

Zeinab Sadat
Tabatabaei Lotfi¹
Mohammad Mahdi
Ettefaghi^{*2}
Reza Moazzemi³

1. Post Doc Reasearcher and Scientific Assistant, Department of Physics, University of Qom, astrozat@gmail.com
2. Associate Professor, Department of Physics, University of Qom, (corresponding author) metefaghi@qom.ac.ir
3. Associate Professor, Department of Physics, University of Qom, r.moazzemi@qom.ac.ir

Scientometric Analysis of Research Structure and Trends in Neutrino and Dark Matter Detection: Scientific Mapping and Keyword Co-occurrence Analysis in Web of Science

Abstract

Purpose: Neutrinos and dark matter are two fascinating and mysterious topics in modern physics, with numerous experiments conducted worldwide to study their properties, interactions, and their impact on our understanding of the universe. Neutrino detection is primarily achieved through two methods: charged current interactions and neutral current interactions. Although the scattering cross-section for neutral current interactions is usually smaller than for charged current interactions, coherent scattering of neutrinos from atomic nuclei can increase the neutral current cross-section by a factor of 2 to 4. This phenomenon has led to the development of many experiments in recent years that use coherent neutrino-nucleus scattering, employing techniques similar to those used in dark matter detection. This study analyzes the co-occurrence of the keyword's 'neutrino' and 'dark matter' in scientific literature, focusing on detection methods to identify research trends and explore interdisciplinary connections between these fields.

Methodology: A comprehensive dataset of published articles was extracted from the Web of Science database, and co-occurrence maps were visualized using VOSviewer software to analyze the connections between topics, authors, and countries. The results reveal significant clusters of studies linking neutrino physics and dark matter research, demonstrating increasing collaboration between these fields. These clusters not only reflect growing interest in the intersection of these areas but also point to promising directions for future research that could enhance our understanding of the fundamental components of the universe. In this article, we evaluate trends in scientific literature by examining the relationship between neutrino physics and dark matter research, with a particular focus on detection methods. Using data from the Web of Science database and co-occurrence maps generated in VOSviewer, we address the following research questions: First, what are the frequency and distribution of keyword co-occurrence in scientific articles indexed in the Web of Science database, and how do these patterns reflect the evolution of research topics over time? Second, what are the characteristics of scientific articles in terms of language, country, participating researchers, research areas, and keywords, and how do these factors influence the global research landscape in this field? Third, what clusters and topics emerge from co-occurrence analysis in the Web of Science database, and how do these clusters reflect the interdisciplinary nature of neutrino and dark matter research? Fourth, how have research topics evolved in Web of Science-indexed articles, and what key milestones mark the development of this field? Fifth, what patterns of international collaboration exist in this field based on Web of Science data, and how do these collaborations contribute to advancements in neutrino and dark matter research?

Zeinab Sadat
Tabatabaei Lotfi¹
Mohammad Mahdi
Ettefaghi²
Reza Moazzemi^{*3}

Receive:
.././....
Acceptance:
.././....

To ensure a comprehensive and accurate analysis, a hierarchical tree diagram was created to map the relationships between different branches of research. This diagram, along with existing thesauruses and expert input, helped select appropriate keywords. The search strategy used Boolean operators (AND, OR) across titles, keywords, and abstracts, including article titles, keywords, and abstracts, to ensure broad coverage of the literature. This approach allowed us to examine all research activities in this field, from theoretical studies to experimental investigations.

Finding: The analysis revealed that between 2010 and 2020, research activity in neutrino and dark matter studies increased significantly. Key topics included neutrino detectors, dark matter detectors, physics beyond the Standard Model, high-energy neutrinos, gravitational waves, and black holes. These topics represent recent advancements in the field, with a strong emphasis on detection technologies, theoretical progress, and observational methods. The emergence of these topics reflects growing attention to the connection between neutrino physics and dark matter research, as well as advancements in experimental and theoretical tools available to researchers.

Additionally, the study identified seven collaboration clusters among countries, with the largest cluster comprising 19 countries. This cluster represents a strong network of international collaboration, highlighting the global nature of research in this field. In contrast, smaller clusters with fewer members indicate regions with more limited collaborative networks, suggesting opportunities for increased international engagement. These findings underscore the importance of global collaboration in advancing neutrino and dark matter research and the need for continued investment in international collaborations and infrastructure.

Conclusion: In conclusion, this study provides an overview of research developments in neutrino and dark matter studies. Using bibliometric analysis and co-occurrence mapping, key trends, emerging topics, and patterns of international collaboration have been identified. These findings not only clarify the current state of research but also suggest valuable directions for future studies that could help us better understand the mysteries of the universe. The results highlight the importance of interdisciplinary approaches, international collaboration, and ongoing investment in research infrastructure to address fundamental questions in neutrino physics and dark matter research.

Keywords:

Neutrino, Dark matter, Neutrino detection and observation, Dark matter detection, Keyword co-occurrence, Topic clusters, Scientific interactions.

محمد مهدی اتفاقی^{*2}

رضا معظمی³

**تحلیل علم‌سنجی ساختار و روندهای پژوهشی آشکارسازی نوترینو و ماده ی تاریک:
نگاشت علمی و بررسی هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها در «وب‌آوساینس»**

چکیده

هدف: این پژوهش به بررسی موضوع «آشکارسازی نوترینو و ماده ی تاریک» با رویکرد علم سنجی در ادبیات علمی می‌پردازد تا روندهای پژوهشی در حوزه مطالعاتی آشکارسازی ماده ی تاریک و نوترینو نشان داده شود.

روش‌شناسی: این پژوهش با هدف کاربردی و از نوع توصیفی است که با استفاده از تکنیک‌های علم‌سنجی (نگاشت نقشه علمی و تحلیل هم رخدادی کلیدواژه‌ها در نرم‌افزار «وس ویوئر») انجام شده است. جامعه مورد مطالعه شامل 10496 انتشار در بازه زمانی 1974-2024 از پایگاه وب‌آوساینس است.

یافته‌ها: طبق بررسی انجام شده کلیدواژه های ماده تاریک، نوترینو، نوسان نوترینو، آشکارسازها، آشکارسازهای ماده ی تاریک و آشکارسازهای نوترینو پر تکرارترین کلیدواژه های این حوزه هستند و ایالات متحده ی آمریکا، آلمان و ایتالیا به عنوان فعال ترین کشورها در این زمینه ی پژوهشی می باشند. مراسم خوتا و دن هوپر به عنوان فعال ترین نویسندگان در زمینه ی آشکارسازی نوترینو و ماده ی تاریک شناخته شدند. علاوه بر این ها، تحلیل هم رخدادی کلیدواژه ها شش خوشه ی موضوعی را نام های کهکشان ها، آشکارسازها، ابر تقارن، ماده ی تاریک، پرتوهای کیهانی و نوترینوها شکل دادند و هفت خوشه در تحلیل همکاری کشورها مشاهده گردید.

نتیجه گیری: ساختار دانشی حوزه ی آشکارسازی ماده ی تاریک و نوترینو، نقشه راهی برای آینده ی پژوهشی ایران است، چرا که در این حوزه، انتشار علمی ایران اندک و همکاری‌های بین‌المللی آن بسیار پایین است.

واژگان کلیدی: نوترینو، ماده ی تاریک، آشکارسازی و مشاهده ی نوترینو، آشکارسازی ماده ی تاریک، هم رخدادی واژگان، خوشه های موضوعی، تعاملات علمی

1. آسترات@گمیل.آی.آر
2. متتفاهی@قوم.آی.آر
3. ر.موازمی@قوم.آی.آر

دریافت: 000/00/00
پذیرش: 000/00/00

رویداد ویرایش نشده

پژوهشگر پسا دکترا و همکار علمی، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم
mettefaghi@qom.ac.ir (نویسنده ی مسئول)
astrozat@gmail.com
دانشیار گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم (نویسنده ی مسئول)
r.moazzemi@qom.ac.ir
دانشیار گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم

مقدمه و بیان مسئله

ماده‌ی تاریک¹ و نوترینوها² هر دو از عناصر کلیدی در کیهان‌شناسی و فیزیک ذرات بنیادی به شمار می‌آیند که برهم کنش‌های ضعیف آنها با ماده‌ی معمولی، چالش‌های خاصی را برای آشکارسازی و مطالعه‌ی آنها به وجود آورده است. در مدل استاندارد کیهان‌شناسی³، محتوای جرم-انرژی جهان شامل ۵ درصد ماده معمولی، ۲۶.۸ درصد ماده‌ی تاریک و ۶۸.۲ درصد نوعی انرژی به نام انرژی تاریک⁴ است. بنابراین، ماده‌ی تاریک ۸۵ درصد از کل جرم را تشکیل می‌دهد (Spergel et al., 2003). به دلیل عدم برهم کنش ماده‌ی تاریک با نیروهای شناخته شده در مدل استاندارد ذرات بنیادی از جمله نیروهای الکترومغناطیسی، فقط از طریق اثرات گرانشی آنها پی به وجودشان می‌بریم.

از سوی دیگر، نوترینوها⁵ که ذرات بنیادی و دارای بار الکتریکی صفر هستند، در فرآیندهای مختلف نجومی و هسته‌ای تولید می‌شوند. یکی از منابع اصلی تولید نوترینوها خورشید است که در آن نوترینو از طریق واکنش‌های همجوشی هسته‌ای تولید می‌شود؛ همچنین ابرنواخترها در طول انفجار مرگبار خود تعداد زیادی نوترینو آزاد می‌کنند؛ و برهم کنش پرتوهای کیهانی با جو زمین نیز باعث تولید نوترینوهای اتمسفری می‌شود. علاوه بر این، نیروگاه‌های هسته‌ای و شتاب‌دهنده‌های ذرات نیز از منابع تولید نوترینو به شمار می‌روند. نوترینوها برای درک فیزیک ذرات بنیادی و ساختار جهان اهمیت بالایی دارند، زیرا می‌توانند با کمترین میزان برهم کنش با ماده‌ی معمولی، از آن عبور کنند. در عین حال این برهم کنش بسیار ضعیف نوترینوها با ماده‌ی معمولی، هنگام آشکارسازی و شمارش، بروز چالش‌های مشابهی با آشکارسازی ماده‌ی تاریک را همراه دارد (Undagoitia, & Rauch, 2015).

حوزه‌ی پژوهشی آشکارسازی ماده‌ی تاریک و نوترینو دارای ابعاد مختلفی است، بنابراین، شناخت کامل آن می‌تواند در شناسایی خلاهای پژوهشی و طراحی پژوهش‌های مفیدتر کمک کند. متخصصان علم سنجی و علوم رایانه با ترکیب ابزارهای مصورسازی، شاخص‌ها و روش‌های علم سنجی، تلاش کرده‌اند تا تصویری کامل و همه‌جانبه از حوزه‌های مختلف علمی ارائه داده و نقشه‌های علمی مربوطه را ترسیم کنند (رمضانی و همکاران، 1393). نگاشت نقشه‌ی علمی، یک حوزه‌ی بین رشته‌ای محسوب می‌شود که از ابزارهای آماری، علوم رایانه، الگوریتم‌های هوش مصنوعی و گرافیک کامپیوتری برای تجسم و تحلیل ساختار و پویایی دانش در زمینه‌های پژوهشی مختلف بهره می‌برد (سعد آبادی و همکاران، 1399). این روش‌ها این امکان را فراهم می‌سازند تا بینش‌هایی درباره‌ی پیشرفت، تاریخچه و همگرایی جامعه‌ی علمی به دست آید و در عین حال، اطلاعات ارزشمندی در اختیار علاقه‌مندان به تحولات علمی قرار گیرد. فرایند نگاشت نقشه علمی به طور معمول شامل تحلیل انتشار علمی و رخدادی واژگانی است.

در واقع در این مقاله با بررسی روابط متقابل میان پژوهش‌های مربوط به آشکارسازی نوترینو و ماده‌ی تاریک با استفاده از داده‌های موجود در پایگاه "وب آو ساینس" و تحلیل نقشه‌های به دست آمده از این داده‌ها در نرم افزار "وس ویوئر"⁶، روندهای موجود در ادبیات علمی مرتبط ارزیابی خواهد شد. بر این اساس، این پژوهش در پی پاسخ به این پرسش است که بر اساس تحلیل هم رخدادی واژگانی در پایگاه داده‌ی وب آو ساینس⁷، خوشه‌های موضوعی مرتبط با آشکارسازی نوترینو و ماده‌ی تاریک چگونه هستند؟

پرسش‌های پژوهش/فرضیه‌های پژوهش

¹ Dark matter

² Neutrinos

³ Λ CDM

⁴ Dark energy

⁵ Neutrino

⁶ VOSviewer

⁷ Web of Science

تحلیل علم‌سنجی ساختار و روندهای پژوهشی آشکارسازی نوترینو و ماده ی تاریک: نگاشت علمی و بررسی هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها در «وب‌آوساینس»

1. توزیع فراوانی کلیدواژه‌های انتشار علمی تولید شده در پایگاه وب آو ساینس در حوزه ی آشکارسازی نوترینو و ماده ی تاریک چگونه است؟
2. ویژگی انتشار علمی تولید شده در حوزه ی آشکارسازی نوترینو و ماده ی تاریک در پایگاه "وب آو ساینس" از جنبه های مختلف مانند تعداد زبان، کشورها، مؤسسات و پژوهشگران مشارکت کننده، حوزه های پژوهشی، نشریات و کلید واژه‌ها چگونه است؟
3. تحلیل علم سنجی در پایگاه وب آو ساینس در حوزه ی آشکارسازی نوترینو و ماده ی تاریک موجب شکل گیری چه خوشه ها و موضوع هایی شده است؟
4. سیر زمانی موضوع‌ها و موضوع‌های داغ در انتشار علمی تولید شده در زمینه ی آشکارسازی نوترینو و ماده تاریک در پایگاه وب آو ساینس چگونه است؟
5. همکاری کشورها در حوزه ی آشکارسازی نوترینو و ماده ی تاریک بر اساس داده‌ها در پایگاه وب آو ساینس چگونه بوده است؟

چارچوب نظری

از آنجایی که نقشه‌های علمی، وظیفه‌ی هدایت و بازیابی دانش را بر عهده دارند و امکان مصورسازی یافته‌های علمی را فراهم می‌کنند (زندى روان و همکاران، ۱۳۹۵) و از سوی دیگر، پیشرفت علمی در هر موضوعی زمانی محقق می‌شود که مطالعات بر اساس یافته‌های پژوهش‌های پیشین انجام گیرد (Paul et al., 2020)، بنابراین، جمع‌آوری و تحلیل پژوهش‌های گذشته یکی از اقدامات کلیدی در توسعه‌ی علمی به شمار می‌رود. آگاهی از روند تکامل مقالات مرتبط با مفاهیم آشکارسازی نوترینو و ماده‌ی تاریک نیز از این منظر حائز اهمیت است و می‌تواند میزان پیشرفت دانش در بخش‌های مختلف این حوزه را نمایان کند. مطالعات علم سنجی به شناسایی گرایش‌های اصلی انتشار علمی در حوزه‌ی مورد بررسی کمک می‌کند و به محققان این امکان را می‌دهد تا بینش‌هایی درباره‌ی ساختار علمی، نقشه‌ی تحقیقاتی، شبکه‌های اجتماعی و علایق موضوعی آن حوزه ارائه دهند (Camón et al., 2020). یکی از روش‌های مهم در پژوهش‌های علم‌سنجی، تحلیل هم‌رخدادی واژگانی است که به عنوان یکی از شیوه‌های تحلیل محتوا شناخته می‌شود (احمدی و عصاره، 1396). این روش به بررسی فراوانی و هم‌رخدادی واژگان کلیدی در مجموعه‌ای از انتشار علمی می‌پردازد. تحلیل هم‌رخدادی واژگانی با نگاشت نقشه‌های علمی و خوشه‌بندی حوزه‌های مختلف یک موضوع تحقیقاتی، به ارائه‌ی تصویری کلی از موضوع مورد پژوهش کمک می‌کند (اکبری جاوید و غفاری، 1402) و ابزاری قدرتمند برای کشف و توصیف تعامل میان موضوعات مختلف در پژوهش‌های علمی است. همچنین، این روش با ارائه‌ی خوشه‌های موضوعی نوظهور و توسعه یافته، مسیر را برای پژوهش‌های آینده روشن می‌سازد (آموسی و همکاران، 1403) برای دسته‌بندی و ترسیم نقشه‌های علمی، روش‌های متنوعی مانند تجزیه‌ی بردار ویژه، تحلیل عاملی، مقیاس‌بندی چند بعدی، تحلیل معنایی نهفته، تحلیل خوشه‌ای و مثلث‌بندی وجود دارد (دانش و نعمت‌اللهی، 1398). این پژوهش با رویکرد تحلیل خوشه‌ای، به بررسی هم‌رخدادی واژگانی در دو بخش کلیدواژه‌ها و همکاری کشورها در مقالات می‌پردازد. این خوشه‌ها نشان‌دهنده‌ی موضوعات یا حوزه‌های پژوهشی خاصی هستند که پژوهشگران به آن‌ها پرداخته‌اند. در تحلیل هم‌رخدادی واژگانی، خوشه‌بندی کشورها می‌تواند نشان دهد که کدام کشورها در چه موضوعاتی بیشترین فعالیت را داشته‌اند. این نوع تحلیل به شناسایی کشورهای پیشرو در حوزه‌های خاص و همچنین درک همکاری‌های بین‌المللی کمک می‌کند (Hosseini et al., 2025). نرم‌افزارهایی مانند وس ویونر می‌توانند به صورت خودکار خوشه‌های مرتبط را شناسایی و ترسیم کنند (Van Eck & Waltman, 2010).

پیشینه پژوهش

فیزیک نوترینو و ماده ی تاریک دو موضوع مهم پژوهشی در حوزه ی فیزیک ذرات بنیادی و کیهان شناسی هستند. در مورد نوترینوها، همه‌ی ویژگی‌های آن‌ها به غیر از بزرگی جرمشان، از لحاظ تجربی شناخته شده است. اما در مورد ماده ی تاریک از لحاظ تجربی فقط اثرات گرانشی آن‌ها تأیید شده است و سایر ویژگی‌ها و برهم کنش آن همچنان مورد بحث است (Navas et al., 2024). اما این دو موضوع از بعضی جنبه‌ها با

یکدیگر مشابه هستند و تحقیقات صورت گرفته برای یکی از آن ها می تواند برای دیگری قابل کاربرد باشد. به ویژه از لحاظ تجربی بعضی از آزمایش های نوترینو ها و ماده ی تاریک، ساز و کار یکسان دارند.

فرآیند آشکارسازی نوترینو غالباً در آشکارسازهای بزرگ زیرزمینی پر از آب یا یخ مانند سوپر-کامیونکند در ژاپن (Fukuda et al., 2003) و رصدخانه ی نوترینوی آیسکیوب در قطب جنوب (Halzen & Klein, 2010) مشاهده می شود. در این آزمایش ها هنگامی که یک نوترینو با انرژی کافی با محیط آشکارساز برهم کنش انجام می دهد، لبتون باردار همیوگ آن تولید می شود و با سرعتی بیش از سرعت نور در محیط حرکت می کند و در نتیجه تابشی موسوم به تابش چرنکوف خواهد داشت. این تابش ها توسط لامپ های تکثیرگر فوتون¹ آشکار می شوند. اما برای نوترینو نوع دیگری از برهم کنش وجود دارد که در طی آن نوترینو به ذره ی دیگری تبدیل نمی شود و همان نوترینو باقی می ماند، اما کسری از انرژی و تکانه ی خود را را به ذره ی هدف منتقل می کند. در صورتی که انرژی یا تکانه ی پس زنی ذره ی هدف قابل اندازه گیری باشد، می توانیم نوترینو را از این طریق آشکارسازی نماییم (Bellerive et al., 2016). البته به طور عادی سطح مقطع پراکندگی که به نحوی نمایانگر احتمال رخداد پراکندگی است، در برهم کنش های اولی نسبت به دومی بزرگتر است. بنابراین غالباً آشکارسازهای نوترینو معمولاً، بر مبنای روش اول یعنی اندازه گیری تابش چرنکوف کار می کنند.

در سال 1974 فریدمن² نشان داد که اگر پراکندگی از طریق برهم کنش نوع دوم به صورت هموس³ با هسته انجام شود، سطح مقطع پراکندگی متناسب با مجذور تعداد نوترون های داخل هسته ی هدف بزرگ می شود (Freedman, 1974). با توجه به تقویتی که در سطح مقطع پراکندگی نوترینو از روی هسته به واسطه ی هموس بودن رخ می دهد، این امکان برای پژوهشگران فراهم می شود که آشکارسازهای بهینه تری برای نوترینو بسازند و در آینده ی نزدیک نوترینو ها را به استفاده های کاربردی نزدیک تر کنند. مسأله ای که در این میان وجود دارد این است که برای این که پراکندگی به صورت هموس انجام شود باید انرژی پس زنی وارد شده به هسته آنقدر کوچک باشد که معکوس تکانه ی متناظر بزرگتر از شعاع هسته شود. از این رو به علت عدم موفقیت در اندازه گیری انرژی پس زنی بسیار کوچک هسته، این فرآیند که پراکندگی هموس و کشسان نوترینو و هسته یا سونس⁴ نامیده می شود تا سال 2017 میلادی به صورت تجربی اندازه گیری نشد. آزمایش کوهرنت⁵ در سال 2017 اندازه گیری سونس را با دقت 7.6 سیگما گزارش کرد (Akimov et al., 2017).

از سوی دیگر، همان طور که پیش تر نیز اشاره شد، به علت برهم کنش بسیار ضعیف ماده ی تاریک با ماده ی مرئی، به جز اثرات گرانشی هیچ مدرک تجربی قطعی برای ماده ی تاریک وجود ندارد و از این رو ماهیت آن تا کنون برای فیزیکدانان ناشناخته باقی مانده است. آشکارسازی ماده ی تاریک از طریق اندازه گیری انرژی پس زنی از هسته ی هدف انجام می شود که مشابه رهیافت دوم آشکارسازی نوترینو می باشد. ولی این رویداد هم مشابه رویداد ناشی از نوترینو، نادر است. از این رو برای آشکارسازی نوترینو ها و ماده ی تاریک لازم است فناوری و تکنیک های تحلیلی پیشرفته ای جهت تفکیک سیگنال های نادر در میان نویز پس زمینه به کار گرفته شود. مشابهت آشکارسازی ماده ی تاریک و نوترینو به نحوی است که برای ثبت رویدادهای ماده ی تاریک باید سهم برهم کنش های احتمالی نوترینو موسوم به کف نوترینو⁶ از آن کم شود (Boehm et al., 2019). با وجود این که پژوهش های صورت گرفته بر روی ماده ی تاریک و نوترینو از نظر مطالب ذکر شده با یکدیگر ارتباط مستقیم دارند، ولی تا آن جایی که نویسندگان این مقاله اطلاع دارند، تا کنون هیچ کار پژوهشی با رویکرد علم سنجی و بررسی هم رخدادی واژگان در این زمینه انجام نشده است.

مطالعات علم سنجی در یک زمینه ی خاص، روند سیر تحول علمی در آن زمینه را نشان می دهد. از این رو نتایج حاصل از این گونه مطالعات می تواند برای تعیین سیاست های علمی کشورها موثر باشد. به عنوان مثال در کشور کلمبیا با یک مطالعه علم سنجی، روند رشد علم نجوم در این کشور مورد بررسی قرار گرفته

¹ Photomultiplier tube (PMT)

² Freedman

³ Coherent

⁴ Coherent elastic neutrino nucleus scattering, CEvNS

⁵ COHERENT

⁶ neutrino floor

تحلیل علم‌سنجی ساختار و روندهای پژوهشی آشکارسازی نوترینو و ماده ی تاریک: نگاشت علمی و بررسی هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها در «وب‌آوساینس»

است (Guevara-Montoya et al., 2024). به عنوان نمونه دیگر، برای بررسی چگونگی روند پژوهش در زمینه‌ی انرژی هسته‌ای یک مطالعه علم‌سنجی با استفاده از اسناد منتشر شده از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ در پایگاه داده وب آو ساینس انجام شده است (Obregon et al., 2019). در این مقاله، جامعه انتخاب شده شامل ۲۵۴۵ انتشار می‌شود و شاخص‌هایی مانند تعداد انتشارات بر اساس کشورها، مؤسسات، نویسندگان، کلمات کلیدی اصلی گزارش شده و مقالات با بیشترین استناد شناسایی شده‌اند. همچنین در مرجع (Costa et al., 2024)، برای تعیین بهرهوری جامع علمی در زمینه‌ی انرژی هسته‌ای، در یک مطالعه‌ی علم‌سنجی دیگر از پایگاه داده وب آو ساینس از سال ۱۹۶۸ تا ۲۰۲۱ انجام شده است. هدف اصلی این مطالعه ارزیابی و ترسیم الگوهای تکاملی تحقیقات در حوزه انرژی هسته‌ای است و از این طریق سعی می‌شود بینش‌هایی که به طور بالقوه تلاش‌های آینده را شکل می‌دهند، ارائه شود.

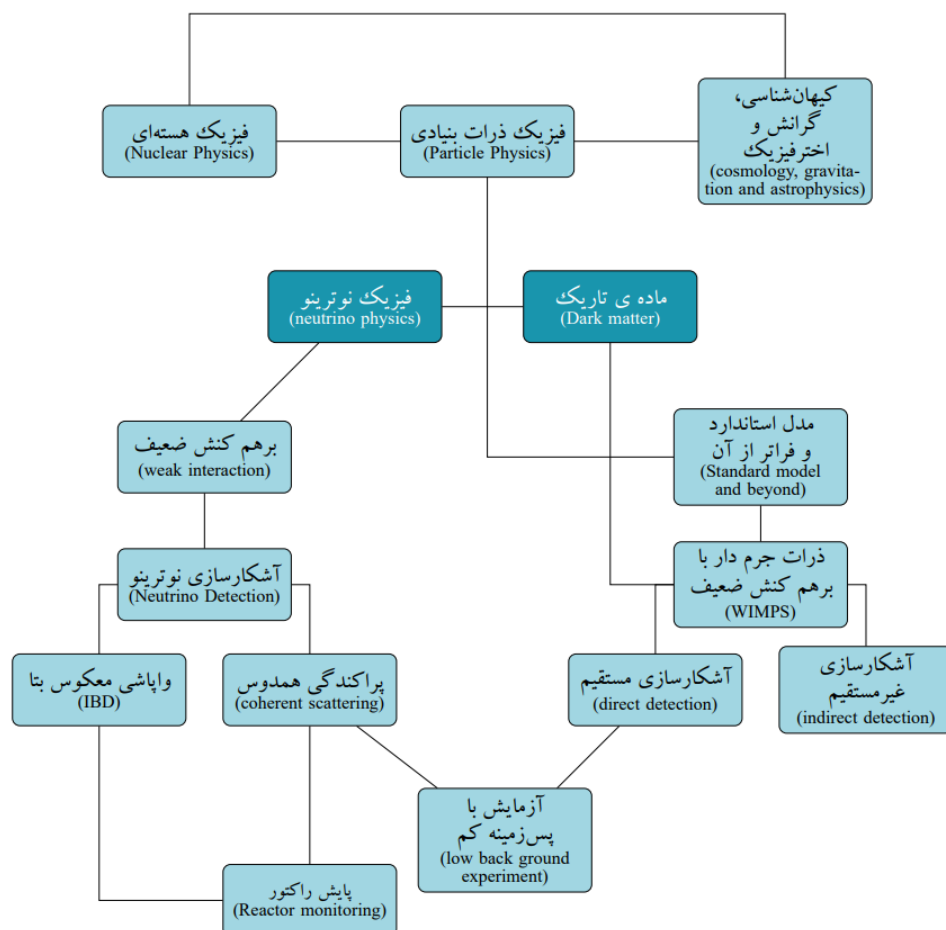
اما در بررسی پیشینه، پژوهش‌هایی هم مشاهده می‌شود که نقاط اشتراکی از لحاظ کلید واژه و موضوع با کار ما دارند. به عنوان مثال استفاده از سوسوزن‌ها یکی از روش‌های متداول برای اندازه گیری انرژی پس‌زنی در آشکارسازهای نوترینو و ماده تاریک است. مرجع (Ardiansyah et al., 2024) یک تحلیل علم‌سنجی جامع برای درک روند تکامل تکنولوژی سوسوزن‌ها از سال ۲۰۱۴ تا ۴ ژوئیه ۲۰۲۳، با استفاده از داده‌های اسکوپوس ارائه می‌دهد. این مطالعه به جنبه‌های حیاتی، مانند رشد انتشار در این زمینه در طول زمان، مشارکت‌های انجام شده توسط کشورهای مختلف و شبکه‌های همکاری آنها، مجلات برتر منتشر کننده مقالات مرتبط با سوسوزن‌ها، اسناد پر استناد مورد استفاده به عنوان مرجع و روند تحقیقات در دوره‌های خاص می‌پردازد. نتایج نشان می‌دهد که تحقیقات در مورد سوسوزن‌ها از سال ۲۰۱۴ محبوب بوده است و سالانه حداقل ۲۰ مقاله منتشر می‌شود. ایالات متحده، چین، فرانسه و ایتالیا بیشترین مقالات را منتشر کرده‌اند، اما لیتوانی، روسیه، هند و چین اخیراً فعال‌ترین بوده‌اند. همچنین در زمینه‌ی فیزیک نوترینو نیز یک کار پژوهشی با رویکرد علم‌سنجی انجام شده است (Kumar, 2018). در این مطالعه، نویسندگان با استفاده از رویکرد علم‌سنجی روند پیشرفت علمی در حوزه ی نوترینو را مورد بررسی قرار داده است ولی ماده تاریک و اشتراک‌های آن با نوترینو مورد توجه قرار نداده است. در مرجع (Sagar et al., 2013) رویکرد علم‌سنجی در زمینه‌ی انرژی تاریک (انرژی تاریک و ماده تاریک دو مفهوم کاملاً مجزا در فیزیک هستند) به کار برده شده است. اما همان گونه که گفته شد هدف این پژوهش بررسی ارتباط مطالعات آزمایشگاهی در حوزه ماده تاریک و نوترینو با استفاده از رویکرد علم‌سنجی است که مستقل از این سه مرجع اخیر است.

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش با هدف بررسی و ارزیابی انتشار علمی مرتبط با آشکارسازی نوترینو و ماده‌ی تاریک با رویکرد علم‌سنجی، در چارچوب یک پژوهش توصیفی و با استفاده از نرم افزار وس ویوئر انجام شده است. علم‌سنجی به عنوان یکی از شاخه‌های علم اطلاعات، به مطالعه‌ی کمی تولید، توزیع و استفاده از اطلاعات علمی می‌پردازد و ابزارهایی را برای تحلیل ارتباط‌های علمی و روندهای پژوهشی فراهم می‌کند (سعد آبادی و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین شاخص‌های علم‌سنجی ابزارهایی ضروری برای ارزیابی وضعیت کنونی و سنجش پیشرفت‌های یک حوزه‌ی پژوهشی خاص در جامعه‌ی علمی هستند (Macias-Chapula, 1998). این پژوهش با رویکرد کاربردی و با استفاده از روش‌های مرسوم در علم‌سنجی، به ویژه تحلیل هم‌رخدادی واژگانی، به بررسی ساختار و پویایی دانش در حوزه‌ی مورد نظر پرداخته است. داده‌های این پژوهش پایگاه استنادی "وب آو ساینس"^۱ استخراج شده‌اند. این پایگاه به عنوان یکی از معتبرترین پایگاه‌های نمایه‌ای جهانی، پوشش گسترده ای را از انتشار علمی معتبر در حوزه‌های مختلف پژوهشی ارائه می‌دهد. از آن جایی که اولین بار پیشنهاد بررسی پراکندگی همدوس در آشکارسازی نوترینو در سال ۱۹۷۴ انتشار یافته است (Freedman, 1974)، بازه‌ی زمانی مورد بررسی از سال ۱۹۷۴ تا ۲۰۲۴ در نظر گرفته شده است تا روند تکامل پژوهش‌ها در این بازه‌ی پنجاه ساله تحلیل شود. انتخاب این پایگاه به دلیل شاخص‌های اعتبار سنجی بالا، پوشش گسترده‌ی موضوعی

¹ Web of Science

و استنادهای معتبر آن است که آن را به عنوان نماینده‌ای قابل اعتماد از انتشار علمی در سطح جهانی مطرح می‌کند. این پایگاه به عنوان یکی از منابع اصلی در مطالعات علم‌سنجی، امکان تحلیل‌های کمی و کیفی را در حوزه‌های مختلف پژوهشی فراهم می‌کند (Mongeon, & Paul-Hus, 2016).



شکل 1. نمودار درختی

برای یافتن بهترین کلمات کلیدی جهت جستجو و مشخص نمودن مفاهیم مرتبط، والد و فرزند، همان طور که در شکل 1 نشان داده شده است، ابتدا ارتباط میان شاخه‌های پژوهشی مختلف به صورت درختی ترسیم گردیده است. سپس، عبارات جستجو بر اساس اصطلاح نامه ی موجود انجمن فیزیک آمریکا¹، با در نظر گرفتن این نمودار درختی و نظر متخصصان و بررسی کلیدواژه های اختصاص داده شده به انتشار علمی در این حوزه تنظیم شده‌اند. جستجو در تمامی حیطه‌ها شامل عنوان مقاله، کلیدواژه‌ها و چکیده بوده است.

مهمترین وجه اشتراک ماده ی تاریک و نوترینو که در این مطالعه مورد توجه قرار گرفته است، نحوه ی آشکار سازی آن‌ها از طریق پراکندگی هم‌دوس می باشد. برای مشاهده ی این پراکندگی، لازم است انرژی بسیار کم پس زنی هسته اندازه گیری شود. از سوی دیگر، عوامل مختلف محیطی سیگنال های مشابه با سیگنال مورد نظر ایجاد می‌کنند که به آن ها پس زمینه گفته می‌شود. بنابراین، لازم است با تدابیر مناسب، پس زمینه در حد فوق کم پایین آورده شود (Formaggio & Martoff, 2004). با در نظر گرفتن این موارد، در نهایت جستار مورد نظر انتخاب گردید که نتیجه ی جستجو در تاریخ 10 آذرماه سال 1403 شمسی بیان گر 10496 انتشار

¹ American physical society (APS)

تحلیل علم‌سنجی ساختار و روندهای پژوهشی آشکارسازی نوترینو و ماده‌ی تاریک: نگاشت علمی و بررسی هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها در «وب‌آوساینس»

علمی در این پایگاه استنادی می‌باشد. جستجوی جامع در پایگاه داده "وب آو ساینس" با استفاده از جستار زیر انجام گرفته است.

(((((ALL=(coherent scattering)

OR ALL=(low background experiment)

OR ALL=(direct detection) OR ALL=(neutrino detection))))

AND(ALL=(neutrino)) OR ALL=(dark matter))

AND (ALL=(dark matter detection)) OR ALL=(neutrino detection))))))

راهردهای جستجو در پایگاه مجموعه‌ی هسته¹ "وب آو ساینس" و مراحل رسیدن به جامعه‌ی آماری پژوهش در شکل 2 نشان داده شده است.



شکل 2. فرآیند رسیدن به جامعه‌ی آماری پژوهش

نتایج جستجو در فرمت متن ساده² ذخیره گردیده است. برای ترسیم نقشه‌ی علمی، تحلیل موضوع‌ها با استفاده از نرم افزار وس ویور انجام شده است. نرم افزار وس ویور یک برنامه‌ی رایانه‌ای برای تحلیل‌های علم‌سنجی و ترسیم نقشه بر پایه‌ی داده‌های شبکه‌ی نویسندگان و شبکه‌های هم‌رخدادی واژگانی است (رضایی و همکاران، ۱۴۰۳). تکنیک علم‌سنجی شامل دو بخش اساسی می‌باشد: اول تحلیل عملکرد و دوم نگاشت نقشه‌های علمی. در بخش تحلیل عملکرد به بررسی فعالیت نویسندگان، کشورها، مراکز علمی و دانشگاه‌ها و سهم هر یک در پیشبرد حوزه‌ی مورد پژوهش پرداخته می‌شود. جهت تشخیص ساختار فکری و علمی یک حوزه و بررسی روندهای آتی آن از نقشه‌های علمی استفاده می‌شود (Duntho et al., 2021). در این پژوهش از بخش کلیدواژه نمایه ساز و کشورها برای تحلیل هم‌رخدادی واژگانی استفاده شده است.

یافته‌های پژوهش

پاسخ به پرسش اول پژوهش: توزیع فراوانی و کلیدواژه‌های انتشار علمی تولید شده در زمینه‌ی آشکارسازی نوترینو و ماده‌ی تاریک در پایگاه وب آو ساینس چگونه است؟

¹ Core collection

² Plain text

واژه‌های کلیدی اهمیت بسیاری در تحلیل پیشینه‌ی نظری دارند، زیرا مفاهیم اصلی مورد استفاده‌ی نویسندگان برای ارتباط با مخاطبان است. با بررسی تمامی حیطه‌ها شامل عنوان، چکیده و واژگان کلیدی انتشار علمی مورد تحلیل و استفاده از نرم افزار ووس و یوئر با اعمال یکدست سازی موضوع ها که شامل ایجاد فایل اصطلاحنامه¹ می باشد، تعداد 10624 واژه ی کلیدی استخراج گردید که بعد از اعمال حد آستانه ی حداقل دو بار تکرار، عدد 3548 به دست می آید. در نهایت نقشه را برای 148 کلیدواژه ترسیم می شود. برخی از پر تکرارترین واژه‌های کلیدی به کار رفته در جدول ۱ آمده است.

جدول 1. فراوانی کلیدواژه های نوترینو و ماده‌ی تاریک با رویکرد آشکارسازی

ردی ف	کلیدواژه	فراوانی	ردی ف	کلیدواژه	فراوانی
1	Dark Matter	1959	4	Detectors	520
2	Neutrino	1861	5	Dark Matter Detectors	507
3	Neutrino Oscillation	749	6	Neutrino Detectors	382

پاسخ به پرسش دوم پژوهش. ویژگی انتشارات علمی تولید شده در حوزه ی آشکارسازی نوترینو و ماده‌ی تاریک در پایگاه "وب آو ساینس" از جنبه های مختلف زبان های نگارش انتشار علمی، کشورها، مؤسسات و پژوهشگران مشارکت کننده، حوزه های پژوهشی، نشریات و کلید واژه‌ها چگونه است؟

یافته های پژوهش نشان داد در مجموع تعداد 10496 انتشار علمی از سوی پژوهشگران در موضوع آشکارسازی نوترینو و ماده‌ی تاریک طی سال های 1974-2024 در پایگاه "وب آو ساینس" نمایه شده است. این انتشار علمی به پنج زبان دنیا منتشر شده اند که بیشترین فراوانی مربوط به زبان انگلیسی است. از سال 1990 انتشار مقالات روند رو به رشدی داشته است که در سال 2022 با 646 اثر به بیش ترین میزان رسیده است. در میان کشورهای مختلف، ایالات متحده ی آمریکا، آلمان و ایتالیا به ترتیب در رده های اول تا سوم قرار گرفته‌اند. از نظر میزان تولید آثار در میان نویسندگان، خوتا² با 52،³ با 45 و زورک⁴ با 41 انتشار علمی دارای بیشترین آثار هستند. بیشترین تعداد انتشار علمی در حوزه ی آشکارسازی ماده ی تاریک و نوترینو در مؤسسه‌ی ملی فیزیک در ایالات متحده‌ی آمریکا (با 394 انتشار علمی)، آلمان (1806 انتشار علمی)، ایتالیا (1589 انتشار علمی) منتشر شده است. جدول شماره‌ی 2 خلاصه ای از ویژگی های انتشار علمی مورد مطالعه را نشان می دهد. شایان ذکر است که طبق مطالعه ی انجام شده، ایران با داشتن 47 مدرک علمی در حوزه ی آشکارسازی ماده ی تاریک و نوترینو رتبه ی 70 را در میان کشورهای جهان به خود اختصاص داده است.

ویژگی های آثار علمی	رتبه ی نخست تعداد رکورد	رتبه ی دوم تعداد رکورد	رتبه ی سوم تعداد رکورد
سال	2022	2023	2024
	(646)	(494)	(487)
کشور	ایالات متحده‌ی	آلمان	ایتالیا

¹ Thesaurus

² Murase Khota

³ Dan Hooper

⁴ Kathryn M. Zurek

تحلیل علم‌سنجی ساختار و روندهای پژوهشی آشکارسازی نوترینو و ماده ی تاریک: نگاشت علمی و بررسی هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها در «وب‌آوساینس»

1589	1806	آمریکا	
		3984	
روسی	چینی	انگلیسی	زبان
8	23	10465	
Zurek Kathryn	Hooper Dan	Murase Khota	نویسنده
M.	45	52	
41			

جدول 2. ویژگی های انتشار علمی تولید شده در موضوع نوترینو و ماده‌ی تاریک با رویکرد آشکارسازی در پایگاه وب آو ساینس

پاسخ به پرسش سوم پژوهش. تحلیل علم سنجی در پایگاه وب آو ساینس در حوزه ی آشکارسازی نوترینو و ماده ی تاریک موجب شکل گیری چه خوشه ها و موضوع هایی شده است؟

در این پژوهش، شش خوشه از واژگان و مفاهیم کلیدی شناسایی شد که در شکل 3 به صورت مصور نمایش داده شده‌اند. در این نقشه‌ی علمی، واژه‌های پرتکرار با اندازه‌ی دایره‌های بزرگتر مشخص شده‌اند.¹ با تعیین موضوع اصلی هر خوشه، میزان هم‌رخدادی بین موضوعات مختلف با استفاده از نرم‌افزار وس ویوئر محاسبه شد. این نرم‌افزار با تحلیل داده‌ها، مشخص کرد که هر موضوع با سایر موضوعات در چند انتشار علمی به صورت مشترک حضور داشته است. در ابتدا 10624 کلیدواژه به دست آمد که با در نظر گرفتن آستانه ی تکرار² حداقل 2، 3548 کلیدواژه به دست آمد. با توجه به همپوشانی کلیدواژه‌ها، 6 خوشه ی موضوعی تشکیل شد و اعضای هر خوشه تعیین شدند.

تحلیل خوشه‌ای³ به عنوان یکی از روش‌های رایج در علم‌سنجی و علم اطلاعات، امکان گروه‌بندی موضوعات یا نویسندگان مقالات را فراهم می‌کند. این روش بر پایه‌ی تشابه‌های مفهومی یا ساختاری عمل می‌کند، به طوری که اعضای داخل هر خوشه از نظر ویژگی‌های مورد بررسی (مانند کلیدواژه‌ها یا حوزه‌های پژوهشی) شباهت زیادی به یکدیگر دارند. این رویکرد به درک ساختار دانش و شناسایی الگوهای پژوهشی در حوزه‌های مختلف کمک می‌کند و ابزاری کارآمد برای تحلیل شبکه‌های علمی و نگاشت نقشه‌های مفهومی است (Van Eck & Waltman, 2017). برای ارائه‌ی تحلیل عمیق‌تر و شناسایی خوشه های موضوعی، جدول 3، زیر حوزه های موضوعی انتشار علمی تولید شده در موضوع آشکارسازی نوترینو و ماده‌ی تاریک را در پایگاه وب آو ساینس نشان می‌دهد.

جدول 3. مفاهیم و خوشه های حاصل از تحلیل هم رخدادی واژگانی موضوع نوترینو و ماده‌ی تاریک با رویکرد آشکارسازی

خوشه ها	کلیدواژه ها
خوشه ی 1 (رنگ قرمز) کاهشان ها 43 کلیدواژه قدرت کلی پیوند: 16445	Galaxies, milky way, gravitational waves, gravitational lensing, halo, digital sky survey, backgrounds, dark energy, large scale 3-point-structure of the universe, gamma rays, supernova, correlation-function, accretion disk, acoustic detection, astroparticle physics, backgrounds, black holes, cold dark matter, cosmology, dark-matter haloes, early universe particle physics, fermi observations, gravity, high energy astrophysics, high-energy neutrino, high red shift, instrumentation: detectors, kamiokande, methods: data analysis, methods: numerical, methods: observational, methods: statistical, neutron, nucleosynthesis, power spectrum, relativistic jets, small scale structure, sn 1987a, stars, supernovae, telescopes, tev, x-ray, xmm-newton observations
خوشه ی 2 (رنگ سبز) آشکارسازها	Detectors, neutrino detectors, dark matter detectors, liquid scintillator, double beta decay detectors, icecube, cryogenics, Juno, Antares, apds, axions, bolometers, Cherenkov detectors,

¹ برای جزئیات به دستنامه وس ویوئر واقع در لینک زیر مراجعه کنید:

https://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.19.pdf

² Threshold

³ Cluster Analysis

cmos imagers, cryogenic detectors, data acquisition, detector design and construction technologies and materials, double-beta decay, ebccds, emccds, g-apds, km3net, neutron detectors (cold, thermal, fast neutrons), noble liquid detectors (scintillation, ionization, double-phase), photon detectors for uv, photon detectors for uv, visible and ir photons (vacuum) (photomultipliers, hpds, others), pmt, scintillators, si-pmts, time projection chambers, visible and ir photons (solid-state), visible and ir photons (solid-state) (pin diodes)

33 کلیدواژه
قدرت کلی پیوند: 7315

Supersymmetry, beyond the standard model, particle physics, large hadron collider, cosmology of the model beyond the sm, atlas detector, baryogenesis, bosons, cp conservation, effective field theories, gauge-theories, grand unification, higgs physics, leptogenesis, neutralino, particle physics-cosmology connection, probe wampobservations, proton stability, qcd, relic density, squark decays, standard model, string theory, supergravity, symmetry

خوشه‌ی 3
(رنگ آبی)
ابرتقارن
25 کلیدواژه
قدرت کلی پیوند: 11417

Dark matter, WIMPs, direct detection, nuclear recoils, annual modulation, Gran-Sasso, Dama/Libra, germanium detectors, NaI(Tl), indirect detection, Geant 4, coherent scattering, 730 kg days, ar-39, cdms, interacting massive particles, interaction cross section, phonons

خوشه‌ی 4
(رنگ زرد)
ماده‌ی تاریک
18 کلیدواژه
قدرت کلی پیوند: 9111

Cosmic rays, radio detection, air showers, spectrum, directional detection, antarctica, coherent radio emission, electrons, high energy neutrinos, monte-carlo observatory, neutrinos, pierre auger observatory, ray air-showers, uhe, uhe neutrino detection

خوشه‌ی 5
(رنگ بنفش)
پرتوهای کیهانی
15 کلیدواژه
قدرت کلی پیوند: 5045

Neutrinos, neutrino oscillations, solar neutrinos, borexino, Superkamiokande, Kamland, reactor, cp violation, gadolinium, gallex, neutrons, rotation curves, solar neutrinos

خوشه‌ی 6
(رنگ آبی فیروزه‌ای)
نوترینوها
14 کلیدواژه
قدرت کلی پیوند: 7365

تحلیل یافته‌های مربوط به هم رخدادی واژگانی منجر به شکل‌گیری شش خوشه‌ی موضوعی شده است. این نقشه حاوی 148 واژه، 3538 پیوند و 28685 قدرت پیوند کلی است. موضوع هر خوشه به ترتیب با عناوین زیر مشخص گردید:

- خوشه‌ی اول (کهکشان‌ها): این خوشه شامل 43 واژه و با بزرگ‌ترین شبکه‌ی هم‌واژگانی مقالات کهکشان‌ها محسوب می‌شود. این خوشه در شکل 3 با رنگ قرمز قابل مشاهده است. قدرت پیوند کلی این خوشه 16445 گزارش شده است. مهم‌ترین عبارات این خوشه، کهکشان‌ها¹، سیاهچاله‌ها²، کهکشان راه شیری³، پرتوهای گاما⁴، پس زمینه‌ها⁵ هستند. این خوشه با عنوان کهکشان‌ها که پر قدرت‌ترین کلیدواژه‌های این خوشه و با قدرت پیوند کلی 1931 به شمار می‌رود، نام‌گذاری شده است.
- خوشه‌ی دوم (آشکارسازها): این خوشه با رنگ سبز در برگزیده‌ی 33 کلیدواژه است. قدرت کلی پیوند این خوشه 7315 می‌باشد. پر تکرارترین کلیدواژه‌های این خوشه عبارتند از:

¹ Galaxies

² Black holes

³ Milky way

⁴ Gamma rays

⁵ Backgrounds

تحلیل علم‌سنجی ساختار و روندهای پژوهشی آشکارسازی نوترینو و ماده ی تاریک: نگاشت علمی و بررسی هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها در «وب‌آوساینس»

آشکارسازها¹، آشکارسازهای ماده‌ی تاریک²، آشکارسازهای نوترینو³، سوسوزن ها⁴، سوسوزن مایع⁵.

- خوشه ی سوم (ابرتقارن): این خوشه با رنگ آبی و 25 کلیدواژه مشخص شده است. قدرت کلی پیوند این خوشه 11417 به دست آمده است. از پرتکرارترین واژگان این خوشه می‌توان به فیزیک ذرات بنیادی⁶، ابرتقارن⁷، فرای مدل استاندارد⁸ و کیهانشناسی نظریه های فرای مدل استاندارد⁹، اشاره نمود.
- خوشه ی چهارم (ماده ی تاریک): این خوشه با 18 کلیدواژه با رنگ زرد در شکل 3 مشخص شده است. قدرت کلی پیوند این خوشه 9111 است. مهم ترین کلیدواژه‌های تکرار شده در این خوشه عبارتند از: ماده‌ی تاریک، ویمپ¹⁰، پس زنی های هسته¹¹، پراکندگی همدوس¹²، آشکارسازهای ژرمانیوم¹³. علاوه بر این ها، این خوشه شامل نام برخی پروژه ها و آشکارسازهایی همچون گرن ساسو¹⁴، دام/لیبرا¹⁵ و نرم افزار جیانت¹⁶ می‌باشد.
- خوشه ی پنجم (پرتوهای کیهانی): این خوشه با 15 کلیدواژه با رنگ بنفش در شکل 3 مشخص شده است. عدد 5045 برای قدر کلی پیوند این خوشه محاسبه شده است. مهم ترین کلیدواژه‌های تکرار شده در این خوشه عبارتند از: پرتوهای های کیهانی، آشکارسازی رادیویی¹⁷، طیف ها¹⁸، آشکارسازی جهتی¹⁹.

¹ Detectors

² Dark matter detectors

³ Neutrino detectors

⁴ Scintillators

⁵ Liquid scintillator

⁶ Particle physics

⁷ Supersymmetry

⁸ Beyond the standard model

⁹ cosmology of the model beyond the sm

¹⁰ WIMPs

¹¹ Nuclear recoil

¹² Coherent scattering

¹³ Germanium Detectors

¹⁴ Gran Sasso

¹⁵ DAMA/LIBRA

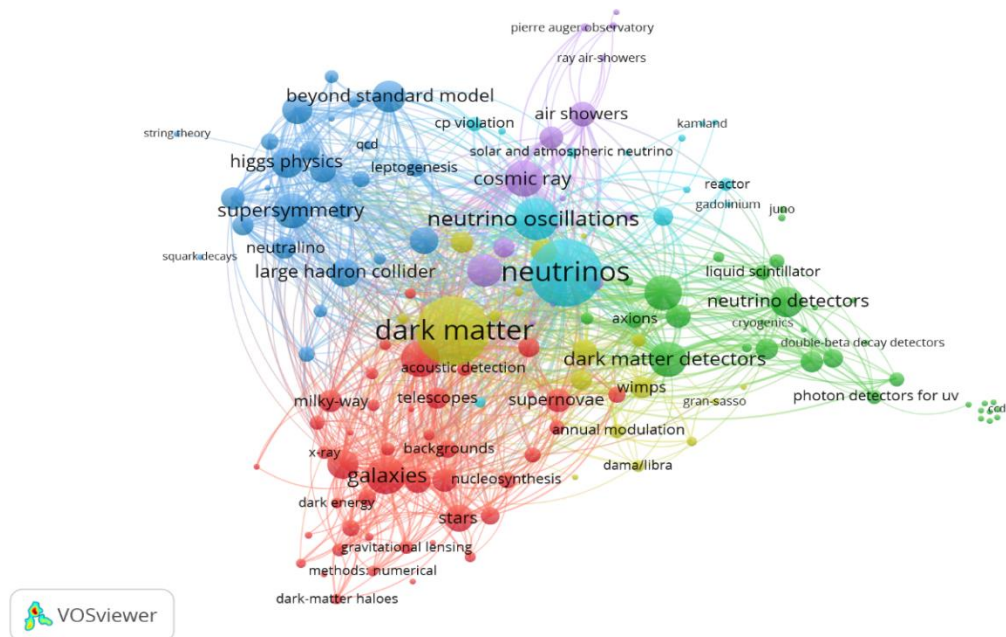
¹⁶ Geant4

¹⁷ Radio detection

¹⁸ Spectrum

¹⁹ Directional detection

- خوشه ی ششم (نوترینوها): این خوشه با 14 کلیدواژه با رنگ آبی فیروزه ای در شکل 3 مشخص شده است. قدرت کلی پیوند این خوشه 7365 ذکر شده است. مهمترین کلیدواژه های تکرار شده در این خوشه عبارت است از: نوترینوها¹، نوسانات نوترینو²، راکتور³. همچنین در این خوشه نام آشکارسازهای مهم نوترینو مانند گلکس⁴، کملند⁵ و سوپرکامیوکنده⁶ به چشم می خورد.



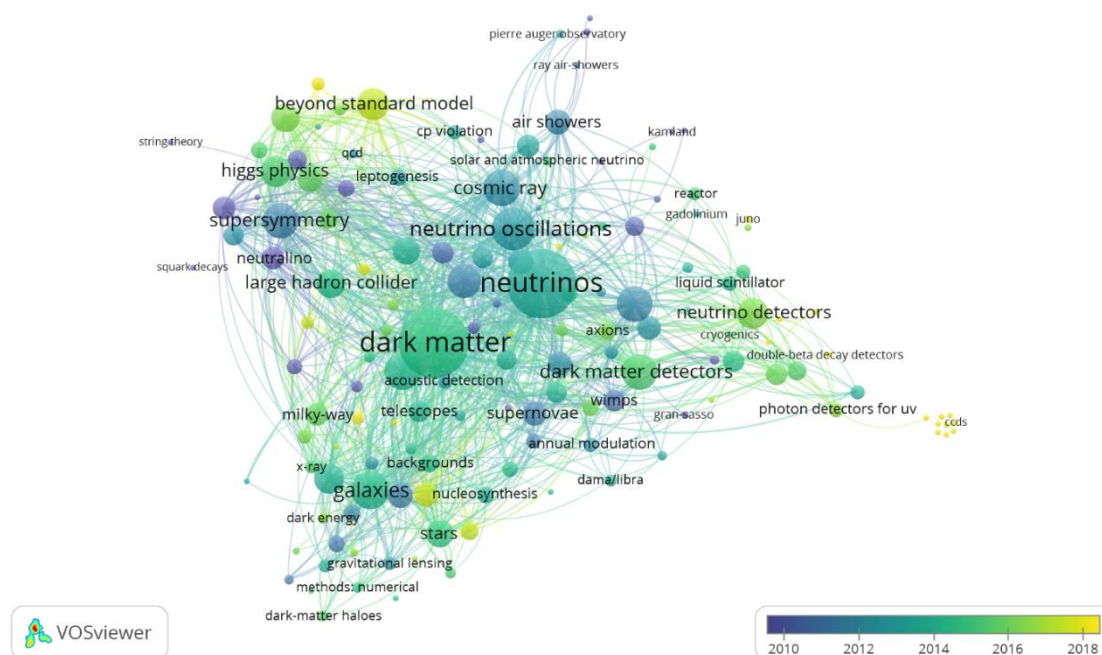
شکل 3. نقشه ی هم واژگانی مقالات با موضوع آشکارسازی نوترینو و ماده ی تاریک در سال های 1974-2024

پاسخ به پرسش چهارم پژوهش. سیر زمانی موضوع ها و موضوع های داغ در انتشار علمی تولید شده در زمینه ی آشکارسازی نوترینو و ماده ی تاریک در پایگاه وب آو ساینس چگونه است؟

¹ Neutrinos
² Neutrino oscillations
³ Reactor
⁴ GALLEX
⁵ KamLAND
⁶ Super-Kamiokande

تحلیل علم‌سنجی ساختار و روندهای پژوهشی آشکارسازی نوترینو و ماده‌ی تاریک: نگاشت علمی و بررسی هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها در «وب‌آوساینس»

شکل 4 نقشه‌ی لایه‌ای¹ شبکه‌ی هم‌رخدادی² در این حوزه را بر اساس شاخص زمان³ نشان می‌دهد. تصویر نمایشی از وضعیت لایه‌ای⁴ همانند تصویر شبکه‌ای⁵ است، با این تفاوت که موارد در آن به رنگ‌های متفاوت نمایش داده می‌شوند. در اینجا از روش پیش فرض موجود در نرم افزار وس ویوئر برای رنگ‌آمیزی موارد در نمای لایه‌ای استفاده شده است. بر اساس این پیش فرض رنگ هر مورد بر اساس نمره‌ی آن تعیین می‌شود. به طور پیش فرض، رنگ‌ها از آبی (کم‌ترین نمره) به سبز و سپس زرد (بیشترین نمره) تغییر می‌کنند⁶. از این رو با توجه به طیف رنگی موجود در نوار پایین شکل 4، این نقشه سال‌های ثبت انتشار علمی و روند ظهور زمانی موضوعات مرتبط با زمینه‌ی آشکارسازی نوترینو و ماده‌ی تاریک به تصویر می‌کشد. همان گونه که در این نقشه ملاحظه می‌شود نوترینو نسبت به ماده تاریک بیشتر به رنگ آبی میل می‌کند. در نتیجه داغی موضوع نوترینو نسبت به ماده تاریک در سال‌های پایین‌تر رخ داده است. از لحاظ تخصصی علت این موضوع روشن است. نوسان نوترینو در سال‌های پایین‌تر به صورت جدی مورد توجه بود و در نتیجه تعداد رخداد نوترینو



در سال‌های پایین‌تر نسبت به ماده‌ی تاریک بیشتر دیده می‌شود. اما نکته مهم‌تر از لحاظ هدف ما در این پژوهش

شکل 4. نقشه‌ی لایه‌ای شبکه‌ی هم‌واژگانی مقالات موضوع نوترینو و ماده‌ی تاریک با رویکرد آشکارسازی در سال‌های 1974-2024

آن است که موضوعاتی که به رنگ زرد (یعنی سال‌های بالاتر) میل می‌کند مربوط به نقاط مشترک نوترینو و ماده تاریک یعنی جنبه‌های تجربی آنها است. موضوعاتی همچون آشکارسازهای نوترینو با رنگ سبز روشن، آشکارسازهای ماده‌ی تاریک با رنگ سبز است. فراسوی مدل استاندارد⁷ با رنگ لیمویی (سبز متمایل به زرد) هم نقطه مشترک نوترینو و ماده‌ی تاریک است و از این لحاظ در سال‌های اخیر که پیشرفت‌های بسیار مهمی در

¹ Overlay Map

² Co-occurrence Network

³ Temporal Analysis

⁴ Overlay Visualization

⁵ Network Visualization

⁶ برای جزئیات به دستنامه وس ویوئر واقع در لینک زیر مراجعه کنید:

https://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.19.pdf

Beyond Standard Model⁷

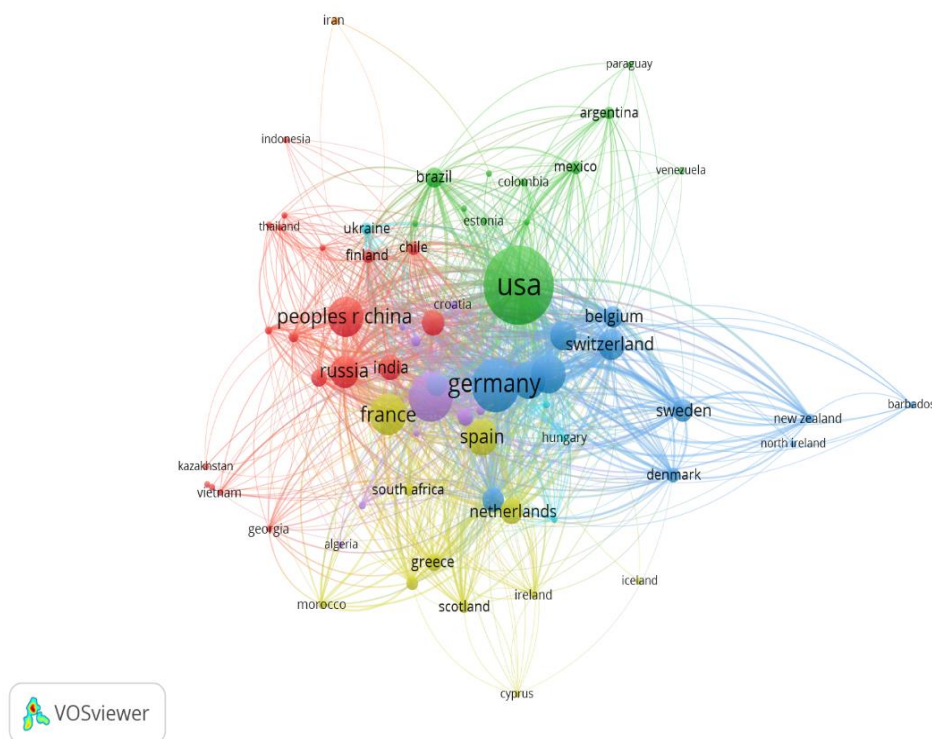
تحلیل علمسنجی ساختار و روندهای پژوهشی آشکارسازی نوترینو و ماده ی تاریک: نگاشت علمی و بررسی هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها در «وب‌آوساینس»

سطح همکاری علمی در خوشه‌ی شماره‌ی 1 (با رنگ قرمز) مشاهده می‌شود که شامل 19 کشور است و نشان دهنده‌ی یک شبکه‌ی پژوهشی قوی و گسترده در این حوزه است. در مقابل، کمترین سطح همکاری در خوشه‌ی شماره‌ی 7 دیده می‌شود که تنها شامل 1 عضو است و نشان دهنده‌ی محدودیت در تعاملات علمی این کشور با دیگر کشورهاست. اطلاعات مربوط به خوشه‌های همکاری کشورها به شرح زیر است: این تحلیل مبتنی بر داده‌های هم‌تألیفی است که از پایگاه استنادی وب‌آوساینس استخراج شده و با استفاده از نرم‌افزارهای علمسنجی مانند وس ویوئر پردازش شده‌اند. این خوشه‌بندی به درک الگوهای همکاری بین‌المللی و شناسایی کشورهای پیشرو در حوزه‌ی پژوهشی مورد مطالعه کمک می‌کند.

به طور صریح خوشه بندی کشورها از لحاظ همکاری در حوزه مورد بحث به قرار زیر است:

- خوشه ی اول با رنگ قرمز شامل ارمنستان، بلاروس، شیلی، جمهوری چک، فنلاند، گرجستان، هند، اندونزی، قزاقستان، لتونی، مالزی، پاکستان، جمهوری خلق چین، روسیه، اسلواکی، کره ی جنوبی، تایوان، تایلند و ویتنام است. تعداد انتشارات علمی در بازه ی زمانی مورد بررسی در این خوشه به ثبت رسیده است و قدرت کلی پیوند در این خوشه 9325 می باشد. کشور روسیه در این خوشه روسیه دارای بیش ترین قدرت پیوند کلی (2194) است و چین بیش ترین تعداد انتشار علمی (1029) را در این خوشه داراست. کشور بلاروس در این خوشه کمترین قدرت پیوند کلی (18) و همچنین کمترین میزان انتشار علمی (5) را به خود اختصاص داده است.
- خوشه ی دوم با رنگ سبز دارای 12 عضو شامل آرژانتین، برزیل، کلمبیا، مصر، استونی، مکزیک، پاراگوئه، پرو، عربستان سعودی، اسلوانی، ایالات متحده ی آمریکا و ونزوئلا باشد. تعداد انتشار علمی در بازه ی زمانی مورد بررسی در این خوشه به ثبت رسیده است و قدرت کلی پیوند در این خوشه 8234 می باشد. ایالات متحده ی آمریکا در این خوشه دارای بیش ترین قدرت پیوند کلی (6005) و همچنین بیش ترین تعداد انتشار علمی (3984) را داراست. کشورهای پرو و ونزوئلا در این خوشه کمترین قدرت پیوند کلی (26) و همچنین کمترین میزان انتشار علمی (به ترتیب 7 و 8) را به خود اختصاص داده اند.
- خوشه ی سوم با رنگ آبی شامل 12 عضو و شامل کشورهای استرالیا، باربادوس، بلژیک، کانادا، دانمارک، انگلستان، آلمان، ژاپن، نیوزیلند، ایرلند شمالی، سوئد و سوئیس می باشد. تعداد انتشار علمی در بازه ی زمانی مورد بررسی در این خوشه به ثبت رسیده است و قدرت کلی پیوند در این خوشه 19844 می باشد. آلمان در این خوشه دارای بیش ترین قدرت پیوند کلی (4773) و همچنین بیش ترین تعداد انتشار علمی (1806) را داراست. کشور باربادوس در این خوشه کمترین قدرت پیوند کلی (60) و همچنین کمترین میزان انتشار علمی (6) را به خود اختصاص داده است.
- خوشه ی چهارم دارای رنگ زرد و 11 عضو متشکل از قبرس، فرانسه، یونان، ایسلند، ایرلند، مراکش، هلند، رومانی، اسکاتلند، آفریقای جنوبی، اسپانیا، می باشد. تعداد انتشار علمی در بازه ی زمانی مورد بررسی در این خوشه به ثبت رسیده است و قدرت کلی پیوند در این خوشه 10876 می باشد. کشور روسیه در این خوشه فرانسه دارای بیش ترین قدرت پیوند کلی (3471) است و همچنین بیش ترین تعداد انتشار علمی (1121) را در این خوشه داراست. کشور ایسلند در این خوشه کمترین قدرت پیوند کلی (22) و کشورهای ایسلند و قبرس کمترین میزان انتشار علمی (8) را به خود اختصاص داده اند.
- خوشه ی پنجم با 9 عضو الجزایر، اتریش، بلغارستان، کرواسی، ایتالیا، پرتغال، صربستان، ترکیه و امارات در نقشه با رنگ بنفش مشخص است. تعداد انتشار علمی در بازه ی زمانی مورد بررسی در این خوشه به ثبت رسیده است و قدرت کلی پیوند در این خوشه 11049 می باشد. کشور ایتالیا در این خوشه دارای بیش ترین قدرت پیوند کلی (3922) است و همچنین بیش ترین تعداد انتشار علمی (1589) را در این خوشه داراست. کشور الجزایر در این خوشه کمترین قدرت پیوند کلی (28) و کشور عربستان کمترین میزان انتشار علمی (7) را به خود اختصاص داده است.

- خوشه ی ششم با 5 عضو شامل مجارستان، نروژ، لهستان، اوکراین و ویز انگلستان با رنگ آبی فیروزه ای مشخص است. تعداد 561 انتشار علمی در بازه ی زمانی مورد بررسی در این خوشه به ثبت رسیده است و قدرت کلی پیوند در این خوشه 2067 می باشد. کشور لهستان در این خوشه دارای بیش ترین قدرت پیوند کلی (1501) است و همچنین بیش ترین تعداد انتشار علمی (348) را در این خوشه داراست. کشور نروژ در این خوشه کمترین قدرت پیوند کلی (201) و ویز کمترین میزان انتشار علمی (27) را به خود اختصاص داده است.
- در نهایت خوشه ی هفتم با یک عضو و با رنگ نارنجی فقط شامل کشور ایران است که شامل سه همکاری با کشورهای ایالات متحده ی آمریکا، ایتالیا و فنلاند می باشد. ایران دارای قدرت پیوند کلی



شکل 6. نقشه ی همکاری کشورها در زمینه ی نوترینو و ماده ی تاریک با رویکرد آشکارسازی در پایگاه وب آو ساینس

20 و 47 انتشار علمی در بازه ی زمانی مورد نظر می باشد.

بحث و نتیجه گیری

ماده ی تاریک قسمت عمده ی ماده ی تشکیل دهنده ی عالم را تشکیل داده است و نوترینوها بعد از فوتون فراوان ترین ذرات موجود در عالم هستند. همچنین گسیل پاد نوترینوهای الکترونی از راکتورهای اتمی اجتناب ناپذیر است. از این رو پژوهش در این دو حوزه هم از لحاظ کشف مفاهیم بنیادی در فیزیک و هم از لحاظ کاربردهای استراتژیک به ویژه در حیطه ی آشکارسازی نوترینو بسیار اهمیت دارد (Christensen, et al. 2014). در همین راستا آشکارسازهای متنوعی در کشورهای مختلف برای اندازه گیری ماده ی تاریک و نوترینو طراحی شده است که به چند مورد از آن ها در بخش پیشینه ی پژوهش اشاره شده است. در این پژوهش، یک مجموعه شامل 10496 داده در بازه ی زمانی 1974-2024 از انتشارات موجود در پایگاه «وب آو ساینس»

تحلیل علم‌سنجی ساختار و روندهای پژوهشی آشکارسازی نوترینو و ماده ی تاریک: نگاشت علمی و بررسی هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها در «وب‌آوساینس»

جمع‌آوری شده است و با استفاده از آن روند پژوهش‌ها در دو حوزه ی فیزیک نوترینو و ماده تاریک و ارتباط آن‌ها به ویژه از لحاظ آشکارسازی و اندازه گیری تجربی با رویکرد علم‌سنجی مورد بررسی قرار گرفته است. از مطالعه ی علم‌سنجی و تحلیل نقشه ی علمی و خوشه های موضوعی در حوزه ی آشکارسازی نوترینو و ماده ی تاریک با استفاده از نرم افزار وس ویوئر بر اساس داده های به دست آمده از پایگاه وب آو ساینس نتایج زیر حاصل شده است:

- 1- بیشترین فراوانی انتشار علمی در این موضوع و با کلیدواژه های نوترینو، ماده ی تاریک، آشکارسازی نوترینو، آشکارسازی ماده ی تاریک، آشکارسازی مستقیم، آزمایش با پس زمینه ی اندک و پراکندگی همدوس مربوط به سال 2022 می باشد. این نشانگر آن است که این موضوع در حال حاضر داغ است و حتی با شروع به کار آزمایش‌های جدید ممکن است در آینده ی نزدیک از این هم داغ تر شود.
- 2- انتشار علمی در حوزه ی آشکارسازی نوترینو و ماده تاریک به پنج زبان زنده ی دنیا وجود دارد که اکثریت قاطع آن (99.6 درصد) به زبان انگلیسی تألیف شده است.
- 3- با تحلیل هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها، ارتباط بین موضوع‌ها در انتشار علمی تولید شده در حوزه ی آشکارسازی نوترینو و ماده ی تاریک و تأثیر گذاری آنها شناسایی شد. با این تحلیل 6 خوشه ی موضوعی شناسایی شد (شکل ۳): اولین و بزرگ‌ترین خوشه با نام "کهکشان‌ها" (رنگ قرمز) از 43 کلیدواژه تشکیل شده است. از آنجایی که ماده ی تاریک یک مسئله بسیار مهم و چالش برانگیز در کیهان‌شناسی و نجوم است (Bertone, & Hooper 2018)، این خوشه از کلید واژگان کیهان‌شناسی در ارتباط با ماده ی تاریک شکل گرفته است. خوشه ی دوم با نام آشکارسازها (رنگ سبز) از ۳۳ کلید واژه تشکیل شده است. همان‌طور که در جدول شماره ی 3 مشاهده می‌شود، قدرت پیوند 7315 برای این خوشه ثبت شده است و علاوه بر این که کلیدواژه هایی چون آشکارسازی نوترینو و آشکارسازی ماده ی تاریک در این خوشه به چشم می‌خورد، کلیدواژه‌هایی همچون 1pmt در این خوشه وجود دارد که مربوط به تجهیزات آزمایشگاهی در زمینه ی آشکارسازی نوترینو و ماده ی تاریک می باشد. این خوشه نشان می‌دهد که آشکارسازی به عنوان وجه مشترک فیزیک نوترینو و ماده ی تاریک اهمیت ویژه‌ای در انتشار علمی تولید شده دارد. اگر چه کلید واژه‌های کمتری در خوشه‌های ابرتقارن (رنگ آبی)، ماده ی تاریک (رنگ زرد)، پرتوهای کیهانی (رنگ بنفش)، نوترینوها (آبی فیروزه ای) وجود دارند ولی فراوانی واژگان این خوشه‌ها نشان دهنده ی این مهم است که این موضوع ها مباحث و عناوین پرتیر دار و کلیدی در پژوهش‌های سال‌های اخیر هستند و نویسندگان به پژوهش در این زمینه‌ها گرایش دارند. خوشه ی چهارم به طور خاص، اگر چه با عنوان ماده ی تاریک مطرح شده است ولی همان‌طور که از جدول شماره ی 3 برمی‌آید، برخی واژگان این خوشه، مانند پراکندگی همدوس از جمله نقاط مشترک فیزیک نوترینو و ماده ی تاریک محسوب می‌شوند.
- 4- نقشه ی لایه‌ای شبکه‌ای هم‌رخدادی نیز نشان می‌دهد که در مقاطع مختلف زمانی، تغییراتی در مفاهیم و واژگان مورد مطالعه انجام شده است (شکل 4 را ببینید). با نگاهی به شکل در می‌یابیم که مطالعات تا قبل از سال 2014 بیشتر بر مفاهیم پایه‌ای نوترینوهای خورشیدی، ماده ی تاریک و نوترینوها متمرکز است. در بین سال‌های 2014-2018 مطالعه در زمینه ی نقاط مشترک فیزیک نوترینو و ماده ی تاریک افزایش یافته است. از اواخر سال 2017 به بعد، مباحث جدیدتری همچون آشکارسازی همدوس نوترینو و ماده ی تاریک مورد توجه قرار گرفته است.
- 5- نقشه ی چگالی واژگان حوزه ی آشکارسازی نوترینو و ماده ی تاریک در شکل 5 نشان داده شده است. بر این اساس ماده ی تاریک و نوترینو به رنگ قرمز در آمده‌اند که طبیعی است چون این واژگان قلب این حوزه هستند (Undagoitia, & Rauch, 2015). آشکارسازی نوترینو و

آشکارسازی ماده‌ی تاریک دو ناحیه‌ی نزدیک به هم هستند که به رنگ زرد در آمده‌اند. این نقشه نیز از جنبه‌ی داغی موضوع پژوهشی، اهمیت پژوهش در این زمینه را نشان می‌دهد.

6- نقشه‌ی همکاری کشورهای نشان‌گر خوشه‌ی همکاری در زمینه‌ی آشکارسازی نوترینو و ماده‌ی تاریک است. در این شبکه کشور آمریکا دارای بیشترین قدرت پیوند کلی و همکاری در جهان است و پس از آن کشورهای آلمان و ایتالیا دارای همکاری بین المللی بیشتری نسبت به سایر کشورها هستند. در این میان تعداد انتشار علمی منتشر شده توسط ایران و تعداد همکاری‌های بین المللی آن در این موضوع جای تأمل دارد. به منظور پیشرفت بیشتر کشور در انقلاب صنعتی چهارم لازم است برای رشد علمی و انجام پروژه‌های کاربردی و عملیاتی با کیفیت و متناسب با نیازهای کشور، سیاست‌گذاری و سرمایه‌گذاری‌های علمی به گونه‌ای باشد که شرایط برای انجام فعالیت‌های علمی قوی به خصوص در زمینه‌ی علوم پایه تسهیل شود. این امر بی‌شک منجر به افزایش سهم و مشارکت ایران در پیشبرد علم در مقیاس بین المللی خواهد شد.

پیشنهادهای اجرایی پژوهش

پیشنهادهای اجرایی پژوهش

- پروژه‌های آشکارسازی نوترینو و ماده‌ی تاریک بسیار کلان هستند. از این رو انتظار اجرای چنین پروژه‌هایی در آینده‌ی نزدیک در ایران بعید به نظر می‌رسد. پیشنهاد می‌شود با فراهم کردن امکان همکاری بین پژوهشگران فعال ایرانی با پژوهشگران خارجی به ویژه پژوهشگران کشورهای مثل ایالات متحده، آمریکا، ایتالیا، آلمان، روسیه و چین که طبق بررسی صورت گرفته بیشترین انتشار علمی در این زمینه را دارند، زمینه برای انتقال تجربه‌های کسب شده در عرصه‌ی ذکر شده به کشور فراهم شود.
- با توجه نقشه‌ی چگالی کلید واژگان در شکل ۵، مشخص است توسعه‌ی آشکارسازی نوترینو و ماده‌ی تاریک در دنیا مورد توجه است. پیشنهاد می‌شود که نهادهای برنامه‌ریز و اجرایی علمی مرتبط با تعریف پروژه‌های مؤثر مانند معاونت علمی و فن‌آوری ریاست جمهوری پیش نیازهای لازم برای ساخت یک آشکارساز نوترینو یا ماده تاریک را فراهم کنند. در این صورت پژوهشگران کشور با انتشار مقالات علمی در نشریات معتبر می‌توانند به ارتقای سطح و رتبه‌ی علمی ایران در میان سایر کشورها کمک کنند. همچنین، این اقدام می‌تواند زمینه‌ساز گسترش همکاری‌های علمی و بهبود برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌ها در راستای توسعه‌ی انقلاب صنعتی چهارم باشد.

پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی

با توجه به یافته‌های پژوهش پیش رو و ضرورت توسعه‌ی پژوهش‌های موازی در زمینه‌ی تولید و همکاری‌های علمی در زمینه‌ی آشکارسازی نوترینو و ماده‌ی تاریک، پیشنهادهای زیر برای پژوهش‌های آینده ارائه می‌شود:

- تحلیل استنادها : با توجه به اهمیت استناد به انتشار علمی در اعتبار و کیفیت آن‌ها، پیشنهاد می‌شود بررسی شبکه‌های هم‌استنادی در انتشار علمی در زمینه‌ی آشکارسازی نوترینو و ماده‌ی تاریک انجام شود تا کیفیت این انتشار علمی مشخص گردد.
- کاربرد فناوری‌های آشکارسازی : همان گونه که از نتایج این پژوهش، به ویژه شکل ۵، بر می‌آید، توجه به جنبه‌های تجربی فیزیکی نوترینو و ماده تاریک در سال‌های اخیر بیشتر شده است. این نشانگر آن است که علاوه بر جنبه‌های شناختی این آزمایش‌ها در حال تبدیل شدن به فناوری هستند. از این رو پیشنهاد می‌شود یک کار پژوهشی با رویکرد علم‌سنجی دیگر جهت تبیین این موضوع انجام شود.

تحلیل علم‌سنجی ساختار و روندهای پژوهشی آشکارسازی نوترینو و ماده ی تاریک: نگاشت علمی و بررسی هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها در «وب‌آوساینس»

- تمرکز بر موضوعات نوظهور: فناوری‌های کوانتومی و هوش مصنوعی به سرعت در حال پیشرفت هستند و پیشرفت آنها، پژوهش‌ها در حوزه‌های دیگر را تحت تاثیر قرار داده است. در زمینه‌ی کاربرد این فناوری‌ها در حوزه فیزیک نوترینو و ماده‌ی تاریک، به ویژه جنبه‌های تجربی آن آثار متنوعی وجود دارد (Golwala & Figueroa-Feliciano, 2022). پیشنهاد می‌شود یک کار پژوهشی با رویکرد علم‌سنجی در حوزه تاثیر فناوری‌های نوظهور بر فیزیک نوترینو و ماده تاریک انجام شود.
- نوآوری و کارآفرینی: پژوهشگران می‌توانند به بررسی نوآوری‌ها و فرصت‌های کارآفرینی در توسعه‌ی آشکارسازی نوترینو و ماده‌ی تاریک بپردازند.

تقدیر و تشکر (Acknowledgments and Funding)

نویسندگان از داوران مقاله به دلیل نقدهای سازنده‌شان و همچنین از آقایان دکتر محمد مهدی محمدی و دکتر احمد عابدی برای پیشنهادات و راهنمایی‌های ارزشمندشان تشکر می‌نمایند. این مقاله نتیجه یک طرح پژوهشی در دانشگاه قم است.

تعارض منافع (Conflict of Interest)

نویسندگان اعلام می‌دارند که در خصوص انتشار این مقاله تضاد منافع وجود ندارد. علاوه بر این، موضوعات اخلاقی، از جمله سرقت ادبی، رضایت آگاهانه، سوء رفتار، جعل داده‌ها، انتشار و ارسال مجدد و مکرر و همچنین، سیاست مجله در قبال استفاده از هوش مصنوعی از سوی نویسندگان رعایت شده است.

فهرست منابع

- آموسی، ف.، فضلی، ص.، آراستی، ز.، و الهی، س. م. (1403). مرور نظام مند و تحلیل علم‌سنجی پژوهش‌های علمی در حوزه توسعه کارآفرینی سبز. *پژوهش نامه علم‌سنجی*، (10)1، 282-259. <https://doi.org/10.22070/rsci.2023.17194.1644>
- احمدی، ح.، و عصاره، ف. (1396). مروری بر کارکردهای تحلیل هم‌واژگانی. *مطالعات کتابداری و سازماندهی اطلاعات*، (28)1، 145-125. https://nasinfo.nlai.ir/article_1132.html
- اکبری جاوید، م.، و غفاری، س. (1402). ترسیم نقشه ی تولیدات علمی حوزه مدیریت بحران و مخاطره در پایگاه اسکوپوس 1973-2020. *پژوهش نامه علم‌سنجی*، (9)2، 384-353. <https://doi.org/10.22070/rsci.2022.15968.1569>
- دانش، ف.، و نعمت‌اللهی، ز. (1398). خوشه بندی مفاهیم و رویدادهای نو پدید سازماندهی دانش. *کتابداری و اطلاع رسانی*، (23)2، 53-85. <https://doi.org/10.30481/LIS.2020.213568.1666>
- رضائی، م.، حاتمی نسب، س. ح.، و نایب زاده ش. (1403). تحلیل نقشه ی علمی تحقیقات جایگاه سازی برند بر اساس پایگاه استنادی اسکوپوس (1975-2023). *پژوهش نامه علم‌سنجی*، (10)1، 230-203. <https://doi.org/10.22070/RSCI.2023.17507.1658>
- رمضانی، ه.، علیپور حافظی، م.، و مؤمنی، ع. (1393). نقشه های علمی: فنون و روش‌ها. *تربیع علم*، (5)1، 53-84. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22519033.1393.5.1.4.1>
- زندى روان، ن.، داورپناه، م. ر.، و فتاحی، ر. ا. (1395). مروری بر رسم نقشه علم و روش شناسی آن. *پژوهش نامه علم‌سنجی*، (2)1، 77-57. <https://doi.org/10.22070/RSCI.2016.469>

سعدآبادی، ع.، رمضانی، س.، و فرتاش، ک. (1399). ترسیم و تحلیل نقشه علمی دارایی نامشهود با استفاده از پژوهش های نمایه شده در پایگاه های علمی. *بازیابی دانش و نظام های معنایی*، 7(25)، 33-65. <https://doi.org/10.22054/jks.2020.51561.1318>

Ahmadi, H., & Osareh, F. (2016). Co-word Analysis Concept, Definition and Application. *Librarianship and Information Organization Studies*, 28(1), 125-145. https://nastinfo.nlai.ir/article_1132.html [In Persian].

Akbari Javid, M., & Ghaffari, S. (2024). Knowledge Mapping of Crisis and Risk Management Scientific Products at Scopus During 1973 and 2020. *Scientometrics Research Journal*, 9(2, Autumn & Winter), 353-384. <https://doi.org/10.22070/rsci.2022.15968.1569> [In Persian].

Akimov, D., Albert, J.B., An, P., Awe, C., Barbeau, P.S., Becker, B., Belov, V., Brown, A., Bolozdynya, A., Cabrera-Palmer, B., Cervantes, M., Collar, J.I., Cooper, R.J., Cooper, R.L., Cuesta, C., Dean, D.J., Detwiler, J.A., Eberhardt, A., Efremenko, Y., ... , A.M. & Coherent Collaboration. (2017). Observation of coherent elastic neutrino- Zderi nucleus scattering. *Science*, 357(6356), 1123-1126. <https://doi.org/10.1126/science.aao0990>

Amousa, F., Fazli, S., Arasti, Z., & Elahi, S. M. (2024). A Systematic Review and Scientometrics Analysis of Scientific Research in the Field of Green Entrepreneurship. Development. *Scientometrics Research Journal*, 10(1, spring & summer)), 259-282. <https://doi.org/10.22070/rsci.2023.17194.1644> [In Persian].

Ardiansyah, A., Heryanto, H., Sulieman, A., Bradley, D. A., & Tahir, D. (2024). Science mapping of the development of scintillator research as a neutron detection. *Radiation Physics and Chemistry*, 220, 111705. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2024.111705>

Bellerive, A., Klein, J. R., McDonald, A. B., Noble, A. J. & Poon, A. W. P., (2016). The Sudbury Neutrino Observatory. *Nuclear Physics B*, 908, 30-51. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysb.2016.04.035>

Bertone, G., & Hooper, D. (2018). History of dark matter. *Reviews of Modern Physics*, 90(4), 045002. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.90.045002>

Bøehm, C., Cerdeño, D. G., Machado, P. A. N., Olivares-Del Campo, A., Perdomo, E., & Reid, E. (2019). How high is the neutrino floor?. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, 2019(01), 043. <https://doi.org/10.1088/1475-7516/2019/01/043>

Camón Luis, E., & Celma, D. (2020). Circular economy. A review and bibliometric analysis. *Sustainability*, 12(16), 6381. <https://doi.org/10.3390/su12166381>

Christensen, E., Huber, P., Jaffke, P., & Shea, T. E. (2014). Antineutrino monitoring for heavy water reactors. *Physical Review Letters*, 113(4), 042503.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.113.042503>

Costa, R., Menezes, M. O., & Moura, E. A. (2024). Analysis of Research Progress in Nuclear Energy: A Bibliometric Review of the Web of Science Database for Identifying Trends in Evolution. Available at SSRN 4624546. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4624546>

Danesh, F., & Neamatollahi, Z. (2020). Clustering the concepts and emerging events of knowledge organization. *Library and Information Sciences*, 23(2), 53-85.
<https://doi.org/10.30481/lis.2020.213568.1666> [In Persian].

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>

Formaggio, J. A., & Martoff, C. J. (2004). Backgrounds to sensitive experiments underground. *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.*, 54(1), 361-412.
<https://doi.org/10.1146/annurev.nucl.54.070103.181248>

Freedman, D. Z. (1974). Coherent effects of a weak neutral current. *Physical Review D*, 9(5), 1389. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.9.1389>

Fukuda, S., Fukuda, Y., Hayakawa, T., Ichihara, E., Ishitsuka, M., Itow, Y., ... & Ichikawa, Y. (2003). The Super-Kamiokande Detector. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 501(2-3), 418-462. [https://doi.org/10.1016/S0168-9002\(03\)00425-X](https://doi.org/10.1016/S0168-9002(03)00425-X)

Golwala, S. R., & Figueroa-Feliciano, E. (2022). Novel quantum sensors for light dark matter and neutrino detection. *Annual Review of Nuclear and Particle Science*, 72, 419-446. <https://doi.org/10.1146/annurev-nucl-102020-112133>

Guevara-Montoya, S., Ortiz-Ferreira, F., Silva-Arévalo, M. P., Niño-Muñoz, P. A., & Forero-Romero, J. E. (2024). Astronomy in Colombia: a bibliometric perspective. *arXiv preprint arXiv:2403.02255*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.02255>

Halzen, F., & Klein, S. R. (2010). Invited review article: IceCube: an instrument for neutrino astronomy. *Review of Scientific Instruments*, 81(8).
<https://doi.org/10.1063/1.3480478>

Hosseini, E., Taghizadeh Milani, K., & Sabetnasab, M. S. (2025). Development and maturity of co-word thematic clusters: the field of linked data. *Library Hi Tech*, 43(1), 81-113. <https://doi.org/10.1108/LHT-10-2022-0488>

Kumar, R. S. (2018). A scientometric evaluation of research on neutrino

physics. *International Journal of Library Science*, 16(1), 20-32.

Macias-Chapula, C. A. (1998). O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional. *Ciência da informação*, 27, 134–140.
<https://doi.org/10.1590/S0100-19651998000200005>

Mongeon, P., & Paul-Hus, A. (2016). The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. *Scientometrics*, 106, 213-228.
<https://doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5>

Navas, S., Amsler, C., Gutsche, T., Hanhart, C., Hernández-Rey, J. J., Lourenço, C., Masoni, A., Mikhasenko, M., Mitchell, R.E., Patrignani, C., Schwanda, C., Spanier, S., Venanzoni, G., Yuan, C. Z., Agashe, K., Aielli, G., Allanach, B.C., Alvarez-Muñiz, J., Antonelli, M., ... & Piepke, A. (2024). Review of particle physics. *Physical Review D*, 110(3), 030001. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.110.030001>

Obregon, L., Orozco, C., Camargo, J., Duarte, J., & Valencia, G. (2019). Research trend on nuclear energy from 2008 to 2018: A bibliometric analysis. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(6), 542-551. <https://doi.org/10.32479/ijeep.8515>

Paul, J., & Criado, A. R. (2020). The art of writing literature review: What do we know and what do we need to know?. *International business review*, 29(4), 101717.
<https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2020.101717>

Ramezani, H., Alipour-Hafezi, M., & Momeni, E. (2014). Scientific maps: Methods and techniques. *Popularization of Science*, 5(1), 53-84. [In Persian].
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22519033.1393.5.1.4.1>

Rezai, M., Hataminasab, S. H., & Nayeibzadeh, S. (2024). Analysis of the Scientific Map of Brand Positioning Research Based on the Scopus Citation Database (1975-2023). *Scientometrics Research Journal*, 10 (1, spring & summer), 203-230.
<https://doi.org/10.22070/rsci.2023.17507.1658> [In Persian].

Sadabadi, A., Ramezani, S., & Fartash, K. (2020). Mapping and Analyzing the Scientific Map of Intangible Assets Using Research Indexed in Scientific Databases. *Journal of Knowledge Retrieval and Semantic Systems*, 7(25), 33-65.
<https://doi.org/10.22054/JKS.2020.51561.1318> [In Persian].

Sagar, A., Kademani, B. S., & Bhanumurthy, K. (2013). Dark energy: A scientometric mapping of publications. *Technology*, 6, 27. <https://doi.org/10.4103/2320-0057.115865>
Spergel, D. N., Verde, L., Peiris, H. V., Komatsu, E., Nolte, M. R., Bennett, C. L., Halpern, M., Hinshaw, G., Jarosik, N., Kogut, A., Limon, M., Meyer, S. S., Page, L., Tucker, G. S., Weiland, J. L., & Wright, E. L. (2003). First-Year Wilkinson Microwave

تحلیل علم‌سنجی ساختار و روندهای پژوهشی آشکارسازی نوترینو و ماده ی تاریک: نگاشت علمی و بررسی هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها در «وب‌آوساینس»

Anisotropy Probe (WMAP)* Observations: Determination of Cosmological Parameters. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 148(1), 175. <https://doi.org/10.1086/377226>

Undagoitia, T. M., & Rauch, L. (2015). Dark matter direct-detection experiments. *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, 43(1), 013001. <https://doi.org/10.1088/0954-3899/43/1/013001>

Van Eck, N., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>

Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2017). Citation-based clustering of publications using CitNetExplorer and VOSviewer. *Scientometrics*, 111, 1053-1070. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2300-7>

Zandi Ravan, N., Davarpanah, M., & Fattahi, R. (2016). Review of Science Map Visualization and Its Methodology. *Scientometrics Research Journal*, 2(1, spring & summer), 57-76. <https://doi.org/10.22070/RSCJ.2016.469> [In Persian].

مجله دانش و پژوهش در علم‌سنجی

پژوهش‌نامه علم‌سنجی

دوفصلنامه علمی- پژوهشی دانشگاه شاهد / زودآیند