فصلنامه
سیاست‌نامهٔ علم و فناوری
دورهٔ ۱۲، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۴۰۱

مقالـهٔ مــروری
صفحات ۶۹-۸۵

مروری بر مأموریت‌ها و دستاوردهای مهم آزمایشگاه‌های ملی ایالات‌متحدهٔ امریکا

20.1001.1.24767220.1401.12.3.3.2

رضا یوسفی[۱]

چکیده

دشواری مطالعات، امکانات و تخصص‌های پراکنده در سطح دانشگاه‌ها و مراکز صنعتی به‌منظور پاسخگویی به نیازهای جدی و یا برای غلبه بر مشکلات بزرگ سرآغاز پیدایش آزمایشگاه‌های ملی بود. اگرچه آزمایشگاه‌های ملی در سراسر دنیا و به‌ویژه در کشورهای پیشرفته ایجاد شده است، ایالات‌متحدهٔ امریکا از حدود ۷۵ سال پیش اقدام به تشکیل هفده آزمایشگاه ملی در سراسر کشور کرد که تأثیر مهمی در تحولات علمی و فناوری آن کشور داشتند. هدف از این نوشتار بررسی تأثیر آزمایشگاه‌های ملی هفده‌گانهٔ امریکا در گسترش علم و فناوری، مأموریت‌ها و دستاوردهای مهم آن‌هاست. آزمایشگاه‌های ملی هفده‌گانهٔ امریکا محل فعالیت دانشمندان برجسته، مهندسان نخبه، کادر فنی ماهر و محل استقرار تجهیزات و امکانات پیشرفته و گران‌قیمتی است که تهیه و تکرار آن‌ها نیز از توان دانشگاه‌های آن کشور خارج است. دانشمندان آزمایشگاه ملی امریکا نه‌تنها تاکنون مفتخر به دریافت بیش از ۸۰ جایزهٔ نوبل شده‌اند، بلکه در مواردی دستاوردهای آن‌ها نیز سرنوشت برخی جنگ‌ها را تغییر داده است و سبک زندگی و نحوهٔ تعامل جدیدی را برای جامعهٔ بشری به ارمغان آورده است. آزمایشگاه‌های ملی آن کشور علاوه‌بر پرداختن به مأموریت‌های مهمی که در حوزه‌های علم و فناوری بر عهده دارند، پروژه‌های دانشگاهی و صنعتی را پشتیبانی می‌کنند، در پرورش نسل بعدی دانشمندان و مهندسان برجسته مشارکت دارند، به دولت و بنگاه‌های مختلف در شرایط اضطراری کمک می‌کنند در انتقال فناوری به بخش‌های صنعتی و بازار فعال‌اند، به پیشرفت علوم بنیادی و تلفیق آن با حوزه‌های فناوری متعهدند و منابع و راه‌حل‌های مهمی برای مقابله با مشکلات ملی و بین‌المللی فراهم می‌کنند.

واژگان کلیدی: آزمایشگاه ملی مأموریت‌گرا، علم و فناوری، دانشمندان برجسته، تجهیزات و امکانات پیشرفته، تسهیلات کاربر ملی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۱

۱. استاد بیوشیمی مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران؛ yousefi.reza@ut.ac.ir

مقدمه

سرآغاز پیدایش آزمایشگاه‌های ملی که حاصل سرمایه‌گذاری عظیم در تحقیقات علمی و فناوری است به بحبوحهٔ جنگ جهانی دوم برمی‌گردد. در سال ۱۹۴۳ و چهار سال پس از آغاز جنگ جهانی دوم فعالیت آزمایشگاه لوس آلاموس[1] با هدف پاسخگویی به نیازهای نظامی و انجام پروژهٔ منهتن[2] آغاز شد(Goldwhite, 1986). درواقع دشواری مطالعات مقدماتی پراکنده در دانشگاه‌های سراسر آن کشور به تصمیم‌گیرندگان امریکایی نشان داد که برای رسیدن به چنین هدفی نیاز به ایجاد تشکیلات مستقلی است که تجهیزات و فعالیت‌های آن در خدمت این هدف مهم به کار گرفته شود. برای نیل به چنین هدفی دانشمندان برجسته و تعداد بسیاری از برندگان جایزهٔ نوبل برای کار به سرپرستی دانشمند آلمانی‌تبار امریکایی، رابرت اوپنهایمر،[3] که فیزیکدان نظری و استاد دانشگاه برکلی بود، دعوت شدند. دانشمندان و مهندسان پروژهٔ مذکور طی ۲۷ ماه به دستاورد و محصول نهایی دست یافتند. این آزمایشگاه که در اول ژانویهٔ سال ۱۹۴۷ رسماً آزمایشگاه لوس آلاموس نامیده شده بود در سال ۱۹۸۱ به آزمایشگاه ملی لوس آلاموس[4] تغییر نام داد (Argonne National Laboratory, n.d.). ازاین‌رو آرگون که آزمایشگاهی چندمنظوره در حوزهٔ علوم و انرژی است و تحت‌مدیریت دانشگاه شیکاگو اداره می‌شود اولین آزمایشگاه ملی ایالات‌متحدهٔ امریکاست که در سال ۱۹۴۶ تأسیس شده است (The National Laberatories, n.d.). در سال ۱۹۵۲، آزمایشگاه ملی لارنس لیورمور[5] نیز تأسیس شد تا «رقیب» لوس آلاموس باشد با این امید که رقابت تنگاتنگ این دو آزمایشگاه باعث خلق نوآوری‌های مهمی شود. با پایان جنگ سرد و با تغییر شرایط سیاسی و بین‌المللی در هر دو آزمایشگاه تمرکز بیشتر بر مأموریت‌های غیرنظامی معطوف شد (U. S. Department of Energy, 2020). در دههٔ ۱۹۵۰ لوس آلاموس با گسترش تجهیزات فلوسیتومتری که در مطالعات پزشکی اهمیت دارد دستاوردهای مهمی را به جهان عرضه کرد. در سال ۲۰۰۸ نیز دانشمندان آزمایشگاه ملی لوس آلاموس از امواج صوتی برای تشخیص دقیق غده‌های کوچک سرطان پستان که ماموگرافی سنتی نمی‌توانست آن‌ها را تشخیص دهد به‌خوبی بهره بردند. همچنین در سال ۲۰۱۰ دانشمندان بیوفیزیک این آزمایشگاه سه واکسن مهم علیه ویروس نقص ایمنی انسانی ساختند که جامعهٔ علمی را برای مقابلهٔ مؤثر با ویروس ایدز امیدوار کرد. در سال ۲۰۱۷ نیز پژوهشگران آزمایشگاه ملی لوس آلاموس دستاورد مهمی در گسترش سوخت‌های زیستی ارزان‌تر و تمیزتر و تولید انرژی تجدیدپذیر کسب کردند. همچنین دانشمندان این آزمایشگاه در تولید نوع خاصی از هواپیما که تهدیدهای زیستی را از آسمان تشخیص می‌دهد سهم مهمی داشتند. امروزه آزمایشگاه ملی لوس آلاموس که در گستره‌ای حدود ۵۵۰۰هکتاری بنا شده است به یکی از مراکز علمی و فناوری بزرگ جهان تبدیل شده است که در حوزه‌های مختلفی همچون امنیت ملی، اکتشافات فضایی، همجوشی هسته‌ای، انرژی‌های تجدیدپذیر، پزشکی، فناوری نانو و ابررایانه فعالیت‌های چشمگیری دارد. همچنین در شرایط حاضر آزمایشگاه ملی لوس آلاموس بزرگ‌ترین مرکز علمی و فناوری در شمال نیومکزیکو و یکی از کارفرمایان مهمی است که تقریباً ۸۷۶۲ عضو ثابت تمام‌وقت، ۱۶۱۳ دانشجو، ۴۵۲ پژوهشگر پسادکتری، ۵۰۵ پیمانکار، ۱۱۴۳ کارگر و ۲۷۷ نیروی نگهبان دارد. علاوه‌براین، حدود ۱۲۰ کارمند وزارت نیرو[6] نیز در این آزمایشگاه مستقرند تا وظیفهٔ نظارتی دولت فدرال را بر فعالیت‌های آن اعمال کنند (Bin-Nun et al., 2017). تقریباً یک‌سوم اعضای کادر متخصص آزمایشگاه ملی لوس آلاموس فیزیکدان، یک‌چهارم آن مهندس، یک‌ششم شیمیدان و دانشمند علم مواد و بقیه دانشمندان و متخصصان حوزه‌های ریاضی و علوم محاسباتی، زیست‌شناسی، علوم زمین و سایر رشته‌ها هستند. همچنین آزمایشگاه ملی لوس آلاموس سالانه میزبان دانشمندان و دانشجویان بسیاری است که بازدیدکننده‌اند و یا با هدف مشارکت در پروژه‌های علمی به آنجا سفر می‌کنند. در تاریخ ۱ژوئن۲۰۰۶ نیز دانشگاه کالیفرنیا پس از شصت سال مشارکت مستقیم و روابط پرفرازونشیب در سرپرستی آزمایشگاه ملی لوس آلاموس مدیریت آن را به شرکتی خصوصی واگذار کرد که در سال ۲۰۱۶ بودجهٔ سالانهٔ این آزمایشگاه حدود ۲/۲ میلیارد دلار بود (Bin-Nun et al., 2017).

هدف از تشکیل آزمایشگاه‌های ملی

آزمایشگاه‌های ملی هفده‌گانهٔ ایالات‌متحدهٔ امریکا در ابتدا با هدف تأمین نیازی فوری و یا بلندمدت در حوزهٔ امنیت ملی، صنعتی و یا علمی ایجاد شدند که انجام‌دادن آن از توان دانشگاه‌ها و یا صنعت به‌تنهایی خارج بود. به‌مرور حوزهٔ فعالیت آن‌ها گسترش یافت و اینک تجهیزات مهم و سرمایه‌های انسانی ارزشمندی را فراهم کرده‌اند که به نیازهای اساسی در حوزه‌های مختلف علم و فناوری پاسخ می‌دهد. این آزمایشگاه‌ها که با آینده‌نگری و درنظرگرفتن ملاحظات جدی در گستره‌های جغرافیایی وسیع بنا شده‌اند محل فعالیت دانشمندان و مهندسان بخش‌های دولتی و صنعتی و کادر فنی ماهر و محل استقرار

1. *Los Alamos*

۲. پروژهٔ تولید اولین بمب‌های اتمی در بحبوحهٔ جنگ جهانی دوم

3. *Robert Oppenheimer*

4. *Los Alamos National Laboratory (LANL): https://www.lanl.gov*

5. *Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL)*: https://www.llnl.gov/

6. Department of Energy (DOE)

تجهیزات تخصصی و امکانات تحقیقاتی پیشرفته‌ای هستند که نظیر برخی از آن‌ها در جای دیگری یافت نمی‌شود. در آزمایشگاه‌های ملی، دانشمندان و مهندسان در حال گسترش فناوری‌های جدید انرژی، پیشبرد مرزهای دانش، محافظت از امنیت ملی، ایجاد صنایع جدید و پرورش نسل بعدی دانشمندان و مهندسان‌اند که استمرار مرجعیت جهانی آن کشور در علم و نوآوری را تضمین می‌کند. امکانات کم‌نظیر و پیشرفته‌ای که در این آزمایشگاه‌ها وجود دارد هم پروژه‌های دانشگاهی و هم صنعتی را پشتیبانی می‌کند (Cohen and Noll, 1993; Scarràand Piccaluga, 2020; National Laboratory Directors' Council, 2021). همچنین دولت امریکا و بنگاه‌های مختلف آن کشور در شرایط اضطراری برای حل مشکلات به آزمایشگاه‌های ملی رجوع می‌کنند و این آزمایشگاه‌ها محل خلق فناوری‌های مهم، نافذ و تأثیرگذار و تولیدات علمی فاخری هستند که به علم بزرگ معروف‌اند[1] (Scarrà and Piccaluga, 2020). در این آزمایشگاه‌ها دانشمندان نخبه و پیشرو و آنچه مغزهای طلایی[2] خوانده می‌شود از سراسر جهان جذب می‌شوند و به مهم‌ترین تجهیزات با فناوری بالا دسترسی پیدا می‌کنند. اغلب آزمایشگاه‌های ملی امریکا علاوه‌بر خلق فناوری و انتقال آن به بخش‌های صنعتی و بازار در حوزهٔ علوم و به‌ویژه علوم پایه به‌شدت فعال و پیشروند، زیرا سیاست‌گذاران علمی آن کشور بر این باورند که بدون تقویت جایگاه علوم پایه امکان پرورش دانشمندان و مهندسان برجسته در حوزهٔ فناوری وجود ندارد. در همین راستا در کنار اکتشافات بزرگ علمی، نوآوری در عرصهٔ فناوری‌های مهم و ارائهٔ خدمات پژوهشی به دانشگاه‌ها و بخش‌های صنعتی، از دیگر تعهدات اساسی آزمایشگاه‌های ملی امریکا آموزش‌وپرورش نسل بعدی دانشمندان و مهندسان پیشرو است (National Laboratory Directors' Council, 2021).

دستاوردهای برجستهٔ آزمایشگاه‌های ملی طی هفت دههٔ گذشته

بیش از هفتاد سال است که آزمایشگاه‌های ملی امریکا از نهادهای برجستهٔ نوآوری در علم و فناوری‌اند که به این کشور خدمت می‌کنند. آزمایشگاه‌هایی که در آغاز با اهداف امنیت ملی تشکیل شدند اینک به گل سرسبد تحقیق و توسعه در حوزه‌های مختلف تبدیل شده‌اند. هفده آزمایشگاه ملی وزارت نیروی امریکا با مشکلات مهمی مقابله می‌کنند که اغلب حل آن‌ها به‌تنهایی از توان بخش‌های صنعتی و دانشگاه‌ها خارج است و در این راستا تاکنون حل معضلات اساسی را در کارنامهٔ خود دارند. از مبارزه با تغییرات آب‌وهوایی گرفته تا توضیح علمی منشأ پیدایش جهان و تولید تجهیزات و امکانات منحصربه‌فرد، همگی از دستاوردهای آزمایشگاه‌های ملی آن کشور بوده است. این آزمایشگاه‌ها اغلب با رویکردی چندمنظوره[3] که بر ترجمهٔ علوم پایه به نوآوری تأکید دارد قدرت علمی و فناوری امریکا هستند که با برخی از مشکلات بزرگ جهانی مقابله می‌کنند. طی هفتادوپنج سال گذشته آزمایشگاه ملی وزارت نیروی امریکا در خلق اکوسیستم نوآوری و انجام تحقیقات پیشرو سهم فراوانی داشته است (U.S. Depart-ment of Energy, 2020). دانشمندان آزمایشگاه ملی نه‌فقط مفتخر به دریافت بیش از هشتاد جایزهٔ نوبل شده‌اند، بلکه دستاوردهایشان سرنوشت برخی جنگ‌ها را نیز تغییر داده است و سبک زندگی و نحوهٔ تعامل جدیدی را برای جامعهٔ بشری به ارمغان آورده است. در کنار تلاش‌های تأثیرگذار در حوزهٔ علم و فناوری، دانشمندان آزمایشگاه ملی همچنین هرساله بیش از ۱۴۰۰۰ مقالهٔ علمی نیز منتشر می‌کنند که بر اساس گزارش وب آو ساینس[4] در سال ۲۰۱۹ تعداد ۴۵۶ مورد از آن‌ها پراستناد بوده است. تعداد اکتشافات و نوآوری‌های آزمایشگاه‌های ملی در حوزهٔ علم و فناوری فهرستی طولانی دارد که برخی از آن‌ها در ادامه معرفی می‌شود. کشف ۲۲ عنصر جدول تناوبی، تعیین ساختار بیش از ۱۰۰هزار پروتئین به روش کریستالوگرافی، تحول اساسی در رایانه‌ها و اینترنت، مشارکت در قراردادن اولین ماهواره‌ها در آسمان، تهیهٔ نقشهٔ سه‌بعدی آسمان و ۴۰۰ میلیون جرم آسمانی، ایجاد تحول بزرگ در سامانه‌های راداری، تأیید فرضیهٔ انفجار بزرگ و کشف انرژی تاریک، طراحی فناوری‌های تصویربرداری برای تشخیص سرطان، رمزگشایی از دی‌ان‌ای و انجام‌دادن پروژهٔ ژنوم انسانی، ایجاد اولین میدان مغناطیسی ۱۰۰تسلایی، ابداع خطوط کارآمد انتقال برق، تولید آلیاژهای مناسب برای ساخت موتورهای بادوام و کارآمد، گسترش فناوری تهیهٔ آب آشامیدنی سالم، کشف ده‌ها راز باستانی با فناوری پرتوهای ایکس، تولید فولاد سبک، تولید باتری‌های مدرن، کشف نوترینو[5] و ایجاد تحول بزرگ در اخترفیزیک، کشف کلسترول خوب و بد، کشف فتوسنتز در گیاهان، تولید سوخت‌های زیستی، تولید رادیوایزوتوپ برای تشخیص و درمان بیماری، کشف اجزای تشکیل‌دهندهٔ پروتون و نوترون، تولید آلیاژهایی مستحکم و انعطاف‌پذیر برای صنایع خودروسازی و نیز ده‌ها دستاورد علمی و فناوری مهم دیگر همگی در کارنامهٔ هفتادوپنج‌سالهٔ آزمایشگاه‌های ملی آن کشور می‌درخشد (U.S. Department of Energy, 2020).

مدیریت و پشتیبانی آزمایشگاه‌های ملی

دولت ایالات‌متحده سرمایه‌های انسانی ارزشمند و استعدادهای بزرگ علمی و مهندسی را در کنار تجهیزات و امکانات بی‌نظیر

1. . big science

2. . golden brain

3. . multiprogram laboratory

4. . Web of Science (WOS)

۵. neutrino؛ نوترینو ذره‌ای بنیادی ازنظر الکتریکی خنثی است که تحت‌تأثیر نیروهای الکترومغناطیس قرار نمی‌گیرد و با سرعتی نزدیک به‌سرعت نور حرکت می‌کند. این ذرهٔ بنیادی از درون مواد تقریباً بدون هیچ برهمکنشی عبور می‌کند.

جهانی و با مأموریت‌های مشخص در قالب هفده آزمایشگاه ملی گرد آورده است و سرپرستی آن‌ها را به وزارت نیرو واگذار کرده است. درمجموع در آزمایشگاه‌های ملی امریکا تقریباً ۷۰۰۰۰ نفر نیروی کار متخصص توانمند در ردهٔ جهانی به کار گرفته می‌شود که حدود نیمی از آن‌ها دانشمند و مهندس و تعداد زیادی نیز پژوهشگر دکتری و پسادکتری‌اند. این نیروی کار با استعدادهای منحصربه‌فرد، جهت‌گیری‌های علمی و مأموریت‌های مشخصْ دارایی‌های فکری بزرگی را تشکیل می‌دهند که به‌طور مداوم راه‌حل‌های ابتکاری را برای رفع برخی از پیچیده‌ترین مشکلات ارائه می‌کنند. بودجهٔ آزمایشگاه‌های ملی امریکا، که دولت فدرال آن را تأمین می‌کند، در سال ۲۰۱۴ حدود ۱۴٫۳میلیارد دلار بوده است. اگرچه وزارت نیرو وظیفهٔ نظارت و سرپرستی این آزمایشگاه‌ها را بر عهده دارد، استخدام نیرو و ادارهٔ آن‌ها به دانشگاه‌ها یا پیمانکاران بخش خصوصی سپرده می‌شود و گاهی به‌وسیلهٔ آنچه به مثلث آهن[1] (شامل صنعت، دانشگاه و حوزهٔ نظامی) معروف است اداره می‌شود. به‌واسطهٔ مشارکت‌داشتن دانشگاه‌ها در ادارهٔ آزمایشگاه‌های ملی، آن‌ها با تأسیسات و امکانات پژوهشی بی‌نظیر در چندین مکان، برخی در نزدیکی دانشگاه‌ها و برخی بنا به علل امنیتی در جاهای دور ایجاد شده‌اند. آزمایشگاه‌های ملی امریکا در مالکیت دولت است، ولی پیمانکار آن‌ها را اداره می‌کند. این الگوی مدیریتیِ دولتی ـ پیمانکار [2] انعطاف‌پذیری و بهره‌برداری بالایی دارد و طبق تحقیقات فراوان کیفیت تحسین‌شدهٔ علوم و فناوری آزمایشگاه‌های ملی آن کشور به‌واسطهٔ به‌کارگیری مؤثر الگوی مذکور نیز بوده است (Kusnezov, 2014). پیش‌بینی می‌شود پیمانکار بخش خصوصی بهترین روش‌ها را به‌ویژه برای مدیریت کارکنان و تحقیقات به آزمایشگاه‌های ملی ارائه کند. شیوه‌های مدیریت کارکنان بخش خصوصی، ازجمله حقوق و مزایای رقابتی، به پیمانکاران اجازه می‌دهد تا بهترین استعدادها را از سراسر جهان جذب و حفظ کنند. همچنین وزارت نیرو مأموریت و اهداف سطح بالای آزمایشگاه‌های ملی را مشخص می‌کند و به پیمانکار آزادی عمل می‌دهد تا بهترین روش‌ها را برای دستیابی به آن‌ها تعیین کند. در آخر نیز وزارت نیرو عملکرد پیمانکار را سالانه رصد می‌کند و عملکردهای برتر را از طریق سازوکارهایی همچون تمدید مدت قرارداد تداوم می‌بخشد. رؤسای آزمایشگاه‌های ملی هفده‌گانه نیز شورای مدیرانی ایجاد کرده‌اند که نهادی مستقل است و اقدامات را هماهنگ می‌کند و به بخش انرژی و سهام‌داران آزمایشگاه‌های ملی مشورت می‌دهد.

مأموریت‌های مهم آزمایشگاهی ملی

مأموریت‌های مهم آزمایشگاهی ملی هفده‌گانهٔ امریکا کشف علوم و گسترش مرزهای دانش، تأمین امنیت و استقلال انرژی، بالابردن توان اقتصادی و رقابت‌پذیری جهانی و کمک به ارتقای امنیت ملی آن کشور است. پژوهشگران آزمایشگاه‌های ملی پیوسته به یافته‌های مهمی در علوم پایه دست می‌یابند که مرزهای دانش را گسترش می‌دهد و پایه و اساس نوآوری آن کشور را فراهم می‌کند. از بازکردن قفل اتمی انرژی تا نقشه‌برداری از ژنوم انسان و گسترش مرزهای فناوری نانو، دانشمندان آزمایشگاه‌های ملی راهگشای دستیابی به موفقیت‌های مهم بوده‌اند و از طریق همتایان خود مرجع علم جهانی شناخته می‌شوند. با تحقیق در مورد تعداد زیادی از فناوری‌های جدید نسل بعدی، دانشمندان آزمایشگاه‌های ملی کلید راهبردی انرژی و فناوری‌های حساس و پیشرو را در دست دارند و باعث پیشرفت و استقلال انرژی و توانمندی‌های نظامی آن کشور می‌شوند. از گسترش فناوری حفاری افقی و مته که به جرقهٔ رونق نفت و گاز داخلی کمک کرده است تا توسعهٔ فناوری‌های حیاتی مرتبط با وسایل نقلیهٔ الکتریکی، صفحات خورشیدی و توربین‌های بادی همگی مرزهای فناوری انرژی آن کشور را گسترش داده است. با شروع پروژهٔ منهتن، مأموریت ماندگار آزمایشگاه‌های ملی امریکا آن بود که با اطمینان از ایمنی، قابلیت بازدارندگی و امنیت ملی آن کشور را افزایش دهند و از گسترش سلاح‌های کشتارجمعی جلوگیری کنند. آزمایشگاه‌های ملی در امنیت مرزها و در تأمین امنیت داخلی آن کشور نقشی اساسی دارد و در این آزمایشگاه‌ها فناوری‌های پیشرفته برای مقابله با تروریسم، شناسایی سلاح‌های هسته‌ای و بیولوژیکی و امنیت سایبری را گسترش داده‌اند. آزمایشگاه‌های ملی با کشف علمی و نوآوری در فناوری‌ها توانایی رقابتِ اقتصادی ایالات‌متحده را گسترش می‌دهند و توانایی منحصربه‌فرد آزمایشگاه‌های ملی برای همکاری با صنعت و دانشگاه از طریق موافقت‌نامه‌های تحقیقاتی، امکانات کاربر ملی، برنامه‌های انتقال فناوری و راه‌حل‌های فناوری به هدایت بازار، ایجاد اشتغال و افزایش رشد اقتصادی منجر می‌شود. دانشمندان بر این باورند که گسترش فناوری‌های جدید عامل اصلی رشد اقتصادی است و بیش از نیمی از رشد اقتصادی ایالات‌متحده در چند دههٔ گذشته را می‌توان به پیشرفت فناوری و دارایی‌های نامشهود نسبت داد. ایجاد فناوری‌های جدید حتی بدون تأثیر مثبت عوامل دیگر همچون کاهش تغییرات آب‌وهوایی و بهبود امنیت انرژی می‌تواند رفاه عمومی را از طریق رشد اقتصادی افزایش دهد. در ادامه مأموریت‌ها و وظایف مهم آزمایشگاه‌های ملی ایالات‌متحدهٔ امریکا به‌منزلهٔ الگویی پیشرو و موفق تشریح می‌شود.

1. iron itriangles

2. Government Owned/Contractor Operated (COCO)

تولید علم بزرگ و فناوری‌های نافذ و یافتن راه‌حل برای مشکلات مهم ملی و بین‌المللی

همان‌طور که در بالا گفته شد آزمایشگاه‌های ملیِ مأموریت‌گرا با سرمایه‌های انسانی و مادی بی‌نظیری که در اختیار دارند محل تولید علم بزرگ و فناوری‌های جدی و تأثیرگذاری‌اند که آثار آن‌ها از مرزهای آن کشور فراتر رفته است و دایرهٔ نفوذ گسترده‌ای در عرصهٔ جهانی یافته است. همچنین این آزمایشگاه‌ها هنگام بروز مشکلات ملی و بین‌المللی در رفع آن‌ها اهتمام جدی داشته‌اند و به‌منزلهٔ مشاوری بی‌طرف برای عبور از بحران‌ها و غلبه بر مشکلات به کشور امریکا به‌خوبی خدمت کرده‌اند.

آموزش نسل بعدی دانشمندان و مهندسان برجسته

امکانات و تخصص آزمایشگاه‌های ملی در خدمت گسترش سرمایه‌های انسانی و آموزش نسل بعدی دانشمندان و مهندسان است. تقریباً به‌خوبی نشان داده شده است که ساخت مسیر کشف و شکوفایی استعدادها سرمایه‌گذاری بسیار ارزشمندی است که آزمایشگاه‌های ملی را از سایر مراکز تحقیق و توسعه با بودجهٔ فدرال جدا می‌کند(America's National Laboratory System, 2017) . آزمایشگاه‌های ملی با در دسترس قراردادن امکانات و توانایی‌های منحصربه‌فرد خود به همهٔ دانشجویان و اعضای هیئت‌علمی در همهٔ سطوح، از گسترش توانایی نیروی کار آینده به‌طور جدی پشتیبانی می‌کنند. در آن‌ها سالانه برنامه‌هایی برای بیش از ۲۵۰۰۰۰ دانشجو، ۲۲۰۰۰ مربی، ۲۹۵۰ کارآموز مقطع کارشناسی، ۲۰۱۰ دانشجوی تحصیلات تکمیلی و ۲۳۰۰ محقق پسادکتری ارائه می‌شود. این برنامه‌ها از کارگاه‌های یک‌روزه تا همکاری در طول یک ترم تحصیلی و تا اشتغال طولانی‌مدت را شامل می‌شود. همکاری بین پژوهشگران دانشگاه و آزمایشگاه ملی از طریق تبادل کارکنان، همکاری‌های تحقیقاتی در سطح محققان، برنامه‌های تحقیقاتی مشترک و استفاده از امکانات مهم آن‌ها صورت می‌گیرد. همکاری با آزمایشگاه‌های ملی این توانایی را برای دانشگاه‌ها فراهم می‌کند که به تأسیسات پیشرفته و پرهزینه‌ای که ایجاد و نگهداری آن‌ها برای آن‌ها غیرممکن است و اغلب برای اهداف خاص ایجاد شده‌اند دسترسی داشته باشند. این همکاری‌ها فرصت‌هایی را برای تحقیقات بین‌رشته‌ای، توسعهٔ حرفه‌ای و آموزش نیز فراهم می‌کند که در جای دیگری کمتر یافت می‌شود. آزمایشگاه‌های ملی با مؤسسات آموزشی قرارداد پیمانکاری فرعی نیز دارند که نه‌تنها مسیر جدیدی برای آموزش در اختیار آن‌ها قرار می‌دهد، بلکه نمایانگر جریان انتقال قابل‌توجهی از منابع وزارت نیرو به جامعهٔ تحقیقات دانشگاهی است. در سال مالی ۲۰۱۴، دانشگاه‌ها ۹۷٫۲میلیون دلار سرمایه‌گذاری به‌منظور شراکت مستقیم به آزمایشگاه‌های ملی اختصاص دادند. درمجموع آزمایشگاه‌های ملی بیش از ۵۰۰میلیون دلار با دانشگاه‌ها قرارداد می‌بندند و بیش از ۸۵۰۰ دانشجو، محقق پسادکتری و هیئت‌علمی را به‌کار می‌گیرند. از طرف دیگر وزارت نیرو نیز بیش از ۹۰۰میلیون دلار را مستقیم و از طریق کمک‌های مالی در اختیار دانشگاه‌ها قرار می‌دهد.بر اساس همهٔ این موارد آزمایشگاه‌ها و دانشگاه‌ها در اکوسیستم تحقیقاتی ملی و ایجاد نسل بعدی نیروی کار با پشتیبانی وزارت نیرو به هم گره خورده‌اند. آزمایشگاه‌های ملی متعهد می‌شوند تا به آموزش علوم، فناوری، مهندسی و ریاضیات که به‌اختصارSTEM خوانده می‌شود به مدارس نیز کمک کنند[1]. آزمایشگاه‌های ملی علاوه‌بر افزایش دانش علمی دانش‌آموزانْ آن‌ها را برای رقابت در نیروی کار قرن ۲۱ آماده می‌کنند. در همین راستا در آزمایشگاه‌های ملی منابعی برای دانش‌آموزان ابتدایی، راهنمایی و دبیرستان فراهم شده است که نه‌فقط حوزه‌های علوم، فناوری، مهندسی و ریاضیات را برای آن‌ها سرگرم‌کننده می‌کند بلکه آن‌ها را با مشاغل این حوزه‌ها نیز به‌خوبی آشنا می‌سازد. همچنین آزمایشگاه‌های ملی امریکا از طریق برگزاری تورها، سفرهای میدانی و مسابقات علمی الهام‌بخش نسل بعدی دانشمندان و مهندسان برای مقابله با برخی از مشکلات مهم علمی جهان هستند. تعهد آزمایشگاه‌های ملی در آموزش‌وپرورش دانشمندان و مهندسان آینده از روی حضور پرتعداد و پررنگ دانشجویان مقاطع کارشناسی و تحصیلات تکمیلی در آن‌ها و بازدید گروه‌های دانش‌آموزی از این مکان‌های مهم به‌خوبی قابل‌دریافت است.(Guridi, et al., 2020)

پشتیبانی از مأموریت‌های علمی و پژوهشی دانشگاه‌ها و بخش‌های صنعتی

آزمایشگاه‌های ملی امریکا محل استقرار امکانات پیشرفته و گران‌قیمتی است که نظیر برخی از آن‌ها در هیچ جای دنیا وجود ندارد و تهیه و تکرار آن‌ها نیز از توان دانشگاه‌ها و بخش‌های صنعتی خارج است. برای مثال در آزمایشگاه‌های ملیْ شبکه‌ای متشکل از ۳۰ ابزار و امکانات علمی مهم را ایجاد کرده‌اند که شاید نتوان شرکت یا دانشگاهی در ایالات‌متحده یا خارج از آن را مثال زد که توانایی طراحی و ساخت امکاناتی در این مقیاس و امکان بهره‌برداری از آن‌ها یا سرمایه‌های انسانی بهره‌برداری‌کننده از آن‌ها را در اختیار داشته باشد. در بخش مرکزی امکانات آزمایشگاه‌های ملی چشمه‌های نور پیشرفته، چشمه‌های نوترونی، شتاب‌دهنده‌های ذرات، ابررایانه‌ها، سیستم‌های لیزری با قدرت بالا، رآکتورهای اتمی، ابزارهای پیشرفتهٔ مطالعهٔ ساختارهای زیستی، میکروسکوپ الکترونی با وضوح بالا و برخی تأسیسات پیچیده و گران‌قیمت دیگر قرار دارد. امکانات

1. Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM), including Computer Science: https://www.ed.gov/stem

علمی در آزمایشگاه‌های ملی منبعی برای جامعهٔ تحقیقاتی آن کشور است و بسیاری از آن‌ها «تسهیلات کاربر ملی»[1] تعیین شده‌اند که بدون دریافت هزینه در اختیار پژوهشگران دانشگاهی و صنعتی قرار داده می‌شود. در کل آزمایشگاه‌های ملی به بیش از ۴۵۰ مؤسسهٔ دانشگاهی در ایالات‌متحده و حتی کانادا خدمات می‌دهد(U.S. Department of Energy, 2020) . در سال ۲۰۱۹، این امکانات به حدود ۴۰۰۰۰ کاربر از دانشگاه‌ها و بخش‌های صنعتی خدمات‌رسانی کرده‌اند. همچنین در همین سال ۳۶۰۰۰ پژوهشگر صنعتی از سراسر کشور و جهان از امکانات آزمایشگاه‌های ملی استفاده کرده‌اند. این قابلیت‌ها در تأسیسات کاملاً تخصصی قرار دارند و کادر فنی بسیار آموزش‌دیده آن‌ها را اداره می‌کنند و از تحقیقات علمی باز و کارهای سری و طبقه‌بندی‌شده نیز پشتیبانی می‌کنند. آزمایشگاه‌های ملی همچنین منابع خود را برای حل مشکلات دیگرِ بااهمیت ملی به‌کار می‌برند. برای مثال توانایی‌ها و زیرساخت‌های هسته‌ای آن‌ها از مأموریت‌های فضایی سازمان ملی هوانوردی و فضایی (ناسا) پشتیبانی می‌کند. تخصص آن‌ها در توسعه و بهره‌برداری از منابع محاسباتی پیشرفته به سایر آژانس‌های فدرال، نظیر بنیاد ملی علوم، ادارهٔ ملی اقیانوسی و جو و سایر آژانس‌ها کمک کرده است. همچنین در آژانس‌های فدرال به‌جای آنکه آن‌ها با هزینه‌های زیاد تکرار شود از تخصص و توانایی‌های منحصربه‌فرد موجود در آزمایشگاه‌های ملی استفاده می‌شود. سرانجام اینکه در آزمایشگاه‌های ملی توانایی‌های فنی مهمی وجود دارد که در کشور امریکا در شرایط اضطراری ملی و بین‌المللی از خدماتشان استفاده می‌کنند. در سال ۲۰۲۰ نیز هفده آزمایشگاه ملی آزمایشگاه ملیِ مجازیِ فناوری زیستی[2] را تشکیل دادند و از تخصص‌ها و امکانات مهم آن‌ها برای حل مشکل همه‌گیری بیماری کووید-۱۹ استفاده شد. همچنین در هر رویداد مشابهی هنگامی که دولت ایالات‌متحده به مشاورهٔ فنی فوری و بی‌طرفانه نیاز دارد به آزمایشگاه‌های ملی مراجعه می‌شود.

انتقال نوآوری‌های فناوری به بازار و تقویت رقابت‌پذیری کشور

در هستهٔ آزمایشگاه‌های ملیْ دانشمندانِ تحقیقاتیِ برجسته و مهندسان و کارکنان کاملاً آموزش‌دیده وجود دارند که تأثیر مهمی در ارتقای نوآوری علمی و فناوری دارند و باعث پیشرفت و رقابت اقتصادی ایالات‌متحده می‌شوند و به رونق آن کشور کمک می‌کنند. روح نوآورانه و اشتیاق کارآفرینی در آزمایشگاه‌های ملی با تعداد زیادی اختراعات ثبت‌شده و توافق‌نامه‌های صدور مجوز که هرساله اجرا می‌کنند، بیشتر اثبات می‌شود. محققان آزمایشگاه‌های ملی با مأموریت انتقال فناوریْ توانایی‌های فنی و دارایی‌های فکری را به شرکت‌ها، کارآفرینان و سازمان‌های دیگر منتقل می‌کنند و به آن‌ها کمک می‌کنند تا بر مشکلات دشوار فنی غلبه کنند و محصولات و خدمات پیشرفته‌ای را به‌وجود آورند. آزمایشگاه‌های ملی همچنین زمینه‌های رشد اقتصادی در سطح محلی، ایالتی و منطقه‌ای را تقویت می‌کنند و از طریق برنامه‌ها و سازوکارهای مختلف برای تقویت رقابت اقتصادی و رونق آیندهٔ ایالات‌متحده با صنعت آن کشور همکاری می‌کنند(Seidel, 1993). خدمات محققان آزمایشگاه‌های ملی امریکا مدت‌هاست که بستری برای آزمون نوآوری، توسعه و استقرار فناوری است. این واقعیت با تعداد زیادی جوایز تحقیق و توسعهٔ سالانه و تجلیل از صد پیشرفت نوآورانه و انتقال فناوری و تجاری‌سازی اثبات‌شدنی است. درحقیقت، در پاسخ به افزایش نگرانی در مورد ظرفیت نوآورانهٔ ایالات‌متحده، فعالیت آزمایشگاه‌های ملی را افزایش دادند تا نتایج تحقیقات را از آزمایشگاه با سرعت بیشتری به بازار منتقل کنند. در سال‌های اخیر شرکت‌های زیادی با بهره‌گیری از تأسیسات و تجهیزات کم‌نظیرِ آزمایشگاه‌های ملی در ایجاد محصولات جدید شامل داروها، مواد پیشرفته برای نیمه‌هادی‌ها و باتری‌های وسایل‌نقلیه، ماهواره‌های مخابراتی و کالاهای مصرفی استفاده کرده‌اند. برای مثال شرکت جنرال الکتریک برای تولید باتری‌های پیشرفتهٔ سنگین از چشمهٔ نور آزمایشگاه ملی بروکاون[3] و چشمهٔ نور پیشرفتهٔ آزمایشگاه ملی آرگون[4] استفاده کرده است. به‌طورکلی در آزمایشگاه ملی امریکا با دستیابی به یافته‌های مهم علمی، نشان‌دادن سودمندی این اکتشافات در نمونه‌های اولیه و کار با صنعت برای انتقال سریع این فناوری‌ها به بازار و درنتیجه ایجاد مشاغل پردرآمد به رونق اقتصادی ایالات‌متحده کمک می‌کنند. توانمندی آزمایشگاه‌های ملیْ با سابقهٔ اثبات‌شدهٔ آن‌ها در انتقال فناوری و تجاری‌سازی یافته‌هایشان قابل‌فهم است و این آزمایشگاه‌ها در بسیاری از بخش‌های صنعت ایالات‌متحده به شرکای اصلی تبدیل شده‌اند.

ادغام تحقیقات بنیادی و کاربردی

مکان‌های کمی در جهان یافت می‌شود که محل جمع‌آوری امکانات بی‌نظیر و سرمایهٔ انسانی کم‌نظیر با تخصص‌های متنوع باشد که برای غلبه بر بحران‌ها و شرایط اضطراری توانایی بالایی در تشکیل سریع گروه‌های بزرگ و میان‌رشته‌ای داشته باشد. هفده آزمایشگاه ملی وزارت نیروی امریکا برخی از این مکان‌های ویژه در جهان‌اند(The National Laboratories, nd) . امکانات بزرگ آزمایشگاه‌های ملی پژوهشگران را قادر می‌سازد تا به یافته‌های بنیادی علمی دست یابند، از آیندهٔ انرژی حمایت

1. . national user facility
2. . National Virtual Biotechnology Laboratory (NVBL)
3. Brookhaven National Laboratory (BNL)
4. . Argonne National Laboratory (ANL)

کنند و امنیت ملی را تضمین کنند. سرمایه‌گذاری فعلی وزارت نیرو در علوم پایه از طریق دفتر علوم و بودجهٔ ۷میلیارددلاری آن فواید چشمگیری را به همراه دارد. پیشرفت در علوم بنیادی به رونق اقتصادی، امنیت ملی و رقابت بین‌المللی می‌انجامد و کسانی که جامعهٔ علم و فناوری امریکا را هدایت می‌کنند باور دارند که نوآوری مفید اغلب به‌طور غیرقابل‌پیش‌بینی از اکوسیستم قوی تحقیقات علمی ناشی می‌شود که برای کاوش افق‌های جدید ضروری است. به همین منظور علوم بنیادی به‌وسیلهٔ آزمایشگاه‌های ملی تقویت و در میان رشته‌های مختلف حفظ و هدایت می‌شود. همچنین تحقیقات در مرز رشته‌های علوم بنیادی به ابتکارات بزرگ‌تر منجر می‌شود و در چنین شرایطی است که برای حل مشکلات آب‌وهوایی، انرژی و امنیتی، فناوری‌های کاملاً جدید خلق می‌شود. پژوهش‌های بنیادی آزمایشگاه‌های ملی باعث به‌وجودآمدن حوزه‌های جدیدی همچون هوش مصنوعی، علوم اطلاعات کوانتومی، فناوری زیستی، علوم میکروالکترونیک و همچنین سایر زمینه‌ها نظیر علوم فیزیک بنیادی و محاسباتی می‌شود که توانایی مقابله با مشکلات مربوط به انرژی و نیازهای مستمر امنیت ملی و اقتصادی را افزایش می‌دهد. دستیابی به موفقیت در علوم بنیادی پیش‌نیاز گسترش فناوری‌های تحول‌آفرین در مقیاسی به اندازهٔ کافی بزرگ برای پاسخگویی به مشکلات مهم است. وزارت نیرو از سرمایه‌گذاران مهم علوم فیزیکی ایالات‌متحده است که از طریق سرپرستی بر هفده آزمایشگاه ملیْ سهم بسزایی در ادغام تحقیقات بنیادی و کاربردی دارد و با نگاهی به مأموریت‌های مهم آزمایشگاه‌های ملی امریکا می‌توان دریافت که در این آزمایشگاه‌ها وظیفهٔ ادغام تحقیقات بنیادی و کاربردی به‌خوبی و با شایستگی انجام می‌شود.

مبارزه با بحران‌ها، ارتقای امنیت ملی و تضمین مرجعیت علمی

اگرچه دولت امریکا بعد از پایان جنگ جهانی دوم قصد داشت امکانات پروژهٔ منهتن و آزمایشگاه لوس آلاموس را از بین ببرد، سیاست‌گذاران امریکایی خیلی زود به ارزش فراوان و اهمیت بی‌نظیر سرمایه‌های مادی و انسانی، که در طول اجرای این پروژه جمع‌آوری شده بود، پی بردند. ازاین‌رو تصمیم گرفته شد که تجهیزات و سرمایه‌های انسانی در قالب آزمایشگاه ملی لوس آلاموس حفظ شود که همین موضوع سرآغازی شد برای پیدایش تدریجی شانزده مرکزِ پیشروِ مشابهِ دیگر در حوزه‌های مختلف علم و فناوری در امریکا. این هفده آزمایشگاه ملی در طی بیش از هفت دههٔ گذشته سرمایه‌های انسانی و امکانات مهمی را فراهم ساخته‌اند که ضمن مواجهه با بحران‌های امنیتی و انرژیْ توانایی بالایی در یافتن راه‌حل‌های فوری و ایجاد دانش جدید علمی برای تضمین آیندهٔ پایدار داشته‌اند. وزارت نیرو از طریق ایجاد همکاری میان آزمایشگاه‌های ملی، دانشگاه‌ها و بخش صنعت در یافتن فناوری‌های مرتبط با حوزهٔ انرژی‌های حیاتی و تجدیدپذیر و یافتن راه‌حل‌هایی برای کاهش تغییرات آب‌وهوایی سهم بزرگی داشته است. با وجود آزمایشگاه‌های ملی و حتی با تشدید بحران‌های آب‌وهوایی، ایالات‌متحده تخصص، منابع و راه‌حل‌های راهبردی برای حل آن‌ها را در اختیار دارد. امریکایی‌ها به‌خوبی دریافته‌اند که در جهانی که دانش پیشرفته به‌آسانی در دسترس همگان قرار می‌گیرد و نیروی کار کم‌هزینه نیز به‌راحتی در دسترس است، بدون اقدام جدیْ مزایای آن کشور در بازار علم و فناوری رو به زوال خواهد رفت. آن‌ها به‌خوبی دریافته‌اند که بدون سرمایه‌گذاری در حوزهٔ علم، رهبری این توانایی‌های فنی را به رقبای بین‌المللی خود واگذار خواهند کرد و ممکن است شرایطی ایجاد شود که جامعهٔ تحقیق و صنعت به سمت امکانات بهتر و دردسترس‌تر در جاهای دیگری برود و ظرفیت نوآوری‌های علمی و فناوری را نیز با خود از امریکا ببرد. از طرف دیگر در سایر کشورها از طریق افزایش سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه ممکن است شرایطی را ایجاد کنند که دیگر ایالات‌متحده کشوری پیشرو در علم و فناوری مطرح نشود. ازاین‌رو با افزایش سرمایه‌گذاری در این حوزه‌ها و توجه مضاعف به جایگاه ویژهٔ آزمایشگاه‌های ملی سعی در رفع این نگرانی‌ها دارند. در ادامهٔ این نوشتار هفده آزمایشگاه ملی امریکا ازنظر حوزهٔ فعالیت، میزان بودجه، امکانات تخصصی منحصربه‌فرد و سرمایه‌های انسانی به‌اجمال معرفی می‌شود (U. S. Department of Energy, 2020; Seidel, 1993) و سپس به ضرورت و دشواری‌های مهم پیشرو برای ایجاد چنین زیرساخت‌های بزرگ علمی در کشورمان ایران خواهیم پرداخت.

معرفی آزمایشگاه‌های ملی امریکا

آزمایشگاه ملی ایمز

آزمایشگاه ملی ایمز[1] آزمایشگاهی تک‌منظوره است که با هدف تولید دانش بنیادی مواد و استفاده از این دانش برای حل مشکلات برجستهٔ فناوری و صنعت ایجاد شده است. این آزمایشگاه ملی به داشتن تجهیزات طیف‌سنجی رزونانس مغناطیسی هسته‌ای پیشرفته[2] برای مطالعهٔ حالات جامد مواد نیز معروف است. تجهیزات طیف‌سنج رزونانس مغناطیسی هسته‌ای در تعیین ساختار اتمی ترکیبات طبیعی و مصنوعی کاربرد مهمی دارد و در زمرهٔ تجهیزات فوق‌پیشرفته به‌شمار می‌رود. سرمایه‌های انسانی این آزمایشگاه در سال ۲۰۱۶شامل ۳۰۳ عضو پیوسته، ۸۲ عضو وابسته، ۴۳ محقق پسادکتری، ۸۳ دانشجوی کارشناسی، ۱۰۲ دانشجوی تحصیلات تکمیلی و نیز

1. Ames National Laboratory: https://www.ameslab.gov

2. Nuclear Magnetic Resonance (NMR)

۲۶۸ دانشمند بازدیدکننده بوده است. وسعت این آزمایشگاه حدود ۴ هکتار است و بودجهٔ آن در همین سال حدود ۱۰۸ میلیون دلار گزارش شده است(Bin-Nun et al., 2017; U.S. Department of Energy, 2020; The National Laboratories, n.d).

آزمایشگاه ملی آرگون

آزمایشگاه ملی آرگون آزمایشگاه شیمی، مواد و مهندسی هسته‌ای است که در سال ۱۹۴۶ تأسیس شد و از آن زمان تاکنون دانشگاه شیکاگو آن را اداره می‌کند. در برنامهٔ علمی این آزمایشگاه حوزه‌های جدیدی نه‌فقط در شیمی و مواد، بلکه در فیزیک هسته‌ای و ذرات، ریاضیات و علوم زمین نیز ارائه می‌شود. تحقیق و توسعه در مراحل اولیه در آزمایشگاه آرگون شامل انرژی هسته‌ای، شیمی، مواد، فرایندهای بیولوژیکی و مهندسی سیستم‌هاست. نتایج تحقیقات این آزمایشگاه باعث پیشرفت در رآکتورها، تولید و ذخیرهٔ انرژی، توزیع برق و سامانه‌های حمل‌ونقل می‌شود. چشمهٔ نور پیشرفتهٔ آرگون یکی از مهم‌ترین منابع نوری سنکروترونی[1] در کشور امریکاست و تقریباً در همهٔ رشته‌های علمی برای مطالعات گوناگون استفاده می‌شود. سالانه بیش از ۵۵۰۰ پژوهشگر از خدمات چشمهٔ نور پیشرفتهٔ آزمایشگاه ملی آرگون استفاده می‌کنند. حتی برندگان جایزهٔ نوبل شیمی سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۲ نیز در پژوهش‌های خود از خدمات چشمهٔ نور پیشرفتهٔ آرگون استفاده کرده بودند. اخیراً نیز محصولات دارویی نظیر داروی ضدسرطان خون ونکلستا[2] حاصل کار پروژهٔ پژوهشی بود که در آن از خدمات این چشمهٔ نور استفاده شد. در حال حاضر برنامه‌ای برای ارتقای این چشمهٔ نور نیز وجود دارد که ۴۰۰ برابر آن را روشن‌تر می‌کند و فرصت‌های تحقیقاتی موجود را بسیار گسترش خواهد داد. این آزمایشگاه همچنین شتاب‌دهندهٔ خطی[3] دارد و ابررایانه‌های پیشرفتهٔ آن با همکاری جامعهٔ علوم محاسباتیِ امکانات محاسباتیِ پیشرو در جهان را طراحی و فراهم کرده است. بر اساس آمار سال ۲۰۱۶ در این آزمایشگاه ۳۲۰۶ عضو پیوسته، ۲۵۶ عضو وابسته، ۲۶۸ محقق پسادکتری، ۲۶۰ دانشجوی کارشناسی، ۳۲۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، ۷۴۲۲ کاربر تسهیلات و ۱۰۰۵ دانشمند مهمان فعالیت کرده‌اند. بودجهٔ سال ۲۰۱۶ این آزمایشگاه حدود یک‌میلیارد و ۵۵۱میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود ۶۱۴ هکتار است(Bin-Nun et al., 2017; Argonne National Laboratory, n.d).

آزمایشگاه ملی بروکاون

آزمایشگاه ملی بروکاون نیز نظیر آزمایشگاه آرگون چندمنظوره است. این آزمایشگاه ملی یکی از پیشرفته‌ترین منابع نور سینکروترونی جهان را دارد که پرتوهای ایکس بسیار درخشانی را تولید می‌کند و پژوهشگران آن را برای بررسی خصوصیات و عملکردهای ماده‌ای با وضوح نانو و حساسیت بی‌نظیر استفاده می‌کنند. درِ این آزمایشگاه ملی بر روی دانشمندان دانشگاهی، صنعتی و پژوهشگران سایر آزمایشگاه‌ها باز است و ابزار پژوهشی موردنیاز برای تحقیقات اساسی و کاربردی آن‌ها را فراهم می‌کند و از این طریق باعث اکتشافات اساسی در زیست‌شناسی و پزشکی، علوم مواد و شیمی، علوم زمین، علوم محیطی و علوم نانو می‌شود. این اکتشافات باعث پیشرفت فناوری‌های جدید و ایجاد موفقیت در امنیت انرژی، سلامت انسان و موارد دیگر خواهد شد. بر اساس آمار سال ۲۰۱۶ این آزمایشگاه ۲۶۱۸ عضو پیوسته، ۱۲۱ عضو وابسته، ۱۲۲ محقق پسادکتری، ۲۰۳ دانشجوی کارشناسی، ۱۴۰ دانشجوی تحصیلات تکمیلی دارد و ۲۵۹۴ عضو هیئت‌علمی دانشگاه‌های مختلف نیز در سال ۲۰۱۶ از خدمات دستگاهی آن استفاده کرده‌اند و ۲۱۳۴ دانشمند بازدیدکننده نیز داشته است. بودجهٔ این آزمایشگاه در سال ۲۰۱۶ یک‌میلیارد و ۱۶۲میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود ۲۱۵۰ هکتار است(Bin-Nun et al., 2017; Brookhaven National Laboratory, n.d).

آزمایشگاه ملی فرمی

آزمایشگاه ملی شتاب‌دهندهٔ فرمی[4] مرکز بین‌المللی فیزیک ذرات است که در ۴۰ مایلی غرب شیکاگو واقع شده است. تجهیزات آزمایشگاه فرمی مجموعهٔ وسیعی از شتاب‌دهنده‌های ذرات است که امکان تحقیقات در مورد ذرات نوترینو و ماهیت بنیادی جهان را فراهم می‌کند. ذرات نوترینو شباهت زیادی به الکترون دارند، اما فاقد بار الکتریکی و جرم بسیار کمی نزدیک به صفر دارند و به فراوانی در جهان هستی یافت می‌شوند. این ذرات که از واکنش‌های هسته‌ای درون خورشید یا درون رآکتورهای هسته‌ای و یا به کمک شتاب‌دهنده‌ها تولید می‌شوند، برهم‌کنش ناچیزی نیز با مواد دارند و ازاین‌رو شناسایی آن‌ها بسیار دشوار است. از امواج نوترینو می‌توان برای کاوش در محیط‌هایی استفاده کرد که سایر پرتوها (مانند نور یا امواج رادیویی) نمی‌توانند در آن‌ها نفوذ کنند. برای مثال از هستهٔ خورشیدی نمی‌توان مستقیماً تصویربرداری کرد زیرا تابش الکترومغناطیسی (مانند نور) به‌وسیلهٔ چگالی زیاد ماده اطراف هستهٔ آن پراکنده می‌شود، ولی امواج نوترینو با موفقیت از خورشید عبور داده می‌شود و برای مطالعهٔ اعماق زمین نیز قابل‌استفاده است. بودجهٔ آزمایشگاه فرمی در سال ۲۰۱۶ حدود ۸۳۵میلیون دلار بوده است و این آزمایشگاه قدرتمندترین تأسیسات نوترینو مبتنی بر شتاب‌دهنده[5] را در ایالات‌متحده

1. synchrotron
2. Venclexta
3. Linear Accelerator (LINAC)
4. *Fermi National Accelerator Laboratory* (Fermilab)
5. accelerator-based neutrino facilities

دارد. بر اساس گزارش سال ۲۰۱۶ این آزمایشگاه ۱۷۹۳ نیروی پیوسته، ۸ عضو وابسته، ۵۹ محقق پسادکتری، ۳۲۴۵ کاربر تجهیزات و ۱۲ دانشمند بازدیدکننده داشته است و وسعت آن حدود ۲۷۵۰ هکتار است(Bin-Nun et al., 2017; Fermi National Accelerator Laboratory, n.d.).

آزمایشگاه ملی آیداهو

آزمایشگاه ملی چندمنظورهٔ آیداهو[1] عمدتاً درزمینهٔ انرژی هسته‌ای پیشرفته فعالیت می‌کند و مجموعهٔ وسیعی از مراکز تحقیقاتی هسته‌ای در اطراف رآکتور پیشرفتهٔ آن ایجاد شده است که هستهٔ مارپیچیِ منحصربه‌فردی دارد و از مهم‌ترین رآکتورهای تحقیقاتی جهان است. ادعا شده است که این رآکتور تنها رآکتور تحقیقاتی امریکاست که می‌تواند تابش نوترون با حجم زیاد و با شار بالا را در محیط نمونه فراهم کند. بودجهٔ آزمایشگاه ملی آیداهو در ۲۰۱۶ حدود دومیلیارد و ۱۰۳میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود ۲۳۰ هکتار است. بر اساس گزارش سال ۲۰۱۶، این آزمایشگاه ۲۷۲ نیروی پیوسته، ۲۰ عضو وابسته، ۴۱ محقق پسادکتری، ۱۹۸ دانشجوی کارشناسی، ۱۰۵ دانشجوی تحصیلات تکمیلی، ۷۲ کاربر تسهیلات و ۴۷۰ دانشمند بازدیدکننده داشت .(Bin-Nun et al., 2017; Idaho National Laboratory, n.d.)

آزمایشگاه ملی لورنس برکلی

آزمایشگاه ملی چندمنظورهٔ برکلی[2] جایگاه پنج مورد از پیشرفته‌ترین امکانات و تجهیزات پژوهشی است که سالانه ۱۱۰۰۰ دانشمند نیز از سراسر امریکا برای انجام‌دادن تحقیقات پیشرفته به آنجا رجوع می‌کنند. این آزمایشگاه محل استقرار میکروسکوپ‌های قدرتمند، چشمه‌های نور اشعهٔ ایکس خیلی درخشان و رایانه‌های پرسرعت است و دانشمندان آن تاکنون موفق به دریافت چهارده جایزهٔ نوبل شده‌اند. این آزمایشگاه ملی یکی از قدرتمندترین شتاب‌دهنده‌های خطی کشور امریکاست که علاوه‌بر تحقیقات امنیت ملی، دارای برنامهٔ تحقیقاتی پرتحرک در علوم بنیادی است که منابع گسترده‌ای از نوترون‌ها و پروتون‌ها را برای جامعهٔ علمی آن کشور فراهم می‌کند. بودجهٔ سال ۲۰۱۶ این آزمایشگاه ملی حدود یک‌میلیارد و ۶۰۰میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود ۸۰ هکتار است. سرمایه‌های انسانی این آزمایشگاه ملی بر اساس گزارش سال ۲۰۱۶ شامل ۳۰۲ عضو پیوسته، ۲۳۲ عضو وابسته، ۴۸۶ محقق پسادکتری، ۲۶۳ دانشجوی تحصیلات تکمیلی، ۱۴۸ دانشجوی کارشناسی، ۱۱۴۰۳ کاربر تسهیلات و ۲۲۴۱ دانشمند و مهندس بازدیدکننده بود(Bin-Nun et al., 2017; Lawrence Berkeley National Laboratory, n.d.).

آزمایشگاه ملی لارنس لیورمور

آزمایشگاه ملی لارنس لیورمور که با مشارکت آزمایشگاه ملی لوس آلاموس در خلق زرادخانهٔ هسته‌ای امریکا سهم مهمی داشت اینک مسئولیت نگهداری و سرپرستی تسلیحات هسته‌ای آن کشور را بر عهده دارد. همچنین این آزمایشگاه با درپیش‌گرفتن رویکرد چندرشته‌ای که شامل همهٔ رشته‌های علمی و مهندسی است از امکانات بی‌نظیری بهره‌مند شده است تا مرزهای دانش را برای دستیابی به موفقیت درزمینهٔ مقابله با تروریسم و منع گسترش سلاح‌های هسته‌ای، دفاع، اطلاعات، انرژی و امنیت زیست‌محیطی گسترش دهد. مرکز احتراق ملی با داشتن یکی از بزرگ‌ترین و پرانرژی‌ترین لیزرهای جهان در این آزمایشگاه قرار دارد. تجهیزات مرکز احتراق ملی برای بررسی خصوصیات اساسی ماده در انرژی و چگالی بالا مانند پلاسمای اخترفیزیکی و هسته‌های سیاره‌ای استفاده می‌شود. این آزمایشگاه ملی جایگاه مهمی نیز در ارتباط با جدول تناوبی پیدا کرده است. عناصر فوق‌سنگین ۱۱۴، ۱۱۵، ۱۱۶، ۱۱۷ و ۱۱۸ جدول تناوبی طی همکاری علمی مشترک این آزمایشگاه ملی با دانشمندان روسی کشف شده است. دانشمندان این آزمایشگاه آشکارساز قابل‌حمل تابش‌های رادیواکتیوی را ساخته‌اند که اینک برای شناسایی مواد رادیواکتیو و ایزوتوپ‌های خطرناک در چمدان‌ها و کانتینرهای حمل‌ونقل و در گذرگاه‌های مرزی، اسکلهٔ کشتی‌های باری و پایانه‌های حمل‌ونقل استفاده می‌شود. بودجهٔ سال ۲۰۱۶ این آزمایشگاه امنیت ملی حدود سه‌میلیارد و ۴۱۶میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود۳۱۰۰ هکتار است. بر اساس گزارش سال ۲۰۱۶ سرمایه‌های انسانی این آزمایشگاه ملی شامل ۶۰۰ عضو پیوسته، ۲۰ عضو وابسته، ۲۰۰ محقق پسادکتری، ۵۰۰ دانشجوی کارشناسی، ۵۰ دانشجوی کارشناسی ارشد، ۴۳۰۰ کاربر تسهیلات و ۱۵۰۰ دانشمند بازدیدکننده بود(Lawrence Livermore National Laboratory, n.d.; Bin-Nun et al., 2017).

آزمایشگاه ملی لوس آلاموس

در زمان حاضر آزمایشگاه ملی لوس آلاموس از آزمایشگاه‌های پیشرو امنیت ملی، علوم، فناوری و مهندسی است که برای کمک به حل مشکلات بزرگ و منع گسترش سلاح‌های هسته‌ای، امنیت انرژی و توسعهٔ زیرساخت فناوری مقابله با تهدیدات مواد منفجرهٔ شیمیایی، بیولوژیکی و رادیولوژی فعالیت می‌کند. آزمایشگاه ملی لوس آلاموس محل سریع‌ترین ابررایانهٔ جهان (ابررایانهٔ ترینیتی)[3] و شتاب‌دهندهٔ خطی و یکی از قدرتمندترین دستگاه‌های مولد اشعهٔ ایکس است. میزان بودجهٔ سالانه و سرمایه‌های انسانی این

1. *Idaho National Laboratory (INL)*
2. *Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL)*
3. Trinity supercomputer

آزمایشگاه در بالا توضیح داده شد (Los Alamos National Laboratory, n.d.; Bin-Nun et al., 2017).

آزمایشگاه ملی فناوری انرژی

مأموریت آزمایشگاه ملی فناوری انرژی[1] کشف، توسعه و استقرار راه‌حل‌های فناوری برای تقویت بنیان انرژی و محافظت از محیط‌زیست برای نسل‌های آینده است. این آزمایشگاه ملی محل استقرار توربین‌های احتراقی فوق‌پیشرفته با بهره‌وری بسیار بالاست. دانشمندان این آزمایشگاه فناوری جدیدی را ابداع کرده‌اند که به کمک آن کارایی هسته‌های آیروفیل توربین‌های گازی را بهبود ببخشند. بودجهٔ سال ۲۰۱۶ این آزمایشگاه تک‌منظوره حدود دومیلیارد دلار بود و وسعت آن حدود ۹۶ هکتار است. بر اساس گزارش ۲۰۱۶ سرمایه‌های انسانی این آزمایشگاه شامل ۱۴۹۷ عضو پیوسته، ۵۶ عضو وابسته، ۶۲ محقق پسادکتری، ۱۶ دانشجوی کارشناسی و ۵۲ دانشجوی کارشناسی ارشد بود (Bin-Nun et al., 2017; National Energy Technology Laboratory, n.d.).

آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدیدپذیر

مأموریت آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدیدپذیر[2] گسترش علوم بنیادی مرتبط با صنعت پیشرفتهٔ انرژی، ایجاد فرصت‌های اقتصادی و اشتغال و افزایش امنیت کشور است. این آزمایشگاه محل کورهٔ خورشیدی با شار بالا[3] و مرکز تحقیقات انرژی خورشیدی است. این آزمایشگاه از سال ۲۰۱۳ با بیش از ۱۰۰ شریک صنعتی و دانشگاهی با دشواری‌های مهم انرژی مقابله کرده است. حاصل کار دانشمندان این آزمایشگاه ورود سلول‌های خورشیدی پروسکایت[4] به بازار است که کارایی بالا و هزینهٔ کمی دارند. بودجهٔ این آزمایشگاه ملی در سال ۲۰۱۶ حدود ۷۷۲میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود ۲۵۵ هکتار است. بر اساس گزارش سال ۲۰۱۶ سرمایه‌های انسانی این آزمایشگاه شامل ۱۷۱۰ عضو پیوسته ،۶ عضو وابسته، ۸۴ محقق پسادکتری، ۴۵ دانشجوی کارشناسی، ۴۲ دانشجوی تحصیلات تکمیلی و ۴ دانشمند بازدیدکننده بود (Bin-Nun et al., 2017; Nation-al Renewable Energy Laboratory, n.d.).

آزمایشگاه ملی اوک ریج

مأموریت آزمایشگاه ملی اوک ریج[5] ارائهٔ اکتشافات علمی و موفقیت‌های فنی است که به توسعه و استقرار راه‌حل‌های انرژی پاک و امنیت جهانی سرعت بخشیده است و فرصت اقتصادی را برای آن کشور ایجاد کرده است. اوک ریج بزرگ‌ترین آزمایشگاه علوم و انرژی وزارت نیروی امریکاست که بخشی از پروژهٔ منهتن بود و همراه با آن پروژه تأسیس شده بود. این آزمایشگاه که در تولید و جداسازی پلوتونیوم پیشگام بود سپس حوزهٔ فعالیتش را بر روی انرژی هسته‌ای و بعداً به سایر منابع انرژی و آثار آن‌ها گسترش داد. دو مورد از قدرتمندترین امکانات علوم نوترونی جهان شامل چشمهٔ نوترون اسپالاسیون[6] که بزرگ‌ترین چشمهٔ ذرات نوترونی جهان است، و رآکتور ایزوتوپ با شار بالا[7] از امکانات منحصربه‌فرد برای علوم و فنون هسته‌ای‌اند که در آزمایشگاه ملی اوک ریج دیده می‌شود. چشمهٔ نوترون اسپالاسیون منبع نوترونی نسل سوم است که می‌تواند یکی از درخشان‌ترین پرتوهای نوترون پالسی جهان را برای تحقیقات علمی و توسعهٔ صنعتی ایجاد کند. همچنین در این آزمایشگاه ملی دو مورد از سریع‌ترین رایانه‌های امریکا نظیر تیتان[8] و سامیت[9] وجود دارد. بودجهٔ این آزمایشگاه ملی در سال ۲۰۱۶ حدود دومیلیارد و ۶۹۰میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود ۱۷۹۰ هکتار است. سرمایه‌های انسانی این آزمایشگاه ملی بر اساس گزارش سال ۲۰۱۶ شامل ۴۹۸۳ عضو پیوسته، ۱۹۲ عضو وابسته، ۳۰۵ محقق پسادکتری، ۲۹۴ دانشجوی کارشناسی، ۳۱۷ دانشجوی تحصیلات تکمیلی، ۳۱۳۱ کاربر تسهیلات و ۱۷۶۳ دانشمند مهمان بازدیدکننده بود (Bin-Nun et al., 2017; Oak Ridge National Laboratory, n.d.).

آزمایشگاه ملی شمال غربی اقیانوس آرام

آزمایشگاه ملی شمال غربی اقیانوس آرام[10] از آزمایشگاه‌های برتر و پیشرو جهانی در علم شیمی، علوم زمین، تحلیل داده‌ها و تحقیق و توسعه است. این آزمایشگاه دارای مرجعیت ملی و بین‌المللی در حوزه‌های ذخیرهٔ انرژی، نوسازی شبکه، منع گسترش سلاح‌های هسته‌ای و امنیت سایبری است. در آزمایشگاه علوم مولکولی محیط‌زیست[11] که بخشی از این آزمایشگاه ملی است امکانات منحصربه‌فردی در شیمی مواد معدنی، نرم‌افزارهای محاسباتی، شیمی محاسباتی با عملکرد بالا، طیف‌سنجی جرمی و تشدید مغناطیس هسته‌ای با میدان بالا به پژوهشگران در سراسر جهان عرضه می‌شود. تولید باتری‌های لیتیومی مقرون‌به‌صرفه برای خودروهای برقی از دستاوردهای مهم و اخیر این آزمایشگاه ملی است. همچنین در این آزمایشگاه با استفاده از تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و قابلیت‌های الگوسازی

1. National Energy Technology Laboratory (NETL)
2. *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*
3. *high-flux solar furnace*
4. Perovskite Solar Cell (PSC)
5. Oak Ridge National Laboratory (ORNL)
6. Spallation Neutron Source (SNS)
7. High Flux Isotope Reactor (HFIR)
8. Titan or OLCF-3
9. Summit or OLCF-4
10. Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)
11. Environmental Molecular Sciences Laboratory (*EMSL)*

محاسباتی، نرم‌افزاری تحلیلی برای محافظت از مصرف‌کنندگان و شرکت‌های کوچک در برابر حملات سایبری ایجاد شده است. بودجهٔ سال ۲۰۱۶ این آزمایشگاه چندمنظوره یک‌میلیارد و ۳۲۸میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود ۳۱۶ هکتار است. بر اساس گزارش ۲۰۱۶ سرمایه‌های انسانی این آزمایشگاه شامل ۴۱۸۳ عضو پیوسته، ۵۵ عضو وابسته، ۲۹ محقق پسادکتری، ۴۶۹ دانشجوی کارشناسی، ۴۳۳ دانشجوی تحصیلات تکمیلی، ۱۸۱۴ کاربر تسهیلات و ۱۰۰ دانشمند بازدیدکننده بود (Bin-Nun et al., 2017; Pacific Northwest National Laboratory, n.d.).

آزمایشگاه ملی فیزیک پلاسمای پرینستون

مأموریت این آزمایشگاه ملی[1] در کشف علوم، مهندسی پلاسما و همجوشی است. پلاسما یکی از چهار حالت ماده است به‌طوری‌که اگر مادهٔ جامد را گرم کنیم، به مایع و اگر دوباره گرم کنیم، به گاز و اگر به گرم‌کردن حالت گازی ادامه دهیم، در حدود ۲۰۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد به پلاسما تبدیل می‌شود که در آن همه یا بخش قابل‌توجهی از اتم‌ها یک یا چند الکترون از دست داده‌اند و به کاتیون تبدیل می‌شوند. گفته می‌شود ۹۹ درصد مادهٔ موجود در طبیعت در حالت پلاسما قرار دارد و برآورد شده است که فضای بین ستارگان و حتی درون ستارگان اغلب به‌صورت ابرهای گازی پلاسماست. همچنین طوفان‌های خورشیدی قدرتمند باعث فوران‌های گستردهٔ پلاسما از خورشید می‌شود که در ادامه شفق‌های درخشان و طوفان‌های ژئومغناطیسی به‌وجود می‌آید که می‌تواند خدمات تلفن همراه و برق را مختل کند.

همجوشی (گداخت) هسته‌ای[2] نیز منبع امن، تمیز و فراوانی از انرژی برای تولید برق است. آزمایشگاه فیزیک پلاسمای پرینستون در حوزه‌هایی نظیر گسترش دانش علمی و مهندسی پیشرفته برای همجوشی هسته‌ای و درک بیشتر علمی پلاسما از مقیاس‌های نانو تا اخترفیزیک فعال است. این آزمایشگاه با مشارکت دانشگاه پرینستون هرساله برنامهٔ آموزش علوم پلاسما و اخترفیزیک از دبستان تا کالج برای صدها دانش‌آموز و دانشجوی داخلی و خارجی و هزاران بازدیدکننده اجرا می‌کند. در این آزمایشگاه ملی تأسیسات گداخت هسته‌ای[3] با یکی از انواع پیشرفته‌ترین راکتورهای آزمایشی گداخت هسته‌ای وجود دارد که بر مبنای محصورسازی مغناطیسی طراحی شده است. این راکتور همجوشیِ مغناطیسیْ تأسیسات ابتکاری است که از طریق آزمایشگاه فیزیک پلاسمای پرینستون و با همکاری آزمایشگاه ملی اوک ریج، دانشگاه کلمبیا و دانشگاه واشنگتن در سیاتل ساخته شده است. این آزمایشگاه مدت‌هاست که از امواج رادیویی برای گرم‌کردن پلاسما که به واکنش‌های همجوشی دامن می‌زند، استفاده می‌کند. اخیراً نیز این آزمایشگاه ضمن همکاری با وزارت کشاورزی از امواج رادیویی برای پاستوریزه‌کردن تخم‌مرغ استفاده کرده است و پیش‌بینی می‌شود در صورت استفاده از این فناوری بیماری سالمونلا ناشی از مصرف تخم‌مرغ تا ۸۵درصد کاهش یابد. بودجهٔ این آزمایشگاهِ تک‌منظوره در سال ۲۰۱۶ حدود ۱۸۵میلیون‌دلار بود و وسعت آن حدود ۳۷هکتار است. بر اساس گزارش ۲۰۱۶ سرمایه‌های انسانی این آزمایشگاه شامل ۵۰۰ عضو پیوسته، ۶ عضو وابسته، ۲۲ محقق پسادکتری، ۴۰ دانشجوی تحصیلات تکمیلی و ۳۵۰ دانشمند بازدیدکننده بود (Bin-Nun et al., 2017; Princeton Plasma Physics Laboratory, n.d.).

آزمایشگاه ملی ساندیا

آزمایشگاه ملی ساندیا[4] از تلاش برای تولید اولین بمب‌های اتمی به‌وجود آمد. در شرایط کنونی یکی از مأموریت‌های مهم این آزمایشگاه همچون آزمایشگاه‌های لوس آلاموس و لارنس لیورمور حفاظت از زرادخانهٔ هسته‌ای ایالات‌متحدهٔ امریکاست. در کنار حفاظت از دارایی‌های هسته‌ای، دانشمندان این آزمایشگاه ملی در خط مقدم نوآوری‌های بین‌رشته‌ای علوم و مهندسی قرار دارند و ضمن همکاری‌های گسترده با دانشگاه‌ها و بخش صنعت تأثیر مهمی در توانمندی نظامی و امنیتی آن کشور داشته‌اند. امکانات منحصربه‌فرد این آزمایشگاه ملی تأسیسات قدرت پالسی Z[5] یا ماشین Z است که بزرگ‌ترین مولد امواج الکترومغناطیسی با فرکانس بالا در جهان است و برای آزمایش مواد در شرایط دما و فشار شدید طراحی شده است. این تأسیسات داده‌ها را برای کمک به الگوسازیِ رایانه‌ایِ سلاح‌های هسته‌ای و درنهایت نیروگاه‌های پالسیِ همجوشی یا گداخت هسته‌ای جمع‌آوری می‌کند. ماشین Z، قدرتمندترین مرکز پالس زمین و مولد اشعه‌های گاما و ایکس، سریع‌ترین و دقیق‌ترین روش را برای تعیین نحوهٔ واکنش مواد در فشار و درجه حرارت شدید و بررسی پلاسمای متراکم تشکیل‌دهنده فراهم می‌کند. این تأسیسات درک بشر را از مبانی فیزیک بالا برده است و بینش مهمی در مورد نحوهٔ رفتار مواد، چگونگی رشد سیاه‌چاله‌ها، گرمای خورشید و قدمت سیارات منظومهٔ شمسی ایجاد کرده است. همچنین ماشین Z منبع مهمی برای بررسی آثار سلاح هسته‌ای و روش‌های بهینه برای افزایش خروجی نوترون برای تولید انرژی همجوشی است. این آزمایشگاه دستاوردهای مهمی نیز در فناوری ضدعفونی برای از بین‌بردن باکتری‌ها، ویروس‌ها و قارچ‌ها و حذف سموم دفع آفات از گیاهان در بسته‌بندی‌های کشاورزی و مبارزه با ویروس ابولا داشته است. بودجهٔ سال ۲۰۱۶ این آزمایشگاه ملی شش‌میلیارد و ۱۳۹میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود

1. *Princeton Plasma Physics Laboratory (PPPL)*
2. nuclear fusion
3. National Spherical Torus Experiment Upgrade (NSTX-U)
4. Sandia National Laboratories (SNL)
5. Z Pulsed Power Facility (Z Machine)

۸۰۰۰۰ هکتار است. سرمایه‌های انسانی این آزمایشگاه بر اساس گزارش ۲۰۱۶ شامل ۱۰۶۵۰ عضو پیوسته، ۲ عضو وابسته، ۲۲۳ محقق پسادکتری و ۷۳۸ دانشجوی کارشناسی و کارشناسی ارشد بود (Bin-Nun et al., 2017; Sandia National Lab-oratories, n.d.).

آزمایشگاه ملی رودخانهٔ ساوانا

آزمایشگاه ملی رودخانهٔ ساوانا[1] از نوع چندمنظوره است و مأموریت اصلی آن ارائهٔ راه‌حل‌های عملی و مقرون‌به‌صرفه برای پاک‌سازی محیط‌زیست، امنیت هسته‌ای و انرژی‌های پاک است. از امکانات مهم این آزمایشگاه ملی می‌توان به آزمایشگاه‌های مطالعهٔ ایمن مواد رادیواکتیو، مرکز نمایش میدانی آزمایش و ارزیابی فناوری‌های پاک‌سازی محیط‌زیست، آزمایشگاه‌های اندازه‌گیری فوق‌حساس و تجزیه‌وتحلیل مواد رادیواکتیو اشاره کرد. این آزمایشگاه تنها آزمایشگاه تحقیقات جرم رادیولوژیک در جهان است. بودجهٔ سال ۲۰۱۶ این آزمایشگاه ۴۴۳میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود ۱۶ هکتار است. سرمایه‌های انسانی این آزمایشگاه بر اساس گزارش ۲۰۱۶ شامل ۹۷۲ عضو پیوسته، ۱۲ محقق پسادکتری، ۶۰ دانشجوی کارشناسی و ۲ دانشمند مهمان بود (Bin-Nun et al., 2017; Savannah River National Laboratory, n.d.).

آزمایشگاه ملی شتاب‌دهنده اسلک

مأموریت اصلی آزمایشگاه ملی شتاب‌دهندهٔ اسلک[2] کمک به مرجعیت جهانی امریکا در فیزیک شتاب‌دهنده‌ها و کاربرد پرتوهای ایکس در مواد و حوزهٔ مطالعات شیمی و بیولوژی است. در همین راستا در این آزمایشگاه از پیشرفته‌ترین تأسیسات مولد اشعهٔ ایکس استفاده می‌شود. با تجهیزات منحصربه‌فرد جهانی که این آزمایشگاه ملی در اختیار دارد هرساله میزبان بیش از ۴۰۰۰ پژوهشگر است. یکی از عوامل موفقیت این آزمایشگاه ملی همکاری با دانشگاه استنفورد است که بهترین و خلاق‌ترین دانشمندان جهان علاوه‌بر این آزمایشگاه ملی به‌طور مشترک سه مؤسسهٔ مهم دیگر این دانشگاه را رهبری و مدیریت می‌کنند. چشمهٔ نور منسجم لینک[3] که از داشته‌های مهم این آزمایشگاه ملی است پالس‌های اشعهٔ ایکس را یک میلیارد بار روشن‌تر از سنکروترون‌های قدیمی‌تر تولید می‌کند. طول پالس‌های پرتوی ایکس این چشمهٔ نور از ۰٫۲ تا ۲۰۰ فمتوثانیه[4] (چهارمیلیاردم ثانیه) متغیر است. در این بازهٔ زمانی حرکت اتم‌ها قابل‌ردیابی و مشاهده است و این روشنایی زمینه‌های کاملاً جدید علمی را ایجاد می‌کند و فرایندهای اساسی در مواد کوانتومی، پویایی شیمیایی، فناوری انرژی و مواد زنده را آشکار می‌سازد. این چشمهٔ نور با اشعهٔ ایکس فوق‌سریع یکی از عمده‌ترین تسهیلات در پژوهش‌های علوم و کیهان‌شناسی است. دانشمندان این آزمایشگاه برای اولین‌بار تغییرات ساختاری فوق‌سریع را ردیابی کردند که در گام‌های چهارمیلیاردیم ثانیه ثبت شده بود. بودجهٔ این آزمایشگاه ملی چندمنظوره در سال ۲۰۱۶ حدود ۹۴۰میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود ۱۷۲ هکتار است. سرمایه‌های انسانی این آزمایشگاه بر اساس گزارش ۲۰۱۶ شامل ۱۵۲۴ عضو پیوسته، ۵۲۴ کارمند، ۵۶ عضو وابسته، ۲۰۵ محقق پسادکتری، ۲۰۸ دانشجوی تحصیلات تکمیلی، ۲۷۸۹ کاربر تسهیلات و ۳۵ دانشمند مهمان بود (Bin-Nun et al., 2017; SLAC National Accelerator Laboratory, n.d.).

مرکز شتاب‌دهنده ملی توماس جفرسون

مرکز شتاب‌دهندهٔ ملی توماس جفرسون[5] واقع در ویرجینیا آزمایشگاهی است که مأموریت اصلی آن کاوش ماهیت اساسی حالت‌های محدود کوارک[6] و گلوئون[7] ازجمله نوکلئون‌های تشکیل‌دهندهٔ جرم جهان مرئی است. کوارک‌ها ذرات بنیادی و یکی از اجزای پایه‌ای تشکیل‌دهندهٔ ماده‌اند که باهم ترکیب می‌شوند تا ذرات مرکبی به نام هادرون[8] را پدید آورند که پایدارترین آن‌ها پروتون و نوترون است و اجزای تشکیل‌دهندهٔ هستهٔ اتم هستند. همچنین گلوئون ذره‌ای است که بین کوارک‌ها مبادله می‌شود تا آن‌ها را به هم پیوند دهد و به این ترتیب گلوئون‌ها به‌طور غیرمستقیم مسئول جاذبهٔ میان پروتون‌ها و نوترون‌ها در هستهٔ اتم‌اند. این آزمایشگاه امکانات مهمی در زمینهٔ علم شتاب‌دهنده و تحقیقات فیزیک هسته‌ای را فراهم کرده است که آن را در جهان مرکز پیشرو معرفی می‌کنند. بودجهٔ این آزمایشگاه چندمنظوره در سال ۲۰۱۶ حدود ۳۷۳میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود ۶۸هکتار است. سرمایه‌های انسانی این آزمایشگاه بر اساس گزارش ۲۰۱۶ شامل ۶۹۹ عضو پیوسته، ۲۶ عضو وابسته، ۲۸ محقق پسادکتری، ۹ دانشجوی کارشناسی، ۳۹ دانشجوی کارشناسی ارشد، ۱۵۳۰ کاربر تسهیلات و ۱۳۶۸ دانشمند بازدیدکننده بود (Bin-Nun et al., 2017; Thomas Jefferson National Accelerator Center, n.d.).

ضرورت ایجاد آزمایشگاه‌های ملی مأموریت‌گرا در ایران

برای انجام پروژه‌های بزرگ لازم است تخصص‌های متنوع و تجهیزات

1. Savannah River National Laboratory (SRNL)
2. SLAC National Accelerator Laboratory
3. Linac Coherent Light Source (LCLS)
4. femtosecond
5. Thomas Jefferson National Accelerator Center (TJNAF)
6. *quark*
7. gluon
8. hadron

تخصصی در مقیاس بزرگ در مکان‌های مشخصی گردآوری شود. ضروری است مقامات هر کشوری که می‌خواهد کلید فناوری‌های مهم و پیشرو آینده را در دست داشته باشد، علاوه‌بر ایجاد مسیر کشف و شکوفایی استعدادها و حفظ و نگهداری سرمایه‌های ارزشمند انسانی، تجهیزات و زیرساخت‌های مهم مورداستفاده در پژوهش‌های بنیادی و کاربردی نظیر چشمه‌های نوری پیشرفته، شتاب‌دهنده‌های ذرات، تأسیسات مولد نوترینو، سیستم‌های لیزری با قدرت بالا، رآکتورهای اتمی تحقیقاتی پیشرفته، میکروسکوپ الکترونی با وضوح بالا، تجهیزات فوق‌پیشرفته و پیچیدهٔ ضروری برای مطالعهٔ سیستم‌های زنده و برخی دیگر از تأسیسات و تجهیزات پیچیده و گران‌قیمت را فراهم کند. راه‌اندازی و استفادهٔ بهینه و کارآمد از چنین تسهیلات و تجهیزاتی نیازمند داشتن نیروهای متخصص توانمند در حوزه‌های مختلف و صرف هزینه‌های هنگفت برای ایجاد، نگهداری، استفادهٔ طولانی‌مدت و گسترش آن‌هاست. ازاین‌رو عملاً ایجاد و تکرار چنین تشکیلاتی در دانشگاه‌های متعدد کشور امکان‌پذیر نیست و می‌توان آن‌ها را در مکان‌هایی مشخص و در قالب آزمایشگاه‌های ملی ایجاد کرد. در آزمایشگاه‌های ملی تحقیقات پیشرفتهٔ دانشگاه‌ها و مراکز صنعتی حمایت خواهد شد و در انتقال فناوری‌ها به صنعت و بازار سهم مهمی خواهند داشت. این آزمایشگاه‌ها با امکانات پیشرفتهٔ کم‌نظیر و سرمایه‌های انسانی که در اختیار خواهند داشت در پرورش نسل‌های آیندهٔ مهندسان و دانشمندان برجستهٔ کشور نیز سهم مهمی دارند و با امکانات و تخصص‌های متمرکزشان نیازهای فوری و یا بلندمدت حوزه‌های مختلف انرژی، صنعتی و علمی را پاسخگو می‌شوند. همچنین با پیوندهای محکمی که با بخش‌های صنعتی ایجاد می‌کنند و با نقشی که در تجاری‌سازی یافته‌های علمی و فناوری خواهند داشت به مکان‌های پیشرو و الهام‌بخشی در کشور تبدیل می‌شوند و فرایند دگردیسی دانشگاه‌ها را از نسل دومی (دانشگاه‌های آموزشی و پژوهشی) به نسل سومی (دانشگاه‌های آموزشی و پژوهشی، مولد ثروت و کارآفرین) سرعت خواهند بخشید. سنگ بنای برخی از این کانون‌های تلفیق علم و فناوری قبلاً در کشور گذاشته شده است و نیازمند جهت‌دهی هوشمندانه برای بهره‌وری حداکثری از منافع حال و آیندهٔ آن‌هاست. برای مثال چشمهٔ نور ایران که یکی از بزرگ‌ترین طرح‌های علمی تاریخ کشور است، هم‌اینک در نزدیکی شهر قزوین در دست طراحی و ساخت است که در قلب آن شتابگر سنکروترونی نسل چهارمی وجود دارد که می‌تواند با اضافه‌شدن تجهیزات و آزمایشگاه‌های جانبی به آزمایشگاهی ملی با مأموریت‌های مشابه آزمایشگاه ملی آرگون یا آزمایشگاه ملی بروکاون تبدیل شود (Iranian Light Source Facility, n.d.). همچنین رآکتور آب سنگین ۴۰ مگاواتی (حرارتی) اراک و تأسیسات آب سنگین آن که ایزوتوپ‌های پزشکی و صنعتی تولید می‌کند می‌تواند بخش اصلی آزمایشگاهی ملی شبیه آزمایشگاه ملی اوک ریج شود و فعالیت‌هایش را به سایر حوزه‌های علوم و انرژی گسترش دهد(The Nuclear Threat Initiative, n.d.).

دشواری‌ها و موانع مهم ایجاد آزمایشگاه‌های ملی به‌عنوان زیرساخت‌های بزرگ علمی در کشور

امروزه مشکلات علم و فناوری به‌طور فزاینده‌ای پیچیده‌اند و به راه‌حل‌های چندرشته‌ای و اغلب منحصربه‌فرد نیاز دارند که زیرساخت‌های بزرگ پژوهشی[1] نظیر تجهیزات آزمایشگاه‌های ملی می‌توانند به حل آن‌ها کمک کنند. همچنین زیرساخت‌های علمی و پژوهشی بزرگ نظیر چشمه‌های نور زیربنای شهرت علمی کشور محسوب می‌شوند و شرایط رقابت‌پذیری را در سطح جهانی فراهم می‌کنند. طی سال‌های اخیر کشورهای دیگر و ازجمله برخی کشورها در همسایگی ما در حال ایجاد زیرساخت‌های علمی بلندپروازانه هستند. ازاین‌رو هیچ تضمینی وجود ندارد که موقعیت و مزیت نسبی فعلی کشور در حوزه‌های علم و فناوری در قیاس با همسایگان و رقبای دور و نزدیک در بلندمدت نیز محفوظ بماند. بنابراین در کنار همهٔ اقدامات مهمی که انجام می‌گیرد، ایجاد زیرساخت‌های بزرگ پژوهشی یا پیوستن به کنسرسیوم‌های بین‌المللی که دسترسی جامعهٔ علمی و بخش صنعت را به تأسیسات علمی راهبردی و پیشرفتهٔ دنیا تسهیل می‌کند و کشور را در خط مقدم علمی قرار می‌دهد ضروری است. ایجاد چنین تشکیلاتی در کشور ما با مشکلات و محدودیت‌های جدی نیز همراه است و ازاین‌رو لازم است پیشاپیش سیاست‌گذاران علمی کشور به یافتن راهکارهایی برای آن‌ها اهتمام ورزند. در همین راستا یکی از پرسش‌های اساسی آن است که چه نهادی در کشور مسئول سیاست‌گذاری‌های کلان و راهبرد، شناسایی و اولویت‌بندی مزیت‌های علمی ـ نسبی کشور و معرفی کمبودها و نیازمندی‌های اساسی در حوزه‌های علم و فناوری است؟ مسئولیت چنین نهادی می‌تواند فراتر از ارائهٔ پیشنهاد و مشورت در تصمیم‌سازی‌های بزرگ علمی باشد. به‌نظر می‌رسد بدون ایجاد چنین ساختار و تشکیلات مهمی شناسایی دقیق و برنامه‌ریزی ایجاد زیرساخت‌های بزرگ علمی در کشور ناممکن باشد. در سال‌های اخیر توجه به ایجاد و گسترش زیرساخت‌های تحقیقاتی از اولویت‌های مهم سیاست علمی اتحادیهٔ اروپا نیز بود و در همین راستا در سال ۲۰۰۲ نیز نهادی ویژه به نام انجمن استراتژی اروپا برای زیرساخت‌های تحقیقاتی[2] ایجاد شد که تأثیر مهمی در سیاست‌گذاری در مورد زیرساخت‌های تحقیقاتی این اتحادیه دارد (Hallonsten, 2020). سرمایه‌گذاری کارآمد در زیرساخت‌های بزرگ علمی مستلزم برنامه‌ریزی بلندمدت و تصمیم‌گیری روشن و شفاف است. با توجه به توضیحات فوق لازم است نهادی در سطح عالی از دانشمندان و نمایندگان بخش صنعت تشکیل شود که مسئولیت ایجاد راهکارهای بلندمدت و برنامه‌ریزی به‌منظور سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های علمی کشور را بر عهده

1. research infrastructures

2. *European Strategy Forum on Research Infrastructures* (*ESFRI*)

بگیرد. چنین نهادی لازم است دیدی جامع از نیازمندی‌های مهم زیرساخت علمی در سراسر کشور داشته باشد که بخش صنعت را نیز شامل شود و اولویت‌های سرمایه‌گذاری مشخصی را برای حداقل یک یا دو دههٔ آینده پیشنهاد کند. همچنین نهاد عالی فوق‌الذکر می‌تواند برنامه‌ای شاخص برای بازهٔ زمانی پیشنهاد کند که در فواصل زمانی مشخص مجدداً بررسی و به‌روزرسانی شود.

ایجاد آزمایشگاه‌های ملی مأموریت‌گرای جامع مستلزم صرف هزینه‌های هنگفتی نیز هست و چنین کانون‌های مهم علم و فناوری در ایالات‌متحدهٔ امریکا نیز با سرمایه‌گذاری تدریجی و طی هفت دههٔ گذشته ایجاد و سپس توسعه یافته‌اند. چشمهٔ نور دیاموند (الماس) در انگلستان ممکن است برآورد تقریبی هزینهٔ لازم برای ایجاد زیرساخت مهم علمی در کشور را به‌دست دهد که در قیاس با آزمایشگاه‌های ملی امریکا به‌مراتب کوچک‌تر است. این چشمهٔ نور تأسیسات سنکروترون ملی انگلستان است که در سال ۲۰۰۷ افتتاح شد و بزرگ‌ترین مرکز علمی است که در چهل سال گذشته در آن کشور و طی سه مرحله با سرمایه‌گذاری ۵۰۰ میلیون‌پوندی ساخته شد و اکنون ۴۰۰ نفر عمدتاً دانشمند و مهندس در آن فعالیت می‌کنند. اهمیت و مشکلات مهم ایجاد و بهره‌برداری زیرساخت‌های بزرگ علمی در دومین گزارش تهیه‌شده برای مجلس اعیان انگلستان نیز بررسی شده است. علاوه‌بر هزینهٔ کلانِ ایجاد، نگهداری و بهره‌برداری طولانی‌مدت و به‌روزرسانی تجهیزات گران‌قیمت آزمایشگاه‌های ملی و پرداخت حقوق و مزایای کارکنان نیز مستلزم صرف هزینه‌های اضافی است که به بودجهٔ سالانهٔ چنین مراکزی می‌افزاید. همچنین تأمین‌نکردن به‌موقع بودجهٔ لازم برای بهره‌برداری، تعمیرات و ارتقای تجهیزات طی سال‌های آتی ممکن است شرایطی را ایجاد کند که از امکانات بزرگ علمی با حداکثر ظرفیت استفاده نشود و چنین شرایطی سرمایه‌گذاری‌های کلان کشور در حوزه‌های علم و فناوری را با مشکلات جدی مواجه می‌سازد.

استمرار تحریم‌های فراقانونی و غیرمنصفانه علیه کشور ما نیز مشکل مهم دیگری است که هم ایجاد چنین تشکیلات بزرگی را در مواردی ناممکن می‌سازد و هم حفظ و نگهداری و ارتقای تجهیزات پیچیده و گران‌قیمت آن‌ها را با مشکل و صرف هزینه‌های به‌مراتب بیشتر مواجه می‌سازد. علاوه‌بر هزینه‌های بزرگِ ایجاد و نگهداری آزمایشگاه‌های ملی جامع و مأموریت‌گرا، داشتن نیروی کار ماهر مناسب در بهره‌برداری از سرمایه‌گذاری‌های هنگفت در این حوزه تأثیر بسزایی دارد. حفظ و نگهداری و استفاده بهینه و کارآمد از سرمایه‌گذاری‌های بزرگ در حوزهٔ زیرساخت‌های علمی به میزان زیادی وابسته به فراهم‌کردن تخصص و نیروی انسانی توانمند در ردهٔ جهانی است. بدون داشتن نیروی انسانی ماهر و کارآمد سرمایه‌گذاری در این حوزه چندان توجیه‌پذیر نخواهد بود. جمع‌آوری تخصص و برنامه‌ریزی ساختِ تأسیسات بزرگ علمی قبل از آنکه عملیاتی شود ممکن است چندین دهه طول بکشد. بنابراین مهم است که در این حوزه راهکاری بلندمدت از قبل در کشور وجود داشته باشد. همچنین طبق شواهد فراوانی زیرساخت‌های علمی کوچک و بزرگ اغلب برای بخش صنعت نیز بسیار مهم و مفیدند و دسترسی به زیرساخت‌های علمی با بودجهٔ عمومی به‌ویژه برای شرکت‌های کوچک و متوسط که قادر به تأمین مالی سرمایه‌گذاری در چنین تجهیزاتی نیستند، بسیار راهگشا و مهم است. شرکت‌های کوچک و متوسطی که از دانشگاه‌ها خارج می‌شوند ممکن است همچنان به تجهیزات مؤسسات تحقیقاتی و دانشگاهی متکی باشند. ازاین‌رو در چنین زیرساخت‌هایی شروع ارزشمندی برای شرکت‌های به‌خصوص نوپا فراهم می‌شود و به‌طور مستقیم محرک اقتصاد و تسریع‌کنندهٔ توسعهٔ صنعتی کشور می‌شوند. بنابراین لازم است راهکار و برنامهٔ سرمایه‌گذاری زیربنایی برای زیرساخت‌های علمی شامل بررسی اقداماتی با هدف تسهیل دسترسی بیشتر برای بخش صنعت نیز باشد. بعد از تأسیس و عملیاتی‌شدن آزمایشگاه‌های ملی یکی دیگر از ملاحظات جدی ایجاد سازوکارهای نظارت، ارزیابی و پایش مداوم است که تأثیر و بازگشت سرمایه رصد شود و با ارائهٔ مستندات و شواهد به تصمیم‌گیری‌های آتی در مورد آن‌ها کمک کند.

سخن آخر

یکی از علل مهم تأسیس مراکز علمی مأموریت‌گرا در قالب آزمایشگاه‌های ملی در ایالات‌متحدهٔ امریکا و دیگر کشورها مشکل سازماندهی مطالعات پراکنده در مراکز علمی مختلف برای غلبه بر مشکلات اساسی بود. در این آزمایشگاه‌ها که در امریکا به موازات دانشگاه‌ها و دیگر مراکز علمی و پژوهشی فعالیت می‌کنند توانایی و چابکی بهتری در حل مشکلات و دستیابی به فناوری‌های مهم از خود نشان داده شده است. تأسیس چنین مراکز مأموریت‌گرایی در کشور ما نیز می‌تواند منشأ تحولات مهم در حوزه‌های مختلف علم و فناوری شود. ازاین‌رو ضروری است که حوزه‌های مهم علمی و فناوری بر اساس نیازمندی‌های اساسی کشور، ظرفیت‌های بالقوه و نیروی‌های انسانی متخصص در دسترس مشخص شود، سپس هم‌زمان با تأسیس آزمایشگاه‌های ملی در این حوزه‌ها، تجهیزات با فناوری بالای آن‌ها نیز کاربر ملی در نظر گرفته شود. همچنین با هدف ایجاد مراکز پیشرو در حوزه‌های علم و فناوری و تأثیر ژرف در کیفیت فعالیت‌های علمی دانشگاه‌ها و توانمندی بخش صنعت ضروری است تا دانشمندان برجسته در این آزمایشگاه‌ها به خدمت گرفته شوند. همچنین ایجاد و بهره‌برداری از چنین زیرساخت‌های بزرگی مستلزم غلبه بر موانع و مشکلات بزرگی است و لازم است پیشاپیش ضمن برنامه‌ریزی اقدامات مهمی در این خصوص انجام شود.

منابع

Argonne National Laboratory (n.d.). *Our history:*

Lawrence Livermore National Laboratory (n.d). https://www.llnl.gov/

Los Alamos National Laboratory (n.d). https://www.lanl.gov/

National Energy Technology Laboratory (n.d). https://netl.doe.gov/

National Laboratory Directors' Council (2021). *Fundamental science: critical to meeting U.S. energy and climate mitigation goals*. Available at: https://nationallabs.org/site/wp-content/uploads/2021/02/NLDC_Transition_Fundamental_Science.pdf

National Renewable Energy Laboratory (n.d). https://www.nrel.gov/

Oak Ridge National Laboratory (n.d). https://www.ornl.gov

Pacific Northwest National Laboratory (n.d). https://www.pnnl.gov

Princeton Plasma Physics Laboratory (n.d). https://www.pppl.gov

Sandia National Laboratories (n.d). https://www.sandia.gov

Savannah River National Laboratory (n.d). https://srnl.doe.gov

Scarrà, D., and Piccaluga, A. (2020). "The Impact of Technology Transfer and Knowledge Spillover from Big Science: A Literature Review". *Technovation*, *116*, pp. 102165.

Seidel, R. W. (1993). "Science Policy and the Role of the National Laboratories". *Los Alamos Science*, 21.

SLAC National Accelerator Laboratory (n.d). https://www6.slac.stanford.edu/about/slac-overview

The National Laberatories (n.d.). *America's National Laboratory System: A Powerhouse of Science, Engineering, and Technology*. Available at: https://nationallabs.org/site/wp-content/uploads/2017/05/National-Labs-all-r.pdf

The Nuclear Threat Initiative (n.d). https://www.nti.org

Thomas Jefferson National Accelerator Center (n.d). https://www.jlab.org

U. S. Department of Energy (2020). *The State of the DOE National Laboratories*. pp: 1-34.

Argonne National Laboratory. Available at: https://www.anl.gov/our-history

Bin-Nun, A. Y., **Chan, G.**, Anadon, L. D., Narayanamurti, V., and Maxted, S. J. (2017). *The Department of Energy National Laboratories Organizational design and management strategies to improve federal energy innovation and technology transfer to the private sector*. Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard University. Available at: https://www.belfercenter.org/sites/default/files/files/publication/enrp-stpp-lab-report-final-1.pdf

Brookhaven National Laboratory (n.d). https://www.bnl.gov/

Cohen, L. R., and Noll, R. G. (1993). "The future of the national laboratories". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *93*(23), pp.12678-12685.

Fermi National Accelerator Laboratory (n.d). https://www.fnal.gov/

Goldwhite, H. (1986). "The Manhattan Project". *Journal of Fluorine Chemistry*, 33(1-4), pp. 109-132.

Guridia, J. A, Pertuze, J. A., and Fotenhauer, S. M. P. (2020). "Natural Laboratories as Policy Instruments for Technological Learning And Institutional Capacity Building: The Case Of Chile's Astronomy Cluster". *Research Policy*, 49(2), pp. 103899.

Hallonsten O. (2020). "Research infrastructures in Europe: the hype and the field". *European Review*, 28(4), pp. 617-635. https://nationallabs.org/site/wp-content/uploads/2017/05/National-Labs-all-r.pdf

Idaho National Laboratory (n.d). https://inl.gov/

Iranian Light Source Facility (n.d). http://ilsf.ipm.ac.ir/

Kusnezov, D. (2014) "The Department of Energy's National Laboratory Complex". Presented to: Commission to Review the Effectiveness of National Energy Laboratories. Retrieved at: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/08/f18/July%2018%20Kusnezov%20FINAL.pdf

Lawrence Berkeley National Laboratory (n.d). https://www.lbl.gov/

Science and Technology Policy Letters
Volume 12, Issue 3, autumn 2022

An Overview of the Missions and Important Achievements of the US National Laboratories

Reza yousefi[1]

Abstract

The difficulty of scattered studies, facilities and specializations at the level of universities and industrial centers to meet serious needs or to overcome great challenges has been the beginning of the emergence of the national laboratories. Although national laboratories have been established around the world, especially in developed countries, the United States of America has established 17 national laboratories throughout the country for about 75 years, which have played an important role in the scientific and technological developments of that country. The purpose of this article is to review the role of 17 US National Laboratories in the development of science and technology, their missions and their important achievements. The US Seventeen National Laboratories is home to leading scientists, elite engineers, skilled technical staff, and the location of advanced and expensive equipment and facilities that are beyond the capacity of American universities. Scientists at the American National Laboratories have not only been honored to receive more than 80 Nobel Prizes, but in some cases their achievements have changed the fate of some wars and brought a new way of life and interaction to human society. In addition to addressing important missions in science and technology, US National Laboratories support academic and industrial projects, train the next generation of leading scientists and engineers, and assist the government and various agencies in emergencies, assist in the transfer of technology to industrial sectors and active markets, commit to the advancement of basic science and its integration with the fields of technology, and provide strategic resources and solutions to meet national and international challenges. However, the point that should not be overlooked is that the creation and operation of such a large infrastructure requires the overcoming of major obstacles, challenges and constraints.

Keywords: National Laboratories, Science and Technology, Outstanding Scientists, Advanced Equipment and Facilities, National User Facilities

1. Professor of Biochemistry, Institute of Biochemistry and Biophysics (IBB), University of Tehran, Tehran, Iran; yousefi.reza@ut.ac.ir

نقش‌نامه و فرم تعارض منافع

الف) نقش نامه

	رضا یوسفی
نقش	نویسندهٔ اول
نگارش متن	نگارش متن
ویرایش متن و ...	ویرایش متن
طراحی/ مفهوم‌پردازی	طراحی/ مفهوم‌پردازی
گردآوری داده	گردآوری داده
تحلیل/ تفسیر داده	تحلیل/ تفسیر داده
سایر نقش‌ها	-

ب) اعلام تعارض منافع

در جریان انتشار مقالات علمی تعارض منافع به این معنی است که نویسنده یا نویسندگان، داوران و یا حتی سردبیران مجلات دارای ارتباطات شخصی و یا اقتصادی می‌باشند که ممکن است به طور ناعادلانه‌ای بر تصمیم‌گیری آن‌ها در چاپ یک مقاله تأثیرگذار باشد. تعارض منافع به خودی خود مشکلی ندارد بلکه عدم اظهار آن است که مسئله‌ساز می‌شود.

بدین وسیله نویسندگان اعلام می‌کنند که رابطه مالی یا غیرمالی با سازمان، نهاد یا اشخاصی که موضوع یا مفاد این تحقیق هستند ندارند، اعم از رابطه و انتساب رسمی یا غیررسمی. منظور از رابطه و انتفاع مالی از جمله عبارت است از دریافت پژوهانه، گرنت آموزشی، ایراد سخنرانی، عضویت سازمانی، افتخاری یا غیررسمی، اشتغال، مالکیت سهام، و دریافت حق اختراع، و البته محدود به این موارد نیست. منظور از رابطه و انتفاع غیرمالی عبارت است از روابط شخصی، خانوادگی یا حرفه‌ای، اندیشه‌ای یا باورمندانه، و غیره.

چنانچه هر یک از نویسندگان تعارض منافعی داشته باشد (و یا نداشته باشد) در فرم زیر تصریح و اعلام خواهد کرد:

مثال: نویسندهٔ الف هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارد. نویسندهٔ ب از شرکت فلان که موضوع تحقیق بوده است گرنت دریافت کرده است. نویسندگان ج و د در سازمان فلان که موضوع تحقیق بوده است سخنرانی افتخاری داشته‌اند و در شرکت فلان که موضوع تحقیق بوده است سهامدارند.

اظهار (عدم) تعارض منافع: با سلام و احترام؛ به استحضار می‌رساند نویسندگان مقاله هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارد.

نویسندهٔ مسئول: رضا یوسفی

تاریخ: ۱۴۰۱/۰۹/۱۸