استقلال از مقیاس و قانون توان در سیستم‌های پیچیده نوآوری: بررسی رابطه استنادات و اندازه سیستم نانو فناوری ایران

سعید روشنی
دانشجوی دکتری مدیریت فناوری، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران
جهانیار بامداد صوفی
دانشیار دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران[1]
سروش قاضی نوری
دانشیار دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران
مقصود امیری
استاد دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران

دوفصلنامه علمی
مدیریت اطلاعات
دوره ۵، شماره ۱
بهار و تابستان ۱۳۹۸

چکیده: هدف این پژوهش بررسی همبستگی میان اندازه سیستم نوآوری نانو فناوری ایران با استنادات آن، مبتنی بر قانون توان است. در این مطالعه تلاش شده است تا این مسئله بررسی گردد که آیا توزیع استنادات در این سیستم نوآوری از قانون توان تبعیت می‌کند یا خیر و آیا می‌توان بین متغیرهای اندازه و استنادات همبستگی مبتنی بر قانون توان را جستجو نمود؟ روش مورداستفاده در این پژوهش از نوع علم‌سنجی و استفاده از رویکرد قانون توان است. داده‌های این پژوهش از پایگاه وب. آف. ساینس استخراج‌شده و بر مبنای مقالات تولیدشده در سیستم نوآوری نانو فناوری ایران بوده است. به این منظور تعداد ۴۰۱۰ مدرک در چارچوب ۱۴۵ سازمان مشارکت‌کننده در تولید مقالات استخراج گردید. به‌منظور بررسی وجود قانون توان و شناسایی پدیده استقلال از مقیاس در توزیع استنادات از R استفاده‌شده و تلاش شده است تا مقیاس‌پذیری داده‌ها و تبعیت سری داده‌ها از قانون توان موردبررسی و تحلیل قرار بگیرد. نتایج این بررسی در وجه نخست نشان می‌دهند که اندازه سیستم نوآوری (تعداد مقالات) و خروجی آن (استنادات) از قانون توان پیروی کرده و سیستم موردبررسی از مقیاس مستقل است. همچنین نتایج این بررسی نشان می‌دهند که بین اندازه سیستم نوآوری و استنادات همبستگی مثبت وجود دارد و این همبستگی از قانون توان پیروی می‌کند. بر این اساس می‌توان ادعا نمود که در سیستم نوآوری نانو فناوری ایران پدیده ظهور یافتگی استقلال از مقیاس وجود داشته و این سیستم، یک سیستم پیچیده است. این پدیده یکی از ویژگی‌های اصلی سیستم‌های پیچیده بوده و می‌تواند به سیاست‌گذاری در سیستم‌های پیچیده نوآوری کمک نماید.

کلیدواژه‌ها: اثر متیو، استقلال از مقیاس، سیستم پیچیده نوآوری، قانون توان، نانو فناوری.

۱. نویسنده مسئول: Bamdadsoofi@yahoo.com

۱- مقدمه

یک سیستم نوآوری، می‌تواند به‌عنوان مجموعه‌ای از کنشگران یا موجودیت‌ها، همانند بنگاه‌ها، سازمان‌ها و نهادها تفسیر شود که در خلق، بهره‌برداری و استفاده از دانش جدید و از منظر اقتصادی قابل‌استفاده، با یکدیگر تعامل می‌کنند (Lundvall 1992; Dosi 1988; Kashani and Roshani, 2019). مفهوم نوآوری به توسعه، پذیرش، تقلید و تطابق دانش و فناوری‌هایی اشاره می‌کند که در یک زمینه مشخص جدید باشند. سیستم‌های نوآوری می‌توانند در بسیاری از سطوح اقتصادی، شامل جهانی، منطقه‌ای، ملی، فناورانه و بخشی مشاهده شوند (Lundval et al. 2002). مبتنی بر این نگاه سیستمی به نوآوری، مطالعات مختلفی نیز نشان می‌دهند که پدیده نوآوری و خلق دانش درون سیستم نوآوری و انتشار آن، پدیده‌ای پیچیده است. به‌طورکلی سیستم نوآوری سیستمی است که از منظر سطح تحلیل سیستم تطابق پذیر پیچیده خوانده می‌شود (Fischer and Fröhlich 2013; Pyka and Fagiolo 2007). به‌طورکلی یک سیستم پیچیده تطابق پذیر عبارت است از سیستمی با شبکه‌ای بزرگ از اجزاء که هیچ کنترل مرکزی در آن وجود ندارد، قواعد حاکم بر این سیستم‌ها از الگوهای ساده‌ای تبعیت کرده که منجر به پدیدار شدن رفتار پیچیده جمعی، پردازش اطلاعات درهم‌تنیده و انطباق[۱] از راه یادگیری یا تطور می‌شود (Mitchel 2009).

سیستم نوآوری به دلیل وجود عناصری همانند وابستگی به مسیر طی شده[۲]، یادگیری، پدیده ظهور یافتگی و ... سیستمی ماهیتاً پیچیده است و به دلیل استقلال هر یک از عوامل در تصمیم‌گیری و قدرت تطابق عوامل با محیط و تغییر شرایط محیطی، سیستمی تطابق پذیر است (Cooke 2012). به عقیده ادکوئیست[۳]، "یک سیستم نوآوری شامل همه عوامل مهم اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، سازمانی و نهادی است که بر توسعه، انتشار و استفاده از نوآوری اثر می‌گذارد و بوسیلهٔ وابستگی متقابل میان عوامل و محیط شناخته می‌شود"(Edquist 2004, 485-487). بررسی مبانی نظری نشان می‌دهد که تعابیر مختلف و عموماً یکسانی از سیستم‌های پیچیده وجود دارد که تحت عناوین مختلفی همانند، نظریه آشوب[۴]، نظریه پیچیدگی[۵]، علوم پیچیدگی[۶] و تفکر سیستمی[۷]، سیستم‌های چندعاملی[۸] ارائه‌شده‌اند (Palmberg 2009; Roshani et al. 2017).

---

۱. انطباق یکی از عناصر اساسی در سیستم‌های پیچیده است که گاهی اوقات محل تمایز میان سیستم‌های پیچیده انطباق پذیر و سیستم‌های پیچیده انطباق ناپذیر همانند طوفان یا رفتار یک رودخانه خروشان می‌گردد. در این مقاله سیستم‌های انطباق پذیر پیچیده موردبررسی قرارگرفته‌اند.

2.Path Dependency
3.Edquist
4.Chaos Theory
5.Complexity theory
6.Complexity Science
7.System Thinking
8.Multy Agent systems

به‌طورکلی یک سیستم پیچیده عبارت است از سیستمی با شبکه‌ای بزرگ از اجزاء که هیچ کنترل مرکزی در آن وجود ندارد. قواعد حاکم بر این سیستم‌ها از الگوهای ساده‌ای تبعیت کرده که منجر به پدیدار شدن رفتار پیچیده جمعی، پردازش اطلاعات درهم‌تنیده و انطباق از راه یادگیری یا تطور می‌شود (Mitchel 2009). سیستم‌های نوآوری به‌طور عمده با عنوان سیستم‌های پیچیده خوانده می‌شوند، عبارتی که به شکلی عمیق توسط محققان موردبررسی قرارگرفته (Katz 2016). یکی از ویژگی‌های بسیار مهم سیستم-های پیچیده که موردپذیرش بسیاری از محققان قرارگرفته است، ویژگی استقلال از مقیاس[1] است (Baranger 2001). ویژگی استقلال از مقیاس توسط تابع قانون توان[2] که در آن $f(x) = kx^{\alpha}$ توضیح داده شود، در درون سیستم قابل‌شناسایی است. قانون توان یک رابطه تابعی میان دو مقدار است که تغییرات نسبی در یک مقدار منجر به تغییر در مقدار دیگر می‌گردد که از اندازه اولیه آن مقادیر مستقل است. برای مثال دو برابر کردن شعاع یک دایره الزاماً منجر به دو برابر شدن مساحت دایره نخواهد گردید (Bar-Yam 2016).

در این تابع، α به‌عنوان سنجه استقلال از مقیاس به کار گرفته می‌شود (Katz 2016). به‌طورکلی دو نوع ارتباط مستقل از مقیاس وجود دارد. نخست، توزیع احتمالی قانون توان و دوم، همبستگی قانون توان (Katz 2016). توزیع قانون توان بوسیلهٔ رابطه $p(x) = kx^{-\alpha}$ شرح داده می‌شود. همچنین یک همبستگی قانون توان بین دو متغیر x و y وجود دارد، اگر آن دو متغیر بر اساس قانون توان که توسط رابطه $y = kx^{n}$ شرح داده می‌شود با یکدیگر همبستگی داشته باشند، که در آن n عامل مقیاس و k ثابت است (Katz 2005).

به عقیده بارانگر[3]، یک اجتماع علمی می‌تواند به‌عنوان یک سیستم نوآوری پیچیده در نظر گرفته شود و شش ویژگی را طرح می‌کند که سیستم‌های پیچیده را مشخص می‌کند (Baranger 2001):

۱. سیستم‌های پیچیده شامل اجزای بسیار زیادی است که به شکلی غیرخطی با یکدیگر تعامل می‌کنند؛
۲. اجزا سیستم پیچیده از یکدیگر مستقل هستند؛
۳. یک سیستم پیچیده دارای ساختاری است که چندین مقیاس دارد؛
۴. یک سیستم پیچیده دارای پدیده ظهور یافتگی است؛
۵. پیچیدگی شامل اندرکنش آشوب و غیر آشوب است؛
۶. پیچیدگی شامل اندرکنش میان همکاری و رقابت است.

اگر یک اجتماع علمی با دقت موردبررسی قرار بگیرد این شش ویژگی را از خود بروز خواهد داد (Rona-Pupo 2017). یک سیستم پیچیده نوآوری به‌طور پویا تکامل پیداکرده و ویژگی‌های منحصربه‌فردی را از خود بروز می‌دهد که وجه تمایز آن با سایر سیستم‌ها خواهد بود. برای مثال، محققان مختلفی به این موضوع اشاره‌کرده‌اند که شبکه استنادات به مقالات منتشرشده سیستم نوآوری از قانون توان تبعیت می‌کند

1.Scale Invariance
2.Power-Law Function
3.Baranger

(Newman 2001; Katz 2016; Cluaset et al. 2009). کاتز بیان می‌کند که در توزیع‌هایی که از قانون توان تبعیت می‌کنند، نمی‌توان از سنجه‌های مرسوم به‌عنوان شاخص‌های عملکرد سیستم نوآوری استفاده نمود، به این دلیل که این سنجه‌ها قادر به توضیح ویژگی استقلال از مقیاس نیستند. بر این اساس وی پیشنهاد می‌کند که استفاده از سنجه‌های استقلال از مقیاس برای سیاست‌گذاری نوآوری الزامی است (Katz 2012).

از سوی دیگر در طول سال‌های اخیر سیاست‌گذاری فناوری و مطالعات سیستم‌های نوآوری در ایران بسیار اهمیت پیداکرده است. حوزه نانو فناوری به‌عنوان یک سیستم نوآوری فناورانه که از حوزه‌های نوظهور است از ابتدای دهه ۱۳۸۰ موردتوجه ویژه در سطح ملی قرارگرفته است. در همه این سال‌ها، شناخت نحوه شکل‌گیری و توسعه این حوزه‌های نوظهور و نحوه سیاست‌گذاری برای توسعه آن‌ها از مسائل اساسی سیاست‌گذاران این حوزه بوده است (Mohammadi et al. 2013). همچنین به نظر می‌رسد مطالعه سیستم‌های نوآوری در ایران از چشم‌انداز نظریه سیستم‌های پیچیده مغفول مانده و فضای بسیار بازی برای توسعه مطالعات در این عرصه برای محققان ایرانی وجود دارد.

با توجه به موارد طرح‌شده در بالا می‌توان گفت که هدف اصلی این پژوهش بررسی رابطه قانون توان میان اندازه سیستم نوآوری نانو فناوری و اثر استنادات است. بدین مفهوم که آیا با بزرگ‌تر شدن اندازه سیستم نوآوری (تعداد مقالات منتشرشده توسط محققان آن سیستم) و تعداد استنادات آن مقالات رابطه خطی وجود دارد و یا این رابطه تابع قانون توان و استقلال از مقیاس است؟ از سوی دیگر این سؤال پدیدار می‌شود که آیا سیستم نوآوری نانو فناوری ایران به‌عنوان یک سیستم نوآوری فناورانه از خود ویژگی استقلال از مقیاس را بروز داده و آیا استنادات در تولیدات مقالات این سیستم نوآوری از توزیع قانون توان تبعیت می‌کنند یا خیر. به‌منظور دستیابی به این اهداف دو فرضیه زیر طراحی‌شده‌اند:

۱. سیستم نوآوری نانو فناوری ویژگی استقلال از مقیاس را از خود بروز می‌دهد.

۲. بین اندازه سیستم ملی نوآوری نانو فناوری ایران و اثر استنادات بر اساس قانون توان همبستگی وجود دارد.

۲- پیشینه پژوهش

پدیده ظهور یافتگی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های سیستم‌های پیچیده است که به الگوها و قواعد برآمده از تعامل میان موجودیت‌های درون سیستم که به‌تنهایی این خصیصه را از خود بروز نمی‌دهند پدیدار می‌گردد. برای مثال می‌توان به زنده‌بودن به‌عنوان یک پدیده ظهور یافتگی اشاره کرد که در آن هر مولکول سلول به‌تنهایی زنده نیست اما تعامل میان آن‌ها یک سلول زنده را ایجاد می‌کند (Katz 2016). به‌طورکلی می‌توان این رفتار سیستم‌های پیچیده را در انواع سیستم‌های زیست‌شناختی همانند کلم بروکلی، حرکت پرندگان به‌طور گروهی در آسمان، حرکت گونه خاصی از ماهی‌ها در اقیانوس به‌منظور ایجاد شکلی بزرگ‌تر و ... جستجو نمود (Mitchel 2009). همان‌طور که مشخص است پدیده ظهور یافتگی در سیستم‌های پیچیده در سطوح مختلف مشاهده خود را بروز می‌دهند. این پدیده بوسیلهٔ رفتار مقیاس‌پذیر متغیرهایی که پویایی یک سیستم را شرح می‌دهند، شناسایی می‌گردد. سیستم‌های نوآوری نیز از این قاعده مستثنا

نبوده و رفتارهای مشابه را از خود بروز می‌دهند. برای مثال ون ران تلاش کرده است تا مقالات علمی با تعداد استناد بالا را بوسیلهٔ ارتباط هم‌استنادی خوشه‌بندی نماید. او نشان می‌دهد که توزیع اندازه این خوشه‌ها یک‌شکل منحصربه‌فرد از یک فراکتال را از خود بروز می‌دهند و نتیجه می‌گیرد که این ویژگی ظهور یافته از شکل ظاهری خوشه‌ها نمایانگر اکوسیستم دانشمندان است (Katz 2016). یکی از راه‌های فهم رفتار مقیاس‌پذیر سیستم‌های پیچیده در شبکه‌های علمی و سیستم‌های نوآوری بررسی رفتار مقیاس-پذیر میان تعداد تولیدات علمی محققان در یک سیستم نوآوری یا تعداد استنادات آن محققان است. علاوه بر مطالعه تولیدات علمی یک سیستم نوآوری بر اساس قانون توان، می‌توان ارتباط میان هزینه کرد تحقیق و توسعه و تولید ناخالص داخلی را موردمطالعه قرار داد. برای مثال کاتز نشان می‌دهد که بین این دو شاخص در یک پنجره ثابت پنج ساله برای مشاهده و تحلیل داده‌ها (۱۹۹۶ تا ۲۰۰۰) در کشورهای اروپایی و سیستم نوآوری کانادا موردمطالعه همبستگی مبتنی بر قانون توان وجود دارد. وی نتیجه می‌گیرد که در سیستم نوآوری اروپا، میان هزینه کرد تحقیق و توسعه و تولید ناخالص داخلی همبستگی مبتنی بر قانون توان وجود داشته و اگر تولید ناخالص داخلی دو برابر گردد هزینه کرد تحقیق و توسعه به مقدار ۱.۰۳۴ تغییر کرده و در سیستم نوآوری کانادا این مقدار برابر با ۱.۴۱۸ خواهد بود که بیانگر رفتار استقلال از مقیاس سیستم‌های نوآوری است. درنهایت کاتز نشان می‌دهد که می‌توان بر اساس تراکم تحقیق و توسعه، سرانه تولید ناخالص داخلی و تعداد استنادات به هر مقاله سیستم‌های نوآوری را با یکدیگر مورد مقایسه قرار داد (Katz 2006).

مسیر مطالعاتی رفتار مقیاس‌پذیر با داده‌های علمی و کتابشناختی به فعالیت‌های لوتکا[1] بازمی‌گردد. لوتکا نشان داد که تعداد کمی از محققان و نویسندگان مقالات حدود ۸۰ درصد از کل استنادات علمی را به خود اختصاص می‌دهند. مرتون این پدیده را با توصیف پدیدار موفقیت- زایش-موفقیت[2] که بیان می‌کند ثروتمند ثروتمندتر شده و فقیر فقیرتر می‌گردد، شرح می‌دهد (Merton 1988). نارانان[3]، قانون توان را به‌عنوان یک روش تخمینی برای مطالعه قانون برادفورد[4] در مقالات معرفی می‌کند (Ronda-Pupo 2016). آرچامبولد[5] و همکاران به این مسئله دست پیدا کردند که همکاری‌های علمی از قانون توان پیروی می‌کند و یک موجودیت بزرگ در شبکه تمایل کمتری به همکاری با موجودیت‌های بیرون از شبکه دارد (Archambault et al. 2011). روندا پوپو و کاتز در مطالعه خود نشان می‌دهند که بین همکاری‌های علمی و عملکرد استنادات به مقالات حوزه علوم طبیعی ارتباط مبتنی بر قانون توان وجود دارد (Ronda-Pupo and Katz 2016). از سوی دیگر، رویکرد قانون توان برای تحلیل شبکه‌های استنادی (Zhao and Ye 2013) و شاخص‌های استناد محور (Egghe and Leydesdorff 2009) نیز مورداستفاده قرارگرفته است. به‌طورکلی مطالعات در خصوص قانون توان به دو دسته اصلی بررسی قانون توان در توزیع‌های مختلف و بررسی قانون توان در همبستگی است. کاتز بین استنادات و اندازه برای سیستم جهانی علم به وجود قانون

1.Lotka
2.Success-Breeds-Success
3.Naranan
4.Bradford Law
5.Archambault

توان اشاره‌کرده و α را معادل با ۱.۲۷ نشان می‌دهد. همچنین کاتز نشان می‌دهد که α در طول زمان ثابت مانده و از اندازه سیستم و ملیت مستقل است (Katz 1999). همچنین کاتز بین همکاری‌های علمی جهانی و اندازه کشورها به یک همبستگی مثبت و مبتنی بر قانون توان با α حدود ۱.۱۴ اشاره می‌کند (Katz 2000). شبکه‌های هم نویسندگی که از فرآیند خلق و انتشار دانش ظهور پیدا می‌کنند (Roshani et al. 2014)، نمایانگر یک ساختار همکاری هستند که از توزیع قانون توان پیروی می‌کنند (Barabasi and Albert 1999).

در نظریه شبکه، باراباسی و آلبرت[1] از عبارت وابستگی ترجیحی[2] استفاده می‌کنند. این محققان نشان دادند که یکی از ویژگی‌های معمول در بسیاری از شبکه‌های بزرگ این است که در آن‌ها اتصال به رئوس شبکه از توزیع قانون توان پیروی می‌کند. این ویژگی ناشی از دو سازوکار عمومی است: الف) شبکه‌ها به‌طور پیوسته با اضافه نمودن رأس‌های جدید گسترش پیدا می‌کنند و ب) رئوس جدید ترجیح می‌دهند به رئوسی متصل شوند که از اتصال محکم‌تری در درون شبکه برخوردارند (Barabasi and Albert 1999). در مقاله‌ای دیگر، میلجوویک توزیع مقالات با چند نویسنده را در نانوتکنولوژی موردمطالعه قرار داده است. مطالعه وی نشان می‌دهد که مقالاتی که کمتر از ۲۰ نویسنده دارند از توزیع نرمال پیروی می‌کند اما مقالات با بیش از ۲۰ مشارکت‌کننده از توزیع مبتنی بر قانون توان پیروی می‌کند (Milojevic 2010).

بررسی قانون توان در سیستم‌های نوآوری یکی از حوزه‌های نوظهور در نظریه پیچیدگی است که توسط محققان مختلفی صورت پذیرفته است. بررسی این مطالعات نشان می‌دهد که بین متغیرهای مختلف در سیستم‌های نوآوری در جهان، همبستگی مبتنی بر قانون توان وجود دارد و این سیستم‌ها از خود رفتار پیچیدگی را بروز می‌دهند. ازآنجاکه در ایران هیچ مطالعه منسجمی در ارتباط با بررسی قانون توان در سیستم‌های نوآوری صورت نگرفته و به این دلیل که سیستم نوآوری نانو فناوری ایران یکی از مهم‌ترین سیستم‌هایی است که در سطح جهان شناخته‌شده است، محققان مبادرت به بررسی این پدیده در سیستم نوآوری نانو فناوری پرداختند. ازاین‌رو، این مطالعه نخستین مطالعه در حوزه سیستم‌های پیچیده نوآوری در ایران است که به بررسی رفتار پیچیدگی این سیستم‌ها از طریق مطالعه قانون توان می‌پردازد.

۳- روش‌شناسی تحقیق

یک سیستم نوآوری پیچیده به‌عنوان سیستمی که تولیدکننده دانش جدید است تعریف می‌شود که آن دانش جدید را از طریق مقالات نشر یافته در ژورنال‌های علمی منتشر می‌کند. این فرآیند درنهایت نمایش‌دهنده پدیده ظهور یافتگی استقلال از مقیاس است. این ویژگی‌ها می‌تواند در برخی و یا همه بروندادهای سیستم مشاهده گردد. برای مثال، گره‌های موجود در ساختار شبکه‌های همکاری که از فرآیند تولید اطلاعات ظهور پیدا می‌کنند بیانگر یک توزیع مبتنی بر قانون توان هستند (Newman 2001). کاتز در مقاله خود با عنوان سیستم‌های پیچیده نشان می‌دهد که توزیع استنادات مقالات انتشاریافته در همه

1.Bararbasi and Albert
2.Preferential Attachment

سطوح موردمطالعه از طیفی شامل سیستم به‌طورکلی تا حوزه‌های علمی، رشته‌ها و زیررشته‌ها نشان‌دهنده استقلال از مقیاس است (Katz 2016). همچنین روندا پوپو و کاتز[1] نشان می‌دهد که تعداد استنادات و تعداد مقالاتی که سیستم تولید می‌کند و همچنین همبستگی میان آن‌ها از قانون توان تبعیت می‌کند (Ronda-Pupo and Katz 2017). در این مطالعه تلاش شده است تا دو ویژگی مهم سیستم‌های پیچیده نوآوری موردبررسی قرار گیرد. نخست اندازه انتشارات سیستم نوآوری نانو که به‌عنوان دانش تولیدشده در سیستم شناخته می‌شود و دوم، اثری که این مقالات بر اجتماع علمی دارند و بر اساس تعداد دفعاتی که توسط سایر مقالات مورد استناد قرارگرفته‌اند موردسنجش قرار می‌گیرد.

۳-۱- متغیرهای پژوهش

اثر استنادات[2] یا (I) که به‌عنوان متغیر مستقل پژوهش موردبررسی قرارگرفته است، نشان‌دهنده همه استناداتی است که مقالات ایرانی منتشرشده در وب. آف. نالج[3] در حوزه نانو و در یک دامنه زمانی دریافت کرده است. به‌این‌ترتیب، محاسبه استناد یک سنجه برای بررسی تأثیری است که سیستم نوآوری بر جامعه علمی دارد. اندازه یا (S) که به‌عنوان متغیر وابسته در این پژوهش شناخته می‌شود، بیانگر اندازه سیستم نوآوری است. اندازه سیستم نوآوری می‌تواند بوسیلهٔ تعداد محققان درون سیستم، مقدار بودجه‌ای که دریافت می‌کند و ... موردسنجش قرار بگیرد (Ronda-Pupo 2017). فریم و کارپنتر دو تن از پیشروهای سنجش اندازه علمی از تعداد مقالات منتشرشده برای اندازه‌گیری سیستم علمی استفاده می‌کنند (Frame and Carpenter 1979). در این پژوهش اندازه سیستم نوآوری نانو از طریق تعداد مقالات منتشرشده در پایگاه وب. آف. ساینس[4] و توسط محققان ایرانی در یک محدوده زمانی مشخص موردبررسی قرارگرفته است و تعداد مقالات منتشرشده به‌عنوان نماینده اندازه سیستم نوآوری در نظر گرفته‌شده‌اند.

۳-۲- منبع داده‌ها

منبع داده‌ها برای این مطالعه شامل همه مقالات منتشرشده در حوزه نانو فناوری محققان ایرانی در پایگاه وب. آف. ساینس است. برای دستیابی به مقالات ایرانی منتشرشده در این پایگاه از زنجیره جستجوی ارائه‌شده توسط مغربی و همکاران استفاده گردیده است (Maghrebi et al., 2011). زنجیره جستجو ارائه‌شده توسط این محققان در جستجوی پیشرفته مقالات این پایگاه مورد جستجو قرارگرفته و به‌عنوان، خلاصه و واژگان کلیدی مدارک محدود گردیده است. زمان جستجوی اطلاعات ماه جولای ۲۰۱۸ بوده و محدوده زمانی به سال ۲۰۱۲ محدودشده و استنادات برای این سال و پنج سال بعدازآن تا پایان سال ۲۰۱۷ موردمحاسبه قرارگرفته است. جستجو به «ایران» و همه مقالات، مرورها و کنفرانس‌ها محدود گردید. درنهایت تعداد ۴۰۱۰ مدرک استخراج و برای تحلیل آماده گردید. مقالات نویسندگان بر اساس سازمان‌های

1.Ronda-Pupo & Katz
2.Citation-based Impact
3.Web of Knowledge
4.Web of Science

آن‌ها دسته‌بندی و هر وابستگی سازمانی به‌عنوان یک موجودیت سیستم نوآوری در نظر گرفته شد و تعداد استنادات محققان و تعداد انتشارات آن‌ها در این دسته‌ها تجمیع و مورد تحلیل قرار گرفت.

۳-۳- مدل

مدل استفاده‌شده در این پژوهش به‌منظور سنجش همبستگی قانون توان در فرمول یک نشان داده‌شده است که بر اساس مطالعه روندا پوپا و کاتز استخراج‌شده است (Ronda-Pupo and Katz 2016):

فرمول یک $$I = \gamma S^{\alpha}$$

که در آن I نمایانگر اثر استنادات، γ نمایانگر مقدار ثابت، α عامل مقیاس‌پذیری (شیب خط رگرسیون لوگاریتمیک) و S نمایانگر اندازه است. شکل ساده لوگاریتمیک این مدل در فرمول دو نشان داده‌شده است:

$$Log(I) = \alpha Log(S) + \log(\gamma)$$

فرمول دو

ای α و γ توسط تکنیک حداقل مجذور مربعات (OLS) موردمحاسبه قرارگرفته است به این دلیل که این تکنیک مقادیر متناسب را با پایین‌ترین میزان خطا تولید می‌کند (Legender and Legender 2012). پارامتر α برای سنجش توان مقیاس‌پذیری همبستگی بین اندازه سیستم نوآوری و اثر استنادات بکار گرفته‌شده است. از سوئی دیگر این پارامتر ویژگی استقلال از مقیاس این رابطه را شرح می‌دهد و به‌عنوان سنجه‌ای برای بررسی اثر متیو[1] مورداستفاده قرار می‌گیرد. این مقدار می‌تواند در سه حالت قرار بگیرد: اگر α برابر با یک باشد، متغیر اندازه و اثر استنادات با یک نرخ رشد می‌کنند. در این شرایط اثر متیو وجود ندارد و هیچ متغیری نسبت به دیگری دارای مزیت انباشتی[2] نیست. اگر α بیشتر از یک باشد، متغیر مستقل با نرخ بالاتری نسبت به متغیر وابسته رشد می‌کند و رابطه فراخطی بین این دو متغیر وجود دارد و اثر مثبت متیو قابل‌مشاهده خواهد بود. اگر α مقداری کمتر از یک داشته باشد، اثر منفی متیو یا اثر متیو معکوس وجود دارد که به این مفهوم است که متغیر مستقل کندتر از متغیر وابسته رشد می‌کند (Ronda-Pupo 2017).

به‌منظور سنجش فرضیه نخست پژوهش و تأیید توزیع قانون توان در ارتباط با اثر استنادات از نرم‌افزار R استفاده گردیده است. همچنین گام‌های اجرایی زیر بر اساس الگوی ارائه‌شده توسط کلازت و همکاران[3] طی شده است (Clauset et al. 2009):

1.Mathew Effect
2.Cumulative Advantage
3.Clauset and et al.

الف) تخمین مقدار X_{min} و α از قانون توان

هدف این گام محاسبه مقدار پارامترهای X_{min} و α است. X_{min} نقطه‌ای است که قانون توان از آن نقطه به بعد آغاز می‌گردد. برای محاسبه مقدار X_{min} از فرمول سه استفاده‌شده است(Clauset et al. 2009). همچنین مقدار α از روش برآورد درست نمایی بیشینه[1] (MLE) موردمحاسبه قرارگرفته است.

فرمول سه $$\widehat{\alpha} \simeq 1 + n\left[\sum_{i=1}^{n} \ln \frac{x_i}{x_{min}}\right]^{-1}$$

ب) محاسبه نیکویی برازش[2] بین داده و قانون توان

هدف این گام بررسی احتمال این مسئله است که فرض نخست پژوهش از توزیع قانون توان تبعیت می‌کند یا خیر. برای محاسبه نیکویی برازش ابتدا داده‌های تجربی با مدل قانون توان سازگار شده و سپس برای این سازگاری نیکویی برازش با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف[3](KS) محاسبه گردید. سپس تعداد زیادی داده مصنوعی که از قانون توان تبعیت می‌کنند با استفاده از مقدار تخمین زده‌شده α و X_{min} تولید گردیدند. برای این شبیه‌سازی از تابع بوت‌استرپ[4] با ۵۰۰۰ بار اجرای شبیه‌سازی استفاده گردید (Gillespie 2014). در ادامه هر نمونه با مدل قانون توان خودش سازگار شده و تلاش گردید تا ارزش p[5] استخراج گردد. این مقدار درنهایت محتمل بودن فرضیه را نشان می‌دهد. بر اساس نظر کلازت و همکاران، اگر مقدار p بزرگ‌تر و مساوی یک باشد آنگاه می‌توان نتیجه گرفت که داده‌ها از توزیع قانون توان تبعیت می‌کنند و فرضیه محتمل خواهد بود (Clauset et al. 2009).

۴- یافته‌های پژوهش

در جدول زیر نتایج حاصل از جستجوی داده‌ها در پایگاه وب. آف. نالج ارائه‌شده است.

جدول ۱: اندازه و اثر استنادات در سیستم نوآوری نانو فناوری ایران

تعداد سازمان‌های جستجو شده	اندازه	استنادات
۱۴۵	۵۸۷۱	۹۵۰۵۵

جدول یک نشان می‌دهد که تعداد سازمان‌های جستجو شده بر اساس الگوریتم استفاده‌شده برای استخراج داده‌ها تعداد ۱۴۵ سازمان منحصربه‌فرد بوده است. اندازه نشانگر تعداد کل مقالات تولیدشده توسط این سازمان‌ها در کل بازه زمانی مورد جستجو و برابر با ۵۸۷۱ بوده است و اثر استنادات مجموع کل استناداتی است که از پایگاه وب. آف. نالج استخراج‌شده است و معادل با ۹۵۰۵۵ است.

1.Maximum Likelihood Estimation
2.Goodness of Fit
3.Kolmogorov- Smirnoff
4.Bootstrap Function
5.P-value

تأیید توزیع قانون توان

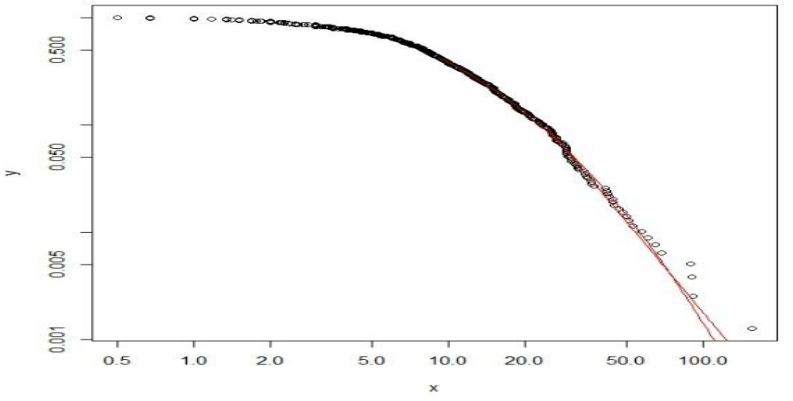
الف) تخمین مقدار X_{min} و α از قانون توان

بر اساس روش‌شناسی ارائه‌شده در این پژوهش نخست مقادیر X_{min} و α برای اثر استنادات در سیستم نوآوری نانو موردمحاسبه قرار گرفتند. جدول دو نتایج حاصل از سازگاری داده‌ها با توزیع قانون توان نشان می‌دهد.

جدول ۲: نتایج سازگاری قانون توان با مجموعه داده

مجموعه داده	X_{min}	α	p	KS
اثر استنادات	۲۴/۵	۳/۸	۰/۳	۰/۰۵۴

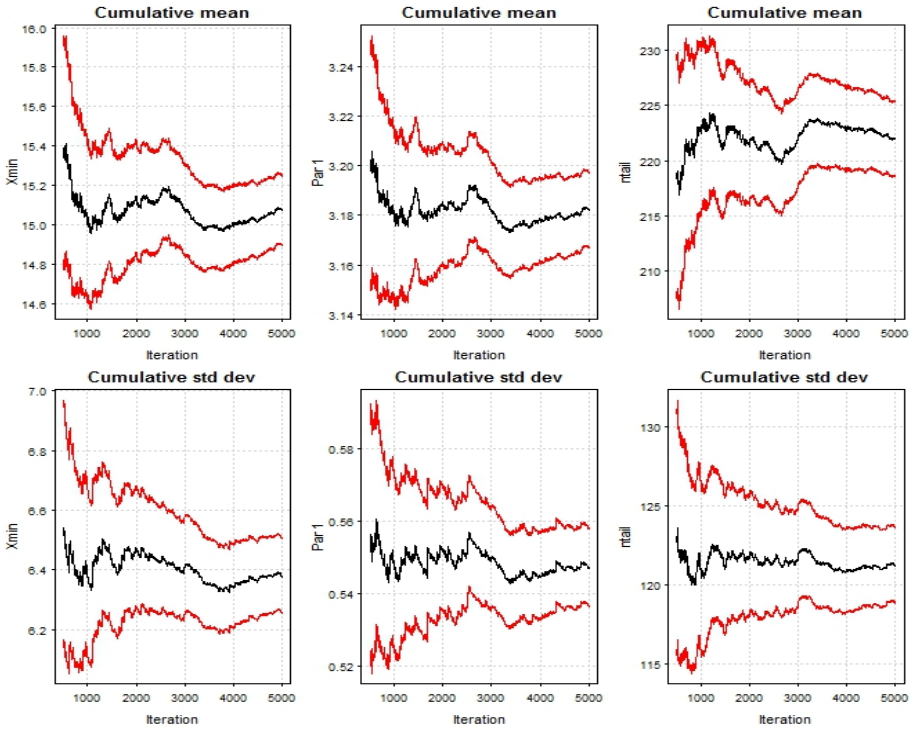
نتایج نشان می‌دهند که توزیع قانون توان در مجموعه داده مورد تحلیل محتمل است. شکل یک نمایش بصری این توزیع را نشان می‌دهد:



شکل ۱: توزیع احتمالی تجمعی برای مدل قانون توان در اثر استنادات

ب) نتایج حاصل از نیکویی برازش بین داده و قانون توان

همان‌طور که بیان شد هدف این بخش بررسی این مسئله است که آیا توزیع قانون توان بهترین توزیع برای سازگار شدن با داده‌های مورد تحلیل در این پژوهش است یا خیر. بر اساس روش‌شناسی ارائه‌شده در بخش قبل و مبتنی بر ۵۰۰۰ بار شبیه‌سازی بر اساس تابع بوت‌استرپ نتایج زیر حاصل‌شده است. شکل دو بیانگر این نتایج است.



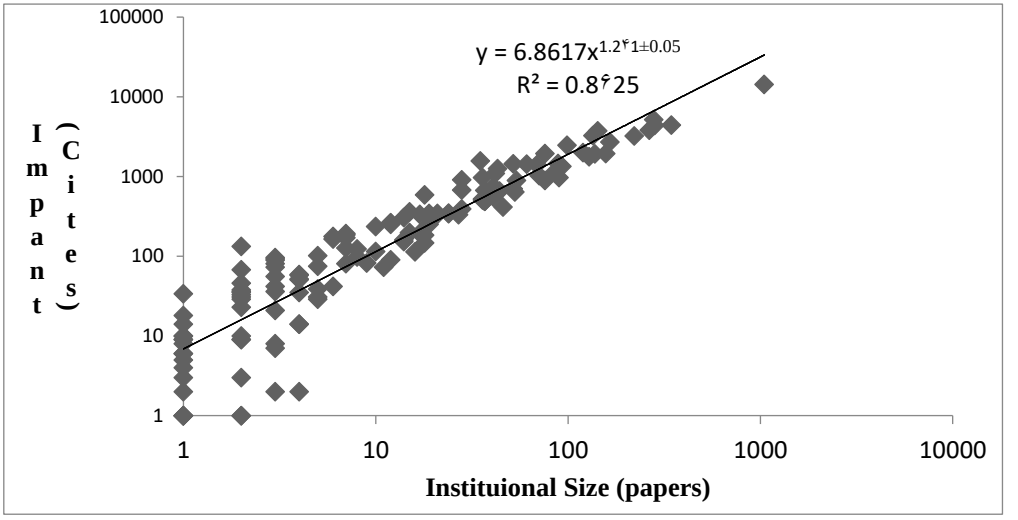
شکل ۲: نتایج حاصل از تابع بوت‌استرپ برای مدل قانون توان

در نمایش تصویری ارائه‌شده در شکل دو که ماحصل اجرای ۵۰۰۰ بار شبیه‌سازی است، سطر نخست بیانگر میانگین تخمین زده‌شده از مقادیر پارامترهای X_{min} و α و n_{tail} است. سطر پایین نشان‌دهنده تخمین انحراف از استاندارد برای هر پارامتر است. خطوط رنگی به‌طور تقریبی با ۹۵ درصد اطمینان ترسیم‌شده‌اند. پس از ۵۰۰۰ بار تفسیر داده‌ها، انحراف از استاندارد X_{min} و α برابر با ۶/۳۸ و ۰/۵۵ تخمین زده شد. مقدار ارزش p پس از اجرای شبیه‌سازی برابر با ۰/۰۵۱ محاسبه گردید که نشان می‌دهد با سطح اطمینان تقریباً ۹۵ درصد نتایج حاصل از توزیع قانون توان قابل‌اطمینان است. بر این اساس می‌توان گفت که فرضیه نخست پژوهش مورد تأیید است و توزیع استنادات از قانون توان پیروی می‌کند.

برای بررسی فرضیه دوم این پژوهش در خصوص وجود همبستگی میان اندازه سیستم نوآوری نانو فناوری و اثر استنادات بر اساس قانون توان با توجه به مدل مورداستفاده در این پژوهش نتایج زیر حاصل گردید. جدول سه و شکل سه نتایج حاصل از این بررسی را نشان می‌دهند. در گام نخست نرمال بودن داده‌ها مورد آزمون قرار گرفت. برای بررسی وجود همبستگی قانون توان میان متغیرهای پژوهش از رویه ارائه‌شده توسط لجندر و لجندر[1] استفاده گردید (Legender and Legender 2012, 550). این رویه از

1.Legendre & Legendre

پارامترهای α و r (همبستگی پیرسون[1]) که برآمده از حداقل مجذور مربعات (MLE) است استفاده می‌کند تا همبستگی مقیاس‌پذیر را از طریق محور اصلی استاندارد محاسبه کند (SMA). بر این اساس اگر $\alpha_{MLE} \approx \alpha_{SMA}$ باشد، آنگاه متغیرها به‌شدت با یکدیگر همبستگی دارند. نتایج همه همبستگی‌ها نشان دادند که $\alpha_{MLE} = \alpha_{SMA}$ و تأییدکننده همبستگی مقیاس‌پذیر قوی بین اندازه سیستم نوآوری و اثر استناد محور است. به‌منظور بررسی همبستگی بین متغیرها نخست فرض نرمال بودن معیارها موردبررسی و تأیید قرار گرفت. از سوی دیگر با سطح معناداری یک درصد، مقدار آلفا کمتر از یک گردید که نشان‌دهنده عدم وجود همبستگی خطی میان متغیرهای پژوهش است. شکل سه نتایج حاصل از این بررسی را نشان می‌دهد. این همبستگی بر اساس نمودار لوگارتیمیک (Log-Log) استخراج‌شده است.



شکل ۳: نمودار (Log-Log) ارتباط قانون توان میان اثر استنادات (I) و اندازه سیستم نوآوری (S)

همچنین جدول زیر نتایج آماری این بررسی را نشان می‌دهد.

جدول ۳: ارزش پارامترهای α، انحراف از استاندارد (SD) اندازه سیستم نوآوری (S) و پیش‌بینی اثر استنادات

مجموعه داده	α	SD	R^2	2^{α}
نوع سازمان	۰±۱.۲۳/۰۵	۰/۰۴	۰/۸۷	۲/۳۵

جدول سه نمایانگر نتایج حاصل از بررسی همبستگی میان اندازه سیستم نوآوری نانو فناوری ایران و استنادات است. مقدار R^2 نشان می‌دهد که همبستگی مثبت و قوی میان متغیرها است. مقدار α باارزشی بالاتر از یک نشان می‌دهد که پدیده اثر متیو وجود دارد. اگر عامل مقیاس بیشتر از یک باشد به این مفهوم

1.Pierson Correlation

است که استنادات با سرعتی بیشتر از اندازه سازمان‌ها رشد می‌کند (Ronda-Pupo 2017). به‌بیان‌دیگر با دو برابر کردن اندازه، تعداد استنادات ۲/۳۵ برابر می‌گردد. با توجه به این نتایج می‌توان گفت که فرضیه دوم تحقیق مورد تأیید قرارگرفته و می‌توان همبستگی مبتنی بر قانون توان بین اندازه سیستم نوآوری و استنادات را مشاهده نمود. این نتیجه با نتیجه به‌دست‌آمده توسط سایرین مشابهت دارد (Katz 2000; Ronda-Pupo 2017).

۵- بحث و تفسیر یافته‌ها

در این پژوهش تلاش گردید تا این مسئله موردبررسی قرار گیرد که آیا بین اندازه سیستم نوآوری نانو فناوری ایران و استنادات همبستگی مبتنی بر قانون توان وجود دارد و یا خیر. نتایج این بررسی نشان دادند که اثر استنادات با بزرگ شدن اندازه سیستم نوآوری بزرگ‌شده و بین این دو متغیر همبستگی وجود دارد. از سوئی دیگر نتایج نشان می‌دهند که با بزرگ شدن اندازه سیستم نوآوری مقدار استنادات با رشدی سریع‌تر همراه است و با دو برابر شدن اندازه سیستم نوآوری، اثر استنادات بیش از دو برابر شده و مقداری معادل با ۲/۳۴ را نشان می‌دهد. نتایج این پژوهش با مطالعات سایر محققان نیز همخوانی دارد. این محققان مقدار α را بیش از یک به دست آورده و نشان می‌دهند که بین دو متغیر موردبررسی همبستگی مبتنی بر قانون توان وجود دارد (Katz 1999; Katz 2006; Rona-pupo 2017).

همچنین در این پژوهش ویژگی استقلال از مقیاس سیستم‌های پیچیده مورد مشاهده قرارگرفته و می‌توان ادعا نمود که توزیع استنادات در سیستم نوآوری نانو فناوری ایران از مقیاس مستقل است و از توزیع قانون توان پیروی می‌کند. با این توصیف می‌توان ادعا نمود که پدیده ظهور یافتگی استقلال از مقیاس در سیستم نوآوری نانو فناوری ایران قابل‌مشاهده است. با توجه به نتایج بالا می‌توان گفت که هر دو فرضیه پژوهش مورد تأیید قرار گرفتند.

مقدار پارامتر α به‌عنوان عامل مقیاس‌پذیری دستاوردهای مختلفی برای سیاست‌گذاری علم و فناوری دارد. عامل مقیاس‌پذیری در همبستگی مبتنی بر قانون توان می‌تواند برای پیش‌بینی رفتار سیستم نوآوری بکار گرفته شود. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تمرکز برافزایش اندازه سیستم نوآوری که شامل توسعه تعداد مقالات و انتشارات سازمان‌های موجود در آن است از قانون توان پیروی کرده و پس از مقدار مشخص X_{min}، تعداد استنادات از اندازه پیروی نمی‌کند. محاسبات صورت گرفته برای مقدار X_{min} در خصوص اندازه سیستم نوآوری عدد ۲۲ را نشان می‌دهد. به‌بیان‌دیگر قانون توان از میزان ۲۲ تولید مقاله توسط سازمان موجود در سیستم نوآوری شروع می‌گردد. این مسئله بدین مفهوم است که شکل‌گیری اثر متیو در انتشارات نویسندگان ایرانی حوزه نانو در مقدار ۲۲ استناد به ازای هر مقاله اتفاق می‌افتد که پس‌ازآن مقدار تعداد استنادات مقاله با نرخی نمایی و مبتنی بر قانون توان رشد می‌کند. بر این اساس می‌توان بر لزوم ایجاد مشوق‌هایی به‌منظور تحریک محققان در هم‌استنادی به یکدیگر به‌منظور بالا بردن تعداد استنادات مقالات منتشرشده تأکید نمود. همچنین، مقدار بیشتر از یک عامل مقیاس‌پذیری در سیستم نشان می‌دهد که بزرگ شدن اندازه سیستم و تولید مقالات درنهایت استنادات سیستم را با نرخی بالاتر از دو برابر افزایش می‌دهد. این نتیجه دستاوردهای نظری مهمی را به همراه دارد. **نخست** اینکه وجود قانون توان در سیستم

نوآوری نانو فناوری ایران نشان می‌دهد که سیستم موردبررسی دارای رابطه غیرخطی بوده و مهم‌ترین ویژگی سیستم‌های پیچیده یعنی پدیده ظهور یافتگی را از خود بروز می‌دهد. بر این اساس می‌توان استدلال نمود که به دلیل عدم وجود رابطه خطی نظم ساختاری میان سیاست‌های توسعه سیستم و خروجی‌های سیستم وجود ندارد و این خروجی پدیده‌ای غیر از پیش‌فرض‌های سیاست‌گذار را بروز می‌دهند. **دوم** اینکه نتایج ناشی از بررسی استقلال از مقیاس در سیستم‌های نوآوری می‌تواند به سیاست‌گذاران در پیش‌بینی نتایج تصمیم‌های سیاستی کمک نماید. همچنین مقدار عامل مقیاس همبستگی مبتنی بر قانون توان می‌تواند به‌منظور پیش‌بینی اثر آتی یک سیستم پیچیده نوآوری بر خروجی‌های مورد انتظار از آن مورداستفاده قرار گیرد. بدین مفهوم که با استفاده از مقدار آلفا می‌توان نشان داد که اگر سیستم با سیاست‌های مشابه در آینده حرکت نماید خروجی آن در گذار زمان مبتنی بر واحد تحلیل (استنادات) چگونه خواهد بود.

۶- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش مشخص می‌گردد که یک سیستم نوآوری ویژگی‌های یک سیستم پیچیده را از خود بروز می‌دهد که مستلزم بررسی عمیق‌تر توسط سیاست‌گذاران نوآوری است. مفهوم ویژگی استقلال از مقیاس که یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های سیستم‌های پیچیده است الزامات متفاوتی را برای سیاست‌گذاری فناوری و نوآوری ایجاد می‌نماید:

الف) روش‌شناسی بررسی سیستم‌های نوآوری: درک و تحلیل یک سیستم پیچیده به دلیل عدم وجود روابط خطی میان متغیرها مستلزم استفاده از روش‌های جدیدتری همانند مدل‌سازی عامل بنیان است و روش‌های قدیمی همانند معادلات دیفرانسیل نمی‌تواند تحلیل عمیقی از پویایی‌های درون سیستم پیچیده ارائه نماید. ازآنجاکه نتایج این پژوهش نشان می‌دهند که سیستم نوآوری نانو فناوری ایران یکی سیستم پیچیده است، لذا پیشنهاد می‌گردد که مطالعات مختلف به‌منظور درک رفتار این سیستم با استفاده از روش‌های صورت‌پذیرند که توانایی تحلیل این سیستم‌ها را دارا هستند؛

ب) چارچوب شناختی سیستم‌های نوآوری: بر اساس نتایج این پژوهش به نظر می‌رسد الگوهای قدیمی در تحلیل رفتار سیستم‌های نوآوری از کارآمدی مناسبی برخوردار نیستند. چرایی این موضوع در این نکته نهفته است که به دلیل وجود روابط بسیار درهم‌تنیده و پویایی‌های غیرخطی درون سیستم هر عاملی می‌تواند اثرات غیرقابل‌پیش‌بینی بر سایر متغیرهای درون سیستم و یا رفتار کلی سیستم برجا بگذارد. بر این اساس ضروری است به‌منظور تحلیل و درک رفتار یک سیستم نوآوری مجموعه مشخصی از همه عوامل درون سیستم و سازوکارهای تعاملی فی‌مابین آن‌ها موردبررسی قرار گیرد و سیستم هم در سطح تعاملات خورد و هم در سطح کلان موردسنجش و ارزیابی قرار گیرد؛

ج) سیاست‌گذاری: با توجه به پیچیده بودن سیستم نوآوری نانو فناوری ایران به نظر می‌رسد درک رفتار یک سیاست مشخص در درون سیستم امری ناممکن است. بر اساس نتایج حاصل از بررسی همبستگی میان اندازه سیستم نوآوری و میزان استنادات که از یک رابطه غیرخطی پیروی می‌کند به نظر می‌رسد یک

سیاست می‌تواند اثرات متفاوتی را برخلاف مفروضات خودش ایجاد نماید. برای مثال سیاست توسعه مقالت می‌تواند منجر به افزایش یا کاهش تعداد استنادات، کاهش کیفیت علمی و یا اثر بر خروجی‌های نوآورانه شامل پتنت و یا توسعه محصولات جدید در سیستم نوآوری گردد؛ لذا به نظر می‌رسد سیاست‌گذاری نوآوری در یک سیستم نوآوری پیچیده امری جند بعدی بوده و هر سیاست می‌تواند منجر به ایجاد خروجی‌های متفاوتی در درون سیستم گردد.

این تحقیق مسیر پژوهشی جدیدی را برای مطالعه ارتباط میان اندازه سیستم نوآوری و استنادات باز می‌کند. به نظر می‌رسد این بررسی می‌تواند در سایر حوزه‌های علمی و سیستم‌های نوآوری فناورانه[1] و همچنین در سطوح بالاتری همانند سیستم نوآوری ملی[2] موردبررسی قرار بگیرد. همچنین پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آتی و در بررسی سطوح ملی، نوع سازمان‌ها که شامل دسته‌های مختلفی همانند سازمان‌های آکادمیک، سازمان دولتی، مؤسسات تحقیقاتی، سیستم‌های آکادمیک و ... است موردبررسی قرارگرفته و همبستگی میان اندازه سیستم نوآوری به تفکیک نوع سازمان بر اثر استنادات موردبررسی قرار گیرد. این مسئله یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های تحقیق حاضر بوده است، به این دلیل که تعداد سازمان‌های درگیر در انتشار مقالات از تنوع اندکی برخوردار بوده و پراکندگی بسیار بالایی میان نوع سازمان‌های تولیدکننده مقالات در سیستم نوآوری نانو فناوری ایران وجود دارد.

۷- تقدیر و تشکر

محققان بر خود می‌دانند تا از پروفسور سیلوان کاتز به خاطر آموزش تکنیک قانون توان تشکر نمایند. بدون شک بدون همکاری این استاد برجسته انجام این پژوهش امکان‌پذیر نبوده است.

1.Technological Innovation System
2.National Innovation System

فهرست منابع

Archambault, É., Beauchesne, O. H., Côté, G., & Roberge, G. 2011, July. Scale-adjusted metrics of scientific collaboration. In Proceedings of the 13th Conference of the International Society for Scientometrics and Informetrics (ISSI 2011), Durban (pp. 78-88).

Barabasi, A. L., & Albert, A. 1999. Emergence of Scaling in Random Networks. Science, 286(5439), 509-512.

Baranger, M. 2001. Chaos, Complexity, and Entropy A physics talk for non-physicists Cambridge. Center for theoretical physics, laboratory for nuclear.

Bar-Yam, Y. 2016. Concepts: Power Law. New England Complex Systems Institute. Retrieved, 21.

Clauset, A., Shalizi, C.R. and Newman, M.E., 2009. Power-law distributions in empirical data. SIAM review, 51(4), pp.661-703.

Cooke, P. 2012. Relatedness, transversality and public policy in innovative regions. European Planning Studies, 20(11), 1889-1907.

Dosi G .1988. The Nature of the Innovative Process. In: S L., editor. Technical Change and Economic Theory. London: Pinter Publishers. pp. 222.

Edquist, C., .2004. Systems of innovation: perspectives and challenges, In: J. Fagerberg, D.C. Mowery and R.R. Nelson (Eds.), The Oxford Handbook of Innovation, Oxford University Press.

Egghe, L. and Leydesdorff, L., 2009. The relation between Pearson's correlation coefficient r and Salton's cosine measure. Journal of the American Society for information Science and Technology, 60(5), pp.1027-1036.

Fischer, M. M., & Fröhlich, J. (Eds.). 2013. Knowledge, complexity and innovation systems. Springer Science & Business Media.

Frame, J. D., & Carpenter, M. P. 1979. International research collaboration. Social Studies of Science, 2, 481-497.

Gillespie, C. S. 2014. The poweRlaw package: Examples.

Kashani, E. S., & Roshani, S. 2019. Evolution of innovation system literature: Intellectual bases and emerging trends. Technological Forecasting and Social Change, 146, 68-80.

Katz, J. S. 1999. The self-similar science system. Research Policy, 28(5), 501–517.

Katz, J.S., 2000. Scale-independent indicators and research evaluation. Science and Public Policy, 27(1), pp.23-36.

Katz, J. S. 2005. Scale-independent bibliometric indicators. Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives, 3(1), 24-28.

Katz, J.S., 2006. Indicators for complex innovation systems. Research policy, 35(7), pp.893-909.

Katz, J. S. 2012. Scale-independent measures: Theory and practice. In 17th International Conference on Science and Technology Indicators. Sept (pp. 5-8).

Katz, J. S. 2016. What is a complex innovation system? PloS one, 11(6), e0156150.

Legendre, P., & Legendre, L. F. 2012. Numerical ecology (Vol. 24). Elsevier.

Lundvall B, Johnson B, Andersen ES, Dalum B. 2002. National systems of production, innovation and competence building. Research Policy 31: 213–231.

Lundvall B-Å 1992. National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning. Pinter, London

Maghrebi, M., Abbasi, A., Amiri, S., Monsefi, R., & Harati, A. 2011. A collective and abridged lexical query for delineation of nanotechnology publications. Scientometrics, 86(1), 15-25.

Merton, R. K. 1988. The Matthew Effect in Science, II: Cumulative Advantage and the Symbolism of Intellectual Property. Isis, 79(4), 606-623.

Mitchell, M. 2009. Complexity: A guided tour. Oxford University Press.

Milojevic, S. 2010. Modes of collaboration in modern science: Beyond power laws and preferential attachment. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 61, 1410–1423.

Mohammadi, M., Tabatabaeean, S. H., Elyasi, M., & Roshani, S. 2013. Formation of emerging technological innovation system in Iran; Case of nanotechnology sector. Journal of Science and Technology Policy, 5(4).

Newman, M. E. J. 2001. Scientific collaboration networks. I. Network construction and fundamental results. Physical Review E, Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics, 64(1 Pt 2), 016131.

Palmberg, K., 2009. Beyond process management: Exploring organizational applications and complex adaptive systems (Doctoral dissertation, Luleå tekniska universitet).

Pyka, A., & Fagiolo, G., 2007. 29 Agent-based modelling: a methodology for neo-Schumpeterian economics'. Elgar companion to neo-schumpeterian economics, 467.

Ronda-Pupo, G. A. 2017. The citation-based impact of complex innovation systems scales with the size of the system. Scientometrics, 112(1), 141-151.

Ronda-Pupo, G. A., & Katz, J. S. 2016. The scaling relationship between citation-based performance and international collaboration of Cuban articles in natural sciences. Scientometrics, 107(3), 1423-1434.

Ronda-Pupo, G. A., & Katz, J. S. 2017. The scaling relationship between citation-based performance and coauthorship patterns in natural sciences. Journal of the Association for Information Science and Technology, 68(5), 1257-1265.

Roshani, S., Ghazinoori, S., & Tabatabeian, S. H. 2014. A co-Authorship Network Analysis of Iranian Researchers in Technology policy and managemen. Journal of Science and Technology Policy, 6(2).

Roshani, S., Soofi, J., Ghazinoori, S., Amiri, M. 2017. Discovering transformative scientific articles based on Sigma Index: Agent based modelling field of study in Social Sciences. Journal of Scientometrics, (article in press).

Zhao, S. X., & Ye, F. Y. 2013. Power-law link strength distribution in paper co-citation networks. Journal of the Association for Information Science and Technology, 64(7), 1480-1489.

Relationship between citation-based impact and size of Iran's Nano Innovation System: A Scale-independent Approach

Saeed Roshani
Ph.D. Student of Technology Management, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran
Jahanyar Bamdadsoofi
Associate Professor, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran[1]
Soroush Ghazinoori
Associate Professor, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran
Maghsoud Amiri
Professor, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

Abstract: The aim of this article is to explore the power-law correlation between size of Iran Nano innovation system and their citation-based impact. For this reason, we analyze articles of Iran Nano innovation system based on Web of Knowledge database. The main questions for this study are: Does the distribution of citation on this innovation system follow the power-law distribution or not? And is there a power-law correlation between size of innovation system and citation-based impact? The method used in this research is a Scientometrics and use of power-law approach. The data of this research have been extracted from the web of knowledge database and based on the articles produced in Iran's Nano innovation system. 4010 article were found and extracted into 145 unique organizations that participating in the producing of articles. R package was used In order to investigate the existence of the power-law correlation and identification of scale-invariance property in complex Nano innovation system of Iran. We use Monte-Carlo simulation and Pierson correlation test for analyzing power-law correlation between variables of this study. At the one side, results shows that size of complex innovation systems (number of articles) and their outputs (citation-based impact) follow power-law distribution and we can found scale invariance property. These properties are evidenced in the power law correlation between complex innovation systems' citation-based impact and their size with a scaling exponent $\alpha \approx 1.23$. The results suggest citations to a complex innovation system tend to increase 2.34 times when the system doubles its size over time. At the other side, we found inverse Matthew effect between citations based impact and size of innovation system. Based on this results, it can be argued that Iran's Nanotechnology innovation system is a complex system and show the emergent property.

Keywords: Complex Innovation System, Matthew Effect, Nano Technology, Power-Law, Scale-invariance.

1.Corresponding Author: Bamdadsoofi@atu.ac.ir