



گستره قلمروهای پژوهشی در نقشه دانش سیلیسید اورانیم

ساره عماری اله یاری^{۱*}، زهرا میر قاسمی^۲، محسن نجفی^۱

۱. پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، صندوق پستی ۸۴۸۶-۱۴۳۹۵، تهران- ایران

۲. کتابخانه سازمان انرژی اتمی ایران، تهران- ایران

چکیده

تحقیق و توسعه در زمینه بهبود ایمنی و عملکرد سوخت در راکتورهای آب سبک از برنامه‌های تحقیقاتی روز دنیا است و تحقیقات در زمینه ساخت سوخت‌های مقاوم در برابر حادثه (ATF)^۱ و توسعه چرخه‌های سوخت مربوطه (FCRD)^۲، از اهمیت بسزایی برخوردار است. بنابراین پژوهش‌هایی در زمینه ساخت سوخت‌های جدید اورانیمی نظیر سوخت‌های کاربیدی، نیتریدی و سیلیسیدی انجام شده است. در این میان سوخت‌های سیلیسیدی به لحاظ مزایایی چون چگالی اورانیم بالا و هدایت حرارتی بسیار خوب، به‌عنوان یک سوخت قابل اتکا در فعل و انفعالات هسته‌ای برای تولید انرژی و همچنین مقاوم در برابر حوادث مختلف در نظر گرفته می‌شوند. سیلیسیدهای اورانیم به‌عنوان سوخت‌های هسته‌ای غیر فلزی مطرح هستند و یا گاهی به‌عنوان یک اینترمتالیک به‌شمار می‌آیند. اینگونه سوخت‌ها در راکتورهای مدرن^۳ MTR به‌عنوان سوخت هسته‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این پژوهش نقشه دانش اینگونه ترکیبات مورد بررسی قرار گرفته است. تا بدین ترتیب بتوان با جمع‌بندی مناسبی از نتایج کلیه پژوهش‌های به عمل آمده به تدوین استراتژی، کمک به اخذ تصمیم‌گیری‌های کلان و ترسیم نقشه راه توسعه سوخت هسته‌ای در کشور دست یافت.

کلیدواژه‌ها: تولید سوخت هسته‌ای، سیلیسید اورانیم، نقشه دانش

Extent of Research Areas in the Knowledge Map of Uranium Silicide

S. A. Allahyari^{1*}, Z. Ghasemi², M. Najafi¹

1. Nuclear Fuel Research School, Nuclear Science & Technology Research Institute, P.O. Box 11365-8486, Tehran, Iran.

2. Library of Atomic energy organization of Iran, Tehran, Iran

Abstract:

Research and development of the safety and performance of the fuel in light Water Reactors is one of the world's top research programs. Therefore, research in the manufacturing the accident-resistant fuels (ATF), and the development of related fuel cycles (FCRD), is of great importance. Therefore, research has been conducted in the field of new uranium based fuels manufacturing such as carbide, nitride and silicide fuels. In terms of advantages such as high density uranium and excellent thermal conductivity, silicide fuels are considered as a reliable fuel in nuclear for energy production, as well as resistant to various accidents. Uranium silicides are referred as non-metallic fuels or sometimes considered as an intermetallic. Such fuels are used in modern MTR reactors as nuclear fuel, so in this study, the knowledge map of such compounds has been investigated. So, with the aid of summary of all the researches done, a strategy can be formulated, major decisions can be made and a roadmap for the development of nuclear fuel in the country, can be drawn.

Keywords: Nuclear fuel, Uranium silicide, Knowledge map.

Email: sammari@aeoi.org.ir

¹Accident Tolerant Fuel

²Fuel Cycle Research and Development

³Materials Test Reactor

۱. مقدمه

امروزه بسیاری از سازمان‌ها به منظور افزایش بهره‌وری از مدیریت دانش بهره می‌گیرند. سازمان‌های کنونی به منظور بهبود عملیات و ارائه خدمات و محصولات مطلوب‌تر به ارباب رجوعان در کسب و به کارگیری دانش و اطلاعات روز، پیشی گرفته‌اند. جهت نیل به این هدف، سازمان‌ها نیازمند به کارگیری سبک جدیدی از مدیریت به نام مدیریت دانش هستند. نقشه دانش از جمله مفاهیم محوری مدیریت دانش است، که دسترسی به مدیریت دانش را تسهیل می‌کند. دستیابی به هر دو نوع دانش یعنی دانش ضمنی^۴ و دانش صریح^۵ از مهم‌ترین اهداف ترسیم نقشه دانش است. با کمک این ابزار، تجزیه و تحلیل منابع دانشی سازمان، نیازهای دانشی، ارتباط بین آن‌ها و ارتباطات حاکم بر آن‌ها به راحتی برای مدیران و کارکنان سازمان ممکن می‌باشد.

در کار حاضر، تدوین نقشه دانش سوخت‌های سیلیسید اورانیمی که نقش کلیدی را در توسعه سوخت‌های اورانیمی جدید دارند، صورت گرفته است. سوخت اکسید اورانیم (UO_2) متداول‌ترین سوخت هسته‌ای مصرفی در جهان بوده و درصد عمده‌ای از راکتورهای تحقیقاتی و قدرت از این سوخت به فرم‌های مختلف استفاده می‌کنند [۱-۶]. با توجه به چالش‌هایی که استفاده از این نوع طراحی سوخت بدنبال خواهد داشت، امروزه به منظور افزایش راندمان بهره‌برداری، به کارگیری منابع و برن آپ^۶ بالاتر، پایداری فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و ترمودینامیکی سوخت در هنگام به کارگیری در راکتور هسته‌ای، هزینه پائین‌تر ساخت و دوام بیشتر سوخت و همچنین به حداقل رساندن ریسک تولید مواد تسلیحاتی هسته‌ای و پسماندهای سطح بالا (HLW)، به کارگیری سوخت‌های اورانیمی جدید پیشنهاد شده است. به طوریکه برنامه‌های تحقیق و توسعه اکثر کشورهای دارنده فناوری هسته‌ای بر ساخت سوخت‌های مقاوم در برابر حادثه (ATF) متمرکز شده است. چراکه این سوخت‌ها می‌توانند ایمنی راکتورهای آب سبک را چه در حال حاضر و چه در آینده در برابر رخدادهای عملیاتی پیش بینی شده^۷، حوادث مبنای طرح^۸ و حوادث ماورای مبنای طرح^۹ تضمین کنند و از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه هستند [۷]. از مهم‌ترین ترکیبات جایگزین سوخت‌های اکسیدی اورانیم متداول، می‌توان به نیتريد اورانیم (UN) و سیلیسید اورانیم (U_3Si_2) اشاره نمود. از آنجا که سوخت‌های نیتريدی با مشکلاتی در طی فرایند ساخت با توجه به نیاز به اتمسفر نیتروژن، ضرورت تولید ^{15}N از ^{14}C و همچنین مقاومت پایین نسبت به اکسیداسیون، سطح مقطع جذب بالای نوترونی و نیاز به بالا بردن غنای اورانیم و ... روبرو می‌باشند، به کارگیری آن‌ها در راکتور محدود شده است. با توجه به افزایش ۱۷٪ بارگذاری ^{235}U در U_3Si_2 و همچنین افزایش ۵ برابری هدایت حرارتی آن نسبت به UO_2 ، حاشیه ایمنی بالاتری از سوخت در شرایط حادثه ایجاد می‌شود [۸]. بنابراین، در این کار تحقیقاتی تلاش بر این است که نقشه دانش سیلیسید اورانیم به عنوان سوخت هسته‌ای با توجه به محورهای نقشه دانش که شامل ترسیم منابع دانش و ترسیم تولید دانش می‌شود، تدوین شود. در این راستا، ابتدا وضعیت سیلیسید اورانیم به لحاظ پژوهشی به تفکیک کشورها، پژوهشگران و موسسات مختلف و همچنین به تفکیک دوره‌های زمانی گوناگون ارائه شده و سپس به بررسی برنامه هسته‌ای کشورهای مختلف جهت به کارگیری سوخت‌های سیلیسیدی پرداخته می‌شود.

۲. نحوه تهیه نقشه دانش سیلیسید اورانیم به لحاظ پژوهشی

اهمیت موضوعی علم داده و تحلیل داده‌ها امروز بر هیچ فردی پوشیده نیست. با وجود انبوهی از داده‌ها، تحلیل آن‌ها و نتیجه‌گیری از آن امری مهم محسوب می‌شود که یکی از مهم‌ترین انواع داده‌ها و تحلیل آن‌ها، داده‌های حاصل از اطلاعات پژوهشی است. در این کار تحقیقاتی، برای تدوین نقشه دانش سیلیسید اورانیم به لحاظ پژوهشی از نرم افزار VOSviewer استفاده شده است. در پژوهش کاربردی حاضر از روش علم‌سنجی استفاده شده است. گردآوری داده‌های مورد نیاز از پایگاه استنادی Scopus صورت گرفته و ابزار ترسیم شبکه‌های هم تالیفی و همکاری، نرم افزار VOSviewer می‌باشد. جامعه پژوهش شامل ۱۹۰۴ مقاله لاتین تا پایان تیرماه ۱۳۹۹ و در بازه زمانی ۱۹۵۶ تا ۲۰۲۰ است.

⁴ Tacit Knowledge

⁵ Explicit Knowledge

⁶ Burn up

⁷ Anticipated operational occurrences

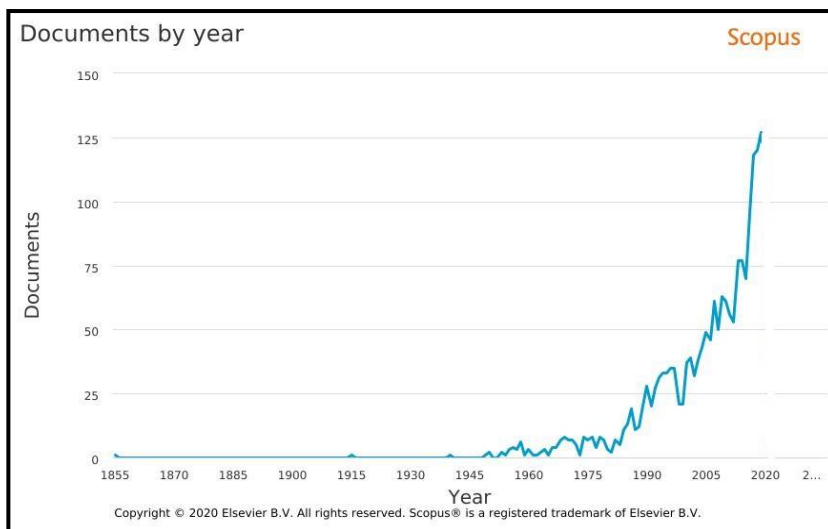
⁸ Design basis events

⁹ Beyond design basis events

۳. نتایج و تحلیل داده‌ها

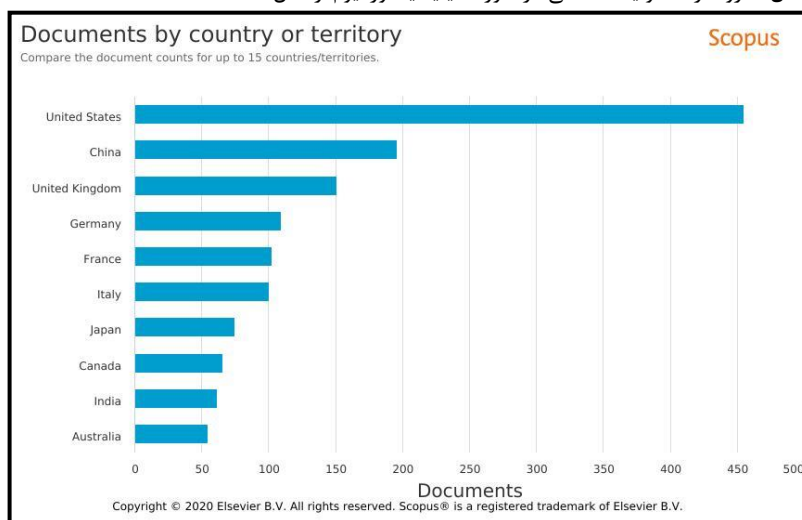
در این بخش نتایج حاصل از نرم افزار در محورهایی چون، روند رشد تولیدات علمی، فعال ترین کشورها و بیشترین موضوعات مرتبط در حوزه سیلیسید اورانیوم در بازه زمانی از سال ۱۹۵۶-۲۰۲۰ به ترتیب در اشکال ۱ تا ۳ نشان داده شده‌اند.

Year	Document
2011	56
2012	53
2013	77
2014	77
2015	70
2016	95
2017	118
2018	120
2019	127
2020	113



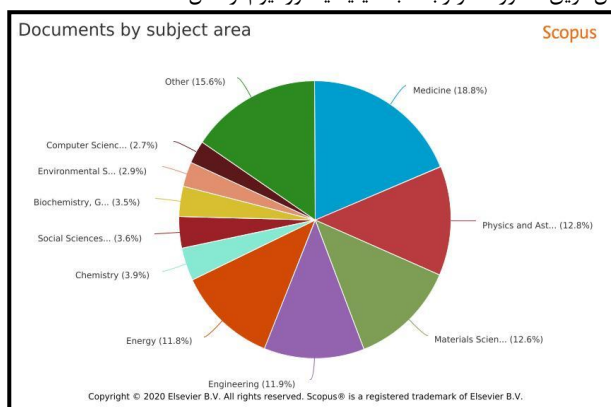
شکل ۱. روند رشد تولیدات علمی در حوزه سیلیسید اورانیوم از سال ۱۹۵۶-۲۰۲۰

Country	Document
United State	454
China	195
United Kingdom	150
Germany	109
France	102
Italy	100
Japan	74
Canada	65
India	61
Australia	54



شکل ۲. فعال ترین کشورها در رابطه با سیلیسید اورانیوم از سال ۱۹۵۶-۲۰۲۰

Subject	Document
Medicine	629
Physics and Astronomy	427
Material Science	421
Engineering	399
Energy	396
Chemistry	129

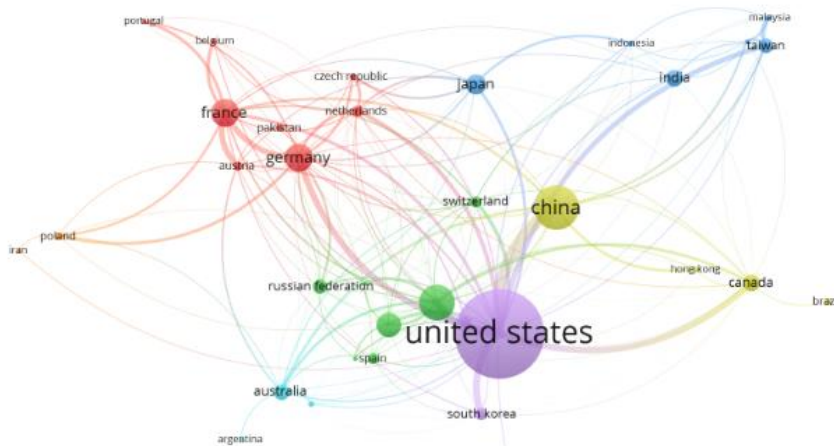


شکل ۳. بیشترین موضوعاتی که سیلیسید اورانیوم با آن در ارتباط بوده است از سال ۱۹۵۶-۲۰۲۰

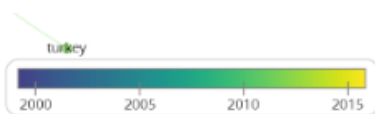
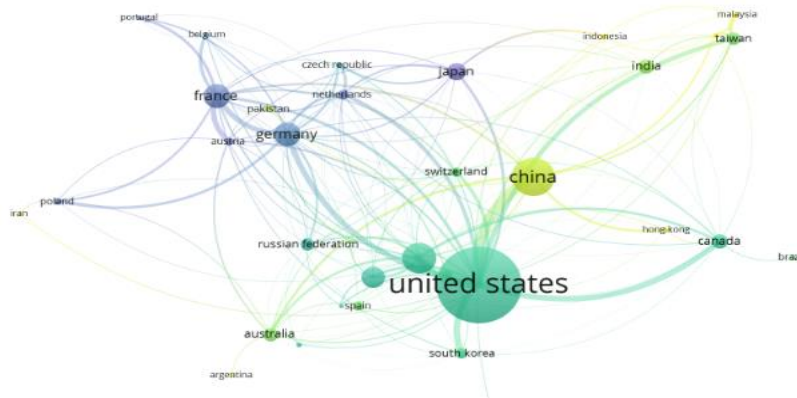
۴. نتایج و تحلیل نقشه‌ها

۱.۴ نقشه دانش سیلیسید اورانیم به تفکیک کشورها

شکل ۴ گستره کشورهای فعال در زمینه سیلیسید اورانیم را (طی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۲۰) نمایش می‌دهد. در خصوص سیلیسید اورانیم، بیش از سی کشور در جهان، بیشترین تحقیقات را در زمینه سیلیسید اورانیم انجام داده‌اند بنظر می‌رسد، بیشترین کار تحقیقاتی انجام شده در این زمینه، به ترتیب توسط آمریکا، چین، آلمان و فرانسه صورت پذیرفته است. ایران نیز در این خصوص سهمی از تحقیقات را به عهده داشته است. و همانطور که از نقشه پیداست در این خصوص ارتباطی را با کشورهای آمریکا و لهستان داشته است. در بین کشورهای آسیایی، مالزی اخیراً فعالیت بیشتری را بر روی موضوع سیلیسید اورانیم انجام داده و با اندونزی، چین، تایوان و به طور محدود با آمریکا (به دلیل دو رنگ بودن خط بین آنها) فعالیت مشترک داشته است.



turkey
(الف)



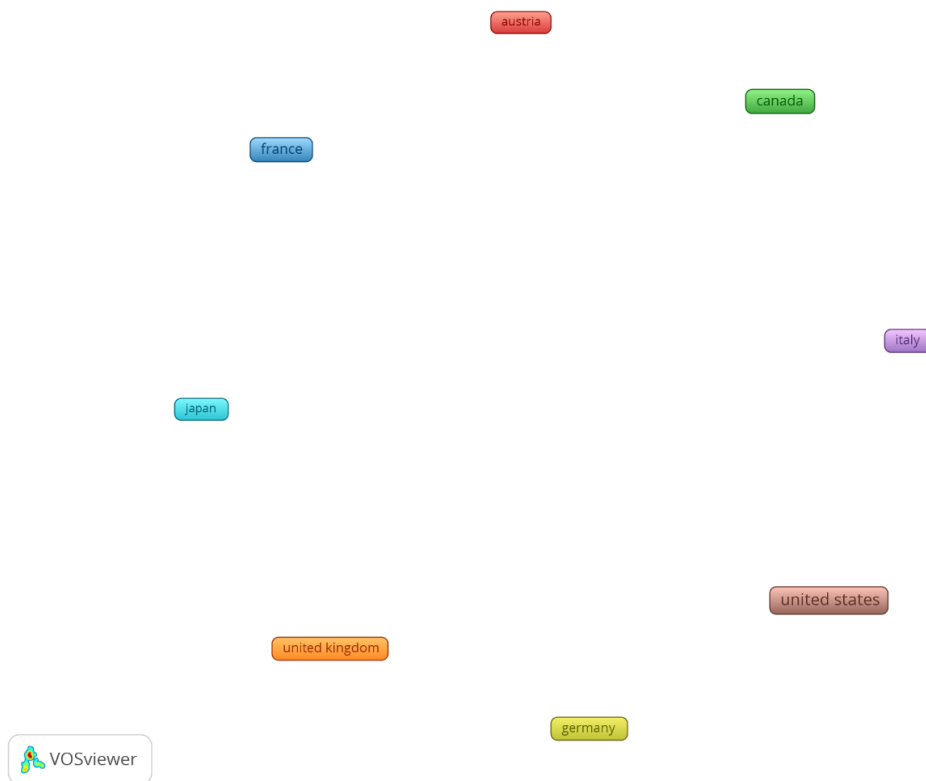
(ب)

شکل ۴. گستره کشورهای فعال در زمینه سیلیسید اورانیم؛ (الف): از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۲۰ (ب) طی ده سال اخیر

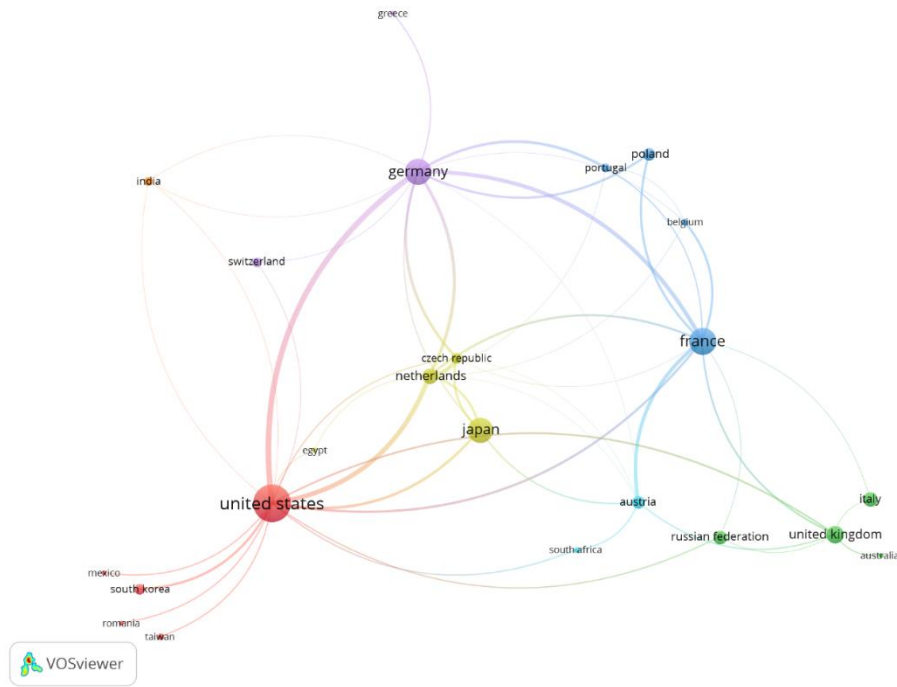
۲.۴ نقشه دانش سیلیسید اورانیم به تفکیک دوره‌های زمانی

برای بررسی روند توسعه تحقیقات در زمینه سیلیسید اورانیم در گذر زمان، بسیار مناسب است که این روند را در سه دوره زمانی ۱۹۵۰-۱۹۷۵، ۱۹۷۶-۲۰۰۰ و ۲۰۰۱-۲۰۲۰ به تفکیک کشورها مورد مطالعه قرار گیرد. یافته‌های بدست آمده در بازه زمانی مذکور و به تفکیک کشورها در شکل‌های ۵ تا ۷ ارائه شده است.

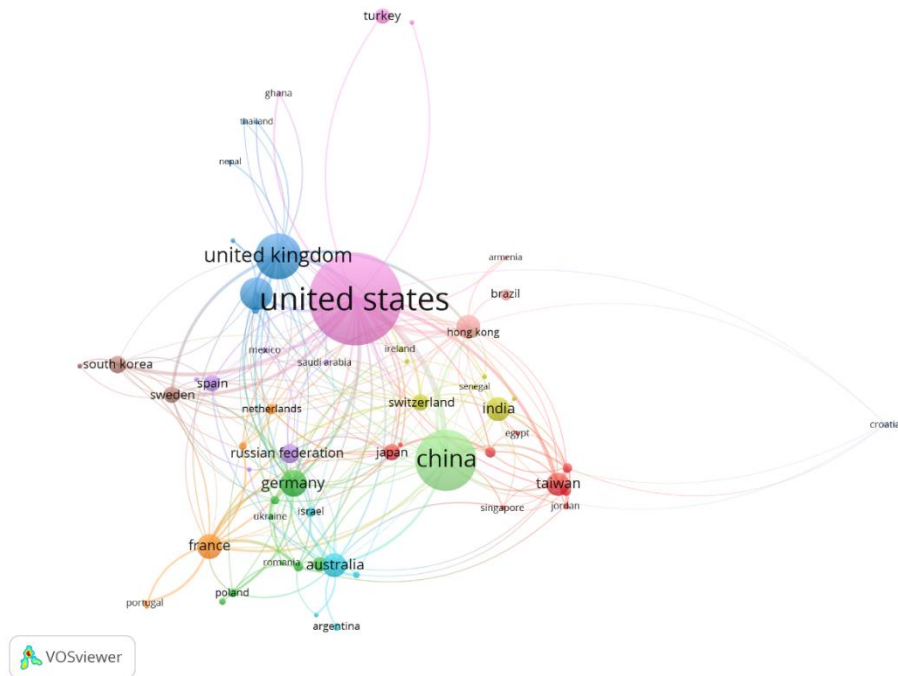
همانطور که دیده می‌شود، بین سال‌های ۱۹۷۵-۱۹۵۰ کمتر از ۱۰ کشور جهان تحقیقات مختلفی را در زمینه سیلیسید اورانیم انجام می‌داده‌اند. این روند در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۷۶ به بیش از ۱۵ کشور و در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا کنون به بیش از ۳۰ کشور افزایش داشته است. این امر نشان می‌دهد که پژوهش در زمینه ترکیبات سیلیسید اورانیم از جهات مختلف به علت کاربردپذیر بودن آن‌ها در حوزه‌های مختلف علم، فناوری و صنعت روبه افزایش است و کشورهای مختلف به تناسب توانمندی‌ها و ضروریات خود به این امر روی آورده‌اند.



شکل ۵. گستره کشورهای فعال در زمینه سیلیسید اورانیم در بازه زمانی ۱۹۵۰-۱۹۷۵



شکل ۶. گستره کشورهای فعال در زمینه سیلیسید اورانیم در بازه زمانی ۱۹۷۶-۲۰۰۰



شکل ۷. گستره کشورهای فعال در زمینه سیلیسید اورانیم در بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۰

۵. نتیجه‌گیری

تحقیقات در مورد ترکیبات سیلیسید اورانیم در طی نیم قرن اخیر رو به افزایش است. این امر نشان می‌دهد که این ترکیبات از جهات مختلف به علت کاربردپذیر بودن آنها در حوزه‌های گوناگون علم، فناوری و صنعت مورد توجه هستند. کشورهای مختلف به تناسب توانمندی‌ها و ضروریات خود به کار پژوهشی، نیمه‌صنعتی و صنعتی در خصوص ترکیبات سیلیسید اورانیم روی آورده‌اند. که این مساله می‌تواند ضرورت توجه به توسعه سوخت‌های سیلیسیدی را بیش از پیش مشخص نماید.

۶. مراجع

- [1] A. Algora et al, <http://www.ne.anl.gov/capabilities/nd/AFC-Apr11/>
- [2] H.S. Lee et al. *Evaluation of thermo-mechanical behaviors of UO₂-5 vol% Mo nuclear fuel pellets with sandwiched configuration*, J. Nucl. Mater. **539**, 152295 (2020).
- [3] L.N Larson, <https://fas.org/sgp/crs/nuke/R45753.pdf>
- [4] *Nuclear Fuel Cycle Objectives in IAEA Nuclear Energy Series*, (IAEA, Vienna, 2013, ISSN 1995-7807 ; no. NF-O)
- [5] ر. خزانه و م. روشن‌ضمیر، سوخت هسته‌ای، (سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ۱۳۷۶).
- [6] *Nuclear Fuel Cycle and Reactor Strategies: Adjusting to New Realities Proceedings of an International Conference*, (IAEA, Vienna, Austria, 2-6 June 1997)
- [7] S.A. Maloy et al, <https://www.energy.gov/ne/fuel-cycle-technologies/fuel-cycle-research-development>
- [8] B.A. Lindley et al. *Reactor physics modelling of accident tolerant fuel for LWRs using ANSWERS codes*, EPJ. Nuclear. Sci. Technol. 2, 14 (2016).