A

Scientometrics Research Journal

Scientific Bi-Quarterly of Shahed University
Vol. 7, No. 2, Autumn & Winter 2021-22 (Serial 14)

Research Article

DOI: 10.22070/rsci.2020.5717.141

Interdisciplinary interaction in the field of biomedical engineering in the last two decades

Somayeh Jafari Naeini [1]

Mohammad Reza Ghane [2*]

Reza Boostani [3]

1. M.A. in scientometrics, Regional information center foe science and technology. Email: azadeh9i94@gmail.com

2. Associate Professor in Knowledge and information science, Research Department of Evaluation and Collection Development, Regional Information center for Science and Technology (Corresponding Author)

3. Associate Professor of Biomedical Engineering, shiraz university. Email: Boostani@shirazu.ac.ir

Email:ghane@ricest.ac.ir

Date of Reception: 21/01/2020

Date of Acceptation: 09/06/2020

Abstract

Purpose: This study aims to investigate the interdisciplinary relationships of biomedical engineering with other scientific domains in WoS during the period 1997 to 2017.

Methodology: The method of the present study is descriptive survey-analytical with a quantitative and scientometric approach. The study population consisted of 9100 articles related to biomedical engineering indexed in the WOS for 21 years. 955 articles were selected through stratified random sampling.

Findings: Scientific production in the field of biomedical engineering from 1997 to 2017 has a growing trend. The tendency to co-authorship with a collaboration coefficient of 0.77 in this field is high. Data visualization showed that "biomedical engineering", "materials science - multidisciplinary", "polymer science", "electrical and electronic engineering" and "tissue and cellular engineering" are the most frequent and effective fields.

Conclusion: The process of research and scientific and hot topics in this field and common fields and their impact has led to the emergence of new fields of study in this profession. Since the group collaboration rate of researchers in this field is at a high level, researchers can contribute to the advancement and development of biomedical engineering through wider communication with each other.

Keywords: Interdisciplinary Interaction, Biomedical Engineering, Web of Science, WoS.

www.SID.ir

پژوهش‌نامه علم‌سنجی
دوفصلنامه علمی دانشگاه شاهد/ دوره ۷/ شماره ۲/ پاییز و زمستان ۱۴۰۰ (پیاپی ۱۴)

مقاله پژوهشی

DOI: 10.22070/rsci.2020.5717.141

تعامل میان‌رشته‌ای حوزه مهندسی پزشکی در دو دهه اخیر

سمیه جعفری نائینی [۱]

محمدرضا قانع [*۲]

رضا بوستانی [۳]

۱. کارشناسی ارشد علم‌سنجی. مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری.
Email:azadeh9i94@gmail.com

۲. دانشیار علم اطلاعات و دانش‌شناسی، گروه پژوهشی ارزیابی و توسعه منابع، مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری. (نویسنده مسئول)
Email:ghane@ricest.ac.ir

۳. دانشیار مهندسی پزشکی. دانشگاه شیراز.
Email: Boostani@shirazu.ac.ir

صفحه ۲۹۶-۲۷۳
دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱
پذیرش: ۱۳۹۹/۳/۲۰

چکیده

هدف: هدف پژوهش حاضر بررسی روابط میان‌رشته‌ای مهندسی پزشکی با دیگر حوزه‌های علمی در وب‌علم طی بازه زمانی ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۷ است.

روش‌شناسی: روش پژوهش حاضر توصیفی پیمایشی- تحلیلی با رویکرد کمّی و از نوع علم‌سنجی است. جامعه پژوهش شامل ۹۱۰۰ مقاله مربوط به مهندسی پزشکی نمایه‌شده در پایگاه وب‌علم در بازه زمانی ۲۱ ساله است که از طریق نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای، ۹۵۵ مقاله برگزیده شد.

یافته‌ها: تولیدات علمی در حوزه مهندسی پزشکی از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۷ روند رو به رشدی داشته است. گرایش به هم‌نویسندگی با میانگین ضریب مشارکت ۰/۷۷ در این رشته زیاد است. مصورسازی داده‌ها نشان داد "مهندسی پزشکی"، "علم مواد-چندرشته‌ای"، "علم پلیمر"، "مهندسی برق و الکترونیک" و "مهندسی بافت و سلولی" پربسامدترین و تأثیرگذارترین حوزه هستند.

نتیجه‌گیری: روند پژوهش‌ها و مباحث علمی و داغ این حوزه و حوزه‌های مشترک و تأثیرگذاری آنها موجب ظهور حوزه‌های جدید مطالعاتی در این حرفه شده است. ازآنجاکه ضریب همکاری گروهی محققان این حوزه در سطح بالایی قرار دارد پژوهشگران می‌توانند از طریق ارتباطات گسترده‌تر با یکدیگر به پیشبرد و توسعه مهندسی پزشکی کمک کنند.

واژگان کلیدی: تعامل میان‌رشته‌ای، مهندسی پزشکی، وب علم

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه و بیان مسئله

گسترش و توسعه ارتباطات خارج از مرزهای جغرافیایی باعث گردیده است که محققان حوزه‌های مختلف به همکاری علمی و تألیف مشترک گرایش بیشتری نشان دهند. یکی از انگیزه‌های همکاری علمی در یک یا چند حوزه موضوعی استفاده همه‌جانبه از امکانات، مهارت‌ها و تخصص‌های لازم است که به‌ندرت در یک‌رشته یا یک فرد متخصص وجود دارد (چون وان و لی[1]، ۲۰۱۶). چنین انگیزه‌ها در حوزه‌های علمی میان‌رشته‌ای بسیار اثرگذار هستند؛ زیرا پژوهش‌های میان‌رشته‌ای در حل مسائل جوامع بسیار تعیین‌کننده می‌باشند. اساساً، پژوهش میان‌رشته‌ای فرایندی است که پژوهشگران رشته‌های علمی مختلف با یکدیگر همکاری می‌کنند تا چارچوب‌های مفهومی و روش‌شناختی جدیدی را به‌منظور روشی فوق‌العاده برای حل مشکلاتی که در جامعه پدید آمده است ارائه دهند (بارسل و سیدل[2]، ۲۰۱۷). آموزش و پژوهش در مطالعات بین‌رشته‌ای در دهه‌های اخیر فعال و بسیار چشمگیر بوده است. این امر سبب شده است که پژوهش‌های میان‌رشته‌ای در دانشگاه‌ها جزء اولویت‌های تحقیقاتی باشند (صدیقی، ۱۳۹۲)؛ بنابراین، باور پژوهشگران بر نقش ارزنده مطالعات میان‌رشته‌ای در تولید و اکتشافات علمی تقویت شده است و می‌توان گفت بسیاری از اکتشافات مهم علمی مدیون همکاری میان‌رشته‌های مختلف علمی است (کامینگ و کیسلر[3]، ۲۰۱۴). به‌عنوان نمونه می‌توان به کشف DNA و شناسایی ساختار دو مارپیچ آن اشاره کرد که نتیجه همکاری‌های پژوهشی در میان زیست‌شناسان، فیزیک‌دانان و شیمی‌دانان بوده است و نیز طرح ژنوم انسان که نتیجهٔ تعاون دانشمندان بی‌شماری از رشته‌های مختلف علمی چون فیزیک، شیمی، ژنتیک، زیست‌شناسی، ریاضی و علوم رایانه می‌باشد (برتشر[4]، ۲۰۰۸). به عقیده چن، آرسنالت و لاغیگه[5] (۲۰۱۵) در علم نوین، پژوهش‌های میان‌رشته‌ای اغلب به‌منظور حل مسائل پیچیده به‌عنوان برترین روش مورد توجه قرار می‌گیرند. آنچه باعث پررنگ‌ترشدن ویژگی حوزه میان‌رشته‌ای شده است، ماهیت نوآورانه آن است. در پیوند با همکاری رشته‌های علمی، رشته‌های مهندسی (دن و ژا[6]، ۲۰۲۰) و به‌ویژه مهندسی پزشکی به توسعه ایده‌ها و روش‌های جدید با هدف بهبود کیفیت، اثربخشی و درمان بیماران و حل مسائل پزشکی در جوامع بشری توجه داشته‌اند.

مهندسی پزشکی کاربرد اصول مهندسی و مفاهیم طراحی در پزشکی و زیست‌شناسی برای اهداف مراقبت‌های بهداشتی است. این حوزه از علم در تلاش است تا هم‌افزایی علمی بین مهندسی و پزشکی را توسعه دهد. بخش عمده‌ای از فعالیت‌ها در مهندسی پزشکی شامل پژوهش و توسعه است که طیف گسترده‌ای از زمینه‌های مختلف علمی را دربرمی‌گیرد. کاربردهای عمده مهندسی پزشکی شامل پروتزهای زیست‌سازگار[7]، انواع دستگاه‌های پزشکی تشخیصی و درمانی اعم از تجهیزات بالینی، میکرو ایمپلنت‌ها[8]، تجهیزات تصویربرداری متداول مانند تصویرسازی تشدید مغناطیسی و ثبت نوار مغزی، فراورده‌های دارویی و درمانی است. اما بیشتر رشته‌های فرعی در این حوزه با سایر رشته‌های مهندسی طبقه‌بندی می‌شوند که شامل سه گرایش زیست مواد که مبتنی بر مهندسی شیمی، مهندسی بافت سلولی و مواد بیولوژیکی می‌شود؛ گرایش بیوالکتریک که مبتنی بر مهندسی برق و کامپیوتر، تصویربرداری

1 . Chung, Kwon & Lee
2 . Barthel & Seidl
3 . Cumming & Kiesler
4 . Bretscher
5 . Chen, Arsenault & Larivière
6 . Deng & Xia
7 . Biocompatible prostheses
8 . Micro-implants

www.SID.ir

Archive of SID

پزشکی و دستگاه‌های پزشکی، مهندسی نوری، بیوانفورماتیک است و همچنین گرایش بیومکانیک که غالباً با وسایل پزشکی و مدل‌سازی سیستم‌های بیولوژیکی مانند مکانیک بافت نرم[1] همراه است. هدف این رشته تربیت متخصصانی است که بتوانند از عهده تجهیز، نگهداری و طراحی دستگاه‌های پزشکی و تحقیق در حوزه‌های مختلف این رشته برآیند (یعقوب‌خان، گوپتا و کومار ورما[2]، ۲۰۱۳). بنابراین، با توجه به خصیصه میان‌رشته‌ای مهندسی پزشکی اهمیت بررسی این حوزه قوت می‌گیرد تا مشخص شود در میان رشته‌های علمی دیگر از قبیل مهندسی مکانیک، برق و الکترونیک، شیمی، مواد، علوم کامپیوتر و یا علوم پایه مانند فیزیک، زیست‌شناسی، ریاضی، علوم شناختی و علوم دیگر، تعامل علمی آن با کدام رشته بیشتر است. اهمیت پژوهش حاضر ازآن‌جهت است که با شناسایی حوزه‌های موضوعی تأثیرگذار، چگونگی روند رشد موضوعات، پیدایش و حل مسائل جدید با آگاهی از وضعیت برون‌دادهای پژوهشی مهندسی پزشکی و با شناخت کشورهای پیشرو در این عرصه، به گسترش همکاری‌ها و سرمایه‌گذاری‌های لازم در جهت ارتقای سطح بهداشت و سلامت جامعه کمک کرد. همچنین با ترسیم نقشه میان‌رشته‌ای حوزه مهندسی پزشکی میزان تحکیم ارتباطات علمی متخصصان حوزه‌های مشترک با مهندسی پزشکی مشخص می‌شود؛ زیرا پیشبرد هرچه بیشتر این همکاری‌ها در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌ها مؤثر است.

سؤال‌های پژوهش

این پژوهش قصد دارد میزان تعاملات میان‌رشته‌ای مهندسی پزشکی را با سایر حوزه‌های علمی مورد بررسی قرار دهد و به ترسیم نقشه علمی این حوزه در بازه زمانی ۲۱ ساله (۱۹۹۷ تا ۲۰۱۷) بپردازد. برای این منظور سؤالات اساسی زیر مورد بررسی قرار می‌گیرند:

۱. رشد فعالیت‌های پژوهشی مهندسی پزشکی طی دو دهه با چه روندی همراه بوده است؟
۲. ضریب مشارکت هم‌نویسندگی چگونه است؟
۳. شدت ارتباط میان‌رشته‌ای حوزه مهندسی پزشکی با دیگر حوزه‌های علمی چه میزان است؟
۴. پیوند بین مهندسی پزشکی با دیگر حوزه‌های پژوهشی بر اساس ترسیم نقشه علمی چگونه است؟

چارچوب نظری

فعالیت‌های بین‌رشته‌ای به لحاظ نظری به‌عنوان بخش مهمی از فعالیت‌های آموزشی و پژوهشی دانشگاه‌های برتر جهان در نظر گرفته می‌شوند. در سده بیستم میلادی، فعالیت‌های میان‌رشته‌ای در دانشگاه‌های برتر کشورهای توسعه‌یافته، در کنار دیگر فعالیت‌های نوین و هم‌زمان با به‌وجودآمدن چالش‌ها، پیچیده‌شدن مسائل، تخصص‌ها و فنون، مورد توجه پژوهشگران رشته‌های مختلف علمی قرار گرفت (مهدی، ۱۳۹۲). این رویکرد از سال ۱۹۶۰ به‌عنوان موضوعی مهم در مباحث علمی و دانشگاهی مطرح شد (هوتونییمی، کلاین، بروون و هوکینن[3]، ۲۰۱۰). در مطالعات میان‌رشته‌ای از تعلیمات رشته‌های گوناگون علمی به‌منظور ایده‌گرفتن از دانش زمینه‌ای رشته‌های مختلف، به‌کارگیری آن و مفهومی‌کردن نتایج استفاده می‌شود و این موضوع نشان‌دهنده آن است که مطالعات میان‌رشته‌ای تنها به معنای تسلط بر چند رشته یا انجام کار مشترک توسط افرادی با تخصص‌ها و مهارت‌های گوناگون نمی‌باشد (لینچ[4]، ۲۰۰۶).

1 . Soft tissue mechanics
2 . Yaqub khan, Gupta & kumar verma
3 . Huutoniemi, Klein, Bruun & Hukkinen
4 . Lynch

www.SID.ir

Archive of SID

بلکه مطالعات میان‌رشته‌ای به‌عنوان نوعی پدیده هم‌گرایی درنظر گرفته می‌شوند. درواقع، نخست هم‌گرایی فناوری با هم‌گرایی در علم آغاز می‌شود و به سمت هم‌گرایی در فناوری و بازار سوق پیدا می‌کند و سپس در جهت صنعت حرکت می‌نماید (جونگ و کیم و جوی[1]، ۲۰۱۵). واژه میان‌رشته‌ای یا به تعبیر برخی میان‌رشتگی و هم‌خانواده‌های آن مانند چندرشته‌ای، بین‌رشته‌ای و فرارشته‌ای بیانگر ظهور رویکرد جدیدی در پژوهش‌های علمی هستند و هدف مشترک تمامی آنها یکپارچگی دیدگاه‌ها در حل مسائل مشترک است (میرعابدینی، ۱۳۸۸؛ کامینز و کیسلر، ۲۰۱۴ به نقل از ابراهیمی و جعفری، ۱۳۹۸). با توجه به گسترش جامعهٔ علمی به‌منظور حل مسائل جهانی، دانشگاه‌ها نیز برنامه‌ریزی برای توسعهٔ تعاملات علمی را در اولویت سیاست‌گذاری‌ها قرار داده‌اند. بنابراین، وابستگی آنها به حوزه های میان‌رشته‌ای افزایش یافته است. به همین منظور ضمن ایجاد رابطه با جامعه، سعی دارند تا مرزهای رشته‌های علمی را نیز به یکدیگر نزدیک کرده و برای پژوهشگران این فرصت را فراهم کنند که شناخت بهتری از فعالیت‌های پژوهشی یکدیگر داشته باشند (رولاند، ۱۳۸۷). ازاین‌رو، با گسترش مطالعات بین‌رشته‌ای، امکان ازبین‌بردن فاصله و فضای خالی بین علوم مختلف فراهم می‌شود (پالمر[2]، ۱۹۹۹).

آنچه به گسترش مطالعات میان‌رشته‌ای در نظام‌های دانشگاهی، مجامع علمی و پژوهشگاهی منجر شده است، ضرورت و اهمیت این نوع رویکرد بوده است (گوندران و کامن[3]، ۲۰۰۴). به‌طور گسترده‌ای فرض بر این است که پژوهش‌های معطوف به نیازهای اقتصادی و اجتماعی اغلب و به بهترین وجه از طریق رویکردهای میان‌رشته‌ای انجام می‌شود (روتن و پارکر[4]، ۲۰۰۴). انگیزه فواید تحقیقات میان‌رشته‌ای به‌طور پیوسته از طریق علاقه به توسعه دانش جدید که مهارت‌ها و دیدگاه‌های چندین رشته را درهم‌می‌آمیزد تشدید می‌شود (چاوارو، تانگ و رافولز[5]، ۲۰۱۴). بر این قرار، رویکردهای میان‌رشته‌ای اثربخشی حوزه‌های مختلف دانش را بر یکدیگر تقویت نموده است و برآیند آن بهره‌مندی جامع از اشتراک دانش است. به این دلیل علاقه‌مندی پژوهشگران در زمینه‌های مختلف علمی برای ایجاد ارتباط بین حوزه‌های گوناگون و هم‌گرایی آنها با یکدیگر حائز اهمیت است. بدیهی است بدون داشتن چنین ویژگی، آگاهی‌های به‌وجودآمده در افراد بسیار سطحی و کم‌ارزش خواهد بود (بایراک، ایرکوچ و گول[6]، ۲۰۰۴). درواقع آشنایی با رویکردهای میان‌رشته‌ای و آگاهی از چرایی این‌گونه تخصص‌ها برای برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران آموزش و پژوهش ضروری به نظر می‌رسد و داشتن تخصص‌های میان‌رشته‌ای، برای مراکز آموزش عالی و نهادهایی که درصدد دستیابی به مرزهای جدید و خلاقانه در عرصه علوم هستند از اهمیت خاصی برخوردار است (عراقیه، ۱۳۹۲).

افزایش تخصص و بهره‌مندی متقابل در علوم به‌طور عام و حوزه‌های مهندسی به‌طور خاص نیاز به سازمان‌دهی برای تسهیل تعامل بین‌رشته‌ای دارند (آکادمی ملّی علوم[7]، ۲۰۰۵). در میان حوزه‌های تخصصی مهندسی، مهندسی پزشکی به‌عنوان حوزه میان‌رشته‌ای از اهمیت برخوردار است. مهندسی پزشکی را می‌توان در دوران باستان از طریق فعالیت‌های افرادی مانند آلکمون[8]، افلاطون[9] و گالن[10] که مطالعات خود را روی بدن انسان مورد بررسی، مشاهده و

1 . Jeong ,Kim & Choi
2 . Palmer
3 . Gondran & Kammen
4 . Rhoten & Parker
5 . Chavarro ,Tang & Rafols
6 . Bayrak, Erkoç & Gül
7 . National Academy of Sciences
8 . Alcmaeon
9 . Plato
10 . Galen

www.SID.ir

Archive of SID

ساماندهی قرار می‌دادند یافت. کار گالن در زمینه همودینامیک بیش از ۱۲۰۰ سال قدمت داشت. در این میان، لئوناردو داوینچی را بی‌شک می‌توان بزرگ‌ترین مهندس تاریخ دانست که از اصول بدنی و تجزیه و تحلیل تجربی برای مطالعه فیزیولوژی و پزشکی استفاده کرد (دولان[1]، ۲۰۰۴). اما نخستین تلاش‌های علمی در زمینهٔ مهندسی پزشکی به شکل نوین آن در اوایل قرن بیستم و بیشتر در دهه ۳۰ و ۴۰ میلادی روی‌داده است. اما پیش‌تر با انتشار کتاب "پژوهش پیرامون الکتریسیته در بدن حیوانات"[2] در سال ۱۸۴۸ توسط امیل دوبویس ریموند[3]، فیزیولوژیست آلمانی اولین فعالیت علمی اثرگذار درزمینهٔ مهندسی پزشکی رقم خورده است (بانکی کشکی و تفضلی‌پور، ۱۳۹۵). رشته مهندسی پزشکی در پیوند با مهندسی، بیولوژی و پزشکی پیشرفت کرده و سلامت انسان را به‌وسیله فعالیت‌های میان‌رشته‌ای که نتیجه همکاری علوم مهندسی با علوم زیست‌پزشکی و علوم کاربردی است بهبود می‌بخشد. حوزه میان‌رشته‌ای مهندسی پزشکی، نخست کسب دانش و درک جدید از سیستم‌های حیاتی به شیوه‌ای نوآورانه و اساسی و کاربرد روش‌های تجربی و تحلیلی مبتنی بر علوم مهندسی را مورد نظر دارد. در مرحله دوم توسعه دستگاه‌های جدید، الگوریتم‌ها، فرایندها و سیستم‌هایی است که بیولوژی و پزشکی را تقویت می‌کند (ویلافن[4]، ۲۰۰۹). درمجموع آنچه باعث شناخت بیشتر جامعه پزشکی در رابطه با مهندسی پزشکی و افزایش نیازمندی جوامع به فارغ‌التحصیلان این رشته شده است، وابستگی روزافزون کشورها به فناوری پیشرفتهٔ درمانی و پیچیده‌ترشدن انواع تجهیزات بیمارستانی و طبعاً راه‌اندازی و نگهداری از آنها می‌باشد. ازاین‌رو، توسعه مهندسی پزشکی در گرایش‌های مختلف آن یک امر اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد و به خاطر ماهیت چندگانهٔ[5] متخصصان علوم مختلف در شاخه‌های گوناگون آن فعالیت می‌کنند (عبداللهی، ۱۳۹۷). کاربرد مهندسی در علم پزشکی از طریق مطالعه سیستم‌های زنده و تحلیل رفتار آنها صورت می‌گیرد (سالتمن[6]، ۲۰۱۵). به دلیل ماهیت میان‌رشته‌ای این فعالیت‌ها، همکاری و علاقه‌مندی متقابل بین آنها وجود دارد. رشته مهندسی پزشکی در اواخر دهه ۵۰ به‌عنوان یک گروه حرفه‌ای متشکل از افراد پراکنده که در درجه اول علاقه‌مند به کاربرد الکترونیک در پزشکی بودند، به یک نهاد آموزشی تثبیت‌شده تبدیل شده است (اندرلی و برونزینو[7]، ۲۰۱۲) و در حال حاضر در سطح جهان با استفاده از فناوری‌های جدید در رفاه و سلامت جامعه اثربخشی بسیاری دارد.

پیشینه پژوهش

پژوهش‌های بین‌رشته‌ای مورد توجه رشته‌های دانشگاهی به‌منظور اثربخشی یافته‌ها در توسعه جوامع می‌باشند. ازاین‌رو، بررسی تعاملات بین‌رشته‌ای از منظر کمّی و کیفی متخصصان علم‌سنجی را به‌منظور ارائه راهکار مناسب در سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی پژوهشی در ارزیابی یافته‌های تحقیقات بین‌رشته‌ای ترغیب کرده است. از میان حوزه‌های متمایل به فعالیت بین‌رشته‌ای، مهندسی پزشکی به لحاظ ارتباط مستقیم با حوزه سلامت جامعه از اهمیت برخوردار است (برونزینو، ۲۰۰۵). بسیاری از زمینه‌ها و چالش‌های در حال گسترش مانند مراقبت‌های بهداشتی، پزشکی و

1 . Dolan
2 . Researches on Animals Electricity
3 . Emil du Bois-Reymond
4 . Villafane
5 . Multidisciplinary
6 . Saltzman
7 . Enderle & Bronzino

www.SID.ir

Archive of SID

انفورماتیک زیست‌پزشکی با تمام جنبه‌های مختلف آن بر اهمیت مهندسی پزشکی می‌افزایند (هسمان[1] و همکاران، ۲۰۱۱). گرایش به اقتصاد دانش‌بنیان با تأکید بر نوآوری و استفاده از فناوری‌های نوین به‌عنوان راهی امیدوارکننده برای تسلط بر چالش‌های سلامت، مهندسی پزشکی را در بسیاری از کشورها مورد توجه قرار داده است (شو، رودولف و مترن[2]، ۲۰۱۶). به نظر می‌رسد همکاری‌های بین‌رشته‌ای در تحقیق و توسعه در رویارویی با این چالش مؤثر است (رایکرافت[3]، ۲۰۰۷).

پیشینه پژوهش در داخل

پژوهشگران ایران در حوزه مهندسی پزشکی تمایل مطلوب به همکاری بین‌المللی نشان داده‌اند و شرکای علمی آنان بیشتر از کشورهای کانادا، انگلستان، کره جنوبی، سنگاپور و آمریکا بوده است (باقری و محمداسماعیل، ۱۳۹۲) و از الگوی سه تا پنج نویسنده برای هم‌تألیفی استفاده نموده‌اند. یافته‌های این پژوهش نیز حاکی از آن است که شرکای علمی پژوهشگران مهندسی پزشکی بیشتر از حوزه‌های علم مواد و بیوفیزیک می‌باشند که نشان از ارتباط قوی بین‌رشته‌ای این حوزه‌های علمی دارد.

همکاری‌های علمی کشورهای جهان در حوزه مهندسی پزشکی در نمایه استنادی علوم بین سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۰۲ مورد بررسی محمداسماعیل و باقری (۱۳۹۳) قرار گرفته است. این پژوهشگران پیوند بین تعداد نویسندگان مقالات و تعداد آثار علمی نویسندگان با میزان دریافت استناد را بررسی کردند و نشان دادند که بین مؤلفه‌های مورد بررسی ارتباط معناداری وجود نداشته است. از نظر ارتباط حوزه‌های موضوعی، یافته‌ها رابطه بین علم مواد، بیوفیزیک و علوم ورزشی با مهندسی پزشکی را تأیید نمود. پرتولیدترین کشورها شامل آمریکا، چین، آلمان، کانادا و انگلستان بوده‌اند. ازاین‌رو، می‌توان اظهار داشت میزان همکاری‌های علمی در رشته مهندسی پزشکی به دلیل ماهیت میان‌رشته‌ای آن هر روز بیشتر می‌شود و نیز از نظر رشد تولیدات علمی و همکاری‌های گروهی روندی تصاعدی داشته است.

بی‌شک نزدیکی و تعاملات علمی در سطح ملّی و بین‌المللی به تعیین اولویت‌های پژوهشی کشور بر مبنای تأثیر آنها بر رشد اقتصادی منجر خواهد شد (نورمحمدی، کرامت‌فر، اسپرایین، ۱۳۹۳). در این راستا پژوهش نورمحمدی و دیگران نشان داد که رشته مهندسی پزشکی، مهندسی مکانیک، مکانیک مواد و علم مواد دارای تأثیر بر سرانه تولید ناخالص داخلی هستند و رشته‌های مهندسی پزشکی، عمران و ساختمان، مهندسی سیستم و نظارت، مهندسی صنایع و تولید، مهندسی مکانیک، مکانیک مواد و علم مواد، بر رشد اقتصادی تأثیرگذار می‌باشند و می‌توانند در اولویت‌های پژوهشی کشور قرار گیرند.

نکته حائز اهمیت فعال‌بودن پژوهشگران در حوزه‌های فنی و مهندسی و علوم پزشکی در تولید مقالات داخلی و خارجی و همایش‌ها (نوروزی چاکلی، قضاوی و طاهری، ۱۳۹۴) است که حکایت از آمادگی تقویت مشارکت علمی آنها با یکدیگر در داخل و خارج از کشور دارد. کوثری، قاضی نوری، ثقفی و عموعابدینی (۱۳۹۵) در پژوهش خود نشان دادند استفاده از روش مورفولوژی در سیاست‌گذاری علم و فناوری به‌ویژه حوزه نانو در محقق‌شدن نتایج مؤثر است. بر این اساس توسعه همکاری بین‌المللی در حوزه‌های علمی نزدیک به یکدیگر مانند فناوری‌های نوین و پزشکی شرایط رقابت و توسعه اجتماعی را فراهم می‌آورد.

1 . Hasman
2 . Schuh, Rudolf & Mattern
3 . Rycroft

www.SID.ir

Archive of SID

در مقایسه نقشه علمی ایران و نقشه جهانی علم به‌منظور تعیین حوزه‌های بین‌رشته‌ای مشخص گردیده است که بیشترین تولیدات علمی ایران در حوزه‌های موضوعی مهندسی برق و الکترونیک و بعدازآن مهندسی شیمی، مکانیک، فیزیک و ریاضیات بوده است (نگهبان و رمضانی‌فر، ۱۳۹۶). ازاین‌میان حوزه‌های مهندسی برق، سوخت و انرژی و مهندسی شیمی در پژوهش‌های بین‌رشته‌ای ایران مرکزیت دارند و حوزه‌های علوم رایانه و بیوشیمی در پژوهش‌های بین‌رشته‌ای به‌عنوان حوزه واسط عمل کرده‌اند. از دیگر نتایج این پژوهش این است که با وجود شتاب تولید علم در ایران، پژوهش‌های میان‌رشته‌ای از وضعیت مطلوبی برخوردار نیستند.

شادی (۱۳۹۸) در مطالعه خود با رویکرد علم‌سنجی و به روش کتابخانه‌ای نشان داد که شتاب رشد مقالات لاتین سه و نیم برابر فارسی بوده که نشانگر تمایل پژوهشگران ایرانی به نگارش مقاله به زبان انگلیسی است. از طرفی ضریب همکاری در مقالات به زبان فارسی ۰/۷ و در مقالات به زبان انگلیسی ۰/۷۵ بوده است که نشان می‌دهد بیشتر پژوهشگران حوزهٔ زیست‌پزشکی ایران تمایل زیادی به تولید مدارک علمی مشارکتی دارند. با توجه به اینکه سهم بودجهٔ پژوهش‌های بین‌المللی در حوزه پزشکی و مهندسی در رده‌های اول قرار دارند و از منظر درون‌رشته‌ای داروسازی و داروشناسی و همچنین مهندسی شیمی سهم بالاتری را به خود اختصاص داده‌اند (نیکان، ۱۳۸۹) حمایت از رشته‌هایی که بیشترین ماهیت میان‌رشتگی را دارند از اولویت‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی علمی کشور می‌تواند باشد.

پیشینه پژوهش در خارج

گلانزل و زایس[1] (۲۰۱۲) جبهه‌های نوظهور در چهار موضوع بهداشت عمومی، محیط‌زیست و بهداشت شغلی، مهندسی پزشکی، جغرافیا، زنان و زایمان را بررسی کردند. در روش پیشنهادی از خوشه‌بندی مستقل رشته‌ها در پنجره‌های زمانی مختلف استفاده کرند. استنادهای متقابل بین اسناد اصلی و خوشه‌ها در دوره‌های مختلف برای شناسایی خوشه‌ها یا خوشه‌های جدید در حال رشد و یا خوشه‌ها با تغییر موضوعات استفاده گردید. یافته‌های آنها نشان داد رابط مغز و رایانه پربسامدترین موضوع و زمینه نوظهور در حوزه مهندسی پزشکی در دو دوره زمانی ۲۰۰۳-۱۹۹۹ و ۲۰۰۸-۲۰۰۴ بوده است.

ویژگی میان‌رشتگی بعضی از حوزه‌های علمی بستر لازم را برای هم‌گرایی بین آنها و فعالیت‌های مشترک فراهم می‌آورد. فناوری نانو با بهره‌گیری از ماهیت ارتباطات بین‌رشته‌ای و نقشه‌های پوششی آن نشان می‌دهد که پژوهش های نانو شامل رشته‌های چندگانه بوده و شدیداً در حال انسجام و یکپارچگی است (پورتر و یوتی[2]، ۲۰۰۹). در این پژوهش ترسیم و نگاشت پژوهش‌های نانو که مرتبط با مهندسی پزشکی است، یک هسته غالب در علم مواد را نشان می‌دهد. انتشارات نانویی تقریباً هر ۵ سال یک‌بار دو برابر شده است و با استفاده از رویکرد نقشه علم مشخص شده که نانو به‌طور معناداری شامل بسیاری از رشته‌های دیگر می‌شود و ارتباط آن با مهندسی پزشکی، علوم رایانه و ریاضی، علوم محیطی و مهندسی بیش از سایر رشته‌ها بوده است.

لاسکووسکی[3] (۲۰۱۱) بیان می‌دارد که تحولات فنّاورانه سریع در قرون اخیر زمینهٔ مهندسی پزشکی را به یک حوزه کاملاً جدید تبدیل کرده است. دستاوردهای علم مواد، تصویربرداری، الکترونیک و اخیراً عصر اطلاعات، درک

1 . Glänzel & Thijs
2 . Porter & Youtie
3 . Laskovski

www.SID.ir

Archive of SID

ما از بدن انسان را بهبود داده است. درنتیجه، حوزه مهندسی پزشکی با نوآوری‌های جدید که هدف آن بهبود کیفیت و هزینه‌های مراقبت‌های پزشکی است رونق پیداکرده است. گرایش‌های اخیر مهندسی پزشکی در حال حاضر، تمرکز ویژه بر حوزه‌های الکترونیکی و ارتباطات و به‌طور خاص بر نظارت بی‌سیم، حس‌گرها، تصویربرداری پزشکی و مدیریت اطلاعات پزشکی دارد.

ونجائو، ژائولین و یانگ[1] (۲۰۱۲) نقاط مهم پژوهشی و ساختار موضوعی حوزه مهندسی پزشکی بر اساس نشریات را با تجزیه و تحلیل واژه‌های مستخرج از ۱۱۵۴۷ مقاله به زبان چینی از بین سه مجله بین‌المللی مهندسی پزشکی بررسی نمودند. پنج خوشه اصلی بازیابی‌شده شامل مواد بیولوژیکی، بیومکانیک، تصویربرداری پزشکی، اندازه گیری سیگنال، تشخیص سونوگرافی است. این نتایج به‌خوبی نقاط مهم تحقیقاتی و ایده‌هایی برای شناسایی ساختار موضوعی مهندسی پزشکی و زیرساختارهای آن را ارائه می‌دهند.

چشم‌اندازهای پژوهشی به ایده‌های نوظهور به شناسایی مناطق تحقیقاتی مهندسی پزشکی برای همکاری‌های علمی توجه دارند (گردسری، کاگتون و پنگروسمه[2]، ۲۰۱۷). گردسری و دیگران با استفاده از کلمات کلیدی در نشریات و به کمک مصورسازی، هفت زمینهٔ مورد علاقه محققان این حوزه را که شامل مهندسی بافت، بیولوژی مولکولی، داروسازی و سم‌شناسی، سونوگرافی، بیوسنسورهای الکتروشیمیایی و تصویربرداری پزشکی است، مشخص نمودند. آنها نتیجه گرفتند که سیاست‌گذاران علم و فناوری می‌توانند از این دستاوردها برای آغاز و گسترش همکاری‌ها در مهندسی پزشکی استفاده کنند.

رویکردهای علم‌سنجی به شناسایی جبهه‌های تحقیق در حوزه‌های موضوعی مختلف کمک می‌نمایند. ریپانویسی و لندوی[3] در سال ۲۰۱۸ تأثیر علمی اطلاعات پزشکی و بهداشتی را با استفاده از شاخص‌های علم‌سنجی مانند تعداد مقاله‌ها، استنادها و همکاری‌های بین‌المللی اندازه‌گیری کردند و هدف خود از انجام پژوهش را تحلیل محتوای وب‌علم کلاریویت آنالیتیکس[4] به‌وسیله زمینه‌های بین‌رشته‌ای اطلاعات پزشکی تحت عناوین علم اطلاعات، اخلاق، آموزش و مهندسی پزشکی بودند، عنوان کردند. یافته‌های این تحقیق روند مطالعات حوزه‌های میان‌رشته‌ای پزشکی به‌ویژه مهندسی پزشکی را مشخص کرد.

کشف مباحث جدید پژوهشی یا زیررشته‌ها، مورد علاقه متخصصان علم‌سنجی است. چنین بررسی‌هایی، جبهه‌های نوظهور در پژوهش و همکاری و ارتباط حوزه‌های موضوعی را مشخص می‌نمایند. موضوع پایان‌نامه‌ها درخصوص علوم اعصاب با رویکرد میان‌رشته‌ای با حضور مهندسی پزشکی بین سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۴ رشد نسبتاً خوبی داشته‌اند (شو و غفارزادگان[5]، ۲۰۱۸). این پژوهش نشان داده است احتمال وقوع هم‌زمان علوم اعصاب و مهندسی پزشکی هر سال با ۰/۰۷ درصد افزایش می‌یابد که خود تأییدی بر ماهیت میان‌رشته‌ای مهندسی پزشکی است.

پژوهش زارابیتا، آلوارز، ریوبلور[6] (۲۰۱۹) درخصوص فناوری‌های ساخت افزودنی[7] به‌منظور کاربردهای مهندسی پزشکی از روش کمّی شاخص کتاب‌سنجی و شاخص وب به‌طور خاص به‌منظور تجزیه و تحلیل اطلاعاتِ ساختار

1 . Wenjiao, Zhaolian & Yang
2 . Gerdsri, Kongthon & Puengrusme
3 . Repanovici & Landoy
4 . Web of Science (WoS), Clarivate Analytics
5 . Xu & Ghaffarzadegan
6 . Zarrabeitia-Bilbao, Álvarez-Meaza & Río-Belver
7 . Additive manufacturing technologies

www.SID.ir

Archive of SID

دانش و زمینه‌های پژوهش استفاده کردند و به این نتیجه دست‌یافته‌اند که آمریکا و چین در مقایسه با دیگر کشورها نسبت به تولید مواد افزودنی و داروهای پزشکی، برتری دارند که این موقعیت به دلیل وسعت فناوری در این کشورهاست. یافته‌های این پژوهش نشان داد با استفاده از شاخص‌های کتاب‌سنجی، مشخص می‌شود دانش فناوری ساخت افزودنی و کاربردهای مهندسی پزشکی از کجا نشئت می‌گیرند و چه کسانی در این خصوص پژوهش می‌کنند.

ماهیت میان‌رشته‌ای و نقاط مهم رباتیک در جراحی از طریق تحلیل شبکه اجتماعی و مطالعه کتابشناسی مورد بررسی شن، وانگ، دای و ژانگ[1] (۲۰۱۹) قرار گرفت و نتایج نشان داد که ایالات متحده نقش برجسته‌ای در تولید نشریات مربوط به این حوزه برعهده دارد و کشورهای ایتالیا و آلمان در جایگاه بعدی قرار دارند. مطابق سرشت میان رشتگی، مهندسی پزشکی علاوه‌بر ارتباط مستقیم با حوزه‌های موضوعی مشخص با زیرمجموعهٔ این حوزه‌ها نیز به‌طور واسطه‌ای مرتبط است. حوزه‌های جراحی، مهندسی، رادیولوژی، پزشکی هسته‌ای و تصویربرداری پزشکی و درنهایت علوم اعصاب و نورولوژی رشته‌های اصلی در زمینه جراحی روباتیک[2] هستند که همگی همکاری گسترده‌ای با سایر رشته‌های علمی دارند.

تجزیه و تحلیل کمّی و مقایسه بهره‌وری علمی در حوزه مهندسی در بین کشورهای بریکس (برزیل، روسیه، هند، چین، آفریقای جنوبی) بر اساس پارامترهای مختلفی چون تعداد مقالات، مقالات قابل استناد، سهم و رتبه جهانی، شاخص اچ و همکاری بین‌المللی نشان داد که الگوی همکاری‌های بین‌المللی در بین کشورهای بریکس دارای یک روند نوسانی بوده است (الانگو[3]، ۲۰۱۹). در بین کشورهای برتر، چین از نظر تعداد مقالات در زمینه تحقیقات مهندسی در رده اول جهان قرار دارد، درحالی‌که هند در رده هشتم، روسیه در رتبه دوازدهم و برزیل در رتبه هیجده قرار داشت. همچنین نتایج الانگو بیانگر آن بوده است که هر کشور بر یک زیرشاخه مهندسی به‌خصوص تمرکز دارد. به‌عنوان مثال برزیل در مهندسی مکانیک اتومبیل و مهندسی صنایع، روسیه در مکانیک محاسباتی و مهندسی هوافضا، هند در مهندسی صنایع و مهندسی کنترل و چین در رشته‌های مرتبط با مهندسی مکانیک.

جمع‌بندی از مرور پیشینه

بر اساس مطالعات صورت‌گرفته مهندسی پزشکی جزء علوم میان‌رشته‌ای محسوب می‌شود و به‌عنوان یک علم ماهیت مستقلی ندارد. ازاین‌رو، ترسیم نقشه علمی و شناسایی ترکیب حوزه علمی این حوزه با دیگر حوزه‌های علمی، بررسی تعاملات با سایر حوزه‌ها، شناسایی حوزه‌های پرکاربرد و تأثیرگذار، تعیین ساختار فکری آن به‌منظور آگاهی از وضعیت کنونی و پیش‌بینی وضع آینده و نیز ارزیابی و مدیریت پژوهش این حوزه ضرورت دارد. مرور پیشینه‌ها نشان می‌دهد که روابط میان‌رشته‌ای از گذشته تاکنون در حوزه‌های مختلف علمی و از زاویه‌های متفاوت و به روش‌های مختلف توسط پژوهشگران مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. برخی از پژوهش‌ها به بررسی میزان میان‌رشته‌ای بودن حوزه‌های علمی مختلف مانند فناوری نانو، سایبرنتیک، فیزیک هسته‌ای و غیره، با استفاده از روش‌های مختلف علم‌سنجی پرداخته‌اند، در این پژوهش‌ها پژوهشگران به رشته مهندسی پزشکی به‌عنوان یکی از حوزه‌های درگیر با دیگر رشته‌های علمی اشاره‌کرده‌اند. بحث همکاری‌های علمی مهندسی پزشکی و میان‌رشته‌ای‌بودن این حوزه مورد توجه پژوهشگران کشور نیز بوده است.

1 . Shen, Wang, Dai & Zhang
2 . Robotics in surgery (RS)
3 . Elango

www.SID.ir

Archive of SID

پژوهش حاضر با استفاده از وب علم ویژگی میان‌رشتگی مهندسی پزشکی را در دو دهه مورد بررسی قرار داده است. در این مطالعه روند تولیدگرایی علمی این حوزه و میزان هم‌نویسندگی مورد توجه است. نکته حائز اهمیت مطالعه حاضر تعیین شدت میان‌رشته‌ای مهندسی پزشکی با دیگر حوزه‌های موضوعی است که در پژوهش‌های پیشین به آن پرداخته نشده است.

روش‌شناسی پژوهش

روش پژوهش حاضر با روش پیمایشی انجام شده و به لحاظ رویکرد، از نوع کمّی، تحلیلی و علم‌سنجی است. از نظر شیوه گردآوری داده‌ها در دستهٔ تحقیقات توصیفی قرار می‌گیرد. جامعه آماری پژوهش حاضر شامل ۹۱۰۰ مقاله حوزه مهندسی پزشکی نمایه‌شده در پایگاه وب علم (WoS) در بازه زمانی ۱۹۹۷تا ۲۰۱۷ است که با استفاده از نمونه‌گیری طبقه‌بندی‌شده و معادله زیر حجم نمونهٔ هر طبقه تعیین گردید:

$$n_i = \frac{n * N_i}{N}$$

N = تعداد اعضا جمعیت تحت مطالعه

i = تعداد طبقات

N_i = تعداد مشاهدات در هر طبقه

n = کل تعداد نمونه

n_i = حجم هر طبقه (سرمد، بازرگان و حجازی، ۱۳۸۱).

اندازه حجم نمونه بر اساس سطح اطمینان ۹۵ درصد و فاصله اطمینان ۳، برابر با ۹۵۵ به دست آمد و سپس با استفاده از روش منظم در جدول اعداد تصادفی برای تعیین عدد ثابتِ فاصله اقدام شد. ازآنجاکه افراد جامعه متجانس بودند، به هر یک از آنها از عدد ۱ تا ۹۱۰۰ کُد داده شد. سپس افراد نمونه با نظمی خاص انتخاب شدند و فاصله عددی دو نمونه به‌طور ثابت مشخص گردید. برای تعیین کد اولین نمونه و تعیین موقعیت آن در سلسله اعداد و نیز موقعیت سایر اعضای نمونه با افزودن عدد ثابتِ فاصله اقدام گردید. برای تعیین عدد ثابت فاصله، از رابطه $K = N / n$ استفاده شد.

K = عدد ثابت فاصله بین دو نمونه

N = حجم یا تعداد افراد جامعه

n = حجم یا تعداد افراد نمونه

$K = N / n$

$K = ۹۱۰۰/۹۵۵ = ۹/۵ \approx ۱۰$

انتخاب این بازه زمانی، بدین دلیل است که به نظر می‌رسد استفاده از این بازه زمانی بتواند به‌خوبی ساختار فکری دانش در حوزه مهندسی پزشکی را در طول دو دهه اخیر نشان دهد. روش گردآوری داده‌ها با استفاده از برچسب جستجوی TS=(engineering, biomedical) در وب‌گاه علم صورت گرفته است که بعد از دستیابی به تمامی رکوردهای بازیابی‌شده با محدوده زمانی مورد نظر، داده‌ها به‌صورت Full Record and Cited References و با قالب tab delimited (win, UTF 8) ذخیره شدند. به علت بررسی روابط میان‌رشته‌ای که در سطح نویسندگان صورت گرفت، مقالات یک نویسنده حذف شدند و سپس نویسندگان بر اساس وابستگی سازمانی آنها مورد بررسی

www.SID.ir

Archive of SID

قرار گرفتند. به‌منظور جداکردن حوزه فعالیت و رشته پژوهشی نویسندگان مقالات از وابستگی سازمانی آنها استفاده شد و بررسی وابستگی سازمانی نویسندگان به روش دستی به‌منظور محاسبه میزان درجه میان‌رشته‌ای بر مبنای نویسندگان مقالات مورد مطالعه بررسی شد. در برخی موارد که ابهام در مورد رشته و فعالیت پژوهشی آنها وجود داشت از طریق جستجو در گوگل و بررسی وب‌گاه شخصی و نیز صفحه ریسرچ‌گیت[1] نویسندگان به زمینهٔ موضوعی و حوزه فعالیت آنها دسترسی ایجاد شد. زمینهٔ پژوهشی و فعالیت نویسندگان مقالات بر اساس ۲۲ حوزه موضوعی موجود در وب علم از یکدیگر جدا گردید و چون پژوهش درخصوص حوزه مهندسی پزشکی بود این حوزه از حوزه فنی‌ـمهندسی جدا شد. گردآوری داده‌های این پژوهش در ۴ مرحله کلی صورت گرفته است: مرحله نخست: جستجو در وب علم بر اساس حوزه مهندسی پزشکی و محدودکردن آن به مقالات و سال‌های مورد بررسی از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۷؛ مرحله دوم: انتقال اطلاعات مقالات به فایل اکسل؛ مرحله سوم: بررسی وابستگی سازمانی نویسندگان مقالات به روش دستی به‌منظور محاسبه درجه میان‌رشته‌ای مقالات بر مبنای شاخص وابستگی سازمانی آنها و به‌منظور پاسخ گویی و تحلیل و بررسی سؤالات از نرم‌افزار excel و نرم‌افزار آماری spss و جهت ترسیم و تحلیل نقشه موضوعی از نرم‌افزار مصورسازی VOSviewer و به‌منظور ترسیم ماتریس‌های هم‌رخدادی از نرم‌افزار Ravar PreMap استفاده شد.

یافته‌های پژوهش

پاسخ به سؤال اول پژوهش. رشد فعالیت‌های پژوهشی مهندسی پزشکی طی دو دهه با چه روندی همراه بوده است؟

نمودار ۱ نشان می‌دهد روند رشد فعالیت‌های پژوهشی حوزه مهندسی پزشکی در دوران ۲۱ سال سیر صعودی داشته است و از سال مبدأ تا ۲۰۱۷ رشد بیش از ۳۲ برابر را تجربه کرده است. تولیدات علمی در حوزه مهندسی پزشکی از سال ۱۹۹۷(۴۰ مدرک) تا سال ۲۰۰۶ (۱۸۵ مدرک)، آهنگ رشد نسبتاً کم و نامحسوسی داشته است. از سال ۲۰۰۷ به بعد آهنگ رشد شدت یافته است و تا سال ۲۰۱۳ (۹۱۵ مدرک) رشد چشمگیر و مداومی در تولید مقالات علمی مشاهده می‌شود و سپس در سال ۲۰۱۴ ناگهان رشد آن افول کرده است و تا سال ۲۰۱۷ با تولید ۱۲۲۹ مدرک به دوران بالندگی خود رسیده است که این رشد تولید علم نشان‌دهنده میزان همکاری بیشتر نویسندگان این حوزه با یکدیگر در سال‌های مورد بررسی می‌باشد. به‌طورکلی میزان رشد مرکب سالانه تولید مقاله در مهندسی پزشکی طی ۲۱ سال برابر ۱۷.۷۲ درصد می‌باشد. اگرچه مقالات منتشرشده بعد از سال ۱۹۹۷ بررسی شده‌اند، اما بیشترین فعالیت در سال‌های اخیر بود. نمودار نشان می‌دهد که رشد انتشار مقاله نمایی است (ضریب تعیین $R^2 = ۸۸۹۵.۰$ است) و میزان رشد فوری آن ۱۳۶.۰ بود.

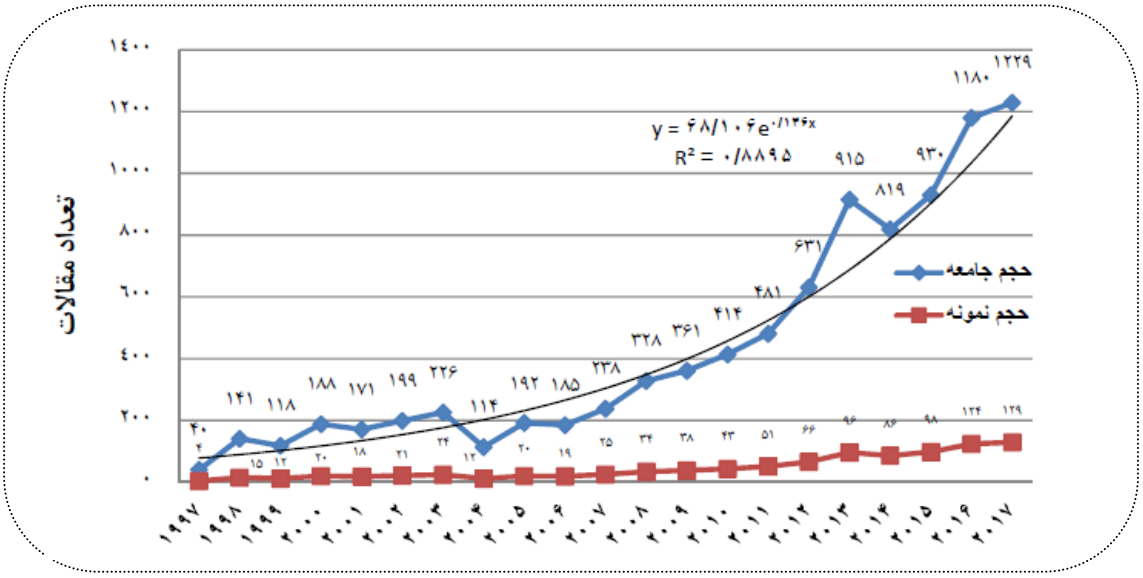
پاسخ به سؤال دوم پژوهش: ضریب مشارکت هم‌نویسندگی چگونه است؟

ضریب مشارکت هم‌نویسندگی[2] اندازه‌گیری مشارکت در پژوهش به‌عنوان نویسنده همکار است که منعکس‌کننده میانگین تعداد نویسندگان در هر مقاله می‌باشد (تیلاکر و پونودواری[3]، ۲۰۱۳). برای بررسی این مشارکت ابتدا فراوانی

1 . ResearchGate
2 . Collaboration Coefficient (CC)
3 . Thilakar & Ponnudurai

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار ۱. روند رشد فعالیت‌های پژوهشی حوزه مهندسی پزشکی طی دو دهه

نویسندگان هر مدرک با استفاده از برنامه اکسل مشخص شد. به دنبال آن تعداد مدارک دونویسنده‌ای، سه‌نویسنده‌ای و چهارنویسنده‌ای و غیره مشخص شدند و در پنج گروه مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به اینکه روابط میان‌رشته‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد از ابتدا مقالات تک‌نویسنده‌ای حذف شدند. سپس به‌منظور محاسبه ضریب مشارکت نویسندگان حوزه مهندسی پزشکی طی سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۷ از معادله زیر استفاده شده است:

$$cc = 1 - \left[\sum_{j=1}^{K} \left(\frac{1}{J} \right) * \left(\frac{F_J}{N} \right) \right]$$

که در آن

F_J = تعداد مدارک تألیفی دارای J نویسنده

J = تعداد نویسندگان مشارکت‌کننده در تولید یک مدرک

N = تعداد کل مدارک تولیدشده در سال X

K = بالاترین تعداد نویسندگان مشارکت‌کننده در تولید یک مدرک در سال X

بر اساس تعریف (آجی‌فروکی، بارل و تگ[1]، ۱۳۸۶) ضریب مشارکت گروهی نویسندگان همواره عددی بین صفر و یک می‌باشد. این عدد هر چه از ۵.۰ بیشتر باشد، حاکی از آن است که مشارکت گروهی بین نویسندگان در سطح مطلوبی قرار دارد و اگر به عدد صفر نزدیک‌تر شود، نشان‌دهنده ضعیف‌بودن میزان همکاری است. با مقایسه داده‌های جدول ۱ مشاهده می‌شود که ابتدا تمایل به همکاری گروهی پنج تا نه‌نویسنده‌ای (۰۹.۰) و سپس دونویسنده‌ای (۰۶.۰) بیشتر از بقیه گروه‌های مورد مطالعه بوده است. طبق جدول ۱ میانگین ضریب همکاری گروهی نویسندگان در تألیف مقالات حوزه مهندسی پزشکی طی سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۷، ۷۷.۰ است که حاکی از آن است که میزان همکاری گروهی بین نویسندگان این حوزه در سطح مطلوبی قرار دارد و نویسندگان حوزه مورد بررسی، گرایش زیادی به تولید آثار مشترک دارند.

1 . Ajiferuke, Burell & tague

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. توزیع ضریب مشارکت نویسندگان حوزه مهندسی پزشکی طی سال‌های ۲۰۱۷-۱۹۹۷

سال	دو نویسنده‌ای	CC	سه نویسنده‌ای	CC	چهار نویسنده‌ای	CC	پنج‌تا نه‌نویسنده‌ای	CC	۱۰ نویسنده به بالا	CC	مجموع	CC
جمع سال‌های مورد بررسی	۱۲۳	۰/۰۶	۱۶۶	۰/۰۵	۱۶۳	۰/۰۴	۴۳۸	۰/۰۹	۶۵	۰/۰۰۶	۹۵۵	۰/۷۵
میانگین ضریب مشارکت ۰/۷۷												

به‌منظور بررسی تفاوت معناداری بین پنج گروه مورد مطالعه از لحاظ میانگین ضریب هم‌نویسندگی نرمال‌بودن داده‌ها با استفاده از آزمون آماری کولموگورف-اسمیرنوف (KS) تأیید شد (P< ۰/۰۵)؛ بنابراین، از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه استفاده گردید. در جدول ۲ مشاهده می‌شود اختلاف معناداری بین گروه‌های مورد مطالعه (پنج گروه هم‌نویسندگی) وجود دارد (P≤ ۰/۰۵).

جدول ۲. بررسی تفاوت معناداری بین گروه‌های مورد مطالعه با توجه به ضریب هم‌نویسندگی

شاخص‌های آماری	منبع تغییرات	مجموع مجذورات	df	میانگین مجذورات	F	سطح معناداری
بررسی تفاوت معناداری	برون‌گروهی	۰۴۹.۰	۴	۰۱۲.۰	۲۰۶.۱۷	۰۰۱.۰
	درون‌گروهی	۰۶۳.۰	۸۹	۰۰۱.۰		
	کل	۱۱۲.۰	۹۳			

به‌منظور تعیین الگوی تفاوت از آزمون تعقیبی توکی استفاده شد. در جدول ۳ گروه‌های مورد مطالعه با توجه به ضریب هم‌نویسندگی حوزه مهندسی پزشکی به‌صورت دوبه‌دو بررسی شده‌اند. مشاهده می‌شود بین گروه‌های سه نویسنده‌ای، پنج تا نه‌نویسنده‌ای، دونویسنده‌ای تفاوت معناداری به‌صورت دوبه‌دو وجود ندارد و نیز بین گروه‌های چهارنویسنده‌ای و سه‌نویسنده‌ای نیز تفاوت معناداری وجود ندارد. ولی بین گروه ۱۰ نویسنده به بالا با دیگر گروه‌ها از لحاظ ضریب مشارکت نویسندگان حوزه مهندسی پزشکی تفاوت معناداری وجود دارد و نیز بین گروه‌های چهارنویسنده‌ای با گروه‌های پنج تا نه‌نویسنده‌ای و دونویسنده‌ای به‌صورت دوبه‌دو تفاوت معناداری وجود دارد. درواقع نویسندگان این حوزه بیشتر تمایل به هم‌نویسندگی بین دو تا نه‌نویسنده‌ای دارند.

جدول ۳. آزمون تعقیبی توکی جهت مقایسه بین گروه‌های مورد مطالعه

گروه	تعداد	زیرمجموعه‌ها در سطح معنی‌داری ۰۵.۰		
		۱	۲	۳
۱۰ نویسنده به بالا	۱۲	۰۱۰.۰		
چهارنویسنده‌ای	۲۱		۰۴۳.۰	
سه‌نویسنده‌ای	۲۰		۰۶۳.۰	۰۶۳.۰
پنج‌تا نه‌نویسنده‌ای	۲۱			۰۷۵.۰
دونویسنده‌ای	۲۰			۰۸۱.۰
سطح معناداری		۰۰.۱	۱۸۴.۰	۲۹۰.۰

www.SID.ir

Archive of SID

پاسخ به سؤال سوم پژوهش: شدت ارتباط میان‌رشته‌ای حوزه مهندسی پزشکی با دیگر حوزه‌های علمی چه میزان است؟

اقتصاددانان از شاخص مزیت نسبی آشکار[1] معمولاً برای تحلیل درجه تخصصی یک کشور در تولید یک محصول در مقایسه با دیگر کشورها و یا تمام جهان استفاده می‌کنند. بر این اساس در حوزه علم‌سنجی به‌عنوان درجه تخصصی یک کشور در یک حوزه پژوهشی استفاده می‌شود. در اینجا به‌منظور اندازه‌گیری میزان درجه میان‌رشته‌ای حوزه مهندسی پزشکی و با اقتباس از تعریف مفهومی درجه میان‌رشته‌ای، رشته مهندسی پزشکی با حوزه‌های موضوعی رشته‌های مختلف جهت تحلیل درجه میان‌رشته‌ای آنها استفاده شده است و مشخص می‌کند در بازه زمانی مورد بررسی از میان ۲۲ حوزه موضوعی وب علم کدام حوزه‌های موضوعی درجه میان‌رشته‌ای بیشتری با مهندسی پزشکی دارند. برای این منظور از معادله زیر استفاده شد:

$$ID = \frac{\frac{X - x}{X}}{\frac{X - x_i}{x_i}}$$

ID^2 = درجه میان‌رشته‌ای

X = تعداد کل نویسندگان مقالات در ۲۲ حوزه موضوعی

x = تعداد نویسندگان حوزه مهندسی پزشکی

x_i = تعداد نویسندگان حوزه‌های موضوعی مورد بررسی (i شامل ۲۲ حوزه مورد بررسی است) (تادشینی و باچینی[2]، ۲۰۱۶).

بر اساس این فرمول اگر تعاملات بین‌رشته‌ای فعال نباشند درجه میان‌رشته‌ای برابر صفر خواهد بود. چنانچه مقدار به‌دست‌آمده مساوی یک باشد، یک درجه نسبی از میان‌رشته‌ای وجود دارد و مقدار بالاتر از یک نشان می‌دهد که درجه میان‌رشته‌ای قوی است. آمار به‌دست‌آمده از جدول ۴ نشان می‌دهد که به‌طور کلی حوزه مهندسی با درجه ۱.۰ بیشترین تعامل میان‌رشته‌ای را با حوزه مهندسی پزشکی داشته است. بعدازآن به‌ترتیب حوزه شیمی با درجه میان‌رشته‌ای ۰۹.۰ بیشترین تعامل را بعد از حوزه مهندسی به خود اختصاص داده است. حوزه‌های علم مواد و بیولوژی و بیوشیمی درجه میان‌رشته‌ای برابر یعنی ۰۴.۰ در ردیف سوم و چهارم از جدول ۴ قرار دارند که نشان‌دهنده ارتباط قوی‌تر این رشته‌ها با حوزه مهندسی پزشکی می‌باشد. حوزه‌های علوم کامپیوتر و فیزیک با درجه میان‌رشته‌ای ۰۳.۰ ارتباط نسبتاً نزدیکی با رشته مهندسی پزشکی داشته‌اند. حوزه‌های طب بالینی و داروسازی و سم‌شناسی (۰۲.۰) ریاضیات و بیولوژی مولکولی (۰۱.۰)، حوزه عصب‌شناسی (۰۰۶.۰) و دو حوزه ایمونولوژی و میکروبیولوژی (۰۵.۰) ارتباط میان‌رشته‌ای دورتری با رشته مهندسی پزشکی برقرار کرده‌اند. بعدازآن به‌ترتیب چندرشته‌ای (۰.۰۰۳)، روانشناسی و روان‌پزشکی (۰۰۲.۰)، علوم فضایی (۰۰۲.۰)، علوم کشاورزی (۰۰۱.۰)، علوم گیاهی و حیوانی (۰۰۱.۰)، علوم اجتماعی-کلی (۰۰۰۹.۰)، اکولوژی و محیط (۰۰۰۹.۰) و علوم زمین و جغرافیا (۰.۰۰۰۸) ارتباطات دورتری با مهندسی پزشکی برقرار کرده‌اند. اما حوزه اقتصاد و تجارت ارتباطی را با مهندسی پزشکی نشان نداده است.

1 . Revealed comparative advantage index (RCA)
2 . Todeschini & Baccini

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. درجه میان‌رشته‌ای مهندسی پزشکی با ۲۲ حوزه موضوعی پایگاه وب علم

ردیف	رشته‌ها	تعداد نویسندگان	میزان درجه میان‌رشته‌ای
۱	مهندسی	۹۳۲	۱.۰
۲	شیمی	۵۹۲	۰۹.۰
۳	علم مواد	۳۲۶	۰۴.۰
۴	بیولوژی و بیوشیمی	۳۲۳	۰۴.۰
۵	علوم کامپیوتر	۲۴۰	۰۳.۰
۶	فیزیک	۲۳۸	۰۳.۰
۷	طب بالینی	۲۰۱	۰۲.۰
۸	داروسازی و سم‌شناسی	۱۵۲	۰۲.۰
۹	ریاضیات	۱۲۱	۰۱.۰
۱۰	بیولوژی مولکولی	۹۹	۰۱.۰
۱۱	عصب‌شناسی	۴۶	۰.۰۰۶
۱۲	ایمونولوژی	۴۱	۰۰۵.۰
۱۳	میکروبیولوژی	۳۵	۰۰۵.۰
۱۴	چند رشته‌ای	۲۷	۰۰۳.۰
۱۵	روانشناسی و روان‌پزشکی	۱۹	۰۰۲.۰
۱۶	علوم فضایی	۱۶	۰۰۲.۰
۱۷	علوم کشاورزی	۱۲	۰۰۱.۰
۱۸	علوم گیاهی و حیوانی	۱۰	۰۰۱.۰
۱۹	علوم اجتماعی-کلی	۸	۰۰۰۹.۰
۲۰	اکولوژی/ محیط	۷	۰۰۰۹.۰
۲۱	علوم زمین/ جغرافیا	۶	۰۰۰۸.۰
۲۲	اقتصاد و تجارت	۰	۰

پاسخ به سؤال چهارم پژوهش: پیوند بین مهندسی پزشکی با دیگر حوزه‌های پژوهشی بر اساس ترسیم نقشه علمی چگونه است؟

به‌منظور پاسخ‌گویی به این سؤال نیاز به ساخت ماتریس هم‌رخدادی از سرعنوان موضوعی (حوزه‌های پژوهشی) این حوزه بود که از نرم‌افزار Ravar PreMap کمک گرفته شد. ماتریس هم‌رخدادی، مربعی است که نشان می‌دهد هر سرعنوان موضوعی با سایر سرعنوان‌های موضوعی در چند مقاله به‌صورت مشترک آمده‌اند. تعداد سطرها و ستون‌های آن برابر با تعداد هر سرعنوان موضوعی است و هر درایه آن، تعداد دفعاتی را که دو سرعنوان موضوعی با هم در یک مدرک ظاهر شده‌اند را نشان می‌دهد (مکی‌زاده، حاضری، رزمجو و سهیلی، ۱۳۹۶). یافته‌های این پژوهش نشان داد که مقالات حوزه مهندسی پزشکی در ۱۱۷ سرعنوان موضوعی بیان شده‌اند و ماتریسی شامل تمامی سرعنوان‌های موضوعی با ابعاد ۱۱۷ در ۱۱۷ که شامل ۱۳۶۸۹ درایه می‌شود ایجاد گردید. برای مصورسازی

www.SID.ir

Archive of SID

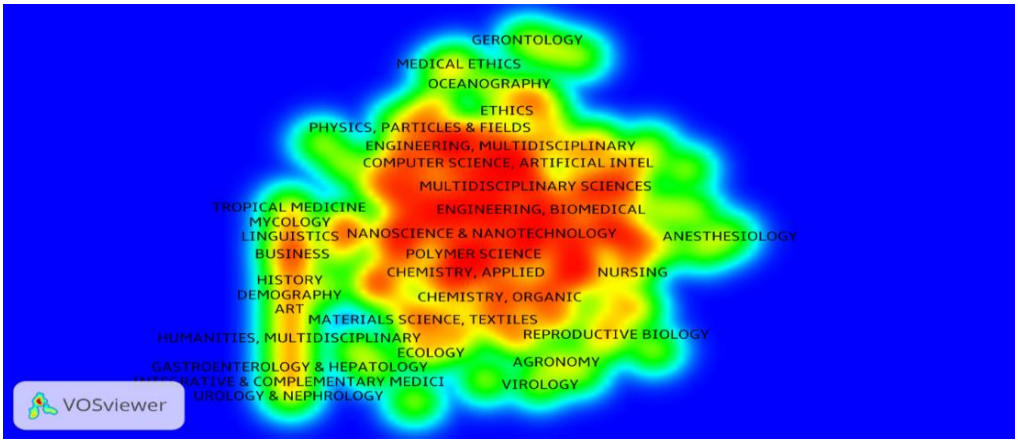
ماتریس‌های ساخته‌شده، از نرم‌افزارVOSviower کمک گرفته شد. با تجزیه و تحلیل مفاهیم موجود ۵ خوشه موضوعی از ۱۱۷ حوزه پژوهشی این حوزه در شبکه مورد شناسایی قرار گرفت. همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، پنج حوزه پژوهشی برتر و تأثیرگذار در مهندسی پزشکی با پنج اصطلاح نخستین آن مورد بررسی قرارگرفته است. که اولین اصطلاح، تأثیرگذارترین و مهم‌ترین حوزه پژوهشی در آن خوشه محسوب می‌شود. در این خوشه مهندسی پزشکی با ۲۴۰ فراوانی پربسامدترین حوزه به شمار می‌رود و حوزه‌های دیگری که با این رشته ارتباط قوی برقرار کرده‌اند حوزه‌های علم موادـزیست مواد (۱۴۶ فراوانی)، رادیولوژی، پزشکی هسته‌ای و تصویربرداری پزشکی (۵۴)، سیستم‌های قلبی و عروقی (۲۹) و داروسازی و سم‌شناسی (۱۳) را دربرمی‌گیرند. خوشه دوم که با رنگ سبز متمایز شده است شامل علم موادـچندرشته‌ای (۱۲۱)، علم نانو و فناوری نانو (۱۰۰)، شیمی- چندرشته‌ای (۹۷)، شیمی- ارگانیک (۲۹ فراوانی) و اپتیک (۲۴ فراوانی) می‌شود. خوشه سوم که با رنگ آبی مشخص شده است علم پلیمر شامل ۱۰۳ فراوانی است و حوزه‌های مرتبط با این خوشه، بیوشیمی و بیولوژی مولکولی (۴۶)، شیمی کاربردی (۲۲ فراوانی)، علم مواد-سرامیک‌ها (۱۵)، علم موادـنساجی (۳) پرتکرارترین و مهم‌ترین مفاهیم و حوزه‌های پژوهشی مرتبط در این خوشه می‌باشند. چهارمین خوشه با رنگ زرد است که مهم‌ترین حوزه پژوهشی این خوشه، مهندسی برق و الکترونیک (۶۳ فراوانی)، فیزیک کاربردی (۶۱ فراوانی)، مهندسیـ چندرشته‌ای (۱۴)، علم کامپیوترـ هوش مصنوعی (۶ فراوانی) و مهندسی مکانیک با ۳ فراوانی از دیگر مفاهیم مهم این حوزه می‌باشند. خوشه پنجم که با رنگ بنفش مشخص شده است، دربرگیرنده مهندسی بافت و سلولی (۲۸)، مهندسی شیمی (۲۷)، علوم کامپیوترـ کاربردهای میان‌رشته‌ای (۱۳)، ریاضیات و بیولوژی محاسباتی (۹ فراوانی)، حوزه‌های علوم کامپیوترـسیستم‌های اطلاعاتی (۷ فراوانی) از مهم‌ترین مفاهیم این خوشه هستند. تصویر ۱ نمای تراکم خوشه‌ای از این حوزه را ارائه می‌دهد.

جدول ۵. مهم‌ترین حوزه‌های پژوهشی پرتکرار مرتبط با مهندسی پزشکی در پنج خوشه اصلی

Cluster 1 (red)	Cluster 2 (green)	Cluster 3 (blue)	Cluster 4 (yellow)	Cluster 5 (violet)
Engineering, biomedical (240)	Material science, multidisciplinary (121)	Polymer science (103)	Engineering, electrical & electronics (63)	Cell & tissue engineering (28)
Material science, biomaterials (146)	Nanoscience and nanotechnology (100)	Biochemistry & molecular biology (46)	Physics, applied (61)	Engineering, chemical (27)
Radiology, Nuclear Medicine & Medical Imaging (54)	Chemistry, multidisciplinary (97)	Chemistry, applied (22)	Engineering, multidisciplinary (14)	Computer science, interdisciplinary applications (13)
Cardiac & cardiovascular systems (29)	Chemistry, organic (29)	Materials science, ceramics (15)	Computer science, artificial intelligence (6)	Mathematical & computational biology (9)
Pharmacology & Pharmacy (13)	Optics (24)	Material science, textiles (3)	Engineering, mechanical (3)	Computer science, information systems (7)

www.SID.ir

Archive of SID



تصویر ۱. حوزه‌های پژوهشی مهندسی پزشکی از نمای تراکم خوشه‌ای

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج بررسی‌ها نشان داد که پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه مهندسی پزشکی، در طول این ۲۱ سال روند رشد نسبتاً زیادی داشته است. با مقایسه داده‌ها می‌توان نتیجه گرفت که اختلاف تولیدات علمی در بعضی از سال‌ها نسبت به سال‌های دیگر می‌تواند متأثر از فناوری‌های این حوزه در راستای اختراع دستگاه‌های درمانی و یا تجهیزات پزشکی جدید برای بیماران و یا روش ابتکاری یا اندازه‌گیری پزشکی باشد و تا زمانی‌که آن دستگاه درمانی جدید ایجاد شود و به بازار ورود پیدا کند و تجاری‌سازی صورت گیرد، آنگاه تحقیقات در این زمینه رشد پیداکرده و در راستای چنین چالشی تعداد مقالات علمی-پژوهشی در آن زمینه خاص و در آن سال به‌خصوص افزایش پیدا می‌کند (باهار، هاسمن و هیدالگو[1]، ۲۰۱۴). از دلایل دیگر افزایش ناگهانی در روند رشد تولیدات علمی حوزه مهندسی پزشکی در یک سال خاص، می‌تواند توسعه سریع فناوری‌ها در موارد خاص مانند ورود یک سری روش تحلیل جدید مانند یادگیری عمیق[2]، ورود دستگاه و تجهیزات درمانی جدید و دستگاه‌های ثبت و اندازه‌گیری پیشرفته باشد. درواقع زمانی‌که یک تئوری مبتکرانه تبدیل به یک جعبه‌ابزار[3] نرم‌افزاری می‌شود و یا مجموعه داده‌های استاندارد مقایسه‌ای معتبر[4] در آن زمینه خاص در دسترس عموم قرار می‌گیرد به‌صورت انفجاری تعداد مقالات و استنادات در آن زمینه تحقیقاتی زیاد می‌شود (دنگ و یو[5]، ۲۰۱۴). در پیوند با فناوری ساخت افزایشی[6] و کاربرد آن در مهندسی پزشکی مشخص گردید بعد از ظهور این فناوری، انتشارات در مهندسی پزشکی افزایش نمایی داشته است (زارابیتا، آلوارز، ریوبلور و همکاران، ۲۰۱۹). بنابراین، رشد نمایی مقالات طی ۲۱ سال مورد بررسی با آهنگی که پیوسته رو به افزایش است، رشد داشته‌اند (نمودار ۱). این آهنگ رشد در سطح بین‌المللی قابل مشاهده است. برای نمونه در بین کشورهای بریکس مهندسی پزشکی بین سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۶ مورد توجه بوده است و در سطح جهانی این حوزه علمی رتبه

1 . Bahar, Hausmann & Hidalgo
2 . Deep learning
3 . Toolbox
4 . Stanadard dataset benchmark
5 . Deng & Yu
6 . Additive Manufacturing Technology

www.SID.ir

Archive of SID

مطلوب در بین زیرشاخه‌های مهندسی کسب نموده است (الانگو، ۲۰۱۹). نتایج نشان می‌دهد که تولیدات علمی مهندسی پزشکی رشد جهانی داشته (شو و غفارزادگان، ۲۰۱۸) و با یافته‌های پژوهش حاضر همسو می‌باشد. از طرفی ضریب مشارکت همکاری گروهی نویسندگان حوزه مهندسی پزشکی طی سال‌های مورد بررسی نشان داد که میانگین ضریب مشارکت پژوهشگران زیاد و ۰/۷۷ است که این نشان از تمایل زیاد محققان این حوزه به همکاری و نگارش گروهی مقالات به‌خصوص مشارکت گروهی با بیش از ۵ نویسنده به بالا بوده است. یافته‌های بوکووسکی، گایسلر، اشمیتس‌روت و فارکاس[1] (۲۰۲۰) نیز نشان داد که مهندسی پزشکی به لحاظ ارتباط با تحقیق و توسعه و فناوری‌های جدید نیازمند همکاری‌های بین‌رشته‌ای برای فائق‌آمدن بر چالش‌هاست. ماهیت میان‌رشته‌ای این حوزه که همواره با رشته‌ها و حوزه‌های دیگر در ارتباط می‌باشد نیاز به همکاری و مشارکت به‌صورت گروهی را افزایش می‌دهد. درواقع این تمایل به همکاری گروهی در حوزه مهندسی پزشکی بدین دلیل است که برای انجام یک پژوهش موفق در این حوزه افرادی با گرایش‌های متفاوت از قبیل پزشک متخصص برای تعریف چالش به‌وجودآمده به دلیل نیاز پزشکی خاص، یک تیم مهندسی پزشکی برای تعیین روش، آنالیز و تشخیص داده‌ها و یک یا چند نفر برای اخذ داده‌های عملی در بیمارستان و یا آزمایشگاه باید با یکدیگر مشارکت داشته باشند تا یک پژوهش ارزشمند به سرانجام برسد (مارتین، رایوال و دیلر[2]، ۲۰۰۷). یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که مقالات منتشرشده در بازه زمانی ۲۱ ساله گرایش به مشارکت در پژوهش و هم‌نویسندگی در دامنه ۲ تا ۹ نویسنده متغیر است که با نتایج پژوهش محمداسماعیل و باقری (۱۳۹۳) در زمینه مهندسی پزشکی و نتایج شادی (۱۳۹۸) در حوزه زیست پزشکی و نگهبان و رمضانی‌فر (۱۳۹۶) همسو می‌باشد. بررسی حوزه‌های موضوعی که در تولید مقالات حوزه مهندسی پزشکی مشارکت داشته‌اند نشان داد به دلیل اینکه مهندسی پزشکی ذاتاً رشته‌ای میان‌رشته‌ای است با حوزه‌ها و رشته‌های گوناگون در ارتباط می‌باشد که شامل مهندسی‌ها (۱.۰)، شیمی (۰۹.۰)، علم مواد (۰۴.۰)، بیولوژی و بیوشیمی (۰۴.۰)، علوم کامپیوتر (۰۳.۰)، فیزیک (۰۳.۰)، طب بالینی (۰۲.۰)، داروسازی و سم‌شناسی (۰۲.۰)، ریاضیات (۰۱.۰)، بیولوژی مولکولی (۰۱.۰) است. در بررسی‌ها نشان داده شده است که علوم اعصاب در حوزه‌های بین‌رشته‌ای مرکزیت را دارد و به‌عنوان یک علم واسط نقش مهمی دارد و همراه با مهندسی پزشکی پل رابط بین علوم زیستی و سلامت است (شو و غفارزادگان، ۲۰۱۸). پیوند حوزه‌های فوق با مهندسی پزشکی در پژوهش حاضر در راستای تأیید این رابطه است. در این رابطه پنج رده برتر که ارتباط میان‌رشته‌ای قوی‌تری با رشته مهندسی پزشکی برقرار کرده‌اند حوزه فنی و مهندسی، به‌ویژه رشته برق و الکترونیک است. دلیل این امر ازآن‌جهت می‌باشد که یک نفر مهندس پزشک با تخصص زیست‌الکتریک و برق و الکترونیک در حوزه‌های پردازش علائم حیاتی، پردازش تصاویر پزشکی و تصویربرداری و کنترل اعضا و اندام مصنوعی فعالیت می‌کند که بخش اعظم این نوع دستگاه‌ها نیاز به متخصص برق و الکترونیک دارد (مژارویچ و لاکوویچ[3]، ۲۰۱۱). بعد از حوزه مهندسی‌ها که بیشترین ارتباط میان‌رشته‌ای را با حوزه مهندسی پزشکی دارند، حوزه شیمی با ۰۹.۰، تعامل میان‌رشته‌ای بالاتری نسبت به رشته‌های دیگر داشته است که این تعامل از طریق شرکت‌های دارویی یا دانشگاه‌ها، دولت‌ها و مؤسسات تأمین مالی که اهمیت پژوهش‌های میان‌رشته‌ای را تشخیص داده‌اند و تلاش‌های بسیاری را برای توسعه چنین تحقیقاتی انجام داده‌اند (لدفورد[4]، ۲۰۱۵) به‌ویژه در زمینه مهندسی

1 . Bukowski, Geisler, Schmitz-Rode & Farkas
2 . Martin, Rivale & Diller
3 . Magjarević & Lacković
4 . Ledford

www.SID.ir

Archive of SID

پزشکی می‌تواند اتفاق بیافتد. بعد از حوزه شیمی بیشترین ارتباط را با حوزه علم مواد و نیز زیست‌شناسی و زیست‌شیمی برقرار کرده است، درواقع مهندس پزشکی با تخصص‌های زیست‌مواد و زیست‌شیمی و زیست‌شناسی اقدام به تهیه مواد گوناگون مصنوعی (از قبیل پلیمرها، سرامیک‌ها، کامپوزیت‌ها و مواد فلزی) و طبیعی، طراحی روش‌های ساخت و قالب‌گیری نهایی ماده و درنهایت اصلاح مواد برای کاربرد اختصاصی در پزشکی می‌کند. هر کجا نیاز به ساخت دستگاه هوشمند و مرتبط با انسان باشد، نیاز به علم کامپیوتر احساس می‌شود و این دلیل ارتباط نزدیک این رشته با حوزه علوم کامپیوتر (۰۳.۰) است. تمامی روش‌های درمانی رادیواکتیو و تصویربرداری‌های پزشکی و دستگاه‌های مادون‌قرمز، عدسی‌ها و عدسی‌ها[1] و دستگاه‌هایی با امواج ماورای صوت تمامی این موارد با فیزیک و بیوفیزیک در این پژوهش درجه میان‌رشته‌ای ۰۳.۰ دارد، در ارتباط هستند (اندرلی و برونزینو، ۲۰۱۲). یافته‌های پژوهش حاضر در راستای نتایج پورتر و یوتی (۲۰۰۹) است. آنها با استفاده از رویکرد نقشه علم به این نتیجه دست یافتند که حوزه نانو (در خوشه دوم نتایج پژوهش حاضر، جدول ۵)، شامل رشته‌های دیگری چون مهندسی پزشکی، علوم رایانه و ریاضی، علوم محیطی و مهندسی می‌شود. از طرفی نتایج پژوهش گردسری، کاگتون و پنگروسمه (۲۰۱۷)، نگهبان و رمضانی‌فر (۱۳۹۶)، لاسکووسکی (۲۰۱۱)، شن، وانگ، دای و دیگران (۲۰۱۹) شاهد این ادعا هستند. در تحلیل حوزه‌های پژوهشی به‌کاررفته برای این حوزه که شامل علم مواد چندرشته‌ای، علم پلیمر، مهندسی برق و الکترونیک و مهندسی بافت و سلولی هستند، این مفاهیم با استفاده از بیشترین میزان هم‌رخدادی، ارتباط و پیوستگی بین این حوزه‌ها با مهندسی پزشکی را نشان می‌دهند. درواقع نتایج بیانگر آن است که زمینه‌های پژوهش مهندسی پزشکی به‌قدری وسیع می‌باشند که زمینه‌های مختلفی از طراحی و ساخت تجهیزات پزشکی و پردازش سیگنال و مباحث نرم‌افزاری گرفته تا عضوهای مصنوعی مورد پذیرش بدن بیمار و مواد به‌کاررفته در ساخت این وسایل را دربرمی‌گیرند. به عبارتی مهندسی پزشکی یک تخصص بین‌رشته‌ای است که علاوه‌بر کاربردهای زیاد آن در تشخیص و درمان، ارتباط نزدیکی با بسیاری از علوم دیگر دارد. این امر باعث افزایش پیچیدگی و جذابیت حوزه مهندسی پزشکی شده است (مجابی، ۱۳۹۸) و ماهیت میان‌رشتگی آن را تقویت می‌کند. ذات بین‌رشته‌ای‌بودن مهندسی پزشکی که از یافته‌های این پژوهش است توسط پژوهش‌های دیگر مانند زارابیتا، آلوارز، ریوبلور (۲۰۱۹) و نورمحمدی، کرامت‌فر، اسپرایین (۱۳۹۳) و لاسکووسکی (۲۰۱۱) تأیید شده است. در خوشه‌بندی‌های موضوعی نزدیکی بین حوزه‌های حاصل از این پژوهش و یافته‌های شن، وانگ، دای و ژانگ (۲۰۱۹) به‌ویژه در پزشکی هسته‌ای و هوش مصنوعی مشاهده شد. اما با یافته‌های ونجائو، ژائولین، یانگ (۲۰۱۲) که پنج خوشه اصلی مهندسی پزشکی را با عناوین مواد بیولوژیکی، زیست‌مکانیک، تصویربرداری پزشکی، اندازه‌گیری سیگنال و تشخیص سونوگرافی و سایر موارد عنوان می‌کند، و نیز ریپانویسی و لندوی (۲۰۱۸) همسو نمی‌باشد.

از نتایج این پژوهش چنین برمی‌آید که حوزه‌های شیمی، علم مواد و پلیمر، مهندسی برق و الکترونیک، زیست‌شناسی و زیست‌شیمی، علوم رایانه، فیزیک و غیره از جمله حوزه‌های پژوهشی‌ای هستند که در تولید مقالات حوزه مهندسی پزشکی مشارکت داشته‌اند و به‌شدت می‌توانند بر این حوزه تأثیرگذار باشند. مطالعات میان‌رشته‌ای این ویژگی را دارند که می‌توان بر اساس داده‌های حاصل از اطلاعات کتابشناختی، برای آنها زمینه‌های پژوهشی مشترک تعیین کرد تا متخصصان هر حوزه به‌صورت هدفمند به مرزهای روش‌شناختی دیگر حوزه‌ها وارد شوند و از آنها به‌منظور مبنای کار خود استفاده کنند (آزادی احمدآبادی، جمالی مهموئی، ۱۳۹۶). آشنایی با حوزه‌های علمی روز دنیا،

1 . optics

www.SID.ir

Archive of SID

روند پژوهش‌ها و مباحث علمی و داغ این حوزه و حوزه‌های مشترک و تأثیرگذار این حوزه کمک می‌کنند که محققان در انجام پژوهش‌های آینده بتوانند بهتر تصمیم‌گیری کنند. ازآنجاکه ضریب همکاری گروهی محققان این حوزه در سطح بالایی قرار دارد محققان می‌توانند از طریق ارتباطات گسترده‌تر با محققان برتر در این حوزه به پیشبرد و توسعه مهندسی پزشکی کمک کنند. از طرف دیگر، برای سیاست‌گذاران و حامیان مالی پژوهش‌ها این امکان را فراهم می‌کند که بر اساس نیاز و با آگاهی از روند موضوعات در سطح جهان در این حوزه سرمایه‌گذاری نمایند. درنهایت ارتباط با کشورهای پیشروِ این حوزه می‌تواند به بالاتربردن سطح کیفی و کمّی تحقیقات و ترویج آنها در این حوزه در آینده کمک کند.

پیشنهادهای اجرایی پژوهش

۱. با توجه به اینکه حوزه مهندسی پزشکی از ماهیت میان‌رشته‌ای برخوردار است و با حوزه‌های علمی زیادی مرتبط می‌باشد، شایسته است سیاست‌گذاران علم و فناوری در کشورها به‌منظور گسترش همکاری‌های میان‌رشته‌ای برای توسعه و ترویج پژوهش‌های اثربخش سرمایه‌گذاری نمایند؛

۲. نظر به گرایش زیاد به تعاملات علمی بین پژوهشگران در مهندسی پزشکی، سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در راستای تقویت پژوهش‌های مشارکتی بین کشورهای پیشرفته و کشورهای درحال‌توسعه در حوزه‌های تخصصی مربوطه در اولویت قرار گیرد؛

۳. به‌منظور اشتراک‌گذاری دانش و فراهم‌آوری فرصت‌ها و نیز راهکارهای حمایتی از فعالیت‌های مشترک و استمرار این نوع همکاری‌ها، ایجاد پیوند و برقراری الگوی مارپیچ چهارجانبه، دانشگاه، صنعت، دولت و جامعه با تأکید بر شرکت‌های دانش‌بنیان به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه در حوزه مهندسی پزشکی از اولویت برخوردار است.

تقدیر و تشکر

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد سمیه جعفری نائینی با عنوان "تحلیل روابط میان‌رشته‌ای و نقشه علمی قلمرو مهندسی پزشکی در وب‌علم (۲۰۱۷-۱۹۹۷)"، گروه آموزشی علم‌سنجی، مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری است.

فهرست منابع

آزادی احمدآبادی، قاسم و جمالی مهمویی، حمیدرضا (۱۳۹۶). تنوع و پراکندگی موضوعی تولیدات علمی ایران در حوزه فناوری‌های هم‌گرا. *پژوهش‌نامه علم‌سنجی*، ۳ (۲)، ۱۱۵-۱۳۴.

آجی‌فروکی، ایزولا، بارل، کیو و تگ، ژان (۱۳۸۶). ضریب همکاری: مقیاسی برای اندازه‌گیری میزان همکاری در پژوهش‌ها. ترجمه عبدالحسین فرج‌پهلو. *فصلنامه علوم و فناوری اطلاعات*، ۲۳ (۱-۲)، ۱۶۹-۱۸۳.

ابراهیمی، سعیده و جعفری، ناهید (۱۳۹۸). تمایزی بر تنوع و تأثیر تحقیقات میان‌رشته‌ای در سطوح بین‌رشته‌ای، چندرشته‌ای، درون‌رشته‌ای و رشته‌های متقاطع با نگاهی بر همکاری‌های بین‌بخشی و درون‌بخشی در حوزه‌های علوم پایه. *پژوهش‌نامه علم‌سنجی*، ۵ (۱۰)، ۲۳-۴۴.

www.SID.ir

Archive of SID

باقری، سهیلا و محمداسماعیل، صدیقه (۱۳۹۲). بررسی وضعیت چندنویسندگی و شبکه همکاری‌های علمی حوزهٔ مهندسی پزشکی ایران در نمایه استنادی علوم بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۱. *رهیافت*، ۲۳ (۵۴)، ۵-۱۷.

بانکی کشکی، حسین و تفضلی شادپور، محمد (۱۳۹۵). بررسی آخرین وضعیت آموزشی و پژوهشی رشته مهندسی پزشکی در دانشگاه‌های برتر جهان در سال ۲۰۱۶. *مجله مهندسی پزشکی زیستی*، ۱۰ (۱)، ۸۵-۹۷.

رولاند، اس. (۱۳۸۷). میان‌رشتگی در مبانی نظری و روش‌شناسی مطالعات میان‌رشته‌ای. ترجمه مجید کرمی. تهران: پژوهشکده مطالعات فرهنگی و اجتماعی.

شادی، سورناز (۱۳۹۸). تحلیل ویژگی‌های مقالات مرور سیستماتیک پژوهشگران ایرانی در حوزه زیست‌پزشکی با رویکرد علم‌سنجی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شاهد، دانشکده علوم انسانی، تهران.

صدیقی، مهری (۱۳۹۲). تحلیل و روابط و الگوهای میان‌رشته‌ای در منتخبی از حوزه‌های اولویت‌دار علوم و فناوری. فصلنامه علمی پژوهشی پردازش و مدیریت اطلاعات، ۲۹ (۱)، ۱۹۰-۱۶۵.

عبداللهی، محمدرضا (۱۳۹۷). کسب و کار در مهندسی پزشکی. تهران: انتشارات نوین.

عراقیه، علیرضا (۱۳۹۲). گونه‌شناسی رهیافت‌های میان‌رشته‌ای و دلالت‌های آن در طراحی برنامه درسی چندفرهنگی در آموزش عالی. فصلنامه علمی-پژوهشی رهیافتی نو در مدیریت آموزشی، ۴ (۱)، ۸۱-۹۸.

کوثری، سحر، قاضی نوری، سید سپهر، ثقفی، فاطمه و عموعابدینی، قاسم (۱۳۹۵). توسعه سناریوی مطلوب آثار اجتماعی توسعه فناوری نانو در ایران: یک رویکرد مورفولوژیک. *فصلنامه علمی-پژوهشی سیاست علم و فناوری*، ۸ (۲)، ۱-۱۵.

مجابی، مینا (۱۳۹۸). آشنایی با دنیای مهندسی پزشکی. ماهنامه مهندسی پزشکی و تجهیزات آزمایشگاهی. بازیابی در https://iranbmemag.com. تاریخ دسترسی: ۱۳۹۸/۱۱/۲۰.

محمداسماعیل، صدیقه و باقری، سهیلا (۱۳۹۳). بررسی تطبیقی برون‌دادها و همکاری‌های علمی کشورهای جهان در حوزه مهندسی پزشکی، در نمایه استنادی علوم. *مدیریت اطلاعات سلامت*، ۱۱ (۵)، ۵۸۰-۵۶۹.

مکی‌زاده، فاطمه، حاضری، افسانه، رزمجو، فاطمه و سهیلی، فرامرز (۱۳۹۶). بررسی روند تولیدات علمی و تحلیل ساختار شبکه هم‌تألیفی در حوزه نانو فناوری ایران. *رهیافت*، ۶۵، ۵۱-۶۶.

مهدی، رضا (۱۳۹۲). شکل‌گیری و توسعه میان‌رشته‌ای‌ها در آموزش عالی: عوامل و الزامات. *فصلنامه مطالعات میان‌رشته‌ای در علوم انسانی*، ۵ (۲)، ۱۱۷-۹۱.

میرعابدینی، احمد (۱۳۸۸). نقش ارتباطات در تحول و توسعه علوم میان‌رشته‌ای. فصلنامه مطالعات میان‌رشته‌ای در علوم انسانی، ۱ (۴)، ۵۶-۱۹.

نیکان، شهرزاد (۱۳۸۹). تولیدات علمی ده ساله ایرانیان در سطح بین‌المللی (۲۰۰۷-۱۹۹۸). *مطالعات ملی کتابداری و سازمان‌دهی اطلاعات*، ۲۱ (۴)، ۷۲-۸۶.

www.SID.ir

Archive of SID

نگهبان، محمدباقر و رمضانی‌فر، هدی (۱۳۹۶). مقایسه نقشه علمی ایران با نقشه جهانی علم جهت تعیین حوزه‌های بین‌رشته‌ای. *علم‌سنجی کاسپین*، ۴ (۲)، ۱۴-۲۲.

نورمحمدی، حمزه‌علی، کرامت‌فر، مهدی، کرامت‌فر، عبدالصمد و اسپرایین، فرشته (۱۳۹۳). پژوهش در کدام حوزه‌ها؟ تعیین اولویت‌های پژوهشی کشور بر مبنای تأثیر آنها بر رشد اقتصادی. علم‌سنجی کاسپین، ۱ (۱)، ۴۸-۵۳.

نوروزی چاکلی، عبدالرضا، قضاوی، رقیه و طاهری، بهجت (۱۳۹۴). ارزش‌گذاری شاخص‌های ارزیابی پژوهش در حوزه‌های مختلف علوم در ایران. *فصلنامه علمی-پژوهشی سیاست علم و فناوری*، ۷ (۴)، ۳۱-۴۰.

Bahar, D., Hausmann, R., & Hidalgo, C. A. (2014). Neighbors and the evolution of the comparative advantage of nations: Evidence of international knowledge diffusion?. *Journal of International Economics*, 92(1), 111-123.

Barthel, R., & Seidl, R. (2017). Interdisciplinary collaboration between natural and social sciences and trends exemplified in groundwater research. PLoS ONE, 12(1).

Bayrak, B. K., Erkoç, M. F. & Gül, M. O. (2007). Integration application in interdisciplinary teaching: a case of science and technology areas. Proceeding of the seventh international conference on educational technology (IETC), May 3-5, Turkish Republic of Northern Cyprus, Nicosia, and Turkish.

Bretscher, A. (2008). Why an interdisciplinary biological research institute now? Cornell

Chronicle. Retrieved from http://www.news.cornell.edu/stories/2008/12/ why interdisciplinary-research-institutes-now.

Bronzino J. (2005). Biomedical Engineering: A historical perspective. In: Enderle J, Blanchard S, Bronzino J. (Eds). Introduction to Biomedical Engineering. Burlington MA; Elsevier Academic Press.

Bukowski, M., Geisler, S., Schmitz-Rode, T. & Farkas, R. (2020) . Feasibility of activity-based expert profiling using text mining of scientific publications and patents. *Scientometrics* 123, 579–620. https://doi.org/10.1007/s11192-020-03414-8

Chavarro, D., Tang, P. & Rafols, I. (2014) Interdisciplinary and research on local issues: evidence from a developing country. *Research evaluation*, 23(3), 195-209.

Chen, S., Arsenault, C., & Larivière, V. (2015). Are top-cited papers more interdisciplinary? *Journal of Informetrics*, 9(4), 1034-1046.

Chung, E., Kwon, N. & Lee, J. (2016). Understanding scientific collaboration in the research life cycle: Bio-and nanoscientists' motivations, information-sharing and communication practices, and barriers to collaboration. *Journal of the association for information science and technology*, 67(8), 1836-1848

Cumming, J.N. & Kiesler, S. (2014). Organization theory and the changing nature of science. *Journal of organization design*,3(3), 1-16.

Deng, Li & Dong, Yu . (2014). Deep Learning: Methods and Applications. Foundations, and Trends® in Signal Processing, 7(3-4), 197-387.

www.SID.ir

Archive of SID

Deng, S. & Xia, S. (2020). Mapping the interdisciplinarity in information behavior research: A quantitative study using diversity measure and co-occurrence analysis. *Scientometrics* , 124, 489–513. https://doi.org/10.1007/s11192-020-03465-x

Dolan, A.M. (2004). Clinical engineering handbook. Academic press.

Elango, B. (2019). A bibliometric analysis of literature on engineering research among BRIC countries. *Collection and curation*, 38(1), 9-14.

Enderle, J.D. & Bronzino, J.D. (2012). Introduction of biomedical engineering. Amsterdam; Boston: Elsevier/Academic Press.

Jeong, S., Kim, J. C., & Choi, J. Y. (2015). Technology convergence: What developmental stage are? *Scientometrics*, 104(3), 841–871.

Gerdsri, N., Kongthon, A. &Puengrusme, S. (2017). Profling the Research Landscape in Emerging Areas Using Bibliometrics and Text Mining: A Case Study of Biomedical Engineering (BME) in Thailand. *International Journal of Innovation and Technology Management*. 14(2), 1-15.

Glänzel, W., & Thijs, B. (2012). Using 'core documents' for detecting and labelling new emerging topics. *Scientometrics*, 91(2), 399-416.

Gondran, N. & Kammen, D.M. (2004). De la pluridisciplinarité pour des ingénieurs généralistes vers une interdisciplinarité à la mesure d'ingénieurs éco-citoyens. *Didaskalia*, 24, 65-80.

Hasman, A., Ammenwerth, E., Dickhaus, H., Knaup, P., Lovis, C., Mantas, J., ... & Surjan, G. (2011). Biomedical informatics–a confluence of disciplines? *Methods of information in medicine*, 50(06), 508-524.

Huutoniemi, K., Klein, J. T., Bruun, H. & Hukkinen, J. (2010). Analyzing interdisciplinarity: Typology and indicators. *Research policy*, 39(1), 79-88.

Laskovski, A. (2011). Biomedical engineering: trends in electronics, communication and software. Retrieved from: https://www.intechopen.com/books/biomedical-engineering-trends-in-electronics-communications-and-software.

Ledford, H. (2015). How to solve the world's biggest problems. *Nature*, 525, 308–311.

Lynch, J. (2006). It is not easy being interdisciplinary. *International journal of epidemiology*, 35, 1119-1122.

Magjarević, R. & Lacković, I. (2011). Biomedical Engineering—Past, Present, Future. Automatika, *Journal for Control, Measurement, Electronics, Computing and Communications*, 52(1), 5-11.

Martin, T, Rivale, S. D. & Diller, K.R. (2007). Comparison of Student Learning in Challenge-based and Traditional Instruction in Biomedical Engineering. *Annals of biomedical engineering*, 35(8), 1312-1323.

National Academy of Sciences. Facilitating Interdisciplinary Research. Washington, DC: The National Academic Press.

Palmer, C. (1999). Structure and strategies of interdisciplinary science. *Journal of the American Society for information science and technology*, 50(3), 242-53.

www.SID.ir

Archive of SID

Porter, A. L., & Youtie, J. (2009). How interdisciplinary is nanotechnology? *Journal of Nanoparticle Research*, 11(5), 1023–1041.

Repanovici, A. & Landoy, A. (2018). Tracking and predicting the growth of health information using scientometrics methods and Google Trends. Paper presented at IFLA WLIC 2018 .Kuala Lumpur, Malaysia , Transform Libraries, Transform Societies in Session 219 , Health and Biosciences Libraries.

Rhoten, D. & Parker, A. (2004). Risks and Rewards of an Interdisciplinary Research Path. *Science*, 306(5704), 2046.

Rycroft, R. W. (2007). Does cooperation absorb complexity? Innovation networks and the speed and spread of complex technological innovation. *Technological forecasting and social change*, 74(5), 565-578.

Saltzman, W.mark (2015). Biomedical engineering: bridging medicine and technology. New York: Cambridge University Press.

Schuh, G., Rudolf, S. & Mattern, C. (2016). Conceptual framework for evaluation of complexity in new product development projects. In 2016 IEEE international conference on industrial technology (ICIT), Taipei (pp. 1022–1027). Piscataway, NJ: IEEE. https://doi.org/10.1109/ICIT.2016.7474894

Shen, L.,Wang, S., Dai, W. & Zhang, Z.(2019). Detecting the Interdisciplinary Nature and Topic Hotspots of Robotics in Surgery: Social Network Analysis and Bibliometric Study. *Journal of medical internet research*, 21(3), 38-52.

Thilakar, S. & Ponnudurai, R. (2013). Contributions to Crop Science Research: Measuring Authorship Pattern. *International Journal of Humanities and Social Science Invention*. 2(12), 35-40.

Todeschini, R. & Baccini, A. (2016). Handbook of Bibliometric Indicators: Quantitative Tools for Studying and Evaluating Research. Us: wiley.

Villafane, C. R. (2009). Biomed: From the Student's Perspective, First Edition. [Technicians-friend.com]. ISBN 978-1-61539-663-4.

Wenjiao, G. U. O., Zhaolian, O. U. Y. A. N. G., & Yang, L. I. (2012). Revealing theme structure of biomedical engineering using Co- Word analysis. *Chinese Journal of Biomedical Engi-neering*, 31(4), 545-551.

Xu, R. & Ghaffarzadegan, N. (2018). Neuroscience bridging scientific disciplines in health: Who builds the bridge, who pays for it?. *Scientometrics*, 117(2), 1183-1204.

Yaqub Khan, M., Gupta, P. & Kumar Verma, V. (2013). A review-biomedical engineering-present and future prospective. *Asian Journal of pharmaceutical research*, 3(4), 202-206.

Zarrabeitia-Bilbao, E., Álvarez-Meaza, I., Río-Belver, R.M.& Garechana-Anacabe, G. (2019). Additive manufacturing technologies for biomedical engineering applications: Research trends and scientific impact. *El profesional de la información*, 28(2), 1-21.

www.SID.ir