Modeling Knowledge Flow in Catch-up of Countries in the Field of Solar Technologies Using Patent Metadata

Mahboubeh Nourizadeh[1], Ali Maleki[2*]

1. Ph.D. Candidate, Science and Technology Policy Making, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2. Faculty Member, Sharif Policy Research Institute (SPRI), Sharif University of Technology, Tehran, Iran.

*. Corresponding Author: a.maleki@sharif.edu

Received: 21, September 2021 Revised: 14, November 2021 Accepted: 11, December 2021

Abstract

Technological catch-up has become an important topic in studies of technology development in recent years. The common ground of all research is that the catch-up process depends directly on knowledge flow and accumulation of technological capabilities of countries. It is noteworthy that in most studies, there is a dual foreign-indigenous resources of knowledge, and there are very few studies that have examined the simultaneous and complementary role of these two types of knowledge in catch-up process. In this paper, through the case study of solar technologies, the role of knowledge flow was investigated. The choice of the case study is based on its strategic importance and its linear mode of innovation. This research was conducted using the method of citation analysis and on the metadata of Derwent database (1980-2017). The results showed that successful countries were initially able to increase absorption capacity by using foreign knowledge. They then, relied more on their indigenous knowledge and eventually, became a source of technological knowledge for other countries. In addition to acquiring foreign knowledge, successful countries were also able to develop it and create knowledge that is used by other countries, and thus play the crucial role of mediating agent in the knowledge diffusion.

Keywords: renewable energy, knowledge informal networks, technometrics, technology diffusion, Pajek software.

Citation: Nourizadeh, M., & Maleki, A.(2021). Modeling knowledge flow in catch-up of countries in the field of solar technologies using patent metadata. *Journal of Technology Development Management, 9*(3), 137-167. https://dx.doi.org/10.22104/jtdm.2021.1140

مدل‌سازی جریان دانش در فرارسی کشورها در حوزه فناوری‌های خورشیدی با استفاده از فراداده‌های پتنت

محبوبه نوری‌زاده[۱]، علی ملکی[۲*]

۱. دانشجوی دکتری، سیاست‌گذاری علم و فناوری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۲. عضو هیئت‌علمی، پژوهشکده سیاستگذاری شریف، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.
*. نویسنده مسئول: a.maleki@sharif.edu

دریافت: ۳۰ شهریور ۱۴۰۰ | بازنگری: ۲۳ آبان ۱۴۰۰ | پذیرش: ۲۰ آذر ۱۴۰۰

چکیده

فرارسی فناورانه در سال‌های اخیر به موضوع مهم در مطالعات مرتبط با توسعه فناوری تبدیل شده است. فصل مشترک همه پژوهش‌ها این است که فرارسی فناورانه ارتباط مستقیم با دانش و جریان آن و ایجاد ظرفیت و انباشت توانمندی‌های فناورانه دارد؛ اما موضوع قابل‌توجه این است که در بیشتر پژوهش‌ها، دوگانه دانش خارجی- دانش بومی وجود دارد و مطالعاتی که به بررسی نقش هم‌زمان و مکمل این دو نوع دانش در فرارسی پرداخته باشند، محدود است. در این پژوهش نقش جریان دانش در فرارسی حوزه فناوری‌های خورشیدی به‌دلیل اهمیت راهبردی این انرژی و همچنین ماهیت خطی‌بودن نوآوری در آن، بررسی شد. این پژوهش از نوع فن‌سنجی و با استفاده از تحلیل استنادی و بر روی فراداده‌های پایگاه پتنت دِرونت (۱۹۸۰ تا ۲۰۱۷) انجام شد. نتایج نشان داد که کشورهای موفق در ابتدا با استفاده از دانش خارجی، توانستند ظرفیت جذب خود را بالا ببرند. سپس این کشورها بیشتر به دانش درونی خود متکی و در نهایت علاوه‌بر تأمین دانش برای خود، به منبع دانش فناورانه برای سایر کشورها تبدیل شدند. همچنین کشورهای موفق توانستند در مسیر فرارسی علاوه‌بر اکتساب دانش خارجی، آن را توسعه داده و دانشی خلق کنند که مورداستفاده روزافزون سایر کشورها قرار گرفته و بدین ترتیب نقش واسطِ اصلی اشاعه دانش را پیدا کنند.

کلمات کلیدی: انرژی تجدیدپذیر، شبکه‌های غیررسمی دانش، فن‌سنجی، اشاعه فناوری، نرم‌افزار پاژک.

مقدمه

طی سالیان متمادی کشورها و مناطق توسعه‌یافته همچون آمریکا، اروپا و ژاپن در غالب صنایع و بخش‌های دارای فناوری بالا رهبران بازار بوده و به‌دلیل داشتن توانمندی‌های بالای فناورانه، به‌عنوان مالکان فناوری در جهان شناخته می‌شدند. ولیکن در دهه‌های اخیر اقتصادهای آسیایی مثل کره‌جنوبی، چین و تایوان شتابان به بهبود توانمندی‌های فناورانه‌شان پرداخته‌اند و آنان را پشت سر گذاشته‌اند (میاو[1] و همکاران، ۲۰۱۸). یکی از ابعاد مهم در فرارسی فناورانه، دانش و الگوهای جریان دانش و نقش آن در افزایش توانمندی فناورانه و ظرفیت جذب کشورهاست (بریتو[2] و همکاران، ۲۰۲۰؛ رزلیو و ملکی[3]، ۲۰۲۱)؛ لیکن کشورها و مناطق نقش‌های کاملاً متفاوتی در شبکه جریان دانش جهان ایفا می‌کنند. نوآورترین کشورها و مناطق (عمدتاً متشکل از کشورهای توسعه‌یافته) بیشتر دانش جدید و تأثیرگذار ایجاد می‌کنند و به‌دلیل سطح دانش مشابه آن‌ها که هسته اصلی شبکه بین‌المللی جریان دانش را تشکیل می‌دهند، بین آن‌ها تعاملات فراوان وجود دارد. سایر کشورهای کمتر نوآور عمدتاً دانش را از کشورهای پیشرو جذب می‌کنند. این کشورها، مناطق حاشیه‌ای شبکه جریان دانش را تشکیل می‌دهند. بااین‌حال، موقعیت دانشی کشورها و مناطق همیشه ثابت نیست. کشورهای حاشیه‌ای ممکن است با موفقیت به گروه مرکزی صعود کنند، درحالی‌که برخی از کشورهای مرکزی نیز ممکن است به گروه حاشیه‌ای تنزل یابند (چن و گوان[4]، ۲۰۱۶). مسئله‌ای که در اینجا مطرح است و در پژوهش‌ها کمتر بدان پرداخته شده این‌است که کشورها چگونه توانستند جایگاه خود را در شبکه جریان دانش ارتقا دهند و ازاین‌طریق به فرارسی دست یابند. همچنین در بیشتر مطالعات مرتبط با فرارسی فناورانه فارغ از صنعت و سطح تحلیل، دوگانه‌ای مطرح است مبنی بر اینکه کشورهای درحال‌توسعه تنها از طریق جذب و پذیرش دانش و فناوری از کشورهای پیشرو به پُرکردن و یا کاهش شکاف فناورانه خود می‌توانند دست یازند، درحالی‌که برخی مطالعات دیگر بر این عقیده‌اند که تنها راه فرارسی فناورانه کشورهای کمتر توسعه‌یافته، توسعه درون‌زای دانش و فناوری است و مطالعاتی که به بررسی نقش هم‌زمان و مکمل این دو نوع دانش در فرارسی فناورانه پرداخته باشند، بسیار محدود است و شکاف نظری نیز دراین‌باره در ادبیات وجود دارد.

1 . Miao
2 . Britto
3 . Rosiello & Maleki
4 . Chen & Guan

تلاش پژوهش حاضر بر این‌است تا این شکاف را در زمینه انرژی تجدیدپذیر خورشیدی مطالعه کند چرا که ازیک‌سو این صنعت ماهیتاً بین‌المللی است و طبق پیمان کیوتو کشورها برای کمک‌کردن و آسیب نزدن به خود و دیگران، الزام دارند به‌سمت انرژی‌های پاک‌تر حرکت کنند، بنابراین این موضوع از اهمیت فوق‌العاده زیادی برخوردار است. ازسوی دیگر الگوی نوآوری در این صنعت مبتنی بر مدل خطی یعنی علم← فناوری ← نوآوری است؛ لذا دانش و جریان دانش در توسعه آن بسیار حیاتی است (بینز[1] و همکاران، ۲۰۲۰). بدین‌منظور از فراداده‌های پتنت این حوزه استفاده شده است؛ زیرا پتنت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها به‌دلیل ارائه اطلاعات در ارتباط با پیشرفت‌های فناورانه جدید بوده و بسیاری از ابزارها و فنون برای اندازه‌گیری نوآوری‌های فناورانه بر تحلیل پتنت تمرکز یافته‌اند (چن و گوان، ۲۰۱۶). داده‌های استنادی پتنت به‌عنوان شاخص مهمی برای جریان دانش و خط سیرهای فناوری استفاده شده است و استناد به پتنت‌های قبلی نشان می‌دهد که دانش موجود در پتنت برای توسعه دانش جدید توصیف شده در پتنت مفید بوده است (ورسپاژن[2]، ۲۰۰۷). یکی از حوزه‌هایی که کشورهای درحال‌توسعه در فرارسی موفق بوده‌اند، انرژی‌های تجدیدپذیر است و ظهور پارادایم فناورانه-اقتصادی سبز یکی از بزرگ‌ترین فرصت‌های فناورانه و بازاری را پدید آورده (مازاکاتو و پرز[3]، ۲۰۱۵) و هم‌اکنون نیز اقدامات و فعالیت‌های بی‌شماری هم در بخش خصوصی و هم در سیاست‌های عمومی به‌خود اختصاص داده است (لاندینی[4] و همکاران، ۲۰۲۰).

به‌عنوان نکته حائز اهمیت این کار می‌توان گفت این پژوهش با تمرکز بر شبکه‌های غیررسمی جریان و اشاعه دانش فناورانه در حوزه انرژی خورشیدی و با استفاده از تحلیل استنادی پتنت، دیدگاه تکاملی به جایگاه کشورها در این شبکه و دوره‌های زمانی مختلف ارائه داده و ازطریق بررسی تغییر جایگاه کشورها از موقعیت پیرو و گیرنده محض فناوری به موقعیت پیشرو و منبع فناوری، بینش خوبی برای فهم چگونگی این فرارسی فراهم می‌کند. هدف از این مطالعه، پاسخ به این سؤال است که اساساً جریان دانش و تکامل آن در فرارسی فناورانه کشورها در حوزه فناوری‌های خورشیدی چگونه بوده است و چگونگی فرارسی کشورها را توضیح می‌دهد. بدین‌منظور سؤالات فرعی که در راستای سؤال اصلی مطرح می‌شوند عبارت‌اند از:

۱. جایگاه کشورها در شبکه از منظر جریان دانش در مسیر فرارسی فناورانه، چه تغییراتی داشته

1 . Binz
2 . Verspagen
3 . Mazzucato & Perez
4 . Landini

است؟

۲. چگونه تغییرات جایگاه کشورها در شبکه از منظر جریان دانش، فرارسی فناورانه کشورهای موفق را توضیح می‌دهد؟

پاسخ به این سؤالات می‌تواند به پژوهشگران و سیاست‌گذاران در فهمِ درست و صحیح پویایی‌ها و تغییرات کشورها از منظر تأثیرگذاری در تولید و اشاعه جریان دانش بین‌المللی در حوزه فناوری‌های خورشیدی کمک کرده و همچنین با شناسایی کشورهای موفق به فرارسی، سیاست‌های فناورانه آن‌ها در جهت افزایش ظرفیت جذب را مورد بررسی قرار داده و یادگیری سیاستی حاصل نماید.

در ادامه این پژوهش، مبانی نظری و پیشینه پژوهش، سپس روش‌شناسی پژوهش و شیوه جمع‌آوری و استخراج داده‌ها تشریح شده است. در بخش چهارم به تجزیه‌وتحلیل داده‌ها باتوجه‌به سؤالات پرداخته شده و در آخر نتایج پژوهش و پیشنهادها آمده است.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

نظریه فرارسی

طی سه دهه گذشته بسیاری از پژوهشگران، فرایندهای یادگیری موفقیت‌آمیز فناوری در صنعتی‌شدن کشورهای درحال‌توسعه را مورد بررسی قرار داده‌اند و معتقدند کشورهای متأخر در ابتدا فناوری‌ها را از کشورهای پیشرفته می‌آموزند و سپس توانایی‌های فناورانه خود را گام‌به‌گام ایجاد می‌کنند. در حقیقت داستان یادگیری فناورانه نیز مربوط به نظریه فرارسی است که در ابتدا توسط گرشنکرون[1] (۱۹۶۲)، آبراموویتس[2] (۱۹۸۶)، پرز و سوئت[3] (۱۹۸۸) ارائه شد و بعداً توسط هابدی[4] (۱۹۹۵)، کیم[5] (۱۹۹۷)، لی[6] و لیم (۲۰۰۱)، کیم و همکاران (۲۰۰۴) و لی و همکاران (۲۰۰۵) دقیق‌تر مطالعه شد (به‌نقل‌از لما[7] و همکاران، ۲۰۲۰). پس از آن متغیرهای مؤثر بر رخداد فرارسی در مطالعات و سطوح مختلف بررسی شد. در سطح ملی نیز متغیرهای مؤثر نظیر چرخه عمر حوزه فناوری، بومی‌سازی دانش، انباشت

1 . Gerschekron
2 . Abramovits
3 . Perez & Sweat
4 . Hobday
5 . Kim
6 . Lee
7 . Lema

توانایی‌های فناورانه و نوآورانه در مجموعه‌ی بنگاه‌های کشور، ویژگی‌های پایه دانشی و امکان حفاظت از نوآوری‌ها (برشی[1] و همکاران، ۲۰۰۰)، انباشت اولیه دانش مجموعه‌ی بنگاه‌های کشور در حوزه‌های فناوری، دسترسی به دانش خارجی، عدم‌قطعیت در مسیر توسعه حوزه‌های فناوری و چرخه عمر نسبی حوزه‌های فناوری (لی، ۲۰۱۳) بررسی و شناسایی شد. نکته‌ای که باید برای تحلیل بدان توجه کرد، لزوم درک تفاوت بین دو مفهوم فرارسی بازار[2] و فرارسی فناورانه است. فرارسی بازار، به دستیابی به افزایش سهم بازار ملی و بین‌المللی اشاره دارد که در بخش انرژی تجدیدپذیر می‌تواند به‌عنوان سهم ظرفیت تولید انرژی (مگاوات) اندازه‌گیری شود. فرارسی فناورانه به‌عنوان تقویت توانایی‌های فناورانه نسبت به رقبا و کاهش فاصله فناورانه با آن‌ها تعریف می‌شود. فرارسی فناورانه می‌تواند براساس اطلاعات کمّی (به‌عنوان مثال تعداد و کیفیت پتنت) یا ارزیابی کیفی «فاصله» تا مرز دانش جهانی در یک بخش مشخص اندازه‌گیری شود (بینز و همکاران، ۲۰۲۰).

نقش دانش در اختراع و فرارسی فناورانه

اختراعات و نوآوری‌های فناورانه معمولاً توسط فعالیت‌های حل مسئله که سعی در یکپارچه‌سازی دانش‌های مختلف دارند، توسعه‌یافته و همان حوزه و یا حوزه‌های مختلف فناوری را ادغام کرده و از ویژگی تجمعی دانش بهره می‌برد. ازسوی‌دیگر، دانش و فناوری دیگر محدود به مرزهای جغرافیایی نیست. کشورها برای ارتقای خود در مسیر توسعه فناوری، لازم است از دارایی‌های دانشی پراکنده بین‌المللی بهره‌برداری کرده (یانگ[3] و همکاران، ۲۰۲۱) و در این مسیر ابتدا ازطریق یادگیری تقلیدی و همچنین افزایش جذب دانش خارجی از نظر فنی پیشرفت کرده و به فرارسی با کشورهای پیشرو بپردازند (بریتو و همکاران، ۲۰۲۱).

همچنین همان‌طور که در بخش مقدمه ذکر شد، یکی از عوامل مؤثر بر فرارسی فناورانه کشورها، بالابردن ظرفیت جذب و تقویت قابلیت‌های فناورانه است و بخشی از ادبیات فرارسی به بررسی اهمیت جریان دانش و سرریزهای دانشی در فرارسی کشورها پرداخته‌است (مازولنی و نلسون[4]، ۲۰۰۷). اساساً، فرایندهای فرارسی به انباشت توانمندی‌های فناورانه و افزایش ظرفیت برای جذب دانش تولید شده توسط رهبران فناوری نیاز جدی دارند و کشورهای درگیر در فرایند فرارسی باتوجه‌به کمبود نسبی

1 . Breschi
2 . Market catch-up
3 . Young
4 . Mazolny & Nelson

صلاحیت‌های فناورانه‌شـــان، می‌بایست ظرفیت خود را برای جذب دانش از حوزه‌های مختلف فناوری افزایش دهند (بریتو و همکاران، ۲۰۲۰)؛ چراکه فرارسی به یکپارچه‌سازی مجموعه‌ای پیچیده از دانش تولیدشـــده در داخل و خارج از مرزهای ملّی برای افزایش شایستگی‌ها و قابلیت‌های فناورانه ملّی نیاز دارد (لی، ۲۰۱۳). کشـــورها و مناطق در جریان دانش جهانی نقش‌های مختلفی دارند و عمدتاً دانش جدید و تأثیرگذار توسط کشورهای پیشرفته که رهبران فناوری هستند، ایجاد شده و سپس به‌تدریج توسط سایر کشورها جریان‌یافته و جذب می‌شوند (هو و جف[1]، ۲۰۰۳). کشورهای کمتر نوآور، دانش را عمدتاً از کشـــورها و مناطق اصلی جذب کرده و بخش‌های حاشـــیه‌ای شبکه جهانی جریان دانش بین‌المللی را تشـــکیل می‌دهند (چن و گـــوان، ۲۰۱۶). همچنین یکپارچگی اقتصادهای جهانی باعث ایجاد تعامل بین کشورها شده و در نتیجه به دانش این امکان را می‌دهد تا با سرعت بیشتری از مرزها عبور کند؛ لذا کشورهای متأخر از مزایای اشاعه دانش بین‌المللی از کشورهای پیشرو برای بالارفتن از نردبان فناوری استفاده می‌کنند (هو و جف، ۲۰۰۳) و از طریق یادگیری تقلیدی و جذب دانش خارجی از نظر فنی پیشرفت می‌کنند (بریتو و همکاران، ۲۰۲۰).

استناد به پتنت به‌عنوان معیاری برای جریان دانش و افزایش ظرفیت جذب

برخی از پژوهشـــگران از استنادات پتنت به‌عنوان معیاری برای سنجش جریان دانش استفاده کرده‌اند (کروچـــر و همکاران، ۲۰۲۱؛ بریتو و همـــکاران، ۲۰۲۰، ۲۰۲۱؛ یانگ و همکاران، ۲۰۲۱؛ آگریزکوف[2] و همکاران، ۲۰۱۹؛ منکوســـی[3]، ۲۰۰۸). به‌عنوان‌مثال منکوســـی (۲۰۰۸) موضوع ســـرریزهای دانش بین‌المللی و ظرفیت جذب را با استفاده از درخواست‌های پتنت اداره ثبت اختراع اروپا و استنادات آن‌ها از سال ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۳ بررسی کرده و به این نتیجه رسید که ظرفیت جذب، کشش نوآوری یک کشور در حال فرارسی را در برابر سرریزهای بین‌المللی افزایش می‌دهد. برخی از پژوهشگران بُعد جغرافیایی جریان دانش را مدنظر قرار داده و نمونه‌ای از پتنت‌های دانشـــگاهی، پتنت‌های شـــرکت‌های بزرگ و بنگاه‌های دیگر را گرفته و همه استنادات آن‌ها را شناسایی و دریافتند که هم پتنت استنادکننده[4] و هم پتنت استناد شونده[5] از لحاظ بُعد جغرافیایی به‌هم مشابهت و نزدیکی دارند (جف و همکاران، ۱۹۹۳).

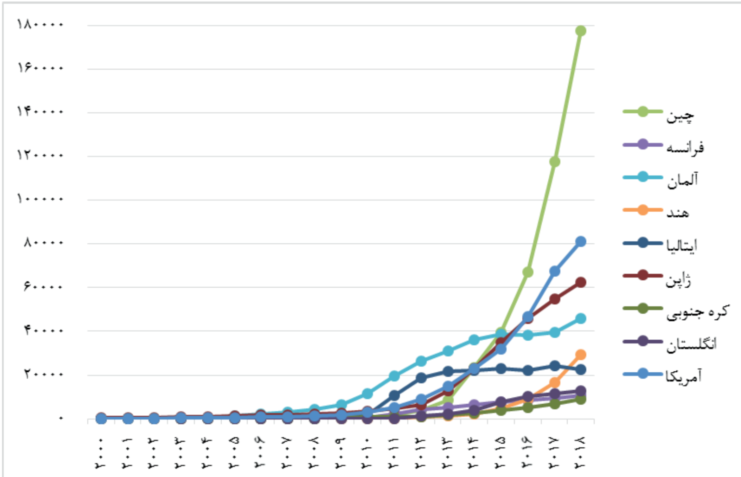
1 . Hu & Jaffe
2 . Agrizkov
3 . Mancusi
4 . Citing patent
5 . Cited patent

بعضی دیگر بُعد زمانی و ســرعت جریان دانش را مدنظر قرار دادند. باچیوچی و مونتوبیو[1] (۲۰۰۹) در بررسی جریان دانش از دانشگاه‌ها و سازمان‌های تحقیقات عمومی در مقایسه با جریان ثبت اختراعات شــرکتی دریافتند که فناوری موجود در پتنت از دانشگاه‌ها و سازمان‌های پژوهشی عمومی با سرعت بیشتری نسبت به شرکت‌ها منتشر می‌شود. برخی نیز استنادات را به عنوان پیوندهایی در شبکه‌های دانش یا نوآوری دانسته و از مفاهیم نظریه شبکه برای درک نحوه ساختار سیستم نوآوری و شکل‌گیری دانش اســتفاده کرده‌اند (لی و همکاران،۲۰۰۷؛ هونگ و وانگ[2]، ۲۰۱۰) و برخی مطالعات نیز از این روش در شبکه‌های استنادی پتنت برای ترسیم خط سیر فناوری استفاده کرده‌اند (ورسپاژن، ۲۰۰۷؛ فونتانا[3] و همکاران، ۲۰۰۹).

فرارسی در انرژی خورشیدی

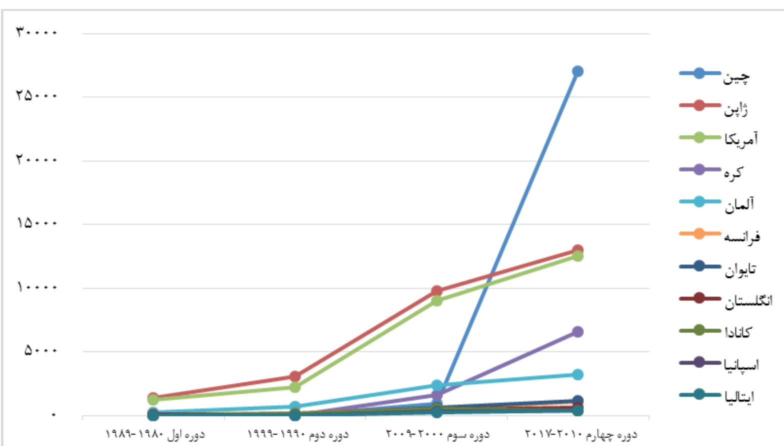
فناوری انرژی خورشیدی، براساس اثر فتوولتائی، تابش خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. در مجمــوع، الگــوی نوآوری در این صنعــت مبتنی بر مدل خطی علم یعنی علــم ← فناوری ← نوآوری بوده و ناشــی از پیشرفت در علوم مواد، فناوری نیمه‌هادی و رشته‌های مرتبط مانند مهندسی الکتروشیمی است؛ لذا دانش و جریان دانش در توسعه آن بسیار حیاتی است (بینز و همکاران، ۲۰۲۰). برخی از کشورها همچون چین هم از منظر بازار (شکل ۱) و هم از منظر فناورانه (شکل ۲) توانسته‌اند به فرارســی در حوزه انرژی خورشیدی دست یابند. در ابتدا کشورهایی همچون آلمان، آمریکا، ایتالیا، ژاپن از تولیدکنندگان اصلی انرژی خورشــیدی در جهان بوده‌اند ولی به‌مرور و از سال ۲۰۱۴ چین به کشــور برتر در این زمینه تبدیل شده‌است. همچنین کره جنوبی و هند نیز طبق گزارش سال ۲۰۲۱ آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر توانسته در زمره ۱۰ کشور برتر تولید انرژی خورشیدی درآیند (آژانس بین‌المللی انرژی[4]، ۲۰۲۱).

1 . Bacchiocchi & Montobbio
2 . Hung & Wang
3 . Fontana
4 . International Energy Agency (IEA)



شکل ۱: انرژی تولیدشده انرژی خورشیدی (گیگاوات ساعت) از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸
(آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۲۱)

همان‌طور که در شـــکل (۲) نشان‌داده‌شده است، کشـــور چین پس از سال ۲۰۰۹ یکباره جهش زیادی را در تعداد پتنت‌ها داشته است؛ به‌گونه‌ای که توانسته پیش‌گامان این حوزه یعنی ژاپن، ایالات متحده و آلمان را پشت سر گذارد و به فرارسی از بُعد فناورانه نیز دست یابد. همچنین کره جنوبی نیز توانسته تا حد خوبی فاصله خود را از لحاظ میزان پتنت با کشورهای پیشرو کم کند. کشور تایوان نیز کشور انگلستان را پشت سر گذاشته و فاصله خود را با سایر کشورهای پیشرو کم کرده‌است.



شکل ۲: مقایسه تعداد پتنت‌های انرژی خورشیدی در چهار دوره زمانی

تاکنون پژوهش‌ها عوامل مختلفی همچون سیاست‌ها و نظام ملّی نوآوری، ویژگی‌های پایگاه دانش (بینـــز و آنادون[1]، ۲۰۱۸؛ ملکی و رزلیو، ۲۰۱۹؛ رزلیو و ملکی، ۲۰۲۱)، پویایی‌های فرارســـی (بینز و همکاران، ۲۰۲۰؛ ملکی و همکاران، ۲۰۱۸)، چرخه عمر فناوری (هانتلِر[2] و همکاران، ۲۰۱۶)، رژیم‌های فناورانه (کروچر و همکاران، ۲۰۲۱)، ویژگی‌های صنعت (هاین[3] و همکاران، ۲۰۲۰) ، پنجره‌های فرصت سبز (دای[4] و همکاران، ۲۰۲۰؛ لاندینیو همکاران،۲۰۲۰ ؛ لِما و همکاران،۲۰۲۰) را در فرارسی کشورها در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر مدنظر قرار داده‌اند؛ ولیکن جای پژوهش‌هایی که به بررســـی نقش و تأثیر هم‌زمان دانش درونی، خارجی و جریان دانش بین‌المللی در فرارسی کشورهای درحال‌توسعه در حوزه فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر پرداخته باشد، در ادبیات خالی است؛ لذا علاوه‌بر شکاف نظری که در مقدمه بدان اشـــاره شد، شکاف کاربردی نیز در ادبیات این حوزه وجود دارد. تلاش این پژوهش بر این است تا این موضوع را در زمینه انرژی تجدیدپذیر خورشیدی مطالعه کند.

چارچوب پژوهش، داده و روش‌شناسی

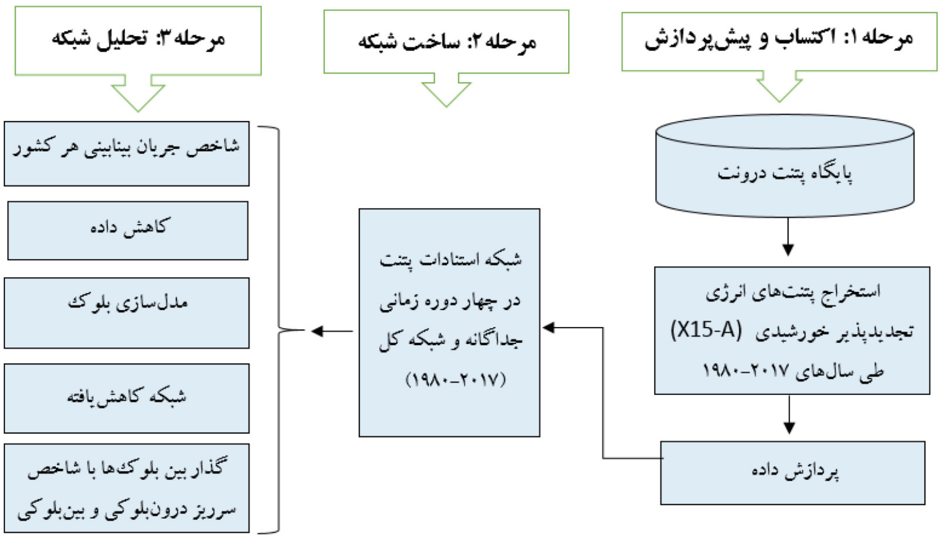
این پژوهش از نوع کاربردی فن‌ســـنجی و روش مورداســـتفاده در آن تحلیل استنادی پتنت و تحلیل شبکه اجتماعی بوده و از شاخص‌های مرتبط به‌منظور بررسی الگوهای انتشار، جریان و اشاعه بین‌المللی اســـتفاده کرده است. در شـــکل (۳) چارچوب پژوهش به نمایش درآمده که در سه مرحله اکتساب و پیش‌پردازش داده، ساخت شبکه و تحلیل شبکه بدان پرداخته شده‌است.

مرحله ۱: اکتساب و پیش‌پردازش داده

داده‌های مورداســـتفاده، داده‌های پایگاه‌های پتنت در جهان اســـت که تحت عنوان شـــاخص نوآوری دِروِنت[5] ارائه شده‌است (کلاریویت[6]، ۲۰۲۱). این پایگاه پتنت علاوه‌بر ارائه اطلاعات جامع فنی در مورد پتنت، فراداده‌هایی نیز ارائه می‌کند که جستجو در بین پتنت‌ها را تسهیل و تسریع می‌کند. فراداده‌های مورداستفاده شامل اطلاعات گواهی اعم از شماره انتشار، کشور متقاضی، تاریخ انتشار، نشانی مخترع، نشانی بنگاه صاحب پتنت، تاریخ ثبت و انتشار، پتنت‌های استنادشده و دسته‌بندی[7] توسط کلاریویت

1 . Benz & Anadon
2 . Huenteler
3 . Hain
4 . Dai
5 . Derwent Innovation
6 . Clarivate
7 . Derwent Manual Code

اســـت. داده‌های مربوط به این پژوهش با استفاده از کد دسته‌بندی X15-A که مربوط به انرژی‌های خورشـــیدی است، از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۷ اســـتخراج شده‌است. ازآنجایی‌که هر پتنت ممکن است به بیش از یک پتنت دیگر استناد کند، ابتدا فرداده پتنت‌های استناد شده با استفاده از زبان آر[1] و نرم‌افزار آر استودیو[2] شکسته شد تا رابطه یک‌به‌یک میان پتنت موردمطالعه و پتنت استنادشده برقرار شود.



شکل ۳: چارچوب پژوهش (پژوهشگر)

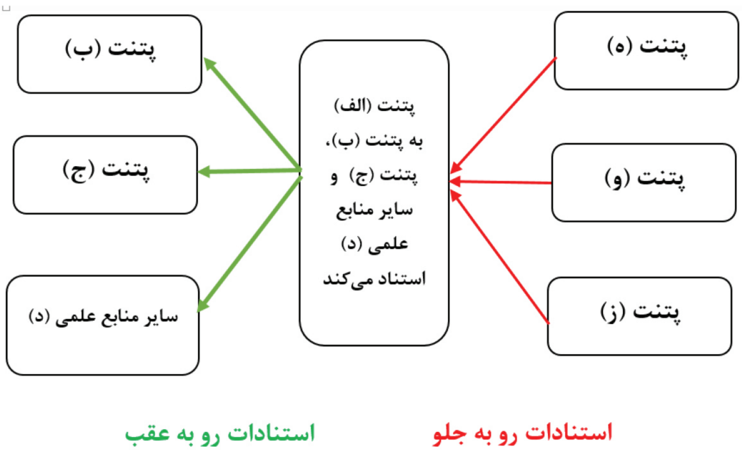
همچنین ازآنجایی‌که در گواهی پتنت کشـــور مخترع به‌عنوان فرداده جداگانه وجود ندارد، ابتدا نشـــانی مخترعان شکسته شده و سپس کُد کشور مخترع اول نیز احصا گردید. در برخی موارد نشانی مخترع ناقص و یا خالی بود (به‌ویژه در مورد پتنت‌های قدیمی) که در این موارد به‌جای کشور مخترع، با کشـــور بنگاه صاحب فناوری (مستخرج از نشانی بنگاه) و در صورت عدم‌وجود نشانی بنگاه، با کشور متقاضی پتنت جایگزین شـــد. برای داشـــتن دید تکاملی به تغییرات جایگاه کشورها در شبکه جریان دانش، بازه زمانی به ۴ زیردوره تقسیم شد. انتخاب زیربازه بدین‌علت است که اوج استنادشدن هر پتنت، ۲ تا ۵ ســـال بعد از ثبت اســـت و معمولاً ۱۰ سال بعد، تعداد استنادات آن به‌سمت صفر میل می‌کند. لذا این بازه انتخاب شد تا حداکثر استنادات پوشش داده شوند (جف و همکاران، ۱۹۹۳). بدین‌منظور

1 . R
2 . R Studio-1.1.453

داده‌های موردنیاز شامل تاریخ انتشار پتنت، کشور استنادشونده (مبدأ) و کشور استنادکننده (مقصد) با استفاده از نرم‌افزار سای‌تو[1] به ۴ زیردوره شکسته‌شد (۱۹۸۹-۱۹۸۰، ۱۹۹۹-۱۹۹۰، ۲۰۰۹-۲۰۰۰ و ۲۰۱۷-۲۰۱۰) و هرکدام به‌صورت جداگانه به نرم‌افزار گفی[2] برای تشکیل شبکه وارد شد.

مرحله ۲: ساخت شبکه استنادات پتنت (شبکه جریان دانش)

گارفیلد و همکارانش (۱۹۶۴)[3] از پیش‌گامان استفاده از استنادها برای تجزیه‌وتحلیل ادبیات دانشگاهی و همچنین پتنت هســتند. آن‌ها شاخص استناد به علوم را در سال ۱۹۵۵ و شاخص استناد به پتنت را در ســال ۱۹۶۴ ارائه دادند. در ســال‌های اخیر داده‌های استنادی به‌خصوص در تجزیه‌وتحلیل داده‌های حجیم و تحلیل پتنت به‌شدت موردتوجه قرار گرفته است (عاصم‌اوغلو[4]، ۲۰۱۶؛ بریتو و همکاران، ۲۰۲۰؛ چو و شــی[5]، ۲۰۱۱). در هر پتنت دو نوع استناد وجود دارد: استنادات روبه‌عقب[6] و استنادات روبه‌جلو[7]. استنادات روبه‌عقب در واقع پتنت‌های پیشینی هستند که یک پتنت موردمطالعه به آن‌ها ارجاع داده است و نشان‌دهنده دانش و فناوری پیشینی است که پتنت فعلی بر مبنای آن ساخته شده است.



شکل ۴: چارچوب استنادات پتنت (اُسابه و جیبو[8]، ۲۰۱۷)

1 . Sci 2-1.3.0
2 . Gephi-0.9.2
3 . Garfield
4 . Acemoglu
5 . Cho & Shih
6 . Backward citations
7 . Forward citations
8 . Osabe & Jibu

استنادات روبه‌جلو، مانند استنادات روبه‌عقب نیستند و به‌مرور و باگذشت زمان و هنگامی که به پتنت موردمطالعه ارجاع می‌دهند، در پتنت ذکر می‌شوند. در واقع استنادات به‌عنوان پیوندهایی هستند که پتنت‌ها را به‌هم وصل کرده و شبکه استنادات را تشکیل می‌دهند. در این پژوهش، از استنادات روبه‌عقب موجود در پتنت استفاده و کشور مخترع اول پتنت موردمطالعه به‌عنوان مقصد و کشور مخترع اول پتنت استنادشونده به‌عنوان مبدأ در نظر گرفته شد.

مرحله ۳: تحلیل شبکه

در این مقاله، از تحلیل شبکه اجتماعی استفاده شده است. این روش در پژوهش‌های مختلف مطالعات و تکامل علم، فناوری و نوآوری مورداستفاده قرار گرفته است (چو و شی، ۲۰۱۱؛ یی[1] و همکاران، ۲۰۱۵؛ یانگ و همکاران، ۲۰۲۱؛ چِن و گوان، ۲۰۱۶، کاشانی و روشنی[2]، ۲۰۱۹). تحلیل شبکه اجتماعی بر این فرض استوار است که روابط میان کنشگران اجتماعی می‌تواند از طریق یک گراف تشریح شود (نوی[3] و همکاران، ۲۰۰۵). در این پژوهش، یک گراف $G = (N, L, V)$ با تعداد N گره (کشور)، تعریف می‌شود که از طریق مجموعه‌ای از یال‌ها (استنادات رو به عقب) به هم وصل می‌شوند. مجموعه V نشان‌دهنده وزن (تعداد استنادات بین پتنت‌های یک کشور توسط کشور دیگر) یال‌هاست. باتوجه‌به سؤالات فرعی پژوهش از ابزارهای بصری‌سازی و شاخص‌ها و روش‌های تحلیل شبکه‌های اجتماعی فراخور هر سؤال استفاده شد (جدول ۱).

1 . Ye
2 . Kashani & Roshani
3 . Nooy

جدول ۱: روش، ابزار و شاخص‌های مورداستفاده به‌تفکیک سؤالات پژوهش

سؤال فرعی	روش	نرم‌افزار	شاخص
۱- جایگاه کشورها در شبکه جریان دانش در مسیر فرارسی، چه تغییراتی داشته است؟	تحلیل شبکه اجتماعی با تأکید بر جریان و اشاعه بین‌المللی دانش فناورانه	یوسی‌نت[1]	- بینابینی جریان[2]
۲- چگونه تغییرات جایگاه کشورها در شبکه جریان دانش، فرارسی فناورانه کشورهای موفق را توضیح می‌دهد؟	مدل‌سازی بلوک، شبکه کاهش‌یافته و تحلیل تغییرات جایگاه کشورها در شبکه	پاژک	- سرریز درون‌بلوکی[3] - سرریز بین‌بلوکی[4]

سؤال فرعی ۱. برای شناسایی و تحلیل جایگاه مرکزی و تأثیرگذار کشورها و همچنین تحلیل شبکه جریان دانش، دو رویکرد عمده وجود دارد: رویکرد کل‌نگر و رویکرد جزءنگر. رویکرد کل‌نگر به‌دنبال تشریح ویژگی‌های شبکه به‌طورکامل بوده و اطلاعاتی را در مورد ساختار و ویژگی‌های کلی شبکه و پویایی‌های کلی آن در بستر زمان می‌دهد. در این پژوهش چون سؤال اصلی مبنی بر تغییرات جریان دانش از طریق کشورهاست، از رویکرد جزءنگر استفاده شده است. این رویکرد در جستجوی تحلیل ویژگی‌های فردی کشورها دررابطه‌با نقش آن‌ها در به‌جریان‌انداختن دانش در شبکه است. جایگاه یک کشور در شبکه معمولاً با معیاری با عنوان مرکزیت گره (کشور) بیان می‌شود. تفسیرهای گوناگونی از مرکزیت گره صورت‌گرفته و همچنین رویکردهای مختلفی برای سنجش آن درون یک شبکه وجود دارد. معیارهای مرکزیت، کشورهایی را که اهمیت ساختاری زیادی درون شبکه دارند و آن‌هایی را که نقشی کلیدی در رفتار جهان واقعی و شبیه‌سازی شده دارند شناسایی می‌کند (نوی و همکاران، ۲۰۰۵). یکی از انواع معیارهای مرکزیت، مرکزیت بینابینی کوتاه‌ترین مسیر[5] است که توسط فریمن[6] (۱۹۷۷) معرفی شد و بَسامد یا تعداد دفعاتی را که یک گره به‌عنوان پُل[7] در کوتاه‌ترین مسیر بین دو گره دیگر عمل می‌کند، اندازه می‌گیرد. اطلاعات گره‌های واسطه برای بسیاری از کاربردهای عملی مفید است. به‌عنوان‌مثال مرکزیت بینابینی در شبکه‌های مخابراتی، کنترل

1 . Ucinet -0.9.2
2 . Flow betweeness
3 . Intra block spill over
4 . Intre block spill over
5 . Shortest-path betweenness centrality
6 . Freeman
7 . Bridge

اعمال‌شده توسط یک گره معین بر ترافیک اطلاعات را اندازه‌گیری می‌کند؛ اما شبکه‌های زیادی وجود دارند که در آن‌ها اطلاعات و یا دانش در مسیرهای ژئودزیک[1] (کوتاه‌ترین مسیرها) پخش نمی‌شوند. به‌عنوان‌مثال، در شبکه‌های اجتماعی اخبار، شایعات و پیام‌ها معمولاً تنها در مسیرهای ژئودزیک منتقل نمی‌شوند بلکه در سراسر شبکه پخش می‌شوند تا به مقصد برسند (آگریزکوف و همکاران، ۲۰۱۹). در سال ۱۹۹۱، فریمن و همکارانش مرکزیت جدیدی موسوم به بینابینی جریان[2] را پیشنهاد کردند که ایده اصلی شامل مسیرهای غیرژئودزیک برای به‌دست‌آوردن نمره نهایی یک گره بود. این روش بر مبنای مسئله معروف بیشینه‌سازی جریان در شبکه است که بر مبنای آن برای حداکثرسازی جریان میان گره مبدأ و مقصد مسیرهای متفاوتی در نظر گرفته می‌شود و نه فقط مسیر ژئودزیک (آگریزکوف و همکاران، ۲۰۱۹). در شبکه جریان دانش، با درنظرگرفتن شبکه‌ای با N گره (کشور) و وزن یال‌ها که تعداد استناد را نشان می‌دهد، اگر یال‌ها به‌عنوان کانال‌هایی برای جریان دانش در نظر گرفته شوند، وزن یال‌ها ظرفیت کانال‌ها را تعیین می‌کند. اگر mf(j, k) ، بیشینه جریان دانش از j به k باشد و mf(j-i-k) بیشینه جریان دانش از j به k باشد، وقتی گره i و تمام پیوندهای آن حذف شوند، سپس در شبکه وزن‌دار و جهت‌دار، بینابینی جریان گره i که با CF (i) مشخص می‌شود را می‌توان به‌صورت زیر محاسبه کرد:

(۱) شاخص مرکزیت بینابینی جریان دانش (فریمن و همکاران، ۱۹۹۱)

$$C_F(i) = \frac{\sum_{(j,k)\epsilon S(i)}[mf(j,k)-mf(j-i-k)]}{\sum_{(j,k)\epsilon S(i)}[mf(j,k)}$$

$$S(i) = [(j ،k): ۱ \leq j \leq N - ۱ ؛ j < k \leq N ؛ j \neq i ،k \neq i]$$

بینابینی جریان میزان قرارگرفتن یک کشور بین دیگران در مسیرهای ارتباطات غیرمستقیم، به‌معنای توانایی آن برای هدایت و تسهیل جریان‌های دانشی در میان دیگر کشورها است.

سؤال فرعی ۲. برای فهم اینکه چگونه موقعیت کشورها از نظر مرکزیت بینابینی جریان، می‌تواند فرارسی موفق را توضیح دهد، از روش کاهش داده‌ها و مدل‌سازی بلوک استفاده شد. مدل‌سازی بلوک نوعی فن خوشه‌بندی[3] است و به تحلیل‌گران کمک می‌کند تا کشورهایی که از منظر جریان دانش دارای

1 . Geodesic
2 . Flow betweenness centrality
3 . Clustering

الگوها و پیوندهای مشابه هستند را شناسایی کرده و کشورهای دارای الگوهای مشابه از منظر ارتباطات و جریان دانش را در یک خوشه قرار می‌دهد. برای ساده‌سازی الگوهای رابطه‌ای و تجمیع جریان‌های دانشی بین کشـــورها از روش مدل‌سازی بلوک استفاده شد. معمولاً تفاوت‌هایی بین بلوک‌های واقعی و ماتریس تصویری که در الگوریتم این خوشه‌بندی استفاده می‌شود، وجود دارد. این تفاوت‌ها خطای مدل مشخص‌شده را ایجاد می‌کند و آنچه مدل‌سازی بلوک انجام می‌دهد دقیقاً به‌حداقل‌رساندن خطا با تکرارها است (نوی و همکاران، ۲۰۰۵). ازآنجاکه کشورها با استفاده از مدل‌سازی بلوک خوشه‌بندی می‌شوند (شکل ۵)، باید میزان تعاملات دانشی بین سه خوشه سنجیده شود. برای این کار ابتدا گره‌ها و اتصالات بر اساس بلوک‌های شناسایی‌شده با استفاده از روش کوچک‌سازی شبکه تجمیع می‌شوند و تعداد گره‌های شبکه به تعداد یک گره به‌ازای هر بلوک، تقلیل می‌یابد (شکل ۶ و ۷). در نهایت شبکه کوچک شده از شاخص سرریز درون بلوکی و بین بلوکی استفاده می‌شود. شاخص سرریز درون بلوکی نشان‌دهنده تعاملات و شدت جریان دانش درون یک بلوک است (معادله ۲).

(۲) شاخص سرریز (جریان دانش) درون‌بلوکی (واسرمن و فاست[1]،۱۹۹۴)

$$P_{B_i}^{intra} = \frac{S_{ii}}{\sum_{j=۱}^{M} S_{ij}}$$

شاخص سرریز بین بلوکی نیز نشان‌دهنده میزان و شدت جریان دانش بین دو بلوک مختلف است. دامنه این شـــاخص بین ۱ و ۱- اســـت و هر چه میزان شاخص سرریز بین بلوکی نزدیک‌تر به ۱ باشد بدین معناســـت که این بلوک اشـــاعه‌دهنده فناوری و اگر کوچک‌تر از صفر باشد جذب‌کننده فناوری است. مقدار نزدیک‌تر به ۱ (یا ۱-) نشان‌دهنده شدت ظرفیت اشاعه (جذب) بلوک است.

(۳) شاخص سرریز (جریان دانش) بین بلوکی (واسِرمن و فاست، ۱۹۹۴)

$$P_{B_i}^{inter} = \frac{\sum_{j=۱,j\neq i}^{M} s_{ij} - \sum_{j=۱,j\neq i}^{M} s_{ji}}{\sum_{j=۱,j\neq i}^{M} s_{ij} + \sum_{j=۱,j\neq i}^{M} s_{ji}}$$

M تعداد کل بلوک‌ها اســـت و $\sum_{j=۱,j\neq i}^{M} s_{ij}$ نشـــان‌دهنده کل استنادات خارج شده از بلوک Bi است.

1 . Wasserman and Faust

یافته‌ها

اندازه شبکه استنادات پتنت و تعداد استنادات

اندازه شـــبکه که نشان‌دهنده تعداد کشورها و مناطق است، از ۳۲ کشور در دوره اول به ۱۱۳ در دوره چهارم رســـیده است. تعداد یال‌ها که نشان‌دهنده تعداد اتصالات بین کشور مبدأ و مقصد است نیز از ۱۰۹ در دوره اول به ۱۰۷۷ در دوره چهارم رسیده است. تعداد یال‌ها در واقع تعداد و عرض کانال‌های جریان دانش در شبکه است. وزن یال‌ها که نشان‌دهنده تعداد استنادات انجام شده و در واقع ظرفیت و عمق کانال‌های جریان دانش است، رشد شدیدی را از دوره اول تا چهارم داشته است(جدول ۲).

جدول ۲: مشخصات کلی شبکه استنادات پتنت (شبکه جریان دانش) در ۴ دوره زمانی پژوهش

دوره	۱۹۸۹-۱۹۸۰	۱۹۹۹-۱۹۹۰	۲۰۰۹-۲۰۰۰	۲۰۱۷-۲۰۱۰
تعداد کشورها (اندازه)	۳۲	۴۹	۱۰۳	۱۱۳
تعداد یال‌ها	۱۰۹	۲۸۲	۸۸۶	۱۰۷۷
تعداد پیوندها (استنادات)	۴۴۵۱	۱۲۰۲۸	۵۵۷۱۳	۱۲۰۱۷۷

سؤال فرعی ۱- بررسی جایگاه کشورها با استفاده از سنجه‌های مرکزیت گره‌ها. در جدول (۳)، شاخص بینابینی جریان یعنی میزانی که یک کشور به‌عنوان واسطه یا دربان قادر به کنترل انتشار فناوری میان سایر کشورها است، ذکر شده است. گره‌های دارای مقدارِ بینابینی جریان بالا نقش مهمی در اتصالات و ارتباطات دانشی داشته و جایگاه مرکزی در گردش اطلاعات در شبکه دارند. کشور آمریکا در هر چهار دوره در رتبه اول این شـــاخص بوده اســـت. ژاپن در دو دوره اول، رتبه دوم و در دوره سوم و چهارم یک درجه کاهش رتبه داشـــته اســـت. آلمان در دو دوره اول رتبه سوم و در دوره سوم ارتقای رتبه داشته و در دوره چهارم جایگاه چهارم را کسب کرده است. فرانسه در دوره سوم و چهارم کاهش رتبه داشته است. رتبه کانادا و انگلستان حالت سینوسی داشته و در ابتدا کاهش رتبه و سپس بهبود رتبه داشته‌اند. یوگسلاوی، سوئد و استرالیا در دوره اول در زمره ده کشور اول بوده‌اند ولی از دوره دوم تا چهارم از آن گروه خارج شده‌اند. در مقایسه، ۱۶، ۲۹، ۱۸ و ۲۳ کشور با مقدار صفر از نظر مرکزیت بینابینی از دوره اول تا چهارم وجود دارد که نشـــان می‌دهد این کشورها باتوجه‌به فرصت‌های واسطه بودن و به‌جریان‌انداختن و اشاعه بین‌المللی دانش قادر به کسب رتبه نبودند و نقشی نداشته‌اند.

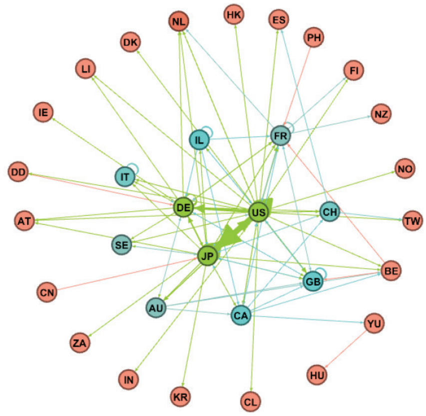
جدول ۳: مرکزیت بینابینی جریان

رتبه	۱۹۸۹-۱۹۸۰		۱۹۹۹-۱۹۹۰		۲۰۰۹-۲۰۰۰		۲۰۱۷-۲۰۱۰		۲۰۱۷-۱۹۸۰	
	کشور	مقدار	کشور	مقدار	کشور	مقدار	کشور	مقدار	کشور	مقدار
۱	آمریکا	۱۷/۵۵	آمریکا	۳۸/۸۷	آمریکا	۴۴/۴۲	آمریکا	۲۸/۱۷	آمریکا	۴۷/۲۱
۲	ژاپن	۸/۸۰	ژاپن	۷/۲۴	آلمان↑	۷/۱۷	چین↑	۱۷/۹۷	چین	۱۶/۱۱
۳	آلمان	۸/۰۰	آلمان	۶/۲۶	ژاپن	۶/۹۹	ژاپن	۶/۴۴	ژاپن	۷/۸۸
۴	فرانسه	۷/۴۳	فرانسه	۲/۹۷	فرانسه	۳/۳۰	آلمان	۴/۶۶	آلمان	۶/۳۵
۵	کانادا	۲/۸۰	چین↑	۲/۲۱	چین	۲/۸۱	کُره ↑	۲/۵۴	فرانسه	۳/۰۶
۶	یوگسلاوی	۱/۳۵	کانادا↓	۲/۰۲	کانادا	۲/۲۰	تایوان↑	۲/۰۴	کانادا	۲/۶۲
۷	سوئد	۱/۲۷	اسپانیا↑	۱/۸۰	اسپانیا	۲/۱۵	فرانسه↓	۱/۹۲	ایتالیا	۱/۷۵
۸	انگلیس	۰/۶۴	کره↑	۱/۳۸	کره	۱/۶۵	ایتالیا↑	۱/۵۴	کره	۱/۶۷
۹	سوئیس	۰/۴۸	انگلیس↓	۱/۱۳	انگلیس	۱/۵۰	انگلیس	۱/۴۱	تایوان	۱/۵۹
۱۰	استرالیا	۳	ایتالیا↑	۱/۰۹	ایتالیا	۱/۴۰	استرالیا↑	۱/۱۴	انگلیس	۱/۵۰

سؤال فرعی ۲- تغییر جایگاه کشورها در شبکه جریان دانش و فرارسی فناورانه موفق.

همان‌طور که در بخش روش‌شناسی گفته شد، مدل‌سازی بلوک یک روش خوشه‌بندی است و در این پژوهش برای خوشه‌بندی کشورهایی که از لحاظ جریان دانش ورودی و خروجی دارای الگوهای مشابهی هستند، استفاده شده است. در این پژوهش هر خوشه ازاین‌پس بلوک نامیده می‌شود. کشورهای درون هر بلوک به‌لحاظ شدت جریان خروجی و ورودی دانش، مشابهت زیادی با هم دارند. روش مدل‌سازی بلوک برای شبکه‌هایی مفید است که اندازه آن‌ها کمتر از ۱۰۰ باشد، لذا ابتدا برای کاهش اندازه شبکه در دوره‌هایی که اندازه شبکه بزرگ‌تر از ۱۰۰ است از روش k-core استفاده شده است. در این روش هر کشور حداقل با k کشور دیگر در شبکه ارتباط دارد و برای حذف ارتباطات ناچیز و کم‌اهمیت کاربرد فراوان دارد (نوی و همکاران، ۲۰۰۵). باتوجه‌به اینکه اندازه شبکه در دو دوره اول زیر ۱۰۰ است، لذا برای دوره اول و دوم مقدار k = ۱ و برای دوره سوم k=۳ برای دوره چهارم k=۵ در نظر گرفته شد. برای دوره کلی (۱۹۸۰-۲۰۱۷) نیز مقدار K =۷ در نظر گرفته شد. بدین ترتیب اندازه شبکه در دوره

اول تا چهارم به ترتیب ۳۲، ۴۹، ۵۸، ۶۳ و در دوره کلی ۶۰ شد.



شکل ۵: مدل‌سازی بلوک (خوشه‌بندی) شبکه جریان دانش با استفاده از نرم‌افزار پاژک برای دوره (۱۹۸۰-۱۹۸۹)

بر اســـاس مدل‌سازی بلوک با اســـتفاده از نرم‌افزار پاژک، سه بلوک شناسایی شد که بدین صورت نام‌گذاری شدند: بلوک مرکزی، بلوک نیمه‌حاشیه‌ای و بلوک حاشیه‌ای. در شکل (۵) که مربوط به دوره اول (۱۹۸۰-۱۹۸۹) اســـت، گره‌های سبز کشورهایی هستند که در بلوک مرکزی قرار دارند. گره‌های آبی‌رنگ در بلوک نیمه- حاشـــیه‌ای و کشورهای قرمزرنگ در بلوک حاشیه‌ای شبکه استنادات پتنت قرار گرفته‌اند. جدول (۴) نشـــان‌دهنده تغییرات و دگرگونی جایگاه کشـــورهای تشکیل‌دهنده شبکه جریان دانش است. در این جدول کشورها در دوره‌های مختلف به تفکیک بلوک‌ها آمده‌اند. در مقایسه با شبکه کلی (۱۹۸۰-۲۰۱۷)، بسیاری از کشورها در موقعیت قبلی خود باقی‌مانده‌اند و یا نزول کرده یا از شبکه حذف شده‌اند. تنها ۱۴ کشور توانسته‌اند در دوره بعد به بلوک بالاتر گذر کنند که شامل کره جنوبی، چین، کانادا، ایتالیا، اتریش، رژیم غاصب صهیونیســـتی، هلند، هند، فنلاند، نیوزلند و دانمارک می‌شود. دراین‌بین ۵ کشور کره جنوبی، چین، کانادا، انگلستان، ایتالیا در دوره کلی توانسته‌اند به بلوک مرکزی (بالاترین ســـطح) صعود کنند. این جدول همچنین نشان می‌دهد که تعداد کشورهای بلوک ســـوم (حاشیه‌ای) از دوره اول تا سوم بیشتر شـــده به این معنی که به‌مرورزمان اقبال بیشتر کشورها به‌ســـمت توســـعه فناوری‌های تجدیدپذیر باعث افزایش نوآوری‌های فناورانه و ثبت پتنت شده است ولیکن پتنت‌های آن‌ها به‌گونه‌ای نبوده است که مورد استناد سایر پتنت‌ها نیز قرار گیرد.

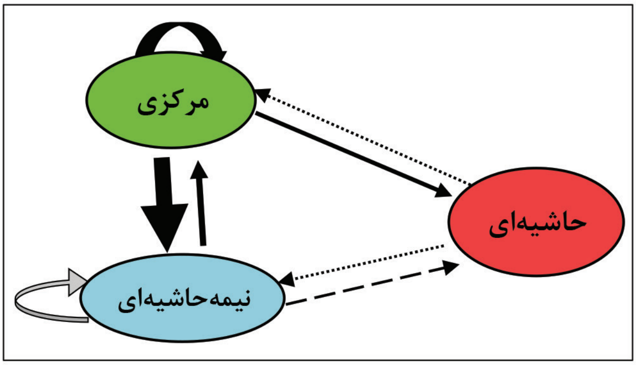
جدول ۴: تکامل بلوک‌ها (کشورهای مشابه از لحاظ ورودی و خروجی دانش) در طول زمان

بلوک	۱۹۸۹-۱۹۸۰	۱۹۹۹-۱۹۹۰	۲۰۰۹-۲۰۰۰	۲۰۱۷-۲۰۱۰	۲۰۱۷-۱۹۸۰
	کشورها	کشورها	کشورها	کشورها	کشورها
مرکزی	**۳ کشور** آمریکا، آلمان، ژاپن	**۳ کشور** آمریکا، آلمان، ژاپن	**۷ کشور** آمریکا، آلمان، ژاپن، کانادا ایتالیا، تایوان، فرانسه	**۱۱ کشور** آمریکا، آلمان، ژاپن، کانادا، ایتالیا، تایوان، فرانسه، کُره، چین، انگلیس، رژیم غ.ص.	**۱۰ کشور** آمریکا، آلمان، ژاپن، کانادا، ایتالیا، تایوان، فرانسه، کُره، چین، انگلیس
نیمه‌حاشیه‌ای	**۸ کشور** استرالیا، کانادا، سوئیس، فرانسه، انگلیس، رژیم غاصب صهیونیستی، ایتالیا، سوئد	**۱۴ کشور** اتریش، استرالیا، کانادا، سوئیس، چین، اسپانیا، فرانسه، انگلیس، رژیم غ.ص. ایتالیا، کُره، هلند، سوئد، تایوان	**۲۱ کشور** انگلیس، اتریش، مراکش، هلند، آذربایجان، اسپانیا، سوئیس، بلژیک، کلمبیا، کُره، تایلند، استرالیا، چین، هند، فنلاند، رژیم غاصب صهیونیستی، سوئد، نیوزلند، روسیه، سنگاپور، نروژ	**۲۲ کشور** بلژیک، اسپانیا، اتریش، سوئیس، هلند، استرالیا، روسیه، ترکیه، تایلند، لهستان، هند، عربستان سعودی، نروژ، دانمارک، سوئد، فنلاند، سنگاپور، هنگ‌کنگ، چک، نیوزلند، ایرلند	**۳۰ کشور** اتریش، استرالیا، آذربایجان، بلژیک، سوئیس، کلمبیا، چک، دانمارک، اسپانیا، فنلاند، هنگ‌کنگ، کرواسی، ایرلند، رژیم غ. ص. هند، مراکش، مولداوی، هلند،، نروژ، نیوزلند، لهستان، رومانی، روسیه، عربستان سعودی، سوئد، سنگاپور، تایلند، ترکیه، آفریقای جنوبی

بلوک		حاشیه‌ای
۱۹۸۹-۱۹۸۰	کشورها	**۲۱ کشور** بلژیک، اتریش، لیختن‌اشتاین، اسپانیا، هلند، فنلاند، نروژ، هنگ‌کنگ، آلمان یوگسلاوی، نیوزلند، شرقی، ایرلند، دانمارک، هند، آفریقای جنوبی، تایوان، فیلیپین، شیلی، چین، کُره، اروگوئه
۱۹۹۹-۱۹۹۰	کشورها	**۳۲ کشور** بلژیک، نروژ، دانمارک، آلمان شرقی، هند، فنلاند، یونان، اروگوئه، سنگاپور، مغولستان، تایلند، ایرلند، هنگ‌کنگ، سریلانکا، چک، مراکش، روسیه، اندونزی، پاناما، عربستان، آفریقای جنوبی، اسلوونی، نیوزلند، تونس، آذربایجان، آرژانتین، مولداوی، کلمبیا، گرجستان، سورینام، ایسلند، صربستان،
۲۰۰۹-۲۰۰۰	کشورها	**۳۰ کشور** اندونزی، مولداوی، هنگ‌کنگ، پاناما، تونس، آلبانی، مغولستان، یونان، دانمارک، آفریقای جنوبی، آرژانتین، سودان، عربستان سعودی، الجزیره، مالزی، ایرلند، برزیل، اروگوئه، اوکراین، لوکزامبورگ، مکزیک، بلغارستان، چک، یوگسلاوی، ترکیه، لیختن‌اشتاین، کرواسی، سریلانکا، پرتغال، رومانی
۲۰۱۷-۲۰۱۰	کشورها	**۳۰ کشور** آذربایجان، مراکش، رومانی، مولداوی، قطر آفریقای جنوبی، ایران، آلبانی، کلمبیا، آرژانتین، اسلوونی، لوکزامبورگ، لیختن‌اشتاین، اروگوئه، اوکراین، برزیل، مکزیک، پرتغال، یونان، کرواسی، فیلیپین، مالزی، پاکستان، اسلواکی، شیلی، اندونزی، امارات، قزاقستان، بلغارستان
۲۰۱۷-۱۹۸۰	کشورها	**۲۰ کشور** امارات، آلبانی، بلغارستان، برزیل، شیلی، یونان، اروگوئه، اندونزی، کویت، لیختن‌اشتاین، سریلانکا، لوکزامبورگ، مکزیک، مالزی، فیلیپین، پرتغال، اسلوونی، اسلواکی، اوکراین، یوگسلاوی

ازآنجاکه کشورهای هر بلوک، الگوی رفتاری یکسانی را از نظر شدت دریافت و ارسال دانش، نشان می‌دهند، برای ساده‌سازی از کاهش شبکه استفاده شده است. در شکل (۶) مدل کاهش‌یافته شبکه با استفاده از تجمیع کشورهای درون هر بلوک (مرکزی، نیمه‌حاشیه‌ای و حاشیه‌ای) نمایش داده شده است. در توضیح این شکل باید گفت، برای تجمیع روابط بر اساس بلوک‌های شناسایی شده و کوچک‌سازی شبکه[1] جریان دانش کشورهای تشکیل‌دهنده هر بلوک تجمیع و تعداد گره‌های شبکه به سه گره (یک گره به‌ازای هر بلوک) تقلیل یافت.

1 . Shrink Network (Operation → Network + Partition → Shrink Network)



شکل ۶: شبکه جریان دانشِ انرژی خورشیدی بر اساس خوشه‌ها (بلوک‌ها)ی شناسایی شده (پژوهشگر)

برای تفسیر چگونگی ارتباط بلوک‌های جداگانه با یکدیگر در مدل کاهش‌یافته، خلاصه میزان ارسال و دریافت دانش برای دوره کلی (۲۰۱۷-۱۹۸۰) در جدول (۵) ارائه شده‌است. مشاهده می‌شود بیشتر جریان واقعی درون‌بلوکی بین کشورهای بلوک مرکزی رخ داده و شاخص سرریز بین بلوکی برای بلوک اول مثبت است بدین معنا که این بلوک علاوه‌بر جریان و فراهم‌آوردن دانش و فناوری برای هم‌بلوکی‌های خود، برای دو بلوک دیگر نیز به‌عنوان تأمین‌کننده و منبع فناوری نقش ایفا کرده است. در مقابل، شاخص سرریز (جریان) بین‌بلوکی برای بلوک‌های نیمه‌حاشیه‌ای و حاشیه‌ای کوچک‌تر از صفر است؛ بدان معنا که هر دو این بلوک‌ها جذب‌کننده و واردکننده فناوری هستند. ولی در مقام مقایسه، کشورهای بلوک نیمه‌حاشیه‌ای جذب بیشتری نسبت به کشورهای حاشیه‌ای دارند (۰/۲۱۳- <۰/۳۳۷-).

جدول ۵: جدول شاخص‌های جریان دانش درون بلوکی و بین بلوکی برای شبکه کل (۲۰۱۷-۱۹۸۰)

بلوک (خوشه)	مرکزی	نیمه‌حاشیه‌ای	حاشیه‌ای	جریان دانش درون بلوکی	جریان دانش بین بلوکی	موقعیت بلوک
مرکزی	۱۷۴۲۱۲	۱۰۱۸۹	۸۹۳	۰/۹۴۰	۰/۳۳۰	منبع فناوری (مبدأ)
نیمه‌حاشیه‌ای	۵۰۱۰	۹۵۹	۶۵	۰/۱۵۹	۰/۳۳۷-	جاذب فناوری (مقصد)
حاشیه‌ای	۵۶۷	۵۵	۰	۰/۰۳۰	۰/۲۱۳-	جاذب فناوری (مقصد)

تحلیل انتقال کشـــورها از بلوکی به بلوک دیگر، برای دانستن اینکه کدام کشورها توانسته‌اند خود را ازلحاظ فناوری در حوزه انرژی خورشیدی ارتقا دهند و علاوه‌بر جذب فناوری به‌عنوان مبدأ فناوری نیز عمل کنند، مفید خواهد بود (جدول ۶). در این جدول مشاهده می‌شود کشورهایی که توانسته‌اند خود را ارتقاء بخشند و به بلوک مرکزی صعود کنند، تماماً آنهایی بوده‌اند که ازلحاظ مرکزیت بینابینی جریان نیز خود را به رتبه کمتر از ۱۰ ارتقا داده‌اند؛ یعنی علاوه‌بر ثبت پتنت‌های بیشـــتر و اســـتناد به کشـــورهای پیشـــرو، خود نیز پتنت‌های باکیفیتی در همان مسیر توسعه کشورهای پیشرو و یا در حوزه‌های جدید، خلق کرده‌اند که به‌مرور و باگذشت زمان مورداستناد هم کشورهای بلوک مرکزی و هم کشورهای بلوک نیمه‌حاشیه‌ای و حاشیه‌ای واقع شده است.

جدول ۶: کشورهای انتقال‌یافته به بلوک بالاتر از منظر شدت جریان دانش در شبکه در طول ۴ دوره مورد بررسی

ردیف	کشور	انتقال بین بلوک‌ها	بلوک فعلی (۱۹۸۰-۲۰۱۷)	رتبه بینابینی جریان دانش کل دوره (۱۹۸۰-۲۰۱۷)	روند رتبه بینابینی جریان از دوره اول تا چهارم
۱	کره جنوبی	۳← ۲←۲←۱	۱	۸	م.ن[1]← ۸←۸←۵
۲	چین	۳← ۲←۲←۱	۱	۲	م.ن← ۵←۵←۲
۳	کانادا	۲← ۲←۱←۱	۱	۶	۵← ۶←۶←۱۱
۴	انگلستان	۲← ۲←۲←۱	۱	۱۰	۸← ۹←۹←۹
۵	ایتالیا	۲← ۲←۱←۱	۱	۷	۱۴← ۱۰←۱۰←۱۲
۶	فرانسه	۲← ۲←۱←۱	۱	۵	۵← ۴←۴←۷
۷	تایوان	۲← ۲←۱←۱	۱	۹	م.ن ← ۱۳←۱۲←۶
۸	رژیم غ.ص	۲← ۲←۱←۱	۲	۱۶	۱۳← ۱۹←۲۴←۱۵
۹	اتریش	۳← ۲←۲←۱	۲	۱۴	م.ن ← ۱۲←۲۲←۱۶

۱ . اطلاعات موجود نیست؛ یعنی یا مقدارآن صفر بوده یا هنوزکشور موردمطالعه در جمع کشورهای دارای پتنت خورشیدی قرار نداشته‌است.

ردیف	کشور	انتقال بین بلوک‌ها	بلوک فعلی (۲۰۱۷-۱۹۸۰)	رتبه بینابینی جریان دانش کل دوره (۲۰۱۷-۱۹۸۰)	روند رتبه بینابینی جریان از دوره اول تا چهارم
۱۰	هلند	۳← ۲←۲←۱	۲	۲۱	م.ن← ۲۱←۱۷←۱۸
۱۱	هند	۳← ۳←۲←۱	۲	۲۰	م.ن← ۱۴←۱۳←۲۱
۱۲	فنلاند	۳← ۳←۲←۱	۲	۱۹	م.ن← ۳۷←۳۷←۳۴
۱۳	نیوزلند	۳← ۳←۲←۲	۲	۵۷	م.ن← ۳۴←۳۴←۴۹
۱۴	دانمارک	۳← ۳←۳←۲	۲	۳۶	م.ن← ۴۵←۴۵←۲۷

جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

در این مقاله اشـــاعه فناوری و جریان دانش بین‌المللی ازطریق فراداده‌های استنادات پتنت طی چهار دوره مطالعه شد. تمام کشورهایی که در دوره زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۷ دارای پتنت در زمینه فناوری‌های خورشیدی در پایگاه نوآوری دِرونت بودند، درنظر گرفته شدند. یافته‌های اصلی این پژوهش به‌صورت زیر جمع‌بندی می‌شود:

- روند شاخص مرکزیت بینابینـــی جریان در دوره‌های مختلف نشان می‌دهد که چین، کره، تایوان، فرانسه، کانادا، ایتالیا، انگلستان توانسته‌اند مقدار این شاخص را که بیانگر توانایی آن‌ها در کنترل جریان دانش فناورانه در شبکه است و آن‌ها را قـادر به ایفای نقـش واسـطهٔ دانش فناورانه بـرای ســـایر کشورها کرده است، افزایش دهند. این کشورها به‌مرور جایگاه مرکزی و راهبُردی را در شـــبکه کسب کرده و روابط زیادی را با سایر کشـــورها برقرار کرده‌اند. در زمینه اشاعه فناوری جهانی، کشورهایی که بینابینی جریان آن‌ها بالاتر است، ارتباطات زائد کمتری دارند و بنابراین از نظر فرصت‌های واسطه‌ای و درگاه تبادل دانش، از مزایای رقابتی گسترده‌ای برخوردار می‌شوند. کشـــورهای چین، کره و تایوان از نظر رتبه مرکزیت بینابینی جریان بازیگران جدیدی هستند. این کشـــورها به‌مرور توانسته‌اند اختراعاتی در زمینه انرژی خورشیدی ثبت کرده و فناوری‌های جدیدی را معرفی کنند که دانش فناورانه حاصل از آن مورداستفاده بسیاری از کشورهای دیگر قرار گرفته است.

- در بلوک‌سازی و تشخیص پیوندها و جریانات دانشی مشابه، سه بلوک مرکزی، نیمه‌حاشیه‌ای و حاشیه‌ای شناسایی شد. اندازه بلوک مرکزی یعنی تعداد اعضای آن، دائماً افزایش‌یافته است (از سه کشور در دوره اول به ۱۰ کشور در دوره چهارم) و شامل کشورها و مناطق پیشروِ سنتی (آمریکا، آلمان، ژاپن) و نوظهور (کانادا، ایتالیا، تایوان، فرانسه، کُره، چین، انگلیس) می‌باشد. اکثر جریان‌های دانش میان کشورهای بلوک مرکزی بوده و ارتباطات دانش گسترده و عمیقی در این گروه وجود دارد. جریان دانش از سوی بلوک مرکزی به حاشیه‌ای و نیمه‌حاشیه‌ای صورت می‌گیرد. از گروه حاشیه‌ای و نیمه‌حاشیه‌ای به گروه مرکزی نیز ارتباطات و جریان‌های دانشی ضعیفی وجود دارد. جریان دانش درون گروه نیمه‌حاشیه‌ای و حاشیه‌ای نه‌تنها ضعیف، بلکه پراکنده نیز هست. کشورهای بلوک مرکزی به‌عنوان منبع و مبدأ غالب فناوری، هم برای کشورهای هم‌بلوکی و هم برای کشورهای سایر بلوک‌ها عمل می‌کنند و در واقع سایر بلوک‌ها برای توسعه فناوری‌های انرژی خورشیدی به دانش فناورانه بلوک مرکزی وابسته هستند.
- در تحلیل تغییرات جایگاه کشورها در شبکه جریان دانش و صعود به بلوک بالاتر مشاهده شد کشورهایی موفق بوده‌اند که در طول مسیر انباشت قابلیت‌های فناورانه خود توانسته‌اند با ثبت پتنت‌های باکیفیت و یا در زیر حوزه‌های فناورانه و با کاربردهای جدید و نقش‌آفرینی بیشتر در شبکه جریان دانش بین‌المللی، توجه سایر کشورهای فعال در این حوزه را به‌خود جلب کرده و تبدیل به تولیدکنندگان اصلی دانش فناورانه در این زمینه شوند. این یافته را می‌توان این‌گونه تحلیل کرد که کشورهایی که به‌مرور قادر به ارتقاء ظرفیت جذب خود از طریق پیوستن به شبکه جهانی نوآوری و حرکت در خط‌سیر فناوری‌های کشورهای پیشرو، از طریق افزایش استنادات به پتنت‌های این کشورها، بوده‌اند (دنباله‌روی مسیر)، پس از مدتی خودشان تولیدکننده دانش شده و پتنت‌های باکیفیتی را ثبت کرده‌اند (خلق مسیر) که مورداستفاده روزافزون سایر کشورها قرار گرفته و جهش قابل‌توجهی در این زمینه داشته‌اند.

به‌عنوان نتیجه کلی می‌توان گفت کشورهای موفق در ابتدا با استفاده از دانش خارجی، توانسته‌اند ظرفیت جذب خود را بالا ببرند؛ سپس بیشتر به دانش درونی خود متکی شده و درنهایت علاوه بر تأمین دانش برای خود، به منبع دانش فناورانه برای سایر کشورها تبدیل شده‌اند. همچنین کشورهای موفق توانسته‌اند در مسیر فرارسی علاوه‌بر اکتساب دانش خارجی، آن را توسعه داده و دانشی خلق کنند که مورداستفاده روزافزون سایر کشورها قرار گرفته و بدین ترتیب نقش واسطِ اصلی انتقال دانش

را پیدا کنند؛ لذا دوگانه دانش خارجی- بومی در این مسیر به‌عنوان مکمل (و نه جایگزین) یکدیگر باعث موفقیت کشورهای فرارسی‌کننده شده است.

در این پژوهش سعی‌شد تا با استفاده از اهمیت روزافزون اشاعه فناوری و جریان دانش بین‌المللی، تبادلات فناورانه کشورهای درگیر در حوزه فناوری خورشیدی بررسی شده، رویکرد و مسیر نظری جدیدی برای فهم جریان دانش از طریق شبکه‌های غیررسمی در فرارسی کشورهای متأخر ارائه شود. تاکنون بیشتر ادبیات حوزه انتقال و انتشار فناورانه مبتنی بر به‌کارگیری محصولات با فناوری متوسط و پیشرفته که در خارج از کشور اختراع شده‌اند و یا یادگیری و جریان رسمی و مستقیم دانش فناورانه از طریق دریافت لیسانس، سرمایه‌گذاری خطرپذیر، قراردادهای تحقیق و توسعه مشترک و ... بوده است؛ لذا این پژوهش راهی جدید برای استفاده از ظرفیت عظیم دانش فناورانه نهفته در اسناد پتنت باز کرد. براین‌اساس، کشورهای درحال‌توسعه برای دستیابی به فرارسی و جهش در فناوری‌های خورشیدی می‌بایست به تقویت قابلیت نوآوری و جریان دانش داخلی با استفاده از انواع مختلفی از سیاست‌های علم و فناوری، از جمله سرمایه‌گذاری عمومی در آموزش، یارانه‌های مستقیم برای پژوهش‌های این حوزه و حمایت نهادی از نوآوری‌ها و اختراعات بپردازند. همچنین زیرساخت‌های لازم جهت ایجاد ارتباطات، همکاری‌های فناورانه و هماهنگی بین نقش‌آفرینان و بنگاه‌های فعال فناوری‌های خورشیدی نظیر مراکز پژوهشی، دانشگاه‌ها، شرکت‌های دانش‌بنیان، جامعه محلی و سایر ذی‌نفعان را آماده کنند. همچنین به‌منظور مشارکت در جریان دانش خارجی، دسترسی کامل به پایگاه پتنت‌های معتبر بین‌المللی و حمایت مالی و حقوقی از ثبت اختراعات در پایگاه‌های بین‌المللی توصیه می‌شود.

در مورد کشور ایران به‌طورخاص، مطابق با سند توسعه فناوری انرژی خورشیدی (پژوهشگاه نیرو[1]، ۲۰۱۴)، توسعه فناوری فتوولتائی در داخل کشور از مسیر حمایت و تشویق صنایع توانمند داخلی به همکاری فعالانه با پیش‌گامان این فناوری در دنیا (استفاده از دانش خارجی) و هم توسعه فناوری‌های نسل نوین فتوولتائی از طریق توسعه درون‌زا و تکیه بر توان دانشگاه‌ها، مراکز پژوهشی و شرکت‌های دانش‌بنیان داخلی (استفاده از منابع بومی دانش) دنبال می‌شود. علاوه‌برآن، ستاد توسعه فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر از سال ۱۳۸۷ باهدف حمایت از طرح‌های فناوری خورشیدی مبتنی بر ایجاد زیرساخت دستیابی به فناوری با رویکرد سوق‌دادن به‌سمت تولید محصولات نیمه‌صنعتی، تأسیس و در این زمینه فعال است. همچنین آیین‌نامه حمایت از ثبت اختراع در پایگاه‌های پتنت

1 . Niroo Research Institute (NRI)

خارجی (مانند آمریکا، اتحادیه اروپا، چین، اندونزی، کانادا، ژاپن و غیره) و معاهده همکاری ثبت اختراع باهدف حمایت در راســتای تجاری‌ســازی فناوری‌های مخترعان کشــور و مشارکت در جریان دانش خارجی (کانون پتنت ایران[1] ، ۲۰۲۲) تدوین و اجرایی شده‌است.

به‌عنوان پژوهش‌های آتی، مطالعه تطبیقی و مقایســه‌ای تفاوت‌های شــبکه جریان دانش ســایر حوزه‌های تجدیدپذیر نظیر انرژی بادی، زمین‌گرمایی و زیست‌توده علاوه بر انرژی خورشیدی دلالت‌ها و رهنمودهای خوبی را فراهم می‌آورد. همچنین شناسایی مسیرهای توسعه حوزه فناوری خورشیدی و یافتن الگوهای پنهان اثرگذار بر رشد این حوزه و الگوهای انتشار دانش در آن برای شناسایی پتنت‌های اثرگذار در مسیر فرارسی برای فهم این پدیده بسیار مفید خواهد بود.

1 . Iran Patent Center

منابع

Acemoglu, D., Akcigit, U., & Kerr, W. R. (2016). Innovation network. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *113*(41), 11483–11488. https://doi.org/10.1073/pnas.1613559113

Agryzkov, T., Tortosa, L., & Vicent, J. F. (2019). A variant of the current flow betweenness centrality and its application in urban networks. *Applied Mathematics and Computation*, *347*, 600-615. https://doi.org/10.1016/j.amc.2018.11.032

Bacchiocchi, E., & Montobbio, F. (2009). Knowledge diffusion from university and public research. A comparison between US, Japan and Europe using patent citations. *The Journal of Technology Transfer*, *34*(2), 169-181. https://doi.org/10.1007/s10961-007-9070-y

Binz, C., & Anadon, L. D. (2018). Unrelated diversification in latecomer contexts: Emergence of the Chinese solar photovoltaics industry. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, *28*, 14-34. https://doi.org/10.1016/j.eist.2018.03.005

Breschi, S., Malerba, F., & Orsenigo, L. (2000). Technological regimes and Schumpeterian patterns of innovation. *The economic journal*, *110*(463), 388-410. https://doi.org/10.1111/1468-0297.00530

Britto, J. N. D. P., & Ribeiro, L. C. (2021). International patent citations and its firm-led network. *Estudos Econômicos (São Paulo)*, *51*, 699-732. https://doi.org/10.1590/1980-53575143jle

Britto, J. N. D. P., Ribeiro, L. C., Araújo, L. T., & Albuquerque, E. D. M. E. (2020). Patent citations, knowledge flows, and catching-up: Evidences of different national experiences for the period 1 982–2006. *Science and Public Policy*, *47*(6), 788-802. https://doi.org/10.1093/scipol/scaa041

Chen, Z., & Guan, J. (2016). The core-peripheral structure of international knowledge flows: Evidence from patent citation data. *R&D Management*, *46*(1), 62-79. https://doi.org/10.1111/radm.12119

Cho, T. S., & Shih, H. Y. (2011). Patent citation network analysis of core and emerging technologies in Taiwan: 1997–2008. *Scientometrics*, *89*(3), 795-811. https://doi.org/10.1007/s11192-011-0457-z

Clarivate. (2021*). Derwent Innovation* [Data set]. https://clarivate.com/derwent/solutions/derwent-innovation/

Corrocher, N., Malerba, F., & Morrison, A. (2021). Technological regimes, patent growth, and catching-up in green technologies. *Industrial and Corporate Change*, *30*(4), 1084-1107. https://doi.org/10.1093/icc/dtab025

Dai, Y., Haakonsson, S., Huang, P., Lema, R. N., & Zhou, Y. (2020). Catching up through green windows of opportunity. *Industrial and Corporate Change, 29*(5), 1277-1295. https://doi.org/10.1093/icc/dtaa034

Fontana, R., Nuvolari, A., & Verspagen, B. (2009). Mapping technological trajectories as patent citation networks. An application to data communication standards. *Economics of innovation and new technology*, *18*(4), 311-336. https://doi.org/10.1080/10438590801969073

Freeman, L. C. (1977). A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, *40*(1), 35–41. https://doi.org/10.2307/3033543

Freeman, L. C., Borgatti, S. P., & White, D. R. (1991). Centrality in valued graphs: A measure of betweenness based on network flow. *Social networks*, *13*(2), 141-154. https://doi.org/10.1016/0378-8733(91)90017-N

Garfield, E., Sher, I. H., & Torpie, R. J. (1964). *The use of citation data in writing the history of science*. Institute for Scientific Information Inc Philadelphia PA. https://doi.org/10.21236/ad0466578

Hain, D. S., Jurowetzki, R., Konda, P., & Oehler, L. (2020). From catching up to industrial leadership: Towards an integrated market-technology perspective. An application of semantic patent-to-patent similarity in the wind and EV sector. *Industrial and Corporate Change*, *29*(5), 1233-1255. https://doi.org/10.1093/icc/dtaa021

Hu, A. G., & Jaffe, A. B. (2003). Patent citations and international knowledge flow: The cases of Korea and Taiwan. *International journal of industrial organization*, *21*(6), 849-880. https://doi.org/10.1016/S0167-7187(03)00035-3

Huenteler, J., Schmidt, T. S., Ossenbrink, J., & Hoffmann, V. H. (2016). Technology life-cycles in the energy sector-Technological characteristics and the role of deployment for innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, *104*, 102-121. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.09.022

Hung, S. W., & Wang, A. P. (2010). Examining the small world phenomenon in the patent citation network: A case study of the radio frequency identification (RFID) network. *Scientometrics*, *82*(1), 121-134. https://doi.org/10.1007/s11192-009-0032-z

IEA. (2020). *International Energy Agency*. [Report]. https://www.iea.org

Iran Patent Center. (2022). *Foreign Patent Protection bylaw* [n Persian].

https://patentoffice.ir/

Jaffe, A. B., Trajtenberg, M., & Henderson, R. (1993). Geographic localization of knowledge spillovers as evidenced by patent citations. *the Quarterly journal of Economics*, *108*(3), 577-598. https://doi.org/10.2307/2118401

Kashani, E. S., & Roshani, S. (2019). Evolution of innovation system literature: Intellectual bases and emerging trends. *Technological Forecasting and Social Change*, *146*, 68-80. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.05.010

Landini, F., Lema, R., & Malerba, F. (2020). Demand-led catch-up: A history-friendly model of latecomer development in the global green economy. *Industrial and Corporate Change*, *29*(5), 1297-1318. https://doi.org/10.1093/icc/dtaa038

Lee, K. (2013). *Schumpeterian analysis of economic catch-up: Knowledge, path-creation, and the middle-income trap*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781107337244

Lema, R., Fu, X., & Rabellotti, R. (2020). Green windows of opportunity: Latecomer development in the age of transformation toward sustainability. *Industrial and Corporate Change*, *29*(5), 1193-1209. https://doi.org/10.1093/icc/dtaa044

Li, X., Chen, H., Huang, Z., & Roco, M. C. (2007). Patent citation network in nanotechnology (1976–2004). *Journal of Nanoparticle Research*, *9*(3), 337-352. https://doi.org/10.1007/s11051-006-9194-2

Maleki, A., & Rosiello, A. (2019). Does knowledge base complexity affect spatial patterns of innovation? An empirical analysis in the upstream petroleum industry. *Technological Forecasting and Social Change*, *143*, 273-288. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.01.020

Maleki, A., Rosiello, A., & Wield, D. (2018). The effect of the dynamics of knowledge base complexity on Schumpeterian patterns of innovation: The upstream petroleum industry. R&D Management, *48*(4), 379-393. https://doi.org/10.1111/radm.12251

Mancusi, M. L. (2008). International spillovers and absorptive capacity: A cross-country cross-sector analysis based on patents and citations. *Journal of International Economics*, *76*(2), 155-165. https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2008.06.007

Mazzoleni, R., & Nelson, R. R. (2007). Public research institutions and economic catch-up. *Research policy*, *36*(10), 1512-1528. https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.06.007

Mazzucato, M., & Perez, C. (2015). Innovation as growth policy. *The Triple Challenge* *for Europe*, 229-64. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198747413.001.0001

Miao, Y., Song, J., Lee, K., & Jin, C. (2018). Technological catch-up by east Asian firms: Trends, issues, and future research agenda. *Asia Pacific Journal of Management*, *35*(3), 639-669. https://doi.org/10.1007/s10490-018-9566-z

Nelson, R. R. (2008). What enables rapid economic progress: What are the needed institutions? *Research policy*, *37*(1), 1-11. https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.10.008

Niroo Research Institute. (2014). Iran Solar Energy Technology Development Document. [n Persian]. https://www.nri.ac.ir/Tech-Plan

Nooy, W., Mrvar, A., Batagelj, V., & Granovetter, M. (2005). *Exploratory social network analysis with Pajek.* Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511806452

Osabe, Y., & Jibu, M. (2017). Towards more inclusive IP analysis by frontier tools. In S. L. Prabu & T. N. Kuppusami (Eds.), *Intellectual Property Rights*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.69505

Rosiello, A., & Maleki, A. (2021). A dynamic multi-sector analysis of technological catch-up: The impact of technology cycle times, knowledge base complexity and variety. *Research Policy*, *50*(3), 104194. https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.104194

Verspagen, B. (2007). Mapping technological trajectories as patent citation networks: A study on the history of fuel cell research. *Advances in complex systems*, *10*(01), 93-115. https://doi.org/10.1142/S0219525907000945

Wasserman, S., & Faust, K. (1994). *Social network analysis: Methods and applications.* Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511815478

Yang, W., Yu, X., Zhang, B., & Huang, Z. (2021). Mapping the landscape of international technology diffusion (1994–2017): Network analysis of transnational patents. *The Journal of Technology Transfer*, *46*(1), 138-171. https://doi.org/10.1007/s10961-019-09762-9

Ye, X., Zhang, J., Liu, Y., & Su, J. (2015). Study on the measurement of international knowledge flow based on the patent citation network. *International Journal of Technology Management*, *69*(3-4), 229-245. https://doi.org/10.1504/IJTM.2015.072971