

## Technological Catch-up Challenges in the Nuclear Industry and the Development of the Proposed Capability Building Pattern in this Industry

Mohammad Amin Fakhimi<sup>1</sup>, Fatemeh Saghafi<sup>2\*</sup> 

1- PhD candidate, Faculty of Management, University of Tehran, Iran

2- Associate Professor, Faculty of Management, University of Tehran, Iran

### Abstract

The development of nuclear technologies in the fields of energy, medicine, agriculture and industry in recent years has led to the pursuit of nuclear innovation by many countries. This is faced with obstacles such as the need for cost, time, and special infrastructure. The present study aims to provide an overview of the challenges and policies for the development of innovation in the nuclear industry of south korea and develop by other leading countries. A systematic review of scientific publications about "innovation in the nuclear industry" was used as the research method. For this purpose, after a search in Scopus 217 data sources were found, which after screening 16 articles remained. Examining the barriers and policy acts related to the development of nuclear innovation and technological catch-up in this industry shows that to overcome the two obstacles, "weak internal coordination of nuclear sectors" and "weak commercialization of nuclear products", the industry needs changes in the nuclear governance, diplomacy and innovation systems. Thus, the policies presented under these factors can lead to technological catch-up in the Iranian nuclear industry. The results showed that although foreign sanctions have created barriers to

technology transfer, self-sanctions and the use of closed governance in this industry are the main barriers to transfer. On the other hand, similar to many other Iranian industries, the lack of attention to international marketing (through holding exhibitions with the aim of attracting customers, especially from neighboring countries) has made it the main way of providing financial resources from public budget of the country. Meanwhile, industrial nuclear technologies are attractive and have a growing market in the world. In addition, lack of institutional coherence and lack of integrated policy and planning is another important factor.

In this research, there were two limitations : 1) the lack of access to Iran's nuclear data and 2) the small number of complete and successful global experiments. The authors recommend some studies for future researches : 1 ) Analysis of the requirements and aspects of technological cooperation projects in the International Atomic Energy Agency for Iran " , 2 ) " Evaluation of the capabilities of the industry in the development of the export of radiopharmaceuticals and non-power products to the countries of the West Asian region " and 3 ) " Analysis of the core industry innovation system focusing on the functions of research guidance, knowledge transfer and market development " .

**Keywords:** Nuclear Innovation, Technological Capabilities, Commercialization, Technological Catch-up, Pattern.

---

### How to cite this paper:

How to cite this paper: Fakhimi, M.A., & Saghafi, F. (2022). Technological Catch-up Challenges in the Nuclear Industry and the Development of the Proposed Capability Building Pattern in this Industry. *Journal of Science & Technology Policy*, 15(2), 1-20. {In Persian}. DOI: 10.22034/jstp.2022.13936

---

\* Corresponding author: Fsaghafi@ut.ac.ir

## چالش‌های فرارسی فناورانه در صنعت هسته‌ای و توسعه الگوی قابلیت‌سازی در این صنعت

محمدامین فخمی<sup>۱</sup>، فاطمه ثقفی<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی دکتری سیاست‌گذاری علم و فناوری، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران.

۲- دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.

### چکیده

توسعه کاربردهای فناوری‌های هسته‌ای در حوزه‌های انرژی، پزشکی، کشاورزی و صنعتی در سال‌های اخیر موجب توجه کشورها به نوآوری هسته‌ای شده‌است. با توجه به این‌که ورود به این صنعت نیازمند سرمایه‌گذاری‌های کلان، پرریسک و بلندمدت است باید برای کاهش ریسک ورود، از تجارب سایر کشورها الگو برداری شود. در پژوهش حاضر با هدف ارائه الگوی توسعه قابلیت‌های صنعت هسته‌ای از منظر نظریه فرارسی فناورانه، مبتنی بر تجربه کشور کره جنوبی و توسعه آن با تجربه سایر کشورهای پیشرو، از مرور نظام‌مند برای جمع‌آوری منابع و از روش تحلیل مضمون برای تحلیل آن استفاده شده‌است. بدین منظور با جستجو در پایگاه داده‌ای اسکوپوس حول موضوع «نوآوری و فرارسی در صنعت هسته‌ای» مجموعاً ۲۱۷ منبع داده‌ای یافت شد که پس از چندمرحله غربال‌گری ۱۶ مقاله اصلی مرتبط جهت بررسی عمیق‌تر بدست آمد. با مرور دقیق این مقالات و تحلیل مضامین، الگویی مشتمل بر مؤلفه‌های «نظام نوآوری»، «بازبودن» و «نظام حکمرانی» برای توسعه نوآوری هسته‌ای و فرارسی فناورانه بدست آمد. در ادامه این الگو براساس نظر متخصصین داخلی، با شرایط صنعت هسته‌ای ایران اصلاح شد. نتایج نشان داد برای عبور از دو چالش اساسی در توسعه صنعت هسته‌ای یعنی «ضعف هماهنگی درونی بازیگران صنعت» و «ارتباط ضعیف صنعت با بازار و محیط بیرونی» باید تغییراتی در هر سه مؤلفه الگو ایجاد شود تا براساس تسهیل یادگیری زمینه فرارسی فناورانه در این صنعت فراهم شود.

**کلیدواژه‌ها:** نوآوری هسته‌ای، قابلیت‌های فناورانه، تجاری‌سازی، فرارسی فناورانه، الگو.

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

Fakhimi, M.A., & Saghafi, F. (2022). **Technological Catch-up Challenges in the Nuclear Industry and the Development of the Proposed Capability Building Pattern in this Industry.** *Journal of Science & Technology Policy*, 15(2), 1-20. {In Persian}.  
DOI: 10.22034/jstp.2022.13936

### ۱- مقدمه

توانمندی‌های فناورانه<sup>۴</sup> [۲] بین کشورهای پیشرو و عقب‌افتاده انجام شده و در سه سطح «ملی»، «صنعت» و «فناوری» مورد بحث قرار می‌گیرد [۳]. این سطوح با یکدیگر دارای ارتباطند و در موضوع پژوهش حاضر می‌توان گفت توسعه فناوری نیروگاه هسته‌ای به عنوان یک سامانه محصول پیچیده (CoPS) به دلیل اهمیت کلیدی آن در کل صنعت و نیز ارتباطات گسترده زیرسامانه‌های آن با صنایع مختلف کشور،

ضرورت «توجه نظام‌مند به نوآوری» و «یادگیری فناورانه» بر کسی پوشیده نیست. بررسی تجربیات یادگیری صنایع کشورهای دیرآمده از کشورهای پیشرفته، زمینه توسعه مفهوم فرارسی فناورانه<sup>۲</sup> را فراهم کرده است. فرارسی فرآیندی است که با هدف کاهش شکاف<sup>۳</sup> درآمدی و بهره‌وری [۱] و یا

DOI: 10.22034/ jstp.2022.13936

\* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: Fsaghafi@ut.ac.ir

<sup>2</sup> Technological Catch-up<sup>3</sup> Gap

ناشر: مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور

<sup>4</sup> Technological capabilities

حق مؤلف © نویسندگان

ناشر: مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور

که طی سه دهه با غلبه بر چالش‌های فراوان طراحی راکتور هسته‌ای بومی، در سطح فناوری کلیدی<sup>۱</sup> و محوری<sup>۲</sup> راکتور توان، موفق به فرارسی فناوری شده، حائز اهمیت است [۶]. رشد روزافزون برنامه‌های نوآرانه هسته‌ای دولت‌ها، با مشارکت مستمر بخش خصوصی، احتمال تغییر ابرانگاره فناوری هسته‌ای در دهه‌های پیش رو را پررنگ می‌کند. برای مثال از برخی فناوری‌های نوظهور هسته‌ای همچون راکتورهای کوچک ماژولار (SMR)، تحت عنوان «تغییردهنده بازی<sup>۳</sup>» برای تولید انرژی ارزان و ایمن در ابعاد یاد می‌شود [۹]. کره جنوبی که پیش‌تر وارد کننده راکتور بود امروز به یکی از مهم‌ترین بازیگران توسعه این فناوری گسلنده<sup>۴</sup> تبدیل شده و پیش‌بینی می‌شود در آینده سهم عمده بازار SMR دنیا را تصاحب کند. به دلیل اهمیت راهبردی این صنعت، واردات فناوری آن با چالش همراه است، لذا گسترش ظرفیت توان هسته‌ای کشورها با قراردادهای پیمانکاری ممکن نیست؛ بلکه به برنامه‌ریزی هوشمندانه در راستای ارتقای قابلیت‌های فناوریانه وابسته است [۱۰]. پس بررسی برنامه‌ها و مسیر توسعه فناوری در کشورهای صاحب تجربه می‌تواند حاوی آموزه‌هایی برای سیاستگذاران فناوری کشور ما باشد.

صنعت هسته‌ای ایران از سال ۱۳۳۹ تا کنون شاهد فراز و نشیب‌های زیادی بوده است. هرچند در ابتدا اکتساب فناوری از طریق خرید خارجی و همکاری فناوریانه با کشورهای پیشرو در این صنعت دنبال شده، اما این روند بدلیل تحریم ادامه‌دار نبوده است. علاوه بر آن، ناهماهنگی بین دینفعان و مشکل بازار محصول [۱۱] منجر به قفل‌شدگی در ساخت راکتور شده است. چالش‌های این دو مقوله، در بسیاری از موارد با مسائل پیش‌روی کشورهای دیگر مشابهت دارد. وجود نهادهای متعدد دارای همپوشانی در مأموریت، نبود رهنگاشت منسجم و نهاد یکپارچه‌ساز دارای ثبات، از این دسته اند که در برخی کشورها با انسجام‌بخشی نهادی و برنامه‌ریزی‌های راهبردی کوتاه‌مدت و میان‌مدت برطرف شده‌اند. عدم ارتباط بخش خصوصی با صنعت و نیز ضعف بازاریابی محصولات هسته‌ای (ناشی نگاه امنیتی به کل صنعت)، مانع بعدی است. این درحالی است که روند مشارکت شرکت‌های دانش‌بنیان،

بر هر سه سطح فرارسی اثرگذار است. چراکه این سامانه شامل راکتور، توربین-ژنراتور، کندانسور-خنک‌کننده، و انواع گوناگونی از معماری‌های نوآرانه در طراحی و یکپارچه‌سازی در سطح صنعت است [۶]. بنابراین فرارسی در یک یا چند «فناوری» کلیدی منجر به فرارسی در سطح «صنعت» می‌شود. در خصوص ارتباط آن با سطح ملی، چانگ و هوانگ با بررسی سه محصول پیچیده موجود در این صنعت نشان دادند که پیشرفت در این صنعت صرفاً با حضور نوآوران و سیاست‌های حمایتی دولتی به نتیجه نمی‌رسد، بلکه نیازمند پشتیبانی مستمر و نظام‌مند سیاست‌گذاران است [۷]. به عبارت دیگر از آنجا که مجموعه منابع، زیرساخت‌ها، تجهیزات و فناوری‌های صنعت هسته‌ای دارای روابط عدیده بالادستی و پایین‌دستی با دیگر صنایع کشور است، قاعدتاً با سرریز فناوریانه از این صنعت به بخش‌های دیگر یا برعکس، فرارسی در سطح «کشور» نیز ایجاد می‌شود. برای مثال «صنایع پزشکی، صنایع نساجی و مرتبط با نانو، صنایع عمرانی، فناوری پلاستیک برای راکتورهای گداخت، و فناوری لیزر برای غنی‌سازی و گداخت» تنها بخشی از فناوری‌هایی هستند که به‌عنوان تامین‌کننده تجهیزات در صنعت هسته‌ای فعال شده و توسعه پیدا می‌کنند [۸]. این موضوع در کنار مزایای گسترده صنعت هسته‌ای توجه سیاستگذاران کشورها را برای دستیابی به آینده‌ای پاک و پیشرفته به خود جلب نموده که شواهد آن در دنیای دانش و صنعت ظهور و بروز یافته است: تعداد انتشارات علمی شامل هردو واژه «نوآوری و هسته‌ای» از حدود ۵۰ مورد در سال ۲۰۰۰ به حدود ۳۵۰ مورد در ۲۰۲۰ و تعداد دفعات ارجاع به آنها از ۲۵۰ مورد در ۲۰۰۰ به حدود ۹ هزار مورد در ۲۰۲۰ رسیده است. رشد حدوداً ۷ برابری تعداد انتشارات علمی و ۳۶ برابری تعداد ارجاعات براساس آمار وب‌سایت WOS حاکی از توجه محققان به موضوع است. ایجاد پروژه‌های بزرگ تحقیق و توسعه بین‌المللی و قراردادهای همکاری با موضوع نوآوری در صنعت هسته‌ای شاهدی بر عزم کشورهای دارای این فناوری در حکمرانی موثر نوآوری هسته‌ای است. بطوریکه در سال‌های اخیر برخی کشورهای دیرآمده مانند کره هم توانسته‌اند سهم بالایی از فعالیت‌های تحقیق و توسعه هسته‌ای را به خود اختصاص دهند. تجربه کره جنوبی به‌عنوان کشوری

<sup>1</sup> Key Technology

<sup>2</sup> Core Technology

<sup>3</sup> Game Changer

<sup>4</sup> Disruptive

فرارسی فناورانه، کشورهای دیرآمده و دنباله‌رو می‌توانند از تجارب دیگران بیاموزند، از روی برخی مراحل عبور کنند و از مسیرهای میان‌بر توسعه استفاده کنند [۱۶]. مفهوم فرارسی ابتدا توسط راوپ<sup>۳</sup> و گرشنکرون<sup>۴</sup> [۱۴] و آبرامویچ<sup>۵</sup> [۱۵] وارد ادبیات اقتصاد شد و توسط دیگران توسعه یافت. فرارسی فناورانه پیش نیاز فرارسی بازار است. فرارسی فناورانه به معنای رشد قابلیت‌های فناورانه است و زمینه‌ای را فراهم می‌آورد که باعث کسب سهم بازار محلی و بین‌المللی و فرارسی بازار<sup>۶</sup> شود [۱۷]. به عبارت دیگر در فرآیند فرارسی به این سوال پاسخ داده می‌شود که شرکت‌ها و صنایع چه باید بیاموزند و چگونه یک فناوری را توسعه دهند تا بیشترین منافع را کسب کنند. ظرفیت جذب پیش نیاز، آموزش و آموزش عامل ایجاد قابلیت و زیر بنای فرارسی است. قابلیت بر دو نوع است. قابلیت فناورانه، نیاز ثابت فرارسی فناورانه است [۱۲] و قابلیت اجتماعی یعنی کلان‌نگری و مهارت‌های مدیریتی، نیاز پویا و متغیر فرارسی فناورانه است [۱۵]. پس از کسب فرارسی، این سؤال مطرح می‌شود که ادامه مسیر پیشرفت (پسافراری) چگونه خواهد بود؟ دوره پسافراری، با تکیه بر قابلیت‌های پویا و توسعه درونزا میسر بوده و تقلید بردار نیست. لذا طبق شکل ۱ سه مفهوم فرارسی فناورانه-بازار، قابلیت‌های فناورانه و اجتماعی و نیز نحوه ورود به پسافراری مرتبطند.



شکل ۱) ارتباط بین سه مفهوم مورد بررسی در مرور پیشینه نظری فرارسی فناورانه

اندیشکده‌ها و پژوهشکده‌های مستقل و دانشگاه‌ها با صنعت هسته‌ای در بسیاری از کشورها به سرعت در حال رشد است. بدیهی است ادامه این وضعیت باعث عقب‌افتادگی در نوآوری‌های تحول‌آفرین خواهد بود.

لذا هدف اصلی پژوهش حاضر، شناخت چالش‌های متعدد توسعه نوآوری در صنعت هسته‌ای در سایر کشورها، و بررسی تجربه آنها برای ایجاد الگوی ایجاد قابلیت‌های فناورانه در صنعت هسته‌ای کشور است. در مقاله حاضر ابتدا مطالعات حوزه فرارسی و مراحل توسعه صنعت هسته‌ای به اختصار بررسی شد. از آنجا که تنها تجربه مدون فرارسی فناورانه در صنعت هسته‌ای «کره جنوبی» به دست ما رسید؛ این کشور به عنوان مبنای قرار گرفت. در ادامه برای دستیابی به جزئیات بیشتر، از تجارب سایر کشورها که تنها در حوزه سیاست‌های توسعه نوآوری در صنعت هسته‌ای بصورت پراکنده موجود بود، استفاده شد. روش‌شناسی این پژوهش با مرور نظام‌مند و تحلیل مضمون انجام شد. سپس با تطبیق مراحل فرارسی فناورانه صنعت هسته‌ای کره با وضعیت صنعت هسته‌ای ایران مبتنی بر نظر خبرگان، چالش‌های فرارسی در این حوزه و نیز سیاست‌ها و راهکارهای توسعه توانمندی‌های کشور به عنوان خروجی ارائه و پیشنهاد شد.

## ۲- مروری بر پژوهش‌های پیشین

در پیشینه نظری این پژوهش موضوعات «فرارسی فناورانه، ارتباط قابلیت‌سازی با فرارسی و تفاوت فرارسی با پسافراری [۱۲]» فناورانه<sup>۱</sup> مرور شد. سپس تجربه مسیر فرارسی فناورانه صنعت هسته‌ای کره جنوبی بررسی و نقایص آن با تجربیات پراکنده موجود از سایر کشورها تکمیل شد. در انتها «وضعیت صنعت هسته‌ای ایران» بر اساس مستندات غیرمحرمانه مرور و الگوی مفهومی پژوهش استخراج شد.

### ۲-۱ مرور پیشینه نظری

فرارسی عبارت است از فرآیندی که طی آن کشورهای دیرآمده<sup>۲</sup> تلاش می‌کنند تا شکاف فناورانه خود را با کشورهای پیشرفته با یادگیری و همکاری فناورانه، کم کنند [۱۳]. فرارسی را با چندین شاخص از جمله درآمد، بهره‌وری و قابلیت فناورانه می‌توان اندازه‌گیری کرد. در

<sup>3</sup> Raup

<sup>4</sup> Gerschenkron

<sup>5</sup> Abramovitz

<sup>6</sup> Market catch-up

<sup>1</sup> Post Catch-up

<sup>2</sup> Latecomers

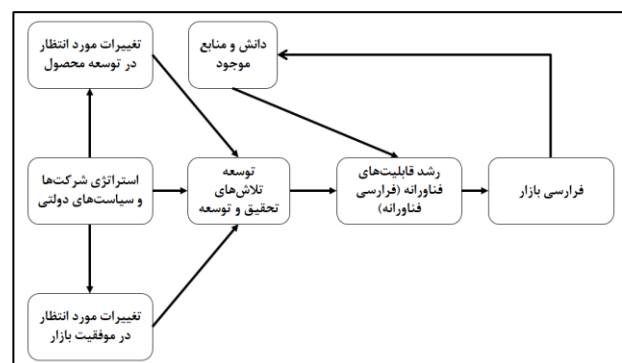
## الف) فرارسی فناوریانه و فرارسی بازار

سیاست دولت‌ها از گذشته به عنوان عامل تعیین‌کننده در یادگیری کشورهای دیرآمده مطرح بوده است. قبلاً دولت‌ها از سیاست‌های جایگزینی واردات، مقابله با وابستگی و سرمایه‌گذاری در یادگیری و آموزش به عنوان سیاست‌های اصلی دولت استفاده کرده‌اند. اما در دو دهه اخیر سیاست صادرات محوری، محرک اصلی فرارسی بوده است. به عبارت دیگر، تجربه فرارسی کشورهای شرق آسیا بر محافظت از بازار داخلی از طریق کاهش واردات، کاهش تعرفه‌ها و خریدهای دولتی، یارانه‌های صادراتی و معافیت مالیاتی به صادرات، اعمال شرط صادرات بر سرمایه‌گذاری‌های مشترک، تقویت ارتباطات و تعاملات بین‌المللی و اتصال به زنجیره ارزش جهانی و ایجاد شرایط چرخش سرمایه انسانی متخصص، همگی بر محوری بودن صادرات، دلالت دارد [۱۷]. این درحالی است که در تجربیات مربوط به فرارسی فناوریانه صنایع ایرانی، به صادرات محوری و دیپلماسی علم و فناوری کمتر توجه شده است. کوچک بودن سهم سیاست‌های طرف تقاضا، سیاست‌های بازارسازی، یارانه‌دهی به صادرات و نیز ضعف در تعاملات بین‌المللی در ایران، شاهد این مدعا است [۱۶] [۳۳]. در ادبیات فرارسی، بعد از توسعه قابلیت‌های فناوریانه، کسب موفقیت بازار یک الزام است که به فرارسی بازار معروف است. براساس پژوهش لی<sup>۱</sup> و لیم<sup>۲</sup> [۱۷] مطابق شکل ۲ فرارسی بازار که به معنای رشد سهم بازار فناوری و پیامد رشد قابلیت‌های فناوریانه و فرارسی فناوریانه است.

قابلیت‌های فناوریانه و در نهایت فرارسی بازار می‌شود. به عبارت دیگر سرمایه‌گذاری مستقیم بر روی R&D و نیازمندی‌های فناوریانه منجر به رشد پایه فناوریانه<sup>۳</sup> صنعت می‌شود و این موضوع امکان توسعه بازار، صادرات و رشد اقتصادی را فراهم می‌آورد [۲۰]. فرآیند فرارسی فناوریانه را نمی‌توان به انتقال فناوری از کشور پیشرفته به کشور درحال توسعه تقلیل داد زیرا در فرارسی، شرکت یا صنعت داخلی نقشی فعال در تعامل با نهادها و سازمان‌ها دارد که موفق به کسب «قابلیت فناوریانه داخلی» می‌شود [۳]. انباشت درونی قابلیت فناوریانه منجر به فرارسی می‌شود و دستاورد فرارسی فناوریانه با توفیق در بازار داخلی و ورود به بازار بین‌المللی و صادرات تعیین می‌شود. مجیدپور [۲۲] براساس تجربه شرکت مپنا و برخی شرکت‌های کره جنوبی نشان داد که الگوی غالب برای فرارسی فناوریانه در محصولات و سامانه‌های پیچیده، **دنباله‌روی**<sup>۴</sup> است و فرارسی فناوریانه از طریق پرش از مراحل<sup>۵</sup> فقط در حوزه‌های خاص ممکن است؛ و از طریق خلق مسیر جدید<sup>۶</sup> در محصولات و سامانه‌های پیچیده تقریباً غیرممکن است. ضمناً عوامل داخلی و خارجی همگی از طریق تأثیرگذاری بر راهبردهای شرکت‌ها، در موفقیت فرارسی فناوریانه و بازار مؤثرند. لذا در بسیاری از صنایع پیچیده، ابتدا رشد قابلیت فناوریانه و عرضه به بازار داخلی و سپس صادرات مهم‌ترین پیامد موفقیت در بازار است.

## ب) ارتباط قابلیت‌سازی با فرارسی فناوریانه

طبق مدل لی و لیم، فرارسی فناوریانه نیازمند قابلیت‌هایی در سطوح شرکت و کشور است. کیم<sup>۷</sup> [۱۸] قابلیت فناوریانه<sup>۸</sup> را به منظور تفسیر تجربه کره جنوبی ارائه کرد. قابلیت فناوریانه از نظر کیم، یعنی توانایی استفاده بهینه و مؤثر از دانش فناوریانه جهت استفاده، تطبیق و یا تغییر فناوری موجود. قابلیت فناوریانه در عمل فقط به تحقیق و توسعه سازمانی محدود نمی‌شود بلکه شامل موارد دیگری همچون قابلیت «تولید»، قابلیت «سرمایه‌گذاری» و قابلیت «نوآوری» هم می‌شود. آبراموویچ [۱۵] قابلیت اجتماعی<sup>۹</sup> را به عنوان عاملی تعریف



شکل ۲) مدل فرارسی فناوریانه و بازار [۱۷]

طبق این مدل، راهبرد شرکت‌ها و سیاست‌های دربرگیرنده صنعت، ابتدا منجر به رشد هزینه‌های R&D و سپس رشد

<sup>3</sup> Technology base

<sup>4</sup> Path Following

<sup>5</sup> Stage Skipping

<sup>6</sup> Path Creating

<sup>7</sup> Kim

<sup>8</sup> Technological capability

<sup>9</sup> social capability

<sup>1</sup> Lee

<sup>2</sup> Lim

بهره‌گیری از تجارب شرکت‌های پیشرو دلالت دارد. یاپ<sup>۵</sup> و ترافر<sup>۶</sup> نیز «جهش صنعتی» را فرآیندی معرفی می‌کنند که با هدف دستیابی به رهبری فناورانه یا بازار، از مراحل سنتی توسعه عبور کرده و با شکاف میان ساختارهای مستقر و نوین یک خط سیر جدید فناوری<sup>۷</sup> توسعه می‌دهد [۴۰]. موفقیت در فرارسی فناورانه، بستر و مقدمات ورود به پسا فرارسی را فراهم می‌کند که مجموعه‌ای از فعالیت‌های نوآورانه است که کشورهای دنباله‌رو در یک محیط رقابتی متغیر با امکان تقلید کم، انجام می‌دهند تا مسیرهای فناورانه جدیدی برای نوآوری ایجاد کنند. در پسا فرارسی خلق یک مسیر تازه و مستقل برای (جدول ۱) مؤلفه‌ها و شاخص‌های قابلیت اجتماعی و فناورانه [۱۹]

مؤلفه‌های کلی	شاخص‌ها	مؤلفه‌های جزئی	قابلیت
بازبودن	بازبودن تجارت، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی <sup>۸</sup>	آزادی تجارت	فناورانه
	صدور مجوز فناوری <sup>۹</sup>	نظام مجوزدهی	
	آمار مهاجرت <sup>۱۰</sup>	سهولت مهاجرت	
نظام نوآوری	انتشارات علمی، ثبت اختراع، هزینه‌های تحقیق و توسعه <sup>۱۱</sup>	دانش، پژوهش و نوآوری	فناورانه و اجتماعی
	استانداردهای بین‌المللی <sup>۱۲</sup>	کیفیت محصولات	
	مخابرات، اینترنت، کامپیوتر <sup>۱۳</sup>	زیرساخت‌های ICT	
نظام حکمرانی	آموزش ابتدایی، راهنمایی و دبیرستان، مهارت مدیریتی و فنی <sup>۱۴</sup>	مهارت‌ها	اجتماعی
	دسترسی به اعتبار بانکی، بازار سهام، سرمایه‌گذاری ریسک‌پذیر <sup>۱۵</sup>	مالی	
	فساد، قانون و نظم، استقلال دادگاه‌ها، حقوق مالکیت، مقررات دوست‌دار کسب‌وکارها <sup>۱۶</sup>	کیفیت حکمرانی	
	فعالیت‌های مدنی، صداقت و درستی <sup>۱</sup>	ارزش‌های اجتماعی	

کرد که نقشی پویا در فرارسی ایفا می‌کند. قابلیت اجتماعی بر توانایی‌های «فنی و مدیریتی»، «حکمرانی پایدار و مؤثر»، توسعه نهادهای «مالی» و «بازارهایی» با قابلیت بالا در بسیج سرمایه در مقیاس کلان و نهایتاً ترویج «صداقت و درستی» در تعامل با مردم اطلاق می‌شود. اینکه قابلیت‌سازی، نوآوری و اساساً کانال‌های یادگیری فناورانه از کدام مسیر به فرارسی فناورانه کشورها منجر می‌شود به شرایط و ویژگی‌های خاص هر کشور بستگی دارد. فاگربرگ [۱۹] در مدلی که برای توصیف نقش میزان «قابلیت فناورانه» و «قابلیت اجتماعی» بر توسعه اقتصادی کشورها ارائه کرد، نشان داد بین نظام نوآوری در کشورها و میزان توسعه اقتصادی رابطه‌ای معنادار و قوی وجود دارد. در کنار نظام نوآوری، بهبود نظام حکمرانی<sup>۲</sup> نیز نقشی مکمل داشته و می‌تواند اقتصاد مطلوب را پدید آورد. در کشورهای فقیر بخاطر ظرفیت جذب پایین‌تر رابطه خاصی بین بازبودن<sup>۳</sup> و رشد اقتصادی وجود ندارد، ولی در کشورهای غنی سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و آزادی تجارت با رشد رابطه معنادار دارد [۱۹-۲۰]. سطح توسعه کشور، متغیر کنترل برای درجه بازبودن است. جدول ۱ شاخص‌های قابلیت اجتماعی و فناورانه، و ارتباط آن‌ها با «بازبودن»، «نظام نوآوری» و «نظام حکمرانی» را نشان می‌دهد. لذا توسعه قابلیت‌های فناورانه متغیر مستقلی برای رشد اقتصادی کشور است و این رشد در گرو فراهم بودن بستر ارتباطی بین کشورها از طریق مؤلفه‌هایی مثل «بازبودن» است. در ادامه نشان می‌دهیم که پس از فرارسی، چه مرحله‌ای آغاز می‌شود.

### ج) تقلید و یادگیری فناورانه یا خلق مسیر نوآورانه؟

یادگیری و کسب دانش و فناوری خارجی، عنصر اساسی این فرارسی در هر دو رویکرد باز (صادرات محوری) و بسته (توجه به بازار داخلی)، عنوان شده است. این یادگیری می‌تواند از طریق «انتقال فناوری و همکاری فناورانه» و یا از طریق «مهندسی معکوس و R&D داخلی» صورت گیرد. در واقع آنچه که مفهوم فرارسی را نسبت به مفهوم کلی پیشرفت یا توسعه متمایز می‌کند، تمرکز بر کاهش شکاف فناورانه است. در این خصوص کیون لی مفهوم «جهش<sup>۴</sup> فناورانه» را مطرح می‌کند [۲۱] که بر عبور از برخی مراحل با

<sup>5</sup> Yap

<sup>6</sup> Truffer

<sup>7</sup> technological trajectory

<sup>8</sup> Openness to trade, foreign direct investment

<sup>9</sup> technology licensing

<sup>10</sup> Immigration

<sup>11</sup> Scientific publications, patents, R&D (total/business), innovation counts

<sup>12</sup> International (ISO) standards

<sup>13</sup> Telecommunications, internet, computers

<sup>14</sup> Primary, secondary and tertiary education, managerial and technical skills

<sup>15</sup> Access to bank credit, stock-market, venture capital

<sup>16</sup> Corruption, law and order, independence of courts, property rights, business friendly Regulation

<sup>1</sup> Fagerberg

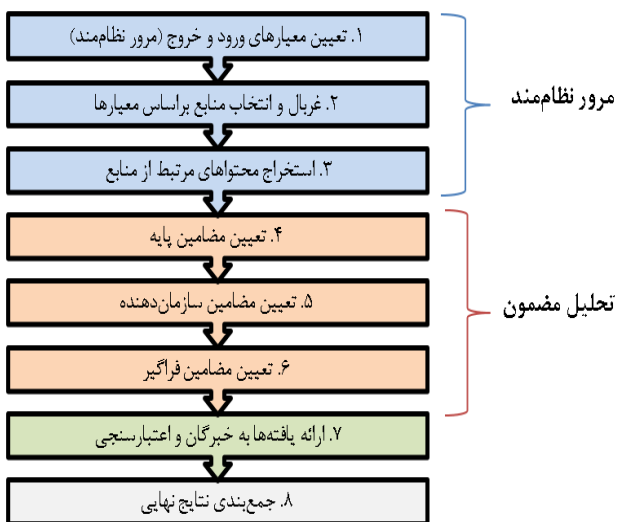
<sup>2</sup> Good Governance

<sup>3</sup> openness

<sup>4</sup> Leapfrogging

### ۳- روش پژوهش

مطالعه فعالیت‌های پژوهشی و جمع‌بندی مقالات متعدد منتشر شده علمی که بعضاً نتایج متضاد و متفاوتی را ارائه می‌دهند با استفاده از روش «مرور نظام‌مند» میسر است و مناسب‌ترین روش تحلیل داده‌های آن «تحلیل مضمون»<sup>۴</sup> است. این روش شامل شناسایی مضامین پایه، دسته‌بندی این مضامین ذیل مضامین سازمان‌دهنده، تشکیل مضامین فراگیر و نهایتاً اعتبارسنجی توسط خبرگان است. اعتبارسنجی تحلیل با خبرگان باعث می‌شود میان تفاسیر پژوهشگر و تجاربی که خبرگان دارند هم‌خوانی و تناسب برقرار شود [۲۸]. از آنجا که با مرور تجارب سیاستی، چالش‌ها و اقدامات موثر بر آن ارائه می‌شود، راهبرد پژوهش «استقرایی» است. گام‌های پژوهش در شکل ۳ ملاحظه می‌شود.



شکل ۳) گام‌های تحقیق براساس مرور نظام‌مند و تحلیل مضمون

مطابق شکل ۳ براساس مرور نظام‌مند و تحلیل مضمون منابع منتخب، الگوی اولیه چالش‌ها و راهکارهای سایر کشورها برای توسعه نوآوری در صنعت هسته‌ای استخراج شد. در گام‌های ۷ و ۸ که عبارتند از «کنترل کیفیت و تأیید اعتبار یافته‌ها» و «ارائه نتایج نهایی» مطابق جدول ۲ پنبلی با حضور هفت نفر از متخصصین و فعالان این صنعت برگزار شده و نتایج تحقیق جهت ایجاد تناسب یافته‌ها با شرایط بافتاری و نهادی ایران اصلاح شد.

فعالیت‌های نوآورانه مهم بوده و فراتر از تقلید از کشورهای پیشرو است [۱۲]. در فرارسی و جهش، نوآوری درون طرح غالب فعلی رخ می‌دهد ولی در گذار به پسا فرارسی باید طرح غالب جدیدی توسعه یابد و صنعت یا کشور بتواند صاحب پلتفرم<sup>۲</sup> شود. این طرح غالب جدید می‌تواند با ایجاد تمایز فناوریانه در معماری طرح غالب موجود و ترکیب آن با قابلیت‌های بومی حاصل شود [۶]. هوانگ<sup>۳</sup> و همکاران با بررسی برخی صنایع کشور کره نشان دادند بازیگران نوآوری و تعامل آنها، قابلیت‌ها، ترتیبات نهادی و اصول اداره آن‌ها و نیز تعاملات نظام نوآوری یک صنعت با محیط خارجی آن در فاز فرارسی و پسا فرارسی متفاوت است. برای مثال در فرارسی، وجود شرکت‌های بزرگ اهمیت دارد؛ زمان یادگیری محدود و نوآوری‌ها بیشتر به صورت تدریجی و در راستای بهبود بهره‌وری است. ولی در پسا فرارسی شرکت‌های کوچک چابک مهم هستند، زیرا هدف توسعه، ایجاد نوآوری است و این شرکت‌های نوپای ناب توان ایجاد نوآوری دارند. آنها توان ارتباط با بازیگران متنوع برای خلق دانش‌های پایه با هدف ایجاد نوآوری ریشه‌ای را دارند. در فرارسی، کارایی سیاست‌های نوآوری مهم است در حالی که در پسا فرارسی به اثربخشی توجه می‌شود [۴]. فرارسی و پسا فرارسی در سطح صنعت هم متفاوتند، در سطح ملی نیز، عواملی مانند تغییر رژیم فناوریانه یعنی چرخه عمر فناوری‌ها (از فناوری‌های با چرخه عمر کوتاه به چرخه عمر بلند)، بومی سازی خلق دانش و هدایت موفق و مؤثر تحقیقات پایه بخشی از تفاوتها است که در گذار به پسا فرارسی ایجاد می‌شود. همچنین تغییرات فرهنگی و سازمانی و اجتماعی از جمله تغییرات مهمی است که در گذار به فاز پسا فرارسی باید اتفاق بیفتد [۵، ۳۹].

در ادامه با استفاده از مرور نظام مند، به جمع آوری مقالات و طراحی یک الگوی مفهومی اولیه برای الگوی قابلیت‌سازی در صنعت هسته ای پرداخته می‌شود و سپس الگو در اختیار خبرگان ایرانی قرار داده می‌شود تا با در نظر گرفتن شرایط ایران، الگو توسعه یافته و الگوی پیشنهادی مناسب برای ایران استخراج شود.

<sup>۱</sup> Civic activities, trust, tolerance

<sup>۲</sup> Platform Owner

<sup>۳</sup> Hwang

<sup>۴</sup> Thematic Analysis

### جدول ۲ مشخصات شرکت کنندگان در پنل خبرگان

ردیف	رشته و مدرک تحصیلی	محل خدمت و سمت	سابقه (سال)
۱	دکتری مهندسی صنایع (مدیریت سیستم) دانشگاه تهران	مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور	۳۰-۲۵
۲	دکتری شیمی/دانشگاه بوعلی سینا	نماینده مجلس و فعال صنعت هسته‌ای	
۳	دکتری مهندسی هسته‌ای (راکتور) دانشگاه صنعتی شریف	مرکز پژوهش‌های مجلس	۱۰-۵
۴	دکتری مهندسی هسته‌ای (چرخه سوخت) دانشگاه صنعتی شریف	پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای	
۵	دکتری سیاست‌گذاری علم و فناوری/دانشگاه علم و صنعت	پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای	
۶	دکتری سیاست‌گذاری علم و فناوری/دانشگاه علامه طباطبایی	سازمان انرژی اتمی (مدیر مرکز نوآوری)	
۷	دکتری سیاست‌گذاری علم و فناوری/دانشگاه تهران	پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای	

#### ۳-۱ مرور نظام‌مند پیشینه پژوهش

فعالیت‌های آکادمیک با عنوان فرارسی در صنعت هسته‌ای با تجربه‌نگاری صنعت هسته‌ای کره پس از موفقیت در عقد قرارداد صادرات راکتور توسط این کشور شدت گرفت و به توجه کشورهای پیشرفته به موضوع تجاری‌سازی و مشارکت بخش خصوصی در صنعت و اهتمام سازمان‌های بین‌المللی به نوآوری هسته‌ای همراه شد. به همین دلیل بازه ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱ برای جستجوی نظام‌مند در اسکوپوس انتخاب شد. مطابق شکل ۴ با جستجوی واژه‌های «نوآوری هسته‌ای، فرارسی هسته‌ای، سیاست‌گذاری هسته‌ای و توسعه صنعت هسته‌ای» ۲۱۷ مورد محتوا پیدا شد. در میان آنها، ۹۲ مقاله ژورنال در حوزه‌های مختلف شامل: ۵۲ مقاله انرژی، ۲۵ مقاله مهندسی، ۲۵ مقاله فیزیک و ۱۵ مقاله کسب‌وکار، مدیریت، اقتصاد و علوم اجتماعی یافت شد. الگوی جستجو در اسکوپوس درون کادر زیر درج شده است:

( TITLE( nuclear AND innovation) OR TITLE( nuclear AND catch AND up) OR TITLE( nuclear AND policy) OR TITLE( nuclear AND industry AND development)) AND PUBYEAR > 2009 AND PUBYEAR < 2022 AND ( LIMIT-TO( PUBSTAGE , "final")) AND ( LIMIT-TO( DOCTYPE , "ar")) AND ( LIMIT-TO(LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO( LANGUAGE , "Persian")) AND ( LIMIT-TO( SRCTYPE , "j"))

برای غربال محتوایی و انتخاب مقالات، معیارهای ورود و خروج از مطالعه مشخص شد. با بررسی عناوین و چکیده این ۹۲ مقاله، آن‌هایی که «از منظر سیاست‌گذاری به توسعه نوآوری در صنعت هسته‌ای یا یکی از فناوری‌های هسته‌ای پرداخته»، و یا «شامل تجربه‌نگاری از پروژه‌های توسعه صنعت هسته‌ای»، یا «پروژه‌های همکاری فناوریانه» هستند انتخاب شد

(معیارهای ورود). برای این اساس «مقالاتی که صرفاً به جزئیات فنی یک محصول/فناوری نوآورانه خاص» در این صنعت پرداخته‌اند و مقالات (غیر انگلیسی یا فارسی)، کنفرانسی و مطبوعاتی حذف شدند (معیارهای خروج). در نهایت ۱۶ مقاله شامل: ۷ مورد مربوط به نظام نوآوری و یا فرارسی فناوریانه صنعت هسته‌ای کره جنوبی و مابقی مطالعات انجام شده بر روی طرح‌های نوآوری هسته‌ای آژانس انرژی اتمی، کشورهای آمریکا، انگلیس، آرژانتین، فرانسه، برزیل و روسیه باقی‌ماند. با توجه به اینکه خبرگان این پژوهش (جدول ۲) عمدتاً دارای زمینه علمی در حوزه مدیریت فناوری بوده و یا با مقالات این حوزه در بخش هسته‌ای آشنا بوده‌اند، اعتبارسنجی غربال و نیز اعتبارسنجی یافته‌ها هردو توسط ایشان انجام شده است. بدین صورت که برای اعتبارسنجی<sup>۱</sup> مرور نظام‌مند (که نشان دهنده مرتبط بودن مقالات انتخاب شده است) و نیز سنجش قابلیت اطمینان<sup>۲</sup> و اطمینان بخشی از اینکه محتوای مهمی از قلم نیفتاده باشد، طبق رویکرد توافق درون‌ارزیاب یا درون‌سنج<sup>۳</sup> ارزیاب‌های مختلف مشارکت نمودند.

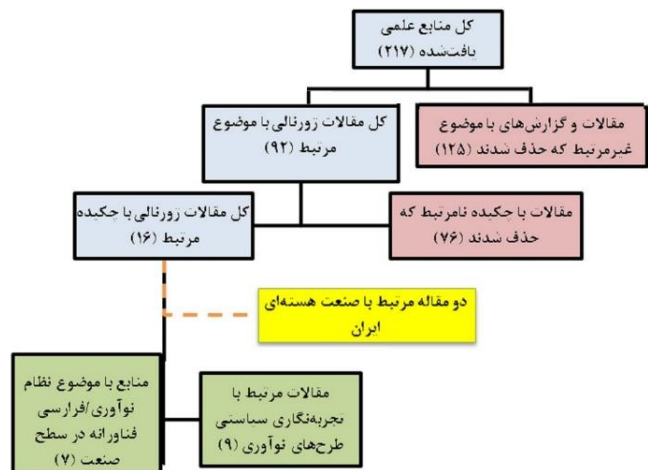
برخی منابع نظیر [۱۱] و [۲۷] توصیه می‌کنند جهت تکمیل محتواها و ارائه تحلیل دقیق‌تر به پایگاه داده‌ای مرجع (اینجا اسکوپوس) بسنده نشود و منابع جانبی از مراجع دیگر اضافه شود. لذا براساس روش بازگشتی دو مقاله دیگر نیز با موضوع مرتبط وضعیت نهادی صنعت هسته‌ای ایران جهت تکمیل و سازگاری یافته‌های پژوهش با شرایط بافتاری ایران بررسی شد. (شکل ۴)

<sup>1</sup> Validity  
<sup>2</sup> Reliability  
<sup>3</sup> Inter-rater



به واردات غیرکلید در دست<sup>۳</sup> ارتقا یافت. در واردات غیرکلید در دست هرچند فناوری کاملاً از خارج وارد می‌شود ولی قابلیت مدیریت ساخت و ساز، بهره‌برداری و تعمیرات و نگهداری تاحدی به صورت درونی بدست آمده است [۳۰]. در اوایل دهه ۱۹۷۰ کره تنها قابلیت بهره‌برداری از دو راکتور تحقیقاتی را بدست آورد و توانست میله‌های سوخت هسته‌ای را بسازد. براساس قرارداد تنها فعالیتی که صنایع داخلی کره به عنوان پیمانکاران فرعی انجام دادند تعدادی پروژه معماری و عمرانی تحت عنوان بخش خدماتی پروژه بود. اما در مراحل بعدی براساس یادگیری‌های حاصل شده، نقش کره‌ای‌ها پررنگ‌تر شد. در ساخت واحدهای بعدی این نیروگاه یعنی Kori 3,4 و Yonggwang 1,2 و Ulchin 1,2، باوجود اینکه پیمانکار اصلی خارجی بود و تجهیزات اولیه را خارجی‌ها وارد کردند، شرکت داخلی KEPCO در ساخت نیروگاه‌ها مشارکت جزئی داشت [۱۰]. پس از آن در سال‌های ۱۹۸۰-۱۹۹۰ شرکت کره‌ای براساس یادگیری که از دهه قبل حاصل شد، نقش ساخت عمده قسمت‌های نیروگاه و در ۱۹۹۱ تمام مسئولیت پروژه Ulchin 3,4 یا Uljin را برعهده گرفت. در این زمان خارجی‌ها تنها نقش مشاور داشتند. این نیروگاه اولین نیروگاه هسته‌ای استاندارد کره‌ای بود. نهایتاً توسعه اولین راکتور بومی کره بانام OPR-1000 در سال ۲۰۰۵ تکمیل شد [۶]. در انتهای ۲۰۰۹ طی مناقصه‌ای که امارات برای ساخت چهار نیروگاه هسته‌ای برگزار کرد، کره موفق شد رقیبان بزرگ و تکتاز خود در این عرصه یعنی آمریکا و فرانسه را کنار زده و قراردادی با ارزش ۴۰ میلیارد دلار با امارت منعقد کند. نیروگاه APR1400 که برای امارات ساخته شد به عنوان پایه ای برای طرح‌های بعدی همچون APR1000 و APR+ قرار گرفت [۱۰].

براساس مفهوم چرخه عمر معکوس محصول<sup>۴</sup> کشورهای دیرآمده نیازمند طی فرآیند یادگیری مستمر شامل سه مرحله اکتساب، تطبیق و بهبود<sup>۵</sup> هستند. این الگوی بازگشتی خطی توسط چارچوب مفهومی سه مرحله‌ای که هابدی [۲۳] مطرح کرد نیز پشتیبانی می‌شود. مراحل فرارسی فناوریانه صنعت هسته‌ای کره با مراحل بهره‌برداری تولید تجهیزات



شکل ۴) فرآیند غربال مقالات در مرور نظام‌مند پیشینه

### ۳-۲ استخراج محتواهای مرتبط و دسته‌بندی منابع

در این بخش تجربه کره جنوبی به عنوان تنها تجربه مستندشده فرارسی فناوریانه در صنعت هسته‌ای مرور می‌شود. سپس سایر موارد در دسترس موفق فرارسی فناوریانه در صنعت هسته‌ای، بررسی شده و در نهایت تاریخچه مختصری از مسیر توسعه صنعت هسته‌ای ایران براساس منابع موجود ارائه می‌شود.

#### الف) مسیر فرارسی صنعت هسته‌ای در کشور کره

فرآیند توسعه قابلیت‌های فناوریانه هسته‌ای کره از اواسط دهه ۱۹۵۰ آغاز شد. در آن زمان کره به آموزش نیروی انسانی فنی و ایجاد تحقیقات پایه در علم و فناوری هسته‌ای از فیزیک هسته‌ای تا پرتونگاری<sup>۱</sup> می‌پرداخت. عصر هسته‌ای کره از سال ۱۹۶۲ با ورود اولین راکتور تحقیقاتی شروع شد. وارد کردن این راکتور به دلیل «تلاش‌های فناوریانه کره» در پاسخ به «تغییرات محیط بین المللی» بود [۱۰]. «تغییرات محیطی» شامل تغییر سیاست آمریکا، تغییرات فناوریانه جهانی، امنیت انرژی داخلی، رشد اقتصادی، و سیاست‌های دولت برای توسعه اقتصادی و فناوریانه و «تلاش‌های فناوریانه» شامل تدوین سیاست هسته‌ای، ایجاد ساختار سازمانی، مدیریت پروژه راکتور تحقیقاتی، یادگیری فعال در داخل و خارج از کشور، و همکاری بین المللی بود که همگی براساس سیاست دستیابی به خوداتکایی فناوریانه در این صنعت انجام‌شد. اولین مرحله از مسیر توسعه صنعت هسته‌ای در کره مبتنی بر واردات کلید در دست<sup>۲</sup> راکتور از خارج بود که پس از مدتی

<sup>3</sup> Non-Turnkey Import

<sup>4</sup> reverse product life-cycle (RPLC)

<sup>5</sup> acquisition–assimilation–improvement

<sup>1</sup> Radiography

<sup>2</sup> Turnkey Import

هسته‌ای (با همراهی ۳۳ کشور) برنامه NI2050 است. از سال ۲۰۱۵ این برنامه، همکاری فناورانه کشورها در زمینه طراحی سامانه‌های راکتور، فناوری‌های چرخه سوخت، مدیریت پسماند هسته‌ای و کاربرد پرتوهای هسته‌ای را هدایت و تسهیل می‌کند [۲۵].

همچنین سرمایه‌گذاری‌های وزارت انرژی آمریکا بر نوآوری‌های گسلنده صنعت هسته‌ای یعنی «راکتورهای نسل چهارم همچون SMR<sup>۵</sup>ها» و «سوخت‌های پیشرفته<sup>۶</sup> با قابلیت عملکرد در دمای بالاتر» در سال‌های اخیر، شاهدهی بر موج جدید توجه به نوآوری هسته‌ای است. این موضوع با همراهی و مشاوره بعضی اندیشکده‌های غیرانتفاعی درخصوص نحوه طراحی سیاست‌های حمایتی و پژوهانه‌های مرتبط با نوآوری هسته‌ای تقویت شده است. پس عامل افزایش نقش‌آفرینی اندیشکده‌ها و شرکت‌های خصوصی در صنعت هسته‌ای، برنامه‌های بلندمدت و سرمایه‌گذاری‌های بزرگ دولت‌هاست. از سال ۱۹۹۰ تاکنون قرارداد بیش از ۳۰ پروژه با موضوع طراحی و ساخت راکتور پیشرفته در آمریکا عقد شده است [۹]. این موضوعات نشان‌دهنده ساختار نهادهای حکمرانی و سیاست‌های حمایتی نقش مهمی در توسعه نوآوری در صنعت هسته‌ای دارد. کشورهایی که در این زمینه موفق بوده‌اند همچون کره، فرانسه، آمریکا و انگلیس به‌نحوی یکپارچگی نهادی را در سیاست‌های حمایتی دنبال کرده‌اند. بنیاد ملی علوم آمریکا، بنیاد ملی علوم طبیعی چین، انجمن ارتقای علوم ژاپن، بنیاد ملی پژوهش سنگاپور، سازمان پژوهش‌های علمی هلند و بنیاد پژوهش آلمان نیز نهادهای متمرکز و یکپارچه شده متولی حمایت‌های مذکور هستند [۲۶]. در انگلیس معمولاً برنامه‌های حمایتی در حوزه هسته‌ای توسط دفتر مشورتی هیات دولت<sup>۷</sup> تدوین می‌شود. بانک عمومی سرمایه‌گذاری فرانسه (BPI)<sup>۸</sup> نیز که با ادغام چند نهاد و با هدف تامین مالی و توسعه کسب‌وکارهای دانش بنیان تاسیس شده و دارای برنامه ویژه‌ای برای توسعه بنگاه‌های فعال در حوزه هسته‌ای است [۲۷]. در منابع این حوزه به عامل «پنجره فرصت» تحت عنوان عامل مؤثر بر فرارسی اشاره شده است.

(OEM)، طراحی محصول (ODM) و مالکیت برند (OBM) مطابقت دارد با این تفاوت که دو مرحله نهایی تقریباً همزمان اتفاق افتاده است. جدول ۳ مراحل فرارسی فناورانه در صنعت هسته‌ای کره را نشان می‌دهد.

نهادسازی و به‌خصوص سیاست خوداتکایی فناورانه<sup>۱</sup> دولت کره در دهه ۱۹۹۰ کاتالیزور توسعه بومی زیرساخت‌های هسته‌ای این کشور شد. در آن زمان موسسه دولتی پژوهش<sup>۲</sup> کره با تدوین هوشمندانه قراردادهای طراحی مشترک با شرکت‌های خارجی، زمینه انتقال فناوری بین‌المللی و دستیابی به فناوری سوخت هسته‌ای و توانایی طراحی و تولید سیستم تامین بخار هسته‌ای<sup>۳</sup> را فراهم نمود [۱۰] و باعث شد امروز این صنعت در کره به رشد قابل توجهی دست یابد.

**ب) عوامل مؤثر بر فرارسی فناورانه و توسعه نوآوری در صنعت هسته‌ای**

در اینجا عوامل مهمی که محرک توسعه صنعت هسته‌ای است بیان می‌شود. یکی از این عوامل ایجاد یکپارچگی در نهادهای با کارکرد هدایت و حکمرانی پژوهش‌ها در صنعت هسته‌ای است. هم‌اکنون بنیاد ملی پژوهش کره<sup>۴</sup>، با هدف جلوگیری از موازی‌کاری و حمایت از پژوهشگران در موسسات تحقیقاتی و شرکت‌ها، موفق به یکپارچه‌سازی حمایت از پژوهش در حوزه فناوری‌های نوظهور، بین‌رشته‌ای و همگرا شده‌اند. کل بودجه این نهاد در سال ۲۰۱۷ حدود ۴ میلیارد دلار، معادل نصف بودجه بنیاد ملی علوم آمریکا بوده است. از جمله برنامه‌های هسته‌ای تعیین شده توسط شورای ملی علم و فناوری کره، می‌توان به توسعه سیستم هسته‌ای با روش دمابالا باهدف افزایش کارایی اورانیوم تا ۱۰۰ برابر اشاره کرد. هدف آینده کره دستیابی و تسلط بر بازار راکتورهای ماژولار کوچک با پروژه SMART است [۲۴].

توافق پاریس، عامل دیگری است که در سال‌های اخیر منجر به تسهیل همکاری‌های بین‌المللی برای توسعه نوآوری‌های هسته‌ای در کشورها شده است. آژانس بین‌المللی انرژی اتمی در تلاش است در زمینه تولید انرژی پایدار در جهان کمک نماید. یکی از تلاش‌های بین‌المللی برای توسعه نوآوری

<sup>5</sup> small modular reactor

<sup>6</sup> Advanced Fuels

<sup>7</sup> NIRAB

<sup>8</sup> bpifrance

<sup>1</sup> technical self-reliance policy

<sup>2</sup> government research institute (GRI)

<sup>3</sup> nuclear steam supply system (NSSS)

<sup>4</sup> National Research Foundation (NRF)

جدول ۳) فرآیند فرارسی فناوریانه صنعت هسته‌ای کره جنوبی [۶] [۱۰] و [۳۰]

مراحل	مهم‌ترین فعالیت‌ها برحسب سال
شناخت فناوری و اکتساب خارجی	۱۹۶۲: نبود قابلیت فناوریانه و خرید اولین راکتور تحقیقاتی از خارج، و آغاز تحقیقات ابتدایی و رادیوگرافی (پرتونگاری) ۱۹۷۲: ساخت کامل راکتور (PWR Kori1) توسط شرکت Westinghouse به صورت کلیددر دست ۱۹۷۷: ساخت کلیددر دست کامل راکتور Kori2 توسط شرکت Westinghouse و راکتور Wolsong1
واردات فناوری به همراه تطبیق یافتن	دهه ۱۹۸۰: طراحی و ساخت مشترک راکتورهای Kori3,4 و Yonggwang1,2 و Ulchin1,2 با شرکت‌های وستینگ‌هاوس (US-ABB/CE سابق)، Framatome (فرانسه) و AECL (کانادا) تا ۱۹۹۰: تغییر نقش شرکت‌های خارجی و انتقال مدیریت پروژه به شرکت کره‌ای KEPCO ۱۹۹۱: توسعه استانداردها و برعهده گرفتن مدیریت پروژه ساخت Ulchin3,4 و Yonggwang3,4 و KEDO1,2 ولی تحت نظر کارفرمای اصلی AECL/DHI
بهبود داخلی فناوری	۲۰۰۵: تکمیل فرآیند تقلید و تکمیل توسعه تقریباً درون‌زای OPR-1000 (تکمیل ساخت Ulchin5,6 و Yonggwang5,6) ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸: توسعه صددرصد درون‌زا و بومی APR1400 تحت مدیریت KHNP و کارفرمای اصلی KEPCO در قالب پروژه‌های Shin-Kori ۳ و ۴ و ۵ و ۶
پسافرارسی فناوریانه مبتنی بر طرح پلتفرم بومی	۲۰۱۰: توسعه مدل بومی راکتور APR1400 و بهبود کارایی آن توسط شرکت KEPCO ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۵: عقد قرارداد صادرات راکتور APR1400 به امارات در قالب پروژه‌های Barakah ۱ و ۲ و ۳ و ۴ که هم‌اکنون در حال ساخت است

که از شروع قرارداد این هدف از سال ۱۹۷۸ در طی سه سال محقق شد. پس از آن مرکز تحقیقات کره<sup>۶</sup> ۲۰۰۶ دانشمند را با هدف کسب دانش ضمنی<sup>۸</sup> به آمریکا فرستاد (از ۱۹۸۶ تا ۱۹۸۹). این موضوع هم به کسب دانش چگونگی منجر شد و هم در راستای کسب دانش چرایی<sup>۹</sup> فناوری بود [۳۰].

### ج) وضعیت صنعت هسته‌ای ایران

بمنظور تطبیق تجربیات سیاستی جهانی توسعه نوآوری هسته‌ای با شرایط کشور، مرور تاریخچه و وضعیت فناوری‌های هسته‌ای ایران ضروری است. اولین فعالیت‌های هسته‌ای ایران به دهه ۱۳۳۰ هجری شمسی بازمی‌گردد. آمریکا، اولین کشوری بود که ایران را به دستیابی به فناوری هسته‌ای تشویق کرد و قصد داشت راکتورهای هسته‌ای خود را به ایران صادر کند. اولین قرارداد راکتور تحقیقاتی ایران در سال ۱۳۳۹ با شرکت آمریکایی AMF امضا و این راکتور با ظرفیت ۵ مگاوات در دانشگاه تهران نصب شد. از آن سال تاکنون قراردادهای متفاوتی در زمینه همکاری مشترک، خدمات مشاوره‌ای، انتقال فناوری، تبادل متخصصین، راه‌اندازی مراکز تحقیق و توسعه، ساخت نیروگاه هسته‌ای، فراهم کردن ایمنی و امنیت سایت‌ها و همکاری در زمینه کاربرد پرتوها، با کشورهای آمریکا، آلمان، فرانسه، روسیه،

براساس پژوهش کواک<sup>۱</sup> و یون<sup>۲</sup> پنجره فرصت خارجی علاوه بر نهادهای اقتصادی و عواملی همچون یارانه R&D، واردات فناوری و تطبیق یافتن با فناوری وارد شده، از تغییر در «مشروعیت صنعت مربوطه در کشور پیشرفته» نیز به عنوان عاملی که جنبه جامعه‌شناختی دارد نشأت می‌گیرد. این تغییر در مشروعیت صنعت خارجی باعث می‌شود دسترسی دیرآمده‌ها به پایه‌دانشی<sup>۳</sup> خارجی تسهیل شود. همچنین پنجره فرصت داخلی از شرایط داخلی کشور دیرآمده حاصل می‌شود که می‌توان میان این شرایط و کارکردهای نظام نوآوری فناوریانه (غیر از اشاعه دانش) ارتباطاتی را مشاهده نمود [۳۰]. براین اساس یکی از مهم‌ترین عوامل فرارسی موفق، به نحوه عقد قرارداد و اجزای همکاری فناوریانه با کشور پیشرفته مربوط می‌شود. در فرآیند انتقال فناوری از شرکت دارنده فناوری<sup>۴</sup> CE به شرکت کره‌ای KEPCO باهدف ایجاد قابلیت درونی در شرکت کره‌ای و خوداتکاشدن فناوریانه، الزاماتی از چهار منظر «اسناد فناوریانه، کدهای طراحی کامپیوتری، لیسانس‌دهی به اختراعات، آموزش شغلی و مشارکت شغلی از طریق طراحی و توسعه مشترک» مورد توجه قرار گرفته است. برخی از این الزامات با هدف انتقال دانش صریح<sup>۵</sup> و نیز دانش چگونگی<sup>۶</sup> مهندسی CE بوده‌است

<sup>6</sup> Know-how

<sup>7</sup> KAERI

<sup>8</sup> Tacit knowledge

<sup>9</sup> Know-why

<sup>1</sup> Kwak

<sup>2</sup> Yoon

<sup>3</sup> Knowledge base

<sup>4</sup> Combustion Engineering

<sup>5</sup> Explicit knowledge

چین، هند و کانادا امضا شد که تنها تعداد اندکی از این پروژه‌ها به انتها رسیده است [۱۱]. علت عدم موفقیت این پروژه‌ها به نوسانات سیاسی داخل/خارج و تغییر عقاید سیاستگذاران مربوط می‌شود. در سال‌های ابتدایی انقلاب اسلامی، عزم جدی بر توسعه صنعت از طریق همکاری بین‌المللی وجود نداشت، از دهه ۱۳۷۰ اندیشه دستیابی به استقلال در فناوری هسته‌ای در شورای عالی انرژی و شورای امنیت ملی کشور مطرح شد. در آغاز برای پیاده‌سازی سیاست توسعه صنعت هسته‌ای، تلاش‌هایی جهت همکاری با برخی کشورهای خارجی در قالب خرید ماشین‌آلات و تجهیزات انجام شد ولی به دلیل فشار تحریم‌های خارجی کشورها تمایلی به تکمیل همکاری با ایران نشان ندادند [۲۸]. پروژه توسعه نیروگاه بومی متوسط IR-360 یکی از پروژه‌هایی است که عامل اصلی توقف آن تحریم بوده است. این پروژه با وجود پیشرفت ۵۷ درصدی و تکمیل طراحی مفهومی، پایه و تفصیلی توسط یکی از زیرمجموعه‌های شرکت مسنا با همکاری شرکت IPD سوئیس، با قطع یک‌جانبه همکاری از طرف شرکت خارجی مواجه شد. با این حال تلاش‌های ایران از طریق سرمایه‌گذاری بر تحقیق و توسعه داخلی و استفاده حداقلی از همکاری خارجی متوقف نشد و فرآیند ظرفیت‌سازی فناوریانه در سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۹۰ به صورت تصاعدی رشد نمود [۲۹]. با وجود تحریم‌های کشورهای غربی و آمریکا، براساس گزارش آژانس انرژی اتمی، ایران در سال ۲۰۱۰ رتبه دهم دستیابی به فناوری هسته‌ای در دنیا را به دست آورد [۱۱]. بازیگران اصلی نظام نوآوری صنعت هسته‌ای ایران شامل دولت، سازمان انرژی اتمی، دانشگاه‌ها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، شرکت‌های سازنده تجهیزات و قطعات هستند. علاوه بر بخش دولتی که مهم‌ترین کاربر صنعت هسته‌ای ایران است و به صورت خاص از نیروگاه هسته‌ای بوشهر و چرخه سوخت هسته‌ای استفاده می‌کند، بخش خصوصی نیز در زمینه تشخیص و درمان و همچنین استریل کردن ابزارهای پزشکی از این صنعت بهره‌مند می‌شود. با این حال استفاده بخش خصوصی از فناوری هسته‌ای به خصوص در زمینه پزشکی، کشاورزی، استفاده صنعتی از زیرکونیوم و دیگر حوزه‌ها در حال افزایش است. براساس قانون دستیابی به فناوری هسته‌ای (مصوب

سال ۱۳۸۷)، در اسناد بالادستی همچون سند چشم‌انداز توسعه اقتصادی و اجتماعی ۱۴۰۴، برنامه‌های پنج‌ساله چهارم، پنجم و ششم توسعه بر دستیابی به برق هسته‌ای از طریق جذب سرمایه لازم برای ساخت نیروگاه با بهره‌مندی حداکثری از امکانات داخلی، برنامه‌ریزی جهت تولید سوخت مورد نیاز نیروگاه‌ها، ایجاد راکتورهای تحقیقاتی برای تولید رادیوایزوتوپ‌های کشاورزی، پزشکی و صنعتی، ارزیابی منابع داخلی مواد رادیواکتیو (اورانیوم) و عناصر کمیاب مورد مصرف در صنعت هسته‌ای، انجام تحقیقات در زمینه گداخت هسته‌ای، مشارکت و همکاری علمی و تخصصی با کشورهای صاحب فناوری هسته‌ای در زمینه طراحی و ساخت نیروگاه‌های نسل جدید و موارد دیگری از این قبیل تاکید شده است. به طور کلی کاربردهای فناوری‌های هسته‌ای ایران در سه حوزه سیاسی، فناوریانه و تجاری است. در حوزه تجاری یکی از اهداف ایران از توسعه بخش هسته‌ای، صادرات محصولات آن به کشورهای خاورمیانه و آسیای مرکزی است. عدم موفقیت در این حوزه ناشی از دو دسته عامل اساسی (غیر از تحریم) است: دسته اول هماهنگی ضعیف میان فعالیت‌های بازیگران اصلی صنعت است که به طور خاص خود را در پراکندگی فعالیت‌های R&D هسته‌ای در کشور نشان می‌دهد که سعی شده با ایجاد و نقش‌آفرینی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای میان بخش‌های تحقیقاتی هماهنگی صورت گرفته و تحقیقات به سوی نیاز صنعت هدایت شود. دسته دوم چالش تشکیل بازار برای فناوری هسته‌ای و نیاز به توسعه نوآوری است [۱۱]. یکی از مراکزی که در سال‌های اخیر با هدف حمایت از کسب‌وکارهای نوآورانه حوزه هسته‌ای تأسیس شده است مرکز نوآوری رسا است. با این حال هنوز دو چالش کلی مربوط به «هماهنگی درونی بازیگران» و «ارتباط با بازار و محیط بیرونی» نیازمند این است که به صورت دقیق‌تری تبیین و زیرمناج‌های آن مشخص شود تا بتوان راهکارهای سیاستی مناسب آن را ارائه نمود.

#### د) جمع‌بندی پیشینه پژوهش و استخراج الگوی اولیه

باتوجه به توضیحات ارائه شده درخصوص قابلیت‌سازی می‌توان میان ۳ مفهوم «نظام نوآوری»، «نظام حکمرانی» و «بازبودن» با مؤلفه‌های قابلیت‌های فناوریانه و اجتماعی ارتباط برقرار کرد. در صنایعی همچون هسته‌ای نقش طراحی پلتفرم

صنعت‌هسته‌ای ایران ملاحظه می‌شود که هرچند مرحله ابتدایی فرارسی در کشور ایران با واردات راکتور تحقیقاتی از آمریکا و راکتور توان از روسیه انجام شد، ولی به دلایلی همچون تحریم‌ها و مشکلات درونی، حداقل در ساخت راکتور مراحل بعدی طی نشد. به عبارت دیگر باوجود قابلیت‌های بسیار خوبی که در صنعت‌هسته‌ای ایران شکل گرفت، موانع درونی قابل توجه درخصوص «هماهنگی درون بخشی» و «توسعه بازار» علاوه بر عامل تحریم، مسیر فرارسی در این صنعت را مختل نمود [۱۱]. لذا در الگوی پیشنهادی برای صنعت‌هسته‌ای ایران بایستی به عامل بازار و تقاضا به‌عنوان محرکی اساسی توجه داشت. به عبارت دیگر تغییرات تقاضا چه داخلی و یا خارجی باشد در پویایی و تکامل صنعت نقش اساسی دارد و نیز می‌تواند به‌عنوان یک عامل کلیدی جهت تحریک نوآوری و شکل‌دهی به فعالیت‌های تولیدی به حساب بیاید. مالربا<sup>۲</sup> و مانی<sup>۳</sup> معتقدند که تقاضا (داخلی یا خارجی) نقشی کلیدی در فرارسی و یادگیری فناوریانه در هر بخش ایفاء می‌کند [۳۱]. هرچند تحریم‌های خارجی که علیه صنعت‌هسته‌ای ایران، به‌عنوان مانع در این زمینه عمل کرد، مجیدپور نشان‌داد رژیم تحریم‌ها در برخی صنایع CoPS منجر به تحریک انگیزش درونزا برای تلاش در راستای اکتساب فناوری در ایران شد. به عبارت دیگر این تحریم‌ها هر چند می‌تواند منجر به هزینه‌های اضافی برای کشور گیرنده دانش و فناوری شود، ولی نمی‌توان آن را مانع غیر قابل رفع توصیف نمود [۳]. به همین دلیل الگوی ارائه شده در شکل ۵ برای تطبیق با شرایط ایران نیازمند تغییر است تا ضمن فراهم نمودن دسترسی به بازار (ولو در حد کوچک‌تر) برای ایجاد انگیزه صادرات، مسیرهایی برای اکتساب فناوری در شرایط عدم امکان واردات رسمی پیشنهاد دهد. لذا در این مقاله با در نظر گرفتن موانع توسعه صنعت‌هسته‌ای ایران، ضمن بررسی چالش‌ها و اقدامات تجربه شده در کشورهای پیشرفته، سیاست‌های پیشنهادی برای فرارسی فناوریانه صنعت‌هسته‌ای استخراج و تبیین شد. جدول ۴ نشان‌دهنده موضوعات ۱۶ مقاله مرور شده است.

بومی در گذار از فرارسی به پسا فرارسی فناوریانه بسیار کلیدی است زیرا در این صنایع، یادگیری و انتقال فناوری بین کشورها، همچون دیگر صنایع عادی سازی<sup>۱</sup> نشده است. از مرور مفاهیم فرارسی فناوریانه و تجربه کره و دیگر کشورهای موفق در توسعه صنعت‌هسته‌ای، دو نکته اساسی قابل برداشت است:

راهبرد شرکت‌ها و سیاست‌های دربرگیرنده صنعت در تغییر توسعه محصول و موفقیت بازار ابتدا منجر به رشد هزینه‌های R&D و سپس رشد قابلیت‌های فناوریانه و در نهایت فرارسی بازار می‌شود. تجربیات مربوط به مشارکت بخش خصوصی در صنعت‌هسته‌ای و سیاست‌های تسهیل نوآوری از طرف تقاضا که به موفقیت‌هایی نیز دست‌یافته است بر اهمیت مؤلفه «بازار» تأکید می‌کند [۲۹]. در شرکت‌های هسته‌ای موفق ابتدا تضمین دسترسی به بازار با مشارکت بخش خصوصی رخ داده و نتیجه این اطمینان از بازار، رشد قابلیت‌های فناوریانه و فرارسی فناوریانه بوده است [۹]. علاوه بر آن در شرایطی که صنعت در شرایط ورود به مرحله پسا فرارسی بوده و به قابلیت‌های لازم دست‌یافته باشد، محرک اصلی توسعه فناوریانه، مؤلفه «بازار» است، نه میزان هزینه‌کرد تحقیق و توسعه. شکل ۵ الگوی مفهومی این پژوهش را بر مبنای مرور ادبیات انجام شده نشان می‌دهد که طبق آن، قبل از اینکه قابلیت‌های فناوریانه صنعت به حد قابل رقابت در دنیا برسد، مسیر فرارسی فناوریانه از طریق سیاست‌گذاری‌ها در حوزه تحقیق و توسعه، تقلید و همکاری با کشورهای پیشرو و پس از آن توسعه قابلیت‌های فناوریانه طی می‌شود. اما برای گذار به پسا فرارسی، مؤلفه کلیدی «دسترسی به بازار» مورد نیاز است. در واقع بر مبنای طرح پلتفرمی که به طور بومی توسعه یافته، و در کنار شکل‌گیری نهادهای منسجم در این حوزه، امکان پیشی گرفتن از کشورهای رقیب در جلب نظر بازار جهانی محقق خواهد شد. الگوی شکل ۵ به‌عنوان جمع‌بندی مرور پیشینه پژوهش ارائه شد و در ادامه ضمن بهره‌گرفتن از این الگوی مفهومی فرارسی، بایستی محتوای مرتبط جمع‌آوری و تحلیل شود تا در نهایت الگوی پیشنهادی مناسب برای فرارسی در صنعت‌هسته‌ای ایران ارائه شود. از مقایسه مراحل فرارسی صنعت‌هسته‌ای کره با وضعیت

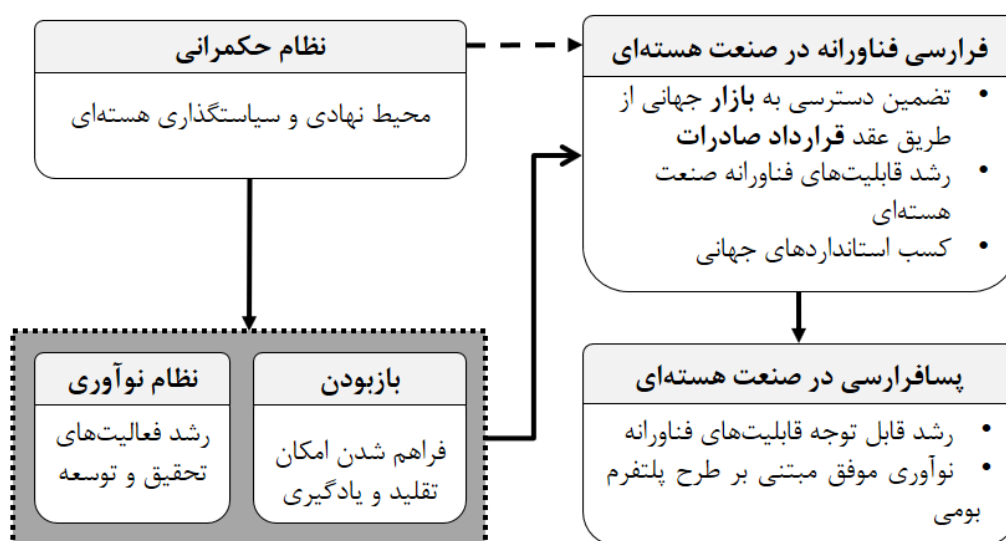
<sup>2</sup> Malerba  
<sup>3</sup> Mani

<sup>1</sup> Routinize

#### ۴- یافته‌های پژوهش

صنعت هسته‌ای (در دنیا) تقسیم شد. پس از آن در بخش دوم یافته‌ها، نتایج بدست‌آمده از تحلیل مضمون در اختیار گروهی از خبرگان قرار گرفت. مشخصات این افراد شرکت‌کننده در **جدول** ذکر شد. هدف از برگزاری پنل خبرگان، اعتبارسنجی یافته‌های پژوهش در هر دو زمینه چالش‌های صنعت هسته‌ای و سیاست‌ها و راهکارهای پیشنهادی متناسب با شرایط خاص صنعت هسته‌ای ایران بود. با توجه به آشنایی شرکت‌کنندگان با مفاهیم سیاست‌گذاری و مدیریت فناوری، تبادل اطلاعات بین آنها منجر به همگرایی نسبی و اتفاق نظر شد.

یافته‌های پژوهش در دو بخش «نتایج تحلیل مضمون» و «اعتبارسنجی و ویرایش نتایج براساس نظر خبرگان» ارائه شده‌است. در بخش اول مقالاتی که با روش مرور نظام‌مند انتخاب شده و دسته‌بندی شده‌اند، تحلیل مضمون شده و مضامین پایه (کدها)، مضامین سازمان‌دهنده و مضامین فراگیر آن‌ها مشخص می‌شود. این مضامین به دو دسته کلی «چالش‌ها و موانع توسعه صنعت هسته‌ای (در دنیا)» و «اقدامات سیاستی و راهکارهای توسعه نوآوری و فرارسی در



شکل ۵) الگوی مفهومی فرارسی و پسا فرارسی در صنعت هسته‌ای (اقتباس از [۱۰]، [۱۷]، [۱۹]، [۲۹])

جدول ۲) نتایج اولیه مرور نظام‌مند پیشینه موضوع

موضوع	مقاله	مهم‌ترین مفاهیم و عبارات موجود در جمع‌بندی مقالات
مسیر فرارسی فناوری صنعت هسته‌ای	[۶]، [۷]، [۱۰]، [۳۳]	به دلیل موقع داخلی و خارجی خاص این صنعت مسیر ۳ مرحله‌ای معمول فرارسی فناوری به شکل دیگری طی می‌شود. کره در ابتدا با تقلید از فناوری خارجی، به اثبات قابلیت‌های فناوری پخته پرداخت و مرحله جذب فناوری و مرحله تطبیق به صورت همزمان طی شد.
موقع و چالش‌های نوآوری در صنعت هسته‌ای	[۳۴]	
اهمیت مسائل نهادی و فرهنگی در فرارسی فناوری صنعت هسته‌ای	[۳۵]	
وضعیت نهادهای حمایت از نوآوری هسته‌ای	[۹]، [۱۱]، [۲۳]، [۲۵]، [۲۶]، [۳۶]	یکپارچگی نهاد حمایتی و حملت‌های مبتنی بر ارزیابی‌های پیش‌نگر به جای پس‌نگر ورود شرکت‌های نوپا به صنعت را تسهیل می‌کند. ترویج عمومی مزایای صنعت هسته‌ای برای این کار لازم است.
مشارکت بخش خصوصی در توسعه صنعت هسته‌ای و نوآوری در آن	[۲۸]	
سیاست‌های حقوق مالکیت فکری در صنعت هسته‌ای	[۳۷]	
انتقال فناوری در صنعت هسته‌ای		

## ۴-۱ تحلیل مضمون و ارائه یافته‌های اولیه

در فرآیند تحلیل مضمون با بررسی متن مقالات و استخراج عناوین و مفاهیم، سه دسته مضامین پایه، سازمان‌دهنده و عالی تولید می‌شود. از ذکر مضامین پایه (کدها) به جهت اختصار خودداری شد. برای پاسخ به سؤالات پژوهش مضامین مرتبط با «موانع و چالش‌ها» و «اقدامات سیاستی» فرارسی استخراج و در هفت مضمون سازمان‌دهنده دسته‌بندی شد. این مضامین در ادامه مطابق جدول ۵ در سه مضمون فراگیر (مولفه برون‌زا) جهت فرارسی در صنعت هسته‌ای شامل «نظام نوآوری»، «نظام حکمرانی» و «بازبودن» قرار گرفت. جدول ۶ نیز براساس تحلیل مضمون اقدامات سیاستی انجام شده در کشورهای مختلف و راهکارهای توسعه نوآوری و فرارسی فناوری در صنعت هسته‌ای بدست آمد.

جمع‌بندی چالش‌ها و راهکارهای توسعه صنعت در دنیا در شکل ۳ ارائه شد. این موارد برآمده از پیشینه است و باید با نظر خبرگان برای تطبیق با شرایط ایران اعتبارسنجی شود. باتوجه به اینکه «بازبودن» برای ابزارهایی است که مرتبط با دستگاه سیاست خارجی کشور است و زمینه‌های توسعه و پیشرفت فناوری را فراهم می‌آورد اطلاق می‌شود از اصطلاح «دیپلماسی فناوری» [۳۸] به جای آن استفاده خواهد شد.

## ۴-۲ اعتبارسنجی و تطبیق‌دهی یافته‌های اولیه با شرایط

## بومی ایران در پنل خبرگان

با ارائه یافته‌های اولیه به خبرگان و دریافت نظرات ایشان، موانع اساسی نظام نوآوری صنعت هسته‌ای ایران مطابق جدول ۷ ذیل دو عنوان «هماهنگی درونی بازیگران» و «ارتباط با بازار و محیط بیرونی» دسته‌بندی شد.

جدول ۳) موانع و چالش‌های توسعه نوآوری و فرارسی فناوری در صنعت هسته‌ای (نتایج تحلیل مضمون)

ردیف	مضامین سازمان‌دهنده	توضیح مصداقی	مضامین فراگیر
۱	پپیچیدگی برنامه‌ریزی و افزایش تصاعدی هزینه‌ها با طولانی شدن فرآیند آن	باتوجه به بلندمدت بودن این پروژه‌ها بخش دولتی به دلیل ناپایداری‌های سیاسی به سختی می‌تواند حمایت‌ها را حفظ کند. از سوی دیگر حتی اگر در ابتدا بخش خصوصی نیز مشارکت کند ممکن است با گذر زمان و ورود به «دره مرگ» افزایش هزینه‌ها و نیازهای سرمایه‌گذاری ادامه حمایت ممکن نباشد [۲۴].	نظام حکمرانی
۲	ضعف نهادهای تنظیم‌گر	عمدتاً قانونگذاران کشورها مروج توسعه فناوری هسته‌ای نیستند. چراکه آن‌ها معمولاً صنایعی را که به بلوغ رسیده‌اند و چالش‌های کمتری دارند مورد حمایت سیاستی قرار می‌دهند [۹].	نظام حکمرانی
۳	دشواری انتقال فناوری بین‌المللی	نیاز به راکتور تحقیقاتی، ابزار دقیق و تجهیزات خاص از سویی، و مجتمع نبودن همه امکانات در یک کشور از سوی دیگر باعث می‌شود کشورها به استفاده از ظرفیت‌های بین‌المللی بپردازند. حال آن‌که مجوزها و پادمانی بین‌المللی مورد نیاز و عدم تمایل انتقال فناوری توسط کشورهای پیشرفته به‌عنوان مانعی اساسی عمل می‌کند. عدم انتقال فناوری‌های اصلی و کلیدی همچون RCP (پمپ خنک‌سازی راکتور) توسط شرکت WEC (شرکت آمریکایی) به کره یکی از مثال‌های این موضوع است. محدودیت‌های مربوطه به برنامه هسته‌ای ایران، ژاپن، برزیل و دیگر کشورها و همچنین تلاش‌هایی که شرکت AREVA فرانسوی در تضعیف شرکت کره‌ای انجام داد نیز مصداقی از نوع دیگر این چالش‌هاست [۶].	بازبودن
۴	محدودیت توسعه درون‌زا به دلیل وابستگی فراوان به انباشت قابلیت‌های فناوری و دانشی	کشورهایی که مسیر توسعه صنعت هسته‌ای را طی کرده‌اند در زمینه جلوگیری از انتشار آن به دیگر کشورها یکسان عمل می‌کنند. از سوی دیگر رهبران ساخت نیروگاه در دنیا صادرات نیروگاه‌های هسته‌ای را با قیمت‌هایی ارزان‌تر از کشورهای درحال توسعه انجام می‌دهند که این موضوع مزیت تجاری آن را برای کشورهای درحال فرارسی کمرنگ می‌کند [۶].	نظام نوآوری
۵	مدیریت سنتی بودجه‌های تحقیقاتی	مانع اصلی نوآوری کمبود بودجه تحقیقاتی نیست. بلکه عدم وجود توانایی تمرکز نتایج این تحقیقات به سمت کاربرد بازاری است [۲۴]. برای مثال برخی نهادهای سنتی همچون Nuclear Regulatory Commission (NRC) در آمریکا تعیین مجوز، دستورالعمل و الزامات مربوط به راکتور آب سبک را به خوبی مدیریت می‌کنند، ولی به دلیل نگاه سنتی و اعمال الزامات سخت‌گیرانه قدیمی نمی‌توانند پاسخگوی نیازهای حمایتی راکتورهای پیشرفته و جدید باشند. این موضوع باعث خروج برخی شرکت‌ها از آمریکا شده است [۹].	نظام حکمرانی
۶	چالش‌های شبکه بازیگران	تقسیم نامشخص نقش‌ها بین شرکت‌های درون صنعت و وجود موازی‌کاری و تعارض میان آن‌ها باعث دشواری مدیریت این صنعت می‌گردد [۶].	نظام حکمرانی
۷	پپیچیدگی فناوری	ماهیت پیچیده فناوری‌های این صنعت باعث می‌شود کشورها نتوانند تجربیات موفق مدیریت دیگر صنایع را به صنعت هسته‌ای منتقل کنند و مدیریت بخاطر وجود فناوری‌های متنوع و پیچیده دچار سردرگمی شود [۷].	نظام نوآوری

جدول ۴) نتایج تحلیل مضمون

ردیف	مضامین سازمان دهنده	توضیح مصداقی	کشورهای مربوطه	مضامین فراگیر
۱	پویایی سیاست گذاری و حمایت‌های بلندمدت	در برنامه‌های ۵ساله کره جنوبی، سیاست‌های علم و فناوری به روز رسانی می‌شود [۲۳]. دو بال اصلی موفقیت کره «تحقیق و توسعه بلند مدت در فاز فنی» و «عملکرد دولت کره در فاز مدیریتی» است [۱۰].	به‌روزرسانی برنامه‌ها در کره جنوبی، حمایت‌های متناسب با آخرین تحولات فناورانه توسط وزارت انرژی آمریکا	نظام حکمرانی
۲	یکپارچگی و ادغام نهادهای پژوهشی صنعت	برای رفع تعارض میان واحدهای مختلف صنعت، ادغام هوشمندانه آن‌ها و تفکیک وظایف هر یک لازم و ضروری است. تجربه تفکیک نقش‌های دو شرکت KEPCO و KHNP مثالی برای این موضوع است که توانست موفقیت فاز اصلی فرارسی فناورانه صنعت کره در دهه ۱۹۹۰ را تضمین کند [۷].	یکپارچه‌سازی نهادهای پژوهشی در بنیادهای ملی علوم در آمریکا، چین، کره، آلمان، سنگاپور، انجمن ارتقای علوم ژاپن، دفتر مشورتی هیات دولت انگلیس، بانک سرمایه‌گذاری فرانسه (BPI)، سازمان پژوهش‌های علمی هلند	نظام حکمرانی و بازبودن
۳	انتقال فناوری در فاز نخست فرارسی و ترکیب قابلیت‌های داخلی با تغییر معماری طرح غالب خارجی در فاز بعدی فرارسی	بررسی تجربه توسعه فناوری هسته‌ای در سه کشور چین، کره و فرانسه نشان می‌دهد فرآیند توسعه این صنعت پیچیده جز با انتقال فناوری از کشور دارنده به گیرنده آغاز نمی‌شود [۳۷]. این موضوع در کره با سیاست خودتکایی فناورانه همراه شد تا فعالان این صنعت به واردات فناوری عادت نکرده و به سمت توسعه قابلیت‌های درونی هدایت شوند [۶].	براساس تجربه توسعه فناوری هسته‌ای در کشورهای چین، کره و فرانسه	نظام حکمرانی و بازبودن
۴	استفاده از مکانیزم‌های همکاری بین‌المللی به خصوص کشورهای هم‌سطح	برای کاهش هزینه‌های صنعت و تجاری‌سازی خروجی‌های آن، یک کشور به تنهایی نمی‌تواند بر همه موانع پیروز شود چراکه سطح بلوغ فناوری در فناوری راکتور هسته‌ای در دنیا تعیین کننده هزینه‌های طراحی و توسعه زیرساخت‌های هسته‌ای است. هدف اصلی طرح بین‌المللی NI2050 نوآوری و بازارسازی برای این صنعت است [۲۴].	طیف وسیعی از کشورها در برنامه های همکاری بین‌المللی مشارکت دارند. برنامه NI2050 با همراهی ۳۳ کشور صورت می‌گیرد.	بازبودن
۵	صادرات محوری	طرح بلندپروازانه کره برای صادرات ۸۰ نیروگاه هسته‌ای و دستیابی به ۲۰ درصد از بازار انرژی هسته‌ای در جهان بر سیاست صادرات محوری و بهره‌مندی از مزایای تجاری صنعت هسته‌ای دلالت دارد [۶].	علاوه بر کره، شرکت وستینگهاوس آمریکا پس از تغییر رویکرد به اقتصادی، صادرات را محور قرار داد. کشورهای روسیه، چین، کانادا، ژاپن و فرانسه در صدر توسعه‌دهندگان راکتورهای ماژولار کوچک با هدف موفقیت در بازار آینده دنیا هستند.	بازبودن
۶	حمایت پیشینی به جای پسینی	طبق نقشه راه نوآوری هسته‌ای در آمریکا، کمیسیون تنظیم‌گری هسته‌ای کنگره، آزمایشگاه‌های ملی و مدیران فدرالی وزارت انرژی باید حمایت‌ها را از حمایت پسینی به حمایت پیش از انجام پروژه تغییر دهند [۹].	علاوه بر آمریکا در BPI فرانسه نیز حمایت‌های آینده‌نگر مبتنی بر ارزیابی پتانسیل شرکت‌ها و بدون نیاز به ضمانت ارائه می‌شود.	نظام نوآوری
۷	رفع موانع نوآوری در مدل کسب‌وکار	در سال‌های اخیر مدل کسب‌وکار برخی شرکت‌های هسته‌ای آمریکا به جای آنکه وابسته به بودجه دولتی باشد به سمت الگوی شرکت‌های دره سیلیکون رفته و تیم‌های کوچک ولی بین‌المللی فناوری را با هدف کسب پذیرش بازار توسعه می‌دهند [۹].	چند شرکت آمریکایی-چینی در هسته‌ای با الگوی مشابه شرکت‌های سیلیکون ولی فعالیت می‌کنند.	نظام نوآوری

امکانات زیرساختی محقق نخواهد شد. به عبارت دیگر مواردی همچون اصلاح و ایجاد نهادهای اعتباری و مالی، نظام مجزدهی و حقوق مالکیت در کنار استفاده از ظرفیت‌های سیاست خارجی برای تسهیل سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، خرید و انتقال فناوری و دسترسی به بازار بین‌المللی، نقشی اساسی در توسعه نوآوری در صنعت هسته‌ای و فرارسی موفق با کشورهای پیشرفته ایفا می‌کند.

در ادامه مفاهیم و الزامات بیان شده در الگوی پیشنهادی که در مصاحبه با خبرگان بدست آمد، ذکر می‌شود:

از مقایسه مسیر فرارسی فناورانه در صنعت هسته‌ای کره و تجربیات توسعه صنعت در کشورهای پیشرو با ویژگی‌های صنعت هسته‌ای ایران در پنل خبرگان، مشخص شد صنعت هسته‌ای ایران برای عبور از دو ابرمانع یعنی «ضعف مدیریت و هماهنگی درونی» و «ضعف ارتباط صنعت با بازار و محیط خارجی» نیازمند ایجاد تغییراتی در نظام حکمرانی، دیپلماسی فناوری و نوآوری هسته‌ای است که در شکل ۷ ملاحظه می‌شود. پس فرارسی در این صنعت تنها با افزایش سرمایه‌گذاری بر آموزش تخصصی، تحقیق و توسعه و ایجاد

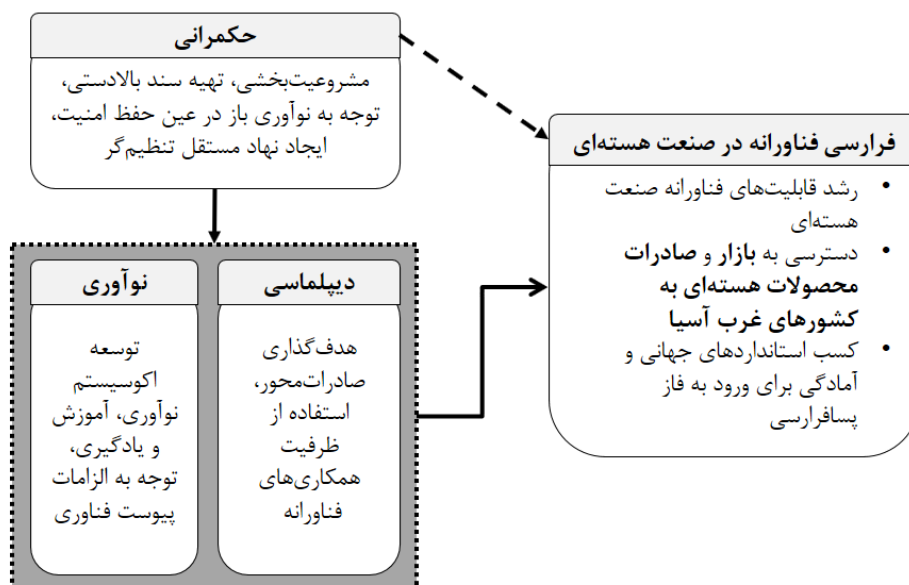




شکل ۳) جمع‌بندی چالش‌ها و راهکارهای پیش روی صنعت هسته‌ای در دنیا

جدول ۵) موانع اساسی نظام نوآوری صنعت هسته‌ای (نتایج پنل خبرگان)

مسائل و چالش‌های پیش روی شکل‌گیری نظام نوآوری صنعت هسته‌ای ایران	
ارتباط صنعت با بازار و محیط بیرونی	هماهنگی درونی بازیگران صنعت
<ul style="list-style-type: none"> <li>- وجود عدم اطمینان بالا و نوسانات سیاسی در مناسبات بین‌المللی و به تبع آن عدم تمایل شرکت‌های خارجی به عقد قرارداد بلندمدت همکاری فناوریانه</li> <li>- ضعف اطلاع‌رسانی نسبت به کاربردها، سرریزها و مزایای فناوریانه-اقتصادی صنعت به‌خصوص در حوزه‌های غیرانرژی و عدم آگاهی عمومی</li> <li>- ضعف در ارتباط بین‌المللی صنعت و عدم بهره‌مندی از مزایای همکاری‌های فناوریانه ذیل آژانس بین‌المللی انرژی اتمی</li> <li>- نبود نهاد سیاستگذار بالادستی جهت تنظیم روابط صنعت هسته‌ای با صنایع دیگر همچون انرژی، سلامت و کشاورزی</li> <li>- ضعف در ارتباط بازیگران صنعت با نهادهای تخصصی-صی دیگر کشور همچون پژوهشکده‌ها و شرکت‌های خصوصی</li> <li>- عدم تمایل برخی اجزای برون-سازمانی نظام نوآوری هسته‌ای (نهادهای تأمین مالی، پژوهشکده‌ها و شرکت‌ها) به مشارکت در پروژه‌های فناوریانه صنعت بدلیل احتمال تحریم خارجی</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- غلبه رویکرد سیاسی-امنیتی بر رویکرد فناوریانه-اقتصادی در صنعت و عدم تسهیل ورود شرکت‌های خصوصی</li> <li>- ضعف در انتشار فناوری‌های حوزه غیرانرژی (non-power)</li> <li>- عدم آشنایی بازیگران صنعت با مفاهیم مدیریت نوآوری و سیاستگذاری فناوری و به تبع آن ضعف در آینده‌نگاری فناوری و برنامه‌ریزی راهبردی</li> <li>- استفاده از فناوری‌ها و زیرساخت‌هایی که در انتهای چرخه عمر فناوری قرار دارند</li> <li>- بی‌ثباتی راهبری و وجود سیاست‌زدگی در عزل و نصب مدیران</li> <li>- ازهم‌گسیختگی ساختاری و وجود موازی‌کاری و تعارض میان شرکت‌ها و بخش‌های زیرمجموعه سازمان</li> <li>- کم‌توجهی به جذب و نگهداشت منابع انسانی متخصص و روند رو به گسترش مهاجرت کارکنان</li> <li>- وجود خلأ و شکاف در زنجیره ارزش از تأمین مواد اولیه و سوخت تا مراحل انتهایی و تجاری‌سازی</li> </ul>



شکل ۴) الگوی پیشنهادی توسعه یافته انباشت قابلیت‌های فناورانه و فرارسی در صنعت هسته‌ای ایران (نتیجه پژوهش)

هدف گسترش حمایت‌های پیشینی از طرح‌های نوآورانه پرهزینه و فناوری‌های درحال ظهور؛ ایجاد، تقویت و تسهیل سازوکارهای شتاب‌دهی و حمایت از کسب‌وکارهای نوآورانه در صنعت هسته‌ای (نوآوری)؛

- هدف‌گذاری صادرات محور: توسعه روابط فناورانه با کشورهای همسایه و دیگر کشورها تا حد ممکن، با تمرکز بر بسترسازی عقد قراردادهای صادرات محصولات فناوری هسته‌ای (دیپلماسی)؛
- استفاده از ظرفیت همکاری‌های فناورانه بین‌المللی: استفاده از ظرفیت‌های همکاری فناورانه آژانس انرژی اتمی همچون برنامه‌های INPRO, NI2050 و... و توسعه روابط علمی و تحقیقاتی با آزمایشگاه‌های هسته‌ای، دانشگاه‌ها و اندیشکده‌های مرتبط در دنیا توسط پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای (دیپلماسی)؛
- توجه به الزامات پیوست فناوری: الزام بنگاه‌های خارجی فعال در کشور (درحال حاضر تنها شرکت روس‌اتم در بوشهر) به همکاری در قالب شرکت‌های سرمایه‌گذاری مشترک و عقد قراردادهای R&D مشترک با شرکت‌های داخلی با هدف تطبیق و یادگیری فناورانه براساس ابلاغیه پیوست فناوری (نوآوری)؛

#### ۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش باهدف شناسایی چالش‌های توسعه صنعت هسته‌ای ایران و ارائه الزامات پیشنهادی سیاستی برای

مشروعیت بخشی: ایجاد مقبولیت عمومی و مشروعیت بخشی درخصوص سرریزها و مزایای فناورانه-اقتصادی صنعت هسته‌ای به‌خصوص درمیان شرکت‌های دانش‌بنیان؛

- تهیه سند بالادستی: تدوین سند و نقشه‌راه صنعت هسته‌ای و تعیین اهداف و سیاست‌های کلان براساس آینده‌نگاری فناورانه (حکمرانی)؛
- توجه به نوآوری باز در عین حفظ امنیت: تفکیک ملاحظات ایمنی، امنیتی و حفاظتی بخش‌های انرژی (power) و غیرانرژی (non-power) صنعت هسته‌ای، جذب نوآوران و تشویق ورود بخش خصوصی و شرکت‌های دانش‌بنیان به حوزه غیرانرژی (حکمرانی)؛
- ایجاد نهاد مستقل تنظیم‌گر: یکپارچگی میان نهادهای مختلف سیاستگذار درحوزه توسعه صنعت با ایجاد یک مجموعه تنظیم‌گر مستقل از سازمان به‌منظور ایجاد هماهنگی میان بخش دانشگاهی، شرکت‌های دانش‌بنیان، نظام ایمنی و سازمان و تخصیص بودجه حول پروژه‌های اولویت‌دار (حکمرانی).
- آموزش و یادگیری: ارائه آموزش‌های لازم به بازیگران کلیدی صنعت درخصوص مدیریت نوآوری و سیاستگذاری فناوری (نوآوری)؛
- توسعه بوم‌سازگان نوآوری: توجه به چابک‌سازی و هوشمندی فناورانه در انتخاب ایده‌ها و تأسیس صندوق‌های اعتباری و سرمایه‌گذاری‌های ریسک‌پذیر با

در این پژوهش دو محدودیت (۱) عدم دسترسی به داده‌های هسته‌ای ایران و (۲) کم‌بودن تعداد تجارب کامل و موفق جهانی وجود داشت. برای پژوهش‌های آتی: (۱) «تحلیل الزامات و جوانب پروژه‌های همکاری فناوریانه در آژانس بین‌المللی انرژی اتمی برای ایران»، (۲) «ارزیابی قابلیت‌های صنعت در توسعه صادرات رادیوداروها و دیگر محصولات حوزه غیر از انرژی (non-power) به کشورهای منطقه غرب آسیا» و (۳) «تحلیل نظام نوآوری صنعت هسته‌ای با تمرکز بر کارکردهای هدایت پژوهش، انتقال دانش و توسعه بازار» توصیه می‌شود.

### تعارض منافع

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

### References

- [1] Fagerberg, J., & Godinho, M. M. (2006, January 19). *Innovation and Catching-Up*. The Oxford Handbook of Innovation. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199286805.003.0019>
- [2] Odagiri, H., Goto, A., Sunami, A., & Nelson, R. R. (Eds.). (2012). *Intellectual Property Rights, Development, and Catch Up: An International Comparative Study*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199574759.001.0001>
- [3] Majidpour, M. (2017). International technology transfer and the dynamics of complementarity: A new approach. *Technological Forecasting and Social Change*, doi:10.1016/j.techfore.2016.03.004
- [4] Hwang, H. R., & Choung, J. Y. (2013). Towards an innovation policy in the post catch-up era. *Asian Journal of Innovation and Policy*, 2(1), 1-19.
- [5] S. Choi, J. Lee, and H.-W. Park, "A Comparative Study of Sustainable Transition from Catch-up to Post Catch-up of South Korea and China," *Sustainability*, 12(11), p. 4751, 2020, doi:10.3390/su12114751
- [6] Son, C., & Choung, J.-Y. (2014). Platform design and imitative innovation inside the transition black-box: Korean nuclear power plant APR1400 case. *Asian Journal of Technology Innovation*, 22(1), 67-85. doi:10.1080/19761597.2014.905230
- [7] Choung, J.-Y., & Hwang, H.-R. (2019). Institutional capabilities and technology upgrading: The case of the nuclear industry in Korea. *Technological Forecasting and Social Change*, 145, 284-294. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.06.028>
- [8] IAEA. (2017). *Industrial Applications of Nuclear Energy* (IAEA Nuclear Energy Series). International Atomic Energy Agency.

فرارسی این صنعت با کشورهای پیشرو، به بررسی تجربیات کشورهای مختلفی همچون کره، آمریکا، روسیه، کانادا، انگلیس، برزیل، آلمان و فرانسه در توسعه نوآوری پرداخته شد. تجربه کره به دلیل دسترسی کامل به اطلاعات آن به عنوان مطالعه پایه در نظر گرفته شد. این بررسی نشان داد با وجود رشد پژوهش‌ها، هنوز الگویی برای نحوه تأمین مالی، طراحی و کسب ارزش از راکتورهای و موارد مشابه در دست نیست. به منظور تبیین بهتر چالش‌ها و راهکارهای استفاده شده در دنیا با توجه به الگوی مفهومی پژوهش و تحلیل مضمون صورت گرفته، مکانیزم انباشت قابلیت‌های فناوریانه و اجتماعی به عنوان مهمترین عوامل موثر در الگو، ذیل مؤلفه‌های «نظام نوآوری»، «بازبودن» و «نظام حکمرانی» دسته‌بندی و با نظر خبرگان تدقیق شد. نتایج نشان داد هرچند تحریم‌های خارجی موانعی برای انتقال فناوری ایجاد کرده، اما خودتحریمی و به کارگیری حکمرانی بسته در این صنعت، مانع اصلی فرارسی است. از سوی دیگر مشابه بسیاری از دیگر صنایع ایرانی، عدم توجه به بازاریابی بین‌المللی (از طریق برگزاری نمایشگاه با هدف جذب مشتری بخصوص کشورهای همسایه) باعث شده، عمده‌ترین راه تأمین منابع مالی از بودجه عمومی کشور باشد. این درحالی است فناوری‌های هسته‌ای صنعتی جذاب و دارای رشد بازار در دنیا است. ضمناً عدم انسجام نهادی و نبود سیاستگذاری و برنامه‌ریزی یکپارچه نیز عامل مهم بعدی است. تجربه جهانی، سیاست‌گذاری صادرات محور در کنار انتقال فناوری از طریق همکاری فناوریانه نیز بسیار مهم تشخیص داده شد. از آنجاکه فرارسی فناوریانه در صنعت به صورت یک فرآیند است و الگوی پیشنهادی تنها مولفه‌ها و تقدم و تأخر آن را نشان می‌دهد، باید نقشه راه جامع توسعه صنعت با نگاهی آینده‌نگر تدوین شود. موانع و چالش‌های استخراج شده در پژوهش حاضر تأییدکننده دو مانع اساسی ذکر شده در پژوهش سلطانی و شاوردی [۱۱] است؛ با این تفاوت که در این پژوهش به تفصیل انواع چالش‌ها ذکر شد. همچنین عوامل مؤثر بر توسعه درون‌زای صنعت هسته‌ای در تحقیق فرهادی و سرآبادانی [۳۲] نیز مطالعه حاضر را تأیید می‌کند. با این حال مقاله حاضر تنها پژوهشی است که از منظر نظریه فرارسی فناوریانه به اکتشاف چالش‌ها و راهکارهای توسعه صنعت هسته‌ای در ایران پرداخته است.

*Development*, 23(7), 1171–1193. doi:10.1016/0305-750x(95)00035-b

[24] CPDI.(2012). *Capacities and capabilities of South Korea science and technology*. Center for Progress and Development of Iran. international.ut.ac.ir

[25] D. Magwood, W.(2018). *Nuclear Innovation 2050*. International Atomic Energy Agency. [https://www.oecd-nea.org/ndd/ni2050/ni2050\\_%20brochure.pdf](https://www.oecd-nea.org/ndd/ni2050/ni2050_%20brochure.pdf)

[26] Safdari, M., Eliasi, M., & Narimani, M.(2019b). *Experiences of Korea National Research Foundation(NRF)*. Vice-Presidency for Science and Technology Affairs. kr.re.nrf.w

[27] Safdari, M., Eliasi, M., & Narimani, M.(2019a). *Experiences of bpifrance*. Vice-Presidency for Science and Technology Affairs. kr.re.nrf.w

[28] Miremadi, T.(2013). The Role of the Analytical and Reflective Capacity in the Twin Processes of Technology Policy and Diplomacy: A Review of the Recent Development in the Process of Policy Making of Uranium Enrichment Technology in Iran. *Journal of Science and Technology Policy*, 6(2), 61–76. , doi: [20.1001.1.20080840.1392.6.2.5.8](https://doi.org/10.1001.1.20080840.1392.6.2.5.8) {in Persian}

[29] Braun, V., & Clarke, V.(2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>.

[30] Kwak, K., & Yoon, H. D. (2020). Unpacking transnational industry legitimacy dynamics, windows of opportunity, and latecomers' catch-up in complex product systems. *Research Policy*, 49(4), 103954. doi:10.1016/j.respol.2020.103954

[31] Malerba, F., & Mani, S.(Eds.).(2009). Sectoral systems of innovation and production in developing countries: actors, structure and evolution. Edward Elgar Publishing. doi:10.4337/9781849802185

[32] Farhadi, AH., & Sarabadani, A.(2022). Presenting a Pattern of Technology Endogenous Acquisition in the Nuclear Industry: Phenomenological Study. *Journal of Management Improvement*, 15(4), 39-67. Doi: 20.1001.1.22518991.1400.15.4.3.4

[33] Safdari Ranjbar, M., Alizadeh, P. & Elyasi, M(2020). Analyzing the Legal Capacity for Supporting Technological Learning and Catch-up in Iran: A Comparative Study with Successful International Experiences. *Journal of Improvement Management*, 14(3), 47-72. Doi: [10.22034/jmi.2020.117987](https://doi.org/10.22034/jmi.2020.117987)

[34] Lindberg, J. C. H.(2018). The nuclear cage: Path dependencies in fission and fusion innovation. *Nuc. Fut*, 14(4), 46–49.

[35] Niankara, I.(2020). Youths Interests in the Biosphere and Sensitivity to Nuclear Power Technology in the UAE: With Discussions on Open Innovation and Technological Convergence in Energy and Water Sectors. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 6(4), 180. doi:10.3390/joitmc6040180

[36] Nosova, S. S., Putilov, & Vorobev.(2014). Assessment of formation of innovation territorial-production clusters as a method of forecasting of nuclear energy-industrial complex development. *ResearchGate*. [https://www.researchgate.net/publication/294684673\\_](https://www.researchgate.net/publication/294684673_)

<https://www.iaea.org/publications/10979/industrial-applications-of-nuclear-energy>

[9] Lester, R. K.(2016). A roadmap for US nuclear energy innovation. *MIT University*.

[10] Lee, T. J., & Lee, Y.-J.(2016). Technological catching-up of nuclear power plant in Korea: The case of OPR1000. *Asian Journal of Innovation and Policy*, 5(1), 92–115. <https://doi.org/10.7545/ajip.2016.5.1.092>

[11] Soltani, B., & Shaverdi, M.(2013). Nuclear technology: Progress in the midst of severe sanctions. In *Science and Innovations in Iran*(pp. 159–183). Springer. [https://doi.org/10.1057/9781137030108\\_8](https://doi.org/10.1057/9781137030108_8)

[12] Saghafi, F., Mohaghar, A., Kashiha, M., Dastranj, N.(2020). Developing a Conceptual Model of Technological Post-Catch-Up(Case study: Oil Turbo Compressor Construction Company). *Strategy*, 29(2), 57-85, doi: [20.1001.1.10283102.1399.29.2.3.3](https://doi.org/10.1001.1.10283102.1399.29.2.3.3). {in Persian}

[13] Choung, J.(2006). In search of Post Catch-up Innovation Activities of Latecomer firms: The case of Korean ICT products. In 2006 SPRU 40th Anniversary Conference. SPRU.

[14] Raup, P. M., & Gerschenkron, A.(1963). Economic Backwardness in Historical Perspective. *Journal of Farm Economics*, 45(4), 901. <https://doi.org/10.2307/1235769>

[15] Abramovitz, M. (1986). Catching Up, Forging Ahead, and Falling Behind. *The Journal of Economic History*, 46(2), 385–406. JSTOR. <https://doi.org/10.1017/s0022050700046209>

[16] Safdari Ranjbar, M., Rahmanseresht, H., Manteghi, M., & Ghazi Noori, S. S.(2016). Factors Driving Latecomer Firms Technological Capability Acquiring and Building in Manufacturing Complex Product Systems: The Case of Oil Turbo Compressor Company(OTC). *Innovation Management*. [http://www.nowavari.ir/article\\_44426.html?lang=en](http://www.nowavari.ir/article_44426.html?lang=en)

[17] Lee, K., & Lim, C.(2001). Technological regimes, catching-up and leapfrogging: Findings from the Korean industries. *Research Policy*, 30(3), 459–483. doi:10.1016/s0048-7333(00)00088-3

[18] Kim, L.(2005). *Imitation to Innovation: The Dynamics of Korea's Technological Learning*. ACLS History E-Book Project. <https://books.google.com/books?id=CIFMAQAACAAJ>

[19] Fagerberg, J., & Srholec, M.(2008). National innovation systems, capabilities and economic development. *Research Policy*, 37(9), 1417–1435. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.06.003>

[20] Fakhimi, M., & Miremadi, I.(2022). The impact of technological and social capabilities on innovation performance: A technological catch-up perspective. *Technology in Society*, 68, 101890. doi:10.1016/j.techsoc.2022.101890

[21] Lee, K.(2019). *The art of economic catch-up: Barriers, detours and leapfrogging in innovation systems*. Cambridge University Press. doi:10.1017/9781108588232

[22] Majidpour, M(2016). “Technological catch-up in complex product systems,” *J. Eng. Technol. Manag.*, vol. 41, pp. 92–105. doi:10.1016/j.jengtecman.2016.07.003

[23] Hobday, M.(1995). East Asian latecomer firms: Learning the technology of electronics. *World*

*of Science and Technology Policy*, 10(3), 1-17,

[20.1001.1.20080840.1396.10.3.2.5](https://doi.org/10.1001.1.20080840.1396.10.3.2.5).{in Persian}

[39] Choung, J. (2006). In search of Post Catch-up Innovation Activities of Latecomer firms: The case of Korean ICT products. In 2006 SPRU 40th Anniversary Conference. SPRU.

[40] Yap, Xiao-Shan; Truffer, Bernhard (2019). Shaping selection environments for industrial catch-up and sustainability transitions: A systemic perspective on endogenizing windows of opportunity. *Research Policy*, Volume 48, Issue 4, 2019, pp. 849-857. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.10.002>

Assessment\_of\_formation\_of\_innovation\_territorial-production\_clusters\_as\_a\_method\_of\_forecasting\_of\_nuclear\_energy-industrial\_complex\_development

[37] Dudin, M. N., Frolova, E. E., Artemieva, J. A., Ivanovskaya, N. V., & Sitkareva, E. V.(2016). Transfer of innovation technologies as a factor of the world nuclear power industry development. *International Journal of Applied Business and Economic Research*, 14(9), 5723–5736.

[38] Hajari, M., Zolfagharzadeh, M.(2017). A Framework of Science and Technology Diplomacy Development Based on Fuzzy Delphi Method. *Journal*