# بررسی تاثیر تنوع ریشه‌های فناورانه پتنت بر همپایی فناورانه: مورد مطالعه فناوری‌های انرژی خورشیدی

■ محبوبه نوری‌زاده [1]
دانشجوی دکتری سیاست‌گذاری علم و فناوری دانشگاه تربیت مدرس
■ طاهره صاحب *+
استادیار مرکز مطالعات مدیریت، دانشگاه تربیت مدرس
■ شقایق صحرایی [2]
استادیار گروه مدیریت فناوری اطلاعات، دانشگاه تربیت مدرس
■ علی ملکی [3]
استادیار پژوهشکده سیاستگذاری شریف، دانشگاه صنعتی شریف

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۳۰، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۱۵ و تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۸
صفحات: ۹۰-۷۷
10.22034/JTD.2021.249855

## چکیده

صنایع سبز و انرژی‌های تجدیدپذیر، به دلیل مسائل مختلفی از جمله بحث گرمایش جهانی و لزوم پاسخگویی به نیاز روزافزون جوامع به انرژی به‌خصوص در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته‌است و پژوهشگران معتقدند گذار به اقتصاد و صنایع سبزتر به‌طور اساسی حول محور نقش تغییرات و تکامل فناورانه می‌چرخد. این تکامل فناورانه معمولا توسط فعالیت‌های حل مساله انجام می‌شود که دانش‌های مختلف از حوزه‌های یکسان یا مختلف فناوری را ادغام کرده و از ویژگی تجمعی دانش بهره می‌برد. با توجه به ضرورت و اهمیت توسعه فناوری‌های تجدیدپذیر، هدف پژوهش حاضر اینست که به بررسی تنوع دانشی ریشه‌های فناورانه در توسعه این فناوری‌ها و تاثیر این تنوع بر همپایی فناورانه کشورهای فعال در این حوزه بپردازد. از آنجا که انرژی خورشیدی بزرگترین منبع تولید انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان است، فناوری‌های این حوزه به‌عنوان مورد مطالعه انتخاب گردید. این پژوهش از نوع کاربردی فن‌سنجی بوده و با استفاده از روش تحلیل استنادی پتنت انجام شد. به‌منظور اجرای پژوهش، در گام اول پتنت‌های حوزه انرژی خورشیدی در بازه زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۶ از پایگاه پتنت درونت احصا شد. در گام بعد، استنادات رو به عقب هر پتنت استخراج شد. درگام سوم، تعداد کلاس‌های فناورانه مختلف مرتبط با این حوزه شناسایی و با استفاده از شاخص، اصالت هر پتنت با استفاده از زبان R محاسبه و در سطح ملی تجمیع شد. در گام چهارم، روند شاخص اصالت برای کشورهای موفق به همپایی بدست آمد. در نهایت مدلسازی رگرسیون نشان داد که هم برای کشور چین و هم برای کشور کره جنوبی، اصالت دانش و تنوع ریشه‌های فناورانه با همپایی فناورانه رابطه مثبت داشته است. در انتها نتیجه‌گیری و پیشنهادت پژوهش ارائه گردید.

**واژگان کلیدی:** انرژی تجدیدپذیر خورشیدی، صنایع سبز، همپایی فناورانه، تنوع فناورانه، اصالت دانش، کلاس‌های فناورانه.

۱ شماره نمابر: ۶۶۰۶۵۱۴۰ -۰۲۱ و آدرس پست الکترونیکی: M.noorizadeh@modares.ac.ir
* عهده دار مکاتبات
+ شماره نمابر: ۸۲۸۸۴۶۷۴-۰۲۱ و آدرس پست الکترونیکی: T.saheb@modares.ac.ir
۲ شماره نمابر: ۸۲۸۸۴۶۷۴-۰۲۱ و آدرس پست الکترونیکی: Sh.sahraei@modares.ac.ir
۳ شماره نمابر: ۶۶۰۶۵۱۴۰-۰۲۱ و آدرس پست الکترونیکی: A.maleki@sharif.edu

## ۱- مقدمه

رشد روزافزون نیاز به انرژی و پایان‌پذیری سوخت‌های فسیلی از یک سو و افزایش آلودگی‌های زیست محیطی از سوی دیگر، محرکی شده‌است که پژوهشگران و سرمایه‌گذاران در بخش انرژی، به سمت مهار و تامین انرژی از منابع تجدیدپذیر جذب شوند[۱]. انرژی خورشید از مهم‌ترین انواع انرژی‌های نو و تجدیدپذیر است که چنانچه جایگزین سوخت‌های فسیلی شود، می‌تواند به نگرانی‌های موجود درباره پایان‌پذیری و نیز آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از حامل‌های انرژی فسیلی و نوسان قیمت‌ها و بحران‌های انرژی خاتمه دهد. به‌علاوه در عصر اقتصادهای دانش بنیان، موفقیت دولت‌ها و توسعه کشورها در گرو تولید، بهره‌گیری و جذب دانش و فناوری روز است[۲] و پژوهشگران معتقدند گذار به اقتصاد و صنایع سبزتر حول محور نقش تغییرات فناورانه می‌چرخد[۳ و ۵] و تکامل فناورانه معمولا توسط فعالیت‌های حل مساله که سعی در یکپارچه‌کردن دانش‌های مختلف از حوزه‌های یکسان یا متفاوت فناورانه دارند، شکل گرفته و همان زمینه و یا حوزه‌های مختلف فناوری را ادغام کرده و از ویژگی تجمعی دانش بهره می‌برد. گرچه جریان دانش بیشتر در توسعه یک فناوری معین بوجود می‌آید، اما در میان حوزه‌های مختلف فناوری نیز سرریزهای دانشی مهمی وجود دارد که باعث افزایش تنوع فناوری نیز خواهدشد[۶].

یکی از حوزه‌های فناورانه‌ای که امروزه بر روی توسعه آن تلاش‌های پژوهشی و فناورانه زیادی انجام می‌شود، فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر است؛ چراکه از طرفی به دلیل مسائل مختلفی مانند بحث گرمایش جهانی و لزوم کاهش استفاده از انرژی‌های فسیلی و حرکت به سوی توسعه پایدار و کاهش اثرات مخرب تولید انبوه کربن و از طرفی دیگر، لزوم پاسخگویی به نیاز روزافزون کشورها و مناطق به انرژی، توسعه صنایع سبز و فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، مورد توجه پژوهشگران و سیاست‌مداران قرار گرفته است.

پژوهش حاضر بر این نکته تمرکز دارد که خاستگاه دانشی و تنوع ریشه‌های فناورانه یک اختراع چه تاثیری بر توسعه آن فناوری و همپایی فناورانه دارد. سوال کلی که این پژوهش به دنبال یافتن پاسخ آن است را می‌توان به‌صورت زیر بیان نمود:

**تنوع ریشه‌های فناورانه پتنت بر همپایی فناورانه کشورها در حوزه انرژی خورشیدی چه تاثیری داشته‌است؟**

## ۲- مرور ادبیات

### ۲-۱- همپایی فناورانه در انرژی خورشیدی

کشورها و مناطق در حال توسعه معمولا از مرزهای فناوری دور هستند و به‌طور عمده از طریق یادگیری تقلیدی و از طریق جذب دانش خارجی از نظر فنی پیشرفت می‌کنند و به اصطلاح به همپایی با کشورهای پیشرو می‌پردازند. این مکانیزم‌ها به‌عنوان یک عامل تعیین‌کننده مهم در امکان پیکربندی مجدد و متنوع‌سازی قابلیت‌های محلی به‌منظور القای تغییرات ساختاری در قلمرو تولید عمل می‌کنند[۷]. از آنجاکه انرژی خورشیدی به‌عنوان بزرگترین منبع تولید انرژی تجدیدپذیر جهان[۸] شناخته شده‌است و توسعه فناوری‌های انرژی خورشیدی مقرون به صرفه، پایان‌ناپذیر و پاک دارای مزایای طولانی مدت خواهد بود که باعث افزایش امنیت انرژی کشورها و پایداری، کاهش آلودگی و هزینه‌های مربوط به جلوگیری از گرمایش زمین و پایین نگه داشتن قیمت سوخت‌های فسیلی می‌شود، همپایی کشورها در این حوزه بسیار اهمیت دارد.

مفهوم همپایی تاریخچه طولانی دارد که از جمله در اثر معروف گرشکرون[۴](۱۹۶۲) به چشم می‌خورد[۹]. این اصطلاح اولین بار در میان اقتصاددانان توسعه زمانی رایج شد که مقاله تاثیرگذار آبراموویتز(۱۹۸۶) -همپایی، پیشروی و عقب افتادن[۵]- منتشر شد[۱۰]. پژوهشگران اقتصادی همپایی را به‌عنوان کاهش شکاف در بهره‌وری و درآمد بین یک کشور پیشرو و یک کشور عقب‌مانده تعریف کرده‌اند[۱۱]. همچنین همپایی به‌عنوان فرآیندی توصیف شده‌است که طی آن یک کشور متاخرِ در حال توسعه، شکاف درآمدی را کاهش می‌دهد(همپایی اقتصادی) و یا توانمندی فناوری خود را در مقابل یک کشور پیشرو افزایش می‌دهد(همپایی فناوری). به‌عبارتی می‌توان گفت همپایی فناورانه به معنای رسیدن به مرزهای دانش و فناوری در زمانی کوتاه‌تر است[۱۲].

این مطالعات نشان می‌دهد که همپایی ممکن است با استفاده از چندین شاخص مانند درآمد، بهره‌وری و قابلیت‌های فناورانه با توجه به هدف تحقیق اندازه‌گیری شود[۱۳]. در پژوهش حاضر تمرکز اصلی بر جنبه‌های فناورانه همپایی است که به‌عنوان بهبود قابل‌توجه قابلیت‌های فناورانه توسط کشورهای عقب‌مانده از فناوری در فرآیند کم‌کردن شکاف با کشورهای پیشرفته و در نتیجه نزدیک شدن به مرزهای فناوری جهانی در انرژی خورشیدی تعریف می‌شود.

4 Gerschenkron

5 Catching Up, Forging Ahead, and Falling Behind

یکی از خروجی‌های مهم در ارزیابی موفقیت توسعه فناوری، میزان اختراعات تحت عنوان شاخص پتنت است. پتنت را می‌توان به‌عنوان برونداد تحقیق و توسعه و بیانگر فعالیت‌های نوآورانه کشورها، مناطق و بنگاه‌ها در زمینه علم و فناوری[۱۴] و تعداد آن را به‌عنوان شاخصی برای همپایی فناورانه درنظرگرفت[۱۵].

**۲-۲- نقش دانش در اختراع**

فعالیت‌های اختراعی نتیجه فرآیند بازترکیب دانش است[۱۰ و ۱۱]. تحولات اخیر مربوط به نظریه اختراع، نشان می‌دهد که ویژگی‌های فضای جستجو بر نتایج بازترکیب دانش تاثیر می‌گذارد. همچنین نشان داده شده‌است که تعداد مولفه‌های دانشی و فناورانه و قدرت وابستگی متقابل یعنی پیچیدگی آنها، بر نتیجه فعالیت‌های اختراعی تاثیر می‌گذارد[۱۸].

دی مارکی(۲۰۱۲) استدلال می‌کند که توسعه محصولاتی که اثرات زیست محیطی را کاهش می‌دهد، یک فعالیت پیچیده است که به ورودی‌های دانش و شایستگی‌های متنوعی فراتر از پایگاه دانش سنتی صنعت نیاز دارد[۱۹]. پیچیدگی بیشتر فناوری‌های سبز با ماهیت چندمنظوره و سیستمی نوآوری‌های محیطی نشان داده می‌شود[۲۰] و نوآوری‌ها و فناوری‌های سبزِ زیست محیطی نمایانگر فناوری‌های پیشرویی هستند که در آن بازیگران اقتصادی تجربه نسبتا کمی دارند[۲۱].

به همین ترتیب، هورباخ و همکاران(۲۰۱۳) تاکید دارند که که نوآوری‌های زیست محیطی به‌طور عمومی شرکت‌ها را ملزم به تسلط بر دانش جدید، مرتبط با فرآیندهای تولید جایگزین و ورودی‌هایی می‌کند که به‌طور کلی با راه‌حل‌های نسبتا جدید فناوری مرتبط هستند[۲۲]. برخی پژوهشگران معتقدند که تنوع دانشی فناوری‌های زیست محیطی و طراحی صنعتی و مکانیزم‌های مهندسی پیچیده آنها، توسعه این فناوری‌ها را به ورودی‌های دانشی مکمل و تحلیلیِ از حوزه‌های مختلف وابسته می‌کند[۲۳].

**۲-۳- پتنت(سند ثبت اختراع)**

با افزایش تدریجی نقش دانش و فناوری در کسب‌وکارها و لزوم محافظت از نوآوری‌ها و دستاوردهای فناورانه، سیستم پتنت، به یکی از اجزای کلیدی در راهبردهای تصمیم‌گیری سیاست‌گذاران، شرکت‌ها و پژوهشگران تبدیل شده است. امروزه، شرکت‌های فناور بزرگ، کسب‌وکارهای نوپا، دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی و حتی مخترعین و پژوهشگران، در قالب متقاضیان حقوقی و حقیقی، به‌صورت گسترده‌ای اقدام به ثبت و محافظت از ابداعات فنی خود می‌نمایند.

پتنت، سندی مبنی بر اعطای حق مالکیت به مالک اختراع است که به‌وسیله اداره ثبت اختراع هر کشور تفویض می‌شود. به موجب این حق، مالک این توانایی را خواهد داشت تا در کشوری که اختراع خود را ثبت نموده است، برای مدتی محدود، از بهره‌برداری تجاری دیگران از آن ممانعت به‌عمل آورد.

براساس تعریف سازمان جهانی مالکیت فکری (وایپو)[۶]، پتنت، مجموعه‌ای از حقوق انحصاری است که به موجب قانون، به متقاضیانی اعطا می‌گردد که اختراعات آنها، جدید، غیربدیهی و دارای کاربرد تجاری است. اعتبار این حقوق، به مدت محدود(حدود ۲۰ ساله) بوده و صاحبان پتنت می‌توانند طی این بازه زمانی، به‌صورت انحصاری از اختراع خود بهره‌برداری نمایند. در مقابل، متقاضیان موظفند تا اختراعاتشان را برای عموم مردم افشا نموده، تا متخصصین و افراد دارای مهارت در حوزه مربوطه، بتوانند آن را تکثیر و بازآفرینی نمایند. البته مالک پتنت، ممکن است این اجازه یا مجوز بهره‌برداری را به دیگران داده، تا براساس آن بتوانند مطابق با توافق صورت گرفته، از اختراع مذکور استفاده نمایند. همچنین ممکن است که مخترع، به‌صورت کامل نسبت به فروش اختراع خود اقدام نماید که در این صورت، فرد خریدار، مالک جدید پتنت خواهد بود. شایان ذکر است که دوره زمانی حق انحصاری ناشی از ثبت پتنت، محدود بوده و پس از پایان این مهلت، همه می‌توانند بدون اینکه نقضی اتفاق افتاده باشد، از این اختراع برای منافع تجاری استفاده نمایند[۲۴ و ۲۵].

**۲-۴- استناد به پتنت**

پنتت‌ها سه نوع اطلاعات اصلی را ارائه می‌دهند: مولفه‌های دانش مورداستفاده برای توسعه اختراع، پایه دانشی که اختراع بر آن استوار است و دانش بعدی ایجاد شده توسط پتنت[۱۸]. در واقع می‌توان چنین بیان کرد پتنت‌ها دریچه‌ای برای تولید و انتشار دانش از طریق استناد به موارد دیگر است. استنادها به‌طور عمده به دوسته اصلی تقسیم می‌شود: استنادات رو به عقب[۷] و استنادات رو به جلو[۸](شکل شماره۱). استنادات رو به عقب در واقع پتنت‌های پیشینی هستند که یک پتنت موردمطالعه(کانونی) به آنها ارجاع داده است و نشان‌دهنده دانش و فناوری پیشینی است که پتنت فعلی بر مبنای آن ساخته شده است. یک پتنت برای ثبت‌شدن باید ثابت‌کند که دارای نوآوری و گام ابتکاری

6 World Intellectual Property Organization (WIPO)
7 backward citations
8 forward citations

نسبت به کارهای قبلی است؛ لذا استنادات رو به عقب نه‌تنها توسط خود متقاضی ذکر می‌شود بلکه در مراحل آزمودن توسط آزمون‌کننده[9] و سایر افراد جمع‌آوری و در سند ثبت اختراع(پتنت) ذکر می‌شود. در مطالعات مختلف از استنادات رو به عقب اغلب به‌عنوان معیاری برای انتقال دانش استفاده می‌کنند[۲۶].

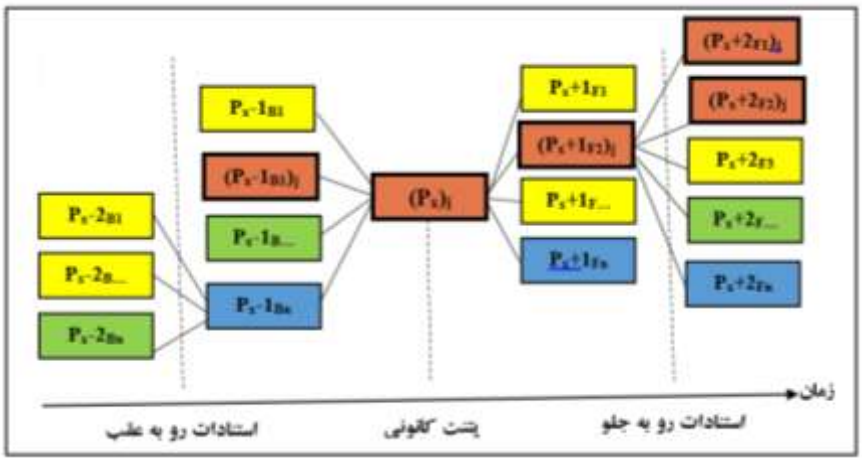
استنادات رو به جلو نشان‌دهنده وجود تلاش‌های پژوهشی انجام شده در راستای پتنت فعلی و هزینه‌ای که برای توسعه آن فناوری سرمایه‌گذاری شده است[۲۷ و ۲۸]. همچنین، آنها هم ارزش خصوصی و هم ارزش اجتماعی یک اختراع را نشان‌می‌دهد و معمولا برای اندازه‌گیری تاثیر فناورانه یک اختراع استفاده می‌شود[۲۷ و ۳۱]. این استنادات، مانند استنادات رو به عقب نبوده و به مرور و با گذشت زمان و هنگامی به پتنت مورد مطالعه (کانونی) ارجاع می‌دهند، جمع‌آوری می‌شوند و سال به سال بر تعدادشان افزوده شود. این موضوع باعث می‌شود که در طول زمان خود را نشان می‌دهند و حتی ممکن است سال‌های زیادی طول بکشد تا استنادات رو به جلو یک پتنت تجمیع شوند[۲۹].

استنادات رو به عقب خود دو نوع هستند: (۱) پتنت‌های قبلی و (۲) سایر موارد[10] نظیر انتشارات علمی، فنی و بازاریابی که مخترعان را به سمت ایده‌های خود سوق داده‌اند[۷]. هال و همکاران(۲۰۰۱) در کار تاثیرگذار خود از پتنت به‌عنوان شاخص دانش جدید ایجاد شده و از استناد به پتنت به‌عنوان شاخص انتشار دانش، براساس داده‌های پتنت اداره ثبت اختراع ایالات متحده آمریکا[11] استفاده کردند[۲۹]. استنادات پتنت به منزله شواهدی تایید شده از دانش قبلی است که توسط مخترع /مخترعان، استفاده شده‌است و برای درخواست پتنت، متقاضی موظف است لیستی از مهم‌ترین پتنت‌های قبلی ارائه دهد که اختراع خود براساس آنها ساخته شده است[۳۲]. لیست استنادات نشان‌دهنده جریان مستقیم یا ارتباط غیرمستقیم دانش نهفته در سایر پتنت‌ها است که امکان پیگیری تاثیر اختراعات گذشته و ایجاد دید وسیعی از جریان دانش را فراهم می‌کند[۳۳].

### ۲-۵- ریشه‌های فناورانه پتنت

یکی از مهم‌ترین مواردی که در مطالعه اسناد پتنت باید به آن توجه داشت، کدهای طبقه‌بندی پتنت[12] است. این کدها، نشان می‌دهند که پتنت، به کدام حوزه از فناوری‌ها مرتبط است. پتنت‌ها در هنگام ارزیابی، بر مبنای یک نظام طبقه‌بندی استاندارد و بین‌المللی کدگذاری شده و از این طریق، به کاربران در جستجوی ساده‌تر آنها کمک می‌نمایند. با کدگذاری و طبقه‌بندی پتنت‌ها، امکان گزارش‌گیری و تحلیل روند ثبت اختراع در حوزه‌های مختلف فناوری مهیا می‌شود[۲۵].

برای بررسی تاثیر تنوع ریشه‌های فناورانه پتنت بر همپایی فناورانه و رشد فناوری‌های خورشیدی، لازم‌است ریشه‌های فناورانه پتنت‌های این حوزه براساس کلاس‌های فناورانه استنادات رو به عقب موجود در پتنت بدست آورده شوند. چنانچه این استنادات رو به عقب از نظر تعداد و تعدد حوزه‌های فناورانه زیاد باشد، نشان‌دهنده اینست که اختراع کنونی پیشایندهای متنوعی از لحاظ حقوقی و هم از لحاظ فناورانه دارد[۳۴]. تعداد استنادات رو به عقب به‌عنوان شاخص میزان اتکا به فناوری قبلی است اما در این پژوهش، تعداد این استنادات مهم نیست بلکه تنوع ریشه‌های فناورانه پتنت‌ها در حوزه انرژی خورشیدی اهمیت دارد.




9 Examiner
10 None Patent Literature
11 USPTO
12 Patent Classification Code

**شکل ۱: چارچوب استنادات پتنت[۳۵]**

در شکل شماره ۱ رنگ‌های متفاوت نشان‌دهنده تعلق پتنت‌ها به کلاس‌های فناورانه مختلف است[۳۶].

## ۳- داده و روش‌شناسی

این پژوهش از نوع کاربردی فن‌سنجی[13] است. فن سنجی رشته‌ای متشکل از ترکیب چندین حوزه مانند اقتصادسنجی، مهندسی و ریاضیات کاربردی، آمار ریاضی و چند متغیره برای تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ است که تغییرات فناورانه را اندازه‌گیری و ارزیابی می‌کند و از نیمه دوم قرن بیستم به یک حوزه پژوهشی متمایز تبدیل شده‌است. روش مورداستفاده در این پژوهش، تحلیل استنادی پتنت[14] است که به معنی بررسی اسنادی است که در پتنت به آنها استناد شده و تحت عنوان دانش پیشین[15] معرفی شده است. این کار، یک تکنیک مهم و کارآمد برای ارزیابی فناوری‌ها و اختراعات جدید است[۲۵].

کار بر روی داده‌های این پژوهش در ۵ گام جمع‌آوری داده، پردازش و استخراج استنادات و استخراج کلاس‌های فناورانه، محاسبه شاخص اصالت و مدلسازی رگرسیون انجام شده‌است.

### ۳-۱- گام اول: استخراج و بازیابی پتنت‌ها

این پژوهش براساس داده‌های پایگاه نوآوری دِرونت[16] انجام شده که یکی از خدمات موسسه کلاریویت است. این پایگاه دسترسی به داده‌های بیش از ۵۰ مرجع صادر کننده اختراع را در یک قالب استاندارد و با ترجمه انگلیسی از ۳۰ زبان فراهم می‌کند[۳۷]. بازه جمع‌آوری اطلاعات دوره زمانی ۱۹۸۰- ۲۰۱۶ بود و اطلاعاتی همچون شماره پتنت، استنادات، کدهای طبقه‌بندی فناوری، کشور مخترع یا صاحب پتنت، تاریخ تقاضای ثبت پتنت و دسته‌بندی[17] جمع‌آوری شد(df00).

### ۳-۲- گام دوم: پردازش داده و استخراج استنادات

از آنجا که هر پتنت ممکن است به بیش از یک پتنت استناد کند، به‌منظور آماده‌سازی داده‌ها برای محاسبه شاخص اصالت دانش، ابتدا فیلد پتنت استناد شده شکسته شد تا رابطه یک به یک بین پتنت کانونی(استناد کننده) و پتنت استناد شونده برقرار شود(df01). این کار با استفاده از زبان R و نرم‌افزار Rstudio انجام شد. R، یک زبان برنامه‌نویسی و محیط نرم‌افزاری برای محاسبات آماری و علم داده‌هاست این زبان که بیشتر برای عملیات آماری استفاده می شود. کاربردهای فراوانی در آمار و احتمالات و همچنین یادگیری ماشین و داده کاوی دارد. RStudio یک محیط توسعه یکپارچه[18] است که به کاربر امکان می‌دهد با R راحت‌تر تعامل داشته باشد[۳۸].

### ۳-۳- احصای کلاس‌های فناورانه

از آنجا که هر پتنت ممکن است به بیش از یک کلاس فناوری تعلق داشته باشد، در این گام به‌منظور احصای کلاس‌های فناوری که پتنت استنادشده متعلق به آنان است، فیلد "کدهای طبقه‌بندی فناوری" مربوط به پتنت‌های استنادشده شکسته شد تا رابطه یک به یک بین پتنت کانونی و کلاس فناورانه‌ای برقرار شود که به آن استناد کرده است(df02).

### ۳-۴- محاسبه شاخص اصالت[19]

شاخص اصالت توسط تراجنبرگ و همکاران(۱۹۹۷) توسعه یافت[۳۴] و به‌طور گسترده در ادبیات مرتبط با تحلیل استنادی استفاده می‌شود[۹، ۱۸، ۲۹، ۳۵ و ۳۹]. این شاخص میزان پراکندگی استفاده یک پتنت از اختراعات قبلی را در زمینه‌های مختلف فناوری یا همان زمینه فناورانه را اندازه‌گیری می‌کند. با بهره‌برداری از اطلاعات مربوط به استنادات رو به عقب، شاخص اصالت پتنت موردمطالعه، دامنه‌های فناوری متنوعی را نشان می‌دهد که پتنت‌های استناد شده به آن تعلق دارد(df03). هرچه سطح شاخص اصالت پتنت بالاتر باشد، تنوع منابع دانش در زمینه‌های فناوری بیشتر می‌شود. اصالت به‌صورت معادله (۱) سنجیده می‌شود[۳۴]:

$$Originality = 1 - \sum_{j}^{n_j} s_{ij}^2 \qquad (۱)$$

که در آن $s_{ij}$ درصد استنادهایی است که توسط پتنت $i$ در کلاس‌های ثبت اختراع ۴ رقمی $j$ در بین $n_i$ کلاس‌های ثبت اختراع ایجاد شده است.

شاخص اصالت به‌عنوان شاخص تمرکز هرفیندال-هیرشمن[20] در کلاس‌های ثبت اختراع محاسبه می‌شود و از ۰ تا ۱ متغیر است. سطوح بالای این شاخص نشان می‌دهد که پتنت‌های ذکر شده از طیف گسترده‌ای از کلاس‌های مختلف فناوری می‌آیند؛ به این معنی که پتنت موردمطالعه نتیجه ترکیبی از زمینه‌های فناورانه متعدد است. اصالت زمانی افزایش می‌یابد که یک پتنت

13 Technometric
14 patent analysis
15 Prior Art
16 Derwent Innovation
17 Derwent Manual Code
18 integrated development environment (IDE)
19 originality index
20 Herfindahl-Hirschman (HH)

به اختراعات بسیاری مربوط به کلاس‌های مختلف فناوری استناد می‌کند. لذا می‌توان اینگونه بیان کرد که مقادیر بالای اصالت با رژیم‌های فناورانه‌ای مرتبط است که دانش عمومی است؛ درحالی‌که مقادیر پایین اصالت با رژیم‌هایی همراه است که دانش خاص است[۴۱]. به‌عبارتی اصالت پتنت به گستردگی زمینه‌های فناوری اشاره دارد که یک پتنت بر آن تکیه دارد. این مفهوم از تنوع دانش و اهمیت آن برای نوآوری را عملیاتی می‌کند[۳۱].

در شکل شماره ۲ فلوچارت محاسبه این شاخص با استفاده از زبان R آمده است. ذکر این نکته لازم است که برای محاسبه شاخص اصالت پتنت‌های در سطح ملی و به ازای هر کشور، میانگین شاخص اصالت برای پتنت‌های هر کشور در هر سال محاسبه می‌شود.

**شکل ۲: الگوریتم محاسبه شاخص اصالت با استفاده از زبان R**

### ۳-۵- مدلسازی رگرسیون

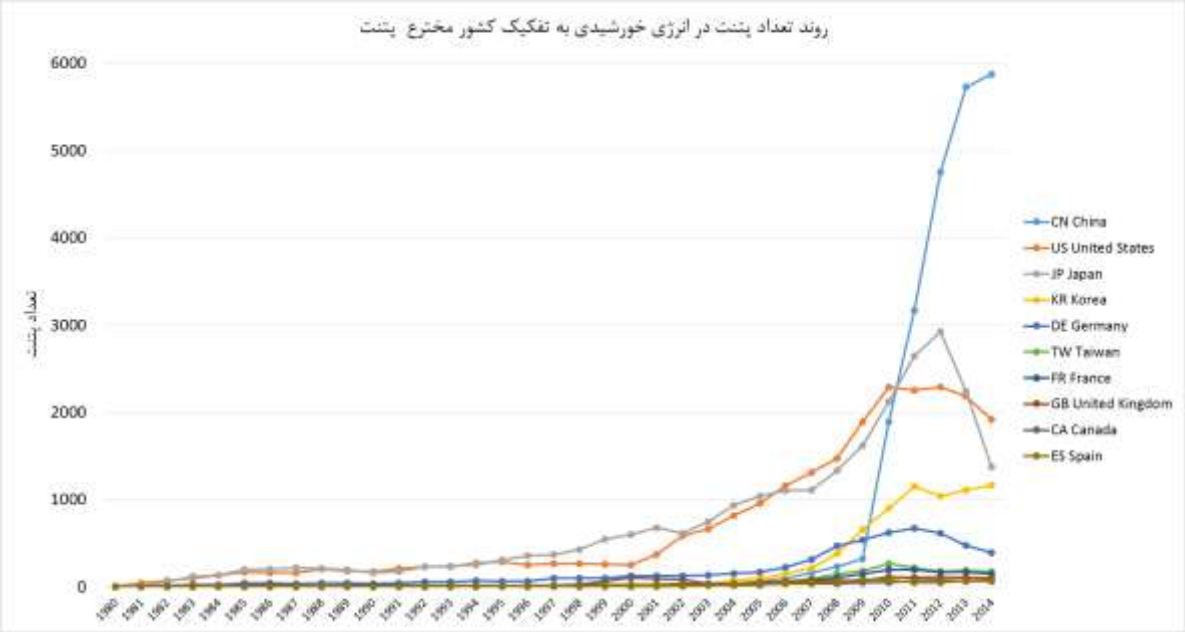
در مدل‌های آماری، تحلیل رگرسیون، یک فرایند آماری برای تخمین روابط بین متغیرها است. این روش شامل تکنیک‌های زیادی برای مدل‌سازی و تحلیل متغیرهای خاص و منحصر بفرد، با تمرکز بر رابطه بین متغیر وابسته و یک یا چند متغیر مستقل، است. یک مدل رگرسیون، Y(متغیر وابسته) را به یک تابع از X(متغیر مستقل) و ß مرتبط می‌کند[۳۸].

## ۴- یافته‌ها

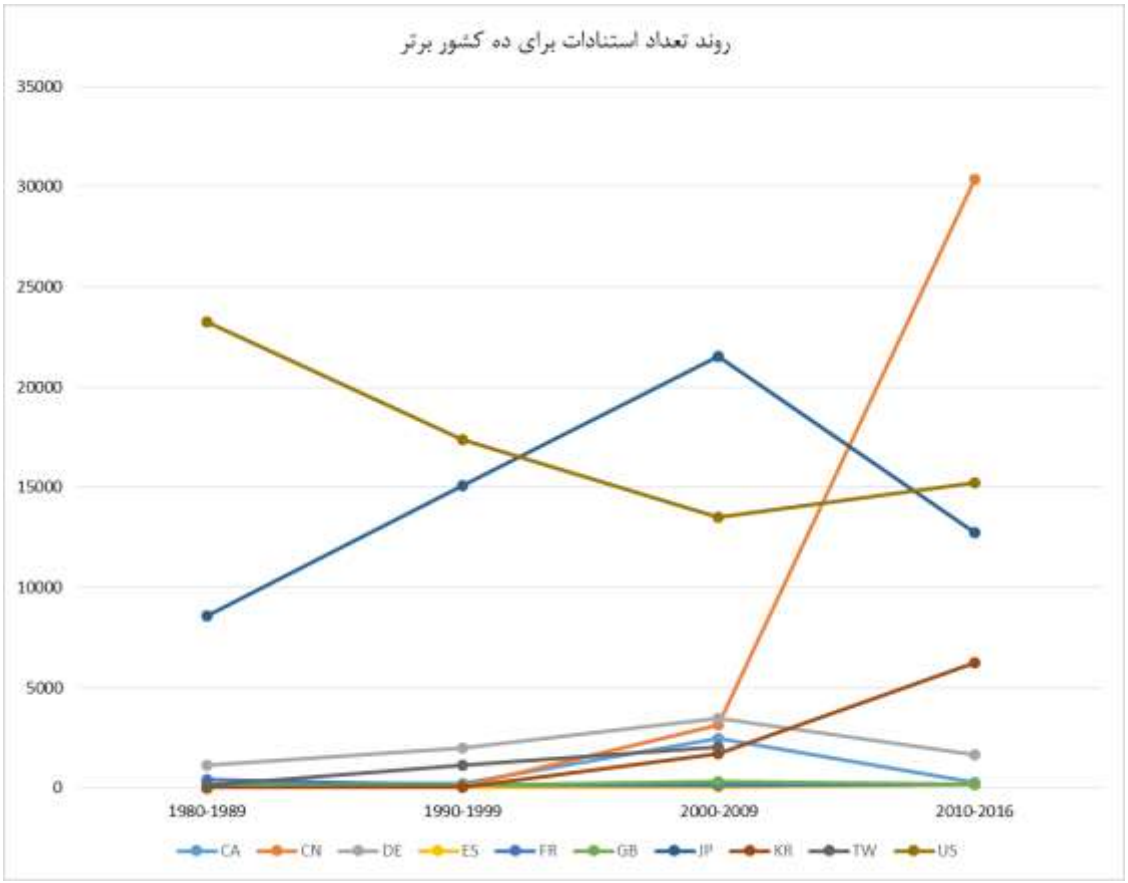
### ۴-۱- تعداد پتنت‌ها و استنادات

همانطور که در بخش روش‌شناسی گفته‌شد، برای اکتساب داده‌های مربوط به انرژی خورشیدی از رشته جستجوی MAN=X15-A استفاده شد. تعداد پتنت‌های استخراج شده ۱۰۳۸۰۶ عدد بود(df00). سپس با استفاده از زبان R، فیلد استنادات رو به عقب شکسته شد و تعداد ۱۹۲۳۶۹ استناد بدست آمد(df01).

در شکل شماره ۳، روند تعداد پتنت‌های انرژی خورشیدی به ازای ۱۰ کشور برتر دارای تعداد پتنت بالاتر آمده‌است. همانطور در این شکل مشاهده می‌شود، در ابتدا کشورهای آمریکا، ژاپن و آلمان از نظر تعداد پتنت براساس کشور مخترع یا صاحب پتنت، پیشرو بودند؛ ولی در ادامه چین و کره جنوبی توانستند شکاف و فاصله فناورانه خود را با این کشورها کاهش داده و از نظر شاخص تعداد پتنت، خود را به آنها برسانند و از این حیث، همپایی فناورانه نمایند. همچنین در شکل شماره ۴، روند تعداد استنادات به پتنت‌های ثبت شده هر کشور در حوزه انرژی خورشیدی برای ده کشور برتر از لحاظ میزان استنادات آمده‌است.



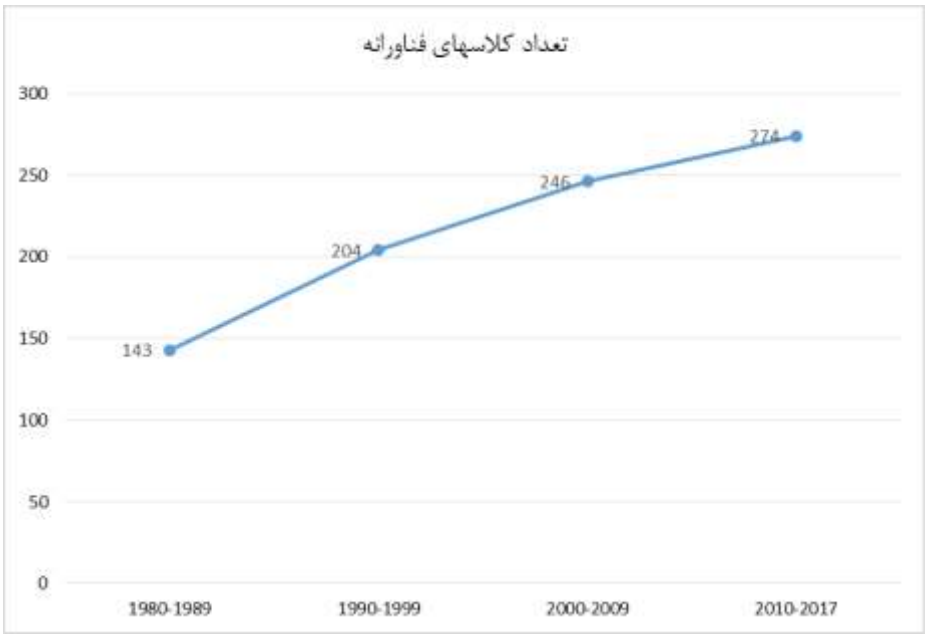

**شکل ۳: روند تعداد پتنت به تفکیک کشور در بازه ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۴**




**شکل ۴: روند تعداد استنادات به پتنت کشورها**

### ۴-۲- کلاس‌های فناورانه حوزه انرژی خورشیدی

همانطور که در بخش روش‌شناسی گفته شد، برای محاسبه شاخص اصالت ابتدا باید کلاس‌های فناورانه‌ای را احصا کرد که در حوزه انرژی خورشیدی است. جدول شماره ۱ نشان‌دهنده اطلاعات کلاس‌های فناورانه و توزیع فراوانی پتنت‌های حوزه خورشیدی در سال ۲۰۱۶ است. تعداد کلاس‌های فناورانه ۲۷۴ کلاس جداگانه بود که در شکل شماره ۵ روند آن به تفکیک چهار دوره مورد بررسی آمده است.




**شکل ۵: روند تعداد کلاس‌های فناورانه**

در جدول شماره ۱، بیست مورد اول کلاس‌ها از لحاظ فراوانی آمده‌است. به جهت پرهیز از شلوغی فقط کلاس‌ها برای دوره آخر بررسی شده است. مشاهده می‌شود که تنها ۲۷ درصد دانش حوزه از درون خود حوزه نشات می‌گیرد(X15) و بقیه دانش اختراعات حوزه خورشیدی از سایر حوزه های فناورانه مطابق جدول شماره ۱ به این حوزه جریان می‌یابد.

**جدول ۱: ۲۰ کلاس دارای فراوانی توزیع بالاتر استنادات پتنت‌های حوزه خورشیدی در کلاس‌های فناورانه در سال ۲۰۱۶**

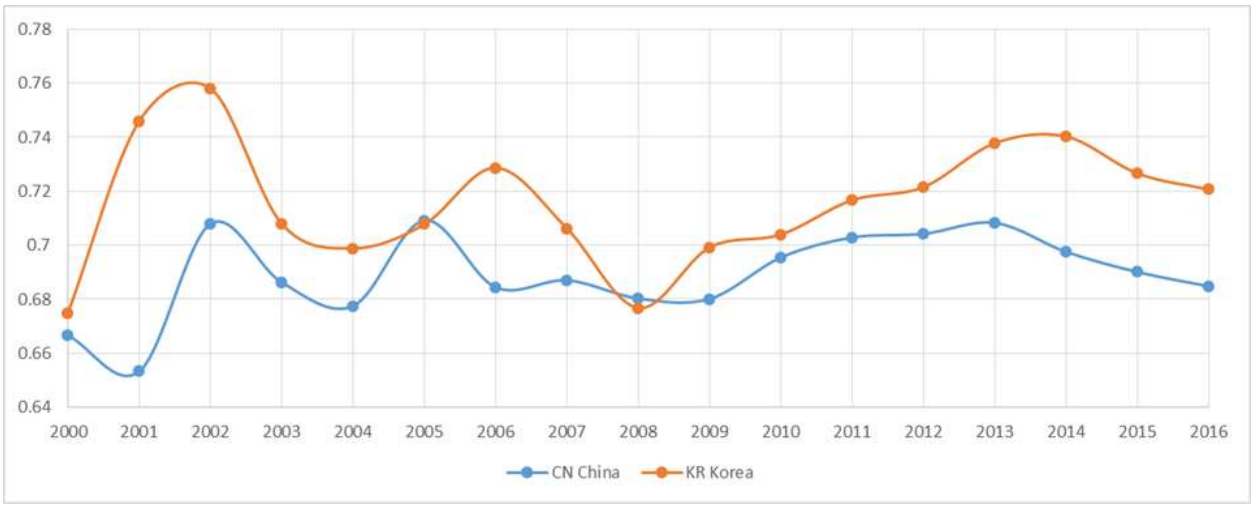
| | کلاس فناوری‌درونت | درصد |
|---|---|---|
| X15 | سیستم‌های تولید برق با سوخت غیرفسیلی، انرژی زمین گرمایی، باد، امواج و خورشیدی، انواع تولید برق. | 27.01% |
| U12 | دستگاه‌های گسسته(H01L) دستگاه‌های نیمه هادی مجزا، به عنوان اجزای گسسته یا بخش‌های خاصی از مدار مجتمع. به‌عنوان مثال LEDها، از جمله آرایه‌های LED، لیزرهای نیمه هادی، سلول‌ها و آرایه‌های فتوولتائیک، آشکارسازهای نوری گسسته، مبدل‌های نیمه‌هادی، دیودها، خازن‌ها، ترانزیستورهای دوقطبی، تریستورها، ترانزیستورهای تک قطبی FET، HEMT و دستگاه-های تداخل کوانتومی. | 16.77% |
| L03 | الکترو (غیر)آلی، خواص شیمیایی رساناها، مقاومت‌ها، آهنرباها، خازن‌ها و سوئیچ‌ها، لامپ‌های تخلیه الکتریکی، نیمه هادی‌ها و سایر مواد، باتری‌ها، انباشته‌ها و دستگاه‌های ترمو الکتریک، از جمله سلول‌های سوختی، رسانه‌های ضبط مغناطیسی، دستگاه‌های انتشار تشعشع، کریستال‌های مایع و عناصر الکتریکی اساسی.<br>الکتروگرافی، الکتروفوتوگرافی، مگنتوگرافی، الکترولیز، الکتروفورز، نیروگاه، تکنیک‌های اشعه ایکس و پلاسما، رزین‌های تبادل یونی، پلی الکترولیت‌ها، آبکاری الکتریکی، رسوب دهی فلزات، شکل دهی الکتریکی، آندایزینگ، تمیز کردن الکترولیتی، حفاظت کاتدی و تولید یا پالایش الکترولیتی یا الکترومیکی فلزات همه در جای دیگری پوشش داده شده‌اند(بخش‌های G، J، K و M). | 10.63% |
| U11 | مواد و فرآیندهای نیمه هادی (H01L ،C30B) مواد، پردازش بستر و لایه، بسته‌ها و اتصالات، مونتاژ، آزمایش و رسیدگی به جنبه‌های همه دستگاه‌های نیمه‌هادی، موجود در U12، U13، U14. جنبه‌های ساخت خاص دستگاه‌هایی مانند LED، لیزر، سلول‌های خورشیدی و به‌ویژه فیلم‌های ضخیم و مدارهای هیبریدی در U12 و U14 پوشش داده شده‌اند. | 6.72% |
| A85 | برنامه‌های کاربردی برق | 3.72% |
| Q74 | گرمایش، محدوده، تهویه (F24). | 2.65% |
| X16 | ذخیره‌سازی الکتروشیمیایی(H01M) سلول‌ها و باتری‌های اولیه، ثانویه و سوختی. شارژرهای باتری. ذخیره سازی غیرالکتروشیمیایی انرژی الکتریکی | 2.36% |

| | | |
|---|---|---|
| U14 | حافظه‌ها، فیلم و مدارهای ترکیبی(H01L ،G11C) حافظه‌های دیجیتال شامل حافظه‌های مغناطیسی، نوری، نیمه‌رسانا، فروالکتریک آنالوگ. تست حافظه دستگاه‌های ترموالکتریک. مواد و وسایل فوق رسانا آرایه‌ها و لایه‌های فیلم نازک. فیلم ضخیم و مدارهای هیبریدی از جمله تخته‌های سیم کشی سرامیکی چند لایه. منابع نور الکترولومینسانس نمایشگرهای غیرفعال، به‌ویژه نمایشگر کریستال مایع. | 1.50% |
| Q45 | سقف، پله ها، کف (E04D ،F). | 1.36% |
| X12 | توزیع/قطعات/تبدیل برق (H01B ،H01T ،H02G ،H02J ،H02M) توزیع/کنترل AC، DC و HVDC با قدرت بالا. کابل برق و ارتباط. کابل‌ها، سیم‌پیچ‌ها و آهنرباهای ابررسانا. نصب کابل و خطوط برق. ترانسفورماتورهای قدرت، راکتورها. شکاف‌ها و مدارهای جرقه. عایق‌ها کانکتورهای قدرت بالا مبدل‌های قدرت مواد رسانا، ابررسانا و عایق. | 1.34% |
| T01 | کامپیوترهای دیجیتال(G06C-F) پردازشگرهای الکترونیکی داده، رابطها و کنترل برنامه. کامپیوترهای دیجیتال مکانیکی | 1.14% |
| U24 | تقویت‌کننده‌ها و منابع تغذیه کم(H03F ،H03G ،G05F ،H02M) تقویت‌کننده‌های DC، LF و HF، تقویت‌کننده‌های پارامتریک، مغناطیسی، دی الکتریک. بدست آوردن کنترل. فشرده‌سازی یا انبساط حجم. محدودکننده‌ها تثبیت ولتاژ و جریان، منابع تغذیه، مبدل، اینورتر، یکسو کننده. حفاظت کم مصرف | 1.05% |
| W06 | سیستم‌های هوانوردی، دریایی و رادار(G01S) رادار، سونار و لیدار. تجهیزات اندازه‌گیری سرعت و عمق سیستم‌های کنترل فرودگاه کنترل و ابزار دقیق کشتی و هواپیما. شبیه‌سازهای پرواز وسایل نقلیه فضایی، از جمله ماهواره‌ها. | 1.01% |
| X26 | روشنایی(F21، H01J ،H01K) لامپ‌های تخلیه، رشته‌ای و قوس الکتریکی. تجهیزات عملیاتی و کنترلی. اتصالات نور دستگاه‌های روشنایی قابل حمل. تجهیزات نورپردازی صحنه. | 0.99% |
| P81 | اپتیک(G02). | 0.84% |
| X25 | تجهیزات الکتریکی صنعتی(H05B, F27) کوره‌ها و کوره‌های الکتریکی. مقاومت، القایی، تخلیه الکتریکی و گرمایش میدان EM. پاشش و تمیز کردن الکترواستاتیک. دستگاه ویبره. فرآیندهای الکترولیتی پالایش فلزات الکتریکی ابزارهای برقی. تجهیزات خشک کن صنعتی آهنرباهای جداکننده سنگ معدن نگهدارنده کار مغناطیسی. آهنرباهای بالابر. ماشین آلات دوخت. اجزای صنعتی به‌عنوان مثال پمپ‌ها، فن‌ها | 0.73% |
| V04 | مدارهای چاپی و اتصالات PCBs (H01R, H05K) و ساخت آنها. کانکتورهای کم مصرف دستگاه‌های الکترونیکی، محفظه‌ها و جزئیات ساختمانی. غربالگری RFI/EMI ساخت مدار عمومی | 0.66% |
| P73 | محصولات لایه‌ای(B32) | 0.66% |
| X27 | لوازم برقی خانگی(A47, F24) ماشین لباسشویی، خشک کن، اتو. جاروبرقی. اجاق برقی، مایکروفر. لوازم آشپزخانه. یخچال و فریزر. آبگرمکن. تجهیزات گرمایش و تهویه مطبوع فضا. لوازم برقی شخصی و بهداشتی. | 0.64% |

### ۴-۳- روند شاخص اصالت

از آنجا که با توجه به بررسی تعدا پتنت‌ها و استنادات در بخش قبل، مشاهده شد کشور چین و پس از آن کره‌جنوبی توانسته‌اند وضعیت خود را در زمینه پتنت‌های انرژی خورشیدی بهبود دهند، لذا شاخص اصالت برای این دو کشور بعد از سال ۲۰۰۰ که رشد تعداد پتنت‌ها شروع شده است، مورد بررسی قرار گرفت.

همانطورکه در شکل شماره ۶ نشان داده شده است، میزان این شاخص حالت نوسانی داشته ولی در نهایت به حدود ۷۰ درصد رسیده است. با توجه به اینکه محدوده عددی شاخص را با ۰-۰,۴۴(کم)، ۰,۴۵-۰,۶۵(متوسط) و ۰,۶۶-۱(بالا) بیان می‌شود[۳۵]، لذا می‌توان چنین بیان کرد که مقادیر بالای اصالت با همپایی فناورانه رابطه مثبت دارد.




**شکل ۶: روند اصالت دانش جذب شده در شبکه استنادات پتنت برای کشورهای موفق به همپایی**

## ۴-۴- سنجش تاثیر شاخص اصالت بر همپایی فناورانه

همانطور که نتایج بررسی تعدا پتنت‌ها و استنادات نشان داد، دو کشور چین و کره‌جنوبی توانستند فاصله و شکاف فناورانه خود را با کشورهای پیشرو کم کنند و حتی چین توانسته‌است به لحاظ تعداد پتنت و استنادات از آنها پیشی بگیرد. در ادامه تعداد مشاهدات(۳۷ مشاهده به ازای هرسال از ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۶) اصالت به‌عنوان متغیر مستقل و تعداد پتنت‌ها به‌عنوان متغیر وابسته برای دو کشور چین و کره جنوبی و با استفاده از نرم‌افزار SPSS مدلسازی شد که در جداول شماره ۲ و ۳ خلاصه نتایج آن آمده است. همانطور که در جدول شماره ۲ آمده است، بین اصالت فناورانه پتنت‌های انرژی خورشیدی و تعداد پتنت کشور چین در بررسی طولی ۳۷ ساله، همبستگی مثبت به‌دلیل ضریب تعیین بالای صفر(R=0.45) وجود دارد و از آنجا که سطح معناداری(۰/۰۰۵) کمتر از پنج صدم است، لذا همبستگی معنادار است. همچنین همانطور که در جدول شماره ۳ آمده است، بین اصالت فناورانه پتنت‌های انرژی خورشیدی و تعداد پتنت کشور کره‌جنوبی در بررسی طولی ۳۷ ساله، همبستگی مثبت به‌دلیل ضریب تعیین بالای صفر(R=0.35) وجود دارد و از آنجا که سطح معناداری(۰/۰۳) کمتر از پنج صدم است، لذا همبستگی معنادار است.

**جدول ۲: نتایج آزمون تاثیر اصالت پتنت بر همپایی فناورانه برای کشور چین**

| | | | *Regression Statistics* | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Multiple R | 0.450316644 | | | | |
| | | | R Square | 0.202785079 | | | | |
| | | | Adjusted R Sq | 0.18000751 | | | | |
| | | | Standard Erro | 1543.167279 | | | | |
| | | | Observations | 37 | | | | |
| *ANOVA* | *df* | *SS* | *MS* | *F* | *Significance F* | | | |
| Regression | 1 | 2120091649 | 2120091649 | 8.902841124 | 0.005162185 | | | |
| Residual | 35 | 83347783.78 | 2381365.251 | | | | | |
| Total | 36 | 1045487003 | | | | | | |
| | *Coefficients* | *Standard Error* | *t Stat* | *P-value* | *Lower 95%* | *Upper 95%* | *Lower 95.0%* | *Upper 95.0%* |
| Intercept | -21.04373525 | 363.6202369 | -0.057872839 | 0.954179073 | -759.2320611 | 717.1446 | -759.232 | 717.1446 |
| Patent | 2195.256759 | 735.7343135 | 2.983762914 | 0.005162185 | 701.6366959 | 3688.877 | 701.6367 | 3688.877 |

جدول ۳: نتایج آزمون تاثیر اصالت پتنت بر همپایی فناورانه برای کشور کره جنوبی

| | | | Regression Statistics | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Multiple R | 0.351696192 | | | | |
| | | | R Square | 0.123690211 | | | | |
| | | | Adjusted R Sq | 0.098652789 | | | | |
| | | | Standard Erro | 371.9226856 | | | | |
| | | | Observations | 37 | | | | |
| *ANOVA* | *df* | *SS* | *MS* | *F* | *Significance F* | | | |
| Regression | 1 | 683362.3548 | 683362.3548 | 4.940213434 | 0.032795317 | | | |
| Residual | 35 | 4841426.942 | 138326.4841 | | | | | |
| Total | 36 | 5524789.297 | | | | | | |
| | *Coefficients* | *Standard Error* | *t Stat* | *P-value* | *Lower 95%* | *Upper 95%* | *Lower 95.0%* | *Upper 95.0%* |
| Intercept | 1.090871001 | 117.3547641 | 0.009295498 | 0.992636155 | -237.151966 | 239.3337 | -237.152 | 239.3337 |
| Patent | 424.0169196 | 190.7701102 | 2.222659091 | 0.032795317 | 36.73300648 | 811.3008 | 36.73301 | 811.3008 |

## ۵- نتیجه‌گیری

این تصور که نوآوری در فناوری ترکیب مجدد اجزای موجود است، ریشه عمیقی در ادبیات تاریخ تحولات فناوری دارد[۴۲]. در این پژوهش سعی شد تا با توجه به اهمیت پایه‌های دانشی و ریشه‌های فناورانه، تاثیر تنوع این پایه‌ها بر همپایی فناورانه کشورهای فعال در حوزه انرژی‌های خورشیدی نگریسته شود. بدین منظور، تعداد ۱۰۳۸۰۶ پتنت و ۱۹۲۳۶۹ استناد در حوزه انرژی خورشیدی در سطح ملی طی ۳۷ سال(۱۹۸۰-۲۰۱۶) و در ۲۷۴ کلاس فناورانه بررسی شد. نتایج نشان داد که کشور چین و کره جنوبی توانسته‌اند هم از لحاظ تعداد پتنت و هم از لحاظ تعداد استنادات به همپایی فناورانه با کشورهای پیشرو یعنی آمریکا، ژاپن و آلمان بپردازند.

سپس از شاخص اصالت دانش برای بررسی تنوع ریشه‌های دانشی و فناورانه پتنت‌ها در طول ۳۷ سال برای چین و کره استفاده شد. نتیجه نشان داد که این شاخص در طول زمان افزایش یافته و از سال ۲۰۰۰ افزایش شدیدتری را نشان داده‌است. در نهایت مدلسازی رگرسیون نشان داد که هم برای کشور چین و هم برای کشور کره جنوبی، اصالت دانش و تنوع ریشه‌های فناورانه پتنت‌ها در طول ۳۷ سال با همپایی فناورانه رابطه مثبت داشته است. همچنین شدت این رابطه برای چین بیشتر از کره‌جنوبی بوده‌است که گواه خوبی بر این است که چین توانسته است از کشورهای پیشرو سبقت بگیرد و کره‌جنوبی فقط توانسته‌است تا حد زیادی فاصله فناورانه خود را با این کشورها کم کند. این بدان معناست که پتنت‌های خورشیدی به تدریج با افزایش تعداد کلاس‌ها و ریشه‌های فناورانه گسترده‌تر مواجه شده‌اند که خود بیانگر اینست که فناوری‌های خورشیدی پیچیده‌تر شده‌اند که با یافته مطالعات مختلف از جمله رزلیو و ملکی[۲۱](۲۰۲۱)، باربیری[۲۲] و همکاران(۲۰۲۰) و بریتو و همکاران(۲۰۲۰) منطبق است[۷، ۱۸ و ۴۳].

نتایج نشان داد که پتنت‌های خورشیدی به مرور زمان از حوزه‌های دانش متنوع‌تر استفاده می‌کند و تعداد بسیار بیشتری از فناوری‌ها را ترکیب می‌کند که این خود شاهدی بر این است فرآیند نوترکیب دانش درگیر در توسعه فناوری‌های سبز تعداد زیادی از مولفه‌های فناوری را ترکیب کرده و بر دانش متنوع‌تری متکی هستند.

## ۶- پیشنهادات آتی

براساس یافته این پژوهش پیشنهاد می‌شود که:

- بررسی مکملی نسبت به عوامل موثر بر همپایی فناورانه از بعد جریان دانش نظیر سنجش تاثیر عمومیت دانش[۲۳]، درونی‌سازی[۲۴] و خوداستنادی[۲۵]، کیفیت پتنت یا استفاده از شاخص‌های مرتبط صورت گیرد.
- بررسی و مطالعه دقیق و عمیق سیاست‌های فناوری و سیاست‌های انرژی کشورهای پیشرو و کشورهای موفق به فرارسی نظیر چین و کره جنوبی توسط کشورهای در حال توسعه و فعال در انرژی خورشیدی انجام شود تا با استفاده موثر از تجربیات آنان، یادگیری و انتقال سیاستی به بهترین نحو انجام شود.

21 Rosiello and Maleki
22 Barbieri
23 Generality
24 Localization
25 Self Citation

- مطالعه دقیق نیازمندی‌های دانشی و فناورانه مکمل در توسعه فناوری انرژی خورشیدی، به‌منظور احصای پروفایل توانمندی دانشی و ظرفیت فناورانه کشور برای گام نهادن در توسعه فناوری‌های خورشیدی انجام شود؛ چراکه ریشه‌های فناورانه انرژی‌های تجدیدپذیر در سایر حوزه‌ها و کلاس‌های فناورانه وجود دارد. لذا نقش توانمندی‌ها و ظرفیت‌های دانشی مکمل در توسعه فناوری خورشیدی به وضوح نمایان است.

## فهرست منابع


[۱] شمس، محمدحسین شمس؛ خاوری، فرشاد؛ محمدی، مسعود؛ نوری، جلال؛ **"مروری بر فناوری‌های تولید برق از انرژی خورشیدی و مقایسه آماری بزرگ‌ترین نیروگاه‌های خورشیدی جهان"**، فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی، شماره ۲۱، صص ۲۲-۱، شهریور ۱۳۹۲.

[۲] بسته نگار، مهرنوش؛ آخوندی، علیرضا؛ **"راهبردهایی ملی برای احداث نیروگاه خورشیدی مگاواتی"**، فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی، شماره ۲۱، صص ۵۹-۵۳، شهریور ۱۳۹۲.

[3] Barbieri, N.; Ghisetti, C.; Gilli, M.; Marin, G.; Nicolli, F.; "*A survey of the literature on environmental innovation based on main path analysis*", J. Econ. Surv., Vol. 30, No. 3, pp. 596–623, 2016.

[4] Pearson, P. J.; Foxon, T. J.; "*A low carbon industrial revolution? Insights and challenges from past technological and economic transformations*", *Energy Policy*, Vol. 50, pp. 117–127, 2012.

[5] Smith, K.; "*Climate change and radical energy innovation: the policy issues*", 2009. https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/968106

[6] Schoenmakers, W.; Duysters, G.; "*The technological origins of radical inventions*", *Res. Policy*, Vol. 39, No. 8, pp. 1051–1059, 2010.

[7] De P. Britto, J. N.; Ribeiro, L. C.; Araújo, L. T.; da M. e Albuquerque, E.; "*Patent citations, knowledge flows, and catching-up: Evidences of different national experiences for the period 1982–2006*", *Sci. Public Policy*, p. scaa041, Dec. 2020, doi: 10.1093/scipol/scaa041.

[8] IEA; "*International Energy Agency*", *IEA*, 2021. https://www.iea.org (accessed Feb. 08, 2021).

[9] Gerschenkron, A.; "*Economic Backwardness in Historical Perspective (1962)*", Polit. Econ. Read. Mark. Inst., pp. 211–228, 1962.

[10] Abramovitz, M.; "*Catching up, forging ahead, and falling behind*", J. Econ. Hist., pp. 385–406, 1986.

[11] Fagerberg, J.; Godinho, M. M.; *Innovation and catching-up*, The Oxford Handbook of Innovation, 2004.

[12] Bagheri, A.; Jafari, M.; "*catch-up Korea Steel Industry POSCO Mining*", Q. J. Ind. Technol. Dev., Vol. 19, No. 45, pp. 17–30, Sep. 2021.

[13] Lee, K.; *Schumpeterian analysis of economic catch-up: Knowledge, path-creation, and the middle-income trap*, Cambridge University Press, 2013.

[14] Farhangnejad, M. A.; Elahi, S.; Ghazinoory, S. S.; Majidpour, M.; "*Mapping the Patent Creation Affecting Factors Using Meta-Synthesis Method*", Innov. Manag. J., Vol. 8, No. 2, pp. 129–166, Sep. 2019.

[15] Binz, C.; Gosens, J.; Yap, X.-S.; Yu, Z.; "*Catch-up dynamics in early industry lifecycle stages—a typology and comparative case studies in four clean-tech industries*", Ind. Corp. Change, Vol. 29, No. 5, pp. 1257–1275, 2020, doi: 10.1093/icc/dtaa020.

[16] Arthur, W. B.; "*The structure of invention*", Res. Policy, Vol. 36, No. 2, pp. 274–287, 2007.

[17] Schumpeter, J. A.; *The theory of economic development: An inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle*, Cambridge, Mass., Harvard U. P, 1934.

[18] Barbieri, N.; Marzucchi, A.; Rizzo, U.; "*Knowledge sources and impacts on subsequent inventions: Do green technologies differ from non-green ones?*", Res. Policy, Vol. 49, No. 2, p. 103901, 2020.

[19] De Marchi, V.; "*Environmental innovation and R&D cooperation: Empirical evidence from Spanish manufacturing firms*", *Res. Policy*, Vol. 41, No. 3, pp. 614–623, 2012.

[20] Ghisetti, C.; Marzucchi, A.; Montresor, S.; "*The open eco-innovation mode. An empirical investigation of eleven European countries*", Res. Policy, Vol. 44, No. 5, pp. 1080–1093, 2015.

[21] Cainelli, G.; De Marchi, V.; Grandinetti, R.; "*Does the development of environmental innovation require different resources? Evidence from Spanish manufacturing firms*", J. Clean. Prod., Vol. 94, pp. 211–220, 2015.

[22] Horbach, J.; Oltra, V.; Belin, J.; "*Determinants and specificities of eco-innovations compared to other innovations—an econometric analysis for the French and German industry based on the community innovation survey*", Ind. Innov., Vol. 20, No. 6, pp. 523–543, 2013.

[23] Marzucchi, A.; Montresor, S.; "*Forms of knowledge and eco-innovation modes: Evidence from Spanish manufacturing firms*", Ecol. Econ., Vol. 131, pp. 208–221, 2017.

[24] WIPO; "*Patents*", 2021.

https://www.wipo.int/patents/en/ (accessed Dec. 29, 2021).
[25] Iran Patent Center; "*Patent Defibition*", 2021. https://patentoffice.ir/glossary/234/تجزیه-و-تحلیل-استنادات-پتنت
[26] Kapoor, R.; Karvonen, M.; Ranaei, S.; Kässi, T.; "*Patent portfolios of European wind industry: New insights using citation categories*", World Pat. Inf., Vol. 41, pp. 4–10, 2015.
[27] Harhoff, D.; Narin, F.; Scherer, F. M.; Vopel, K.; "*Citation frequency and the value of patented inventions*", Rev. Econ. Stat., Vol. 81, No. 3, pp. 511–515, 1999.
[28] Harhoff, D.; Scherer, F. M.; Vopel, K.; "*Citations, family size, opposition and the value of patent rights*", Res. Policy, Vol. 32, No. 8, pp. 1343–1363, 2003.
[29] Hall, B. H.; Jaffe, A. B.; Trajtenberg, M.; "*The NBER patent citation data file: Lessons, insights and methodological tools*", National Bureau of Economic Research, 2001.
[30] Hall, B. H.; Jaffe, A.; Trajtenberg, M.; "*Market value and patent citations*", *RAND J. Econ.*, pp. 16–38, 2005.
[31] Squicciarini, M.; Dernis, H.; Criscuolo, C.; "*Measuring patent quality: Indicators of technological and economic value*", OECD Science, Technology and Industry Working Papers, 2013.
[32] Mowery, D. C.; Oxley, J. E.; Silverman, B. S.; "*Strategic alliances and interfirm knowledge transfer*", Strateg. Manag. J., Vol. 17, No. S2, pp. 77–91, 1996.
[33] Leydesdorff, L.; Meyer, M.; "*Triple Helix indicators of knowledge-based innovation systems: Introduction to the special issue*", Res. Policy, Vol. 35, No. 10, pp. 1441–1449, 2006.
[34] Trajtenberg, M.; Henderson, R.; Jaffe, A.; "*University versus corporate patents: A window on the basicness of invention*", Econ. Innov. New Technol., Vol. 5, No. 1, pp. 19–50, 1997.
[35] Aristodemou, L.; Tietze, F.; "*Citations as a measure of technological impact: A review of forward citation-based measures*", World Pat. Inf., Vol. 53, pp. 39–44, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.wpi.2018.05.001.
[36] Jaffe, A. B.; de Rassenfosse, G.; "*Patent citation data in social science research: Overview and best practices*", J. Assoc. Inf. Sci. Technol., Vol. 68, No. 6, pp. 1360–1374, Jun. 2017, doi: 10.1002/asi.23731.
[37] Derwent Innovation, https://clarivate.com/derwent/solutions/derwent-innovation/, 2021. https://clarivate.com/derwent/solutions/derwent-innovation/ (accessed Mar. 16, 2021).
[38] Morandat, F.; Hill, B.; Osvald, L.; Vitek, J.; "*Evaluating the Design of the R Language*", ECOOP 2012 – Object-Oriented Programming, Berlin, Heidelberg, 2012, pp. 104–131. doi: 10.1007/978-3-642-31057-7_6.
[39] Chen, C.; Hicks, D.; "*Tracing knowledge diffusion*", Scientometrics, Vol. 59, No. 2, pp. 199–211, 2004.
[40] Corrocher, N.; Malerba, F.; Morrison, A.; "*Technological regimes, patent growth, and catching-up in green technologies*", Ind. Corp. Change, p. dtab025, May 2021, doi: 10.1093/icc/dtab025.
[41] Park, K.-H.; Lee, K.; "*Linking the technological regime to the technological catch-up: analyzing Korea and Taiwan using the US patent data*", Ind. Corp. Change, Vol. 15, No. 4, pp. 715–753, 2006.
[42] Ruttan, V. W.; "*Usher and Schumpeter on invention, innovation, and technological change*", Q. J. Econ., pp. 596–606, 1959.
[43] Rosiello, A.; Maleki, A.; "*A dynamic multi-sector analysis of technological catch-up: The impact of technology cycle times, knowledge base complexity and variety*", Res. Policy, Vol. 50, No. 3, p. 104194, 2021.