Volume 18, Number 4, Winter 2026

Journal of

Science & Technology Policy

Proposing A Framework For National S&T Labs In Iran

Kiarash Fartash[1], Narges Sadat Ghadamgahi[2]

1- Associate Professor of Science and Technology Policy Making, Institute for Science and Technology Studies, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. (Corresponding author: k_fartash@sbu.ac.ir)

2- Master of Science and Technology Policy Making, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Abstract

National laboratories (labs) are pivotal institutions in the advancement of science and technology (S&T), by consolidating national research capacities and leading large-scale S&T projects to respond to national demands or push the frontiers of science. However, existing experiences of S&T labs in Iran have remained mostly service-oriented and dependent on government funding for their daily operations. This study aims to propose a framework for founding and managing national S&T labs in Iran. To this end, we reviewed the characteristics of national labs from Iranian and international experiences. By adopting a qualitative approach and conducting 14 semi-structured interviews, as well as convening a focus group, we propose a framework of features and principles for the foundation and operation of national S&T labs in the Iranian context. According to our findings, significant challenges affecting the performance of national labs include dependence on government budgets, centralized management, and limitations in utilizing external human resources. To address these limitations, our proposed framework entails five principles, i.e., (a) board of trustees governance with operational independence, (b) limited core staff complemented by an extended network of external researchers, (c) a diversified financial portfolio and project selection approach that integrates top-down strategic directions with bottom-up proposals, across frontier, applied research, and demand-driven projects, supporting infrastructure upgrade on project-basis, (d) an independent legal entity established under a management contract with a host institution, and lastly, (e) expansion of stakeholders participation and the scope of lab services. This framework provides implications towards ensuring the efficiency, continuation, and impact of national labs in S&T development in Iran.

Keywords: National Labs, S&T Development, Science Infrastructure, Science Policy, Financing Science

How to Cite this Paper:

Fartash, K. & Ghadamgahi, N. (2026). **Proposing A Framework For National S&T Labs In Iran**. *Journal of Science & Technology Policy*, 18(4), 55-73. {In Persian}.

doi: 10.22034/jstp.2026.12110.1957

CC BY

Publisher: National Research Institute for Science Policy

فصلنامه علمی – پژوهشی
سیاست علم و فناوری

سال هجدهم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴
مقاله پژوهشی

ارائه چارچوب راه اندازی و توسعه آزمایشگاه‌های ملی علم و فناوری در ایران

کیارش فرتاش[۱]، نرگس‌سادات قدمگاهی[۲]

۱- دانشیار سیاست‌گذاری علم و فناوری، پژوهشکده مطالعات بنیادین علم و فناوری، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران.
(نویسنده عهده‌دار مکاتبات: k_fartash@sbu.ac.ir)
۲- کارشناس ارشد سیاست‌گذاری علم و فناوری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

آزمایشگاه‌های ملی به‌عنوان نهادهایی کلیدی در پیشبرد توسعه علمی و فناورانه، ظرفیت‌های علمی کشورها را متمرکز نموده و با راهبری پروژه‌های بزرگ علم و فناوری در ارتقاء مرجعیت علمی یا حل مسائل جامعه تاثیرگذار هستند. با این حال الگوها و تجارب موجود آزمایشگاه‌های علمی در ایران، عمدتاً خدمات‌محور و وابسته به بودجه‌های دولتی باقی مانده‌اند. در این راستا پژوهش حاضر با هدف طراحی چارچوبی برای راه‌اندازی و اداره‌ی آزمایشگاه‌های ملی در ایران انجام شده است. در این راستا ابتدا ویژگی‌های آزمایشگاه‌های ملی از تجربه‌های بین‌المللی استخراج گردید. سپس با رویکردی کیفی و با استفاده از ۱۴ مصاحبه نیمه‌ساختار یافته و برگزاری گروه کانونی، چارچوب ویژگی‌ها و مدیریت آزمایشگاه‌های ملی برای ایران پیشنهاد شده است. بر اساس یافته‌های این پژوهش، چالش‌های تاثیرگذار بر فعالیت‌های آزمایشگاه‌های ملی در ایران شامل وابستگی به بودجه دولتی، تمرکز مدیریتی، و محدودیت در به کارگیری منابع انسانی است. لذا، چارچوب پیشنهادی راه‌اندازی و اداره این آزمایشگاه‌ها شامل ۵ اصل محوری الف) راهبری هیئت‌امنایی با استقلال عملیاتی، ب) مدل منابع انسانی «هسته‌ی ثابت محدود + همکاران گسترده»، ج) تأمین مالی چندمنبعی و تعریف پروژه‌ها با ترکیب جهت‌گیری از بالا به پایین و پیشنهاد از پایین به بالا در سه سطح پژوهش‌های لبه دانش، تحقیقات کاربردی و پروژه‌های نیازمحور، همراه با توسعه زیرساخت‌های پروژه‌محور، د) شخصیت حقوقی مستقل همراه با قرارداد مدیریت با نهاد میزبان و هـ) گسترش دامنه مشارکت و خدمات آزمایشگاه است. این چارچوب در اطمینان از کارآمدی، پایداری و اثرگذاری آزمایشگاه‌های ملی در توسعه علم و فناوری موثر خواهد بود.

کلیدواژه‌ها: آزمایشگاه ملی، توسعه علم و فناوری، زیرساخت علم، سیاست علم، تأمین مالی علم.

برای استنادات بعدی به این مقاله، قالب زیر به نویسندگان محترم مقالات پیشنهاد می‌شود:
فرتاش، کیارش. و قدمگاهی، نرگس‌سادات. (۱۴۰۴). ارائه چارچوب راه اندازی و توسعه آزمایشگاه‌های ملی علم و فناوری در ایران، (۴)۱۸، ۷۳-۵۵.
doi: 10.22034/jstp.2026.12110.1957

۱- مقدمه

آزمایشگاه‌های ملی در بسیاری از کشورها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ابزارهای سیاست علم و فناوری شناخته می‌شوند. این نهادها بستری برای انجام تحقیقات مرزی، پرهزینه و پرریسک فراهم می‌سازند؛ تحقیقاتی که بخش خصوصی به‌دلیل نیاز به سرمایه‌گذاری سنگین و بازده بلندمدت آن‌ها معمولاً انگیزه یا توان ورود به آن‌ها را ندارد [۱ و ۲]. آزمایشگاه‌های ملی همچنین پیوندی میان دولت، دانشگاه و صنعت ایجاد می‌کنند و علاوه بر پیشبرد مرزهای دانش، نقش فعالی در انتقال فناوری و ارتقای نوآوری ملی دارند [۳-۵] ابعاد اهمیت این نهادها در پیشینه و تجارب بین‌المللی تحلیل شده است. نخست، آن‌ها به‌عنوان بازوی اجرایی دولت در حوزه‌های مأموریت‌محور از جمله امنیت ملی، انرژی، محیط زیست و بهداشت ایفای نقش می‌کنند [۶]. دوم، با فراهم کردن زیرساخت‌های عظیم علمی، امکان اجرای پروژه‌هایی را مهیا می‌سازند که در مقیاس خصوصی یا دانشگاهی قابل انجام نیست [۷]. سوم، خروجی آن‌ها از طریق ثبت اختراعات، تجاری‌سازی و همکاری‌های مشترک، به توسعه صنایع جدید و ارتقای رقابت‌پذیری اقتصاد ملی می‌انجامد [۸ و ۹]. چهارم، آزمایشگاه‌های ملی بستری برای پژوهش‌های میان‌رشته‌ای و پاسخ به چالش‌های جهانی مانند تغییرات اقلیمی و گذار انرژی نیز هستند [۱۰].

تجربه کشورهایی پیشرو نشان داده که آزمایشگاه‌های ملی می‌توانند فراتر از مراکز پژوهشی صرف عمل کرده و به موتورهای محرک نوآوری تبدیل شوند [۱۱-۱۴].آژانس‌های تحقیقاتی فدرال در آمریکا نقش مهمی در توسعه فناوری‌های دوگانه (غیرنظامی- نظامی) ایفا کرده‌اند [۱۵ و ۱۶]، یا مؤسسات ماکس پلانک آلمان با تکیه بر استقلال سازمانی، به یکی از بازیگران اصلی علم اروپا بدل شده‌اند [۳].

در ایران نیز توسعه علم و فناوری نیازمند مجموعه‌ای از نهادهای پشتیبان است که آزمایشگاه‌های ملی یکی از اجزای مهم آن به‌شمار می‌آیند. مطالعه آزمایشگاه‌های ملی موفق بین‌المللی نشان می‌دهد این نهادها، در کنار دانشگاه‌ها و صنعت، نقشی مکملِ و مأموریت‌محور ایفا نموده و به توسعه پژوهش و فناوری در خصوص اولویت‌های ملی می‌پردازند [۱۷]. آنها ظرفیت‌های علمی و فناورانه را متمرکز کرده، پروژه‌های راهبردی را هدایت نموده و به‌طور مستقیم به پژوهش و فناوری در اولویت‌های ملی می‌پردازند [۱۸].

با وجود این ضرورت‌ها، بررسی پیشینه داخلی نشان می‌دهد که پژوهش‌های ایران در زمینه آزمایشگاه‌های ملی بسیار محدود بوده است. بیشتر مطالعات به نقش زیرساخت‌های آزمایشگاهی در دانشگاه‌ها یا شبکه‌های آزمایشگاهی پرداخته‌اند [۱۸-۲۰]. افزون بر این، روایت‌های تحلیلیِ مرتبط با شاعا نیز نشان می‌دهد که غلبه رویکرد خدمات‌رسانی و مدیریت موجودیِ تجهیزات، بیش از طراحی نهادی مأموریت‌محور مورد توجه بوده است [۱۹]. همچنین تجربه تاریخی شبکه‌های آزمایشگاهی تحقیقاتی کشور نشان می‌دهد که این شبکه‌ها غالباً خدمات‌گرا بوده و بیشتر در نقش تأمین‌کننده سرویس و دسترسی به تجهیزات عمل کرده‌اند تا نهادی مأموریت‌محور برای راهبری تحقیقات کلان [۲۱].

در پیشینه سیاست علم و فناوری نیز بر اهمیت نهادها و ساختارهای راهبری برای پشتیبانی از نوآوری تأکید شده است. برای نمونه، فرتاش و سعدآبادی [۲۲] نشان داده‌اند که ضعف یا شکست نهادی می‌تواند مانع جدی توسعه علمی و فناورانه باشد و بدون نهادهای کارآمد، حتی سیاست‌های حمایتی نیز اثربخشی محدودی خواهند داشت.

در مجموع، بر اساس پیشینه داخلی، اگرچه در تقویت «لایه خدمات و هماهنگیِ زیرساختی» پیشرفت نموده، اما در «طراحی نهادی و راهبری آزمایشگاه‌های ملی» شکاف معناداری با تجارب بین‌المللی مشاهده می‌شود. در این راستا، این مقاله با مرور تجارب بین‌المللی و در نظر گرفتن شرایط ایران، چارچوبی برای طراحی و فعالیت‌های آزمایشگاه‌های ملی ارائه می‌دهد.

ساختار مقاله به این صورت سامان یافته است؛ ابتدا، پیشینه و تجارب بین‌المللی مرور می‌شود تا جایگاه آزمایشگاه‌های ملی در نظام علم و فناوری تبیین گردد. در ادامه به روش‌شناسی پژوهش می‌پردازیم؛ در این بخش، فرآیند طراحی چارچوب اولیه، گردآوری داده‌ها از طریق تحلیل اسناد و انجام

مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با خبرگان، و نحوه ترکیب این داده‌ها توضیح داده می‌شود. در بخش بعدی، یافته‌های پژوهش و چارچوب پیشنهادی برای آزمایشگاه‌های ملی ایران در پنج محور ارائه می‌گردد. سپس، به بحث در خصوص یافته‌ها و دلالت‌های آن‌ها، با مقایسه تجربه ایران و تجارب موفق بین‌المللی می‌پردازیم. در نهایت،جمع‌بندی یافته‌ها ارائه می‌شود و چند پیشنهاد سیاستی برای طراحی و فعالیت‌های آزمایشگاه‌های ملی ارائه می‌شود[1].

۲- پیشینه پژوهش

آزمایشگاه‌های ملی به‌عنوان نهادهایی کلیدی در پیشبرد توسعه علمی و فناوری شناخته می‌شوند. این مراکز، که اغلب با حمایت مالی دولت‌ها تأسیس و مدیریت می‌شوند، بستری برای انجام تحقیقات پیشرفته فراهم می‌آورند که بخش خصوصی به‌تنهایی قادر به انجام آن نیست [۱]. هدف اصلی این آزمایشگاه‌ها تولید دانش و فناوری‌هایی است که به پیشرفت ملی و افزایش توان رقابتی در عرصه جهانی منجر می‌شود [۱۶]. از زمان پیدایش این نهادها در قرن بیستم، اهمیت آن‌ها در حوزه‌هایی نظیر امنیت ملی، انرژی، و نوآوری صنعتی به اثبات رسیده است [۶].

آزمایشگاه‌های ملی در پاسخ به نیازهای علمی و نظامی قرن بیستم میلادی ایجاد شدند و سیر تحول آن‌ها نشان‌دهنده تغییرات اولویت‌های جوامع بشری است. پس از جنگ جهانی دوم، دولت‌ها دریافتند که برای پیشرفت سریع در فناوری و حفظ امنیت ملی، به نهادهای متمرکزی نیاز است که مستقل از سازوکارهای بازار عمل کنند [۶]. این نیاز به‌ویژه در امریکا مشهود بود، جایی که آزمایشگاه‌هایی نظیر لوس آلاموس و اوک ریج برای پروژه منهتن تأسیس شدند. این نهادها در ابتدا بر توسعه تسلیحات هسته‌ای متمرکز بودند، اما با گذر زمان به مراکز چندمنظوره‌ای تبدیل شدند که در حوزه‌هایی چون انرژی هسته‌ای، علوم پزشکی، و فناوری مواد نیز فعالیت کردند [۳]. این قابلیت انطباق‌پذیری نشان می‌دهد که آزمایشگاه‌های ملی می‌توانند با نیازهای متغیر جوامع همگام شوند [۱۰]. این نهادها همچنین در انتقال فناوری به بخش خصوصی نقش بسزایی ایفا می‌کنند [۱]، امری که به‌ویژه در اقتصادهای دانش‌بنیان از اهمیت بالایی برخوردار است.

نقش تاریخی آزمایشگاه‌های ملی فراتر از مسائل نظامی است. در دهه‌های پس از جنگ سرد، این نهادها به موتورهای نوآوری در زمینه‌های غیرنظامی تبدیل شدند. به‌عنوان نمونه، آزمایشگاه‌های ملی امریکا در دهه ۱۹۷۰ با چالش‌های مالی مواجه شدند، اما با تغییر جهت‌گیری به سمت زیست‌فناوری، جایگاه خود را حفظ کردند [۶]. این آزمایشگاه‌ها در انتقال فناوری به صنعت نقش مهمی ایفا کرده‌اند و با ثبت صدها اختراع در سال، به تقویت اقتصاد امریکا یاری رسانده‌اند [۵].

در دوران معاصر، با تشدید رقابت جهانی در حوزه فناوری، آزمایشگاه‌های ملی به ابزاری راهبردی برای حفظ برتری کشورها تبدیل شده‌اند. کشور چین به عنوان نمونه‌ای برجسته، بر ایجاد آزمایشگاه‌های ملی توجه بی‌سابقه‌ای نشان داده است و خود را به یکی از پیشگامان نوآوری تبدیل کرده است [۲۳].

در روسیه نیز آزمایشگاه‌های ملی، نقش حیاتی در پیشبرد تحقیقات علمی و فناوری این کشور ایفا می‌کنند، به‌ویژه در حوزه‌هایی مانند علوم تسلیحات هسته‌ای، فناوری قدرت پالسی، علوم مواد، فیزیک محاسباتی و علوم کامپیوتر [۶].

در اروپا الگوهای مختلفی از آزمایشگاه‌های ملی وجود دارد که می‌توان به موسسات ماکس پلانک در آلمان اشاره کرد. این مؤسسات که در سال ۱۹۴۸ تأسیس شدند، در نقطه مقابل مدل آمریکایی (تمرکز بر مسائل نظامی)، بر تحقیقات بنیادی متمرکز شدند [۱۴]. این آزمایشگاه‌ها به‌عنوان میزبان زیرساخت‌های تحقیقاتی بزرگ و پرهزینه مانند شتاب‌دهنده‌ها و رآکتورها، امکان انجام تحقیقات سرمایه‌بر و میان‌رشته‌ای را فراهم می‌کنند که برای چالش‌های کلان مانند انرژی‌های تجدیدپذیر ضروری هستند [۳].

بر اساس جمع‌بندی نویسندگان از پیشینه، «آزمایشگاه ملی» نهادی در سطح راهبری سیاست علم و فناوری محسوب

[1] این مقاله براساس یافته‌های پژوهش سیاستی نویسندگان در راستای تدوین «اساسنامه نمونه آزمایشگاه‌های ملی» نگاشته شده است. این اساسنامه نمونه پس از تصویب در تاریخ ۱۴۰۳/۰۹/۱۹ (ابلاغیه شماره ۱/۱۴۸۹۰۸/د) معاون علمی، فناوری و اقتصاد دانش بنیان رییس جمهور ابلاغ شده و تعدادی آزمایشگاه ملی بر اساس این چارچوب با حمایت معاونت علمی در حال شکل‌گیری هستند.

می‌شود که ماموریت آن پرداختن به پژوهش‌های لبه دانش، پژوهش‌های مرتبط با اولویت‌ها و چالش‌های ملی است [۲، ۳، ۵، ۹ و ۱۰]. این نهادها زیرساخت‌های علم و فناوری متمایز و به روز ملی محسوب می‌شوند و امکان انجام پژوهش و توسعه فناوری را در زمینه‌ها و پروژه‌هایی فراهم می‌آورند که در سایر زیرساخت‌های موجود کشور عموماً امکان پذیر نمی‌باشد [۱، ۵ و ۶]. بر این اساس، آزمایشگاه‌های ملی دارای مجموعه‌ای از ویژگی‌های متمایز هستند که عبارتند از الف) مأموریت ملی در خصوص چالش‌ها و اولویت‌های کشور؛ ب) برخورداری از زیرساخت‌های تحقیقاتی روزآمد، پیشرفته و سرمایه‌بر در حوزه‌های میان‌رشته‌ای و راهبردی؛ ج) حمایت و سرمایه‌گذاری دولت با ساختار حکمرانی مستقل و شفاف؛ د) دسترسی گسترده جامعه علمی و صنعتی از ظرفیت‌ها و زیرساخت‌های آزمایشگاه؛ و هـ) ایفای نقش پیشران، توانمندساز و شبکه‌سازی در توسعه دانش علمی، مهارت و توسعه پژوهش و فناوری در سطح ملی.

در ایران، اهمیت آزمایشگاه‌های ملی به دلیل چالش‌های داخلی، از جمله کمبود منابع انرژی، مسائل زیست‌محیطی، و نیاز به خودکفایی فناورانه، بیش از پیش آشکار است [۲۱]. به منظور دست‌یابی به مدلی کارآمد برای راه‌اندازی آزمایشگاه‌های ملی، طراحی چارچوبی دربردارنده معیارهای کلیدی که عملکرد، پایداری و تاثیرگذاری این نهادها را تضمین کند، ضروری است. معیارها به‌عنوان چارچوبی ساختاریافته، امکان ارزیابی و مقایسه آزمایشگاه‌های ملی در کشورهای مختلف را فراهم می‌آورد.

۲-۱ راهبری آزمایشگاه‌های ملی

نحوه راهبری آزمایشگاه‌های ملی، شامل فرآیندهای تصمیم‌گیری، هماهنگی و مدیریت راهبردی است که به طور کلی جهت‌گیری فعالیت‌های آزمایشگاه موردنظر را تعیین می‌کند. در بسیاری از کشورها، راهبری آزمایشگاه‌ها به صورت متمرکز طراحی شده که اهداف ملی و نیازهای علمی را هم‌راستا کند برای نمونه، مدل راهبری آزمایشگاه‌های ملی امریکا به صورت متمرکز بوده و تحت نظارت وزارت انرژی[1] قرار دارد؛ این مدل نه‌تنها به هماهنگی میان آزمایشگاه‌ها منجر می‌شود بلکه امکان اولویت‌بندی پروژه‌های ملی و تخصیص بهینه منابع را فراهم ساخته است [۸]. در مقابل، مدل‌های دیگر راهبری، مانند آنچه در آزمایشگاه‌های ملی کشورهای اروپایی مشاهده می‌شود به صورت غیرمتمرکز هدایت می‌شوند؛ در این مدل، که در آن آزمایشگاه‌ها از استقلال بیشتری برخوردارند، انعطاف‌پذیری در پاسخ به نیازهای منطقه‌ای را افزایش می‌دهد [۲۴].

در چین و روسیه، مدل راهبری متمرکز با شعب منطقه‌ای رایج است که امکان مدیریت متمرکز را با انعطاف‌پذیری منطقه‌ای ترکیب می‌کند [۲۵]. مؤسسات ماکس پلانک نیز با مدیریت توسط انجمن علمی و نظارت محدود دولتی، توانسته‌اند انعطاف‌پذیری بالایی در پیگیری تحقیقات بنیادی داشته باشند [۳]. این نوع راهبری، ضمن حفظ هماهنگی با سیاست‌های ملی، به آزمایشگاه‌ها اجازه می‌دهد تا بر نوآوری‌های علمی بلندمدت متمرکز شوند.

در ایران، آزمایشگاه ملی نقشه‌برداری مغز به صورت متمرکز راهبری می‌شود، این مدل در قالب هیئت امنا سازمان‌دهی شده و مسئولیت هدایت راهبردی و تصویب برنامه‌های کلان را بر عهده دارد. هیئت امنا تحت نظارت نهادهای دولتی فعالیت می‌کند و ساختار راهبری آن در چارچوب سیاست‌های ملی علم و فناوری تعریف می‌شود [۲۵].

ساختار مدیریتی و نظارتی اغلب آزمایشگاه‌های ملی، به صورت هیئت امنایی و با حضور نمایندگان دولت، صنعت، و دانشگاه‌ها انجام می‌شود. این ساختار ایجاد تعادل بین اهداف ملی و محلی، امکان مشارکت ذی‌نفعان مختلف را فراهم کرده و به افزایش شفافیت و پاسخ‌گویی کمک می‌کند [۳]. در تعیین مدل راهبری آزمایشگاه‌ها، حفظ استقلال نسبی آن‌ها به منظور پاسخ‌گویی به نیازهای متغیر و حفظ نوآوری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۶].

عموماً در انتصاب مدیر آزمایشگاه، استقلال علمی، پاسخ‌گویی عملکردی و نظارت عمومی در نظر گرفته می‌شود. در آمریکا،

[1] DOE

آزمایشگاه‌های ملی از طریق نظام مدیریت قراردادی اداره می‌شوند؛ بدین معنا که اداره هر آزمایشگاه به کنسرسیومی از دانشگاه‌ها یا مؤسسات علمی واگذار و مدیر آن با تأیید DOE منصوب می‌شود، تا توازن استقلال اجرایی و علمی و اهداف ملی برقرار شود [۲۵]. همچنین در ماکس‌پلانک، مدیر هر آزمایشگاه/ موسسه از میان پژوهشگران برجسته توسط کمیته‌های علمی انتخاب و با تأیید هیات عالی (امنا) ماکس‌پلانک منصوب می‌شود. این هیات شامل نمایندگان دولت و جامعه علمی است، اما اکثر آن‌ها دارای وابستگی غیردولتی‌اند تا انتخاب مدیران به‌صورت رقابتی و مستقل از ملاحظات سیاسی انجام گیرد [۲۵]. در چین و روسیه نیز مؤسسات و آزمایشگاه‌های وابسته به آکادمی‌های علوم ساختاری نیمه‌دولتی دارند که در آن مدیران با پیشنهاد شوراهای علمی و تأیید دولت منصوب می‌شوند، هرچند در سال‌های اخیر اصلاحاتی برای افزایش استقلال و شفافیت مدیریتی مورد توجه قرار گرفته است [۱۱ و ۲۵].

لذا در مجموع، علی‌رغم لزوم استقلال اداری و علمی آزمایشگاه‌های ملی، نقش دولت‌ها در انتصاب مدیران آن‌ها به صورت مستقیم و غیرمستقیم در اکثر تجارب بین‌المللی مشهود است.

۲-۲ ترکیب و ساختار منابع انسانی آزمایشگاه‌های ملی

منابع انسانی در آزمایشگاه‌های ملی، به‌عنوان عامل اصلی تولید دانش، شامل ترکیب پژوهشگران و تخصص‌های آن‌هاست؛ و سیاستگذاری در این حوزه، شامل نحوه استخدام و جذب استعدادها نقشی محوری در کیفیت تحقیقات ایفا می‌کند. ترکیبی از نیروی انسانی تمام‌وقت و پاره‌وقت، شامل پژوهشگران مستقل و اعضای هیئت علمی دانشگاه‌ها، به آزمایشگاه‌ها امکان می‌دهد تا از تخصص‌های متنوع بهره‌مند شوند. این تنوع به مدیریت هزینه‌های ثابت و افزایش انعطاف‌پذیری در پروژه‌ها کمک می‌کند [۲۶]. با این‌حال، وابستگی بیش‌ازحد به نیروی پاره‌وقت ممکن است به کاهش تعهد سازمانی و انسجام در پروژه‌های بلندمدت منجر شود [۲۷].

آزمایشگاه‌های ملی امریکا و آزمایشگاه ملی مغز ایران معمولاً از پژوهشگرانی استفاده می‌کنند که به‌عنوان هیئت علمی مشترک با دانشگاه‌ها[1] با این نهادها همکاری دارند و به‌صورت مستقل و تمام‌وقت در استخدام این آزمایشگاه‌ها نیستند. در مقابل، آکادمی علوم چین، آکادمی علوم روسیه، و ماکس پلانک از پژوهشگرانی بهره می‌برند که به‌طور تمام‌وقت و مستقل توسط خود این نهادها استخدام شده‌اند [۲۵]. آزمایشگاه‌های ملی در فرانسه و بریتانیا و همچنین ماکس پلانک اغلب از پژوهشگرانی استفاده می‌کنند که به‌صورت مستقل از دانشگاه‌ها فعالیت می‌کنند، اما همکاری نزدیکی با مراکز آکادمیک دارند [۲۴]. در مقابل، آزمایشگاه‌های ملی چین، بر اهمیت سرمایه‌گذاری در نیروی انسانی تمام‌وقت و برنامه‌های آموزشی مداوم برای ارتقای زنجیره ارزش ملی تأکید دارند [۲۳]. این رویکرد به‌ویژه در کشورهایی که به دنبال توسعه فناوری‌های پیشرفته هستند، از اهمیت بالایی برخوردار است. آزمایشگاه‌های ملی با جذب استعدادهای برتر و ایجاد محیط‌های کاری انگیزشی، توانسته‌اند به مراکز پیشران علم و فناوری تبدیل شوند [۷].

۲-۳ ساختار تعریف پروژه، زیرساخت، بودجه و درآمد آزمایشگاه‌های ملی

ساختار تعریف پروژه و تأمین مالی، به نحوه تخصیص منابع و تعیین اولویت‌های تحقیقاتی در آزمایشگاه‌های ملی اشاره دارد. در بسیاری از کشورها، پروژه‌ها بر اساس اهداف کلان ملی تعریف می‌شوند و بودجه به‌صورت متمرکز تأمین می‌شود. به‌عنوان مثال، در چین، آزمایشگاه‌های ملی با بودجه کاملاً دولتی فعالیت می‌کنند و پروژه‌ها به‌گونه‌ای تعریف می‌شوند که اهداف راهبردی ملی، مانند توسعه فناوری‌های پیشرفته، را محقق کنند [۲۳]. در مقابل، مدل‌های ترکیبی بودجه‌بندی نیز در بسیاری از کشورها رایج است [۵]. آزمایشگاه‌های ملی در امریکا به وسیله ترکیبی از بودجه دولتی، قراردادهای صنعتی، و درآمد حاصل از انتقال فناوری تأمین مالی می‌شوند [۴, ۱۲]. این تنوع منابع درآمدی به پایداری مالی کمک می‌کند، اما نیازمند مدیریت پیچیده‌ای برای هماهنگی بین منابع مختلف است. در آلمان، مؤسسات ماکس پلانک از بودجه ترکیبی (دولتی و انجمن ماکس پلانک) بهره می‌برند و پروژه‌ها بیشتر بر تحقیقات بنیادی

[1] Joint Faculty

متمرکز هستند [۳].

در الگوهای مختلف آزمایشگاه‌های ملی، الگوی توسعه زیرساخت‌های پژوهشی تفاوت دارد. در امریکا و مؤسسات ماکس پلانک، این زیرساخت‌ها به‌صورت مستمر و مبتنی بر پروژه‌های تحقیقاتی ایجاد و به‌روزرسانی می‌شوند و هزینه‌های آن‌ها نیز از محل اعتبارات همان پروژه‌ها تأمین می‌گردد. در مقابل، در آکادمی‌های علوم چین و روسیه و نیز آزمایشگاه ملی مغز ایران، توسعه زیرساخت‌ها عمدتاً به‌صورت دوره‌ای و با اتکا به بودجه‌های متمرکز دولتی انجام می‌شود که معمولاً هر چند سال یک‌بار از طریق منابع دولتی اختصاص می‌یابد [۲۵].

آزمایشگاه‌های ملی امریکا اغلب پروژه‌هایی را دنبال می‌کنند که با چالش‌های ملی، مانند امنیت انرژی، فناوری‌های دفاعی، یا تغییرات اقلیمی، هم‌راستا هستند. این تمرکز به جذب بودجه‌های دولتی کمک می‌کند، اما ممکن است توانایی آزمایشگاه‌ها در پیگیری پروژه‌های نوآورانه و بلندمدت را محدود سازد [۸]. آزمایشگاه‌های ملی باید ترکیبی از پروژه‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت را در سبد فعالیت‌های خود داشته باشند تا هم به نیازهای فوری پاسخ دهند و هم به نوآوری‌های تحول‌آفرین کمک کنند [۱۰].

مدیریت بودجه و تعریف پروژه نیازمند سازوکارهای شفاف و کارآمد است. آزمایشگاه‌های ملی باید فرآیندهای روشنی برای اولویت‌بندی پروژه‌ها و تخصیص منابع داشته باشند تا از پراکندگی فعالیت‌ها جلوگیری شود [۵]. انطباق پروژه‌ها با اولویت‌های ملی به ویژه در زمان‌های محدودیت بودجه‌ای ضروری است [۶]. به طور کلی آزمایشگاه‌های ملی باید استراتژی‌های متنوع‌سازی منابع درآمدی را دنبال کنند تا وابستگی به یک منبع خاص کاهش یابد [۱]. آزمایشگاه‌های ملی موفق، با ایجاد تعادل بین پروژه‌های درآمدزا و پروژه‌های تحقیقاتی بلندمدت، توانسته‌اند جایگاه خود را به‌عنوان مراکز پیشرو در نوآوری تثبیت کنند.

۲-۴ ساختار سازمانی و اداره آزمایشگاه‌های ملی

ساختار اداره و نهاد میزبان آزمایشگاه‌های ملی، به نحوه مدیریت و وابستگی نهادی آن‌ها مربوط می‌شود. در برخی کشورها مانند چین که مدیریت آزمایشگاه‌ها به صورت متمرکز و توسط دولت انجام می‌شود، آزمایشگاه‌ها در موسسات دولتی میزبانی می‌شوند [۲۳]. در امریکا مدل میزبانی مشترک نیز اجرا شده است؛آزمایشگاه‌های ملی یا توسط وزارت انرژی یا نهادهای دولتی مشابه اداره می‌شوند، و یا تحت قراردادهای مدیریت و عملیات[1] توسط دانشگاه‌ها یا شرکت‌های خصوصی مدیریت می‌شوند [۲].

آزمایشگاه ملی مغز ایران ایران نیز به صورت میزبانی مشترک و با میزبانی دانشگاه تهران فعالیت می‌کند. این مدل به آزمایشگاه‌ها امکان می‌دهد تا از تخصص و زیرساخت‌های نهادهای میزبان بهره‌مند شوند، اما ممکن است به تضاد منافع بین اهداف ملی و منافع نهاد میزبان منجر شود. در اروپا، آزمایشگاه‌های ملی در فرانسه اغلب توسط نهادهای دولتی مانند مرکز ملی تحقیقات علمی[2] میزبانی می‌شوند، درحالی‌که در بریتانیا، مدل‌های ترکیبی با مشارکت بخش خصوصی رایج‌تر است [۲۴]. در آلمان نیز، مؤسسات ماکس پلانک توسط انجمن علمی اداره می‌شوند و در مؤسسات مستقل میزبانی می‌شوند، که این ساختار به آن‌ها استقلال بیشتری در پیگیری تحقیقات بنیادی می‌دهد [۳].

۲-۵ انواع مشارکت و ارائه خدمات آزمایشگاه‌های ملی

انواع مشارکت و خدماتی که آزمایشگاه‌های ملی ارائه می‌دهند، جایگاه آن‌ها را به‌عنوان مراکز نوآوری و توسعه فناوری تعیین می‌کند. در بسیاری از موارد، آزمایشگاه‌های ملی بر پژوهش‌های شاخص و تولید دانش متمرکز هستند، اما مشارکت آزمایشگاه‌های ملی با صنعت، دانشگاه‌ها، و نهادهای دولتی برای تجاری‌سازی فناوری‌ها و ایجاد ارزش اقتصادی ضروری است. این مشارکت‌ها می‌توانند شامل پروژه‌های تحقیقاتی مشترک، ارائه خدمات مشاوره‌ای، یا انتقال پتنت‌ها باشند [۱]. به‌عنوان مثال، در امریکا، آزمایشگاه‌های ملی علاوه بر انجام تحقیقات داخلی، مشارکت گسترده‌ای با صنعت دارند و خدماتی مانند انتقال فناوری و پتنت را ارائه می‌دهند که به درآمدزایی و تقویت اکوسیستم نوآوری کمک می‌کند [۴].

در کشورهایی مانند چین و روسیه، آکادمی علوم عمدتاً بر

[1] M&O
[2] CNRS

انجام پروژه‌های شاخص و لبه دانش متمرکز هستند و مشارکت محدودی با بخش خصوصی دارند، اما از طریق همکاری با صنایع کوچک و متوسط به ارتقای زنجیره ارزش ملی کمک می‌کنند [۲۳].

آزمایشگاه‌های ملی در کشورهای مختلف خدمات متنوعی از جمله آزمایش‌های استاندارد، آموزش تخصصی، و پشتیبانی از استارتاپ‌ها ارائه می‌دهند. در آزمایشگاه ملی مغز ایران عمده فعالیت‌ها به ارائه خدمات زیرساختی و تخصصی در حوزه‌های مرتبط با پژوهش و فناوری اختصاص دارد. برخی آزمایشگاه‌های ملی امریکا نیز علاوه بر انجام مأموریت‌های علمی و پژوهش‌های بنیادی، نقش مهمی در ارائه خدمات زیرساختی ایفا می‌کنند [۲۵].

این خدمات به توسعه فناوری کمک کرده و آزمایشگاه‌ها را به‌عنوان مراکز کلیدی در بوم‌سازگان نوآوری ملی تثبیت می‌کنند [۱۵]. بااین‌حال، تنوع بیش‌ازحد خدمات ممکن است به پراکندگی منابع و کاهش تمرکز بر مأموریت‌های اصلی آزمایشگاه منجر شود. در آلمان، مؤسسات پژوهشی مانند ماکس پلانک عمدتاً بر تحقیقات بنیادی تمرکز دارند و خدمات محدودی مانند آزمایش‌های استاندارد یا آموزش تخصصی به جامعه علمی ارائه می‌دهند [۳].

در جدول ۱ مدل‌ها و رویکردهای متنوع حاکم بر ساختار راهبری و مدیریت آزمایشگاه‌های ملی جمع‌بندی شده است. سه نمونه برجسته شامل آزمایشگاه‌های ملی آمریکا، مؤسسه ماکس پلانک و آکادمی‌های علوم چین و روسیه، به دلیل تفاوت‌ها در شیوه اداره، ساختار سازمانی و مدل‌های عملیاتی انتخاب شده‌اند. آزمایشگاه ملی مغز ایران نیز به‌عنوان نماینده‌ای داخلی و الگوی قابل مقایسه با نمونه‌های بین‌المللی در این تحلیل گنجانده شده است تا بتوان درک روشن‌تری از نقاط تمایز و وجوه اشتراک مدل ایرانی با الگوهای موفق جهانی فراهم کرد.

۳- روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش با هدف طراحی چارچوبی پیشنهادی برای راه‌اندازی و توسعه آزمایشگاه‌های ملی در ایران، با رویکردی کیفی و با راهبرد مطالعه موردی انجام شده است. تحقیق کیفی رویکردی است که به پژوهشگران امکان کاوش عمیق در جزئیات ظریف تجربه‌های مشارکت‌کنندگان را می‌دهد[۲۸]؛ در واقع، تحقیق کیفی نه‌تنها به توصیف و درک پدیده‌ها کمک می‌کند، بلکه درک عمیق و معناداری از تعاملات و شرایطی که این پدیده‌ها را شکل داده‌اند فراهم می‌نماید [۲۹]. همچنین راهبرد مطالعه موردی، با فراهم‌کردن امکان بررسی عمیق پدیده در بستر واقعی آن، به پژوهشگر این فرصت را می‌دهد تا با مقایسه چارچوب‌های نظری با ویژگی‌های تجربی مورد مطالعه، به تحلیل نظام‌مند و اعتبارسنجی نظریه‌ها بپردازد [۲۸]. تمرکز پژوهش بر استخراج مولفه‌های کلیدی از تجارب بین‌المللی و بومی‌سازی آن بر اساس نظرات خبرگان نظام علم و فناوری ایران بوده است [۳۰]. فرآیند پژوهش در سه گام اصلی صورت گرفته است.

۳-۱ مرور پیشینه و پیشنهاد چارچوب اولیه

در گام نخست، با بهره‌گیری از منابع ثانویه شامل مقالات علمی، اسناد رسمی و گزارش‌های سازمانی، مدل‌های مرجع آزمایشگاه‌های ملی در کشورهایی نظیر امریکا، آلمان، چین و روسیه مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های منتخب شامل آزمایشگاه‌های ملی امریکا، ماکس پلانک آلمان، آکادمی‌های علوم چین و روسیه و همچنین آزمایشگاه ملی مغز ایران هستند. انتخاب این موارد به دلیل تنوع در شیوه اداره، ساختار سازمانی و مدل‌های عملیاتی بوده است. سپس از طریق تحلیل اسنادی، چارچوب مولفه‌های کلیدی در طراحی چارچوب راه‌اندازی آزمایشگاه‌های ملی استخراج شد (شکل ۱). همچنین بعد از انجام مصاحبه ها یک جلسه گروه کانونی ۷ نفره برای بررسی چارچوب پیشنهادی و تایید آن برگزار شد. در این جلسه نظر تکمیلی و تخصصی اعضا در خصوص عوامل مستخرج اخذ و اطمینان حاصل شد که عامل تاثیرگذار یا جدیدی لحاظ نشده باشد. چاچوب نهایی مبنای طراحی ابزار گردآوری داده در مرحله دوم قرار گرفت.

۳-۲ جمع‌آوری داده‌ها

در گام دوم، به‌منظور اعتبارسنجی و بومی‌سازی چارچوب

جدول ۱) جمع‌بندی پیشینه در خصوص ویژگی‌های آزمایشگاه‌های ملی (بر اساس جمع‌بندی نویسندگان)

موضوع		رویکردها	نمونه رویکرد در آزمایشگاه‌های ملی
۱- راهبری آزمایشگاه ملی		الف- غیرمتمرکز، واگذاری آزماشیگاه به یک میزبان دولتی و خصوصی در قالب قرارداد سالانه	آزمایشگاه‌های امریکا
		ب- متمرکز، هیئت امنایی	آزمایشگاه ملی مغز ایران
		ج- متمرکز با شعب منطقه‌ای، هیئت امنایی	آکادمی علوم چین و روسیه، ماکس پلانک
۲- ترکیب و ساختار منابع انسانی	هیئت علمی	الف- استفاده از اعضای هیئت علمی وابسته (عموماً عضو هیات علمی مستقل ندارند)	آزمایشگاه‌های امریکا، آزمایشگاه ملی مغز ایران
		ب- استفاده از اعضای هیئت علمی مستقل تمام وقت	آکادمی علوم چین و روسیه، ماکس پلانک
	پرسنل، پژوهشگر و دانشجو	الف- جذب پژوهشگران تمام وقت عمدتاً برای انجام پروژه‌ها و ارائه دوره‌های تحصیلات تکمیلی مشترک با دانشگاه‌ها	آزمایشگاه‌های امریکا، ماکس پلانک
		ب- جذب پژوهشگران تمام وقت و ارائه دوره‌های تحصیلات تکمیلی مستقل	آکادمی علوم چین و روسیه
		ج- عدم جذب پژوهشگر تمام وقت و عدم ارائه تحصیلات تکمیلی	آزمایشگاه ملی مغز ایران
۳- ساختار تعریف پروژه، زیرساخت، بودجه و درآمد	فرآیند تعریف پروژه	الف- بر اساس نیازها و اولویت‌های ملی ابلاغی دولت	آزمایشگاه‌های امریکا، ماکس پلانک
		ب- پیشنهاد پرسنل آزمایشگاه با رعایت اولویت‌های ملی	ماکس پلانک، آکادمی علوم چین و روسیه
		ج- بر اساس سفارش متقاضی/ کارفرمای بیرونی	آزمایشگاه ملی مغز ایران
	موضوع پروژه‌ها	الف- لبه دانش و در راستای اولویت‌های ابلاغی ملی	آزمایشگاه‌های امریکا، ماکس پلانک
		ب- پژوهش‌های کاربردی و بنیادی شاخص و با لبه دانش پیشنهادی پرسنل آزمایشگاه یا کارفرمای پروژه	ماکس پلانک، آکادمی علوم چین و روسیه
		ج- نیاز محور (بر اساس نیاز متقاضی/ کارفرما)	آزمایشگاه ملی مغز ایران
	توسعه زیرساخت	الف- مستمر و پروژه محور: زیرساخت‌های پژوهش و فناوری شاخص ملی و بین‌المللی (ایجاد و نوسازی آن در قالب بودجه پروژه‌های پژوهشی)	آزمایشگاه‌های امریکا، ماکس پلانک
		ب- مقطعی و با بودجه متمرکز دولتی: زیرساخت‌های پژوهش و فناوری شاخص (ایجاد و نوسازی آن به صورت مقطعی و چندسال یکبار با تامین مالی دولت)	آکادمی علوم چین و روسیه؛ آزمایشگاه ملی مغز ایران
	ترکیب بودجه و درآمد	الف- عمدتاً دولتی	آکادمی علوم چین و روسیه
		ب- ترکیبی	آزمایشگاه‌های امریکا (۹۰٪ دولت)، ماکس پلانک (۸۰٪ دولت)،آزمایشگاه ملی مغز ایران (۷۵٪ دولت)
۴- ساختار سازمانی، مالکیت و نحوه اداره		الف- فاقد میزبان، مستقل و خصوصی (خصوصی)	ماکس پلانک
		ب- فاقد میزبان، مستقل و زیر نظر دولت (دولتی)	آکادمی علوم چین و روسیه
		ج- دارای میزبان بر اساس قرارداد مقطعی پیمانکاری با دولت (دولتی با میزبانی دانشگاهی یا خصوصی)	آزمایشگاه‌های امریکا، آزمایشگاه ملی مغز ایران (به میزبانی دانشگاه تهران)
۵- انواع مشارکت و ارائه خدمات		الف- تمرکز بر انجام پروژه‌های شاخص و لبه دانش پژوهش و فناوری	آزمایشگاه‌های امریکا، ماکس پلانک، آکادمی علوم چین و روسیه
		ب- تمرکز بر ارائه خدمات زیرساختی و تخصصی	آزمایشگاه ملی مغز ایران، آزمایشگاه‌های امریکا

شکل ۱) موضوعات و مسائل کلیدی در طراحی و راه‌اندازی آزمایشگاه‌های ملی علم و فناوری

اولیه، ۱۴ مصاحبه نیمه‌ساختاریافته با مدیران، سیاست‌گذاران و خبرگان حوزه سیاست‌گذاری علم و فناوری که دارای تجربه مدیریتی، کارشناسی، مشاوره‌ای و سیاستی مرتبط با آزمایشگاه‌های ملی و زیرساخت‌های پژوهش و فناوری کشور هستند، انجام شد. انتخاب خبرگان به روش هدفمند[1] و با معیارهایی چون سابقه مدیریتی یا پژوهشی در حوزه زیرساخت‌های پژوهش و یا اداره آزمایشگاه‌های تحقیقاتی، و آشنایی با سیاست علم و فناوری صورت گرفت. مصاحبه‌ها با استفاده از راهنمای ساختاریافته مبتنی بر مؤلفه‌های اصلی پژوهش انجام شد و شامل سؤالاتی درباره‌ی تجربه‌های زیسته خبرگان از طراحی یا اجرای زیرساخت‌های پژوهشی، نقش دولت، دانشگاه و صنعت، نحوه تأمین مالی و چالش‌های همکاری بین‌بخشی بود. مصاحبه‌ها در بازه‌ی زمانی آذر تا اسفند ۱۴۰۳، به‌صورت حضوری یا آنلاین انجام شده، به‌طور کامل ضبط و پیاده‌سازی گردید. با توجه به آنکه تعیین حجم نمونه در پژوهش‌های کیفی، معیاری مشخص ندارد، راهبردی برای تعیین حجم نمونه در روشهای کیفی، تحت عنوان اشباع نظری[2] ارائه شده است [۳۱].

پس از انجام ۱۱ مصاحبه، مضامین جدیدی استخراج نشد و برای اطمنیان از کفایت جمع‌آوری داده، سه مصاحبه دیگر (جمعاً ۱۴ مصاحبه) انجام شد [۳۲,۳۳]. جدول مشخصات مصاحبه‌شوندگان در جدول ۲ قابل مشاهده است.

[1] Purposeful Sampling

[2] Theoretical Saturation

جدول ۲) مشخصات مصاحبه‌شوندگان

ردیف	سازمان	سمت	کد
۱	وزارت علوم، تحقیقات و فناوری	معاون پژوهشی	خ۱
۲		مدیرکل در معاونت پژوهشی	خ۲
۳		مدیرکل در معاونت آموزشی	خ ۳
۴	معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش بنیان	معاون سیاست‌گذاری و توسعه	خ ۴
۵		مدیرکل سیاست‌گذاری	خ۵
۶		رییس مرکز توسعه فناوری‌های راهبردی	خ ۶
۷		دبیر ستاد توسعه علوم و فناوری‌های شناختی	خ ۷
۸	بنیاد ملی علم ایران	رئیس بنیاد ملی علم	خ ۸
۹	دانشگاه شهید بهشتی	عضو هیئت علمی متخصص در زمینه سیاست علم و رییس یک آزمایشگاه دانشگاهی	خ ۹
۱۰	دانشگاه شهید بهشتی	عضو هیئت علمی متخصص در زمینه سیاست علم و فناوری و سابقه مرتبط با موضوع	خ ۱۰
۱۱	دانشگاه تهران	عضو هیئت علمی و رییس آزمایشگاه ملی مغز	خ ۱۱
۱۲	دانشگاه علامه طباطبائی	عضو هیئت علمی متخصص در زمینه سیاست علم و فناوری و سابقه مرتبط با موضوع	خ ۱۲
۱۳	دانشگاه علامه طباطبائی		خ ۱۳
۱۴	موسسه تحقیقات سیاست علمی کشور		خ ۱۴

۳-۳ تحلیل داده‌ها و روایی و پایایی

در پژوهش‌های کیفی، روایی و پایایی نه از طریق ابزارهای عددی بلکه از مسیرهای مفهومی و فرآیندی تضمین می‌شوند [۳۴]. برای تحقق این هدف، مجموعه‌ای از راهکارهای علمی برای تقویت روایی و پایایی به‌کار گرفته شد که در ادامه تشریح می‌شود. متن پیاده‌شده مصاحبه‌ها و اسناد مورد بررسی با استفاده از روش کدگذاری مورد تحلیل قرار گرفت [۳۴]. داده‌های اولیه و ثانویه با توجه به موضوعات اصلی و فرعی چارچوب اولیه (جدول ۱) در دو مرحله کدگذاری باز و محوری تحلیل شد. سپس نتیجه کدگذاری مصاحبه‌ها با نتایج تحلیل اسناد و سایر منابع ثانویه ادغام، و چارچوب پیشنهادی برای آزمایشگاه‌های ملی تدوین شد.

جهت اطمینان از پایایی در فرآیند پژوهش، از پروتکل یکسان در مصاحبه‌ها، و پروتکل کدگذاری تحلیل داده‌های اولیه و ثانویه استفاده شد. به‌منظور افزایش اعتبار و اطمینان‌پذیری یافته‌ها، اقداماتی که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود، صورت گرفت. نخست، با تلفیق داده‌های اسنادی و اطلاعات حاصل از مصاحبه‌ها (مثلث‌سازی منابع داده)، غنای تحلیلی و انسجام مفهومی تقویت شد. همچنین، برای افزایش اعتبار، از مثلث‌سازی منابع داده (اسناد، مصاحبه‌ها و گزارش‌های داخلی) استفاده شد [۳۵]. همچنین برای اعتبارسنجی یافته‌ها، توسط سه خبره مستقل (سه عضو هیات علمی در دانشگاه‌های تهران، علامه طباطبایی و موسسه تحقیقات سیاست علمی کشور مستقل از مصاحبه‌شوندگان) بازبینی و مورد تایید قرار گرفت (بازبینی همتراز) [۳۶]. در نهایت، به‌منظور افزایش شفافیت و ردیابی‌پذیری، کلیه مراحل پژوهش از تدوین چارچوب اولیه، طراحی ابزار گردآوری داده، نمونه‌گیری، پیاده‌سازی مصاحبه‌ها، تحلیل داده‌ها، و تدوین چارچوب نهایی، به صورت نظام‌مند و با رویه مشخص انجام شده است [۳۵].

۴- یافته‌ها

۴-۱ رویکردهای بین‌المللی و ملی به آزمایشگاه ملی

به‌منظور فراهم‌کردن زمینه برای تحلیل و مقایسه، نمونه‌هایی از تجارب شاخص بین‌المللی آزمایشگاه‌های ملی در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مدل آزمایشگاه‌های ملی آمریکا بر الگویی غیرمتمرکز استوار است. در این رویکرد، مدیریت آزمایشگاه‌ها از طریق قراردادهای چندساله به نهادهای میزبان، اعم از دانشگاهی یا

خصوصی، واگذار می‌شود. دولت فدرال با تعیین اولویت‌های کلان، نقش ناظر راهبردی را ایفا می‌کند و اجرای امور به میزبان سپرده می‌شود [۱۲, ۲]. اعضای هیئت علمی عمدتاً از دانشگاه‌های همکار تأمین شده و استخدام پژوهشگران تمام‌وقت، معدود است [۴]. مأموریت‌های پژوهشی در این الگو براساس اولویت‌های راهبردی ملی و با تاکید بر تحقیقات لبه دانش و کاربردهای راهبردی تعریف می‌شوند [۱۰, ۱] توسعه زیرساخت‌ها نیز به‌صورت مستمر و در چارچوب بودجه پروژه‌ها انجام می‌شود [۵]. تأمین مالی از منابع ترکیبی است، اما وابستگی بالایی به بودجه دولتی (حدود ۹۰ درصد) دارد. این مدل تلفیقی از نقش‌های پژوهشی راهبردی و ارائه خدمات تحقیقاتی تخصصی را دنبال می‌کند [۴].

مؤسسه ماکس پلانک آلمان الگویی متمرکز، مستقل و غیردولتی ارائه می‌دهد که توسط یک بنیاد علمی غیرانتفاعی و تحت نظارت هیئت امنا اداره می‌شود [۳]. اعضای هیئت علمی به‌صورت تمام‌وقت و مستقل استخدام می‌شوند و پژوهشگران برای فعالیت‌های بلندمدت استخدام می‌شوند. آموزش تحصیلات تکمیلی از طریق همکاری با دانشگاه‌ها ارائه می‌شود. پروژه‌های پژوهشی بر اساس ابتکارات پژوهشگران تعریف می‌شوند و ضمن حفظ هم‌سویی با اولویت‌های علمی ملی، به نوآوری در مرزهای دانش می‌پردازند [۱۴]. زیرساخت‌های پژوهشی و فناورانه به‌صورت مستمر و متناسب با نیازهای علمی توسعه می‌یابند. بودجه مؤسسه به‌صورت ترکیبی (۸۰ درصد دولتی) تأمین شده و در عین حال استقلال مالی در تخصیص منابع حفظ می‌شود. تمرکز این الگو بر پیشبرد پروژه‌های شاخص و فعالیت در لبه دانش است [۳].

آکادمی‌های علوم چین و روسیه از الگویی متمرکز و دولتی با سازمان‌دهی منطقه‌ای پیروی می‌کنند و به‌عنوان نهادهای کلیدی پژوهش علمی تحت نظارت دولت مرکزی و هیئت‌های امنا فعالیت [۲۳, ۱۶] اعضای هیئت علمی به‌صورت تمام‌وقت و مستقل استخدام شده و پژوهشگران به‌عنوان نیروی ثابت در مؤسسات پژوهشی حضور دارند. این آکادمی‌ها مستقیماً دوره‌های تحصیلات تکمیلی ارائه می‌دهند [۳۷]. پروژه‌های پژوهشی یا بر اساس اولویت‌های ملی تعریف می‌شوند یا از سوی پژوهشگران پیشنهاد شده و پس از تأیید، با سیاست‌های کلان هم‌راستا می‌گردند [۱۳, ۱۱] توسعه زیرساخت‌ها به‌صورت مقطعی و با بودجه‌های ویژه دولتی انجام می‌شود [۱۱]. تأمین مالی کاملاً از منابع دولتی است. این الگو بر تحقیقات بنیادی، راهبردی و مأموریت‌محور با هدف توسعه علمی و فناورانه کشور متمرکز است [۳۷].

تجارب مرتبط با آزمایشگاه‌های ملی در ایران

در میان تجربه‌های مرتبط آزمایشگاه‌های ملی در کشور، می‌توان به نهادهایی نظیر پژوهشگاه رویان، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی ایران (IPM)، مرکز تحصیلات تکمیلی در علوم پایه زنجان، رصدخانه ملی ایران، پروژه چشمه نور و پژوهشگاه مواد و انرژی اشاره نمود که در شکل‌دهی به زیرساخت‌های پژوهشی و فناوری در مقیاس ملی موثر بوده‌اند. هر یک از آن‌ها در پاسخ به نیازهای خاص علمی یا فناورانه کشور ایجاد شده‌اند. با این حال، تطبیق آن‌ها با ویژگی‌های آزمایشگاه ملی (جمع‌بندی شده در پیشینه) نشان می‌دهد بخش عمده‌ی این نهادها در قالب مراکز و پژوهشگاه‌های تخصصی یا مراکز آموزشی قابل دسته بندی هستند و ویژگی‌های زیرساختی و نهادی متمایز آزمایشگاه ملی، خصوصاً امکان دسترسی گسترده ذینفعان، برخورداری از زیرساخت‌های روزآمد و پیشرفته، مأموریت ملی در زمینه‌های اولویت‌دار و مسائل ملی در آن‌ها مشاهده نمی‌شود.

به صورت مصداقی، پژوهشگاه رویان اگرچه مأموریتی ملی در حوزه درمان ناباروری و سلول‌های بنیادی دارد، اما به‌دلیل تمرکز بر فعالیت‌های کاربردی تخصصی و ساختار پژوهشگاهی درون‌سازمانی، از سطح زیرساختی و شبکه‌ای لازم برای ایفای نقش آزمایشگاه ملی متفاوت است.[۱] همچنین، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی نیز به‌رغم جایگاه برجسته در علوم نظری و پیوندهای بین‌المللی، فاقد تجهیزات و زیرساخت‌های فیزیکی روزآمد، پیشرفته و دسترسی‌پذیری

[۱] اساسنامه پژوهشگاه رویان، قابل دسترس در https://B2n.ir/ek9192

بیرونی است و به عنوان یک موسسه پژوهشی، عمدتاً به پژوهش در حوزه علوم پایه می‌پردازد[1]. مرکز تحصیلات تکمیلی زنجان نیز عمدتاً کارکرد آموزشی و پژوهشی در علوم پایه دارد و مأموریت تعریف‌شده‌ای در حوزه ارائه خدمات زیرساختی، آزمایشگاه و پژوهش‌های متمایز در سطح ملی ندارد.[2] همچنین، پروژه چشمه نور ایران با وجود طراحی در قالب زیرساختی ملی متمایز (شتابدهنده ذرات سنکروترون)، به‌دلیل مشکلات و محدودیت‌های مالی تاکنون به بهره‌برداری نرسیده و ساختار حکمرانی و ارائه خدمات آن نیز مبهم است.[3] پژوهشگاه مواد و انرژی نیز اگرچه از مراکز باسابقه در حوزه علوم مواد است، اما فاقد مقیاس ملی، دسترسی باز توسط ذینفعان بوده و بیشتر در قالب یک موسسه پژوهشی-آموزشی فعالیت می‌نماید.[4]

در میان تجارب موجود، رصدخانه ملی را می‌توان از نظر مقیاس سرمایه‌گذاری، مأموریت ملی و نقش زیرساختی، نزدیک‌ترین تجربه به مفهوم آزمایشگاه ملی دانست؛ مأموریت آن نیز فراهم‌سازی زیرساخت رصد برای جامعه علمی کشور در حوزه اخترفیزیک است.[5] همچنین، آزمایشگاه ملی نقشه‌برداری مغز ایران نیز از نظر ساختار و مأموریت با مفهوم آزمایشگاه ملی انطباق نسبی دارد؛ زیرا ضمن برخورداری از حمایت دولتی و ساختار هیئت‌امنایی و استقلال نسبی، با برخورداری از زیرساخت‌های پیشرفته به ارائه خدمات پژوهشی و آزمایشگاهی در سطح ملی می‌پردازد.

در مجموع، تجربه‌های مرتبط بومی ایران بیشتر در راستای تاسیس مراکز پژوهشی تخصصی متمرکز بوده تا زیرساخت‌های تحقیقاتی متمایز ملی که در این پژوهش در قالب آزمایشگاه‌های ملی مورد بررسی قرارگرفته است. لذا، توسعه آزمایشگاه‌های ملی به‌عنوان زیرساخت‌های متمایز پژوهش و فناوری در حوزه‌های پیشران یا اولویت‌های ملی نیازمند توجه سیاستی است.

آزمایشگاه ملی مغز ایران الگویی متمرکز دارد که تحت نظارت هیئت امنا و با میزبانی دانشگاه تهران اداره می‌شود. اعضای هیئت علمی آن به‌صورت وابسته از دانشگاه‌ها تأمین شده و آزمایشگاه فاقد پژوهشگران تمام‌وقت و یا برنامه‌های آموزشی تحصیلات تکمیلی است. پروژه‌ها عمدتاً بر اساس سفارش‌های متقاضیان بیرونی تعریف شده و ماهیتی نیازمحور دارند. توسعه زیرساخت‌ها به‌صورت مقطعی و با اتکا به بودجه دولتی انجام می‌شود. حدود ۷۵ درصد از منابع مالی از بودجه عمومی تأمین می‌شود. این آزمایشگاه بر ارائه خدمات تخصصی آزمایشگاهی و پشتیبانی از پژوهش‌های سایر نهادها تمرکز دارد و نقش آن بیشتر در تسهیل پژوهش‌های نیازمحور تعریف می‌شود تا تولید مستقل دانش در مرزهای علمی [۲۵].

۴-۲ چارچوب پیشنهادی برای راه‌اندازی و فعالیت‌های آزمایشگاه‌های ملی در ایران

در ادامه با هدف ارائه تصویری روشن از ترجیحات رویکردهای متنوع ، ویژگی‌هایی معرفی می‌شود که می‌توانند مبنای طراحی یک الگوی مناسب برای راه‌اندازی آزمایشگاه ملی در ایران قرار گیرند.

- **راهبری**: در طراحی یک الگوی مؤثر برای راهبری آزمایشگاه‌های ملی ایران، باید سازوکاری اتخاذ شود که ضمن هماهنگی با سیاست‌های کلان علمی کشور، امکان مدیریت تخصصی و چابک را هم فراهم کند. تجربه‌های گذشته نشان داده که ساختارهای تمام‌دولتی و متمرکز، اگرچه از نظر انسجام سیاستی مزیت دارند، اما در عمل با کندی و ضعف در پاسخ‌گویی به نیازهای تخصصی روبه‌رو می‌شوند. «*تجربه آزمایشگاه‌های منطقه‌ای ما نشان می‌دهد بدون ساختار قانونی مستقل، همکاری بین‌بخشی عملاً غیرممکن است خ۱*». در نقطه مقابل، مدل‌هایی که کاملاً مستقل از دولت شکل گرفته‌اند، اغلب در هماهنگی با اهداف ملی دچار گسست بوده یا نتوانسته‌اند از منابع عمومی بهره‌مند شوند [۲, ۲۳].

---

[1] اساسنامه پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، قابل دسترس در https://ipm.ac.ir/doc/constitution.pdf

[2] قابل دسترس در https://iasbs.ac.ir/?lang=fa

[3] قابل دسترس در https://ilsf.ipm.ac.ir

[4] قابل دسترس در https://new.merc.ac.ir

[5] قابل دسترس در https://B2n.ir/my4454

به این ترتیب ساختاری ارجحیت دارد که در آن، آزمایشگاه تحت مالکیت عمومی باقی بماند اما اداره آن به‌صورت هیئت‌امنایی و با حضور نمایندگان دولت و نهاد میزبان (مانند دانشگاه یا پارک علم و فناوری) انجام شود.« *آزمایشگاه ملی باید مثل یک نهاد عمومی–تخصصی اداره شود؛ نه صرفاً دولتی و نه صرفاً دانشگاهی(خ۶)*» وظیفه این هیئت‌امنا، نه مدیریت روزمره، بلکه تصمیم‌گیری درباره سیاست‌های کلان، ارزیابی عملکرد کلی و تضمین هم‌سویی فعالیت‌ها با سیاست‌های ملی است. این ترکیب، از یک‌سو زمینه همراستایی به سیاست‌های کلان را حفظ می‌کند و از سوی دیگر امکان مدیریت تخصصی و انعطاف‌پذیر را فراهم می‌سازد. در این حالت، مسئولیت‌ها به این صورت تفکیک می‌شود: دولت در نقش سیاست‌گذار کلان، چارچوب‌ها و مأموریت‌ها را تعیین می‌کند؛ میزبان علمی، بستر اجرایی و تخصصی را فراهم می‌سازد؛ و هیئت امنا به‌عنوان مرجع راهبردی، بر تصمیمات کلیدی نظارت دارد و مسیر توسعه آزمایشگاه را هدایت می‌کند .

در الگوی پیشنهادی، رئیس آزمایشگاه ملی فردی متخصص و دارای سابقه ملی در زمینه فعالیت آزمایشگاه است که توسط معاون علمی، فناوری و اقتصاد دانش‌بنیان رییس جمهوری منصوب می‌شود و دارای استقلال اداری و مالی از نهاد میزبان آزمایشگاه (مثلاً دانشگاه) است و به جز موارد بودجه‌ای و ساختاری که نیازمند تایید هیات امناست، استقلال علمی و اداری دارد. به این ترتیب دولت با تامین مالی، سیاست‌گذاری و نظارت کلان، نباید در مدیریت روزمره و تصمیمات علمی مداخله نماید. همچنین انتظار می‌رود رییس دارای ارتباط سازمانی و استخدامی با نهاد میزبان نباشد و انتخاب وی صرفاً بر اساس صلاحیت علمی انجام گیرد. با گذشت زمان و تقویت ظرفیت‌های مالی و نهادی آزمایشگاه، انتظار می‌رود استقلال مدیریتی و علمی آزمایشگاه افزایش یابد و فرآیند انتخاب مدیر به سمت مدل‌های با نقش غیرمستقیم دولت در انتصاب تغییر یابد. به‌طور کلی، این رویکرد در انتخاب رییس آزمایشگاه، با تجارب بین‌المللی در کشورهای روسیه و چین همراستا است و با شرایط زمینه‌ای ایران نیز سازگار است؛ این منطق ضمن تضمین تداوم حمایت دولت، به استقلال مدیریتی و علمی آزمایشگاه‌ها نیز توجه می‌نماید [۲۵].

رویکرد پیشنهادی برای راهبری آزمایشگاه، به‌خوبی با ساختار راهبری آزمایشگاه‌های ملی وزارت انرژی امریکا هم‌راستا است. در این مدل، هر آزمایشگاه تحت نظارت یک هیئت مدیریت قراردادی[1] فعالیت می‌کند که متشکل از نمایندگان نهاد میزبان (مانند دانشگاه)، مدیران علمی و اعضای مستقل است. این هیئت‌ها مسئولیت تصمیم‌گیری درباره راهبردهای کلان، نظارت بر تحقق مأموریت‌ها، و تعامل با نهاد سیاست‌گذار (یعنی DOE) را بر عهده دارند، بدون آن‌که در اجرای مستقیم پروژه‌ها دخالت کنند [۱۲].

– **ترکیب و ساختار منابع انسانی:** سامان‌دهی منابع انسانی در آزمایشگاه‌های ملی، تأثیر مستقیمی بر کیفیت عملکرد علمی، پایداری سازمانی و توانایی پاسخ به مأموریت‌های پیچیده دارد. در مورد اعضای هیئت علمی، ساختاری مناسب‌تر است که بر «هیئت علمی وابسته» متکی باشد؛ به این معنا که اساتید رسمی دانشگاه‌ها با تخصص مرتبط، بدون ترک موقعیت دانشگاهی خود، در پروژه‌ها و فعالیت‌های آزمایشگاه مشارکت کنند. این همکاری می‌تواند از طریق قراردادهای مشخص، عضویت در کمیته‌های علمی، راهبری پروژه‌ها یا راهنمایی دانشجویان تعریف شود [۵, ۲۴]. این مدل، هم از توان علمی موجود در دانشگاه بهره می‌گیرد و هم از شکل‌گیری ساختار حجیم اداری جلوگیری می‌کند. به علاوه، پیوندی میان پژوهش‌های دانشگاهی و پروژه‌های راهبردی آزمایشگاه برقرار می‌شود.« *اگر هیئت علمی دانشگاه‌ها را در فرآیند تعریف پروژه شریک نکنیم، در عمل این آزمایشگاه‌ها تبدیل می‌شوند به انبار تجهیزات کم‌استفاده(خ۲)*».

در کنار هیئت علمی وابسته، ساختار منابع انسانی باید از پژوهشگران پروژه‌ای، دانشجویان دکتری و پسادکتری نیز بهره ببرد. جذب پژوهشگرانی که به‌صورت قراردادی یا نیمه‌وقت در پروژه‌ها فعالیت می‌کنند، انعطاف‌پذیری سیستم را بالا می‌برد و امکان جذب تخصص‌های گوناگون را بر اساس نیاز واقعی فراهم می‌سازد. همچنین، حضور فعال دانشجویان

[1] Contractor board

تحصیلات تکمیلی در پروژه‌های آزمایشگاه، علاوه بر کاهش هزینه‌های نیروی انسانی، به تربیت نسل آینده پژوهشگران کمک می‌کند. *«آزمایشگاه ملی بدون حضور دکتری‌ها و پسادکتری‌ها معنا ندارد. ما باید ارتباط ارگانیک با تحصیلات تکمیلی تعریف کنیم (خ۷)»*. در این میان، نقش یک هسته محدود اما توانمند از کارکنان تمام‌وقت نیز اهمیت دارد. این گروه شامل مدیران پژوهشی، کارشناسان ارشد فنی، مسئولان زیرساخت و پشتیبانی علمی است که برای حفظ تداوم فعالیت‌ها و مدیریت اجرایی پروژه‌ها ضروری‌اند. اما مهم است که این هسته کوچک باقی بماند [۲۳].

این الگوی ترکیب «هسته ثابت محدود + همکاران گسترده» در بسیاری از نهادهای علمی معتبر جهان استفاده می‌شود. نمونه بارز آن ماکس پلانک آلمان هستند که اعضای هیئت علمی‌شان عمدتاً از دانشگاه‌های همکار انتخاب می‌شوند و دانشجویان دکتری و پسادکتری بخش مهمی از نیروی پژوهشی را تشکیل می‌دهند [۸]. همچنین، آزمایشگاه‌های ملی آمریکا نیز عموماً فاقد هیئت علمی تمام‌وقت‌اند و با پژوهشگران وابسته از دانشگاه‌ها همکاری می‌کنند [۴].

– **ساختار تعریف پروژه، زیرساخت، بودجه و درآمد:** تداوم عملکرد موثر یک آزمایشگاه ملی، پیش از هر چیز به چگونگی سازماندهی پروژه‌ها، نحوه تجهیز و بهره‌برداری از زیرساخت‌ها، و مدل تأمین و تخصیص منابع مالی گره خورده است. در زمینه تعریف پروژه‌ها، بهتر است رویکردی در اتخاذ شودکه ترکیبی از «جهت‌گیری از بالا» و «پیشنهاد از پایین» را ممکن سازد. به این معنا که اولویت‌ها، مأموریت‌ها و حوزه‌های راهبردی پژوهش از سوی نهاد سیاست‌گذار تعیین شوند، اما درون این چارچوب، پژوهشگران و گروه‌های تخصصی بتوانند پیشنهاد پروژه ارائه دهند. در این صورت، هم اهداف کلان رعایت می‌شود، و هم انگیزه و خلاقیت علمی حفظ خواهد شد [۷, ۱۱]. *« وقتی پروژه‌ها صرفا از بالا و دستوری تعریف می‌شوند، انگیزه پژوهشگران کاهش پیدا می‌کند. بهترین پروژه‌ها آن‌هایی هستند که هم از دل سیاست‌های ملی آمده‌اند و هم از ایده‌های دانشگاهیان. (خ۱۱)»* در مورد موضوع پروژه‌ها آزمایشگاه‌های ملی نباید به کارگاه‌های سفارش‌محور با پروژه‌های کوتاه‌برد تقلیل یابند. پروژه‌ها باید در مرز دانش تعریف شوند، افق‌دار و بلندمدت باشند، و به نیازهای ملی با نگاه آینده‌نگر پاسخ دهند [۱۰, ۲۶]. *«یکی از نگرانی‌های ما این است که آزمایشگاه ملی به محل انجام پروژه‌های سفارشی و کوتاه‌مدت تقلیل پیدا کند. مأموریت واقعی آن باید اجرای طرح‌های آینده‌نگر باشد؛ پروژه‌هایی که کشور را چندین سال جلو ببرند(خ۵).»*

در مورد توسعه زیرساخت، رویکرد کارآمدتر آن است که تجهیزات و امکانات نه از طریق تخصیص بودجه‌های متمرکز و سالانه، بلکه در پیوند مستقیم با نیازهای پروژه‌ها طراحی و تأمین شوند. این روش باعث می‌شود که سرمایه‌گذاری‌های سخت‌افزاری بر مبنای اولویت‌های واقعی صورت گیرد. در عین حال، استفاده از قراردادهای مشترک با بخش خصوصی یا دانشگاه‌ها برای توسعه زیرساخت نیز می‌تواند هزینه‌ها را کاهش داده و ظرفیت بهره‌برداری مشترک را افزایش دهد. *«تا وقتی تأمین زیرساخت مستقل از پروژه‌ها باشد، هدررفت منابع اجتناب‌ناپذیر است. باید هر تجهیز یا سامانه‌ای بر اساس نیاز واقعی پروژه تعریف و خریداری شود خ۳»*.

در مورد ترکیب منابع مالی، لازم است آزمایشگاه‌های ملی ایران از مدل‌های تک‌منبعی فاصله بگیرند و به سمت درآمدهای چندگانه و ترکیبی حرکت کنند. بودجه پایه دولتی قطعاً نقش اساسی دارد و برای پایداری و پوشش هزینه‌های عمومی ضروری است، اما در کنار آن باید درآمدهایی از محل قراردادهای صنعتی، پژوهانه‌های پژوهشی رقابتی، خدمات آزمایشگاهی و حتی مشوق‌های مالیاتی برای همکاری با شرکت‌های دانش‌بنیان تعریف شود [۹]. این تنوع مالی، هم ریسک‌های وابستگی مالی را کاهش می‌دهد و هم انگیزه برای توسعه همکاری‌های بیرونی را افزایش می‌دهد. *«قراردادهای صنعتی، ارائه خدمات تخصصی، فروش دانش فنی، و حتی حمایت خیرین علمی می‌توانند بخشی از سبد درآمدی آزمایشگاه‌های ملی را تشکیل دهند؛ به‌شرط آنکه ساختار حقوقی لازم فراهم باشد (خ۸)»*. الگویی که با ویژگی‌های ذکر شده، در بسیاری از آزمایشگاه‌های ملی وزارت انرژی آمریکا دیده می‌شود [۱۲, ۲۶]. همچنین مؤسسات پژوهشی اروپایی

مانند ماکس پلانک نیز با تأکید بر اولویت‌های علمی بلندمدت، استقلال در تعریف پروژه‌ها، و جذب منابع متنوع، همین الگو را در مقیاسی پایدار به‌کار گرفته‌اند [۲۳].

– **ساختار سازمانی، مالکیت و نحوه اداره:** برای آنکه یک آزمایشگاه ملی بتواند به‌عنوان نهادی مؤثر در نظام نوآوری کشور عمل کند، باید ساختار سازمانی آن به‌گونه‌ای طراحی شود که هم امکان اداره مستقل و حرفه‌ای را فراهم کند، و هم شفافیت در مسئولیت‌پذیری، پاسخ‌گویی و ارتباط با نهاد مالک برقرار باشد. رویکردی مطلوب است که در آن آزمایشگاه ملی دارای شخصیت حقوقی مستقل و ساختار مدیریتی متمایز از بدنه دولت باشد، ولی مالکیت آن همچنان در اختیار نهاد عمومی باقی بماند. به‌جای آنکه دولت اداره مستقیم آزمایشگاه را برعهده داشته باشد، این وظیفه می‌تواند از طریق یک قرارداد مشخص به یک نهاد میزبان (دانشگاه، پژوهشگاه، پارک علم و فناوری، شرکت دانش بنیان، نهاد عمومی، شرکت بزرگ و ...) واگذار شود [۶, ۱۵]. حضور یک نهاد میزبان مرتبط، به بهره‌گیری از زیرساخت‌ها و منابع انسانی موجود کمک کرده و پیوند با شبکه‌های علمی و آموزشی آن نهاد را تقویت می‌کند. بهترین شیوه برای تنظیم این رابطه، استفاده از قراردادهای چندساله با شاخص‌های عملکرد مشخص است. *«دانشگاه میزبان می‌تواند نقش زیادی در اتصال آزمایشگاه به شبکه علمی داشته باشد، ولی این رابطه باید از طریق قراردادی مشخص و قابل ارزیابی تنظیم شود (خ۱۴)»*

چنین مدلی شباهت نزدیکی به سازوکار «مالکیت دولتی – اداره توسط پیمانکار تخصصی[1]» که در بسیاری از آزمایشگاه‌های ملی آمریکا اجرا می‌شود، دارد. در آنجا وزارت انرژی مالک تجهیزات و زیرساخت است، اما اداره آزمایشگاه‌ها را به دانشگاه‌ها (مثل دانشگاه کالیفرنیا در LBNL) یا شرکت‌های متخصص مرتبط واگذار می‌کند [۱۲].

– **انواع مشارکت و خدمات:** آزمایشگاه‌های ملی زمانی می‌توانند نقش مؤثری در توسعه علم، فناوری و نوآوری کشور ایفا کنند که به‌صورت فعال و ساختاریافته با دیگر بازیگران زیست‌بوم علم و فناوری در تعامل باشند و طیف متنوعی از خدمات تخصصی را به جامعه علمی، صنعت و دولت ارائه دهند [۵]. آنچه ارزش‌آفرینی واقعی ایجاد می‌کند، ایفای نقش به‌عنوان «مرکز فعال در زنجیره توسعه فناوری» است؛ جایی که علاوه بر خدمات آزمایشگاهی، فعالیت‌هایی همچون اجرای پروژه‌های مشترک، توسعه فناوری‌های نو، طراحی نمونه‌های صنعتی، انتقال فناوری، تدوین استانداردهای فنی، و آموزش‌های تخصصی نیز ارائه می‌شود.*«آزمایشگاه ملی باید جای تبادل ایده باشد، نه فقط محلی برای اجاره دستگاه. این فضا باید گفتگو میان استاد، صنعت و دولت را تسهیل کند(خ۱۲)»*. چنین گستره‌ای از خدمات، جایگاه آزمایشگاه را از یک نهاد پشتیبان صرف، به یک کنش‌گر کلیدی در زنجیره نوآوری و توسعه فناوری ارتقاء می‌دهد [۲۷]. در همین راستا، الگوی مشارکت نیز باید فراتر از تعاملات موردی و غیررسمی باشد. آزمایشگاه‌های ملی می‌توانند با دانشگاه‌ها، شرکت‌های فناور، سازمان‌های دولتی و نهادهای سیاست‌گذار، توافق‌نامه‌های بلندمدت همکاری امضاء کنند. *«بسیاری از شرکت‌های دانش‌بنیان به‌سختی به تجهیزات پیشرفته دسترسی دارند. آزمایشگاه ملی اگر باز باشد و فرآیند شفاف ارائه خدمات داشته باشد، به زیست‌بوم نوآوری کشور کمک خواهد کرد (خ۹)»*.

مدلی که چنین ساختار مشارکتی فعالی را به‌صورت نهادی تعریف کرده باشد، در بسیاری از آزمایشگاه‌های ملی امریکا و آلمان قابل مشاهده است. برای مثال، در قالب تحقیق و توسعه مشارکتی[2]، آزمایشگاه‌های آمریکا می‌توانند با شرکت‌های خصوصی در توسعه فناوری‌های نوین همکاری کنند و نتیجه را به‌صورت مشترک مالک باشند [۵, ۱۵]. در چین نیز سیاست رسمی آکادمی علوم بر گسترش تعامل مؤسسات پژوهشی با صنعت و ایجاد زنجیره ارزش دانش‌محور تأکید دارد [۱۳, ۳۷]. در مجموع، چارچوب پیشنهادی تلفیقی از عناصر موفق در مدل‌های بین‌المللی است که با شرایط نهادی ایران سازگار شده است. جمع‌بندی ویژگی‌های این چارچوب در جدول شماره ۳ قابل مشاهده است.

[1] GOCO

[2] CRADA (Cooperative Research and Development Agreement)

جدول ۳) جمع‌بندی ویژگی‌های چارچوب پیشنهادی آزمایشگاه‌های ملی علم و فناوری در ایران

موضوع		رویکرد پیشنهادی	نمونه رویکرد در آزمایشگاه‌های ملی*
۱- راهبری آزمایشگاه ملی		ساختار هیئت‌امنایی با مالکیت عمومی؛ با مشارکت دولت (سیاست‌گذار)، نهاد میزبان (مجری) و اعضای مستقل؛ تفکیک مسئولیت‌های کلان از امور اجرایی	۱
۲- ترکیب و ساختار منابع انسانی	رییس	دارای استقلال اداری و مالی از نهاد میزبان و با اختیارات علمی و مدیریتی مستقل؛ انتصاب توسط معاون علمی و فناوری رییس جمهور	۳
	هیئت علمی	هیئت علمی وابسته (فاقد هیئت علمی داخلی)	۱
	پرسنل، پژوهشگر و دانشجو	پژوهشگران تمام‌وقت، هیئت علمی وابسته، دانشجویان دکتری و پسادکتری؛ ساختار انعطاف‌پذیر، بدون بار اداری سنگین.	۱، ۲
۳- ساختار تعریف پروژه، زیرساخت، بودجه و درآمد	فرآیند تعریف پروژه	تعریف پروژه‌ها با جهت‌گیری کلان از بالا و پیشنهاد از پایین	۱، ۲، ۳
	موضوع پروژه‌ها	الف- لبه دانش و در راستای اولویت‌های ابلاغی ملی ب- پژوهش‌های کاربردی و بنیادی شاخص و با لبه دانش پیشنهادی پرسنل آزمایشگاه یا کارفرمای پروژه ج- نیاز محور (بر اساس نیاز متقاضی/ کارفرما)	۱، ۲، ۳، ۴
	توسعه زیرساخت	توسعه زیرساخت براساس پروژه	۱، ۲
	ترکیب بودجه و درآمد	بودجه ترکیبی از منابع دولتی، قراردادهای صنعتی، خدمات، و گرنت‌های رقابتی	۱، ۲، ۳
۴- ساختار سازمانی، مالکیت و نحوه اداره		شخصیت حقوقی مستقل؛ اداره با نهاد میزبان از طریق قرارداد چندساله با شاخص‌های عملکرد؛ دارای استقلال مدیریتی و علمی	۱، ۴
۵- انواع مشارکت و ارائه خدمات		ارائه طیفی از خدمات (تحقیقات لبه دانش، انتقال تخصص، آموزشی، مرکز فعال در زنجیره فناوری)	۱،۲،۳

* برای رعایت اختصار، آزمایشگاه‌های امریکا با شماره ۱، ماکس پلانک با شماره ۲، آکادمی علوم چین و روسیه با شماره ۳، و آزمایشگاه ملی مغز ایران با شماره ۴ مشخص شده‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

یافته‌های این مقاله نشان می‌دهد که مدل‌های موجود آزمایشگاه‌های ملی در ایران با چالش‌هایی از جمله وابستگی به بودجه دولتی، تمرکز مدیریتی، و محدودیت در منابع انسانی روبه‌رو هستند. چنین وضعیتی موجب شده است که آزمایشگاه‌ها بیش از آنکه نقشی راهبردی ایفا کنند، به مراکزی خدماتی محدود با ظرفیت اثرگذاری پایین تبدیل شوند.

بر اساس چارچوب مفهومی این پژوهش و بررسی تجربه‌های بین‌المللی، مدل پیشنهادی مجموعه‌ای از اصلاحات در ۵ اصل محوری؛ الف)راهبری، ب)ترکیب و ساختار منابع انسانی، ج)ساختار تعریف پروژه، زیرساخت، بودجه و درآمد، د)ساختار سازمانی، مالکیت و نحوه اداره و ه) انواع مشارکت و ارائه خدمات را در بر می‌گیرد.

در حوزه راهبری، تشکیل هیئت‌امنایی با حضور نمایندگان دولت، نهاد میزبان و اعضای مستقل پیشنهاد شد تا از یک سو همسویی با مأموریت‌های ملی تضمین گردد و از سوی دیگر استقلال عملیاتی و چابکی مدیریتی فراهم شود [۲].

در حوزه ترکیب و ساختار منابع انسانی، مدل «هسته ثابت

محدود + همکاران گسترده» به‌عنوان راهکاری برای تعادل بین کارآمدی مالی و پایداری علمی طراحی شد؛ بدین معنا که یک هسته کوچک از مدیران و کارشناسان فنی به‌صورت تمام‌وقت حضور داشته باشند و بدنه پژوهشی آزمایشگاه از طریق هیئت علمی وابسته، پژوهشگران پروژه‌ای و دانشجویان تحصیلات تکمیلی تأمین گردد [۵].

در بخش پروژه‌ها، زیرساخت و بودجه، یافته‌ها نشان داد که وابستگی به پروژه‌های سفارشی و کوتاه‌مدت، نوآوری را محدود می‌کند [۱]. ازاین‌رو، پیشنهاد شد پروژه‌ها با ترکیب «جهت‌گیری از بالا» (اولویت‌های کلان ملی) و «پیشنهاد از پایین» (ابتکارات پژوهشگران) تعریف شوند [۲۶]. از نظر موضوع، پروژه‌ها باید در سه سطح تعریف شوند: الف) پژوهش‌های لبه دانش در راستای اولویت‌های ملی، ب) تحقیقات کاربردی و بنیادی شاخص پیشنهادی پرسنل و ج) پروژه‌های نیازمحور. در زمینه زیرساخت، تأکید بر توسعه پروژه‌محور و متناسب با نیاز واقعی است، به‌گونه‌ای که تجهیزات و امکانات نه بر اساس بودجه‌های سالانه، بلکه در پیوند مستقیم با پروژه‌ها تأمین شوند. در حوزه بودجه و درآمد نیز حرکت به سمت تأمین چندمنبعی اجتناب‌ناپذیر است: بودجه پایه دولتی باید با قراردادهای صنعتی، پژوهانه‌های رقابتی، درآمد خدمات آزمایشگاهی و مشوق‌های مالیاتی برای بخش خصوصی تکمیل شود. این الگو با تجربه کشورهای پیشرفته هم‌خوانی دارد و از شکنندگی مالی می‌کاهد [۸, ۱۰, ۲۳].

در زمینه ساختار سازمانی، یافته‌ها نشان دادند که نبود شخصیت حقوقی مستقل و واگذاری کامل مدیریت به نهاد میزبان، مشکلاتی چون تضاد مأموریت و نبود پاسخ‌گویی را به همراه دارد [۴]. بر همین اساس، پیشنهاد شد آزمایشگاه دارای شخصیت حقوقی مستقل باشد و اداره آن از طریق قراردادهای چندساله با میزبان صورت گیرد؛ قراردادهایی که در آن شاخص‌های عملکرد شفاف و قابل ارزیابی تعریف شده باشد [۲۶].

در نهایت، در اصل مشارکت و خدمات، آزمایشگاه‌ها نباید تنها به نقش خدماتی محدود شوند [۵]. همان‌گونه که در تجربه‌های آمریکا و اروپا دیده می‌شود، آزمایشگاه‌های ملی در کنار پژوهش مرزی، نقش‌های مکملی مانند آموزش تخصصی، تدوین استانداردها، انتقال فناوری و پشتیبانی از استارتاپ‌ها را ایفا می‌کنند [۱۷]. مدل پیشنهادی نیز بر گستره عملکردی تأکید دارد.

بر اساس یافته‌های پژوهش، توصیه‌های سیاستی زیر در فرآیند راه‌اندازی و فعالیت آزمایشگاه‌های ملی ارائه می‌شود:

– نهاد میزبان مسئولیت فراهم‌کردن زیرساخت‌های فیزیکی را بر عهده داشته باشد.

– در هیئت‌امنای آزمایشگاه‌های ملی نمایندگان دولت، میزبان و اعضای مستقل حضور داشته باشند.

– نقش معاونت علمی در حمایت‌های مالی به مرحله آغازین محدود شود و پس از راه‌اندازی، مسئولیتی برای تأمین هزینه‌های جاری نداشته باشد.

– وظیفه اصلی هیئت‌امنا، برنامه‌ریزی و اقدام برای جذب منابع مالی متنوع باشد و این منابع هم از بخش دولتی و هم از بخش غیردولتی تأمین شوند.

– آزمایشگاه ملی خدمات آزمایشگاهی خود را به‌صورت گسترده و در سطح کشور ارائه دهد و تنها به نیازهای نهاد میزبان محدود نشود.

– حمایت‌های دولت و معاونت علمی بیشتر معطوف به پروژه‌های پیشران و شاخص ملی باشد.

– جذب و استخدام نیروهای پشتیبان و خدماتی به‌صورت محدود و بر اساس تشخیص هیئت‌امنا صورت گیرد.

– پژوهشگران، اعضای هیئت علمی و دانشجویان تحصیلات تکمیلی عمدتاً به‌صورت پروژه‌ای همکاری کنند.

– پیشنهاد ایجاد آزمایشگاه‌های جدید توسط مرکز توسعه فناوری‌های راهبردی و با همکاری ستادهای ملی مطرح شود.

– بخش خصوصی از طریق سازوکارهای قانونی مانند قانون جهش تولید به سرمایه‌گذاری در ایجاد و تجهیز آزمایشگاه‌ها ترغیب شود.

– اولویت ایجاد آزمایشگاه‌های ملی در فاز نخست به حوزه‌های کلیدی همچون هوش مصنوعی، کوانتوم، زیست‌مهندسی، مواد و ساخت پیشرفته، ریزفناوری و علوم

شناختی اختصاص یابد.

در کنار این توصیه‌ها، باید توجه داشت که آزمایشگاه‌های ملی نباید بر جذب هیئت علمی تمام‌وقت متکی باشند، دولت تعهدی برای تأمین هزینه‌های جاری مداوم نداشته باشد، و نهاد میزبان نیز کنترل کامل بر تصمیمات کلیدی نداشته باشد.

تعارض منافع

نویسندگان تعهد می‌کنند که هیچ تعارض منافعی در این مقاله وجود نداشته‌است.

References

[1] Bozeman, B., & Fellows, M. (1988). **Technology transfer at the US national laboratories: A framework for evaluation**. *Evaluation and Program Planning*, 11(1), 65–75. https://doi.org/10.1016/0149-7189(88)90035-3

[2] Cohen, L. R., & Noll, R. G. (1996). **The future of the national laboratories**. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(23), 12678–12685. https://doi.org/10.1073/pnas.93.23.12678

[3] Hallonsten, O., & Heinze, T. (2012). **Institutional persistence through gradual organizational adaptation: Analysis of national laboratories in the USA and Germany**. *Science and Public Policy*, 39(4), 450–463. https://doi.org/10.1093/scipol/scs047

[4] Link, A. N., Siegel, D. S., & Van Fleet, D. D. (2011). **Public science and public innovation: Assessing the relationship between patenting at US National Laboratories and the Bayh-Dole Act**. *Research Policy*, 40(8), 1094–1099. https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1737717

[5] Siegel, D., Bogers, M. L., Jennings, P. D., & Xue, L. (2023). **Technology transfer from national/federal labs and public research institutes: Managerial and policy implications**. *Research Policy*, 52(1), 104646. https://doi.org/10.1016/j.respol.2022.104646

[6] Westfall, C. (2008). **Introduction to the special issue: Surviving the squeeze: National laboratories in the 1970s and 1980s**. *Historical Studies in the Natural Sciences*, 38(4), 475–478. https://doi.org/10.1525/hsns.2008.38.4.475

[7] Adams, J. D., Chiang, E. P., & Jensen, J. L. (2003). **The influence of federal laboratory R&D on industrial research**. *Review of Economics and Statistics*, 85(4), 1003–1020. https://doi.org/10.1162/003465303772815899

[8] Markusen, A., & Oden, M. (1996). **National laboratories as business incubators and region builders**. *The Journal of Technology Transfer*, 21(1), 93–108. https://doi.org/10.1007/BF02220312

[9] Price, S. E., & Siegel, D. S. (2019). **Assessing the role of the federal government in the development of new products, industries, and companies: Case study evidence since World War II**. *Annals of Science and Technology Policy*, 3(4), 348–437. http://dx.doi.org/10.1561/110.00000016

[10] Anadon, L. D., Chan, G., Bin-Nun, A. Y., & Narayanamurti, V. (2016). **The pressing energy innovation challenge of the US National Laboratories**. *Nature Energy*, 1(10), 1–8. https://doi.org/10.1038/nenergy.2016.117

[11] Dezhina, I. (2014). **Russia's Academy of Sciences' reform: Causes and consequences for Russian science**. *Russie. Nei*. Visions, 77, 1–27. https://www.researchgate.net/publication/262943407

[12] Jaffe, A. B., & Lerner, J. (2001). **Reinventing public R&D: Patent policy and the commercialization of national laboratory technologies**. *RAND Journal of Economics*, 167–198. https://doi.org/10.2307/2696403

[13] Li, X., Yang, K., & Xiao, X. (2016). **Scientific advice in China: The changing role of the Chinese Academy of Sciences**. *Palgrave Communications*, 2(1), 1–8. https://doi.org/10.1057/palcomms.2016.45

[14] Schmaltz, F., Stahnisch, F. W., & Topp, S. (2023). **On the history of neuroscience research in the Max Planck Society, 1948–2002—German, European, and transatlantic perspectives**: *Introduction*. *History of Neuroscience*, 32, 71–80. https://doi.org/10.1080/0964704X.2023.2179779

[15] Morone, J., & Ivins, R. (1982). **Problems and opportunities in technology transfer from the national laboratories to industry**. *Research Management*, 25(3), 35–44. https://doi.org/10.1080/00345334.1982.11756731

[16] Reinovsky, R. E., Schilling, O., Kamm, J., Rousculp, C. L., Shashkov, M. J., & Zocher, M. A. (2013). **20 Years of US/Russian Laboratory Cooperation in Science and Technology 1992–2012 (U).** https://www.osti.gov/servlets/purl/1059881

[17] Yousefi, R. (2022). **An overview of the missions and achievements of the national laboratories of the United States.** *Science and Technology Policy Letters*, 12(3), 89–110. {In Persian} https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24767220.1401.12.3.3.2

[18] Naderi, D., & Maghsoudi, A. (2018). **Scientific Laboratory Network of Iran (SHAA): Facilitating communication between laboratories and researchers**. *Scientific Journal of Applied and Advanced Research (SHAA)*, 2(2), 27–33. {In Persian} https://jonaisl.maragheh.ac.ir/article_88994_edc9d1b647a9ebd388f58b7c04bf4741.pdf

[19] Oliaei, M. S., & Rahmani, M. (2007). **National development laboratory network (Shamtek thematic)**. *Rahyaft*, 17(41), 85–102. {In Persian}

https://doi.org/10.1017/s0022381607080231
[29] Gehman, J., Glaser, V. L., Eisenhardt, K. M., Gioia, D., Langley, A., & Corley, K. G. (2018). **Finding theory–method fit: A comparison of three qualitative approaches to theory building**. *Journal of Management Inquiry*, 27(3), 284–300.
https://doi.org/10.1177/1056492617706029
[30] Ghanavati, F. & Mashayekh, J. (2022). **Methodological Foundations in Comparative Studies of Science, Technology and Innovation Policy in Iran**. *Journal of Science & Technology Policy*, 15(2), 93-108. {In Persian}.
https://doi.org/10.22034/jstp.2022.13944
[31] Rastgar Agah, M. (2025). **Statistical strategies for objectifying theoretical saturation in qualitative studies**. *Educational Measurement*, 16(60), 143–167. {In Persian}
https://doi.org/10.22054/jem.2023.66628.3348
[32] Bloor, M., & Wood, F. (2006). **Keywords in qualitative methods: A vocabulary of research concepts**. *Sage Publications*.
https://psycnet.apa.org/doi/10.4135/9781849209403
[33] Malterud, K., Siersma, V. D., & Guassora, A. D. (2016). **Sample size in qualitative interview studies: Guided by information power**. *Qualitative Health Research*, 26(13), 1753–1760.
https://doi.org/10.1177/1049732315617444
[34] Nowell, L. S., Norris, J. M., White, D. E., & Moules, N. J. (2017). **Thematic analysis: Striving to meet the trustworthiness criteria**. *International Journal of Qualitative Methods*, 16(1).
https://doi.org/10.1177/1609406917733847
[35] Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2016). **Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approache**s. *Sage Publications*.
[36] Saee, E. (2020). **Research methodology in social sciences with a critical rationality approach**. Tehran: *SAMT*. {In Persian}
https://samt.ac.ir/fa/book/234
[37] Center for Security and Emerging Technology (CSET). (2024, October). **Fueling China's innovation: The Chinese Academy of Sciences and its role in the PRC's S&T ecosystem**. *Georgetown University*.
https://doi.org/10.51593/20220055
[38] Whicher, A. (2021). **Evolution of policy labs and use of design for policy in UK government**. *Policy Design and Practice*, 4(2), 252–270.
https://doi.org/10.1080/25741292.2021.1883834
https://rahyaft.nrisp.ac.ir/article_13457_ef5a6f5d04a86914cf4d6c14af195495.pdf
[20] Oliaei, M. S. (2018). **New method for organizing Iran's research laboratories and workshops: Case study of MSRT's (Ministry of Science, Research and Technology) laboratories and workshops**. *Scientific Journal of Applied and Advanced Research (SHAA)*, 2(1), 5–12. {In Persian}
https://jonaisl.maragheh.ac.ir/article_76715_c7a5de3b6e92a05697373906039a7e8c.pdf
[21] Oliaei, M. S. (2021). **Outlook on the history of research laboratories networks in Iran**. *Science Cultivation*, 11(2), 144–154. {In Persian}
https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008935.1400.11.2.5.0
[22] Fartash, K., & Sadabadi, A. A. (2019). **Institutions and their influence on science and technology development**. *Journal of Science & Technology Policy*, 11(2), 239-253. {In Persian}.
https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20080840.1398.12.2.16.1
[23] Chen, Z., He, Y., & Guo, F. (2025). **Ascending the summit: National laboratories as the upgrading path for driving national value chains.** *Journal of Applied Economics*, 28(1), 2469883.
https://doi.org/10.1080/15140326.2025.2469883
[24] Smith, H. L. (1997). **Regulatory change and skill transfer: The case of national laboratories in the UK, France and Belgium**. *Regional Studies*, 31(1), 41–54.
https://doi.org/10.1080/00343409750134773
[25] Vice Presidency for Science and Technology and Knowledge-Based Economy (Iran). (2025). **Report on the proposed framework for establishing a national laboratory in Iran: Review of national and international experiences in establishing national laboratories**. Tehran, Iran. {In Persian}
[26] Jordan, G. B., Streit, L. D., & Binkley, J. S. (2003). **Assessing and improving the effectiveness of national research laboratories**. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 50(2), 228–235.
https://doi.org/10.1109/TEM.2003.810820
[27] Smith, J. (2000). **From R&D to strategic knowledge management: Transitions and challenges for national laboratories**. *R&D Management*, 30(4), 305–311.
https://doi.org/10.1111/1467-9310.00184
[28] George, A. L., & Bennett, A. (2005). **Case studies and theory development in the social sciences**. *MIT Press.*