

The Role of Technology Readiness Levels (TRL) in Facilitating Technology Transfer from University to Industry: A Framework for Iran's Public Universities

Pouriya Sardasht, Mohammad Ghahremani²

1- PhD in Educational Management, Educational Sciences Department, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

(Corresponding Author: p_sardasht@sbu.ac.ir) 

2- Associate Professor, Educational Sciences Department, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Abstract

Despite the significant growth in scientific output at Iranian public universities, technology transfer and the commercialization of research outputs continue to face numerous challenges. The gap between university and industry is recognized as one of the main barriers to the development of a knowledge-based economy. Technology Readiness Levels (TRL), originally developed by NASA to assess the technical maturity of a specific technology, are today one of the most widely recognized technology management tools for readiness assessment, risk reduction, and investment decision-making. However, its capacity to improve the institutional process of technology transfer in Iranian public universities—particularly with context-specific empirical evidence—has received limited attention. This qualitative, applied, and exploratory study draws on a structured and purposive literature review (reported following the PRISMA 2020 framework). It first presents a process model of university-to-industry technology transfer that is independent of TRL, and then identifies at which points in this process TRL—as a measure of the technical maturity of a specific technology or technological project, not of the entire transfer process—can inform decision-making. Through a comparative analysis of the international TRL literature and domestic evidence on technology transfer barriers, each component of the proposed framework is explicitly attributed either to literature evidence, conceptual synthesis by the authors, or policy recommendation. The findings suggest that TRL, provided there is a clear definition of the unit of analysis, transparent governance of the assessment process, and concurrent use with complementary commercialization-readiness indicators, can serve as a shared language and decision-making tool within the "Valley of Death" (operationalized in this study as TRL 4–6) between university and industry. This framework is a conceptual proposal grounded in indirect evidence and limited domestic case studies, rather than an empirically tested finding; its validation through empirical research in specific public universities is a necessary direction for future study.

Keywords: Technology Readiness Level (TRL), Technology Transfer, Commercialization, University-Industry, Iran's Public Universities.

How to Cite this Paper:

Sardash, P. & Ghahremani, M. (2026). **The Role of Technology Readiness Levels (TRL) in Facilitating Technology Transfer from University to Industry: A Framework for Iran's Public Universities.** *Journal of Science & Technology Policy*, 19(3), 45-64. {In Persian}.
doi: 10.22034/jstp.2026.12412.2083



نقش سطوح آمادگی فناوری در تسهیل انتقال فناوری از دانشگاه به صنعت: چارچوبی برای دانشگاه‌های دولتی ایران

پوریا سردشت^۱، محمد قهرمانی^۲

۱- دانش‌آموخته دکتری مدیریت آموزشی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

(نویسنده عهده‌دار مکاتبات: p_sardasht@sbu.ac.ir) 

۲- دانشیار گروه علوم تربیتی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

چکیده

با وجود رشد تولید علم در دانشگاه‌های دولتی ایران، انتقال فناوری و تجاری‌سازی دستاوردهای پژوهشی همچنان با چالش‌های متعددی مواجه است و فاصله میان دانشگاه و صنعت یکی از موانع اصلی توسعه اقتصاد دانش‌بنیان شناخته می‌شود. سطوح آمادگی فناوری (TRL) که نخست توسط ناسا برای ارزیابی بلوغ فنی یک فناوری مشخص توسعه یافت، امروزه یکی از شناخته‌شده‌ترین ابزارهای مدیریت فناوری در ارزیابی آمادگی، کاهش ریسک و هدایت تصمیم‌های سرمایه‌گذاری است؛ با این حال، ظرفیت آن برای بهبود فرایند انتقال فناوری در دانشگاه‌های دولتی ایران، به‌ویژه با شواهد مشخص از این بافت، کمتر بررسی شده است. این پژوهش با رویکردی کیفی، کاربردی و اکتشافی و مبتنی بر مرور ساختاریافته و هدفمند پیشینه (با گزارش‌دهی بر پایه چارچوب PRISMA ۲۰۲۰)، نخست یک مدل فرایندی مستقل از TRL برای انتقال فناوری دانشگاه به صنعت ارائه و سپس نشان می‌دهد TRL به‌عنوان مقیاس بلوغ فنی یک فناوری یا پروژه فناورانه مشخص، نه کل فرایند انتقال کدام نقاط این فرایند می‌تواند به تصمیم‌گیری کمک کند. با تحلیل تطبیقی میان ادبیات بین‌المللی TRL و شواهد داخلی درباره موانع انتقال فناوری، هر مؤلفه چارچوب پیشنهادی به‌صراحت به شواهد ادبیات، سنتز مفهومی نویسندگان یا پیشنهاد سیاستی نسبت داده شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد TRL، به‌شرط تعریف روشن واحد تحلیل، حاکمیت شفاف فرایند سنجش، و کاربرد هم‌زمان با شاخص‌های مکمل آمادگی تجاری‌سازی، می‌تواند نقش یک زبان ارتباطی و ابزار تصمیم را در محدوده «دره مرگ» (عملیاتی‌شده به‌عنوان TRL چهار تا شش) میان دانشگاه و صنعت ایفا کند. این چارچوب، پیشنهادی مفهومی و متکی بر شواهد غیرمستقیم و مطالعات موردی محدود داخلی است، نه یافته‌ای آزموده‌شده در میدان؛ اعتبارسنجی تجربی آن در دانشگاه‌های دولتی مشخص، ضرورت پژوهش آتی است.

کلیدواژه‌ها: سطح آمادگی فناوری، انتقال فناوری، تجاری‌سازی، دانشگاه-صنعت، دانشگاه‌های دولتی ایران.

برای استنادات بعدی به این مقاله، قالب زیر به نویسندگان محترم مقالات پیشنهاد می‌شود:

سردشت، پوریا. و قهرمانی، محمد. (۱۴۰۴). نقش سطوح آمادگی فناوری در تسهیل انتقال فناوری از دانشگاه به صنعت: چارچوبی برای دانشگاه‌های دولتی ایران، *سیاست علم و فناوری*، ۱۹(۳)، ۴۴-۴۵.

doi: 10.22034/jstp.2026.12412.2083



۱- مقدمه

امروزه پذیرفته شده که دانشگاه‌ها در کنار دو مأموریت سنتی آموزش و پژوهش، مسئولیت سومی نیز بر عهده دارند: تبدیل دانش تولیدشده در آزمایشگاه‌ها و گروه‌های پژوهشی به محصولات، فرایندها و خدماتی که بتواند نیاز صنعت و جامعه را برطرف کند [۱]. در ایران نیز طی دو دهه گذشته، رشد چشمگیر تعداد مقالات علمی، پایان‌نامه‌ها و اختراعات ثبت‌شده، این پرسش را برجسته‌تر کرده که چرا بخش قابل توجهی از این دستاوردها هرگز از دیوارهای دانشگاه فراتر نمی‌رود و به محصول یا فرایند صنعتی تبدیل نمی‌شود. آمار رسمی مربوط به اختراعات ثبت‌شده در کشور نیز نشان می‌دهد سهم اندکی از این اختراعات فرایند تجاری‌سازی را طی می‌کنند، موضوعی که همسو با یافته‌های پژوهش‌های داخلی درباره موانع انتقال فناوری میان دانشگاه و صنعت در ایران است [۲].

ادبیات انتقال فناوری، طیف وسیعی از عوامل مؤثر بر این فرایند را شناسایی کرده است: ظرفیت جذب بنگاه گیرنده، دسترسی به منابع مالی، کیفیت زیرساخت، فرهنگ سازمانی و کارآفرینانه، شفافیت قوانین مالکیت فکری و عوامل نهادی گسترده‌تر [۱ و ۳]. در میان این مجموعه وسیع، پرسش مشخصی که این پژوهش را شکل داده این است: با وجود آنکه عوامل یادشده به‌خوبی در پیشینه داخلی و بین‌المللی مستند شده‌اند، یک حلقه خاص همچنان کمتر عملیاتی شده است - زبان و معیار مشترکی که بتواند «بلوغ فنی» هر فناوری مشخص را در طول مسیر آن از ایده تا بازار، برای همه بازیگران (پژوهشگر، دفتر انتقال فناوری، صنعت، سرمایه‌گذار) به شکلی قابل مقایسه توصیف کند. پژوهشگر دانشگاهی معمولاً بلوغ کار خود را با شاخص‌هایی مانند تعداد و کیفیت مقالات منتشرشده می‌سنجد، در حالی که صنعت و سرمایه‌گذار به دنبال شواهد عملکردی، قابلیت اطمینان و آمادگی برای تولید انبوه هستند. این ناهمخوانی زبانی و ارزشی می‌تواند یکی از عوامل زمینه‌ساز شکافی باشد که در ادبیات بین‌المللی از آن با عنوان «دره مرگ»^۱ میان پژوهش دانشگاهی و کاربرد صنعتی یاد می‌شود [۴].

سطوح آمادگی فناوری^۲ یا TRL، ابزاری است که در دهه ۱۹۷۰ میلادی در سازمان فضایی آمریکا (ناسا) برای ارزیابی و مدیریت ریسک فناوری‌های پیچیده هوافضایی ابداع شد [۵] و طی چند دهه بعد، به‌تدریج از حوزه هوافضا و دفاع فراتر رفت و به ابزاری فراگیر در نظام‌های نوآوری کشورهای مختلف، از جمله در برنامه‌های تحقیق و نوآوری اتحادیه اروپا (افق ۲۰۲۰)، تبدیل شد [۵]. این پیشینه بین‌المللی، بر بلوغ فنی یک فناوری یا پروژه فناورانه مشخص متمرکز است - نه بر کل فرایند چندبازیگره انتقال فناوری، و نه بر آمادگی سازمانی، بازار یا سرمایه‌گذاری - نکته‌ای که واحد تحلیل این پژوهش را نیز مشخص می‌کند و در بخش ۲ با دقت بیشتری تعریف می‌شود.

با وجود گسترش زیرساخت‌های حمایتی نوآوری در ایران از جمله پارک‌های علم و فناوری، مراکز رشد، دفاتر ارتباط با صنعت دانشگاه‌ها و صندوق نوآوری و شکوفایی، شکاف دانشی مشخصی که این پژوهش می‌کوشد آن را پر کند، سه لایه دارد. نخست، در حالی که ادبیات بین‌المللی TRL را به‌طور گسترده در بافت‌های هوافضایی، دفاعی و صنعتی بررسی کرده، پیوند نظام‌مند آن با فرایند نهادی خاص انتقال فناوری از دانشگاه دولتی ایرانی به صنعت - با بازیگران، ابزارهای حمایتی و محدودیت‌های مشخص این بافت - در ادبیات داخلی کمتر صورت‌بندی شده است. دوم، حتی در مواردی که TRL در بافت ایران به کار رفته (برای نمونه در ارزیابی شرکت‌های دانش‌بنیان یا در پژوهش‌های مهندسی)، چارچوبی که آن را به‌طور مشخص به نقاط تصمیم‌گیری دفاتر انتقال فناوری دانشگاهی (افشای اختراع، راهبرد مالکیت فکری، تخصیص بودجه حمایتی) متصل کند، ارائه نشده است. سوم، سازوکار هماهنگی میان دانشگاه، صنعت و نهادهای حمایتی - که خود موضوع مستقل و شناخته‌شده‌ای در ادبیات سیاست علم و فناوری ایران است [۶] - تاکنون با ابزاری مانند TRL که بتواند به‌عنوان رابط اطلاعاتی میان این بازیگران عمل کند، پیوند داده نشده است. بر این اساس، سهم این پژوهش در ادبیات، توسعه نظریه جدید یا آزمون رابطه علی نیست، بلکه تطبیق و بسط مفهومی چارچوب TRL برای

² Technology Readiness Levels

¹ Valley of Death

نیز در بر می‌گیرد. انتقال فناوری فرایندی چندبازیگره و چندمرحله‌ای در سطح سازمانی/بین‌سازمانی است که در آن، بلوغ فنی یکی از چندین ورودی تصمیم‌گیری است، نه معادل کل فرایند. دره مرگ نیز پدیده‌ای در سطح نظام حمایتی (نه ویژگی یک فناوری منفرد) است که بعداً تعریف خواهد شد.

بر این اساس، واحد تحلیلی که TRL در این پژوهش برای آن به کار می‌رود، یک فناوری یا پروژه فناورانه مشخص افشاشده توسط یک یا چند پژوهشگر است (برای نمونه یک اختراع، یک نمونه آزمایشگاهی، یا یک فرایند فنی مشخص) - نه کل دانشگاه، نه ظرفیت سازمانی دفتر انتقال فناوری، و نه کل زنجیره انتقال فناوری کشور. هر جا در این مقاله از «TRL یک دانشگاه» یا عباراتی مشابه استفاده می‌شود، مقصود میانگین یا توزیع تجمیعی TRL پروژه‌های فناورانه آن دانشگاه است، نه ویژگی واحدی برای کل سازمان. این تفکیک، مبنای مدل فرایندی بخش ۲-۳ و نگاشت جدول ۱ در بخش ۴ است.

۲-۲- خاستگاه، ساختار و گسترش سطوح آمادگی فناوری

مفهوم اولیه سطوح آمادگی فناوری نخستین‌بار توسط استن سدین در ناسا در سال ۱۹۷۴ میلادی برای ارزیابی ریسک فناوری‌های پیچیده هوافضایی مطرح شد [۵]. این چارچوب در سال ۱۹۸۹ به مقیاسی ۹ سطحی تکامل یافت [۵] و سرانجام در سال ۱۹۹۵ در قالب سندی راهنما توسط جان منکینز از دفتر مفاهیم پیشرفته ناسا مستند و برای برنامه‌ریزی فناورانه فضایی این سازمان رسمیت یافت [۷]. بر پایه این چارچوب، سطح یک با مشاهده و گزارش اصول علمی پایه آغاز می‌شود؛ در سطح دو، کاربرد احتمالی یک اصل علمی بدون پشتوانه آزمایشی صرفاً فرموله می‌شود؛ سطح سه به اثبات مفهومی تحلیلی و آزمایشگاهی نخستین اختصاص دارد؛ سطوح چهار و پنج به اعتبارسنجی مؤلفه یا نمونه اولیه، نخست در محیط آزمایشگاهی و سپس در محیطی نزدیک‌تر به شرایط واقعی می‌پردازند؛ سطح شش نمونه اولیه سامانه یا زیرسامانه را در محیطی مرتبط با کاربرد نهایی می‌آزماید؛ سطح هفت به نمایش نمونه در محیط عملیاتی واقعی اختصاص دارد؛ و سرانجام سطوح هشت و نه به ترتیب تکمیل و صلاحیت‌سنجی نهایی سامانه، و اثبات عملکرد آن

فرایند نهادی انتقال فناوری در دانشگاه‌های دولتی ایران، و ارائه چارچوبی است که پیش‌نیاز لازم برای اعتبارسنجی تجربی بعدی را فراهم می‌کند.

به‌طور مشخص، این پژوهش می‌کوشد به سه پرسش فرعی پاسخ دهد:

۱) TRL از منظر مفهومی چه کارکردهایی می‌تواند در فرایند انتقال فناوری دانشگاهی ایفا کند؟

۲) موانع شناسایی‌شده انتقال فناوری در دانشگاه‌های دولتی ایران با کدام مراحل و کارکردهای TRL تناظر دارد، و این تناظر بر چه مبنایی صورت‌بندی می‌شود؟

۳) یک چارچوب سیاستی-مفهومی پیشنهادی مبتنی بر TRL برای دانشگاه‌های دولتی ایران چه اجزایی باید داشته باشد، از جمله چه کسی سطح TRL را تعیین/تأیید می‌کند و نتیجه آن به چه تصمیم‌هایی می‌انجامد؟

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱ تعاریف مفهومی

در این پژوهش، انتقال فناوری در همان معنای متعارف آن در پیشینه این حوزه به کار رفته است: فرایندی پرریسک و حساس به عوامل درونی و محیطی که طی آن دانش یا دستاورد پژوهشی نظام دانشگاهی، با میانجی‌گری دفاتر انتقال فناوری، به محیط صنعتی راه می‌یابد [۱، ۳]؛ فرایندی که دانشگاه‌ها امروزه آن را نه فعالیتی جانبی، بلکه بخشی از «مأموریت سوم» خود در کنار آموزش و پژوهش تلقی می‌کنند [۱].

نکته‌ای که برای شفافیت مفهومی این پژوهش ضروری است، تفکیک دقیق میان چند مفهوم مرتبط اما غیرمترادف است. بلوغ فناوری^۱ ویژگی ذاتی یک فناوری یا پروژه فناورانه خاص است که نشان می‌دهد آن فناوری تا چه اندازه از اثبات علمی اولیه فاصله گرفته و به کارکرد قابل‌اتکا در شرایط واقعی نزدیک شده است. سطح آمادگی فناوری (TRL) مقیاسی است که این بلوغ را در نه درجه اندازه می‌گیرد [۷]. آمادگی تجاری‌سازی^۲ مفهومی گسترده‌تر است که علاوه بر بلوغ فنی، آمادگی بازار، مدل کسب‌وکار و سرمایه‌گذاری را

^۱ Technology Maturity

^۲ Commercialization Readiness

طی بهره‌برداری موفق عملیاتی را نشان می‌دهند [۷]. جدول ۱ خلاصه‌ای از این سطوح را همراه با بازیگر غالب هر مرحله در بافت دانشگاهی نشان می‌دهد.

آنچه این مقیاس را برای سیاست‌گذاری فناوری جذاب کرده، سادگی و قابلیت فهم مشترک آن میان مهندسان، مدیران برنامه، سرمایه‌گذاران و قانون‌گذاران است؛ پیش از پیدایش TRL، زبان مشترکی برای توصیف میزان فاصله یک فناوری تا استقرار واقعی وجود نداشت [۵]. به همین دلیل، این چارچوب به سرعت از حصار ناسا خارج شده و توسط وزارت دفاع آمریکا و سپس نهادهای دیگر آمریکایی به کار گرفته شد و در سال ۲۰۱۳ در قالب استاندارد بین‌المللی ایزو با عنوان ISO ۱۶۲۹۰ برای بخش فضایی تدوین شد [۵]. کمیسیون اروپا نیز آن را به عنوان معیار رسمی ارزیابی بلوغ فناوری در برنامه پژوهشی افق ۲۰۲۰ پذیرفت [۵]. نکته درخور توجه برای چارچوب پیشنهادی این پژوهش، شیوه عملیاتی شدن TRL در برنامه افق ۲۰۲۰ است: کمیسیون اروپا برای هر فراخوان پژوهشی، بازه TRL ورودی و خروجی مورد انتظار طرح را از پیش تعیین می‌کند، به گونه‌ای که متقاضی از همان ابتدا می‌داند آیا طرح او باید فناوری را از TRL سه به پنج برساند یا از پنج به هفت. این شیوه، نمونه عملی روشنی از مؤلفه دوم چارچوب پیشنهادی این پژوهش -یعنی تفکیک ابزارهای حمایت مالی بر مبنای بازه TRL- است که می‌تواند الگویی برای طراحی فراخوان‌های حمایتی صندوق نوآوری و شکوفایی و بودجه‌های پژوهانه دانشگاهی در ایران نیز باشد.

با این حال، کاربرد گسترده TRL در حوزه‌هایی به جز هوافضا و دفاع، محدودیت‌های آن را نیز آشکار کرد. مهم‌ترین انتقاد وارد بر این چارچوب، ماهیت خطی و مرحله‌به‌مرحله آن است که با فرایند واقعی و اغلب غیرخطی نوآوری -با رفت و برگشت میان مراحل و بازخوردهای مکرر- همخوانی کامل ندارد و تطبیق آن با حوزه‌هایی مانند علوم زیستی، فناوری اطلاعات یا علوم انسانی و اجتماعی را با چالش روبه‌رو می‌سازد [۸]؛ همچنین این مقیاس در تشخیص میان مؤلفه‌های حیاتی و غیرحیاتی یک فناوری در ارزیابی آمادگی، توانایی محدودی دارد [۹]. پژوهشی ایرانی که ملاحظات

فناورانه و صنعتی مؤثر بر انتقال فناوری‌های پیشرفته را در سطوح گوناگون TRL شناسایی و رتبه‌بندی کرده، به‌طور تجربی نشان داده که وزن نسبی این دو دسته ملاحظه در طول مقیاس TRL ثابت نیست، بلکه با نزدیک شدن فناوری به سطوح بالاتر و مرحله تجاری‌سازی، اهمیت ملاحظات صنعتی و بازار نسبت به ملاحظات صرفاً فنی افزایش می‌یابد [۱۰]؛ یافته‌ای که هم محدودیت تک‌بعدی بودن TRL را تأیید کرده و هم -با فاصله گرفتن از بافت هوافضا و نزدیک شدن به تحلیل ایرانی انتقال فناوری‌های پیشرفته- پشتوانه تجربی نسبی برای اصل تقسیم‌بندی سه‌گانه TRL در جدول ۱ فراهم می‌کند، هرچند آن پژوهش به‌طور مستقیم درباره دانشگاه‌های دولتی یا فرایند دفاتر انتقال فناوری نبوده است.

به همین دلیل، در سه دهه اخیر خانواده‌ای از مقیاس‌های مکمل TRL توسعه یافته است: سطح آمادگی ساخت یا تولید^۱ که آمادگی یک فناوری برای تولید انبوه را می‌سنجد؛ سطح آمادگی تقاضا^۲ که میزان بلوغ نیاز و تقاضای مشتری در یک بازار مشخص را، به عنوان مکملی برای رویکرد فناوری‌محور TRL، اندازه می‌گیرد [۱۱]؛ شاخص یا سطح آمادگی تجاری‌سازی^۳ که نخست در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر توسط سازمان استرالایی آرنا^۴ طراحی شد و ابعدی مانند تقاضای بازار، مزیت رقابتی، قیمت‌گذاری و پذیرش مشتری را مکمل بلوغ فنی صرف می‌سنجد [۱۲، ۱۳]؛ و سطح آمادگی همکاری^۵ که سازمان تحقیقات علمی و صنعتی کشورهای مشترک‌المنافع (CSIRO)^۶ به‌طور مشخص برای سنجش آمادگی بنگاه‌ها پیش از ورود به همکاری پژوهشی با دانشگاه‌ها طراحی کرده است [۱۴]. نکته مهم برای سیاست‌گذاری این است که رسیدن یک فناوری به TRL سطح ۹، تضمینی برای موفقیت تجاری آن نیست؛ زیرا در صورت آمادگی تجاری‌سازی پایین، آن فناوری همچنان در معرض شکست بازار قرار دارد [۱۳]. از این‌رو، در چارچوب پیشنهادی این پژوهش، TRL برابر ۹، به عنوان جایگزین سایر ابزارهای سنجش بلوغ، بلکه به عنوان هسته اولیه و در

¹ Manufacturing Readiness Level-MRL

² Demand Readiness Level-DRIL

³ Commercial/Commercialization Readiness Index/Level-CRI/CRL

⁴ ARENA

⁵ Collaboration Readiness Level-CRL

⁶ Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation

نکند؛ ارتباطی که نشان می‌دهد افزایش TRL به‌خودی‌خود تضمینی برای پیشرفت در مراحل فرایند انتقال فناوری نیست، بلکه صرفاً یکی از چند شرط لازم آن را فراهم می‌کند.

۲-۴ دره مرگ: پدیده چندعاملی، نه صرفاً یک بازه TRL

در ادبیات انتقال فناوری، مشاهده شده که بودجه عمومی و حمایت‌های دانشگاهی معمولاً تا سطوح پایین و میانی TRL در دسترس است، در حالی‌که سرمایه خصوصی و صنعت عمدتاً از TRL هفت به بعد وارد میدان می‌شوند [۴]. فاصله میان این دو -که معمولاً حدوداً TRL چهار تا هفت توصیف می‌شود- همان ناحیه‌ای است که با عنوان «دره مرگ» یاد می‌شود: ناحیه‌ای که در آن، فناوری‌های به‌لحاظ فنی امیدوارکننده، به دلیل نبود سرمایه‌گذار مناسب و نه لزوماً شکست فنی، متوقف یا رها می‌شوند [۴ و ۱۵]. با این‌همه، باید تأکید کرد که دره مرگ، پدیده‌ای صرفاً تک‌بعدی و معادل یک بازه TRL نیست؛ این پدیده از تلاقی عوامل مالی (نبود ابزار حمایتی میانی)، بازار (ابهام تقاضا)، نهادی (نبود هماهنگی میان دانشگاه، صنعت و نهادهای حمایتی)، سازمانی (ضعف ظرفیت دفاتر انتقال فناوری) و زیرساختی (دسترسی به تسهیلات آزمایشی) شکل می‌گیرد [۱، ۳]. به‌منظور ساخت یک چارچوب سه‌گانه قابل استفاده، این پژوهش بازه میانی TRL چهار تا شش (شامل خود سطوح چهار، پنج و شش) را به‌عنوان عملیاتی‌سازی ساده‌شده محدوده دره مرگ به کار می‌برد؛ ساده‌سازی‌ای که صرفاً برای ایجاد سه بازه مساوی در مقیاس نه‌گانه TRL انتخاب شده و نباید به‌معنای برابری کامل میان «دره مرگ» با «TRL چهار تا شش» تلقی شود.

از این منظر، TRL کارکردی دوگانه در فرایند انتقال فناوری دانشگاهی ایفا می‌کند. نخست، کارکردی تشخیصی دارد: به دفتر انتقال فناوری دانشگاه کمک می‌کند دریابد آیا یک اختراع در همان مراحل نخستین (برای نمونه TRL دو) رهاسازی به صنعت را توجیه می‌کند یا باید ابتدا به سطح بالاتری از اعتبارسنجی برسد؛ پژوهش‌هایی که به‌طور مشخص شیوه ارزیابی افشای اختراع در دفاتر انتقال فناوری دانشگاهی را بررسی کرده‌اند، سنجش سطح آمادگی فناوری، امکان ثبت اختراع، قدرت ادعاهای آن و میزان تقاضای بازار را از رایج‌ترین رویه‌های این ارزیابی معرفی می‌کنند [۱۶].

دسترس‌ترین حلقه یک نظام سنجش چندبعدی در نظر گرفته می‌شود؛ نکته‌ای که در بخش ۴-۴ به‌عنوان یکی از اصول طراحی چارچوب، به‌طور مشخص عملیاتی می‌شود.

۲-۳ مدل فرایندی انتقال فناوری دانشگاه به صنعت و جایگاه TRL در آن

پیش از آنکه نسبت میان TRL و انتقال فناوری تعیین شود، لازم است خود فرایند انتقال فناوری -مستقل از TRL- صورت‌بندی شود. ادبیات این حوزه، این فرایند را معمولاً در قالب مراحل متوالی توصیف می‌کند: وجود نیاز یا فرصت فناورانه (در سمت دانشگاه) یا نیاز فناورانه شناسایی‌شده (در سمت صنعت)؛ شناسایی طرف مقابل (دانشگاه به دنبال گیرنده صنعتی، یا صنعت به دنبال منبع دانشگاهی)؛ مذاکره و انعقاد توافق (شامل تعیین حقوق مالکیت فکری، شرایط مالی و زمان‌بندی)؛ و سرانجام انتقال و پیاده‌سازی فناوری در بنگاه گیرنده [۳]. این مراحل، ماهیتاً سازمانی، حقوقی و ارتباطی‌اند و به عواملی مانند ظرفیت جذب بنگاه، اعتماد میان‌سازمانی، تعهد مدیریت و کیفیت قرارداد وابسته‌اند -عواملی که TRL به‌تنهایی هیچ‌کدام را اندازه‌گیری نمی‌کند.

نسبت TRL با این مدل فرایندی را می‌توان چنین صورت‌بندی کرد: TRL یک **ورودی تصمیم** در نقاط مشخصی از این فرایند است، نه معادل یا جایگزین خود فرایند. به‌طور مشخص، سطح TRL یک فناوری در لحظه معین، دست‌کم به سه تصمیم درون این مدل فرایندی کمک می‌کند: تصمیم دفتر انتقال فناوری درباره آنکه آیا افشای یک اختراع، در مرحله «شناسایی نیاز/فرصت» آماده ورود به مرحله «شناسایی طرف مقابل» است یا هنوز باید در داخل دانشگاه بالغ‌تر شود؛ تصمیم درباره نوع و زمان‌بندی قرارداد در مرحله «مذاکره» (برای نمونه، توافق‌نامه پژوهش مشترک برای فناوری‌های کم‌بالغ در برابر قرارداد صدور مجوز برای فناوری‌های بالغ‌تر)؛ و تصمیم درباره میزان ریسک باقی‌مانده‌ای که بنگاه گیرنده در مرحله «انتقال و پیاده‌سازی» باید بپذیرد. با این حال، حتی در این سه نقطه، TRL شرط لازم است نه کافی: یک فناوری با TRL بالا می‌تواند به دلیل ضعف در ظرفیت جذب بنگاه گیرنده یا نبود اعتماد میان‌سازمانی، هرگز از مرحله «شناسایی طرف مقابل» عبور

دوم، کارکردی تسهیل‌کننده دارد: مطالعه‌ای مبتنی بر داده‌های واقعی ثبت اختراع دانشگاه‌های آمریکا نشان داده است بلوغ فناوری، شرط لازم (هرچند نه همیشه کافی) وقوع انتقال فناوری دانشگاهی است؛ به گونه‌ای که فناوری‌های دانشگاهی معمولاً در سطح TRL پنج یا پایین‌تر باقی می‌مانند و رسیدن به TRL شش یا بالاتر، احتمال وقوع انتقال موفق آن‌ها به بخش خصوصی را به‌طور محسوسی افزایش می‌دهد [۱۷]. پژوهشی دیگر نیز با مطالعه یک بنگاه صنعتی که TRL را در مدیریت پژوهش و توسعه خود به کار گرفته بود، نشان داد این چارچوب، توانایی سازمان را در تصمیم‌گیری درباره سرمایه‌گذاری بر فناوری و زمان مناسب بهره‌برداری از آن، و در نتیجه دستیابی به مزیت رقابتی، بهبود می‌بخشد [۱۸]. همچنین در حوزه ارزش‌گذاری مالکیت فکری، چارچوب‌هایی طراحی شده‌اند که ریسک ارزش‌گذاری اختراعات را بر مبنای سطح TRL تعدیل می‌کنند، به گونه‌ای که با ارتقای TRL، ریسک ارزش‌گذاری کاهش می‌یابد [۱۳]. باید تصریح شود که این شواهد [۱۳، ۱۶، ۱۷ و ۱۸] همگی از بافت‌های دانشگاهی یا صنعتی غرب اخذ شده‌اند و مستقیماً از دانشگاه‌های دولتی ایران گزارش نشده‌اند؛ نقش آن‌ها در این پژوهش، فراهم کردن شواهد غیرمستقیم و قابل‌قیاس برای کارکرد بالقوه TRL است، نه اثبات وقوع همین کارکرد در بافت ایران -نکته‌ای که در بخش‌های ۴ و ۵ بازتکرار می‌شود.

۲-۵ موانع انتقال فناوری از دانشگاه به صنعت

مرور نظام‌مند ادبیات بین‌المللی انتقال فناوری، عوامل تسهیل‌کننده و بازدارنده متعددی را در قالب ابعاد محیطی، انسانی، فرهنگی، سازمانی و فناورانه دسته‌بندی کرده است؛ از جمله ظرفیت جذب فناوری توسط بنگاه گیرنده، کیفیت ارتباطات و شبکه‌سازی میان دانشگاه و صنعت، تعهد مدیریت ارشد، فرهنگ سازمانی و کارآفرینانه، و شفافیت قوانین مالکیت فکری [۳]. در نگاهی مکمل، فراترکیب مطالعات منتشرشده درباره انتقال فناوری دانشگاه به صنعت نشان داده است عوامل محیطی مؤثر بر این فرایند را می‌توان در پنج مقوله اصلی جای داد: ویژگی‌های دانشگاه به‌عنوان عرضه‌کننده فناوری، ویژگی‌های صنعت به‌عنوان گیرنده فناوری، ویژگی‌های خود فناوری، ویژگی‌های منطقه‌ای که

دانشگاه در آن مستقر است، و سرانجام قوانین و مقررات حاکم بر سیاست علم و فناوری در سطح دانشگاه، منطقه و کشور [۱]. این دسته‌بندی نشان می‌دهد انتقال فناوری، فرایندی تک‌بعدی و صرفاً فنی نیست، بلکه پدیده‌ای چندسطحی است که در دل یک اکوسیستم نوآوری رخ می‌دهد؛ و به‌طور ضمنی نشان می‌دهد که نبود یک سنجه مشترک بلوغ فنی (که TRL می‌تواند بخشی از آن را پوشش دهد) تنها یکی از چندین دسته عامل مستند در این ادبیات است، نه تنها یا حتی لزوماً مهم‌ترین آن‌ها.

در بافت ایران نیز پژوهش‌های متعددی موانع انتقال فناوری میان دانشگاه و صنعت را بررسی کرده‌اند. یکی از نخستین مطالعات جامع در این زمینه، سازوکارهای انتقال فناوری، شیوه‌های برقراری ارتباط، انگیزه‌ها و موانع پیش روی این فرایند در ایران را بررسی کرده و نشان داده است تفاوت در اهداف دانشگاه و صنعت، تفاوت‌های فرهنگی، موانع نگرشی، ضعف در اشاعه اطلاعات و ابهام در حقوق مالکیت فکری از مهم‌ترین موانع این فرایند در کشور به شمار می‌روند؛ همچنین اندازه بنگاه صنعتی نیز بر شدت این موانع و انگیزه‌های آن اثرگذار است [۲]. پژوهشی دیگر که با روش تحلیل سلسله‌مراتبی به رتبه‌بندی موانع انتقال فناوری در ایران پرداخته، نشان داده موانع فنی، انسانی و اطلاعاتی-سازمانی به‌ترتیب اهمیت، مهم‌ترین دسته‌های بازدارنده هستند؛ در بعد فنی، ضعف زیرساخت، در بعد انسانی، ضعف مهارت‌های مدیریتی، و در بعد سازمانی، دشواری دسترسی به اطلاعات و هزینه، به‌عنوان زیرمجموعه‌های اصلی چالش‌شناسایی شده‌اند [۱۹]. پژوهشی کیفی دیگر نیز با بررسی موانع محیطی انتقال و تجاری‌سازی نتایج پژوهش‌های حوزه نانوپزشکی در ایران، مدلی پنج‌جزئی شامل انتقال‌دهنده، انتقال‌گیرنده، موضوع انتقال، سازوکارهای انتقال و عوامل محیطی ارائه کرده و نظام صدور مجوز، کمبود سرمایه و فرهنگ مصرف را از مهم‌ترین موانع محیطی برشمرده است [۲۰]. در سطحی وسیع‌تر، پژوهشی با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری در یکی از بزرگ شرکت‌های صنعتی کشور نیز نشان داده قوانین و سیاست‌ها، توانمندی‌های شرکت، منابع انسانی ماهر، بومی‌سازی فناوری و ویژگی‌های خود فناوری، تأثیر معناداری

بر انتقال فناوری دارند و بیشترین همبستگی، میان توانمندی‌های شرکت گیرنده و موفقیت انتقال فناوری وجود دارد [۲۱]. هیچ‌یک از این چهار پژوهش به‌طور مستقیم TRL یا مقیاس مشابهی از بلوغ فناوری را در تحلیل خود به کار نبرده است؛ نقش آن‌ها در این مقاله، مستندسازی موانع واقعی گزارش شده در ادبیات داخلی است که در بخش ۳-۴، به‌صورت تفسیری و با ذکر صریح این ماهیت، به بازه‌های TRL نگاشت می‌شوند.

پژوهش‌های داخلی متعددی به این موضوع پرداخته‌اند؛ برای نمونه، پژوهشی با محوریت ناحیه نوآوری شریف، با رویکرد کیفی و مصاحبه با خبرگان، عوامل مؤثر بر ظرفیت‌سازی انتقال فناوری از دانشگاه به صنعت را در پنج مقوله اصلی دسته‌بندی کرده است: سیاست دانشگاه، مشارکت پژوهشگر، همراهی صنعت، عوامل سازمانی نهادهای پشتیبان (نظیر دفاتر انتقال فناوری و مراکز رشد)، و نهاد سیاست‌گذار؛ و تأکید کرده که موفقیت انتقال فناوری در گرو یکپارچگی و شفافیت نقش این نهادها و شناخت دقیق معیارهای اثرگذاری هرکدام است [۶]. این پژوهش، به دلیل مبتنی‌بودن بر مصاحبه با خبرگان یک ناحیه نوآوری واقعی ایرانی، نزدیک‌ترین شاهد تجربی موجود به بافت دانشگاه‌های دولتی است. پژوهشی دیگر با استفاده از الگوی سه‌شاخگی، عوامل تعیین‌کننده تجاری‌سازی تحقیقات دانشگاهی را در ابعاد ساختاری، رفتاری و زمینه‌ای تبیین کرده و بر لزوم بازتعریف نقش دانشگاه از تولیدکننده صرف دانش به بازیگری مسئول در تبدیل دستاورد پژوهشی به رشد اقتصادی و رفاه عمومی تأکید کرده است [۲۲]. در پژوهشی دیگر که با روش پیمایشی به سنجش محرک‌ها و موانع تجاری‌سازی علم و فناوری در یک دانشگاه دولتی (دانشگاه شاهد) پرداخته -و دومین شاهد تجربی مستقیم این مقاله از یک دانشگاه دولتی ایرانی به شمار می‌رود- بر اهمیت هم‌زمان عوامل درون‌سازمانی (مانند فرهنگ تجاری‌سازی و منابع دانشگاه) و عوامل برون‌سازمانی (مانند قوانین و ارتباط با صنعت) در تبیین موفقیت یا شکست تجاری‌سازی تأکید شده است [۲۳].

در کنار این پژوهش‌ها، بررسی سبک‌های یادگیری و نوآوری در بخش فاوای ایران نیز بر اهمیت یادگیری فناورانه به‌عنوان

پیش‌نیاز جذب و انتقال مؤثر فناوری تأکید کرده است [۲۴]. و پژوهشی جدیدتر نیز پویایی‌های مدل مارپیچ سه‌گانه دانشگاه-صنعت-دولت را در دوران فناوری‌های هوش مصنوعی بازخوانی کرده است [۲۵].

در کنار این شواهد پژوهشی، زیرساخت نهادی حمایت از تجاری‌سازی فناوری در ایران نیز طی دو دهه اخیر گسترش یافته است. برای نمونه، صندوق نوآوری و شکوفایی ریاست‌جمهوری بر پایه قانون حمایت از شرکت‌ها و مؤسسات دانش‌بنیان و تجاری‌سازی نوآوری‌ها و اختراعات، از سال ۱۳۹۰ با هدف تأمین مالی و ارائه خدمات توانمندسازی به شرکت‌های دانش‌بنیان تأسیس شده است [۲۶]. و آیین‌نامه ارزیابی و تشخیص شرکت‌های دانش‌بنیان معاونت علمی و فناوری ریاست‌جمهوری نیز از معیارهایی مانند حداقل ساخت نمونه آزمایشگاهی محصول و سطح پیچیدگی فناورانه آن برای احراز عنوان دانش‌بنیان بهره می‌برد [۲۷]. معیارهایی که در عمل با منطق سطوح آمادگی فناوری هم‌پوشانی زیادی دارند، هرچند تاکنون به‌صورت رسمی و نظام‌مند در قالب مقیاس ۹گانه TRL در سراسر زنجیره انتقال فناوری دانشگاهی -از افشای اختراع تا صدور مجوز بهره‌برداری- به کار گرفته نشده‌اند. در منابع فارسی، کاربرد صریح مقیاس TRL نیز بیشتر در حوزه‌های مهندسی و مدیریت پروژه دیده می‌شود تا در فرایند نهادی انتقال فناوری دانشگاهی؛ برای نمونه، پژوهشی داخلی رویکردی ترکیبی مبتنی بر TRL، تحلیل پوششی داده‌ها و ANFIS برای گزینش و برآورد عملکرد پروژه‌های ناب-شش‌سیگمای سبز ارائه کرده که کاربرد این مقیاس را در تصمیم‌های مدیریت پروژه، فراتر از خاستگاه سنتی هوافضایی آن، نشان می‌دهد [۲۸]. این شکاف -میان کاربرد پراکنده TRL در حوزه‌های مهندسی/ارزیابی دانش‌بنیان از یک‌سو، و فرایند نهادی مشخص انتقال فناوری دانشگاهی از سوی دیگر- همان شکافی است که این پژوهش می‌کوشد بخشی از آن را با یک چارچوب مفهومی صریح و قابل‌ردیابی پر کند.

۳- روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت و

جست‌وجوی واحد و ثابت را در چند پایگاه اجرا می‌کنند، در این پژوهش به دلیل ماهیت دوگانه سؤال پژوهش - پیوند یک ابزار مهندسی نسبتاً متأخر (TRL) با ادبیات انتقال فناوری دانشگاهی - جست‌وجو به صورت تکراری و در دو دسته موضوعی موازی (پیشینه TRL؛ پیشینه موانع انتقال فناوری در ایران و جهان) پیش رفت. برای گردآوری ادبیات پایه و کم‌تر دیده شده، از فنون گلوله‌برفی پسگرد نیز در فهرست منابع چند پژوهش لنگر این مقاله استفاده شد [۱، ۳، ۳۱، ۳۲، ۳۳]. محدودیت زمانی پایینی اعمال نشد تا آثار بنیادین (مانند سند ۱۹۹۵ ناسا [۷]) در دسترس بمانند و جست‌وجو تا تیر ۱۴۰۵ (ژوئیه ۲۰۲۶) تداوم یافت.

۳-۲ معیارهای ورود و خروج و فرایند غربالگری

فرایند شناسایی، غربالگری و گزینش منابع بر مبنای منطق الگوی ۲۰۲۰ PRISMA [۳۰] در چهار گام مستند شد: شناسایی (Identification) رکوردهای نامزد از جست‌وجوی پایگاه‌ها و گلوله‌برفی پسگرد، حذف موارد تکراری، غربالگری بر پایه عنوان و چکیده (Screening)، و ارزیابی صلاحیت متن کامل (Eligibility) پیش از ورود نهایی (Included). معیارهای ورود عبارت بودند از: انتشار در مجله‌ای دارای داوری تخصصی یا صدور از نهاد رسمی سیاست‌گذار/آماری (نظیر آنکتاد یا معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش‌بنیان ریاست‌جمهوری)، ارتباط مستقیم با TRL یا انتقال/تجاری‌سازی فناوری دانشگاهی، و امکان راستی‌آزمایی مستقل مشخصات کتاب‌شناختی آن. منابعی که تنها در وبلاگ‌های تجاری بدون تأییدپذیری مستقل یافت شدند یا نویسندگی آن‌ها قابل احراز نبود، در گام ارزیابی صلاحیت کنار گذاشته شدند.

شکل ۱، این فرایند را به صورت نمودار جریانی نشان می‌دهد: از ۶۱ رکورد شناسایی شده از طریق جست‌وجوی مستقیم پایگاه‌ها و ۱۶ رکورد اضافی از طریق گلوله‌برفی پسگرد و سایر منابع، پس از حذف موارد تکراری، ۶۸ رکورد وارد گام غربالگری بر پایه عنوان و چکیده شدند که ۲۶ مورد آن‌ها در همین گام کنار گذاشته شد. از ۴۲ منبع باقی‌مانده که برای ارزیابی صلاحیت متن کامل بررسی شدند، ۱۵ مورد به دو دلیل اصلی حذف شدند:

رویکرد، کیفی و اکتشافی است. با توجه به آنکه پرسش اصلی پژوهش به «چگونگی» به‌کارگیری یک چارچوب مفهومی (TRL) در بافتی نهادی و سیاستی (دانشگاه‌های دولتی ایران) مربوط می‌شود و نه به آزمون رابطه علی میان متغیرها، رویکرد پژوهش، مطالعه کتابخانه‌ای و تحلیل اسنادی همراه با ترکیب مفهومی^۱ یافته‌های پراکنده پیشین انتخاب شده است [۲۹]. تأکید می‌شود که عنوان «مرور نظام‌مند» در معنای دقیق روش‌شناختی آن (رشته جست‌وجوی واحد، ثابت و کاملاً قابل تکرار در چند پایگاه از پیش تعیین شده) برای این پژوهش به کار نمی‌رود؛ آنچه در ادامه توصیف می‌شود، مرور ساختاریافته و هدفمند^۲ ادبیات است که برای شفافیت گزارش‌دهی فرایند شناسایی و گزینش منابع، از قراردادهای گزارش‌دهی الگوی ۲۰۲۰ PRISMA بهره می‌گیرد [۳۰]، بدون آنکه مدعی انطباق کامل با تمامی الزامات یک مرور نظام‌مند تمام‌عیار باشد. گام‌های عملیاتی این رویکرد - از راهبرد جست‌وجو تا سنج‌های اعتبار و پایایی - در چهار زیربخش زیر تشریح می‌شود.

۳-۱ راهبرد جست‌وجو و گردآوری منابع

جست‌وجوی منابع حول سه سازه مفهومی مرکزی این پژوهش صورت‌بندی شد: سازه «سطح آمادگی فناوری» (شامل عبارت‌هایی نظیر Technology Readiness Level، Manufacturing/Commercialization Readiness، TRL، Level)، سازه «دانشگاه و نهاد واسط» (University، Higher Education، TTO، Technology Transfer Office) و سازه «انتقال و تجاری‌سازی فناوری» (Technology Transfer، Commercialization، Knowledge Transfer، University-Industry، Academic Entrepreneurship). این سازه‌ها با عملگر AND ترکیب و برای پوشش پیشینه ایرانی، با معادل‌های فارسی («انتقال فناوری»، «تجاری‌سازی»، «سیاست علم و فناوری») نیز بازتولید شدند. جست‌وجو در پایگاه‌های نمایه‌ساز و ناشرانی نظیر Scopus، IEEE Xplore، ScienceDirect، DOAJ، RePEc/IDEAS و Google Scholar، و نیز در وب‌گاه رسمی نشریات علمی داخلی انجام شد. برخلاف مرورهای نظام‌مند تمام‌عیار که یک رشته

^۱ Conceptual Synthesis

^۲ Purposive



شکل ۱) نمودار جریان انتخاب مطالعات بر اساس چارچوب PRISMA

صنعت از سوی دیگر، به صورت مستقل از منابع استخراج و در دو جدول مضمونی جداگانه دسته‌بندی شدند. در گام دوم، این دو دسته مضمون از طریق تحلیل تطبیقی بر یکدیگر نگاشت شدند.

با توجه به ماهیت مفهومی (نه صرفاً استخراجی) این ترکیب، این پژوهش برای افزایش قابلیت ردیابی یافته‌ها، هر گزاره اصلی بخش ۴ را به یکی از سه نوع زیر نسبت می‌دهد و این نسبت را به صراحت در متن یادآوری می‌کند:

- (الف) **شواهد مستقیم ادبیات:** گزاره‌ای که عیناً یا با پارافریز نزدیک، یافته گزارش شده در یک یا چند منبع مشخص است.
- (ب) **سنتز مفهومی نویسندگان:** گزاره‌ای که از ترکیب چند شاهد پراکنده - که هیچ‌یک به تنهایی آن را اثبات نکرده‌اند - توسط نویسندگان مقاله استنتاج شده است.
- (پ) **پیشنهاد سیاستی:** توصیه‌ای که فراتر از شواهد موجود، برای عمل سیاستی یا اجرایی ارائه می‌شود و اعتبار آن منوط به اعتبارسنجی تجربی آتی است.

نویسندگی یا اطلاعات کتاب‌شناختی غیرقابل تأیید (۹ مورد) و ارتباط ناکافی با TRL یا انتقال فناوری دانشگاه-صنعت (۶ مورد)؛ و در نهایت ۲۷ منبع معیارهای ورود را احراز کردند و مبنای تدوین این مقاله قرار گرفتند (که با افزودن یک منبع تکمیلی درباره ملاحظات صنعتی-فناورانه TRL در ادبیات ایرانی [۱۰] که پس از دریافت بازخورد داوران به مقاله افزوده شد، تعداد نهایی منابع اصلی این پژوهش به ۲۸ رسید). باید تصریح شود که برخلاف مرورهای نظام‌مند بزرگ‌مقیاس با رشته جست‌وجوی واحد و قابل تکرار دقیق، ماهیت هدفمند (Purposive) و دوماضوعی جست‌وجوی حاضر، گزارش شمار دقیق رکوردها را در سطح هر پایگاه به طور مجزا - و نه صرفاً در سطح کل - با محدودیت همراه می‌کند؛ محدودیتی که در بخش پایانی مقاله نیز بازتأکید شده است.

۳-۳ راهبرد تحلیل و ترکیب یافته‌ها

تحلیل داده‌ها در دو گام انجام شد. در گام نخست، مضامین مرتبط با کارکردها، مزایا و محدودیت‌های TRL از یک‌سو، و مضامین مرتبط با موانع و عوامل انتقال فناوری دانشگاه به

(پنج‌مقوله‌ای [۱] و عاملی [۳]) صورت گرفت، نه کدگذاری باز از صفر. دوم، برای هر نگاشت تفسیری (به‌ویژه جدول‌های ۱ و ۲)، جست‌وجوی فعالانه شواهد ناقص یا توضیح‌های جایگزین انجام شد. سوم، پیش‌نویس نگاشت‌های جدول‌های ۱ و ۲ در یک بازبینی مستقل ثانویه، جمله‌به‌جمله در برابر متن منابع اصلی بازبینی شد تا از خطای انتساب نادرست جلوگیری شود. پایایی گزارش‌دهی نیز از طریق مستندسازی شفاف و گام‌به‌گام راهبرد جست‌وجو، معیارهای ورود و خروج، و مسیر نگاشت مضامین (به‌مثابه ردپای قابل‌ممیزی) پیگیری شده است.

۴- یافته‌ها: نگاشت TRL بر فرایند انتقال فناوری در

دانشگاه‌های دولتی ایران

۴-۱ مراحل ۳ گانه انتقال فناوری و تناظر آن با مقیاس TRL
نخستین گام در ساخت چارچوب پیشنهادی - که در ادامه این بخش به‌صراحت به‌عنوان سنتز مفهومی نویسندگان معرفی می‌شود، نه یافته‌ای مستقیم از یک منبع واحد- تقسیم مقیاس ۹ گانه TRL به سه بازه کارکردی متناظر با مدل فرایندی معرفی‌شده در بخش ۲-۳ است: بازه «کشف و اثبات مفهوم» (TRL یک تا سه)، بازه «اعتبارسنجی و توسعه» (TRL چهار تا شش)، هم‌پوشان با عملیاتی‌سازی ساده‌شده دره مرگ در این پژوهش، و بازه «استقرار و تجاری‌سازی» (TRL هفت تا نه). این نگاشت سه‌گانه، مبتنی بر ترکیب چارچوب سطوح آمادگی فناوری [۷]، مدل مرحله‌ای انتقال فناوری [۳] و پشتوانه تجربی نسبی مطالعه ایرانی درباره تغییر وزن ملاحظات فنی/صنعتی در طول مقیاس TRL [۱۰] است؛ اما باید تصریح شود مرزهای دقیق میان بازه‌ها قاعده‌ای کاملاً تجربی و آزموده‌شده ندارد و صرفاً برای ایجاد یک ساختار سه‌گانه قابل استفاده در سیاست‌گذاری انتخاب شده است. جدول ۱ این سه بازه را به همراه بازیگر غالب، منبع مالی رایج، کارکرد اصلی دفتر انتقال فناوری، و ریسک غالب هر بازه در دانشگاه دولتی ایرانی نشان می‌دهد.

این انتخاب سه‌گانه به‌جای بررسی جداگانه ۹ سطح یا تقسیم دوگانه پیش/پس از انتقال- بر سه ملاحظه استوار است. نخست، همین تفکیک (پژوهش پایه/توسعه و

این قرارداد در سراسر بخش ۴ به کار گرفته می‌شود تا خواننده بتواند تشخیص دهد کدام بخش از استدلال مستقیماً از ادبیات مستخرج شده و کدام بخش، تفسیر یا پیشنهاد نویسندگان است.

برای نمونه، زنجیره استنتاج منتهی به بازه‌بندی سه‌گانه جدول ۱ چنین بود: نخست، سه شاهد مستقل استخراج شد -تعریف رسمی ۹ سطحی TRL [۷]، توصیف ادبیات بین‌المللی از ناپیوستگی منابع مالی حدوداً در بازه TRL چهار تا شش [۴]، و یافته تجربی مطالعه ایرانی درباره افزایش وزن ملاحظات صنعتی در سطوح بالاتر [۱۰]. دوم، این ۳ شاهد -که هیچ‌کدام به‌تنهایی یک تقسیم سه‌گانه دقیق ارائه نمی‌دهند- در قالب یک الگوی مشترک (وجود دست‌کم دو نقطه گسست کیفی در طول مقیاس) ترکیب شدند. سوم، این الگو با مدل فرایندی چهارمرحله‌ای بخش ۲-۳ [۳] تطبیق داده شد تا سه بازه عملیاتی جدول ۱ به دست آید. این زنجیره -شواهد مستقل - الگوی مشترک استخراج‌شده - تطبیق با مدل فرایندی - مؤلفه چهارچوب- همان رویه‌ای است که برای ساخت جدول ۲ و جدول ۴ نیز به کار رفته و در ستون یا یادداشت «نوع گزاره» هر جدول بازتاب یافته است.

۴-۳ روایی و پایایی پژوهش

روایی یافته‌ها از سه طریق تأمین شده است: نخست، سه‌سویه‌سازی منبع؛ دوم، اولویت‌دهی به منابع دارای داوری تخصصی یا صادره از نهادهای رسمی؛ و سوم، هم‌راستایی یافته‌ها با مرورهای نظام‌مند لنگر این پژوهش که خود بر مبنای رویه‌های مستند و قابل‌ردیابی تدوین شده‌اند [۱، ۳، ۳۱، ۳۲، ۳۳].

در خصوص پایایی، از آنجا که این پژوهش یک ترکیب مفهومی تک‌پژوهشگر است، آزمون‌های متعارف پایایی بین‌کدگذاران در آن موضوعیت نداشت؛ این محدودیت آگاهانه پذیرفته شده است. برای کاهش سوگیری پژوهشگر در نبود کدگذار دوم، از سه سازوکار جایگزین استفاده شد: نخست، مقوله‌بندی مضامین در بخش‌های ۵-۲ و ۳-۴، تا حد امکان بر مبنای طبقه‌بندی‌های از پیش موجود و پیشاپیش اعتبارسنجی‌شده در دو مرور نظام‌مند لنگر این پژوهش

^۱ Source Triangulation

چهار-شش در این پژوهش انتخابی برای دستیابی به یک تقسیم مساوی و قابل مدیریت سیاستی است، نه بازتاب یک ناپیوستگی تجربی دقیق در همان نقطه؛ محدودیتی که هرگونه کاربرد عملی این چارچوب باید به رسمیت بشناسد و در صورت نیاز، بر مبنای شواهد بیشتر از یک حوزه فناورانه مشخص، بازتنظیم کند.

همانگونه که جدول ۱ نشان می‌دهد، بخش عمده فعالیت پژوهشی دانشگاه‌های دولتی ایران در بازه نخست متمرکز است، چرا که ساختار بودجه پژوهانه دانشگاهی و نظام ارزیابی مبتنی بر انتشارات علمی، اساساً برای این بازه طراحی شده‌اند. در مقابل، صنعت ایرانی -همسو با یافته‌های پژوهش‌های داخلی درباره محدودیت منابع انسانی متخصص و زمان در بنگاه‌ها [۱]- عمدتاً در بازه سوم به دنبال فناوری آماده و کم‌ریسک است. نتیجه طبیعی این آرایش، خالی ماندن نسبی بازه میانی از حمایت نهادی مستمر است. این گزاره اخیر، همچنان در سطح سنتز مفهومی نویسندگان باقی می‌ماند، چرا که داده تجمیعی و منتشرشده‌ای درباره توزیع واقعی TRL پروژه‌های دانشگاه‌های دولتی ایران در دسترس این پژوهش نبوده است.

اعتبارسنجی/استقرار) پیش‌تر و مستقل از این پژوهش، در رویه سیاست‌گذاری TRL رایج بوده است: ناپیوستگی منابع مالی که در بخش ۲-۴ توصیف شد نیز عملاً حول همین گسست‌ها رخ می‌دهد، نه حول ۹ نقطه گسست جداگانه. دوم، دقت مضاعف در سطح ۹ گانه، برای ابزارهای سیاستی درشت‌دانه‌ای مانند فراخوان بودجه یا آیین‌نامه ارتقا نه ضروری و نه عملی است؛ نهادهای حمایتی معمولاً بر مبنای بازه، نه تک‌تک سطوح، تصمیم می‌گیرند -همانگونه که تجربه برنامه افق ۲۰۲۰ کمیسیون اروپا نیز این موضوع را نشان داد. سوم، تقسیم دوگانه بررسی و کنار گذاشته شد، چرا که چنین تقسیمی دقیقاً همان بازه میانی -یعنی دره مرگ که هسته اصلی این پژوهش است- را در یکی از دو طرف مستحیل می‌کند.

با این‌همه، محل دقیق مرز میان بازه‌ها -به‌ویژه اینکه TRL شش به بازه دوم یا سوم نزدیک‌تر است- ادعایی با شواهد تجربی قوی نیست. مطالعه‌ای مرتبط [۱۰] افزایش تدریجی وزن ملاحظات صنعتی را در طول مقیاس نشان می‌دهد، اما نقطه گذار دقیق را با قطعیت کافی برای تعیین یک مرز واحد و جهان‌شمول گزارش نمی‌کند؛ به همین دلیل، مرز TRL

جدول ۱) نگاشت مراحل انتقال فناوری دانشگاهی بر مقیاس سطوح آمادگی فناوری (منبع: سنتز مفهومی نویسندگان)

بازه TRL	عنوان مرحله	بازیگر غالب	منبع مالی رایج در ایران	کارکرد اصلی دفتر انتقال فناوری	ریسک غالب	نوع گزاره
۱ تا ۳	کشف و اثبات مفهوم	پژوهشگر و گروه آموزشی	بودجه پژوهانه دانشگاه، گزینش‌های پژوهشی	ثبت اولیه ایده، ارزیابی مقدماتی قابلیت ثبت اختراع	ریسک علمی و فنی	سنتز مفهومی
۴ تا ۶ («دره مرگ» عملیاتی شده)	اعتبارسنجی و توسعه	دفتر انتقال فناوری، مراکز رشد	صندوق نوآوری و شکوفایی، گزینش‌های اثبات مفهوم، سرمایه مخاطره‌پذیر اولیه	تأمین نمونه اولیه، اتصال به صنعت آزمایش‌کننده، مدیریت مالکیت فکری	ریسک مالی و سازمانی	سنتز مفهومی
۷ تا ۹	استقرار و تجاری‌سازی	صنعت، شرکت دانش‌بنیان یا اسپین‌آف	سرمایه‌گذار خطرپذیر، صنعت، خرید داخلی دولتی	صدور مجوز بهره‌برداری، تسهیل قرارداد، پایش عملکرد پس از انتقال	ریسک بازار و مقیاس‌پذیری	سنتز مفهومی

TRL می‌تواند دست‌کم شش کارکرد مشخص در فرایند نهادی انتقال فناوری دانشگاه‌های دولتی ایران ایفا کند؛ کارکردهایی که برخی مستقیماً به شواهد بین‌المللی متکی‌اند و

۴-۲ کارکردهای TRL به‌مثابه زبان مشترک و ابزار تصمیم در فرایند نهادی دانشگاه فراتر از نگاشت کلی مراحل، تحلیل ادبیات نشان می‌دهد

برخی دیگر پیشنهاد سیاستی نویسندگان برای بافت ایران‌اند (جدول ۲).

۳-۴ حاکمیت سنجش TRL: چه کسی، بر چه مبنایی، و با چه پیامدی

یکی از سوالاتی که هر کاربرد نهادی TRL باید به آن پاسخ دهد، مسئله حاکمیت خود فرایند سنجش است. این پژوهش، به‌عنوان پیشنهاد سیاستی، ساختار زیر را پیشنهاد می‌کند:

- **تعیین اولیه:** پژوهشگر مسئول پروژه، در گام افشای اختراع، سطح TRL را بر مبنای یک سیاهه کوتاه معیارهای اثبات‌پذیر برای هر سطح، به‌صورت خوداظهاری تعیین می‌کند.
- **تأیید یا اصلاح:** کارشناس فنی دفتر انتقال فناوری، این خوداظهاری را در برابر مستندات ارائه‌شده راستی‌آزمایی و در صورت اختلاف‌نظر، سطح پیشنهادی خود را با ذکر دلیل مکتوب ثبت می‌کند.
- **حل اختلاف:** در صورت تداوم اختلاف، پرونده به یک کمیته فنی کوچک (یک عضو هیأت علمی مستقل از پروژه و یک کارشناس صنعتی مدعو) ارجاع می‌شود؛ سازوکاری مشابه هیأت‌های داوری گزینش، نه یک تصمیم یک‌جانبه اداری.
- **پیامد تصمیم:** جدول ۳ نشان می‌دهد نتیجه سنجش TRL، در هر بازه، معمولاً کدام مسیر مالی، حقوقی یا مدیریتی را در دسترس قرار می‌دهد؛ TRL در این جدول یکی از ورودی‌های تصمیم است، نه قاعده قطعی و خودکار آن -تصمیم نهایی همچنان به عواملی مانند ارزیابی بازار، ظرفیت جذب بنگاه گیرنده و صلاحدید کمیته فنی (بند حل اختلاف) وابسته است.

۴-۴ تناظر موانع شناسایی‌شده در دانشگاه‌های دولتی ایران با بازه‌های TRL

جدول ۴ موانع اصلی شناسایی‌شده در پیشینه پژوهشی داخلی را با بازه TRL که این موانع بیشترین اثر را در آن دارند، تطبیق می‌دهد. پیش از ارائه جدول، لازم است قاعده تصمیمی این نگاشت به‌صراحت بیان شود، چرا که هیچ‌یک از مطالعات

مرور شده در بخش ۲-۵ خود از مقیاس TRL برای دسته‌بندی موانع استفاده نکرده بودند. قاعده به‌کاررفته سه معیار تفسیری داشت: نخست، ماهیت مانع؛ دوم، دامنه اثر مانع (موانع سازمانی/مدیریتی گسترده در ردیف «همه بازه‌ها» قرار گرفتند)؛ سوم، همخوانی با نگاشت سه‌گانه جدول ۱. این معیارها، تفسیری و استنتاجی‌اند، نه آزمونی آماری یا کدگذاری دومنبعی. همچنین تأکید می‌شود عبارت «کارکرد پیشنهادی مبتنی بر TRL» در ستون سوم جدول ۴، به معنای تعیین‌کنندگی انحصاری TRL نیست؛ در همه موارد -به‌ویژه ثبت اختراع، نوع مجوز و ارزیابی اعضای هیأت علمی TRL یکی از چند ورودی تصمیم در کنار ارزیابی بازار، ظرفیت طرف مقابل و ضوابط دانشگاه است، نه جایگزینی برای قضاوت حرفه‌ای دفتر انتقال فناوری یا هیأت ممیزه.

تحلیل جدول ۴ نشان می‌دهد بخش قابل توجهی از موانعی که پژوهشگران داخلی -از ناحیه نوآوری شریف [۶] تا صنایع مختلف کشور [۱۹ و ۲۱] و دانشگاه شاهد [۲۳]- شناسایی کرده‌اند، می‌تواند تا حدی با نبود یک زبان و ساختار مشترک برای توصیف بلوغ فناوری مرتبط باشد. این ادعا باید با احتیاط بیان شود: ادبیات مرور شده عوامل متعدد دیگری را نیز به‌عنوان موانع مستقل مطرح کرده است؛ بنابراین، فقدان یک سنجه مشترک بلوغ فنی می‌تواند یکی از عوامل تشدیدکننده باشد، نه آنکه «ریشه» یا علت اصلی بیشتر این موانع باشد.

۴-۵ چارچوب سیاستی-مفهومی پیشنهادی

بر پایه تحلیل‌های پیشین، چارچوب سیاستی-مفهومی پیشنهادی -که در کلیت خود در سطح گزاره‌های سیاستی مشروط باقی می‌ماند، نه دستورالعمل اجرایی قطعی- از شش مؤلفه تشکیل شده است:

۱) الزام خوداظهاری TRL همراه با حاکمیت سه‌مرحله‌ای سنجش: هر گزارش افشای اختراع باید شامل برآورد اولیه (پژوهشگر)، تأیید/اصلاح (کارشناس دفتر)، و در صورت اختلاف، ارجاع به کمیته فنی (بند ۳-۴) باشد.

جدول ۲) کارکردهای TRL در فرآیند نهادی انتقال فناوری (دانشگاه‌های دولتی ایران)

کارکرد	گزاره
۱) استانداردسازی فرم افشای اختراع: افزودن یک بند خوداظهاری TRL به فرم‌های افشای اختراع در دفاتر ارتباط با صنعت دانشگاه‌ها - رویه‌ای که در دفاتر انتقال فناوری دانشگاه‌های غربی مستند شده است [۱۶] - امکان می‌دهد از همان گام نخست، انتظارات پژوهشگر و دفتر انتقال فناوری درباره فاصله فناوری تا کاربرد صنعتی، با زبانی مشترک بیان شود؛ کارکردی که نبود آن، در پژوهش‌های داخلی به‌عنوان یکی از مصداق‌های ضعف اشاعه اطلاعات میان دانشگاه و صنعت شناسایی شده است [۲].	سنتز مفهومی، با پشتوانه شواهد بین‌المللی
۲) هدفمندسازی حمایت مالی در محدوده دره مرگ: با تفکیک صریح بودجه‌های حمایتی دانشگاهی و ملی بر مبنای بازه TRL هدف - به سبب تجربه کمیسیون اروپا در برنامه افق ۲۰۲۰ - می‌توان از پراکندگی و همپوشانی کنونی حمایت‌های مالی پرهیز کرد. این کارکرد، برخلاف کارکرد نخست، مستقیماً از ادبیات استخراج نشده و پیشنهادی است که اثربخشی آن در بافت ایران باید در پژوهش آتی آزموده شود	پیشنهاد سیاستی
۳) مبنای تصمیم برای راهبرد مالکیت فکری و صدور مجوز: تصمیم درباره زمان ثبت اختراع، گزینش میان صدور مجوز انحصاری یا غیرانحصاری، و شرایط مالی قرارداد، به‌شدت به سطح بلوغ فناوری وابسته است؛ چنان‌که چارچوب‌های تعدیل ریسک ارزش‌گذاری مالکیت فکری صراحتاً بلوغ فناوری را متغیر اصلی تعیین ریسک قرار می‌دهند [۱۳]. به‌کارگیری نظام‌مند TRL در این تصمیم‌ها می‌تواند از دو خطای رایج بکاهد: ثبت زود هنگام اختراع در سطوح پایین، و تأخیر بیش از حد در افشا و ثبت.	سنتز مفهومی، با پشتوانه شواهد بین‌المللی
۴) بازطراحی نظام تشویق اعضای هیأت علمی (طرح آزمایشی و کاملاً اختیاری): پیش از هر پیشنهاد، باید پاسخ داد چرا اساساً ارتقای TRL باید شاخص عملکرد پژوهشگر باشد، در حالی‌که این ارتقا تا حد زیادی به عواملی خارج از کنترل مستقیم او - بودجه در دسترس، زیرساخت آزمایشگاهی، وجود شریک صنعتی مناسب، فضای مقرراتی، و زمان‌بندی چرخه تأمین مالی - وابسته است. به همین دلیل، این پژوهش دیگر ارتقای TRL را به‌عنوان شاخص عمومی ارزیابی پیشنهاد نمی‌کند، بلکه صرفاً طرحی آزمایشی با سه قید پیشنهاد می‌کند: (الف) این شاخص تنها به‌صورت امتیاز افزاینده (Bonus) در کنار شاخص‌های انتشاراتی به کار رود، هرگز نه جریمه یا کسر امتیاز، تا پژوهشگرانی که به دلایل بیرون از اراده خود ناکام مانده‌اند متضرر نشوند؛ (ب) تنها در دانشکده‌ها/گروه‌های داوطلب و در قالب پایلوت با دوره ارزیابی مشخص (مثلاً سه سال) اجرا شود، نه الزام سراسری؛ و (پ) پیامدهای ناخواسته محتمل آن - گرایش به پروژه‌های کم‌ریسک و به‌آسانی TRL-افزاینده به‌جای پروژه‌های بلندپروازانه‌تر، و نابرابری میان آزمایشگاه‌های برخوردار و کم‌برخوردار - پیش از هر پایلوت صریحاً پایش شود. شواهد تطبیقی مستند از نظام‌های دانشگاهی که چنین شاخصی را به کار برده باشند، در ادبیات مرور شده این پژوهش یافت نشد؛ این پیشنهاد بنابراین در پایین‌ترین رده اعتبار (پیشنهاد سیاستی آزمایشی) قرار می‌گیرد	پیشنهاد سیاستی آزمایشی؛ سطح شواهد پایین
۵) پایش و مقایسه عملکرد در سطح نظام دانشگاهی چنانچه دفاتر انتقال فناوری دانشگاه‌های دولتی، سطح TRL پروژه‌های خود را به‌صورت دوره‌ای و یکسان گزارش کنند، نهادهای فرادانشگاهی می‌توانند تصویری تجمیعی از توزیع پروژه‌های فناورانه کشور به دست آورند، همسو با یافته‌های پژوهش‌های داخلی درباره اهمیت ویژگی‌های منطقه‌ای در موفقیت انتقال فناوری [۱].	پیشنهاد سیاستی
۶) جهت‌دهی به موضوعات پایان‌نامه و رساله تقاضامحور اگر گروه‌های آموزشی، هنگام تعریف موضوع پایان‌نامه، بازه TRL هدف را مشخص کنند، می‌توان زنجیره‌ای از رساله‌های پیاپی و مکمل، به‌جای پروژه‌های پراکنده، شکل داد؛ رویکردی که با تأکید ادبیات داخلی بر جهت‌گیری تقاضامحور پایان‌نامه‌ها در تجاری‌سازی همسوست [۱].	پیشنهاد سیاستی

جدول ۳) پیامد تصمیمی سنجش TRL در هر بازه (منبع: پیشنهاد سیاستی نویسندگان (مسیرهای محتمل)

بازه TRL	تصمیم مالی	تصمیم مالکیت فکری	تصمیم مدیریتی
۱ تا ۳	تداوم از محل بودجه پژوهانه معمول؛ فاقد واجد شرایط بودن برای فراخوان‌های اثبات مفهوم	ثبت اختراع معمولاً زودهنگام تلقی می‌شود؛ اولویت با مستندسازی داخلی	پایش دوره‌ای ساده توسط گروه آموزشی
۴ تا ۶	واجد شرایط فراخوان اثبات مفهوم/آماده‌سازی انتقال صندوق نوآوری و شکوفایی	ارزیابی جدی برای ثبت اختراع؛ آغاز مذاکره غیرانحصاری با صنعت بالقوه	ورود فعال دفتر انتقال فناوری؛ تخصیص مشاور فنی
۷ تا ۹	واجد شرایط سرمایه‌گذاری خطرپذیر/خرید داخلی دولتی	نهایی‌سازی قرارداد صدور مجوز یا تأسیس اسپین‌آف	پایش عملکرد پس از انتقال توسط دفتر انتقال فناوری

۲) تفکیک ابزارهای حمایت مالی بر مبنای بازه TRL:

هماهنگی میان بودجه پژوهانه دانشگاه، تسهیلات صندوق نوآوری و شکوفایی، و ابزارهای سرمایه‌گذاری خطرپذیر.

۳) پیوند TRL با آیین‌نامه ارزیابی شرکت‌های دانش‌بنیان:

تعریف رسمی هم‌پوشانی میان معیارهای فعلی این آیین‌نامه

[۲۷] و بازه‌های TRL.

۴) طرح آزمایشی و کاملاً اختیاری بازطراحی نظام تشویق:

صرفاً در قالب پایلوت داوطلبانه، به‌صورت امتیاز افزاینده (هرگز جریمه)، محدود به رشته‌های مهندسی و فنی، و همراه با پایش صریح پیامدهای ناخواسته آن (جزئیات ذکر شده در بخش ۴-۲، کارکرد چهارم).

جدول ۴) تطبیق موانع شناسایی‌شده انتقال فناوری در ایران با بازه TRL و کارکرد پیشنهادی

موانع شناسایی‌شده در ادبیات داخلی	بازه TRL با بیشترین اثرپذیری (تفسیری)	کارکرد پیشنهادی مبتنی بر TRL
ضعف ارتباط و اشاعه اطلاعات میان دانشگاه و صنعت [۱۹، ۲]	۱ تا ۴	فرم استاندارد افشای اختراع همراه با خوداظهاری TRL؛ گزارش‌دهی عمومی سطح TRL پروژه‌ها به صنعت
ناکارآمدی نظام حمایت مالی میانی و محدودیت منابع مالی بنگاه‌ها [۲۱]	۴ تا ۶	فراخوان‌های حمایتی اختصاصی صندوق نوآوری و شکوفایی و مراکز رشد، متناظر با بازه TRL
ابهام در حقوق مالکیت فکری و تفاوت اهداف دانشگاه و صنعت [۲]	۳ تا ۷	چارچوب تصمیم مالکیت فکری مبتنی بر TRL برای زمان‌بندی ثبت اختراع و نوع مجوز
ضعف مهارت‌های مدیریتی و سازمانی در تعامل دانشگاه-صنعت [۱۹]	۴ تا ۹	آموزش تخصصی کارکنان دفاتر انتقال فناوری بر مبنای کارکردهای متفاوت هر بازه TRL
ناهمسویی سیاست دانشگاه، مشارکت پژوهشگر و نهاد سیاست‌گذار [۶]	همه بازه‌ها	داشبورد ملی گزارش‌دهی TRL برای هم‌راستاسازی سیاست دانشگاه، تأمین مالی و ارزیابی عملکرد
نبود انگیزه کافی پژوهشگر برای مشارکت در تجاری‌سازی [۲۲]	۱ تا ۶	لحاظ ارتقای TRL در نظام ارزیابی اعضای هیأت علمی (با ملاحظه تفاوت رشته‌ها)

داد عوامل درون‌سازمانی و برون‌سازمانی هر دو، هم‌زمان، سرنوشت چنین مسیری را رقم می‌زنند [۲۳]. این دو مطالعه واقعی به‌روشنی نشان می‌دهند پیشرفت TRL به‌تنهایی تضمینی برای موفقیت نیست؛ تأییدی تجربی و غیرمستقیم بر تمایز میان «فرایند انتقال فناوری» و «TRL» که در بخش ۳-۲ صورت‌بندی شد.

۵- بحث

نخست، باید میان «TRL» به‌عنوان ابزار سنجش فنی یک فناوری مشخص» (بخش ۱-۲) و «TRL» به‌عنوان چارچوب سیاستی برای کل فرایند انتقال فناوری» (بخش ۳-۲) تمایز قائل شد؛ مقیاس اصلی TRL چیزی درباره تقاضای بازار، آمادگی سرمایه‌گذاری یا پذیرش قانونی نمی‌گوید [۸] و تکیه صرف بر آن به توهم آمادگی می‌انجامد: فناوری با TRL بالا اما مدل کسب‌وکار یا زنجیره تأمین نامعلوم نیز می‌تواند در بازار شکست بخورد [۱۳]. چارچوب پیشنهادی، TRL را نقطه آغاز و هسته در دسترس یک نظام سنجش چندبعدی می‌داند، نه معادل کل فرایند انتقال فناوری یا جایگزین مقیاس‌های مکمل بخش ۲-۲ (DRL، MRL، CRI/CRL). گام تکمیلی پیشنهادی (فراتر از مرزبندی دامنه در بخش ۵-۴) افزودن شاخص ساده آمادگی بازار به فرم افشای اختراع است، تا نمره پایین در آن، حتی برای TRL بالا، هشدار آسکار برای دفتر انتقال فناوری باشد.

دوم، پذیرش TRL نباید به باری بوروکراتیک تازه برای پژوهشگر و دفتر انتقال فناوری بدل شود؛ ریسکی که تجربه ابتکارهای اداری مشابه در نظام دانشگاهی ایران -از فرم‌های ارزیابی پژوهانه تا گزارش‌های دوره‌ای تقلیل‌یافته به تشریفات صرف- واقعی می‌سازد. ساختار حاکمیتی بخش ۴-۳ کوشیده هر خوداظهاری TRL را نه به عددی بایگانی‌شده، بلکه به یک پیامد تصمیمی مشخص (جدول ۳) متصل کند: تعیین TRL تنها زمانی معنا دارد که واجد شرایط بودن برای فراخوانی مالی، آغاز مسیری حقوقی، یا تخصیص مشاور فنی را مستقیماً تعیین کند. اگر این پیوند در عمل برقرار نشود، این ابزار نیز مانند فرم‌های اداری پیشین، به‌سرعت به رویه‌ای صوری تقلیل می‌یابد؛ نکته‌ای که ارزیابی هر پایلوت اجرایی باید به‌صراحت

۵) داشبورد ملی گزارش‌دهی و پایش TRL: تجمیع دوره‌ای داده‌های TRL دانشگاه‌های دولتی برای سیاست‌گذاری مبتنی بر شواهد.

۶) مرزبندی صریح دامنه کاربرد چارچوب: این چارچوب برای فناوری‌های قابل‌نمونه‌سازی فنی طراحی شده و برای حوزه‌هایی که خروجی آن‌ها ماهیتاً غیرفناورانه است (بخش قابل توجهی از علوم انسانی و اجتماعی) یا دانش پایه بدون مسیر مشخص به نمونه‌سازی است، کاربرد ندارد و نباید معیار ارزیابی باشد؛ این مرزبندی، مؤلفه رسمی ششم چارچوب است، نه صرفاً یادداشتی پایانی.

رابطه میان این شش مؤلفه و سه بازه TRL را می‌توان این‌گونه خلاصه کرد: مؤلفه یک در مرز بازه نخست به دوم؛ مؤلفه‌های دو و سه در بازه دوم و مرز آن با بازه سوم؛ مؤلفه چهار و پنج به‌صورت افقی در طول کل زنجیره؛ و مؤلفه شش، پیش‌شرط ورودی کل چارچوب.

۴-۶ سناریوی تصویری: کاربرد چارچوب در یک پروژه فرضی

برای روشن‌شدن کاربرد عملی چارچوب پیشنهادی -و نه برای اثبات اعتبار تجربی آن- سناریوی فرضی زیر ترسیم می‌شود؛ سناریویی که صرفاً جنبه تصویرسازی دارد، از هیچ مورد واقعی مشخصی اخذ نشده، و نباید شهادتی بر عملکرد واقعی چارچوب تلقی شود. فرض کنید عضو هیأت علمی یک دانشگاه دولتی، حسگری زیستی جدید برای تشخیص زودهنگام یک بیماری رایج طراحی و نتیجه را منتشر کرده است (TRL دو یا سه). با ثبت این دستاورد همراه با خوداظهاری TRL سه و تأیید کارشناس دفتر، مسیر آن به‌سوی فراخوان «پژوهانه اثبات مفهوم» صندوق نوآوری و شکوفایی هدایت می‌شود؛ پژوهشگر نمونه را به TRL پنج می‌رساند؛ و دفتر انتقال فناوری ثبت اختراع را نهایی و مذاکره با یک شرکت دانش‌بنیان را آغاز می‌کند.

نزدیک‌ترین شواهد واقعی -هرچند غیرمستقیم- به این سناریو، یافته‌های دو مطالعه موردی ایرانی مرور شده در بخش ۵-۲ است: بررسی ناحیه نوآوری شریف نشان داد موفقیت چنین مسیری به یکپارچگی و شفافیت نقش نهادها وابسته است، نه صرفاً به بلوغ فنی [۶]؛ و مطالعه دانشگاه شاهد نشان

اندازه بگیرد.

سوم، ماهیت غالباً خطی TRL باید با واقعیت غیرخطی و بازگشت‌پذیر نوآوری در دانشگاه‌های ایرانی سازگار شود [۸]. تجربه انطباق TRL با حوزه‌های غیرمهندسی (و حتی در ادبیات فارسی، با تصمیم‌های مدیریت پروژه فراتر از خاستگاه هوافضایی‌اش [۲۸]) نشان می‌دهد این انطباق مستلزم بازتعریف محلی معیارهای هر سطح است، نه انتقال مکانیکی تعاریف اصلی ناسا. مؤلفه ششم چارچوب (بخش ۴-۵) به‌جای اجرای سخت‌گیرانه و تک‌خطی، بر مرزبندی صریح دامنه و انعطاف در تفسیر معیارهای هر سطح تأکید دارد؛ و سیاهه معیارهای اثبات‌پذیر هر سطح TRL (بخش ۴-۳) نیز پیشنهاد می‌شود به‌جای نسخه واحد برای کل دانشگاه، به‌تدریج و با مشارکت هر دانشکده، متناسب با فناوری‌های آن حوزه بازتعریف شود.

چهارم، اجرای موفق این چارچوب به هماهنگی میان بازیگرانی وابسته است که تاکنون در نظام حمایتی ایران اغلب به‌صورت جزیره‌ای عمل کرده‌اند: دفتر انتقال فناوری دانشگاه، مرکز رشد، صندوق نوآوری و شکوفایی، و نهاد ارزیابی شرکت‌های دانش‌بنیان، هرکدام رویه‌ها، فرم‌ها و معیارهای مستقل خود را دارند. پژوهش مبتنی بر ناحیه نوآوری شریف بر همین نکته -ضرورت یکپارچگی و شفافیت نقش نهادهای درگیر- تأکید کرده است [۶]. از این منظر، ارزش افزوده TRL کمتر در بلوغ فنی -که پیشاپیش بخشی از فعالیت مهندسی دانشگاه‌هاست- و بیشتر در ظرفیت آن برای عمل به‌عنوان «واسط اطلاعاتی» میان این بازیگران پراکنده نهفته است: اگر همه این نهادها یک عدد TRL واحد و قابل‌راستی‌آزمایی بپذیرند، پرونده هر فناوری می‌تواند با شناسه‌ای مشترک میان آن‌ها جابه‌جا شود، بدون تکرار ارزیابی بلوغ فنی در هر مرحله. این ظرفیت، چنان‌که تأکید شده، مفهوم‌سازی این پژوهش است، نه یافته‌ای که وقوعش در عمل نشان داده باشد.

پنجم، بافت خاص اقتصاد ایران -از جمله محدودیت‌های ناشی از تحریم‌های بین‌المللی در دسترسی به فناوری‌ها، تجهیزات آزمایشگاهی پیشرفته و همکاری‌های علمی بین‌المللی- می‌تواند مسیر ارتقای TRL برخی فناوری‌ها،

به‌ویژه در بازه اعتبارسنجی (TRL چهار تا شش) که غالباً به تجهیزات آزمایشی گران‌قیمت و زنجیره تأمین جهانی وابسته است، طولانی‌تر یا پرهزینه‌تر از میانگین جهانی کند؛ این واقعیت اهمیت جهت‌گیری سیاست‌های حمایتی داخلی -به‌ویژه صندوق نوآوری و شکوفایی و مراکز رشد دانشگاهی- به‌سوی تأمین مالی و تسهیل دسترسی به زیرساخت آزمایشی داخلی را دوچندان می‌کند، و نشان می‌دهد چرا رویکردی داخلی و بومی‌سازی‌شده، به‌جای واردات صرف الگوهای بین‌المللی، برای طراحی نهایی این چارچوب ضروری است. ششم، چالش گشودن دره مرگ میان دانشگاه و صنعت، ویژه ایران نیست؛ سازمان‌های بین‌المللی فعال در پژوهش صنعتی نیز تأکید کرده‌اند که این شکاف، پدیده‌ای عام در بسیاری از اقتصادهاست [۴]. شواهد مرور شده در این پژوهش از سایر مطالعات ایرانی با ساختار صنعتی و نهادی مشابه نشان می‌دهد ترکیبی از ضعف زیرساخت، محدودیت منابع انسانی متخصص در بنگاه‌ها و نبود قوانین شفاف، این شکاف را تشدید می‌کند [۱۹ و ۲۱].

این هم‌گرایی هم نشان می‌دهد که چارچوب پیشنهادی می‌تواند از تجربه کشورهای مشابه بهره گیرد، هم هشدار می‌دهد که راه‌حل صرفاً واردات مکانیکی یک ابزار مهندسی آمریکایی نیست، بلکه نیازمند تطبیق آن با ظرفیت نهادی، سیاستی و مالی خاص هر کشوری از جمله ایران است. نکته امیدوارکننده آن است که این تطبیق از صفر آغاز نمی‌شود: کاربردهای پراکنده TRL در ادبیات فارسی [۱۰ و ۲۸] و هم‌پوشانی معیارهای فعلی آیین‌نامه ارزیابی شرکت‌های دانش‌بنیان با منطق سطوح میانی TRL [۲۷] نشان می‌دهد زیرساخت مفهومی و نهادی لازم برای این تطبیق تا حدی از پیش در دسترس است؛ آنچه کم است، پیوند صریح و نظام‌مند میان این قطعات پراکنده است، نه ساخت آن‌ها از ابتدا.

۶- نتیجه‌گیری

این پژوهش با مروری بر خاستگاه، ساختار و گسترش سطوح آمادگی فناوری (TRL)، ارائه یک مدل فرایندی مستقل از TRL برای انتقال فناوری دانشگاه به صنعت و تعیین دقیق

جایگاه TRL در آن، و تطبیق این چارچوب بر موانع شناسایی شده انتقال فناوری از دانشگاه به صنعت در ایران، چارچوبی مفهومی برای به کارگیری TRL در دانشگاه‌های دولتی ایران پیشنهاد کرد. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد فقدان یک زبان و مقیاس مشترک برای توصیف بلوغ فناوری، می‌تواند یکی از عوامل تشدیدکننده برخی از موانع مطرح شده در پیشینه داخلی -از ضعف اشاعه اطلاعات میان دانشگاه و صنعت تا ابهام در تصمیم‌های مالکیت فکری- باشد؛ عاملی که TRL، در کنار سایر شاخص‌های تکمیلی و در چارچوب حاکمیتی روشن (بخش ۴-۳)، ظرفیت کاهش بخشی از آن را دارد، بدون آنکه مدعی رفع کامل یا ریشه‌ای این موانع باشد. شش مؤلفه چارچوب پیشنهادی، در کنار هم، تصویری از یک نظام یکپارچه‌تر ارائه می‌دهند که در آن هر بازیگر -پژوهشگر، دفتر انتقال فناوری، صنعت، سیاست‌گذار- می‌داند در هر بازه TRL چه انتظاری از او می‌رود و چه حمایتی در اختیار دارد.

پیشنهاداتی برای دانشگاه‌های دولتی: دانشگاه‌ها می‌توانند در گام نخست، به جای اجرای هم‌زمان و سراسری چارچوب در همه دانشکده‌ها، آن را به صورت پایلوت در یک یا دو دانشکده فنی-مهندسی با سابقه فعال‌تر در ارتباط با صنعت آزمایش کنند؛ افزودن بند خوداظهاری TRL به فرم افشای اختراع (همراه با ساختار تأیید و حل اختلاف بخش ۴-۳)، آموزش کارکنان دفاتر ارتباط با صنعت برای ارزیابی این خوداظهاری، و تعریف مسیرهای حمایتی داخلی متمایز برای پروژه‌های در بازه‌های مختلف TRL، گام‌های عملی این پایلوت خواهند بود. در خصوص نظام تشویق اعضای هیأت علمی نیز، از آنجا که ارتقای TRL تا حد زیادی به عواملی خارج از کنترل پژوهشگر وابسته است، پیشنهاد این پژوهش دیگر یک شاخص ارزیابی عمومی نیست، بلکه صرفاً طرحی آزمایشی، داوطلبانه و محدود به رشته‌های مهندسی و فنی است که تنها به صورت امتیاز افزاینده -هرگز جریمه- به کار می‌رود و پیامدهای ناخواسته آن پیش از هر تعمیم باید صریحاً پایش شود (جزئیات در بخش ۴-۲). ارزیابی این پایلوت، پیش از تعمیم به کل دانشگاه، باید بسنجد آیا خوداظهاری TRL واقعاً به تصمیم‌های مالی و حقوقی متصل

شده یا صرفاً رویه‌ای اداری باقی مانده است. **پیشنهاداتی برای صنعت:** شرکت‌های صنعتی، به‌ویژه نگاه‌های بزرگ و شرکت‌های دانش‌بنیان که ظرفیت تعامل نظام‌مند با دانشگاه دارند، می‌توانند با اعلام عمومی و شفاف نیازهای فناورانه خود -ترجیحاً از طریق پلتفرمی مشترک با دفاتر انتقال فناوری دانشگاه‌های منطقه- به همراه TRL هدف مورد انتظار (برای نمونه، «تنها به فناوری‌های TRL هفت و بالاتر علاقه‌مندیم» در برابر «آماده مشارکت در توسعه فناوری از TRL چهار هستیم»)، عدم قطعیت پژوهشگران و دفاتر انتقال فناوری درباره تقاضای واقعی بازار را کاهش دهند؛ رویکردی که با یافته‌های پیشین درباره اهمیت شفافیت انتظارات صنعت در تسهیل انتقال فناوری هم‌راستاست [۱].

پیشنهاداتی برای دولت و سیاست‌گذاران: پیشنهاد می‌شود وزارت علوم، تحقیقات و فناوری و معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش‌بنیان ریاست‌جمهوری، در هماهنگی با صندوق نوآوری و شکوفایی، امکان تعریف رسمی بازه‌های TRL هدف برای ابزارهای حمایتی موجود را بررسی کنند؛ به‌گونه‌ای که فاصله میان پایان حمایت‌های دانشگاهی و آغاز حمایت‌های صنعتی و سرمایه‌ای -یعنی همان دره مرگ- با ابزار مشخصی پوشش داده شود، بدون آنکه این کار به معنای نادیده‌گرفتن ابعاد غیر-TRL این شکاف (مالی، نهادی، زیرساختی) باشد. هم‌چنین پیوند صریح میان مقیاس TRL و معیارهای فنی آیین‌نامه ارزیابی شرکت‌های دانش‌بنیان [۲۷]، می‌تواند ردیابی مسیر یک ایده دانشگاهی تا تبدیل آن به شرکت دانش‌بنیان را شفاف‌تر کند. در سطح کلان‌تر نیز، ایجاد داشبورد ملی گزارش‌دهی TRL دانشگاه‌های دولتی -با آغاز از همان دانشکده‌های پایلوت- می‌تواند شواهد لازم برای سیاست‌گذاری مبتنی بر داده در حوزه انتقال فناوری را در اختیار مؤسسه تحقیقات سیاست علمی کشور و سایر نهادهای سیاست‌گذار قرار دهد.

این پژوهش، مطالعه‌ای مفهومی مبتنی بر مرور ساختاریافته و ترکیب پیشینه پژوهشی و اسنادی است، نه مطالعه میدانی مبتنی بر داده اولیه از دانشگاه‌های دولتی مشخص؛ شواهد سطح دانشگاه در این مقاله عمدتاً از دو مطالعه موردی منتشرشده (ناحیه نوآوری شریف [۶]؛ دانشگاه شاهد [۲۳]) و

International Journal of Business and Systems Research, 12(2), 197–225.

<https://doi.org/10.1504/IJBSR.2018.090699>

[4] WAITRO (World Association of Industrial and Technological Research Organizations). (2026). **What Is the Valley of Death in Research Commercialization?** WAITRO.

<https://waitro.org/blog/what-is-the-valley-of-death-in-research-commercialization/>

[5] Héder, M. (2017). **From NASA to EU: The Evolution of the TRL Scale in Public Sector Innovation.** *The Innovation Journal: The Public Sector Innovation Journal*, 22(2), 1–23. URI: <https://eprints.sztaki.hu/id/eprint/9204>

[6] Nowzari, M., & Asadifard, R. (2021). **Factors Affecting Capacity Building for Technology Transfer From University to Industry: The Case of Sharif Innovation District.** *Journal of Science and Technology Policy*, 14(3), 37–54.. <https://doi.org/10.22034/jstp.2021.14.3.1331> (In Persian)

[7] Mankins, J. C. (1995, edited 2004). **Technology Readiness Levels: A White Paper.** *Advanced Concepts Office, Office of Space Access and Technology*, NASA. http://www.artemisinnovation.com/images/TRL_White_Paper_2004-Edited.pdf

[8] EARTO (European Association of Research and Technology Organisations). (2014). **The TRL Scale as a Research & Innovation Policy Tool: EARTO Recommendations.** EARTO, Brussels. http://www.earto.eu/fileadmin/content/03_Publications/The_TRL_Scale_as_a_R_I_Policy_Tool_-_EARTO_Recommendations_-_Final.pdf

[9] Engel, D. W., Dalton, A. C., Anderson, K. K., Sivaramakrishnan, C., & Lansing, C. (2012). **Development of Technology Readiness Level (TRL) Metrics and Risk Measures.** *Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Richland, WA, United States.* <https://doi.org/10.2172/1067968>

[10] Kalantari, E., & Charkhtab Moghadam, J. (2015). **Identification and Ranking of Industry and Technology Considerations in the Transfer of Advanced Technologies at Various Technology Readiness Levels (TRLs).** *Industrial Management Journal*, 7(1), 107–121.. <https://doi.org/10.22059/imj.2015.52895> (In Persian)

[11] Paun, F. (2011). **"Demand Readiness Level" (DRL), a New Tool to Hybridize Market Pull and Technology Push Approaches: Introspective Analysis of the New Trends in Technology Transfer Practices.** *Working Papers halshs-00628978, HAL.* <https://doi.org/10.2139/ssrn.1948448>

[12] Australian Renewable Energy Agency (ARENA). (2014). **Commercial Readiness Index for Renewable Energy Sectors.** *Australian Renewable Energy Agency (ARENA).* <https://arena.gov.au/assets/2014/02/Commercial-Readiness-Index.pdf>

[13] Animah, I., & Shafiee, M. (2018). **A Framework for Assessment of Technological Readiness Level**

اسناد رسمی سیاستی تأمین شده است. نگاشت‌های جدول ۱ و جدول ۴، به‌صراحتی که در متن یادآوری شد، سنتز و تفسیر مفهومی نویسندگان‌اند، نه یافته‌ای مستقیماً استخراج‌شده از یک منبع واحد؛ و سناریوی بخش ۴–۶ صرفاً تصویرسازی است، نه شاهد تجربی. بنابراین، مهم‌ترین پیشنهاد برای پژوهش آتی، اجرای مطالعه موردی یا پیمایشی در یک یا چند دانشگاه دولتی مشخص –با مصاحبه با کارکنان دفاتر انتقال فناوری، پژوهشگران دارای سابقه تجاری‌سازی، و مدیران صنعتی طرف قرارداد با دانشگاه– برای اعتبارسنجی، اصلاح یا حتی رد بخش‌هایی از چارچوب پیشنهادی است. همچنین مقایسه میان‌دانشگاهی توزیع پروژه‌ها بر حسب TRL، ارزیابی کمی اثر خوداظهاری TRL بر نرخ موفقیت تجاری‌سازی (پیش‌پس از پایلوت)، آزمون تجربی قاعده جدول ۴ در برابر داده واقعی، مطالعه تطبیقی میان‌کشوری با اقتصادهای در حال توسعه مشابه، و تدوین نسخه مکمل با شاخص‌های آمادگی بازار، از دیگر مسیرهای پیشنهادی است.

تعارض منافع

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

اظهارنامه استفاده از هوش مصنوعی

در ویرایش متن از مدل ChatGPT نسخه GPT-5.6 Luna صرفاً جهت بهبود نگارش و جست‌وجو استفاده شده است.

References

- [1] Saberi Kohan, Sh., Kasraei, A. R., & Sohrabi, T. (2024). **Environmental Components on Technology Transfer from University to Industry: Systematic Review and Meta-synthesis.** *Journal of Executive Management*, 16(32), 261–307. <https://doi.org/10.22080/jem.2025.27608.3948> (In Persian)
- [2] Kumar, U & Khorakian, A. (2010). **Technology Transfer From University to Industry in Iran.** *Proceedings of the VIII Triple Helix Conference, Madrid, Oct. 2010.* http://www.leydesdorff.net/th8/TRIPLE%20HELIX%20-%20VIII%20CONFERENCE/PROCEEDINGS/0056_Khorakian_Alireza_ST-11/Full%20Paper.pdf
- [3] López Mendoza, X. P., & Mauricio Sanchez, D. S. (2018). **A Systematic Literature Review on Technology Transfer From University to Industry.**

124. <https://doi.org/10.22070/rsci.2019.3686.1228> (In Persian)
- [24] Mohammadi, M., Bagheri-Moghaddam, N., & Shojaei Charminch, A. (2017). **Analysis of Learning and Innovation Styles in Developing Countries (Case Study: Iran's ICT Sector)**. *Journal of Science and Technology Policy*, 10(1), 53–68. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20080840.1396.10.1.4.3> (In Persian)
- [25] Daliri, H. (2025). **AI Revolution and Triple Helix Dynamics in Economy**. *Journal of Science and Technology Policy*, 17(4), 53–70. <https://doi.org/10.22034/jstp.2025.11860.1845> (In Persian)
- [26] UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development). (2016). **Science, Technology and Innovation Policy Review: Islamic Republic of Iran**. United Nations, Geneva. https://unctad.org/system/files/official-document/dtlstict20163_en.pdf
- [27] Entezari Kashani, H., Fartash, K., & Khayatian, M. S. (2025). **From High-Tech To Mastering Technical Know-How: Evolution Of The Knowledge-Based Firm Concept In The Implementation Process Of The Law For Supporting Knowledge-Based Firms**. *Journal of Improvement Management*, 19(2), 44–71. <https://doi.org/10.22034/jmi.2025.517203.3198> (In Persian)
- [28] Ershadi, M. J., Qhanadi Taghizadeh, O., & Hadji Molana, S. M. (2021). **Selection and Performance Estimation of Green Lean Six Sigma Projects: A Hybrid Approach of Technology Readiness Level, Data Envelopment Analysis, and ANFIS**. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(23), 29394–29411. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12595-5> (In Persian)
- [29] Creswell, J. W., Plano Clark, V. L., Gutmann, M. L., & Hanson, W. E. (2003). **Advanced Mixed Methods Research Designs**. In A. Tashakkori & C. Teddlie (Eds.), *Handbook of Mixed Methods in Social and Behavioral Research* (pp. 209–240). Thousand Oaks, CA: Sage. <http://rszarf.ips.uw.edu.pl/ewalps/teksty/creswell.pdf>
- [30] Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., et al. (2021). **The PRISMA 2020 Statement: An Updated Guideline for Reporting Systematic Reviews**. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- [31] Padilla Bejarano, J. B., Zartha Sossa, J. W., Ocampo-Lopez, C., & Ramirez-Carmona, M. (2023). **University Technology Transfer From a Knowledge-Flow Approach—Systematic Literature Review**. *Sustainability*, 15(8), 6550. <https://doi.org/10.3390/su15086550>
- [32] Bejarano, J. B. P., Sossa, J. W. Z., Ocampo-López, C., & Ramírez-Carmona, M. (2023). **Open Innovation: A Technology Transfer Alternative From Universities: A Systematic Literature Review**. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and (TRL) and Commercial Readiness Index (CRI) of Asset End-of-Life Strategies*. In *Safety and Reliability – Safe Societies in a Changing World* (pp. 1767–1773). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781351174664-221>
- [14] Verreynne, M.-L., Torres de Oliveira, R., Cao, Z., Nguyen, T., & Feast, G. (2025). **University–Business Collaboration: A Collaboration Readiness Index And Scale**. *Research Policy*, 54(8), 105273. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2025.105273>
- [15] AFCEA International. (2023). **Valley Of Death Phase Is Necessary**. *SIGNAL Media*. <https://www.afcea.org/signal-media/technology/valley-death-phase-necessary>
- [16] Rocha, A., Cruz-Cunha, M. M., & Romero, F. (2023). **University Technology Transfer: Assessment of Invention Disclosures by Technology Transfer Offices**. *International Journal of Entrepreneurship and Innovation Management*, 27(1/2), 119–136. <https://doi.org/10.1504/IJEIM.2023.129328>
- [17] Townes, M. S. (2025). **The Role of Technology Maturity Level in the Occurrence of University Technology Transfer**. *Journal of the Knowledge Economy*, 16(2), 10685–10757. <https://doi.org/10.1007/s13132-024-02171-w>
- [18] Lavoie, J. R., & Daim, T. U. (2018). **Technology Readiness Levels Enhancing R&D Management and Technology Transfer Capabilities: Insights From a Public Utility in Northwest USA**. *International Journal of Transitions and Innovation Systems*, 6(1), 48–61. <https://doi.org/10.1504/IJTIS.2018.090776>
- [19] Forouhar, M., Forouhar, M., Gholami, S., & Arghish, O. (2016). **Identify and Rank the Barriers to Technology Transfer: Analytic Hierarchy Process**. *Modern Applied Science*, 10(9), 142–152. <https://doi.org/10.5539/mas.v10n9p142>
- [20] Hejazi, S. R., & Hosseini, P. M. (2014). **Environmental Barriers to Transfer and Commercialize Nanomedicine Research Results in Iran: A Qualitative Research**. *Payavard Salamat*, 8(2), 154–168. <http://payavard.tums.ac.ir/article-1-5427-en.html> (In Persian)
- [21] Chehrehpak, M., Alizadeh, A., & Nazari-Shirkouhi, S. (2018). **An Empirical Study on Factors Influencing Technology Transfer Using Structural Equation Modelling**. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 23(3), 273–288. <https://doi.org/10.1504/IJPQM.2018.089801>
- [22] Narimani, A. R., & Vaezi, R. (2017). **Identify Factors To The Commercialization Of Research In Knowledge Of Public Administration**. *Journal of Public Administration*, 9(2), 235–262. <https://doi.org/10.22059/jipa.2017.236485.2047> (In Persian)
- [23] Safari, S. (2019). **Measuring, Evaluating and Explaining the Drivers and Barriers of Science and Technology Commercialization at University (Case Study: Shahed University)**. *Scientometrics Research Journal*, 5(10), 89–

Complexity, 9(3), 100090.
<https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2023.100090>
[33] Cohen, M., Fernandes, G., & Godinho, P. (2025). **Measuring the Impacts of University-Industry R&D Collaborations: A Systematic Literature Review.** *The Journal of Technology Transfer*, 50(1), 345–374. <https://doi.org/10.1007/s10961-024-10114-5>