوری‌های تبدیل گفتار به متن (مانند مدل‌های بومی‌سازی‌شده برای فارسی) به داده‌های متنی تبدیل می‌شود. این داده‌ها بر اساس موضوعات یا جلسات درسی ساختاردهی می‌شوند. برای مثال، دروس یک استاد درباره حافظ می‌تواند به بخش‌هایی مانند «تحلیل غزل‌ها» و «زمینه‌های تاریخی» تقسیم شود.

آموزش تخصصی مدل‌های زبانی بزرگ (مانند مدل‌های مبتنی بر تبدیل‌گر) با استفاده از این داده‌ها آموزش تخصصی می‌بینند تا سبک تدریس، اصطلاحات خاص و زمینه‌های فرهنگی را درک کنند. مدل‌های چندوجهی می‌توانند محتوای بصری و صوتی را نیز پردازش کنند [۱۳].

[1] Platforms

چندزبانه‌سازی محتوا: فناوری‌های ترجمه ماشینی پیشرفته مانند Neural Machine Translation محتوای فارسی را به زبان‌های مختلف ترجمه می‌کنند، با حفظ اصالت فرهنگی و مفهومی. برای مثال، توضیح یک غزل از حافظ باید با حفظ معانی عرفانی ترجمه شود.

ذخیره‌سازی و دسترسی جهانی: محتوای آموزشی در حافظه بلندمدت مدل ذخیره می‌شود و از طریق رابط‌های کاربری مانند نرم افزارهای کاربردی[1] یا وب‌سایت‌ها در دسترس قرار می‌گیرد. کاربران می‌توانند پاسخ‌ها را به‌صورت متنی، صوتی یا ویدیویی با زیرنویس چندزبانه دریافت کنند [۲].

به‌روزرسانی مداوم: مدل باید قابلیت به‌روزرسانی با محتوای جدید را داشته باشد. یادگیری تقویتی از طریق تعامل با کاربران، پاسخ‌ها را بهبود می‌دهد.

ملاحظات فرهنگی: حفظ اصالت فرهنگی در ترجمه و ارائه محتوا ضروری است. ارجاعات به آیین‌های ایرانی باید با توضیحات زمینه‌ای برای کاربران غیرایرانی همراه شوند [۲]. این فرآیند نه‌تنها محتوای آموزشی را جهانی می‌کند، بلکه به حفظ و ترویج میراث فرهنگی ایران از طریق آموزش کمک می‌کند [۱۴].

واقعیت مجازی و افزوده

فناوری‌های واقعیت مجازی (VR) و واقعیت افزوده (AR) با شبیه‌سازی موقعیت‌های ملموس زندگی واقعی، یادگیری را به تجربه‌ای ماندگار تبدیل می‌کنند. پلتفرم نوآورانه‌ای مانند Mondly AR با قراردادن کاربر در سناریوهای تعاملی همچون سفارش غذا در رستورانی در پاریس یا چانه‌زدن در بازار استانبول، نه‌تنها مهارت زبانی که هوش فرهنگی را نیز تقویت می‌کند. از سوی دیگر، ImmerseMe کاربر را به سفری مجازی به نیویورک یا لندن می‌برد، جایی که باید برای خرید بلیط مترو یا پرسیدن آدرس با افراد محلی به زبان انگلیسی تعامل کند. این غوطه‌وری دیجیتال، مرز بین کلاس درس و جهان واقعی را محو می‌کند [۵].

بازی‌سازی

برای افزایش انگیزه و تداوم در یادگیری، نرم‌افزارهای کاربردی مانند Duolingo و Quizlet از مکانیزم‌های بازی‌گونه بهره می‌برند. سیستم امتیازدهی پویا، نشان‌های مجازی، جدول رقابتی و چالش‌های روزانه، فرآیند یادگیری را به ماجراجویی جذاب تبدیل می‌کنند. وقتی کاربری ده روز متوالی تمرین کند یا از رقیبان خود پیشی بگیرد، دوپامین[2] ترشح شده در مغز او همان حس موفقیت در یک بازی را تداعی می‌کند. این رویکرد مبتنی بر علوم اعصاب، به‌ویژه برای نسل جوان که با فرهنگ بازی‌سازی خو گرفته‌اند، بسیار مؤثر است [۱۳].

سیستم‌های تطبیقی

در لایه زیرین این تجربه‌های جذاب، سیستم‌های یادگیری تطبیقی مانند Babbel با تحلیل هزاران داده آموزشی از زمان پاسخگویی تا الگوهای تکرار خطاها نقشه یادگیری شخصی‌سازی شده می‌سازند. اگر کاربری مرتباً در تشخیص زمان گذشته استمراری ضعف نشان دهد، پلتفرم به‌طور خودکار تمرین‌های هدفمند، ویدیوهای آموزشی کوتاه و حتی داستان‌های تعاملی با تکرار ساختارهای گرامری مربوطه ارائه می‌دهد. این هوش مصنوعی آموزشی نه‌تنها بر نقاط ضعف متمرکز می‌شود، بلکه با شناسایی نقاط قوت، مسیر پیشرفت را بهینه می‌کند [۱۴].

تحلیل انتقادی فناوری‌های تعاملی

فناوری‌های تعاملی، شامل هوش مصنوعی، واقعیت مجازی، واقعیت افزوده، بازی‌سازی و سیستم‌های تطبیقی، با ایجاد تحول در روش‌های سنتی آموزش زبان، رویکردی نوین به یادگیری ارائه داده‌اند. این فناوری‌ها از طریق مکانیزم‌های پیشرفته و مزایای متعدد، یادگیری را بهبود می‌بخشند، اما با چالش‌ها و محدودیت‌هایی مواجه هستند که نیازمند بررسی دقیق‌تر است. این بخش به تحلیل مکانیزم‌ها، مزایا، شواهد تجربی و چالش‌های این فناوری‌ها می‌پردازد و ارتباط آنها با چارچوب‌های نظری و زمینه‌های عملی را مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

مکانیزم‌ها و مزایا

فناوری‌های تعاملی از طریق سه مکانیزم اصلی بازخورد فوری، شبیه‌سازی‌های واقعی و شخصی‌سازی، یادگیری زبان را به‌طور قابل‌توجهی ارتقا می‌دهند. چت‌بات‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، مانند ELSA Speak، با ارائه بازخورد آنی در مورد تلفظ، گرامر و واژگان، زبان‌آموزان را قادر می‌سازند تا خطاهای خود را در

[1] Application
[2] Dopamine

محیطی بدون استرس اصلاح کنند. این فرآیند با نظریه خودتنظیمی زیمرمن هم‌خوانی دارد، زیرا بازخورد فوری به زبان‌آموزان کمک می‌کند تا اهداف یادگیری خود را تنظیم کرده و پیشرفت خود را نظارت کنند [۱۰]. واقعیت مجازی و واقعیت افزوده، مانند پلتفرم‌های ImmerseMe و Mondly AR، با شبیه‌سازی موقعیت‌های واقعی مانند مکالمات خیابانی یا سفارش غذا در رستوران، یادگیری را به تجربه‌ای عملی و غوطه‌ور تبدیل می‌کنند. این ویژگی با نظریه یادگیری تجربی کلب سازگار است، که بر اهمیت تجربه عینی در یادگیری تأکید دارد [۹].

بازی‌سازی، که در نرم افزارهای کاربردی مانند Duolingo به‌کار گرفته شده، با استفاده از عناصر بازی‌گونه مانند امتیازات، نشان‌ها و رتبه‌بندی، انگیزه بیرونی را تقویت می‌کند. این رویکرد با نظریه خودتعیین‌گری دسی و رایان هم‌راستا است، که بر نقش پاداش‌های بیرونی در افزایش انگیزه تأکید می‌کند [۱۱]. سیستم‌های تطبیقی، مانند Babbel، با تحلیل داده‌های عملکرد زبان‌آموزان، محتوای آموزشی را شخصی‌سازی می‌کنند و یادگیری را هدفمندتر و کارآمدتر می‌سازند. این سیستم‌ها با نظریه چاپل، که فناوری را ابزاری برای تعامل و بازخورد معرفی می‌کند، ارتباط نزدیکی دارند [۱۲]. علاوه‌بر این، آموزش هوش مصنوعی برای یادگیری محتوای کلاس‌های درس، مانند دروس یک استاد ایرانی به زبان فارسی و ارائه آن به‌صورت چندزبانه به کاربران جهانی، دسترسی به دانش را جهانی کرده و آموزش را از محدودیت‌های زبانی و جغرافیایی آزاد می‌سازد [۸]. این قابلیت نه‌تنها یادگیری زبان را تقویت می‌کند، بلکه به ترویج میراث فرهنگی و علمی ایران در سطح جهانی کمک می‌کند، به‌ویژه در زمینه‌هایی مانند ادبیات پارسی که نیازمند انتقال دقیق ظرافت‌های فرهنگی هستند [۲].

مزایای این فناوری‌ها فراتر از بهبود مهارت‌های زبانی است. آنها با کاهش وابستگی به معلمان بومی و منابع فیزیکی، موانع اقتصادی و جغرافیایی را کم‌رنگ می‌کنند. برای مثال، چت‌بات‌ها به زبان‌آموزان در مناطق دورافتاده امکان تمرین مکالمه را می‌دهند، درحالی‌که واقعیت مجازی تجربه‌های فرهنگی غنی را بدون نیاز به سفر فراهم می‌کند. همچنین، شخصی‌سازی محتوا به زبان‌آموزان با سطوح و نیازهای مختلف امکان می‌دهد تا در مسیری متناسب با توانایی‌های خود پیشرفت کنند، که این امر به‌ویژه برای زبان‌آموزان با نیازهای ویژه یا اهداف حرفه‌ای مفید است [۱۴].

شواهد تجربی

شواهد تجربی اثربخشی فناوری‌های تعاملی را تأیید می‌کنند. مطالعه‌ای نشان داد که ربات‌های گفتگوکننده زبانی مهارت‌های گفتاری را تا ۲۵٪ بهبود می‌بخشند [۴]. این بهبود به‌دلیل بازخورد دقیق و محیط کم‌اضطراب این ابزارها است. واقعیت مجازی، طبق پژوهشی، نرخ حفظ واژگان را تا ۱۸٪ افزایش می‌دهد، زیرا شبیه‌سازی‌های بصری و عاطفی خاطرات بلندمدت را تقویت می‌کنند [۵]. بازی‌سازی، به‌ویژه در نرم‌افزارهای کاربردی مانند Duolingo، مشارکت زبان‌آموزان را تا ۳۵٪ بهبود می‌بخشد، به‌ویژه در محیط‌های آموزشی با انگیزه پایین [۱۳]. سیستم‌های تطبیقی، مانند Babbel، سرعت یادگیری را تا ۱۵٪ افزایش می‌دهند، زیرا محتوای آموزشی را با سطح مهارت زبان‌آموز هماهنگ می‌کنند [۱۴].

آموزش هوش مصنوعی برای جهانی‌سازی محتوای کلاس‌های درس نیز پتانسیل بالایی نشان داده است. این فناوری با جمع‌آوری داده‌های آموزشی، آموزش تخصصی مدل‌های زبانی و استفاده از ترجمه‌های چندزبانه، دسترسی به دانش را گسترش می‌دهد. برای مثال، دروس یک استاد ایرانی در زمینه ادبیات پارسی می‌توانند به زبان‌های مختلف ارائه شوند و کاربران جهانی را با مفاهیم عمیق فرهنگی آشنا کنند [۸]. این شواهد نشان‌دهنده توانایی فناوری‌های تعاملی در ایجاد تحول در آموزش زبان هستند، اما محدودیت‌های روش‌شناختی مطالعات، مانند نمونه‌های کوچک یا تمرکز بر زبان انگلیسی، نیاز به تحقیقات گسترده‌تر را برجسته می‌کند [۴,۱۳].

چالش‌ها و محدودیت‌ها

با وجود مزایا، فناوری‌های تعاملی با چالش‌های قابل‌توجهی مواجه هستند که بهره‌برداری کامل از آنها را در ایران دشوار می‌کند. شکاف دیجیتال یکی از موانع اصلی است. مطالعه‌ای نشان داد که تنها ۴۵٪ از زبان‌آموزان ایرانی به ابزارهای دیجیتال مانند گوشی‌های هوشمند یا اینترنت پرسرعت دسترسی دارند، به‌ویژه در مناطق روستایی [۶]. این نابرابری دسترسی، عدالت آموزشی را تهدید می‌کند و نیازمند سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های دیجیتال است [۱۵].

نگرانی‌های حریم خصوصی نیز مانع دیگری است. سیستم‌های هوش مصنوعی که داده‌های عملکرد زبان‌آموزان را جمع‌آوری می‌کنند، ممکن است خطر نقض حریم خصوصی را به همراه داشته باشند، به‌ویژه در ایران که حساسیت‌های مربوط به نظارت دولتی وجود دارد.

نبود سیاست‌های شفاف برای مدیریت داده‌ها اعتماد کاربران را کاهش می‌دهد [۷]. علاوه‌بر این، آموزش هوش مصنوعی برای یادگیری محتوای کلاس‌های درس، مانند دروس به زبان فارسی، نیازمند زیرساخت‌های محاسباتی پیشرفته و الگوریتم‌های ترجمه دقیق است که ظرافت‌های فرهنگی را حفظ کنند. برای مثال، ترجمه مفاهیم عرفانی در اشعار حافظ به زبان‌های دیگر بدون از دست دادن معنا، چالش فنی و فرهنگی بزرگی است [۸].

کمبود آموزش معلمان نیز مانع جدی دیگری است. بسیاری از معلمان ایرانی فاقد مهارت‌های لازم برای استفاده از فناوری‌های تعاملی هستند و نمی‌توانند ابزارهایی مانند واقعیت مجازی یا ربات‌های گفتگوکننده را به‌طور مؤثر در کلاس‌های درس ادغام کنند. این مشکل با یافته‌های مطالعه‌ای تأیید شده که نشان می‌دهد معلمان اغلب در مدیریت محتوای دیجیتال یا طراحی فعالیت‌های تعاملی ناتوان هستند [۱۶,۱۷]. وابستگی بیش‌ازحد به فناوری نیز می‌تواند تعاملات انسانی را کاهش دهد، که با نظریه یادگیری اجتماعی ویگوتسکی در تضاد است. ویگوتسکی بر نقش تعاملات اجتماعی در یادگیری تأکید دارد، اما ابزارهایی مانند چت‌بات‌ها، با وجود بازخورد زبانی دقیق، فاقد عمق عاطفی و فرهنگی تعاملات انسانی هستند [۱۶,۱۵]. این محدودیت ممکن است به سطحی شدن یادگیری منجر شود، به‌ویژه در زمینه‌هایی مانند آموزش زبان که درک فرهنگی اهمیت بسزایی دارد. همچنین، هزینه‌های بالای فناوری‌های پیشرفته، مانند کلاهک‌های واقعیت مجازی، دسترسی را برای بسیاری از مؤسسات آموزشی و زبان‌آموزان ایرانی محدود می‌کند [۵].

در نهایت، محدودیت‌های روش‌شناختی مطالعات تجربی نیز قابل‌توجه است. بسیاری از پژوهش‌ها از نمونه‌های کوچک استفاده کرده‌اند یا بر زبان انگلیسی متمرکز بوده‌اند، که تعمیم‌پذیری نتایج را برای زبان‌هایی مانند فارسی کاهش می‌دهد [۴,۱۳]. نبود داده‌های بلندمدت نیز اثرات پایدار این فناوری‌ها را نامشخص کرده است. این کاستی‌ها ضرورت تحقیقات جامع‌تر و بومی‌سازی‌شده را برجسته می‌کنند.

پیشنهادها و جهت‌گیری‌های آینده

برای بهره‌برداری از پتانسیل فناوری‌های تعاملی در آموزش زبان و جهانی‌سازی دانش، راهکارهای عملی و پژوهشی متناسب با چالش‌های ایران و نیازهای جهانی پیشنهاد می‌شود [۱,۲]. نخست، کاهش شکاف دیجیتال از طریق سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های دیجیتال ضروری است. در ایران، دسترسی محدود به اینترنت پرسرعت و تجهیزات دیجیتال در مناطق محروم، بهره‌مندی عادلانه از ربات‌های گفتگوکننده، واقعیت مجازی و واقعیت افزوده را محدود کرده است [۶]. گسترش شبکه‌های اینترنت و توزیع تجهیزات یارانه‌ای می‌تواند عدالت آموزشی را تقویت کند [۶,۱۵].

دوم، آموزش معلمان برای استفاده از ابزارهای هوش مصنوعی، واقعیت مجازی و بازی‌سازی حیاتی است [۷]. برنامه‌های آموزشی ضمن خدمت و کارگاه‌های عملی می‌توانند مهارت معلمان را در طراحی سناریوهای واقعیت مجازی فرهنگی یا استفاده از چت‌بات‌ها برای مکالمه ارتقا دهند [۱۰,۷]. این آموزش‌ها باید مداوم و بومی‌سازی‌شده باشند [۱۷].

سوم، بومی‌سازی فناوری‌ها با توسعه ابزارهای مبتنی بر ادبیات پارسی یا آیین‌های ایرانی، یادگیری را جذاب‌تر می‌کند و میراث فرهنگی ایران را ترویج می‌دهد [۲,۸]. برای مثال، پلتفرم واقعیت مجازی با شبیه‌سازی بازار تبریز یا نوروز، درک عمیق‌تری از فرهنگ پارسی ایجاد می‌کند [۵].

چهارم، حفاظت از داده‌های کاربران با سیاست‌های شفاف و رمزنگاری پیشرفته، اعتماد عمومی را افزایش می‌دهد، به‌ویژه در کشورهایی که نگرانی‌های حریم خصوصی وجود دارد [۱۵,۷].

پنجم، رویکردهای ترکیبی که فناوری و تعامل انسانی را ادغام می‌کنند، تعادل بین شخصی‌سازی و یادگیری اجتماعی را برقرار می‌کنند [۱۸]. معلمان می‌توانند از ربات‌های گفتگوکننده برای تمرین فردی و جلسات حضوری برای فعالیت‌های گروهی استفاده کنند [۴,۱۵].

جهت‌گیری‌های پژوهشی آینده باید تأثیرات بلندمدت فناوری‌ها، بومی‌سازی فرهنگی در ترجمه‌های چندزبانه و چارچوب‌های نظری مدل‌های ترکیبی را بررسی کنند [۶,۱۳,۱۶]. مطالعه تأثیر این ابزارها بر زبان‌آموزان با نیازهای ویژه نیز ضروری است [۱۲]. سیاست‌گذاران با حمایت از مراکز دیجیتال و بازآموزی معلمان، آموزش زبان را ارتقا داده و نقش ایران را در جهانی‌سازی دانش تقویت می‌کنند.

نتیجه‌گیری

فناوری‌های تعاملی، از جمله هوش مصنوعی، واقعیت مجازی، واقعیت افزوده و بازی‌سازی، با ایجاد محیط‌های یادگیری پویا، شخصی‌سازی‌شده و جذاب، آموزش زبان را به‌طور کامل متحول کرده‌اند. این ابزارها با ارائه بازخورد آنی، شبیه‌سازی موقعیت‌های واقعی و تطبیق محتوا با نیازهای فردی، نه‌تنها یادگیری را مؤثرتر کرده‌اند، بلکه محدودیت‌های روش‌های سنتی مانند دسترسی

محدود به معلمان بومی و منابع ناکافی را کاهش داده‌اند. قابلیت هوش مصنوعی در یادگیری محتوای کلاس‌های درس و ارائه آن به‌صورت چندزبانه به کاربران جهانی، دانش را از مرزهای زبانی و جغرافیایی فراتر برده و فرصتی بی‌نظیر برای جهانی‌سازی آموزش و ترویج میراث فرهنگی ایران فراهم کرده است. با این حال، چالش‌هایی مانند شکاف دیجیتال، که دسترسی عادلانه به فناوری را در ایران محدود می‌کند، نگرانی‌های حریم خصوصی داده‌ها و کمبود مهارت معلمان در استفاده از این ابزارها، موانع جدی ایجاد کرده‌اند. برای غلبه بر این موانع، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های دیجیتال، توسعه ابزارهای بومی‌سازی‌شده متناسب با فرهنگ ایرانی، آموزش تخصصی معلمان و پیاده‌سازی رویکردهای ترکیبی که فناوری و تعامل انسانی را ادغام می‌کنند، ضروری است. تحقیقات آینده باید تأثیرات بلندمدت این فناوری‌ها، حفظ اصالت فرهنگی در آموزش چندزبانه و طراحی مدل‌های ترکیبی را بررسی کند تا آموزش زبان در ایران و جهان به سطحی فراگیر و پایدار ارتقا یابد.

این مقاله پیش‌تر در هیچ نشریه‌ای منتشر نشده و توسط ماشین نگارش نشده است.

منابع و مأخذ

[۱]. آراسته، حمیدرضا؛ خباره، کبری. (۱۴۰۲). نقش هوش مصنوعی و تحول در آموزش عالی. نشریه علم، ۱۴(۱)، ۲–۸.

[۲]. خورسندی طاسکوه، علی؛ جامه بزرگ، زهرا؛ عسگری، امیر. (۱۴۰۲). ترند تکنولوژی‌های نوین در یادگیری و تدریس. فناوری‌های آموزشی در یادگیری، ۶(۱۹)، ۱۰۶–۱۲۸.

[۳]. احمدی، سیده معصومه؛ معافی‌مدنی، سیده خدیجه؛ پورحسین‌گیلاکجانی، عباس. (۱۴۰۰). آموزش الکترونیکی: پارادایمی نوین. راهبردهای نو در روانشناسی و علوم تربیتی، ۱۲(۳)، ۲۰۰–۱۸۳.

[4]. Bibauw, S., François, T., & Desmet, P. (2022). Dialogue systems for language learning: A meta-analysis. Language Learning & Technology. 26(1):1-24.

[5]. Lan, Y. J. (2020). Immersive virtual reality learning environment. Computer Assisted Language Learnin. 33(3):198-218.

[6]. Kashanizadeh, I., Ketabi, S., & Shahrokhi, M. (2023). Investigating technological innovation in English language teaching: Iranian EFL instructors in focus. Journal of Modern Research in English Language Studies, 11(1), 53–77.

[7]. Tafazoli, D., & Picard, M. (2020). Guest editorial: Technology in language education. Quarterly of Iranian Distance Education Journal, 2(2), 1–2. https://doi.org/10.30473/idej.2020.6885

[8]. Parmaxi, A. (2023). Virtual reality in language learning. Interactive Learning Environments. 31(1):172-84.

[9]. Kolb, D. A. (2014). Experiential learning: Experience as the source of learning and development (2nd ed.). Pearson Education.

[10]. Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. Theory Into Practice. 41(2):64-70.

[11]. Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). Self-determination theory: A macrotheory of human motivation. American Psychologist. 55(1):68-78.

[12]. Chapelle, C. A. (2016). Computer applications in second language acquisition (2nd ed.). Cambridge University Press.

[13]. Dehghanzadeh, H., Fardanesh, H., Hatami, J., Talaee, E., & Noroozi, O. (2021). Using gamification to support learning English. Computer Assisted Language Learning.34(7) 934-957.

[14]. Vesselinov, R., & Grego, J. (2016). The effectiveness of Rosetta Stone, Duolingo, and Babbel. City University of New York.

[15]. Bates, A. W. (2019). Teaching in a digital age (2nd ed.). Tony Bates Associates Ltd.

[۱۶]. احمدی، سیده معصومه؛ صدوقی، میترا؛ پورحسین گیلاکجانی، عباس. (۱۴۰۱). آموزش الکترونیک در دوران کرونا. نشریه علمی رویکردهای پژوهشی نوین مدیریت و حسابداری، ۵(۱۹)، ۱۶۸۳–۱۷۰۰.

[17]. Siemens, G., Gašević, D., & Dawson, S. (2015). Preparing for the digital university. Athabasca University Press.

[18]. Dabbagh, N., & Kitsantas, A. (2019). Personal learning environments, social media, and self-regulated learning. Springer.

Transforming Language Education with Interactive Technologies: From Traditional Classrooms to Globalizing Educational Content

Abbas Pourhosein Gilakjani[1,*]

Interactive technologies, such as artificial intelligence (AI), virtual reality (VR), augmented reality (AR), and gamification, have revolutionized language education by transforming traditional methods into dynamic, personalized, and engaging learning environments. This systematic review, analyzing 18 scholarly sources, evaluates the effectiveness of these technologies through the lens of learning theories by Kolb, Zimmerman, Deci and Ryan, and Chapelle. Chatbots enhance speaking skills by up to 25%, VR improves vocabulary retention by 18%, gamification increases engagement by 35%, and adaptive systems accelerate learning by 15%. Training AI to learn classroom content in Persian and deliver it multilingually not only globalizes knowledge but also promotes Iran's cultural heritage by preserving nuances, such as the mystical concepts of Persian literature. However, challenges like the digital divide, high technology costs, privacy concerns, and insufficient teacher training in Iran pose significant barriers. The article proposes solutions, including investment in digital infrastructure, teacher training, localized tools, and blended approaches. Future research should focus on long-term impacts, cultural localization, and blended learning models to advance language education in Iran and globally.

Keywords: Interactive Technologies, Language Education, Artificial Intelligence, Virtual Reality, Gamification, Self-Regulation, Iran

[*] Corresponding Author. Associate Professor. Tel:(9813) 42421733, Email: abbas.pourhosein@iau.ac.ir
[1] Department of Language Translation, La.C, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

Science and Education

Materials Genome Initiative (MGI): A Disruptive Innovation in Discovery, Design, Development and Deployment (4Ds)

Hossein Keivan Behjoo [1,2], Malek Naderi [1,2,*]

The advancement of any technology is inherently dependent on the availability of suitable materials and compounds. A misalignment between the pace of novel material discovery, development, and production and the rapid progression of technological innovation poses a critical challenge to the development of emerging technologies. Traditional approaches to material discovery, predominantly based on experimental methods supplemented by computational techniques, have proven inadequate to address this gap. The Materials Genome Initiative (MGI), launched by the United States in 2011, represents a paradigm shift in the design, discovery, and deployment of novel materials. By integrating robust databases, advanced computational tools-such as Graph Networks for Materials Exploration (GNoME) pioneered by Google DeepMind-and autonomous laboratories, such as those at Lawrence Berkeley National Laboratory, MGI has dramatically accelerated the timeline for material discovery. What once required over two decades can now be achieved in less than a year, enabling unprecedented opportunities for groundbreaking and transformative technologies. Failure to engage in this field will inevitably lead to significant technological vulnerabilities, both in the near and distant future. To address this, a strategic roadmap for the Iranian Materials Genome Initiative is proposed as an immediate priority. Additionally, the establishment of an autonomous materials genome laboratory within a 5- to 7-year timeframe is essential. To oversee and coordinate such efforts, the creation of a National Materials Genome Center is imperative.

Keywords: Materials Genome Initiative, Materials Innovation Infrastructure, Disruptive Innovation and Materials Project

* Corresponding Author, Professor, Tel/Fax:((+9821) 64542992, E-mail: mnaderi@aut.ac.ir

[1] Department of Materials and Metallurgical Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

[2] Graphene and Advanced Materials Laboratory (GAMLab), Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

Parabens and Their Effects on Human Health

Zahra Haghparas[1], Mehran Habibi Rezaei[2], Massoud Amanlou[3], A.A. Moosavi-Movahedi[1,4,*]

Parabens are a group of chemical compounds widely used in various industries due to their antimicrobial and antioxidant properties. Their primary role is to inhibit the growth of microbes, molds, and fungi, thereby enhancing product shelf life. As a result, parabens are commonly found in cosmetics, personal care, pharmaceuticals, and even some food products, primarily as preservatives. Sunscreens are among the most prevalent paraben-containing products used daily and continuously. However, in recent years, scientific and public concerns about the adverse effects of parabens on human health have escalated. Numerous studies have highlighted the negative impacts of these compounds. Parabens are synthetic chemicals with estrogen-like effects and are classified as endocrine-disrupting compounds (EDC) and xenoestrogens. By binding to estrogen receptors, they interfere with natural hormonal functions. Research indicates that parabens may lead to hormonal imbalances, menstrual disorders, infertility, and an increased risk of estrogen-dependent tumors, including breast cancer. Moreover, parabens are easily absorbed through the skin, potentially causing allergies and skin irritation. Continuous and daily use of paraben-containing sunscreens significantly increases the likelihood of such adverse effects. Additionally, under sun exposure, certain photodegradation products of parabens may damage collagen and elastin in the skin. These synthetic compounds are not readily degradable in the body and tend to accumulate in fatty tissues, leading to a phenomenon known as bioaccumulation. This study examines parabens' structure, applications, and health consequences to provide a deeper understanding of these compounds and emphasize the necessity of safer alternatives.

Keywords: Parabens, Microorganisms, Preservatives, Skin Absorption, Bioaccumulation, Inflammation And Neurological Disorders, Lifestyle

[*] Corresponding Author, Professor, Tel: +9821-66409517, Fax: +9821-66404680, E-mail: moosavi@ut.ac.ir

[1] Institute of Biochemistry and Biophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

[2] School of Biology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

[3] School of Pharmacy, Tehran University of Medical Sciences (TUMS), Tehran, Iran

[4] UNESCO Chair on Interdisciplinary Research in Diabetes, University of Tehran, Tehran, Iran

Science and Education

The Role of Aromatherapy in a Healthy Lifestyle for Brain Health

Mehzad Irandoust[1], Saeed Niazi Vahdati[1], Arefeh Seyedarabi[1,*]

In the context of modern lifestyle, brain health and cognitive function have become one of the main focal points of attention. This review article examines the role of aromatherapy as an alternative approach to promote brain health. Aromatherapy, by utilizing volatile plant compounds, can influence the olfactory system and neural mechanisms to improve cognitive performance, reduce stress, and help prevent neurodegenerative diseases. Moreover, a healthy lifestyle, which includes stress-management, adequate sleep, balanced nutrition, and a good olfactory function, play important role in maintaining brain health. Studies have shown that compounds such as α-asarone, β-caryophyllene, cinnamaldehyde, and phenylethyl alcohol are capable of inhibiting protein aggregation processes associated with Alzheimer's and Parkinson's diseases. In addition, olfactory disorders such as anosmia, especially following COVID-19, negatively affected quality of life, mental health, and cognitive function, highlighting the increased importance of paying attention to the olfactory function. The findings of this article emphasize the necessity of advancing fundamental and clinical research on the therapeutic applications of aromas in the prevention and management of neurological disorders.

Keywords: Aromatherapy, Brain Health, Volatile Plant Compounds, Neurodegenerative Diseases, Anosmia, Lifestyle

* Corresponding Author. Associate Professor. Tel:(+009821) 66956974, Email: a.seyedarabi@ut.ac.ir
[1] Institute of Biochemistry and Biophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

Sustainable Energy Management From Seawater Desalination Sludge With a Circular Economy Approach

Asieh Sadat Kazemi[1], Mahsa Shahi[2], Seiyed Mossa Hosseini[3,*]

In recent years, the demand for fresh water has been increasing with the increase in the world population and seawater desalination has attracted global attention. The concentrated waste resulting from the desalination process of seawater is called sludge. Since the disposal of sludge in the environment is limited due to factors such as high disposal costs, and some legal restrictions, it is necessary to find a suitable method for managing seawater treatment sludge. In this study, various methods of recycling sludge from seawater treatment have been investigated and compared. Recycling methods based on the concept of circular economy include the reuse of sludge as coagulants, in the agricultural and construction industries and in fabrication of electronic energy storage devices. Studies have shown that converting bulky sludge produced in seawater treatment systems into value-added products can be a very suitable and environmentally friendly alternative method for sludge management.

Keywords: Seawater Desalination Sludge, Circular Economy, Coagulant, Agriculture, Construction, Energy Storage

* Corresponding Author. Associate Professor, Tel/Fax: (9821)6111 2938, Email: smhosseini@ut.ac.ir

[1] Department of Physics, Iran University of Science and Technology (IUST), Tehran, Tehran, Iran

[2] Civil and Environmental Engineering Department (CEE), Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Tehran, Iran

[3] Physical Geography Department, University of Tehran, Tehran, Iran.

A Comparative Analysis of Research and Technology Funding Systems

Seyed Reza Mirnezami[1], Ali Maleki[1], Ahmad Keykha[1,*]

Funding for research and technology is a critical driver of scientific and economic advancement in nations. This study employs a systematic review approach to conduct a comparative analysis of research and technology funding systems across five selected countries: The United States, the United Kingdom, Germany, Australia, and China. Through an in-depth examination of policies, mechanisms, and trends in resource allocation, the study proposes actionable strategies to enhance Iran's research funding framework. Data collection and analysis were guided by a conceptual framework comprising nine key dimensions: policymaking, resource allocation mechanisms, allocation behavior, financing, accessibility, evaluation, support and incentives, regional engagement, and science and technology diplomacy. The findings reveal that these countries employ a diverse mix of public and private funding models, emphasizing competitive, metrics-based, and long-term approaches to financial allocation. Moreover, developed nations have charted a sustainable path for scientific progress by focusing on research commercialization, offering financial incentives, ensuring transparency in data access, and fostering international collaborations. The study concludes with a set of recommendations to improve Iran's research funding system. These include establishing competitive allocation systems, developing blended financing models, prioritizing applied research, creating specialized funding agencies, enhancing transparency, and supporting high-risk, long-term research initiatives.

Keywords: Comparative Study, Financial Resource Allocation, Research and Technology Funding, Science and Technology Policy

* Corresponding Author. Postdoctoral Researcher. Tel:(+98) 912 958 3889, Email: ahmad.keykha72@sharif.edu

[1] The Research Institute for Science, Technology, and Industrial Policy (RISTIP) Sharif University of Technology, Tehran, Iran

The Biological Revolution with Cyborgs:

The Integration of Artificial Intelligence and the Human Body

Seyedeh Masoumeh Ahmadi[1], Ali Khalkhali[*,1], Esmail Kazempour[1]

Remarkable advancements in biotechnology, robotics, and artificial intelligence (AI) are gradually dissolving the traditional boundaries between humans and machines, placing concepts such as cyborgs and post-humanism at the heart of contemporary scientific and philosophical discourse. The notion of the cyborg, inspired by Donna Haraway's Cyborg Theory and Lynn Margulis' Endosymbiosis Theory, emerges as a symbol of humanity's transition into a new era. These hybrid entities, born from the fusion of biological and artificial components, enable a profound integration of biology and engineering through technologies such as brain-computer interfaces, nanorobotics, and biofuel cells. However, significant challenges—including ambiguity in the legal personhood of cyborgs, a widening digital divide, and the escalating energy consumption of data centers—pose critical obstacles to the development of these technologies.

By outlining three plausible future scenarios—human optimization, transhumanism, and cyber-biological ecosystems—this article demonstrates that the path forward depends not only on technological progress but also on a radical rethinking of ethical and social paradigms. Ultimately, the paper emphasizes the necessity of moving beyond anthropocentrism toward ecological coexistence. This transition demands the creation of a cyborg philosophy and global frameworks such as cyber-bio governance, green design standards, and institutions like a Cybernetic United Nations to ensure technological justice. Embracing the fluidity of human identity and fostering interdisciplinary dialogue are key to transforming cyborgs from symbols of domination into catalysts for bio-democracy and ecological balance.

Keywords: Cyborg, Cyborg Philosophy, Fifth Industrial Revolution, Technological Convergence, Hacking of Cyborg Components, Biological Collaboration, Legal Complexity, Technological Justice, Transhumanism

[*] Corresponding Author. Associate Professor, Tel/Fax: (+98)9111926773, Email: khalkhali_ali@iau.ac.ir

[1] Department of Educational Management, To.C., Islamic Azad University, Tonekabon, Iran

Science and Education

Carbon Dioxide: Containment Issues, Effective Management and Optimal Use In Iran

Ahmad Shaabani[1,*]

Iran has emitted over 20 billion tons of carbon dioxide by the year 2024, ranking sixth globally with a 2% share of total emissions. It is estimated that power plants consume approximately 71 billion cubic meters of gas annually, releasing 118 million tons of carbon dioxide into the atmosphere. The economic value of these emissions is roughly equivalent to Iran's total petrochemical exports, which is $11.8 billion. Additionally, considering that one ton of carbon dioxide is emitted for every ton of cement produced, and Iran's annual cement production stands at approximately 72 million tons, the economic value of carbon dioxide emissions in this sector is estimated to be $7.2 billion. In addition to the economic value of carbon dioxide, it seems essential to control and manage the emission of this gas from the perspective of social responsibility, environmental considerations, climate change, legal requirements, and possible future restrictions on the sale of carbon-based products. Carbon dioxide is a valuable resource with wide and diverse applications in the food, chemicals, petrochemicasl, pharmaceuticals, construction, refrigeration industries, and most importantly in enhancing oil recovery (CO2-EOR). Given its economic and industrial value, adopting effective strategies for carbon dioxide management and utilization is essential. This article explores the status of carbon dioxide emissions in Iran and globally, examines methods for its optimal management and utilization, and proposes strategies for leveraging this national resource.

Keywords: Greenhouse Gases, Containment, Management, Carbon Dioxide, Carbon Tax, Enhanced Oil Recovery, Net-Zero Carbon, Paris Agreement

* Corresponding Author.Professor. Tel:(9821)29904362, Fax :(9821)22431671, Email: a-shaabani@sbu.ac.ir
[1] Faculty of Chemistry, Shahid Beheshti University, G. C., P. O. Box 19396-4716, Tehran, Iran

China on the Path of Science and Progress

Ali Akbar Saboury[1,*]

Over the past five decades, China has undergone a remarkable transformation in the scientific domain, evolving from a country with a negligible share in global scientific output to becoming the world's leading power in this field. In 1975, China had registered only 72 scientific articles in the Scopus database, with its global share close to zero, while the United States held the top position with a 23.6% global share. However, over time, China has achieved an unprecedented leap in scientific production through extensive investment in research and development, the advancement of cutting-edge technologies, and the strengthening of international collaborations. By 2024, China leads the world with a 28.4% global share of scientific articles, while the United States holds second place with a 17.6% share. China has also become a global innovation leader by attracting domestic and international talent, implementing programs like the "Thousand Talents Plan" to bring in top global scientists and repatriate Chinese experts, and developing advanced scientific infrastructure such as supercomputers and sophisticated telescopes. The country has invested heavily in various fields, including artificial intelligence, nanotechnology, and renewable energy, and has achieved significant progress through strong university-industry collaborations. Additionally, by enhancing its educational and research infrastructure through initiatives like Projects 211, 985, and the Double First Class Plan, China has elevated the quality of its higher education and positioned several of its universities among the top global rankings. Focusing on innovation and international cooperation, China aims to maintain and strengthen its position as a leading global scientific power. With massive investments in research and development and the advancement of cutting-edge technologies, China is rapidly emerging as a global leader in science and technology. At the same time, through programs like the "One Belt One Road" China seeks to expand its scientific and economic influence worldwide. These developments demonstrate that, by relying on science and technology, China is swiftly becoming a dominant global power.

Keywords: China, Scientific Production, Thousand Talents Plan, Project 211, Project 985, Double First Class, One Belt One Road, Superior Power

[*] Author for Correspondence, Professor, Tel: (98 21) 66956984, Fax: (98 21) 66404680, E-mail: Saboury@ut.ac.ir
[1] Institute of Biochemistry and Biophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

Performance Review of the Sixth Five-Year Development Plan in Higher Education

Ahmad Shaabani[1,*]

Effective planning is essential for progress, especially in science, knowledge, and technology. Beyond setting quantitative and qualitative goals, the mechanisms for achieving and evaluating these objectives are equally crucial. This article analyzes the successes and shortcomings of the Sixth Five-Year Development Plan in the higher education sector. The results show that several key performance indicators have surpassed 90% of their targets, demonstrating relative success. These include the number of patents registered with international authorities, the proportion of international students relative to domestic students, the number of universities ranked among the top 100 in Asia, the annual number of Scopus-indexed articles per full-time faculty member, the percentage of articles co-authored with foreign researchers and the number of Iran publications indexed in international scientific databases. However, certain areas continue to underperforming, with achievement rates falling below 50%, such as the share of government research, and technology funding in the gross domestic product, which stands at 28.7%; the proportion of postgraduate students within the total student population, currently at 48.1%, and the percentage of graduate students pursing basic sciences, which is just 40%. To enhance the success of the Seventh Five-Year Development Plan, it is recommended that increased investments be made in research and development, the establishment of well-equipped laboratories, and the allocation of a higher share of research to the gross national product.

Keywords: Sixth Development Plan, Seventh Progress Plan, Higher Education, Research, Technology, Basic Sciences, Science Production.

* Corresponding Author.Professor. Tel:(9821)29904362, Fax :(9821)22431671, Email: a-shaabani@sbu.ac.ir

[1] Faculty of Chemistry, Shahid Beheshti University, G. C., P. O. Box 19396-4716, Tehran, Iran

Scientific and Cultural Endowment

Seyed Mostafa Mohaghegh Damad[*,1]

According to Mulla Sadra's Transcendental Philosophy, a nation's scientific advancement develops gradually and fundamentally through substantial motion. He emphasizes that charitable donations and ongoing benevolent acts purify the human soul from worldly attachments, ultimately leading to detachment from all but Allah. This detachment holds a high position in the hierarchy of spiritual and intellectual development. Mulla Sadra also asserts that global resources are finite and shared among all humanity; thus, monopolizing these resources by a select few is intellectually unacceptable. Consequently, wealth derived from divine resources should be distributed among people through charitable giving. This perspective underscores the necessity of educating students and scholars to establish Iran's scientific and civilizational authority. Furthermore, Iran's historical experience demonstrates that attracting and repatriating scholars plays a crucial role in scientific development. Throughout different periods, academic centers such as Gondishapur, Nizamiyyah schools, and Rab'-e Rashidi have provided fertile ground for nurturing elites through endowments dedicated to science. As a longstanding tradition, ***waqf*** (endowment) requires reassessment and adaptation to contemporary needs to support scientific and technological advancements while preserving its spiritual essence.

Today, the concept of waqf can extend beyond physical assets to include intangible resources such as knowledge, financial shares, and investments for scientific development. This transformation, coupled with the strengthening of scientific diplomacy, will pave the way for Iran to reclaim its position in the global knowledge sphere. Notably, Islamic waqf fundamentally differs from other global endowment systems, as it is rooted in the donor's intention to seek divine proximity. Unlike modern charitable foundations, which primarily focus on social or economic goals, Islamic waqf is established with the purpose of attaining closeness to Allah, ensuring its lasting impact on both worldly and spiritual levels.

Keywords: Scientific endowment, Scientific authority, Iran's scientific civilization, repatriation of scientist and scholars, divine proximity

[*] Corresponding Author. Professor., Tel: +982188645585, Email: Email: mdamad@me.com

[1] Fellow and Head of the Islamic Studies Group Iran Academy of Sciences

Editorial

The Role of Philanthropists and Charitable Organizations in Advancing Science and National Laboratories

Philanthropists and charitable organizations play a crucial role in advancing science and developing research laboratories, often filling financial gaps that government resources cannot cover. By recognizing the significance of scientific progress and its vast social impact, benefactors and scientific foundations provide valuable financial support. This support is particularly vital for funding innovative projects in fields such as fundamental and basic sciences, which typically receive less financial backing. In these scientific areas, the presence of risks and uncertainties often discourages private sector investment.

Charitable organizations support researchers and talented students by providing financial and infrastructural resources, enabling them to engage in research and innovation. Additionally, these institutions fund national laboratories and provide advanced measurement tools and research equipment's, fostering the development of scientific infrastructure and interdisciplinary collaboration. Such support enhances scientists' capacity to undertake ambitious research projects.

Philanthropic foundations also play a key role in investing in research related to innovation and public health to combat diseases. These institutions can direct financial resources toward long-term research that, while not immediately profitable, has significant national and global impacts.

To increase the effectiveness of these organizations, it is essential to develop and expand educational and cultural programs aimed at cultivating philanthropists and science-supporting institutions. Teaching human values, empathy, and social responsibility from an early age, particularly in schools and families, can help institutionalize the culture of philanthropy. Sharing the experiences of successful benefactors, ensuring transparency in donation processes, and fostering collaboration between charitable institutions and governmental or international organizations will further enhance their impact.

Leveraging modern technologies to attract financial contributions and raise public awareness also plays a crucial role in accelerating these efforts. Ultimately, establishing cooperative networks and improving transparency in operations will lead to the creation of sustainable and effective charitable organizations dedicated to advancing scientific and social progress.

Ali A. Moosavi- Movahedi
Editor-in-Chief

Contents

Editorial: The Role of Philanthropists and Charitable Organizations in Advancing Science and National Laboratories

Ali Akbar Moosavi-Movahedi 1

Scientific And Cultural Endowment

Seyed Mostafa Mohaghegh Damad..... 2

Performance Review of The Sixth Five-Year Development Plan in Higher Education

Ahmad Shaabani 3

China On the Path of Science and Progress

Ali Akbar Saboury 4

Carbon Dioxide: Containment Issues, Effective Management and Optimal Use in Iran

Ahmad Shaabani 5

The Biological Revolution with Cyborgs:The Integration of Artificial Intelligence and The Human Body

Seyedeh Masoumeh Ahmadi; Ali Khalkhali; Esmail Kazempour 6

Comparative Comparison of Research and Technology Funding Systems

Seyed Reza Mirnezami, Ali Maleki, Ahmad Keykh..... 7

Sustainable Energy Management from Seawater Desalination Sludge with A Circular Economy Approach

Asieh Sadat Kazemi; Mahsa Shahi; Seiyed Mossa Hosseini 8

The Role of Aromatherapy in A Healthy Lifestyle for Brain Health

Mahzad Irandoust; Saeed Niazi Vahdati; Arefeh Seyedarabi 9

Parabens And Their Effects on Human Health

Zahra Haghparas; Mehran Habibi Rezaei; Massoud Amanlou; Ali Akbar Moosavi-Movahedi ... 10

Materials Genome Initiative (MGI): A Disruptive Innovation in Discovery, Design, Development and Deployment (4Ds)

Hossein Keivanbehjoo; Malek Naderi 11

Transforming Language Education with Interactive Technologies: From Traditional Classrooms to Globalizing Educational Content

Abbas Pourhosein Gilakjani 12

Science Cultivation

Editor-in-Chief:
A.A. Moosavi-Movahedi
Manager Editor:
A. Zali
Executive Director:
A. Kiani-Bakhtiari
Editorial Board:

H. Ahmadi Noubari, M. R. Aref, M. Behzad, M. Farhadi, Gh. Habibi, J. Towfighi, R. Malekzadeh, J. Mehrad, H. Mirzadeh, M. Mohaghegh, A. Mossalanejad, A.A. Saboury, M. Shamsipur, A. Shockravi, S. Sohrabpour, S. Vaezzadeh, B. Yazdi Samadi, 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
Website of Journal: www.sciencecultivation.ir
Email: info@sciencecultivation.ir

In the Name Of

God

ISOBC
RICeST
ISC
Islamic World Science Citation Center
Fast-Iran
Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran

Science Cultivation

Journal of Enculturation and Policy Making of Science, Innovation and Technology
Vol. 15, No. 1, January 2025
ISSN: 2008-935X

- Editorial: The Role of Philanthropists and Charitable Organizations in Advancing Science and National Laboratories
- Scientific And Cultural Endowment
- Performance Review of The Sixth Five-Year Development Plan in Higher Education
- China On the Path of Science and Progress
- Carbon Dioxide: Containment Issues, Effective Management and Optimal Use in Iran
- The Biological Revolution with Cyborgs:The Integration of Artificial Intelligence and The Human Body
- Comparative Comparison of Research and Technology Funding Systems
- Sustainable Energy Management from Seawater Desalination Sludge With a Circular Economy Approach
- The Role of Aromatherapy in A Healthy Lifestyle for Brain Health
- Parabens And Their Effects on Human Health
- Materials Genome Initiative (MGI): A Disruptive Innovation in Discovery, Design, Development and Deployment (4Ds)
- Transforming Language Education with Interactive Technologies: From Traditional Classrooms to Globalizing Educational Content