

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

Farid Nasiri¹, Reza Yousefi^{*,1}

Article Info

Article type:

Popularization of
Science

Article history:

Receive Date:

4 February 2026

Revise Date:

6 February 2026

Accept Date:

11 February 2026

Available online:

6 May 2026

Keywords:

Big science

Big scientific advances

Science diplomacy

Epistemic communities

Joint ventures.

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

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



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Corresponding Author. Professor. Tel: +982161113378, Fax: +982166404680, E-mail: Yousefi.reza@ut.ac.ir

¹ Institute of Biochemistry and Biophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

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

فرید نصیری^۱، رضا یوسفی^{۱*}

چکیده

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

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت

۱۵ بهمن ۱۴۰۴

تاریخ بازنگری

۱۷ بهمن ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش

۲۲ بهمن ۱۴۰۴

تاریخ انتشار

۱۶ اردیبهشت ۱۴۰۵

کلیدواژه ها:

علم بزرگ

پیشرفت های بزرگ علمی

دیپلماسی علمی

جوامع معرفتی

سرمایه گذاری های مشترک

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



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

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

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

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

۱. مقدمه

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

۲. پیش زمینه و تکوین مفهوم علم بزرگ

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

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

¹ Manhattan project

² Alvin M. Weinberg

³ Oak Ridge

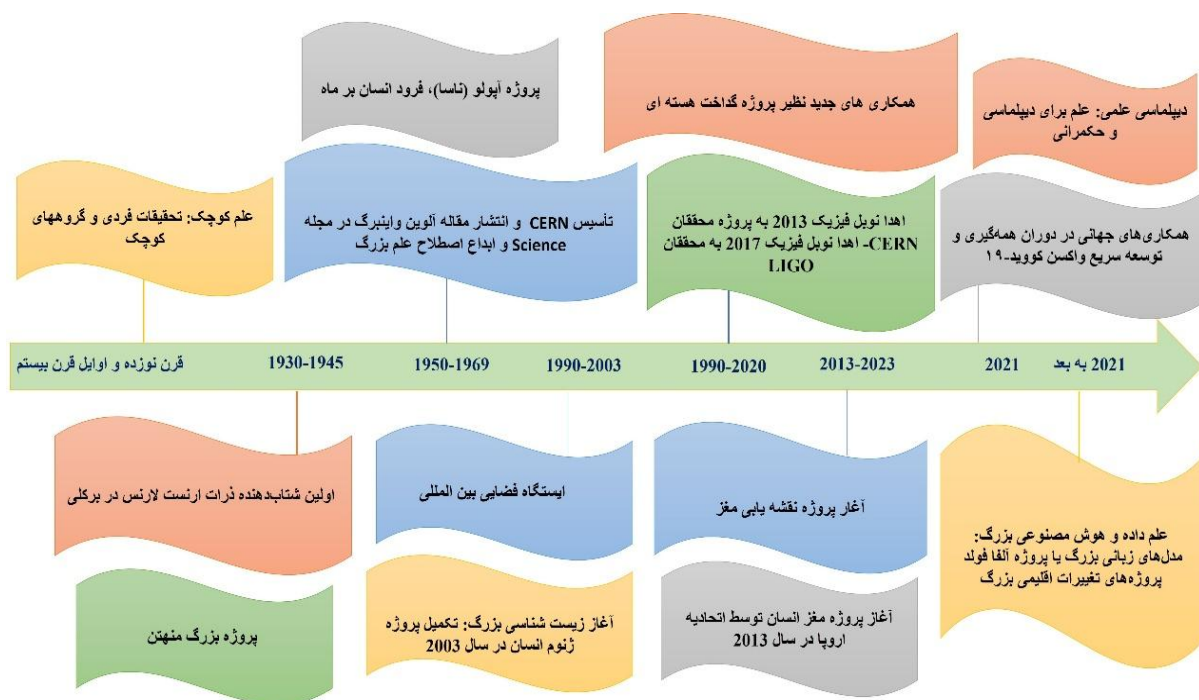
⁴ Tsukuba

⁵ Akademgorodok

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

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

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



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

۳. علم بزرگ در برابر علم کوچک

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

۴. تغییر پارادایم های غالب در علم

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

¹ Thomas Kuhn

² Scientific Revolutions

³ Normal Science

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



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

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

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

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

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

۵. انواع همکاری های علم بزرگ

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

^۱ Old Big Science

^۲ Transformed Big Science

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

^۴ International Thermonuclear Experimental Reactor

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

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

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

۱-۱-۶. برخورددهنده بزرگ هادرونی در سازمان پژوهش های هسته ای اروپا (سرن)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

^۱ Big Physics

^۲ International Space Station (ISS)

^۳ National Aeronautics and Space Administration (NASA)

^۴ The State Corporation for Space Activities (Roscosmos)

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

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

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

۶-۲-۳. مریخ‌نورد اگزومارس^۴

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

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

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

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

۶-۳-۱. پروژه ژنوم انسانی (HGP)

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

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

^۱ European Space Agency (ESA)

^۲ Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)

^۳ Canadian Space Agency (CSA)

^۴ ExoMars

^۵ Curiosity

^۶ Big Biology

^۷ National Institutes of Health

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

۷. همکاری های علم بزرگ، الگوهایی برای حکمرانی و

رهبری جهان

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

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

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

^۱ Brain Research through Advancing Innovative Neuro technologies

^۲ Human Brain Project

^۳ Swiss Federal Technology Institute of Lausanne

^۴ AlphaFold

^۵ John Jumper & Demis Hassabis

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

۹. علم بزرگ در ایران

رصدخانه مراغه که در قرن سیزدهم میلادی و در دوران ایلخانان مغول توسط خواجه نصیرالدین طوسی، دانشمند برجسته ریاضی و نجوم تأسیس شد، برای زمان خود یک زیرساخت بزرگ و باشکوه علمی به شمار می‌رفت. این رصدخانه محلی بود که در آن دانشمندانی با ملیت‌های مختلف به فعالیت‌های گروهی مشترک می‌پرداختند. از این‌رو، شاید بتوان رصدخانه مراغه را با زیرساخت‌های علم بزرگ در دنیای مدرن مقایسه کرد. در زمان حاضر نیز یکی از مهمترین زیرساخت‌های علم بزرگ در کشور طرح چشمه نور یا شتابگر ملی ایران است. چشمه نور ایران یک سینکروترون نسل ۳ است که در راستای تحقق چشم‌انداز و اهداف کلان ملی و به‌منظور ایجاد نخستین آزمایشگاه بزرگ‌مقیاس برای پژوهش‌های رشته‌های متنوع علمی و بخش صنعت ایران، در شهر قزوین در حال احداث است [۱۸].

با این حال، نیاز جامعه علمی و صنعتی ایران تنها با یک یا چند زیرساخت بزرگ علمی تأمین نخواهد شد. بنابراین، علاوه بر مشارکت فعال در میزبانی برخی تأسیسات بین‌المللی علم بزرگ، ضروری است دسترسی رسمی و قانونی دانشمندان و پژوهشگران ایرانی به زیرساخت‌های علمی بزرگ جهان فراهم و مشارکت آن‌ها نیز تسهیل گردد. در چند دهه گذشته، محدودیت‌های فراوانی که

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

۸. دیپلماسی علمی و همکاری‌های علم بزرگ

دیپلماسی علمی را می‌توان در سه حوزه شامل علم در دیپلماسی^۲ که نقش مشورتی علم در سیاست‌گذاری را برجسته می‌کند؛ دیپلماسی برای علم^۳ که بر تسهیل همکاری‌های علمی بین‌المللی تمرکز دارد؛ و علم برای دیپلماسی^۴ که از همکاری علمی به عنوان 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 به عنوان زیرساخت جهانی دانش و نه ابزار قدرت ملی تعریف شوند، حتی کشورهایی با تعارض ژئوپلیتیک شدید می‌توانند در سطح علمی همکاری پایدار داشته باشند [۶]. به عنوان نمونه، در دوره‌های تنش شدید سیاسی (مثلاً بعد از ۲۰۱۴ و حتی پس از سال ۲۰۲۲ در جنگ اکرین)، همکاری فضانوردان آمریکا و روسیه در ایستگاه فضایی بین‌المللی یا همکاری فیزیکدان‌ها و مهندسان روسی با پژوهشگران اروپایی و آمریکایی در پروژه بین‌المللی گداخت هسته‌ای همچنان ادامه دارد. اعضای پروژه‌های علم بزرگ مانند پروژه بین‌المللی گداخت هسته‌ای و ایستگاه فضایی بین‌المللی را می‌توان جوامع معرفتی^۵ دانست. بر اساس تعریف پتر هاس^۶ (دیپلمات آمریکایی) جوامع معرفتی شبکه‌هایی از متخصصان با دانش تخصصی معتبر در یک حوزه و اثرگذار بر

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

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

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

۱۰. سخن پایانی

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

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

وبگاه های رجوع شده

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

^۱ Sesame

^۲ Ashurbanipal

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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