Big Science Projects: New Models of Global Collaboration in the Contemporary World

Farid Nasiri [1], Reza Yousefi*,[1]

Article Info

Article type:
Popularization of Science

Article history:

Receive Date:
4 February 2026

Revise Date:
6 February 2026

Accept Date:
11 February 2026

Available online:
6 May 2026

Keywords:

Big science

Big scientific advances

Science diplomacy

Epistemic communities

Joint ventures.

Big science refers to scientific megaprojects that require large financial investments, extensive international cooperation, large teams of specialists, and sophisticated and advanced research equipment and facilities. This approach is contrasted with small science, which focuses on individual research or scientific activity of small groups. Big science, especially after World War II, began its development path and today has become one of the main factors of scientific and technological advances in the world. In this regard, big science projects have played a decisive role in the expansion of knowledge in most scientific fields, from physics to life sciences; among them are the international nuclear fusion project, the human brain mapping project, and particle accelerator facilities. Big science and its complex and expensive facilities, which are often beyond the capacity of a single country, have caused a fundamental transformation in the development of science and technology over time. In addition to the complexity of the research equipment and facilities required, one of the most important features of big science is the breadth of collaboration between researchers and scientists; as a result of these collaborations, epistemic communities have been formed that no longer play a mere research role, but are groups that influence major governmental and international decision-making, and sustainable collaborations within them help to stabilize and strengthen international relations through the soft power of science. In addition, international institutions and politicians can use the organizational models of scientific communities to effectively lead global organizations; so that scientific megaprojects can be considered as models for global governance and leadership and used as approaches and solutions to face global challenges. In recent decades, through joint planning and investments, numerous infrastructures in the field of big science have been established in cooperation with leading countries in science and technology, which have played a pivotal role in major scientific advances and the emergence of emerging technologies. Accordingly, it is essential for Iranian science policymakers to prioritize the establishment of big science facilities within the country, as well as the access of Iranian scientists and researchers to global big science infrastructures, so that the country can compete with the scientific leading countries in the field of science and technology.

Cite this article: Nasiri Farid; Yousefi, Reza. (2026). Big Science Projects: New Models of Global Collaboration in the Contemporary World. *Science Cultivation*, 16 (1).52-61.

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.
Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Corresponding Author. Professor. Tel: +982161113378, Fax: +982166404680, E-mail: Yousefi.reza@ut.ac.ir
[1] Institute of Biochemistry and Biophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

Print ISSN 2008-935X Online ISSN 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

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

فرید نصیری[1]، رضا یوسفی*[1]

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت
۱۵ بهمن ۱۴۰۴
تاریخ بازنگری
۱۷ بهمن ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش
۲۲ بهمن ۱۴۰۴
تاریخ انتشار
۱۶ اردیبهشت ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:
علم بزرگ
پیشرفت‌های بزرگ علمی
دیپلماسی علمی
جوامع معرفتی
سرمایه‌گذاری‌های مشترک

چکیده

علم بزرگ به ابرپروژه‌های علمی اطلاق می‌شود که مستلزم سرمایه‌گذاری‌های مالی کلان، همکاری بین‌المللی گسترده تیم‌های بزرگی از متخصصان و زیرساخت تجهیزات پژوهشی پیچیده و پیشرفته می‌باشد. این رویکرد در مقابل علم کوچک قرار می‌گیرد که بر تحقیقات فردی یا فعالیت علمی گروه‌های کوچکی از پژوهشگران تمرکز دارد. علم بزرگ که پس از جنگ جهانی دوم آغاز شد، اکنون به یکی از عوامل اصلی پیشرفت علمی و فناوری کشورها تبدیل شده است. این پروژه‌ها در رشته‌های مختلف، از فیزیک تا علوم زیستی، نقشی تعیین‌کننده در گسترش دانش ایفا می‌کنند. نمونه‌های برجسته شامل شتاب‌دهنده‌های ذرات، تأسیسات گداخت هسته‌ای بین‌المللی و پروژه نقشه‌برداری مغز انسان است. علم بزرگ و تأسیسات پیچیده و گران‌قیمت آن که اغلب احداث آن فراتر از توان یک کشور است، موجب دگردیسی بنیادین در روند توسعه علم‌وفناوری در گذر زمان نیز شده است. علاوه بر پیچیدگی تجهیزات و تأسیسات پژوهشی مورد نیاز، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های دیگر علم بزرگ، گستردگی همکاری میان محققان و دانشمندان است؛ به‌گونه‌ای که در نتیجه این همکاری‌ها، جوامع معرفتی شکل گرفته‌اند که دیگر صرفاً نقش پژوهشگری ندارند، بلکه به گروه‌هایی تأثیرگذار بر تصمیم‌گیری‌های کلان دولتی و بین‌المللی تبدیل شده‌اند. همکاری‌های علمی پایدار، روابط بین‌الملل را با قدرت نرم تثبیت کرده و مدل‌های ابرپروژه‌ها الگوهایی برای حکمرانی جهانی ارائه می‌کنند. طی دهه‌های اخیر، با برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری‌های مشترک، زیرساخت‌های متعددی در حوزه علم بزرگ با همکاری کشورهای پیش‌گام در علم‌وفناوری به وجود آمده است که نقشی محوری در پیشرفت‌های بزرگ علمی و پیدایش فناوری‌های تأثیرگذار و نوظهور ایفا کرده‌اند. براین‌اساس، ضروری است سیاست‌گذاران علمی ایران نیز ایجاد تأسیسات علم بزرگ در داخل کشور و همچنین دسترسی دانشمندان و پژوهشگران ایرانی به زیرساخت‌های علم بزرگ جهانی را در اولویت قرار دهند تا کشور بتواند در حوزه علم‌وفناوری، قابلیت رقابت با کشورهای پیشرو جهان را کسب نماید.

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

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

* عهده‌دار مکاتبات: استاد. تلفن: ۶۱۱۱۳۳۷۸ (۹۸۲۱+)، دورنگار: ۶۶۴۰۴۶۸۰ (۹۸۲۱+)، آدرس الکترونیکی: Yousefi.reza@ut.ac.ir
[1] مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۱. مقدمه

پیش از جنگ جهانی دوم، اکثر تحقیقات علمی در مقیاسی نسبتاً کوچک و توسط دانشمندان عمدتا به شکلی انجام می‌شد که یا به‌تنهایی یا با کمک چند دستیار کار می‌کردند. بسیاری از این دانشمندان در دانشگاه‌ها عضویت داشتند و تحقیقات و آزمایش‌های خود را در آزمایشگاه‌های تحت حمایت مالی دانشگاه یا در تأسیسات خصوصی انجام می‌دادند. به‌عنوان‌مثال، ایزاک نیوتن نظریه‌های جاذبه و حرکت خود را هنگام حضورش در دانشگاه کمبریج انگلستان توسعه داد. آلبرت اینشتین نیز زمانی که به نظریه نسبیت خاص خود دست‌یافت، به‌عنوان کارمند دفتر ثبت اختراع در سوئیس مشغول به کار بود [۲]. بااین‌همه شروع همکاری‌هایی مانند ساخت شتاب‌دهنده‌ها و پروژه منهتن[1] (برنامه ساخت بمب اتمی آمریکا) یک تغییر قابل‌توجهی را در نحوه انجام فعالیت‌های علمی ایجاد کرد که در آن‌ها محققان به‌جای کارهای انفرادی مجبور بودند که همراه افراد دیگر در گروه‌های بزرگ‌تر فعالیت کنند و بدین‌طریق برای نخستین‌بار همکاری‌های بزرگ علمی ایجاد شدند. علم بزرگ به زیرساخت‌ها و پروژه‌های علمی‌ای اشاره دارد که با همکاری در مقیاس وسیع، تأمین مالی قابل‌توجه و فناوری‌های پیچیده مشخص می‌شوند. این نوع علم، سبکی از پژوهش علمی است که در جریان و پس از جنگ جهانی دوم شکل گرفت و ساختار و ماهیت‌بخش عمده‌ای از تحقیقات در فیزیک، نجوم و بعدها در علوم زیستی را ایجاد نموده است. علم بزرگ با استفاده از ابزارها و تأسیسات بزرگ پژوهشی شناخته می‌شود که با بودجه‌های بزرگ دولتی یا با پشتیبانی سازمان‌های بین‌المللی ایجاد می‌شود و در آن گروه‌های بزرگی از دانشمندان و مهندسان فعالیت می‌کنند [۲،۱]. در این نوشتار هدف ارائه چشم‌اندازی از مفهوم علم بزرگ، معرفی نمونه‌های مهم از ابرپروژه‌های علم بزرگ و اهمیت شرکت در این نوع پروژه‌ها برای پیشرفت‌های علمی و فناوری در کشور می‌باشد. همچنین در این مقاله به‌صورت خاص، با ارائه مفهوم علم برای دیپلماسی و اهمیت قابل‌توجه همکاری‌های علمی بزرگ در سطح جهانی، به‌عنوان قدرت نرم، در حل منازعات و عبور از بن‌بست‌های موجود در روابط بین‌الملل تأکید شده است.

۲. پیش‌زمینه و تکوین مفهوم علم بزرگ

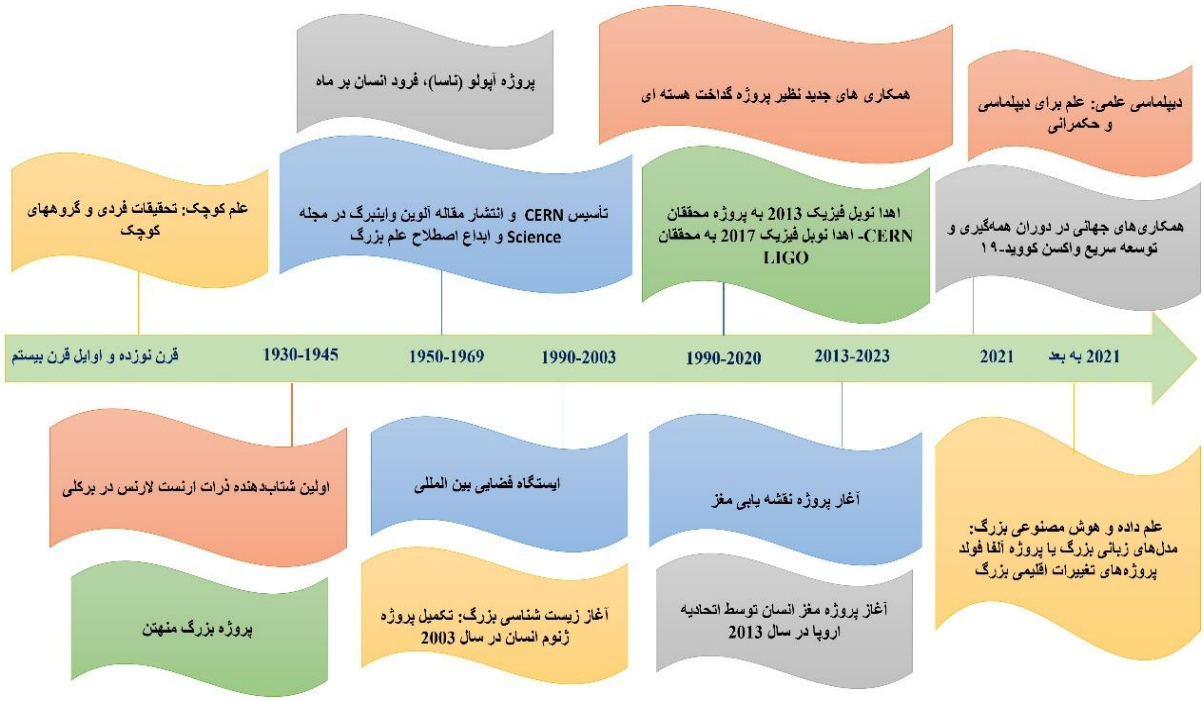
اصطلاح علم بزرگ نخستین‌بار در سال ۱۹۶۱ در مقاله‌ای با عنوان تأثیر علم در مقیاس بزرگ بر ایالات متحده آمریکا توسط آلوین واینبرگ[2]، فیزیک‌دان و مدیر آزمایشگاه ملی اوک ریج[3]، در نشریه ساینس ارائه شد [۳]. این مقاله علم بزرگ را به‌عنوان بخشی از اقتصاد سیاسی جدید علم که ناشی از جنگ جهانی دوم است، توصیف می‌کند. در این دوران، دولت آمریکا از پروژه‌های تحقیقاتی عظیمی همچون پروژه منهتن حمایت مالی می‌کرد. همچنین ابرپروژه‌های علمی با مقیاسی بزرگ نظیر شتاب‌دهنده‌های ذرات، کاوشگرهای فضایی و تلسکوپ‌ها از نظر اندازه، پیچیدگی و هزینه با پروژه‌های نهادهای نظامی و صنعتی رقابت می‌کنند و به‌شدت بلندپروازانه هستند. از این‌رو واینبرگ، استدلال می‌کند که این پروژه‌ها معادل معاصر اهرام مصر یا کلیساهای جامع گوتیک هستند. در همین راستا برخی کشورها شهرهای علمی جدیدی مانند اوک ریج در آمریکا، شهر علمی تسوکوبا[4] در ژاپن و شهر آکادم‌گورودوک[5] در اتحاد جماهیر شوروی را به‌منظور پشتیبانی از پژوهش علم بزرگ بنیان نهادند. برای پژوهشگران، ظهور علم بزرگ نشان‌دهنده دگرگونی دانشمند از یک محقق مستقل و منزوی به عضوی از یک گروه سلسله‌مراتبی بود [۲،۱]. دانشمندان در تأسیساتی مانند شتاب‌دهنده ذرات سرن[6]، خود را درگیر پروژه‌هایی می‌یافتند که صدها دانشمند، مهندس، تکنسین و مدیر را گردهم می‌آورد. افزایش توجه به علم بزرگ تا حدی تحت‌تأثیر جنگ سرد بین آمریکا و اتحاد جماهیر شوروی تشدید شد، زیرا هر دو طرف درگیر رقابتی برای برتری سیاسی و علمی بودند. در واقع شروع این رقابت که به نوعی برای برتری‌جویی در مسابقه فضایی بود، آمریکا را به توسعه برنامه آپولو سوق داد و این برنامه تلاشی ده‌ساله برای ارسال سفینه فضایی سرنشین‌دار به ماه بود. در ۲۰

[1] Manhattan project
[2] Alvin M. Weinberg
[3] Oak Ridge
[4] Tsukuba
[5] Akademgorodok
[6] The European Organization for Nuclear Research, abbreviated as CERN (from the French 'Conseil européen pour la Recherche Nucléaire' or European Council for Nuclear Research)

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

ژوئیه ۱۹۶۹، این برنامه با فرود آپولو۱۱ بر روی ماه به هدف خود دست یافت. هزینه این مأموریت حدود ۲۳ میلیارد دلار برآورد شده بود و این پروژه بیش از چهارصد هزار نفر را به کار می‌گرفت [۲]. به مرور این طرح‌های بزرگ علم‌وفناوری طی دهه‌های اخیر در رشته‌های مختلف نظیر فیزیک، زیست‌شناسی، زمین‌شناسی و اقلیم‌شناسی رشد قابل‌توجهی یافت و به یک رویکرد ثابت در فعالیت‌های علمی در سطح جهان تبدیل شد (شکل ۱).

درحالی‌که در تفکر گروهی کاوش علمی توسط خرد جمعی متخصصان هدایت می‌شود. از طرف دیگر، بر اساس نظر واینبرگ، ترویج رویکردهای مشارکتی و بزرگ‌مقیاس به معنای منسوخ شدن پژوهش‌های فردی نیست و جامعه علمی به توسعه هم‌زمان علم بزرگ و علم کوچک نیاز دارد و نباید یکی را به بهای حذف دیگری گسترش دهد [۴].



شکل ۱. جدول زمانی تکوین علم بزرگ. این جدول بیانگر رشد قابل‌توجه همکاری‌های علم بزرگ در طی صد سال اخیر است.

۳. علم بزرگ در برابر علم کوچک

علم از فعالیت‌های تقریباً انفرادی در قرن‌های گذشته، ابتدا به سمت همکاری‌های گروهی کوچک و در ادامه طی قرن بیست ویکم به‌سوی پروژه‌های بسیار بزرگ حرکت کرده است. بااین‌همه یکی از تضادها که با پیشرفت همکاری‌ها در علم بزرگ ایجاد شده است، تضاد بین علم کوچک یا تفکر فردی با علم بزرگ یا تفکر گروهی است. در علم کوچک خلاقیت محققان انفرادی که کم‌وبیش در انزوا کار می‌کنند، باعث تولید دانش و علم می‌شود؛

۴. تغییر پارادایم‌های غالب در علم

توماس کوهن[1]، فیزیک‌دان و فیلسوف علم، در سال ۱۹۶۲ استدلال کرده است که جامعه دانشگاهی اغلب همگن و محافظه‌کار است و محیطی پدید می‌آورد که ممکن است چندان برای نوآوری مساعد نباشد [۴]. او در کتاب انقلاب‌های علمی[2] نشان می‌دهد که تاریخ علم آکنده از دوره‌های خیزش فکری یا انقلاب‌های علمی است. کوهن همچنین مفهوم علم عادی[3] را مطرح می‌کند که به فعالیت‌های علمی درون یک پارادایم (چارچوب) حاکم اشاره

[1] Thomas Kuhn
[2] Scientific Revolutions
[3] Normal Science

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

دارد. در دوره‌های علم عادی، هدف پژوهش‌ها نه به چالش کشیدن چارچوب بنیادین پدیدآمده از آخرین انقلاب علمی، بلکه توسعه و بسط همان پارادایم موجود است [۵]. بااین‌حال، به گفته کوهن، پیشرفت واقعی علمی زمانی روی می‌دهد که پژوهشگران از مرزهای علم عادی فراتر روند و پارادایمی جدید ظهور کند که رضایت‌بخش‌تر از پارادایم پیشین باشد و مسیر جامعه علمی را تغییر دهد [۴]. ازاین‌رو به نظر می‌رسد، یکی از جنبه‌های اهمیت همکاری‌های علم بزرگ، همین امکانِ گذر از محافظه‌کاری‌های رایج در نظام‌های دانشگاهی، عبور از چارچوب‌های علم عادی و زمینه‌سازی برای انقلاب‌های علمی باشد. دستاوردهای حاصل از همکاری‌های علمی در مقیاس بزرگ شاید بتواند بحران‌هایی در پارادایم‌های کنونی علم ایجاد کنند و انقلاب‌های علمی تازه‌ای را رقم بزنند.

۵. انواع همکاری‌های علم بزرگ

پروژه‌های علم بزرگ را می‌توان در دو گروه علم بزرگ سنتی[1] و علم بزرگ متحول شده[2] قرار داد. در مدل سنتی، تمرکز عمدتاً بر «روش علمی» و کشف محض است، تا جایی که برخی منتقدان آن را صرفاً نمادهای فیزیکی دوران گذشته می‌دانند. اما در علم بزرگ متحول شده یا معاصر، ملاحظات مربوط به کاربرد نتایج در کنار تولید دانش جدید اهمیت ویژه‌ای یافته است. به‌عنوان نمونه، پروژه هایی مانند شتاب‌دهنده ذرات سرن یا پروژه تلسکوپ رصدخانه موج گرانشی تداخل‌سنج لیزری[3] (LIGO) مواردی از پروژه‌های علم بزرگ سنتی می‌باشند که هدف آنها تحقیقات پایه و تنها کشف حقایق محض علمی می‌باشد، درحالی‌که در پروژه‌هایی مانند رآکتور تجربی گداخت هسته‌ای بین‌المللی[4] (ITER) مثالی از پروژه‌های علم بزرگ متحول شده و جدید هستند که در آنها اهداف کاربردی بیشتر موردتوجه می‌باشد [۶].

شکل ۲. نمونه‌های از ابرپروژه‌های علم بزرگ (برگرفته از منبع [۸]).

۶. نمونه‌های مهم و تاریخ‌ساز از پروژه‌های علم بزرگ

در قرن حاضر همکاری‌ها و پروژه‌های علم بزرگ به‌شدت گسترش یافته‌است (شکل ۲). تقریباً در هر رشته علمی، از نجوم و حفظ محیط‌زیست گرفته تا توسعه دارو، ژنتیک، علوم اعصاب و فیزیک، محققان در حال سازمان‌دهی همکاری‌های بزرگ علمی برای دستیابی به اهداف کلان هستند [۷]. در این بخش به‌عنوان نمونه به

[1] Old Big Science
[2] Transformed Big Science
[3] The Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO)+Virgo
[4] International Thermonuclear Experimental Reactor

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

چند مورد از این همکاری‌های بزرگ علمی در رشته‌های فیزیک، نجوم و علوم زیستی اشاره می‌شود (شکل ۲).

۶-۱. برخی از پروژه‌های علم بزرگ در فیزیک

در اصل مفهوم علم بزرگ با تمرکز بر روی پروژه‌های فیزیک هسته‌ای مانند پروژه منهتن به وجود آمده است، به شکلی که آن را می‌توان با اصطلاح فیزیک بزرگ[1] نیز توصیف کرد. در واقع بیشتر همکاری‌های علم بزرگ روی موضوعات حوزه فیزیک شامل فیزیک هسته‌ای، اخترفیزیک و نجوم تعریف شده‌اند [۹]. در این بخش، ضمن اشاره به تعدادی از پروژه‌های فیزیک بزرگ، ابعاد و اهمیت این همکاری‌ها نیز موردتوجه قرار می‌گیرد.

۶-۱-۱. برخورددهنده بزرگ هادرونی در سازمان پژوهش‌های هسته‌ای اروپا (سرن)

برخورددهنده بزرگ هادرونی سرن یک شتاب‌دهنده حلقوی ذرات است که توسط سازمان اروپایی پژوهش‌های هسته‌ای (سرن) در زیرزمین و بین مرز فرانسه و سوئیس ساخته شده است. برخورددهنده بزرگ هادرونی از تقریباً ده‌هزار آهنربا برای شتاب دادن به ذرات تا نزدیکی سرعت نور استفاده می‌نماید. دانشمندان برخورد این ذرات را مشاهده می‌کنند تا ذرات بنیادی ماده را بشناسند. تکمیل این پروژه که با مشارکت چندین کشور بوده است، تقریباً بیست وپنج سال به طول انجامید و هزینه‌ای حدود ۱۰ میلیارد دلار داشت که به کشف بوزون هیگز (معروف به ذره خدا) در سال ۲۰۱۲ منجر شد [۱۰,۲]. همچنین جایزه نوبل فیزیک سال ۲۰۱۳ به دلیل کشف بوزون هیگز به محققان سرن اعطا گردید [۲].

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

ایجاد رصدخانه موج گرانشی تداخل‌سنج لیزری (لیگو) با کمک‌های مالی بنیاد ملی علم آمریکا پشتیبانی شده است. این رصدخانه در دو مکان مختلف در آمریکا ساخته شده است و برای آشکارسازی امواج گرانشی، انحناهای دور در ساختار فضا–زمان که توسط اجرام عظیم در فضا ایجاد می‌شوند، طراحی شده است. در سال ۲۰۱۵، لیگو نخستین شواهد از امواج گرانشی را که اولین‌بار توسط آلبرت اینشتین در سال ۱۹۱۶ پیش‌بینی شده بود، آشکار کرد. این رصدخانه از آن زمان تاکنون چندین کشف قابل‌توجه دیگر نیز انجام داده است [۱۰, ۲]. محققان رصدخانه لیگو در سال ۲۰۱۷ به‌خاطر کشفیات بسیار مهم با این تلسکوپ عظیم جایز نوبل فیزیک را دریافت نمودند [۱۱].

۶-۱-۳. پروژه بین‌المللی همجوشی یا گداخت هسته‌ای (ITER)

پیشنهاد اولیه تأسیس پروژه بین‌المللی گداخت هسته‌ای به‌عنوان یک دستاورد مهم از دیپلماسی علمی و باهدف کاهش تنش بین بلوک‌های شرق و غرب در جنگ سرد و طی دیدار رونالد ریگان رئیس‌جمهور وقت امریکا و میخاییل گورباچف رهبر حزب کمونیست اتحاد جماهیر شوروی در سال ۱۹۸۵ و در ژنو بین دو فیزیک‌دان از دو کشور مطرح گردید. این پروژه اکنون با مشارکت هفت عضو شامل آمریکا، روسیه، اتحادیه اروپا، چین، ژاپن،کره جنوبی و هند همچنان در حال تکمیل می‌باشد. پروژه بین‌المللی گداخت هسته، پروژه فوق‌العاده مهمی است که هدف آن دست‌یابی به فناوری تولید انرژی خورشیدی با استفاده از همجوشی هسته‌ای بر روی زمین است. برای همجوشی هسته‌ای برخلاف شکافت هسته‌ای، سوخت اولیه (دوتریم، ایزوتوپ‌های هیدروژن) بیشتری وجود دارد، انرژی نامحدودی ایجاد می‌کند و پسماند رادیواکتیو نیز ندارد. در واقع تولید انرژی از مسیر گداخت هسته‌ای یک روشی مهم برای تولید انرژی پاک محسوب می‌شود [۶].

۶-۲. برخی از پروژه‌های علم بزرگ در نجوم

۶-۲-۱. ایستگاه فضایی بین‌المللی[2] (ISS)

ایستگاه فضایی بین‌المللی آزمایشگاه فضایی چندملیتی و دارای خدمه دائمی است که تقریباً در ارتفاع ۴۰۰ کیلومتری بالای زمین در حال چرخش است. ایستگاه فضایی بین‌المللی نتیجه مشارکت پنج آژانس فضایی شامل ناسا[3] (آمریکا)، روسکاسموس[4] (روسیه)،

[1] Big Physics
[2] International Space Station (ISS)
[3] National Aeronautics and Space Administration (NASA)
[4] The State Corporation for Space Activities (Roscosmos)

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

اسا[1] (اروپا)، جاکسا[2] (ژاپن) و سی‌اس‌ای[3] (کانادا) می‌باشد [۶]. قطعات این ایستگاه فضایی برای نخستین‌بار در سال ۱۹۹۸ به مدار پرتاب شدند. این ایستگاه طی دهه اخیر فعالیت خود را باهدف انجام تحقیقات علمی در حوزه‌هایی مانند زیست‌پزشکی، فیزیک و علوم مواد، توسعه فناوری و همکاری‌های بین‌المللی آغاز کرده است. در واقع می‌توان گفت که ایستگاه فضایی بین‌المللی دستاوردی عظیم در مهندسی، دیپلماسی و علم است. این ایستگاه نتایج ارزشمندی درباره سکونت طولانی‌مدت در فضا ارائه داده است و مزایای علمی و پزشکی متعددی به همراه داشته است.

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

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

۶-۲-۳. مریخ‌نورد اگزومارس[4]

مریخ‌نورد اگزومارس با همکاری آژانس‌های فضایی اروپا و روسیه طراحی شده و هدف اصلی آن، همانند دیگر مریخ‌نوردها، از جمله مریخ‌نورد امریکایی «کنجکاوی[5]»، جستجوی نشانه‌های وجود حیات در مریخ بود [۱۲]. ده‌ها مؤسسه علمی و صنعتی از کشورهای اروپایی مختلف، به همراه روسیه، در طراحی و ساخت آن نقش داشته‌اند. اگزومارس حاصل بیش از دو دهه برنامه‌ریزی، توسعه فناوری و سرمایه‌گذاری چند میلیارد یورویی بوده است و علوم مختلف زمین‌شناسی، شیمی، زیست‌اخترشناسی، رباتیک، مهندسی فضایی و علوم داده همگی در این مأموریت به هم گره‌خورده بودند. لازم به ذکر است که پس از آغاز جنگ روسیه با اکراین، همکاری اروپا و روسیه در این پروژه متوقف گردید و پرتاب مریخ‌نورد اگزومارس نیز به تعویق افتاد. در واقع این پروژه نمونه‌ای خاصی از این واقعیت می‌باشد که علم بزرگ از سیاست جدا نیست. همچنین این توقف نشان داد که پروژه‌های علم بزرگ، علاوه بر چالش‌های علمی و فنی، به پایداری روابط بین‌الملل نیز وابسته هستند.

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

پیشنهاد دهنده اصطلاح علم بزرگ (واینبرگ) معتقد بود که پژوهش‌های زیست‌پزشکی نیز به دلیل هدف والای خود، یعنی از بین بردن دردهای بشری باید موردتوجه عمومی واقع شوند و حل مسائل پیچیده سلامت نیز نیاز به تلاش‌های متمرکز، هماهنگ و گسترده دارند. براین‌اساس مفهوم زیست‌شناسی بزرگ[6] در انتهای قرن بیستم با تأکید بر نوآوری با تعریف پروژه ژنوم انسانی به وجود آمد [۴,۱۳]. در این بخش به تعدادی از پروژه‌های زیست‌شناسی بزرگ اشاره می‌شود.

۶-۳-۱. پروژه ژنوم انسانی (HGP)

در سال ۱۹۸۸، مؤسسه ملی سلامت آمریکا[7] (NIH) با همکاری چند گروه بین‌المللی، شروع به تأمین بودجه‌ای برای توالی‌یابی یا نقشه‌برداری مولکول‌های تشکیل‌دهنده DNA انسانی کرد. به دلیل پیچیدگی رشته‌های DNA، انتظار می‌رفت تکمیل این پروژه بیش از پانزده سال طول بکشد؛ ولی محققان در بیش از بیست آزمایشگاه در سراسر جهان، پروژه را در سال ۲۰۰۳، دو سال زودتر از برنامه پیش‌بینی شده، به پایان رساندند [۲].

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

[1] European Space Agency (ESA)
[2] Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)
[3] Canadian Space Agency (CSA)
[4] ExoMars
[5] Curiosity
[6] Big Biology
[7] National Institutes of Health

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

تا اکنون در حوزه مطالعات مغز دو ابرپروژه تعریف شده است که از پیشروترین پروژه‌های زیست‌شناسی بزرگ به شمار می‌روند. نخستین طرح به نام پروژه تحقیقاتی مطالعه مغز از طریق فناوری‌های نوآورانه عصبی[1] (پروژه BRAIN) است که در سال ۲۰۱۳، باراک اوباما رئیس‌جمهور پیشین آمریکا در سخنرانی سالانه خود به آن اشاره کرد. بودجه پیش‌بینی شده برای این پروژه ۳ میلیارد دلار در طول ۱۰ سال بود که توسط سه آژانس فدرال و چندین سازمان غیرانتفاعی تأمین شد. هدف این پروژه، به گفته اوباما، گشودن راز آن یک‌ونیم کیلوگرم ماده‌ای بود که میان دو گوش ما جای گرفته است [۷]. این پروژه در واقع یک پروژه علمی بین‌المللی و در مقیاس بزرگ بوده است و هدف اصلی آن توسعه و به‌کارگیری ابزارها و فناوری‌های پیشرفته برای نقشه‌برداری از مدارهای مغز، اندازه‌گیری فعالیت در زمان واقعی و درک چگونگی فعال‌شدن تفکر، احساسات و رفتار توسط مغز است [۱۴].

از طرف دیگر در سال ۲۰۱۳ دومین طرح کلان علمی مربوط به مغز، یعنی پروژه مغز انسان[2] (HBP) به‌صورت همکاری علمی بزرگ و ده‌ساله (۲۰۲۳-۲۰۱۳) با بودجه ۱ میلیارد یورویی توسط اتحادیه اروپا آغاز گردید، که هدف آن ایجاد یک پلتفرم تحقیقاتی و فناوری بین‌رشته‌ای برای درک عملکرد مغز انسان است. رویکرد این پروژه تفاوت بنیادی با پروژه BRAIN دارد به‌طوری که تمرکز اصلی آن بر شبیه‌سازی دیجیتال و مدل‌سازی محاسباتی مغز با استفاده از ابررایانه‌ها بوده است. این پروژه تحت رهبری مدرسه پلی‌تکنیک فدرال لوزان[3] (EPFL) در سوئیس انجام شده است و در آن تعداد زیادی دانشمند از بیش از چندین دانشگاه و مؤسسه تحقیقاتی در اروپا و سراسر جهان شرکت داشته‌اند [۱۴,۱۵].

۶-۳-۳. پروژه پیشگویی ساختار پروتئین[4] (آلفافولد)

آلفافولد و پروژه‌های مربوط به پیشگویی ساختار پروتئین، به‌وضوح در دسته علم بزرگ قرار می‌گیرند، اما نه لزوماً به شکل کلاسیک آن نظیر شتاب‌دهنده سرن و یا پروژه همجوشی هسته‌ای. در واقع این یک الگوی جدید و مدرن از علم بزرگ است که با هوش مصنوعی و داده‌های بسیار بزرگ تعریف می‌شود. پیش‌بینی ساختار سه‌بعدی تمام پروتئین‌های شناخته‌شده (و ناشناخته) در طبیعت یک مسئله بنیادی و مهم در زیست‌شناسی است که دهه‌ها به‌صورت حل‌نشده باقی مانده بود. پروژه آلفافولد توسط DeepMind (یک زیرمجموعه گوگل) با سرمایه‌گذاری کلان در هوش مصنوعی پیشرفته انجام شد [۱۶]. این پروژه نیازمند صدها میلیون دلار هزینه در زیرساخت‌های محاسباتی، استخدام تیم‌های بین‌المللی از متخصصان زیست‌شناسی، علوم کامپیوتر، فیزیک و ریاضی بود. با استفاده از این مدل جای سال‌ها کار تجربی پرزحمت، اکنون می‌توان ساختار بسیاری از پروتئین‌ها را در چند ثانیه با دقت بالا پیش‌بینی کرد [۱۶]. در نهایت توسعه‌دهندگان آلفا فولد (جان جامپر و دمیس هاسابیس[5])، به‌خاطر دستاوردهای خود جایزه نوبل شیمی را در سال ۲۰۲۴ را دریافت نمودند.

۷. همکاری‌های علم بزرگ، الگوهایی برای حکمرانی و رهبری جهان

جوامع علمی در قالب همکاری‌های علم بزرگ از طریق تغییر در منافع محوری قدرت‌های بزرگ و اتحاد نهادهای مختلف حول اهداف مشترک، توانسته‌اند بر تنش‌های سیاسی غلبه نمایند. هیچ کشوری به‌تنهایی قادر به تأمین هزینه‌ها یا تحمل ریسک‌های این پروژه‌های عظیم نیست، بنابراین همکاری به یک ضرورت تبدیل می‌شود. این جوامع توانسته‌اند باوجود بحران‌های مالی (مانند بحران مالی ۲۰۰۸)، سیاسی (مانند جنگ کریمه در ۲۰۱۴) و فنی، به فعالیت خود ادامه دهند. موفقیت پروژه‌های علم بزرگ نشان می‌دهد که اگر بتوان همکاری‌های بین‌المللی را حول مأموریت‌های معنادار سازماندهی کرد و از رهبری و بودجه‌بندی هوشمندانه بهره برد، حتی رقبای سرسخت سیاسی نیز می‌توانند در کنار یکدیگر به دستاوردهای عظیم دست یابند. به‌عنوان‌مثال همکاری تاریخی کشورهای رقیب آمریکا و اتحاد جماهیر شوروی (در جنگ سرد)، در ابرپروژه‌هایی مانند پروژه جهانی گداخت هسته‌ای و پروژه تأسیس ایستگاه فضایی بین‌المللی بسیار قابل‌توجه می‌باشد. در واقع، نهادهای بین‌المللی و سیاست‌مداران می‌توانند از مدل‌های جوامع علمی برای مدیریت جهان چندقطبی استفاده کنند. در

[1] Brain Research through Advancing Innovative Neuro technologies
[2] Human Brain Project
[3] Swiss Federal Technology Institute of Lausanne
[4] AlphaFold
[5] John Jumper & Demis Hassabis

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

حقیقت این الگوهای موفق می‌توانند به‌عنوان راهکاری برای حل چالش‌های پیچیده در سایر حوزه‌های روابط بین‌الملل مورداستفاده قرار گیرند. طرح‌های علم بزرگ می‌توانند به‌عنوان الگوهایی برای حکمرانی و رهبری جهانی موردتوجه قرار گیرد و از آنها می‌توان به‌عنوان رویکردها و چشم‌اندازهایی برای عبور از بن‌بست‌های جهانی[1] استفاده کرد [۶].

۸. دیپلماسی علمی و همکاری‌های علم بزرگ

دیپلماسی علمی را می‌توان در سه حوزه شامل علم در دیپلماسی[2] که نقش مشورتی علم در سیاست‌گذاری را برجسته می‌کند؛ دیپلماسی برای علم[3] که بر تسهیل همکاری‌های علمی بین‌المللی تمرکز دارد؛ و علم برای دیپلماسی[4] که از همکاری علمی به‌عنوان ابزاری برای بهبود روابط بین‌الملل استفاده می‌کند، تقسیم کرد (شکل ۳) [۶,۱۷]. تأکید ما در اینجا، در بحث همکاری‌های علم بزرگ، بر تعریف سوم دیپلماسی علمی، یعنی «علم برای دیپلماسی» و بهبود روابط بین کشورها است.

در واقع همکاری‌های علم بزرگ مانند پروژه بین‌المللی گداخت هسته‌ای و ایستگاه فضایی بین‌المللی نشان دادند که اگر ابرپروژه‌ها به‌عنوان زیرساخت جهانی دانش و نه ابزار قدرت ملی تعریف شوند، حتی کشورهایی با تعارض ژئوپلیتیک شدید می‌توانند در سطح علمی همکاری پایداری داشته باشند [۶]. به‌عنوان نمونه، در دوره‌های تنش شدید سیاسی (مثلاً بعد از ۲۰۱۴ و حتی پس از سال ۲۰۲۲ در جنگ اکراین)، همکاری فضانوردان آمریکا و روسیه در ایستگاه فضایی بین‌المللی یا همکاری فیزیک‌دان‌ها و مهندسان روسی با پژوهشگران اروپایی و آمریکایی در پروژه بین‌المللی گداخت هسته‌ای همچنان ادامه دارد. اعضای پروژه‌های علم بزرگ مانند پروژه بین‌المللی گداخت هسته‌ای و ایستگاه فضایی بین‌المللی را می‌توان جوامع معرفتی[5] دانست. بر اساس تعریف پیتر هاس[6](دیپلمات آمریکایی) جوامع معرفتی شبکه‌هایی از متخصصان با دانش تخصصی معتبر در یک حوزه و اثرگذار بر سیاست‌گذاری می‌باشند. این نوع جوامع فقط گروه‌هایی از پژوهشگران شناخته نمی‌شوند؛ بلکه جوامعی هستند که دانش آن‌ها در تصمیم‌های کلان دولتی و بین‌المللی اثر می‌گذارد و در واقع آن‌ها محصول درهم‌تنیدگی عوامل علمی، فنی، اقتصادی و سیاسی هستند. تعریف مرزهای این جوامع دشوار است و باگذشت زمان تغییر می‌کند. باوجود ناپایداری نهادی این جوامع، آنها توانسته‌اند همکاری‌های پایدار ایجاد کنند و از طریق قدرت نرم علم، به تثبیت و بهبود روابط بین دولت‌ها کمک نمایند. در واقع، همکاری‌های علم بزرگ می‌توانند به‌عنوان ابزار پرپتانسیل قدرت نرم در روابط بین‌الملل تبدیل شوند [۶].

۹. علم بزرگ در ایران

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

[1] Global Gridlock
[2] Science in Diplomacy
[3] Diplomacy for Science
[4] Science for Diplomacy
[5] **Epistemic Community** در مفهوم علم بزرگ جامعه معرفتی به شبکه‌ای از متخصصان، دانشمندان و کارشناسان در یک حوزه موضوعی: خاص گفته می‌شود که بر اساس دانش، ارزش‌های مشترک و تعاریف یکسان از یک مشکل یا یک حوزه علمی با یکدیگر همکاری می‌کنند.
[6] Peter Haas

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

بر جامعه علمی ایران تحمیل شده است، مشارکت دانشمندان ایرانی را در پروژه‌های بین‌المللی علم بزرگ به‌شدت محدود کرده است. دسترسی دانشمندان کشور به زیرساخت‌های علم بزرگ برای ارتقای سطح علمی، فناوری و توسعه پایدار ایران ضروری است و محدود شدن این دسترسی‌ها، به‌ویژه در بلندمدت، می‌تواند آثار منفی متعددی به همراه داشته باشد. از جمله این آثار منفی می‌توان به کاهش توان تحقیقاتی و نوآوری کشور، ضعف رقابت‌پذیری در حوزه‌های علم‌وفناوری، فرار مغزها، کندی توسعه صنعتی و اقتصادی و کاهش همکاری‌های بین‌المللی اشاره کرد. باوجودآنکه در برخی موارد دسترسی و همکاری با زیرساخت‌های علم بزرگ، نظیر شتاب‌دهنده سرن و چشمه نور سزامی[1] در اردن، فراهم شده است [۱۷,۱۹]، این دسترسی‌ها علاوه بر آنکه با مشکلاتی همراه بوده‌اند، تنها به بخش کوچکی از جامعه علمی ایران محدود شده‌اند و نمی‌توان انتظار آثار و نتایج گسترده‌ای از آن‌ها داشت.

با توجه به روند رو به رشد همکاری‌های بین‌المللی علمی در مقیاس بزرگ در جهان، ضروری است که دستگاه دیپلماسی کشور و نمایندگی‌های علمی ایران در سراسر جهان، شرایطی را فراهم کنند تا جامعه علمی ایران از فرصت همکاری‌های بین‌المللی بیشترین بهره را ببرد. مشارکت در ابرپروژه‌های بین‌المللی نه‌تنها به رشد جامعه علمی کشور کمک می‌کند، بلکه از منظر دیپلماسی علمی نیز می‌تواند در حل مسائل بین‌المللی و عبور از محدودیت‌های موجود راهگشا باشد. همچنین، با حضور فعال در چنین طرح‌هایی این امکان را فراهم می‌کند که دیپلمات‌های علمی کشور از ظرفیت قدرت نرم علمو فناوری برای کاهش تنش‌ها و تقویت گفت‌وگوهای بین‌المللی بهره‌برداری نمایند.

۱۰. سخن پایانی

با نگاهی به گذشته می‌توان دریافت که روندها و زیرساخت‌های حوزه علم در گذر زمان دچار تحول و دگرگونی‌های چشمگیری شده‌اند. در دوران باستان، مراکز علمی و آموزشی غالباً در نزدیکی یا پیرامون کتابخانه‌ها شکل می‌گرفتند؛ ازاین‌رو، گردآوری کتاب‌ها و منابع مکتوب، اولویت اصلی جهت تأسیس مراکز علمی آن دوران به شمار می‌رفته است. از کتابخانه آشوربانی‌پال[2] امپراتورآشوری که به‌عنوان نخستین کتابخانه جهان شناخته می‌شود، تا کتابخانه‌های آکادمی‌های باستانی مانند اسکندریه و گندی‌شاپور، و بعدها بیت‌الحکمه بغداد، همگی بستر پیدایش مراکز علمی، آموزشی و پژوهشی برجسته دوران خود بوده‌اند. اهمیت جمع‌آوری و تسهیل دسترسی پژوهشگران و دانشمندان به کتب و نشریات فیزیکی تا پیش از ظهور اینترنت همچنان پابرجا بود، اما امروزه جایگاه گذشته خود را تا حدی ازدست‌داده است. علاوه بر این، در دنیای معاصر بسیاری از مراکز علمی معتبر به‌جای اولویت‌دادن به ایجاد کتابخانه بزرگ، در نزدیکی یا اطراف تأسیسات پژوهشی علم بزرگ بنا می‌شوند. همچنین تحقیقات دانشمندان و پژوهشگران که زمانی به‌صورت انفرادی یا در قالب گروه‌های کوچک انجام می‌شد، با پیدایش این تأسیسات به گروه‌های بزرگ بین‌المللی با سلسله‌مراتب تبدیل شده است. ازاین‌رو هماهنگی کشورها با این تغییرات باعث ایجاد اکوسیستم علمی و فناوری پویا و رقابتی می‌شود که به ارتقای آموزش و پژوهش، افزایش اعتبار و جایگاه بین‌المللی کمک می‌کند و در بلندمدت نیز به توسعه پایدار و بهبود کیفیت زندگی منجر خواهد شد. بنابراین، ضروری است با سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی هدفمند، شرایط حضور و مشارکت دانشمندان و محققان ایرانی در تأسیسات علم بزرگ جهان فراهم شود. همچنین باید برای ایجاد و توسعه چنین تأسیساتی در داخل کشور تلاش و برنامه‌ریزی کرد تا ضمن جبران محدودیت‌ها و عقب‌ماندگی‌های چند دهه گذشته، جایگاه کشور در عرصه علوم و فناوری را در سطحی رقابتی با قدرت‌های علمی و فناوری جهان ارتقا داد.

وبگاه‌های رجوع‌شده

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

[1] Sesame
[2] Ashurbanipal

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

منابع

Reference

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

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

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

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

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

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

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

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

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

[10]. D. Reitze, A.R. Duffy, J. Gilbert, M. Casali, E. Barberio, S. Liyanage, (2024). The evolution of astrophysics towards big science: Insights from the innovation landscape, Big Sci. Innov. Soc. Contrib. Organ. Collab. Big Sci. Exp., pp.185–219. https://doi.org/10.1093/oso/9780198881193.003.0009.

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

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

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

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

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

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

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

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

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