

سنجش تعاملات و همکاری‌های فناورانه و دانشی با سازوکارها و ابزارهای

مدل تریپل هلیکس (بررسی موردی: مقالات ISI نانوی ایران)

مصطفی جعفری^۱

حمیدرضا ضرغامی^{۲*}

پیمان اخوان^۳

چکیده

با توجه به حجم انبوه داده‌ها در تعاملات و همکاری‌های مرتبط با تولیدات دانشی و فناورانه، لزوم استفاده از مدل‌های دقیق کمی، به‌منظور ارائه تحلیل، تصمیم‌سازی و درنهایت تصمیم‌گیری اثربخش از بدیهیات است. مدل تریپل هلیکس با دغدغه سنجش، تحلیل و توسعه هم‌افزایی در تولیدات دانشی و نوآورانه در بین دانشگاه-صنعت-دولت، به‌عنوان ارکان اصلی مرتبط با پژوهش و نوآوری در سطح ملی شکل گرفته و در این راستا از رویکرد علم‌سنجی رهیافت متقابل^۴، بهره‌برده‌است. با توجه به قابلیت‌های تحلیلی این مدل، در این پژوهش به بررسی رویکرد مذکور، جهت استفاده در تحلیل تعاملات شبکه‌ها و همکاری‌های فناورانه و دانشی بین بنگاهی و بین‌المللی پرداخته می‌شود. در نهایت، بعد از ارائه مقدمات و مبانی علمی موجود در رهیافت اطلاعات متقابل و مدل تریپل هلیکس، با مطالعه موردی مقالات ISI بخش نانوی ایران به‌عنوان نمونه در بازه ۲۰۱۵-۲۰۱۰، توصیه‌های پژوهشی و کاربردی برای پژوهشگران و سیاست‌گذاران تولید علم، فناوری و نوآوری در کشور به‌منظور استفاده از مدل مذکور، ارائه شده‌است.

واژه‌های کلیدی:

سنجش تعاملات، مدل تریپل هلیکس، اطلاعات متقابل، آن‌تروپی، نانو، همکاری‌های بین‌المللی.

۱. عضو هیات علمی دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه علم و صنعت ایران

۲. کاندیدای دکتری تخصصی مهندسی صنایع، مدیریت سیستم و بهره‌وری دانشگاه علم و صنعت ایران

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: Zarghami@iust.ac.ir

۳. عضو هیات علمی دانشکده مدیریت دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران

۱- مقدمه

در شرایطی که نوآوری به عنوان عاملی قطعی در توسعه قلمداد می‌شود، رقابت‌پذیری کشورها و سازمان‌ها تنها به موهبت‌ها و منابع سنتی موجود (همچون سرمایه، نیروی کار و مواد اولیه) وابسته نیست و بیش از هر چیز، تابع اقدامات و ابتکارات نوآورانه‌شان است. بر این اساس، سازمان‌ها، اقلیم‌ها و کشورهایی که رویکرد مناسبی در نوآوری دارند و از منابع نامشهود^۱ (همچون دانش) بیشتر استفاده می‌کنند، توانایی بالاتری را در کسب برتری در این شرایط دارند (ناتاریو^۲ و همکاران، ۲۰۱۲).

تقویت تعاملات و اشتراکات بین نهادهای مرتبط با تولید علم، فناوری و نوآوری، یکی از مهم‌ترین زمینه‌های رونق فضای کسب و کار، توسعه اقتصاد دانش‌بنیان و تسهیل جریان تولید دانش، فناوری و نوآوری می‌باشد (لیدسورف و اتزکویتز^۳، ۱۹۹۶). به نحوی که هر قدر شرایط موجود در تعاملات بین شبکه‌ها، بنگاه‌ها و همکاری‌های بین‌بنگاهی و بین‌المللی جهت توسعه فناوری و نوآوری هوشمندتر، انسجام و روابط هم‌افزای بیشتر و پویاتر داشته باشد، امکان دستیابی به اهداف رشد و توسعه پایدار، بهتر و بهینه‌تر فراهم می‌گردد.

به منظور تصمیم‌گیری، سیاست‌گذاری و مدیریت بهینه روابط ارکان مرتبط با تولیدات علمی، فناورانه و نوآورانه، نیاز به سنجش هم‌افزایی و پویایی تعاملات و استفاده از روش‌های تحلیل کمی و کیفی، در این راستا، وجود دارد. در کنار قابلیت‌های تحلیل کیفی مبتنی بر قضاوت‌های خبرگان و سایر روش‌های موجود در این زمینه، با توجه به حجم انبوه داده‌ها و تولیدات اکثر حوزه‌ها (همچون نتایج پژوهش‌ها، اختراعات، محصولات و خدمات نوین فناورانه و...) (لیدسورف و همکاران، ۲۰۱۴)، تحلیل کمی تعاملات شبکه‌ها و همکاری‌های فناورانه بین‌بنگاهی و بین‌المللی می‌تواند قابلیت تصمیم‌گیری و بهبود شرایط جهت دستیابی به تحلیل‌های دقیق و در نهایت تصمیم‌سازی و سیاست‌گذاری هوشمندانه را به مسیر تولید علم، فناوری و نوآوری در کشورها و بنگاه‌ها تزریق نماید.

مدل تریپل هلیکس در سال ۱۹۹۶ توسط اتزکویتز و لیدسورف، جهت توصیف و تبیین تعاملات بین ارکان سه‌گانه (دولت، صنعت و دانشگاه) در فرایند نوآوری و توسعه ایجاد شده است (ناتاریو و همکاران، ۲۰۱۲). این مدل از رویکرد علم‌سنجی «اطلاعات متقابل» مبتنی بر توسعه تئوری اطلاعات

- 1 . Intangible Resources
- 2 . Natário
- 3 . Leydesdorff & Etzkowitz

شانون^۱، به منظور توصیف کمی روابط بین ارکان مرتبط با تولیدات دانشی و نوآوری (پتنت‌ها) بهره‌برداری می‌کند. تاکنون تحقیقات متعددی جهت استفاده از قابلیت‌های سنجش تعاملات بین ارکان سه‌گانه داخلی و همکاری‌های بین‌المللی در سطح ملی و منطقه‌ای در کشورهای مختلف و به‌ویژه کشورهای توسعه‌یافته همچون آمریکا (لیدسدورف، ۲۰۰۳)، آلمان (لیدسدورف و فریدچ^۲، ۲۰۰۶)، سوئد (لیدسدورف و استرند^۳، ۲۰۱۳)، نروژ (استرند و لیدسدورف، ۲۰۱۳)، ژاپن (سان و نگیشی^۴، ۲۰۱۰)، هلند (لیدسدورف و همکاران، ۲۰۰۶)، کره جنوبی (کیم^۵ و همکاران، ۲۰۱۲) و ... انجام شده‌است. قابلیت‌های تحلیلی این مدل جهت تشریح و تبیین شرایط حاکم بر تعاملات علمی، به اثبات رسیده‌است. البته با این وجود، پژوهش‌های بسیار اندک و ناکافی‌ای در جهت کاربست این مدل در کشورهای در حال توسعه و به‌ویژه ایران انجام شده‌است (چوی^۶ و همکاران، ۲۰۱۵؛ چانگ^۷، ۲۰۱۴؛ جوکار و عصاره، ۱۳۹۲).

با وجود حجم انبوه داده‌ها در تعاملات و همکاری‌های مرتبط با تولیدات دانشی و فناورانه، لزوم استفاده از مدل‌های دقیق کمی، به‌منظور ارائه تحلیل، تصمیم‌سازی و در نهایت تصمیم‌گیری اثربخش، از بدیهیات می‌باشد. با عنایت به این ضرورت و فقدان پژوهشی با این هدف در کشور، پژوهش حاضر با هدف بررسی و زمینه‌سازی استفاده از قابلیت‌های مدل و رویکرد مذکور در تحلیل تعاملات فناورانه و دانش‌شبکه‌ها، بینبگاه‌ها و همکاری‌های بین‌المللی را در کشور ایران دنبال می‌نماید. براین اساس، در ادامه پس از معرفی مبانی و هستی‌شناسی مدل تریپلهلیکس، بررسی و ارائه شیوه و ابزارهای سنجش هم‌افزایی ارکان در این مدل و ارائه مطالعه موردی استفاده از تحلیل‌های موجود در سنجش تعاملات و همکاری‌های مرتبط با پژوهش‌های منتج به ارائه مقالات ISI ایرانی مندرج در پایگاه وب‌آف ساینس^۸ در بازه زمانی سال ۲۰۱۰ تا انتهای نیمه اول سال ۲۰۱۵، به ارائه پیشنهادهای جهت استفاده از قابلیت‌های این قبیل سنجش‌ها در تحلیل تعاملات شبکه‌ها و همکاری‌های فناورانه بین‌بنگاهی و بین‌المللی پرداخته می‌شود.

1 . Shanon's Information Theory

2 . Fritsch

3 . Strand

4 . Sun & Negishi

5 . Kim

6 . Choi

7 . Chung

8 . Web of Science

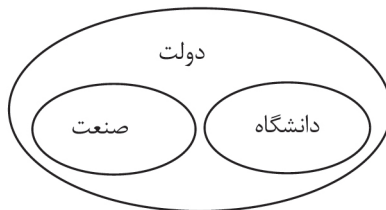
۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱- هستی‌شناسی مدل تریپل هلیکس

مدل تریپل هلیکس (مارپیچ سه‌جانبه) در سال ۱۹۹۶ توسط اتزکوویتز و لیدسدورف جهت توصیف و تبیین تعاملات بین ارکان سه‌گانه (دانشگاه، صنعت و دولت) در فرایند نوآوری و توسعه ایجاد شد. همراستا با رویکرد سیستمی نوآوری (نظام‌های ملی نوآوری لوندوال^۱ (۱۹۹۲) و ادکوئیست^۲ (۱۹۹۷)) و سیستم‌های نوآوری منطقه‌ای (کوک^۳ و همکاران، ۱۹۹۷؛ برکزیک^۴ و همکاران، ۱۹۹۸)، این مدل به بررسی تعاملات نهادهای مختلف درگیر در فرایند نوآوری می‌پردازد و تعامل بین سه رکن کلیدی مذکور را پررنگ‌تر می‌کند. بر خلاف مدل‌های خطی مربوط به دهه ۶۰ و ۷۰ که یک‌سویه بودند و ارتباطات و بازخوردهای متعدد را به حساب نمی‌آوردند، این مدل بر تعاملات این سه رکن بنا شده است. در ادامه به معرفی و بیان سه نسل از روند توسعه مدل مارپیچ سه‌جانبه پرداخته می‌شود.

۲-۱-۱- نسل اول مدل مارپیچ سه‌جانبه:

همانگونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، در نسل اول مدل مارپیچ سه‌جانبه، دولت نقش کنترل‌کننده و ارتباط‌دهنده دانشگاه و صنعت را ایفا می‌کند. این وضعیت مدلی را تصویر می‌کند که در آن یک رکن (دولت)، بر دو رکن دیگر مسلط است و روابط بین آن‌ها را کنترل می‌نماید. نمونه بارز این حالت در شوروی سابق و کشورهای کمونیستی اروپای غربی و نمونه ضعیف‌تر آن در سیاست‌های بسیاری کشورهای آمریکای لاتین و برخی کشورهای اروپایی نظیر نروژ قابل مشاهده است (اتزکوویتز و لیدسدورف، ۲۰۰۰؛ امیری‌نیا و بی‌تعب، ۱۳۸۸؛ صمدی و صمدی، ۱۳۹۲).



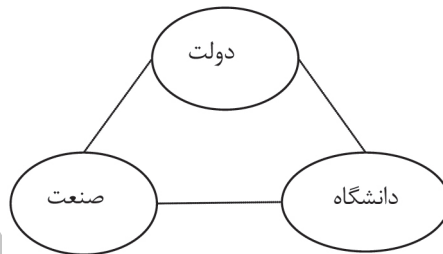
شکل ۱: گونه اول مدل مارپیچ سه‌جانبه ارتباطات دانشگاه، صنعت و دولت (اتزکوویتز و لیدسدورف، ۲۰۰۰)

- 1 . Lundvall
- 2 . Edquist
- 3 . Cooke
- 4 . Braczyk

۲-۱-۲- نسل دوم مدل مارپیچ سه‌جانبه:

نسل دوم مدل، شامل نهادهای مستقل و مجزا با مرزهایی روشن و قوی می‌باشد که ارکان سه‌گانه را از یکدیگر تفکیک می‌کند. این مدل که به مدل «عدم مداخله دولت»^۱ نیز معروف است، به نوعی درمانی جهت کاهش نقش دولت در گونه اول قلمداد می‌شود.

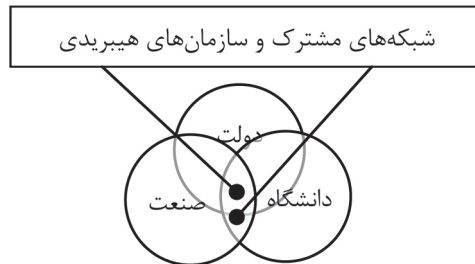
در این مدل دانشگاه به تدریس و تحقیق می‌پردازد، بنگاه نتایج تحقیقات را به کالاها و خدمات جدید تبدیل می‌کند و دولت هم با حمایت از دانشگاه و صنایع، بسترها و زیرساخت‌های لازم برای توفیق آن‌ها را فراهم می‌سازد. نظام دانشگاهی موجب جریان اطلاعات علمی و فناورانه، با کمترین هزینه به صنعت می‌شود و سبب جذب اثرات جانبی فناوری در سیستم اقتصادی می‌شود (باقری‌نژاد، ۱۳۸۲). در مقاله پایه‌ای اتز کوویتز و لیدسدورف (۲۰۰۰)، کشورهای سوئد و آمریکا نمونه‌هایی از این سبک توصیف شده‌اند. شکل ۲ مدل نوع دوم مارپیچ سه‌جانبه را نشان می‌دهد.



شکل ۲: گونه دوم (مدل عدم مداخله دولت در ارتباطات دانشگاه، صنعت و دولت)
(اتز کوویتز و لیدسدورف، ۲۰۰۰)

۲-۱-۳- نسل سوم مدل مارپیچ سه‌جانبه:

گونه سوم مدل، هم‌پوشانی نقش ارکان سه‌گانه را در فرایند نوآوری و تولید دانش تصویر می‌کند. در این هم‌پوشانی، هر یک از ارکان با دو رکن دیگر و همچنین سازمان‌های ترکیبی، که در نواحی مشترک ایجاد شده‌است، همکاری و ایفای نقش می‌کنند. شکل ۳، مدل نوع سوم تریپل هلیکس را نمایش می‌دهد.

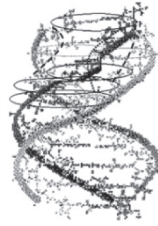


شکل ۳: مدل نوع سوم ماریپیچ سه‌جانبه روابط دولت، دانشگاه و صنعت (اتزکوویتز و لیدسدورف، ۲۰۰۰)

در این حالت، فعالیت‌های نوآورانه از طریق شرکت‌های زایشی دانشگاهی، همکاری‌های سه‌جانبه، اتحادهای استراتژیک میان بنگاه‌های کوچک و بزرگ، پژوهشگاه‌های دولتی و گروه‌های پژوهشی دانشگاه محقق می‌شود.

در این مدل، هر یک از سه نهاد دانشگاه، صنعت و دولت، برخلاف نقش‌های سنتی در حوزه وظایف مرسوم سایر بخش‌ها نیز نقش ایفا می‌نمایند، دانشگاه‌ها به‌وسیله خوشه‌های نوآوری منطقه‌ای، نقش کلیدی‌ای را در ارتقای ظرفیت توسعه اقتصادی ایفا می‌کنند که سبب‌ساز تحکیم نظام ملی نوآوری می‌شود و سرانجام گروه‌های پژوهش دانشگاهی مختلف، ضمن توسعه تحت عنوان «شبکه شرکت‌ها» زمینه توسعه گونه‌ای جدید از دانشگاه با عنوان دانشگاه کارآفرین، ایجاد می‌گردد (اتزکوویتز، ۲۰۰۳؛ خوراسگانی و همکاران، ۱۳۹۰).

همانگونه که در شکل ۴، شمایی پویا از گونه‌ی سوم مدل ماریپیچ سه‌جانبه مشاهده می‌شود، در این حالت و در برخی موارد دانشگاه به‌عنوان یک بنگاه دانش‌بنیان عمل کرده و به کارآفرینی مبتنی بر دانش اقدام می‌نماید، همچنین غالباً فعالیت‌های بنگاه هم‌مبتنی بر دانش شده و دانشگاه و صنعت در تعامل مشترک، بازار سرمایه ریسک‌پذیر و بازارهای فناوری و سرمایه‌های انسانی مورد نیاز را تأمین می‌کنند. دولت هم در کنار وظایف سنتی خود از قبیل تولید و تأمین کالای عمومی و سیاست‌گذاری، به سرمایه‌گذاری در زمینه نوآوری، تولید دانش و کالاها و خدمات در حوزه‌های با ریسک بالا اقدام می‌کند (امیری‌نیا و بی‌تعب، ۱۳۸۸).



شکل ۴: نمایی پویا از گونه سوم مدل ماریپیچ سه‌جانبه (اتز کوویتز و لیدسدورف، ۲۰۰۰)

مدل ماریپیچ سه‌جانبه بر مبنای چهار رکن بنا شده است (دزيساح^۱ و اتز کوویتز، ۲۰۰۸):

- ۱- حرکت از جامعه صنعتی به جامعه دانش‌بنیان
- ۲- حرکت از فناوری‌های فیزیکی به فناوری‌های پیشرفته منعطف با مقیاس کوچک‌تر
- ۳- ظهور دانش چندبنيانی و میان‌رشته‌ای در زمینه‌هایی از جمله زیست‌فناوری، علوم کامپیوتری و نانوفناوری
- ۴- ایجاد مدل دانشگاه کارآفرین با فرهنگ کارآفرینی، نوآوری و انتقال فناوری.

پس از طرح مدل ماریپیچ سه‌جانبه، به‌منظور توسعه و بسط ابعادی جدیدتر و بیش‌تر به ماریپیچ سه‌جانبه و انطباق بیشتر آن با نیازهای اجتماعی، فرهنگی و محیطی، تلاش‌هایی توسط متخصصان حوزه‌های مختلف آغاز شد و مدل‌های ماریپیچ چهارجانبه، پنج‌جانبه، ... و N-جانبه توسعه یافتند که در مقاله جامع لیدسدورف (۲۰۱۲) که در ژرنال معتبر علم‌سنجی^۲ در سال ۲۰۱۲ منتشر شده است، معرفی شده‌اند. جهت اختصار و با توجه به اینکه بررسی توصیفی این مدل‌ها در قلمروی اهداف این پژوهش نمی‌باشند، مشاهده جزئیات مدل‌ها و چارچوب‌های مذکور از طریق بررسی منبع یادشده و مراجع مذکور در آن، پیشنهاد می‌شود.

۲-۲- متدولوژی سنجش هم‌افزایی و پویایی ارکان در مدل تریپل‌هلیکس

پژوهش‌های پیشین از مدل تریپل‌هلیکس به‌عنوان یک متدولوژی پژوهشی یاد کرده‌اند (چوی و همکاران، ۲۰۱۵؛ لیدسدورف و همکاران، ۲۰۱۴). اندازه‌گیری پویایی ماریپیچ سه‌جانبه براساس مفهوم آنروپی^۳ که اولین بار در تئوری اطلاعات شانون مطرح شد، صورت می‌پذیرد (شانون، ۱۹۴۸). آنروپی

1 ..Dzisah

2 . Scientometrics

3 . entropy

به منظور سنجش عدم قطعیت^۱ یا بی نظمی^۲ و پراکندگی در مجموعه‌ای از عناصر و اجزا مورد استفاده قرار می‌گیرد (گروپ^۳، ۱۹۹۰). اگر نظم و ترتیب عناصر کم باشد، بر این اساس مقدار آنتروپی می‌بایست کوچک باشد و برعکس. در منطق طراحی شده توسط بولتزمن^۴، آنتروپی به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود (کیم و همکاران، ۲۰۱۲):

$$H = - \sum_i^n P_i \log_2 P_i \quad (1)$$

در این رابطه، H نمایانگر آنتروپی است، P_i نیز احتمال انتخاب پیام شماره i امی باشد. بر این اساس ماکزیمم مقدار آنتروپی در حالتی محقق می‌شود که احتمال انتخاب تمام پیام‌ها وجود داشته باشد. به عنوان مثال، عدم قطعیت احتمال حضور نهاد دانشگاه (H_u) با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$H_u = - \sum_{u=1}^n P_u \log_2 P_u \quad (2)$$

به عنوان مثال در انتشار یک مقاله، در شرایطی که P_u احتمال وابستگی و تعلق نویسنده مقاله (همکار) به دانشگاه را نشان می‌دهد، به همین ترتیب P_i ، P_p و P_f به ترتیب احتمال وابستگی و تعلق نویسندگان به صنعت، دولت و همکاران بین‌المللی و خارجی^۵ اشاره دارد. بر این اساس، مدل تربیل هلیکس، امکان وجود همکاری‌ها و نویسندگان چندگانه که هر کدام وابستگی مخصوص به خودشان را دارند، نیز در نظر می‌گیرد. و احتمالات حاشیه‌ای (کناری^۶) را (به عنوان مثال در حالتی که نویسندگانی که متعلق به دانشگاه نیستند، وابسته به صنعت باشند)، به صورت روابط ۳ و ۴ تعریف می‌نماید (کیم و همکاران، ۲۰۱۲):

$$P_u = \sum_{u=1}^n P_{ui} \quad (3)$$

$$P_i = \sum_{i=1}^n P_{ui} \quad (4)$$

بعد از تعیین احتمالات حاشیه‌ای، به تعیین میزان آنتروپی حاشیه‌ای با استفاده از رابطه H که

-
- 1 . uncertainty
 - 2 . disorder
 - 3 . Grupp
 - 4 . Bultzman
 - 5 . foreign
 - 6 . marginal probabilities

در قسمت قبل تبیین شد، پرداخته می‌شود. و بر مبنای میزان H به دست آمده و روابط مربوطه که در قسمت‌های بعد معرفی می‌شود، و با استفاده از رهیافت اطلاعات متقابل^۱ به تعیین میزان رسانش عدم قطعیت^۲ (T) پرداخته می‌شود.

معمولاً کدهای u, i, g و f به ترتیب برای همکاران بخش دانشگاهی، صنعتی، دولتی و خارجی (بین‌المللی) در نظر گرفته می‌شود. بالطبع کدهای if, ig, uf, ug, ui و gf برای تعاملات دوسویه و کدهای uif, uig, ufg برای روابط سه‌جانبه و $uigf$ برای مشارکت و تعاملات چهارگانه در تولیدات، محصولات، مقالات، پتنت‌ها و ... مشترک در نظر گرفته می‌شود.

روند کار بدین ترتیب است که نیاز است در اولین قدم، تمامی داده‌های مدنظر جهت تحلیل، در بازه‌های زمانی مشخص (ماهانه، سالیانه و ...) به صورت سطری و تفکیک شده (ترجیحاً در قالب نرم‌افزارهای مربوطه «ورد، اکسل، آکسس، اس.پی.اس.اس و ...») درج گردد. نکته بسیار مهم در جهت صحت محاسبات و تحلیل‌ها، اینکه با توجه به شرایط حاکم بر فرمول‌ها، روابط و نرم‌افزارهای تخصصی مربوطه (که در بخش‌های بعد معرفی می‌شوند)، نیاز است در تمامی موارد تحلیل شده اعم از مقالات، پتنت‌ها، نوآوری‌ها، تولیدات شرکت‌ها و ... هر مورد صرفاً به یکی از دسته‌های تفکیک شده‌ی عنوان شده اختصاص یابد. به عنوان مثال اگر یک محصول خاص در تعامل سه رکن دانشگاه-صنعت-دولت تدوین شده‌است، می‌بایست صرفاً یک کد (به نشانه تعامل و همکاری مشترک در تولید محصول مربوطه) در ستون مربوط به uig در مقابل سطر مربوط به آن محصول در مجموعه داده‌ها درج گردد و برای ستون‌های u, i, g و تعاملات دوگانه آن‌ها، کدی که نشانگر مشارکت باشد در نظر گرفته نمی‌شود.

۲-۱-۲- روابط دو بعدی

آنتروپی ترکیبی در روابط دوسویه (به عنوان مثال در تعامل UI)، از طریق رابطه ۵ محاسبه می‌شود^۳ (حسین^۴ و همکاران، ۲۰۱۲):

$$H_{ui} = - \sum_{u=1}^n \sum_{i=1}^n P_{ui} \log_2 P_{ui} = P_{i1} \log_2 \frac{1}{P_{i1}} + P_{i2} \log_2 \frac{1}{P_{i2}} + P_{i1} \log_2 \frac{1}{P_{i1}} \quad (5)$$

۱. mutual information

۲. عبارت Transmission of uncertainty در مقاله جوکار و عصاره (۱۳۹۲) معادل «رسانش عدم قطعیت» ترجمه شده‌است.

۳. به منظور حذف منفی در روابط H از $\log 1/P$ استفاده شده‌است.

سپس براساس رابطه ۶، میزان رسانش عدم قطعیت (T) محاسبه می‌شود (شین^۱ و همکاران، ۲۰۱۲):

$$T_{ui} = H_u + H_i - H_{ui} \quad (۶)$$

مقدار T، همچون تئوری اطلاعات شانون، اطلاعاتی را درباره عدم قطعیت در شبکه اطلاعاتی بین ارکان ماریج سه گانه فراهم می‌نماید. میزان بالاتر T در روابط دوعدی، نشان‌دهنده روابط پویاتر و هدفمندتر در بین ارکان مربوطه می‌باشد. براین اساس، مقدار مطلوب T در این نوع روابط، مقادیر مثبت و بزرگ است (لیدسدورف و همکاران، ۲۰۱۴).

۲-۲-۲- روابط سه بعدی

در روابط سه بعدی نیز، مقدار آنتروپی، به‌عنوان مثال در تعامل UIG (H_{uig})، براساس رابطه ۷ تعیین می‌شود (کیم و همکاران، ۲۰۱۲):

$$H_{uig} = - \sum_{u=}^1 \cdot \sum_{i=}^1 \cdot \sum_{g=}^1 P_{uig} \log_2 P_{uig} = P_{1..} \log_2 \frac{1}{P_{1..}} + P_{1..} \log_2 \frac{1}{P_{1..}} + P_{1..} \log_2 \frac{1}{P_{1..}} + P_{11.} \log_2 \frac{1}{P_{11.}} + P_{11.} \log_2 \frac{1}{P_{11.}} + P_{111} \log_2 \frac{1}{P_{111}}$$

میزان رسانش عدم قطعیت سه بعدی (T_{uig}) نیز، با استفاده از رابطه ۸ محاسبه می‌شود (لیدسدورف و همکاران، ۲۰۱۴):

$$T_{uig} = H_u + H_i + H_g - H_{ui} - H_{ug} - H_{ig} + H_{uig} \quad (۸)$$

بر عکس روابط دوجانبه، درخصوص سه بعد (T_{uig})، مقادیر کمتر نشان‌گر تعاملات پویاتر و هدفمندتر است. براین اساس، مقادیر بزرگ منفی، نشان‌دهنده روابط پویاتر در بین ارکان مورد بررسی می‌باشد (کیم و همکاران، ۲۰۱۲).

۲-۲-۳- ارتباطات چهاربعدی

در ارتباطات چهاربعدی نیز، مقدار H (H_{uigf}) با روند عنوان‌شده در روابط ۵ و ۷ تعیین می‌شود که با توجه به تکراری بودن روند عنوان‌شده و طولانی بودن رابطه، به نگارش جزئیات آن پرداخته نمی‌شود.

در نهایت بعد از تعیین میزان H جهت بررسی پویایی این نوع تعاملات، به تعیین میزان T ، براساس رابطه ۹ پرداخته می‌شود (لیدسدورف و همکاران، ۲۰۱۴):

(۹)

$$T_{uigf} = H_u + H_i + H_g + H_f - H_{ui} - H_{ug} - H_{uf} - H_{ig} - H_{if} - H_{gf} + H_{uig} + H_{uif} + H_{ugf} + H_{igf} - H_{uigf}$$

در اینگونه ارتباطات نیز، همچون روابط دوبرعی، مقدار بالاتر و مثبت‌تر T ، نشان‌دهنده پویایی بیشتر تعاملات و همکاری‌ها در تولیدات مشترک است (شین و همکاران، ۲۰۱۲).

۲-۳- نرم‌افزارهای موجود جهت انجام محاسبات

با توجه به گستردگی محاسبات و وجود داده‌های انبوه در اکثر موارد و مطالعات مرتبط با تحلیل شبکه‌ها، تعاملات شرکت‌ها، سازمان‌ها و ارکان فعال و مرتبط با تولیدات فناورانه، دانشی و ...، نیاز به استفاده از ابزارهایی به‌منظور سرعت‌بخشی به محاسبات و کاهش خطاهای انسانی بسیار محسوس و مشهود است (لیدسدورف و همکاران، ۲۰۱۴). لذا در این قسمت به معرفی مهم‌ترین نرم‌افزارهای قابل استفاده در این خصوص پرداخته می‌شود.

در حالت کلی جهت استفاده از قابلیت‌های «رهیافت متقابل» و مدل مربوط به آن (که مبتنی بر آنتروپی شانون بنا شده‌است)، در مسیر تحلیل وضعیت پویایی و هم‌افزایی همکاری‌ها در شبکه‌ها و ارکان مرتبط با تولیدات حاصل از این همکاری‌ها، می‌توان از دو رویکرد مجزا استفاده کرد.

الف) تدوین و نگارش برنامه‌های محاسباتی لازم در محیط نرم‌افزارهایی هم‌چون اکسل

ب) استفاده از نرم‌افزارهای تدوین‌شده و موجود

در رویکرد الف، پس از ورود داده‌ها به محیط نرم‌افزاری، با تمرکز دقیق بر روابط عنوان‌شده به برنامه‌نویسی در قابل صفحه گسترده اکسل اقدام شود و به محاسبات لازم پرداخته شود.

در خصوص رویکرد ب، تاکنون نرم‌افزارهایی توسط پروفسور لیدسدورف و همکاران ایشان تهیه و عرضه شده‌است که مهم‌ترین آن‌ها دو نرم‌افزار th.exe (لیدسدورف، ۲۰۰۹)، و th4.exe (لیدسدورف و همکاران، ۲۰۱۴) می‌باشند که به ترتیب جهت «محاسبه میزان T در روابط سه بعدی» و «محاسبه میزان عدم قطعیت، آنتروپی و T برای تمام ارتباطات و ارکان تا چهاربعدی» به کار می‌روند.

در نرم‌افزار th قابلیت ورود داده‌ها در قالب ۷ متغیر مجزا (U, I, G, UI, IG, UG و UIG)

به‌صورت دستی و عددی وجود دارد، درحالی‌که در نرم‌افزار چهاربعدی، علاوه بر قابلیت محاسبات تا ۴

بعد در قالب ابعاد پیش فرض WXYZ، قابلیت استفاده از فایل های txt که شامل کل داده های مربوط به یک دوره (سال / ماه و ...) مورد بررسی است، وجود دارد، به نحوی که داده ها، به صورت مستقیم در قالب فایل ورودی وارد نرم افزار شده و خروجی هادر قالب فایل اکسل استخراج می شود.

۳- روش پژوهش

۳-۱- جمع آوری و آماده سازی داده ها

در این پژوهش که از نوع تحقیقات علم سنجی به شمار می رود، همراستا با مبانی علمی عنوان شده در پژوهش های پیشین این حوزه (چوی و همکاران، ۲۰۱۵)، از مدل تریپل هلیکس و رهیافت اطلاعات متقابل به عنوان متدولوژی پژوهش استفاده شد. به جهت افزایش اثربخشی جستجو و دستیابی به تمام مقالات مرتبط با بخش نانو در ایران و ممانعت از ورود مقالات نامرتبط، از رویکرد و کلیدواژه های پیشنهادی مغربی^۱ و همکاران (۲۰۱۱) استفاده شد. فراوانی مقالات مستخرج در بازه زمانی یادشده در جدول ۱ مشاهده می شود.

جدول ۱: فراوانی مقالات منتشرشده در پایگاه WoS در بخش نانو در بازه ۲۰۱۵-۲۰۱۰

سال	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵ ^۲	جمع کل
تعداد	۲۰۱۵	۳۰۱۱	۳۶۸۱	۴۵۹۹	۵۵۲۰	۳۷۰۷	۲۲،۵۳۳

به منظور آماده سازی داده های مرتبط با مقالات مستخرج جهت تحلیل شرایط حاکم بر تعاملات UIG در تولیدات علمی بخش نانو در ایران، در ابتدا با دقت نظر و تأمل دقیق در داده های استخراج شده، ابتدا با دسته بندی و کدگذاری های مرتبط با ارتباطات نویسندگان در ۳ دسته منفرد دانشگاهی (کد U)، صنعتی (کد I) و دولتی (کد G) طبقه بندی شدند. همچنین کد F برای نویسندگان و همکاران خارجی و بین المللی مقالات تخصیص یافت. سپس کدهای IF، UF، IG، UG، UI و GF برای تعاملات دوسویه و کدهای UGF، UIF، UIG و IGF برای ارتباطات سه جانبه و کد UIGF برای تعاملات کامل

۱. Maghrebi

۲. علت کاهش تعداد مقالات در سال ۲۰۱۵ نسبت به سال ۲۰۱۴، بدین علت است که مقالات صرفاً تا تاریخ بررسی (یعنی ۶ ماه ابتدای سال ۲۰۱۵) استخراج شده اند، با روند موجود، پیش بینی می شود تا پایان سال ۲۰۱۵ حدود ۷۴۱۴ مقاله منتشر گردد.

و چهارجانبه در نظر گرفته شد و طی فرایندی بسیار دقیق و زمان‌بر^۱، کدهای مربوطه به مقالات اختصاص یافت. لازم به ذکر است که ملاک دسته‌بندی و کدگذاری مقالات، در پژوهش‌های پیشین این حوزه براساس هم‌نویسندگی^۲ است (به‌عنوان مثال: چوی و همکاران، ۲۰۱۴، کیم و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین با توجه به اهمیت نقش حمایت مالی^۳ به‌عنوان نوعی از مشارکت در انجام پژوهش‌های منتشرشده، در این پژوهش به‌طور هم‌زمان، کدگذاری براساس معیار هم‌نویسندگی در تدوین مقالات و همچنین درج نام نهادها در بخش حمایت مالی از مقالات انجام شده است.

با توجه به شفاف‌بودن مصداق‌های دانشگاه و نهادهای آکادمیک، مصادیق دولت در این پژوهش وزارتخانه‌ها و پژوهشگاه‌های وابسته به نهادهای دولتی (مانند: پژوهشگاه‌های وابسته به وزارتخانه‌های نفت، راه، نیرو و ...) و سایر مراکز وابسته به نهاد ریاست‌جمهوری (معاونت علم و فناوری، ستاد توسعه نانوفناوری، دفتر همکاری‌های علمی و فناوری ریاست‌جمهوری و ...) می‌باشند. همچنین همراستا با پژوهش‌های پیشین (به‌عنوان مثال: چوی و همکاران، ۲۰۱۵؛ لیدسدورف و همکاران، ۲۰۱۴) تمامی شرکت‌های مختلف بخش خصوصی که در تولید مقالات مشارکت داشتند، به‌عنوان مصادیق بخش صنعتی در نظر گرفته شدند.

۳-۲- ابزارهای تحلیل داده‌ها

پس از استخراج داده‌های مربوطه در ابتدا از نرم‌افزار ISI.exe به‌منظور بازیابی اطلاعات از داده‌های خام بر گرفته از پایگاه وب‌آف ساینس و تبدیل به فرمت اکسل و نرم‌افزارهای SPSS نسخه ۲۲ و Excel نسخه ۲۰۱۰، به‌منظور محاسبات مرتبط با آمار توصیفی و در نهایت از نرم‌افزارهای th.exe و th4.exe به‌منظور محاسبات رسانش و عدم قطعیت تعاملات ارکان (برطبق شیوه و روابط تشریح‌شده در قسمت‌های قبل) بهره‌برداری شد. همچنین به‌منظور اطمینان از صحت محاسبات، علاوه بر مقایسه نتایج محاسبات فرمول‌نویسی‌شده در اکسل با مقادیر مستخرج از نرم‌افزار th4.exe؛ با توجه به محاسبه با دو نوع داده متفاوت در دو نرم‌افزار th و th4، مقادیر به‌دست‌آمده برای Tuig در دو نرم‌افزار مورد

۱. با توجه به نام‌های خاص مؤسسات و مراکز آموزشی، شرکت‌ها و حتی برخی از دانشگاه‌ها، برای کدگذاری برخی از مقالات و تعیین وابستگی‌ها، نیاز به جستجو و مشاهده وب‌سایت مراکز مربوطه وجود داشت که در نهایت تلاش شد با توجه به اهمیت این مرحله، با حساسیت کافی و صرف زمان بالا، کدهای مقالات تخصیص یابد.

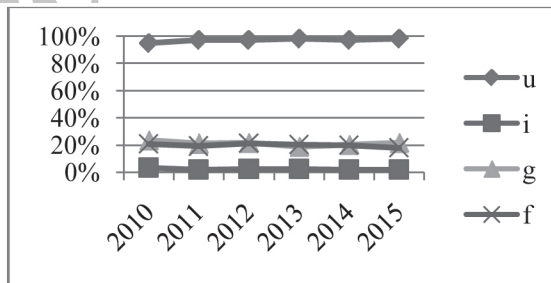
2. Co-authorship

3. Funding

مقایسه قرار گرفت و هیچ‌گونه تفاوتی به جز تفاوت مرتبط با مقیاس اندازه‌گیری دو نرم‌افزار مشاهده نشده و مقادیر به‌دست‌آمده در هر دو نرم‌افزار، دقیقاً در دو رقم اعشار و با مقیاس میلی بیت اطلاعات^۱، یکسان بودند.

۴- تجزیه و تحلیل یافته‌ها: مطالعه موردی مقالات ISI بخش نانو در بازه زمانی سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ در این قسمت و با توجه به هدف پژوهش، به‌عنوان نمونه به تحلیل پویایی تعاملات و روابط دانشگاه، صنعت، دولت و بخش خارجی (همکاری‌های بین‌المللی) در تولید مقالات ISI منتشرشده مرتبط با بخش نانو با حداقل یک نویسنده با آدرس ایران، در بازه زمانی سال ۲۰۱۰ تاکنون^۲، پرداخته می‌شود. با توجه به اینکه هدف از این پژوهش، بررسی تعاملات و همکاری‌های بین ارکان در این تولیدات است، در ادامه به تحلیل‌های مرتبط با این مقوله پرداخته می‌شود.

نمودار ۱، نشان‌دهنده درصد مشارکت هر یک از ارکان چهارگانه در نویسندگی یا حمایت مالی از تولیدات علمی نانو می‌باشد. یکی از نکات جالب توجه در این نمودار، میزان مشارکت تقریباً ثابت و یکنواخت ۳ رکن در تولیدات علمی است، بدین ترتیب که دانشگاه همواره در انتشار بیش از ۹۰٪ تولیدات کلیه سال‌ها مشارکت داشته و پس از آن دولت و همکاران خارجی نیز، به‌صورت یکنواخت و با نوساناتی اندک در حدود ۲۰٪ از تولیدات و درنهایت صنعت درصد بسیار ناچیزی (حدود ۲٪) مشارکت داشته‌است. یکی از نکات جالب توجه این نمودار، مماس بودن مشارکت بخش دولتی و همکاران بین‌المللی در انتشار مقالات ایرانی حوزه نانو است.



نمودار ۱: سهم مشارکت UIG ایران در انتشار مقالات حوزه نانو در بازه ۲۰۱۵-۲۰۱۰

1 . Millibits of information

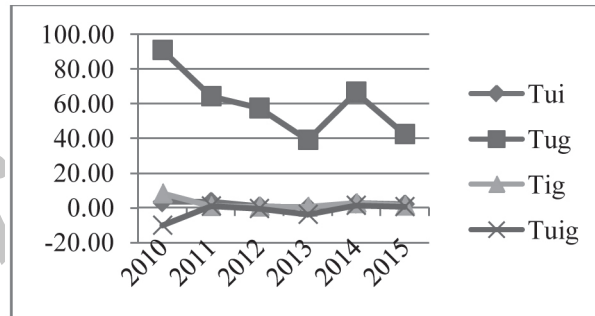
۲. چهارشنبه ۱۰ تیر ۹۴ معادل ۱ July ۲۰۱۵ (شش ماهه ابتدایی سال ۲۰۱۵).

۴-۱- بررسی تعاملات دو و سه جانبه داخلی در تولیدات علمی نانو در بازه ۲۰۱۰ تا ۱۵

جدول ۲، نشان‌دهنده مقایسه T تعامل دو و سه‌جانبه در بین نهادهای اصلی تولید علم نانو در ایران می‌باشد. نمودار ۲ نیز نمای ترسیمی و روند تغییرات مقادیر T در روابط دو و سه‌بعدی به تصویر کشیده شده‌است.

جدول ۲: مقادیر رسانش عدم قطعیت روابط ارکان دو و سه جانبه در مقالات نانو در بازه ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵

سال	Tui	Tug	Tig	Tuig
۲۰۱۰	۳,۱۸	۹۱,۰۰	۸,۴۳	-۱۰,۰۹
۲۰۱۱	۳,۳۲	۶۴,۲۱	۱,۰۷	۰,۹۸
۲۰۱۲	۰,۷۹	۵۷,۵۳	۰,۸۶	-۰,۴۴
۲۰۱۳	۰,۰۱	۳۹,۲۲	۰,۷۲	-۳,۶۲
۲۰۱۴	۲,۴۲	۶۶,۷۵	۲,۷۸	۱,۴۵
۲۰۱۵	۱,۸۲	۴۲,۶۳	۱,۴۰	۰,۷۸

نمودار ۲: روند تغییرات مقدار T در روابط دو و سه جانبه در بازه ۲۰۱۰-۲۰۱۵

با ذکر این یادآوری که مقادیر بالاتر T در روابط دوسویه نشان‌دهنده، تعامل بهتر و در خصوص روابط سه‌جانبه برعکس می‌باشد و مقدار T برابر صفر نیز در تمام شرایط به معنای استقلال و عدم تعامل ارکان است (لیدسدورف، ۲۰۰۳؛ حسین و همکاران، ۲۰۱۲) مشخص می‌شود که:

۱. در خصوص تعاملات دوسویه، همواره شرایط تعامل دانشگاه-دولت بهتر از تعاملات دانشگاه-

صنعت و صنعت-دولت بوده است که سیاست‌های حمایتی دولت و به‌ویژه ستاد توسعه فناوری نانو، از تحقیقات دانشگاهی و تعامل و همکاری تحقیقاتی و انتشاراتی پژوهشگران بخش نانوفناوری در مؤسسات پژوهشی وابسته به دولت با دانشگاهیان از اصلی‌ترین دلایل آن است. به‌طور مشابه؛ این نتیجه (وضعیت بهتر تعامل دانشگاه-دولت) در خصوص وضعیت حاکم بر پژوهش‌های بخش کشاورزی در کشورهای کره جنوبی و چین (کیم و همکاران، ۲۰۱۲)، تولیدات علمی بنگلادش (حسین و همکاران، ۲۰۱۲)، تولیدات علمی کره و هلند در سال ۲۰۰۰-۲۰۰۲ (پارک^۱ و همکاران، ۲۰۰۵) تکرار شده است. البته برخلاف نتایج به‌دست آمده در این قسمت، قطعیتی در خصوص تعاملات دوسویه در تولیدات علمی ژاپن در زمینه برتری مطلق تعاملات دانشگاه-دولت در سال‌های ۱۹۸۰ الی ۲۰۰۶ وجود نداشته است، به‌گونه‌ای که در سال‌های اولیه تا حدود سال ۲۰۰۰ برخلاف نتایج این پژوهش، تعامل دانشگاه-صنعت وضعیتی بسیار مناسب‌تر داشته و سپس به‌طور نسبی وضعیت ارتباطات دوسویه دانشگاه-صنعت و دانشگاه-دولت مشابه شده و در انتها نیز تا سال پایانی مورد بررسی مقدار اندکی وضعیت تعامل دانشگاه-دولت بالاتر از دانشگاه-صنعت قرار گرفته است (سان و نگیشی، ۲۰۱۰).

۲. تعامل دوسویه دانشگاه-صنعت و صنعت-دولت به جز در سال‌هایی محدود، در اکثر سال‌ها، کاملاً مماس بر محور افقی (صفر) است که نشان‌دهنده استقلال و عدم ارتباط ارکان مذکور است که نشان از وضعیت نامطلوب ارتباطات صنعت با سایر ارکان در تولیدات علمی نانو دارد. این بخش از نتایج با نتایج مرتبط با اکثر کشورهای توسعه یافته همخوانی ندارد (چوی و همکاران، ۲۰۱۵).

۳. مقادیر T محاسبه شده برای ارتباطات UIG به‌جز در سال ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳، در اکثر سال‌ها (با تفاوت بسیار کم) نزدیک و مماس بر محور افقی (صفر) است که نشان‌دهنده عدم وجود تعامل اثر بخش سه‌جانبه در تولیدات علمی است. این نتیجه با نتایج کشورهای توسعه یافته همخوانی ندارد (پارک و همکاران، ۲۰۰۵؛ سان و نگیشی، ۲۰۱۰؛ کیم و همکاران، ۲۰۱۲؛ لیدسدورف، ۲۰۰۳؛ لیدسدورف و همکاران، ۲۰۱۴) و لازم است جهت بهبود شرایط موجود در ایران (و سایر کشورهای در حال توسعه) در این خصوص مطالعات و سیاست‌گذاری لازم صورت پذیرد.

۴. نکته محسوس دیگر اینکه پویایی و هم‌افزایی تمامی انواع تعاملات دو و سه‌گانه در سال‌های انتهایی بازه‌ی مورد بررسی در حال کاهش بوده و حتی ارتباطات دانشگاه-دولت نیز به سمت مستقل شدن در حال حرکت است که نشان از این دارد که لازم است علاوه بر وجود سیاست‌ها و بسترهای مورد نیاز

در این خصوص، جهت استمرار این شرایط، به‌طورمستمر و با گذر زمان برنامه و اقدام‌های لازم دنبال شود، چرا که مشهود است که در صورت نبود سیاست‌ها و بسترهای متناسب با شرایط جدید، انگیزه لازم جهت تعاملات کاهش می‌یابد. این نتیجه فارغ از تحلیل‌های داخلی برای سیاست‌گذاران بخش نانوی ایران، یکی از قابلیت‌های تحلیل‌های مبتنی بر این رویکرد را در درک مؤثر شرایط حاکم بر تعاملات، بیشتر آشکار می‌سازد.

۵. همراستا با نتایج تحقیقات تعدادی از محققان (چانگ، ۲۰۱۴؛ یون^۱ و همکاران، ۲۰۰۶) در خصوص کشورهای در حال توسعه و با توجه به نقش محوری و مرکزیت و مشارکت بالای بخش دولتی در تعاملات UIG در بخش نانوی ایران، رکن دولتی، مناسب‌ترین بخش به‌منظور ایجاد بسترهای توسعه ارتباطات پویا و هم‌افزا در بین سایر بخش‌ها (UI, UIG, ...) می‌باشد.

۶. ایران طی ده سال گذشته، همواره دارای جایگاه مستحکم و اثبات‌شده‌ای در رتبه تولیدات علمی بوده است به‌نحوی که به‌عنوان مثال ایران به ترتیب با تولید ۲۹,۷۲٪ و ۱,۵۲٪ از تولیدات علمی منطقه و دنیا رتبه اول منطقه و ۱۶ دنیا در سال ۲۰۱۴ را براساس تولیدات منتشرشده در اسکوپوس^۲ به خود اختصاص داده است (اس جی آر^۳، ۲۰۱۵؛ استیت نانو^۴، ۲۰۱۵) و در سال ۲۰۱۲ تولیدات علمی ایران سریع‌ترین آماررشد در دنیا را براساس آمارمؤسسه اطلاعات علمی^۵ به خودتخصیص داده است (آخوندزاده^۶، ۲۰۱۳). نکته جالب توجه اینکه ۲۱,۱۵٪ از مجموع تولیدات علمی ایران مربوط به بخش نانو است و کشور ایران در سال ۲۰۱۴ رتبه ۷ دنیا را در تولیدات علمی نانو به خود اختصاص داده است (استیت نانو^۷، ۲۰۱۵).

با این وجود، هرچند تعداد تولیدات علمی ایرانیان در بخش نانو، تقریباً زیاد است. ولی تعامل و هم‌افزایی محدود بین ارکان، به‌ویژه در بین دانشگاه-صنعت که تقریباً به صفر میل می‌کند، یکی از نقاط ضعف اصلی جهت پویایی و توسعه فناوری و نوآوری در کشور است که نمود عینی آن در تعداد محدود و نامتناسب اختراعات^۷ ثبت‌شده ایرانی در حوزه نانو با تعداد مقالات این حوزه در بازه

1 . Eun

2 . Scopus

3 . SJR

4 . Stat Nano

5 . Institute for Scientific Information (ISI)

6 . Akhondzadeh

7 . patent

سال ۲۰۰۰ تاکنون، مشاهده می‌شود. به‌نحوی که تعداد اختراعات ایرانی نانو در پایگاه‌های ثبت اختراع آمریکا و اروپا به ترتیب ۴۰ و ۴ مورد است که سبب می‌شود ایران به ترتیب در این پایگاه‌ها، دارای رتبه ۳۰ و ۵۶ به لحاظ تعداد پتنت ثبت شده باشد (استیت نانو، b,c, ۲۰۱۵) که با رتبه کشور در تولیدات علمی نانو (مقالات ISI) که تعداد آن‌ها بعد از سال ۲۰۰۰، بیش از ۱۱۰۰۰ مورد است، همخوانی ندارد.

۴-۲- تحلیل وضعیت و جایگاه همکاری‌های بین‌المللی در تولیدات علمی بخش نانو ایران
به‌منظور تحلیل مناسب در این خصوص، در ابتدا با توجه به روند مرسوم و متداول تحقیقات این حوزه (به‌عنوان مثال: شین و همکاران، ۲۰۱۲؛ لیدسدورف و همکاران، ۲۰۱۴)، بخش چهارم با کد f در کلیه سطرهای داده‌های استخراج شده در نظر گرفته شد. در حالت کلی ۲ رویکرد متفاوت به‌منظور در نظر گرفتن بخش خارجی (همکاری‌های بین‌المللی) در محاسبات و تحلیل‌های این مدل وجود دارد، رویکرد اول در نظر گرفتن همکاری‌های بین‌المللی به‌عنوان رکن چهارم داخلی در ارتباطات سه‌جانبه است، رویکرد دوم توسعه ارکان به چهار رکن و در نظر گرفتن رکن چهارم به‌عنوان یک بُعد مجزا است. به‌عنوان مثال در رویکرد اول اگر یک استاد دانشگاه داخلی، پژوهشی با یک استاد دانشگاه خارجی انجام دهد، علاوه بر اینکه این ارتباط یک ارتباط بین بخشی (دانشگاه خارجی - دانشگاه) تلقی می‌شود، یک ارتباط درون بخشی (دانشگاهی) نیز به‌صورت مجزا در محاسبات وارد می‌گردد (شین و همکاران، ۲۰۱۲).

در این پژوهش، به‌دلیل تناسب بیشتر این رویکرد با شرایط ایران و همچون پژوهش‌های متعدد گزارش شده در مراجع علمی (به‌عنوان مثال: کون^۲ و همکاران، ۲۰۱۲؛ لیدسدورف و سان، ۲۰۰۹؛ سان و نگیشی، ۲۰۱۰) رکن خارجی به‌عنوان رکن مستقل چهارم در ارتباطات سه‌گانه وارد و تحلیل شده است. لازم بذکر است که حدود ۲۰٪ از تولیدات علمی نانو فناوری در ایران با تعامل همکاران بین‌المللی تولید شده است.

در جدول ۳ مقادیر T محاسبه شده در ارتباطات دو، سه و چهار بعدی UIG ایران با همکاران و شرکت‌های خارجی در تولیدات علمی حوزه نانو، نشان داده شده است. همچنین نمودار ۳ روند کلی تغییرات T در تعاملات ارکان چهارگانه (UIGF) را نشان می‌دهد.

1 . USPTO

2 . EPO

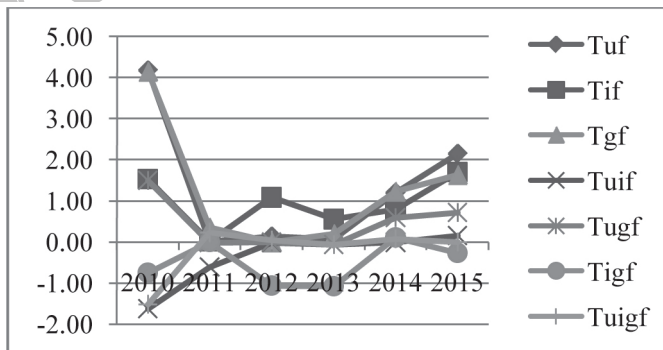
3 . Kwon

جدول ۳: مقادیر رسانش عدم قطعیت روابط ارکان داخلی و همکاران خارجی در تولیدات علمی نانو

سال	Tuf	Tif	Tgf	Tuif	Tugf	Tigf	Tuigf
۲۰۱۰	۴,۱۸	۱,۵۲	۴,۱۴	-۱,۶۳	۱,۵۰	-۰,۷۵	-۱,۵۳
۲۰۱۱	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۳۵	-۰,۶۲	-۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۲۲
۲۰۱۲	۰,۱۳	۱,۰۸	۰,۰۰	-۰,۰۲	-۰,۰۱	-۱,۰۷	۰,۰۴
۲۰۱۳	۰,۰۸	۰,۵۵	۰,۲۰	-۰,۰۶	-۰,۰۷	-۱,۰۸	-۰,۰۷
۲۰۱۴	۱,۱۹	۰,۸۰	۱,۲۳	-۰,۰۱	۰,۵۹	۰,۱۱	۰,۰۷
۲۰۱۵	۲,۱۵	۱,۶۹	۱,۶۴	۰,۱۶	۰,۷۱	-۰,۲۷	۰,۰۰

مقدار T_{uigf} تقریباً مماس بر خط افقی (صفر) است که با توجه به اینکه مطلوب T در تعاملات چهارجانبه مقادیر بزرگ مثبت است، عدم وجود تعاملات مؤثر UIGF کاملاً مشهود است. این نتیجه براساس تحلیل‌های قبلی در خصوص تعاملات سه‌جانبه داخلی دور از انتظار نیست.

به فراخور سطح نیازمندی و تصمیم‌گیری، امکان ارائه تحلیل‌ها و فراهم‌سازی بسترهای تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری در ابعاد و سطوح مختلف فراهم است که با توجه به اینکه هدف این پژوهش نمایاندن و معرفی قابلیت‌های تحلیلی رهیافت «اطلاعات متقابل» و تحلیل‌های مبتنی بر آنتروپی در مدل مارپیچ سه و چهارجانبه جهت به‌کارگیری این قابلیت‌ها در تحلیل همکاری‌ها در زمینه‌های مختلف اعم از تولیدات فناورانه، پتنت‌ها، مقالات و ... در تعاملات شبکه‌ها و همکاری‌های فناوری و دانشی بین‌بناگاهی و بین‌المللی است، در این بخش به همین حد از تحلیل‌ها بسنده می‌شود.



نمودار ۳: روند تغییرات مقدار T در همکاری‌های بین‌المللی تولیدات علمی بخش نانو در بازه ۲۰۱۰-۲۰۱۵

۵- نتیجه گیری

این پژوهش با هدف بررسی و ارائه قابلیت‌های سنجش تعاملات و همکاری‌های فناورانه و دانشی مبتنی بر سازوکارها و ابزارهای موجود در مدل تریپل هلیکس به منظور زمینه‌سازی جهت استفاده از قابلیت‌های موجود در این مدل در مسیر تحلیل پویایی و هم‌افزایی تعاملات و همکاری‌های فناورانه در شبکه‌ها، بنگاه‌ها و روابط بین‌المللی شرکت‌های فناورانه انجام شد.

با توجه به بررسی‌ها و مطالعه مقالات متعدد حوزه علم‌سنجی و پژوهش‌های انجام‌شده در مراجع معتبر بین‌المللی، مشخص شد که رویکرد رهیافت متقابل که مبتنی بر آنتروپی در تئوری اطلاعات شانون بناگذاری و توسعه یافته‌است، در دفعات متعدد به منظور سنجش هم‌افزایی بین ارکان داخلی و بین‌المللی توسعه علم، فناوری و نوآوری در حوزه‌ها و کشورهای مختلف بهره‌برداری شده و قابلیت‌های آن اثبات شده‌است. لزوم استفاده از سنج‌های دقیق و کمی علمی هم‌زمان با تحلیل‌های مبتنی بر خبرگی، اهمیت استفاده از این قبیل رویکردها را به منظور بهبود سیاست‌گذاری در مسیر توسعه علمی، فناوری و نوآوری شفاف می‌نماید.

براین اساس، بعد از ارائه مبانی علمی رویکرد مذکور و مطالعه موردی آن در تحلیل تعاملات ارکان داخلی و بین‌المللی مشارکت‌کننده در تدوین مقالات ISI ایرانی حوزه نانو (به‌عنوان یکی از بخش‌های مورد تأکید در اسناد بالادستی و اولویت‌دار کشور) در بازه ۲۰۱۵-۲۰۱۰، پتانسیل بالای این مدل جهت استفاده در تحلیل‌های علمی و تصمیم‌ساز در مسیر توسعه فناوری و نوآوری در کشور مشخص شد. در نهایت، فارغ از توصیه‌های سیاستی مستخرج در حوزه نانو (که هدف اصلی این پژوهش نیست)، به ارائه پیشنهاداتی جهت کاربست رویکرد مذکور در تحلیل کمی روابط و تعاملات شبکه‌ها، بنگاه‌ها و همکاری‌های فناورانه بین‌بنگامی، بین‌المللی و شبکه‌ها پرداخته می‌شود.

با توجه به اینکه رویکرد اطلاعات متقابل در بیش از دو بعد مبتنی بر فرمول‌ها و روابط تئوری اطلاعات شانون استوار است (یونگ^۱، ۲۰۰۸) ولیکن محدودیت‌های آنتروپی شانون را ندارد (کریپندورف^۲، ۲۰۰۹؛ لیدسدورف^۳، ۲۰۱۰)، چراکه مقادیر آن می‌تواند مثبت، منفی یا صفر باشد درحالی‌که آنتروپی شانون الزاماً، مقادیر مثبت تولید می‌کند(تیل^۳، ۱۹۷۲).

با توجه به اینکه رویکرد اطلاعات متقابل، قابلیت‌های خود را به‌عنوان شاخصی اثربخش در

1 . Yeung
2 . Krippendorff
3 . Theil

سنجش هم‌افزایی و پویایی همکاری‌ها و ارتباطات در مدل تریپل‌هلیکس اثبات کرده و به‌طور مکرر در پژوهش‌های معتبر بین‌المللی استفاده شده‌است و نتایج تحلیلی جذاب به‌دست‌آمده از سنجش پویایی تعاملات ارکان سه‌گانه و همکاری‌های بین‌المللی در مطالعه موردی مقالات بخش نانوی ایران، استفاده از این رویکرد و قابلیت‌های آن در سنجش پویایی دانش‌بنیان و هوشمندی تعاملات و همکاری‌های فناورانه، دانشی و حتی تولیدی در بین بنگاه‌ها و شبکه‌های مختلف مرتبط با علم، فناوری و نوآوری در کشور توصیه می‌شود.

اقدامات قابل انجام جهت استفاده از این رویکرد در تحلیل تعاملات مورد نیاز، شامل موارد زیر است:

الف) استفاده از نرم‌افزارها و رویکرد عنوان‌شده در این پژوهش تا سطح ۴ بعد (با استفاده از قابلیت‌های عنوان‌شده در نرم‌افزار th4)

ب) طراحی و تدوین ابزارهای نرم‌افزاری موردنیاز با همکاری مشترک متخصصین مدیریت فناوری و مهندسی نرم‌افزار جهت پوشش تحلیل‌های موردنیاز در همکاری‌ها و تعاملات چند بعدی (به‌طور مثال تا ۲۰ بُعد و در صورت لزوم تا ابعاد بیشتر).

به نظر می‌رسد با توجه به شفاف بودن مسیر و روابط موردنیاز برای تعاملات دارای ابعاد زوج و فرد، مانعی از جهت توسعه نرم‌افزار در این خصوص وجود نداشته باشد.

ج) برنامه‌نویسی توسط پژوهشگران، تحلیلگران و مشاورین مدیریت فناوری در قالب نرم‌افزارهای دارای قابلیت صفحات گسترده و امکان فرمول‌نویسی پیشرفته (همچون اکسل)

علاوه‌براین در جهت استفاده از رویکرد مذکور، در حالت کلی به‌منظور تحلیل‌های دقیق‌تر علمی، نیاز به بسترسازی استفاده بیشتر از پایگاه‌های داده فارسی دارای قابلیت‌های جستجوی اثربخش (همچون وب آف ساینس برای مقالات و پایگاه معتبر جستجوی اختراعات به صورت آنلاین و آفلاین همچون پایگاه ثبت اختراعات ایالات متحده آمریکا) به‌منظور استفاده بیشتر از تحلیل‌های معتبر علمی و کاربست نتایج در توسعه علم، فناوری و نوآوری به شدت احساس می‌شود. لذا لازم است تا پژوهشگران، سیاست‌گذاران و افراد دارای قابلیت‌های علمی در این خصوص، هر یک با ایفای نقش مخصوص به خود، اقدامات موردنیاز را در این مسیر به انجام رسانند.

منابع

- امیری نیا حمیدرضا، بی‌تعب علی (۱۳۸۸)، الگوی مطلوب ارتباط دولت، صنعت و دانشگاه مورد پژوهی تجربه‌های دفتر همکاری‌های فناوری در کشور، *صنعت و دانشگاه: پاییز و زمستان ۱۳۸۸*، دوره ۲، شماره ۶-۵، صص ۲۵-۳۴.
- باقری‌نژاد، جعفر (۱۳۸۲)، سیستم نوآوری ملی، بستر مناسب توسعه فناوری، مجموعه مقالات هفتمین کنگره سراسری همکاری‌های دولت، دانشگاه و صنعت: برای توسعه ملی، اصفهان: دانش‌پژوهان برین، ۲۵۱-۲۶۴.
- جوکار طاهره، عصاره فریده (۱۳۹۲). جریان انتشار مقالات علمی در کشور ایران طی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۱ براساس مدل مارپیچ سه‌گانه دانشگاه، صنعت و دولت. *پژوهش نامه پردازش و مدیریت اطلاعات*، ۲۹(۲)، ۵۰۵-۵۳۳.
- خوراسگانی علی، قاسمی وحید، خوراسگانی رسول، ادیبی سده مهدی، افقی نادر (۱۳۹۰)، تحلیل جامعه‌شناختی شیوه‌های تولید علم؛ تأملی در رویکردهای نوین، *تحقیقات فرهنگی*، ۱۶(۴).
- صمدی میارکلانی حمزه، صمدی میارکلانی حسین (۱۳۹۲)، نظریه‌ها و الگوهای ارتباط میان دانشگاه‌ها و صنعت در اقتصاد دانش بنیان، *رشد فناوری*، شماره ۲۵، صص ۵۹-۶۹.
- Akhondzadeh, S. (2013). Iranian science shows world's fastest growth: ranks 17th in science production in 2012. *Avicenna Journal of Medical Biotechnology*, 5(3), 139.
- Braczyk, H., Cooke, P. and Heidenrich, R. (Eds) (1998). *Regional Innovation Systems*, UCL Press, London.
- Choi, S., Yang, J., & Park, H. (2015). Quantifying the Triple Helix relationship in scientific research: statistical analyses on the dividing pattern between developed and developing countries. *Quality & Quantity*, 49(4), 1381-1396.
- Chung, C. (2014). An analysis of the status of the Triple Helix and university-industry-government relationships in Asia. *Scientometrics*, 99(1), 139-149.
- Cooke, P., Uranga, M. and Etzebarria, G. (1997). Regional innovation systems: institutional and organizational dimensions, *Research Policy*, Vol. 26 Nos 4/5, pp. 475-91.
- Dzisah, J., & Etzkowitz, H. (2008). The renewal of the African university: towards a triple helix development model for Ethiopia. Paper presented at the Transforming University-Industry-Government Relations in Ethiopia, Proceedings of Ethiopia Triple Helix Conference, IKED, Addis Ababa.
- Edquist, C. (1997). *Systems of innovation approaches – their emergence and charac-*

- teristics, in Edquist, C. (Ed.), Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations, Chapter 1, Printer, London, pp. 1-35.*
- Etzkowitz, H. (2003). Innovation in innovation: The triple helix of university-industry-government relations. *Social science information*, 42(3), 293-337.
 - Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations. *Research Policy*, 29(2), 109-123.
 - Eun, J.-H., Lee, K., & Wu, G. (2006). Explaining the “University-run enterprises” in China: A theoretical framework for university–industry relationship in developing countries and its application to China. *Research Policy*, 35(9), 1329-1346.
 - Grupp, H. (1990). The concept of entropy in scientometrics and innovation research. *Scientometrics*, 18(3), 219–239.
 - Hossain, M. D., Moon, J., Kang, H., Lee, S., & Choe, Y. (2012). Mapping the dynamics of knowledge base of innovations of R&D in Bangladesh: triple helix perspective. *Scientometrics*, 90(1), 57-83.
 - Kim, H., Huang, M., Jin, F., Bodoff, D., Moon, J., & Choe, Y. (2012). Triple helix in the agricultural sector of Northeast Asian countries: a comparative study between Korea and China. *Scientometrics*, 90(1), 101-120.
 - Krippendorff, K. (2009). W. Ross Ashby’s information theory: a bit of history, some solutions to problems, and what we face today. *International Journal of General Systems*, 38(2), 189-212.
 - Kwon, K.-S., Park, H., So, M., & Leydesdorff, L. (2012). Has globalization strengthened South Korea’s national research system? National and international dynamics of the Triple Helix of scientific co-authorship relationships in South Korea. *Scientometrics*, 90(1), 163-176.
 - Leydesdorff, L. (2003). The mutual information of university-industry-government relations: An indicator of the Triple Helix dynamics. *Scientometrics*, 58(2), 445-4
 - Leydesdorff, L. (2009). Interaction Information: Linear and Nonlinear Interpretations. *International Journal of General Systems*, 38(6), 681-685.
 - Leydesdorff, L. (2010). Redundancy in Systems which Entertain a Model of Themselves: Interaction Information and the Self-organization of Anticipation. *Entropy*, 12(1), 63-79.

- Leydesdorff, L. (2012). The Triple Helix, Quadruple Helix, ..., and an N-Tuple of Helices: Explanatory Models for Analyzing the Knowledge-Based Economy?, *Journal of the Knowledge Economy*, 3(1), 25-35.
- Leydesdorff, L., & Etzkowitz, H. (1996). Emergence of a Triple Helix of university—industry—government relations. *Science and Public Policy*, 23(5), 279-286.
- Leydesdorff, L., & Fritsch, M. (2006). Measuring the knowledge base of regional innovation systems in Germany in terms of a Triple Helix dynamics. *Research Policy*, 35(10), 1538-1553.
- Leydesdorff, L., & Strand, Ø. (2013). The Swedish system of innovation: Regional synergies in a knowledge-based economy. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 64(9), 1890-1902.
- Leydesdorff, L., & Sun, Y. (2009). National and international dimensions of the Triple Helix in Japan: University–industry–government versus international coauthorship relations. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 60(4), 778-788.
- Leydesdorff, L., Dolfsma, W., & Van der Panne, G. (2006). Measuring the knowledge base of an economy in terms of triple-helix relations among ‘technology, organization, and territory’. *Research Policy*, 35(2), 181-199.
- Leydesdorff, L., Park, H., & Lengyel, B. (2014). A routine for measuring synergy in university–industry–government relations: mutual information as a Triple-Helix and Quadruple-Helix indicator. *Scientometrics*, 99(1), 27-35.
- Lundvall, B.A. (1992). *National Systems of Innovation – Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, Printer, 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.
- Natário, M. M., Couto, J. P. A., & Almeida, C. F. R. d. (2012). The triple helix model and dynamics of innovation: a case study. *Journal of Knowledge-based Innovation in China*.
- Park, H. W., Hong, H. D., & Leydesdorff, L. (2005). A comparison of the knowledge-based innovation systems in the economies of South Korea and the Netherlands using Triple Helix indicators. *Scientometrics*, 65(1), 3-27.

- SCImago Journal & Country Rank (SJR). (2015). Country rank, Retrieved July 10, 2015 from <http://www.scimagojr.com/aboutus.php>.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27(379), 623.
- Shin, J., Lee, S., & Kim, Y. (2012). Knowledge-based innovation and collaboration: a triple-helix approach in Saudi Arabia. *Scientometrics*, 90(1), 311-326.
- Stat Nano (2015a). Number of nanotechnology articles in 2015. Retrieved July 13, 2015 from <http://statnano.com/report/r59>.
- Stat Nano (2015b). Nanotechnology patents in EPO. Retrieved July 25, 2015 from <http://statnano.com/report/s95>
- Stat Nano (2015c). Nanotechnology patents in USPTO. Retrieved July 25, 2015 from <http://statnano.com/report/s89>
- Strand, Ø., & Leydesdorff, L. (2013). Where is synergy indicated in the Norwegian innovation system? Triple-Helix relations among technology, organization, and geography. *Technological Forecasting and Social Change*, 80(3), 471-484.
- Sun, Y., & Negishi, M. (2010). Measuring the relationships among university, industry and other sectors in Japan's national innovation system: a comparison of new approaches with mutual information indicators. *Scientometrics*, 82(3), 677-685.
- Theil, H. (1972). *Statistical Decomposition Analysis*. Amsterdam/ London: North-Holland.
- Yeung, R. W. (2008). *Information Theory and Network Coding*. New York, NY: Springer.