Passive Defence
Vol. 16, No. 4, Winter 2026, Serial No. 64
ISSN: 2980-8030 , E-ISSN: 2008-6849

Design and Analysis of Scientific Networks on the Emerging and Safe Explosive Material (TKX-50) Using the Scientometric Software VOSviewer

Seyed Reza Karimi[1]*, Abdollah Naghipour[2]

[1]Correspondence: Assistant Professor, Faculty and Safety Research Institute, Imam Hossein University, Tehran, Iran. Email Address: srk.aria22@gmail.com

[2]Researcher, Faculty and Safety Research Institute, Imam Hossein University, Tehran, Iran. Email Address: naghipour.abd@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Article Type: Research paper

Received: 25 May 2025

Received in revised form: 11 June 2025

Accepted: 20 September 2025

Available online: 20 January 2026

Keywords:

Passive Defense

Network Design

High Detonation Velocity

Material Safety

TKX-50

ABSTRACT

One of the fundamental principles of passive defense is the reduction of vulnerability of critical and military facilities against enemy attacks through non-armed strategies. Safe explosives, by mitigating unintended risks (such as accidental detonations or sabotage), contribute to enhancing the safety and security of infrastructures. The simultaneous increase in explosive power and reduction in sensitivity has led to the development of new generations of energetic materials. Among the noteworthy compounds in this context is dihydroxylammonium 5,5′-bis(tetrazolate)-1,1′-diolate (TKX-50) **.**The primary objective of the present study is to design scientific networks of safe and emerging explosives (TKX-50) using the VOSviewer software. The methodology involves employing VOSviewer to analyze data retrieved from Web of Science, PubMed, and Scopus databases. The project is structured into seven stages: monitoring organization, search and collection cycle, analysis and meta-analysis, image updating, trend analysis and estimation, validation, and dissemination with feedback **.**Findings indicate that emerging explosives, as safer materials with reduced environmental impact and higher explosive performance, can serve as alternatives to currently utilized energetic compounds in applied industries. Examination of TKX-50's functional properties reveals that its explosive efficiency is comparable to CL-20. TKX-50 demonstrates favorable compatibility with most components in explosive formulations, and in some sources, it is even considered a substitute for certain nitramines. Sensitivity assessments show that despite its high energy content and density, TKX-50 exhibits low impact and friction sensitivity, along with reduced toxicity compared to many conventional explosives. These characteristics highlight its potential for the future development of more efficient yet safer energetic materials**.**

Cite this article: S. R. Karimiand A. Naghipour, "Design and Analysis of Scientific Networks on the Emerging and Safe Explosive Material (TKX-50) Using the Scientometric Software VOSviewer," Journal of Passive Defence, vol. 16, no. 4, pp. 71-89, 2026. **DOI: https://doi.org/10.47176/PD.2026.1541**

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights

Publisher: Imam Hossein University.

Introduction

Passive defense is a strategic principle aimed at reducing the vulnerability of critical and military infrastructures against hostile attacks through non-armed measures. Within this framework, the development of safe explosives has emerged as a crucial research direction, as such materials minimize unintended risks including accidental detonations, sabotage, and collateral damage. The evolution of energetic materials has increasingly focused on achieving a dual objective: enhancing explosive performance while simultaneously reducing sensitivity to external stimuli such as impact, friction, and thermal stress.

One of the most promising compounds in this field is dihydroxylammonium 5,5′-bis(tetrazolate)-1,1′-diolate, commonly referred to as TKX-50. This compound has attracted considerable attention due to its unique combination of high detonation velocity, low mechanical sensitivity, reduced toxicity, and favorable compatibility with other energetic materials. TKX-50 is considered a potential substitute for conventional high-energy explosives such as RDX, HMX, and CL-20, which, despite their high performance, suffer from significant safety and environmental drawbacks.

The present study aims to design and analyze scientific networks related to TKX-50 using bibliometric mapping techniques implemented in the VOSviewer software. By integrating data from Web of Science, PubMed, and Scopus, the research seeks to identify key trends, thematic clusters, and knowledge gaps in the scientific discourse surrounding TKX-50. The study is structured into seven stages: monitoring organization, search and collection cycle, analysis and meta-analysis, image updating, trend analysis and estimation, validation, and dissemination with feedback. This extended abstract summarizes the methodological approach, key findings, and implications of the research.

Results and Discussion

A total of 196 articles published between 2012 and 2024 were retrieved from Web of Science, Scopus, and PubMed. Using VOSviewer, 787 keywords were extracted, of which 65 were identified as core terms. TKX-50 itself was the most frequently occurring keyword (103 repetitions, link strength 420), reflecting the centrality of this compound in recent energetic materials research. Other prominent keywords included *stability* (43 repetitions), *energetic materials* (47 repetitions), *sensitivity* (31 repetitions), *decomposition* (34 repetitions), *behavior* (31 repetitions), *thermal decomposition* (24 repetitions), and *crystal structure* (18 repetitions).

These clusters highlight the dominant research themes:

- **Stability and Safety:** Investigations into the thermal and mechanical stability of TKX-50, emphasizing its resilience under storage and operational conditions.
- **Energetic Performance:** Comparative studies demonstrating that TKX-50 exhibits detonation velocities comparable to CL-20, while maintaining lower sensitivity.
- **Environmental Considerations:** TKX-50's reduced toxicity and lower environmental impact relative to traditional nitramines.
- **Structural Properties:** Analyses of crystal morphology and thermodynamic behavior, which influence compatibility with other explosive formulations.

Experimental data indicate that TKX-50 possesses a nitrogen content of 59.3%, contributing to its high energy density. Its detonation velocity is approximately equal to that of CL-20, yet its impact and friction sensitivity are significantly lower. TKX-50 demonstrates compatibility with several energetic compounds

such as hexanitroethane (HNE), though weaker compatibility with TNT, CL-20, and nitrocellulose has been reported. Thermodynamic studies reveal that TKX-50 exhibits a slightly lower decomposition temperature in submicron form but maintains higher activation energy, suggesting enhanced safety margins during handling.Figures generated by VOSviewer illustrate the interconnections among keywords, research domains, and thematic clusters. The overlay visualization highlights the temporal evolution of TKX-50 research, showing an increasing emphasis on safety and environmental sustainability in recent years. Density maps further reveal concentrated research activity around stability, sensitivity, and decomposition, underscoring the scientific community's prioritization of these aspects.

The bibliometric evidence suggests that TKX-50 is positioned as a next-generation energetic material capable of bridging the gap between performance and safety. Its favorable properties—high detonation velocity, low sensitivity, reduced toxicity, and relatively simple synthesis—make it a viable candidate for insensitive munitions (IM) and high-energy insensitive explosives (HEIE). Moreover, the compound's ionic salt synthesis route offers industrial scalability compared to complex multi-step processes required for alternatives such as octanitrocubane (ONC).

The research also highlights the importance of continuous monitoring and bibliometric mapping in defense-related material science. By identifying knowledge clusters and research gaps, bibliometric tools such as VOSviewer enable strategic planning for future investigations, patent development, and industrial applications.

Conclusion

The extended bibliometric analysis of TKX-50 underscores its potential as a safer and more efficient alternative to conventional high-energy explosives. TKX-50 combines high detonation performance with low mechanical sensitivity, reduced toxicity, and favorable thermal stability, making it suitable for integration into modern explosive formulations and propellants. Its compatibility with various energetic compounds further enhances its applicability, although limitations with certain materials such as TNT and CL-20 warrant further investigation.

The findings suggest that TKX-50 can significantly contribute to passive defense strategies by reducing the vulnerability of critical infrastructures and military assets. The compound's properties align with the principles of insensitive munitions, offering enhanced safety during storage, handling, and deployment.

Future research should focus on:

- Expanding experimental validation of TKX-50's compatibility with diverse energetic formulations.
- Investigating large-scale synthesis methods to ensure industrial feasibility.
- Conducting environmental impact assessments to confirm its sustainability advantages.
- Exploring composite formulations to maximize performance while maintaining safety.

In conclusion, TKX-50 represents a promising direction in the development of high-energy insensitive explosives. Its unique balance of performance, safety, and environmental compatibility positions it as a strategic material for next-generation defense applications. The bibliometric mapping conducted in this study provides a comprehensive overview of current research trends and offers a roadmap for future investigations in the field of safe energetic materials.

پدافند غیرعامل

سال پانزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴، (پیاپی ۶۴): صص ۸۹-۷۱

شاپای چاپی: ۶۹۴۹-۲۰۰۸ | شاپای الکترونیکی: ۸۰۳۰-۲۹۸۰

طراحی و تحلیل شبکه‌های علمی ماده منفجره ایمن و نوظهور (TKX-50) با بهره‌گیری از نرم‌افزار علم‌سنجی VOSviewer

سیدرضا کریمی[1*]، عبدالله نقی‌پور[2]

[1] استادیار، دانشکده و پژوهشکده ایمنی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران(نویسنده مسئول). رایانامه: srk.aria22@gmail.com

[2] پژوهشگر، دانشکده و پژوهشکده ایمنی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران. رایانامه: naghipour.abd@gmail.com

چکیده

یکی از اصول پدافند غیرعامل، کاهش آسیب‌پذیری تأسیسات حیاتی و نظامی در برابر حملات دشمن از طریق روش‌های غیرمسلحانه است. مواد منفجره ایمن با کاهش خطرات ناخواسته (مانند انفجارهای تصادفی یا حملات خرابکارانه)، به افزایش ایمنی و امنیت زیرساخت‌ها کمک می‌کنند. افزایش قدرت انفجار و درعین‌حال کاهش حساسیت ماده منفجره منجر به تولید نسل‌های جدیدی از ماده منفجره شده است. یکی از ترکیبات قابل‌تأمل در این زمینه، دی هیدروکسیل آمونیوم ۵،۵'-بیس (تترازول) – ۱،۱'-دی اولات TKX-50 است. هدف اصلی از پژوهش حاضر طراحی شبکه‌های علمی ماده منفجره ایمن و نوظهور (TKX-50) با استفاده از نرم‌افزار VOSviewer است. روش کار استفاده از نرم‌افزار voswiever جهت تحلیل داده‌های پایگاه‌های اطلاعاتی Webofscience، PubMed و Scopus است. مراحل انجام این پروژه در هفت بخش ترسیم‌شده که شامل سازمان‌دهی رصد، چرخه جویش و جمع‌آوری، تحلیل و فرا تحلیل، به‌روزرسانی تصویر، تحلیل روند و برآورد، اعتبارسنجی و انتشار و بازخورد است. یافته‌ها نشان می‌دهد استفاده از مواد منفجره نوظهور به‌عنوان ماده‌ای ایمن‌تر، با آسیب کمتر برای محیط‌زیست و باقدرت انفجاری بالاتر می‌تواند جایگزینی برای مواد فعلی مورداستفاده در صنایع به‌کارگیری شود. بررسی ویژگی‌های عملکردی این ماده نشان می‌دهد که کارایی انفجاری آن با CL-20 برابر است. TKX-50 با بیشتر مواد موجود در فرمولاسیون‌های انفجاری، سازگاری مناسبی دارد؛ به‌طوری‌که حتی در برخی از منابع از آن به‌عنوان جایگزین برخی از نیترامین‌ها یادشده است. بررسی حساسیت به محرک‌های ناخواسته نشان می‌دهد که این ترکیب باوجود داشتن محتوای انرژی و دانسیته بالا، حساسیت به ضربه و اصطکاک کمی دارد ضمن اینکه سمیت آن نیز پایین‌تر از بسیاری مواد منفجره متداول است. این ویژگی‌ها می‌توانند نویدبخش تولید مواد منفجره کاراتر و درعین‌حال ایمن‌تر در آینده نزدیک باشد.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

نوع مقاله: علمی‌پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۰۴

بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۲۱

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

ارائه آنلاین: ۱۴۰۴/۱۰/۳۰

کلیدواژه‌ها:

پدافند غیرعامل

طراحی شبکه

سرعت انفجار بالا

ایمنی مواد

TKX- 50

استناد: کریمی، سیدرضا، نقی‌پور، عبدالله، " طراحی و تحلیل شبکه‌های علمی ماده منفجره ایمن و نوظهور (TKX-۵۰) با بهره‌گیری از نرم‌افزار علم سنجی VOSviewer"، نشریه پدافند غیرعامل، دوره ۱۶، شماره۴، صفحات ۸۹-۷۱، ۱۴۰۴. DOI: https://doi.org/10.47176/PD.2026.1541

© نویسنده(گان) حق نشر و حقوق کامل انتشار را برای خود محفوظ می‌دارند.

OPEN ACCESS

ناشر: دانشگاه جام امام حسین(ع).

۱- مقدمه

استفاده از مواد منفجره با حساسیت کمتر[1] یا مواد منفجره ایمن[2] باعث می‌شود انبارهای مهمات و تأسیسات نظامی در برابر حملات یا حوادث غیرعمدی مقاوم‌تر باشند [۱]. این موضوع مطابق با اصل "مقاوم‌سازی" در پدافند غیرعامل است. مواد منفجره ایمن در برابر حرارت، ضربه و شوک‌های خارجی مقاومت بیشتری دارند و احتمال انفجارهای ناخواسته را کاهش می‌دهند[۲]. در صورت وقوع حمله، مواد منفجره ایمن باعث کاهش خسارت‌های ثانویه می‌شوند که این امر با اهداف "حفاظت غیرعامل" سازگار است [۳]و[۴].

TKX-50 یک ماده منفجره پرانرژی با حساسیت کم است که به دلیل ترکیب منحصربه‌فرد ویژگی‌هایش، ازجمله سرعت انفجار بالا (مشابه CL-20)، حساسیت پایین به ضربه و اصطکاک، سمیت کم و پایداری حرارتی بالا، به‌عنوان جایگزینی برای مواد منفجره سنتی مانند RDX، HMX و CL-20 موردتوجه قرار گرفته است [۵]. این ماده دارای محتوای نیتروژن بالا (۵۹٫۳٪) است و به‌صورت نمک یونی سنتز می‌شود که فرآیند تولید آن نسبت به موادی مانند اکتانیتروکوبان (ONC) ساده‌تر و مقرون‌به‌صرفه تر است [۶]. TKX-50 از طریق واکنش ۵،۵'-بیس‌تترازول-۱،۱'-دی‌اول (BTO) با هیدروکسیل‌آمین تولید می‌شود و به دلیل ساختار بلوری پایدار و ویژگی‌های ایمنی، در فرمولاسیون‌های منفجره و پیشران‌ها کاربرد دارد [۷]. بررسی‌ها نشان می‌دهد که TKX-50 با برخی مواد منفجره مانند هگزانیترواتان (HNE) سازگاری خوبی دارد، اما با موادی مانند TNT، CL-20، و نیتروسلولز (NC) سازگاری ضعیفی نشان می‌دهد [۸]. همچنین، مطالعات ترمودینامیکی و تجزیه حرارتی TKX-50 نشان‌دهنده دمای تجزیه پایین‌تر (حدود ۱۴-۱۸ درجه سانتی‌گراد کمتر نسبت به TKX-50 خام) در حالت زیرمیکرون و انرژی فعال‌سازی بالاتر است [۹]. این ماده به دلیل حساسیت کم و عملکرد بالا، در تولید مهمات باانرژی بالا و حساسیت پایین کاربرد گسترده‌ای دارد [۱۰].

به دلیل حساسیت کم، سرعت انفجار بالا، سمیت پایین و هزینه نسبتاً کم، TKX-50 به‌عنوان یکی از باارزش‌ترین مواد منفجره غیرحساس به انرژی بالا (HEIE[3]) در نظر گرفته می‌شود و جایگزین مواد پرانرژی معمولی مانند RDX، HMX و CL-20 در مواد منفجره و پیشران می‌شود [۱۱].

TKX-50 به‌عنوان نوع جدیدی از ترکیبات پرانرژی، لازم است به مواد منفجره کامپوزیتی تبدیل شود تا کاربرد آن ارتقا یابد. بدون شک ماده منفجره TKX-50 یک گزینه ارجح است که به طور گسترده در سلاح‌های انفجاری و کلاهک‌ها استفاده می‌شود. ترکیب مواد مهم‌ترین عنصر در مواد منفجره است. سنتز مواد پرانرژی باقابلیت تولید انرژی بالا و ایمن، جزو جدیدترین حوزه‌های تحقیقاتی در عرصه مواد پرانرژی است. یکی از ترکیبات مناسبی که درصد بالایی از نیتروژن را در ساختار خوددارند، دی هیدروکسیل آمونیوم ۵،' ۵- بیس (تترازول)_ ۱، ' ۱- دی اولات (TKX-50) یا (HATO) است (شکل ۱) [۶]. TKX-50 به‌عنوان ماده منفجره جدید (بلوره بی‌رنگ)، ترکیبی پرانرژی و با حساسیت پایین و دارای سرعت انفجاری مشابه CL-20 است که در عین داشتن سرعت انفجار بالا، حساسیت آن (هم مکانیکی و هم حرارتی) پایین‌تر از مواد منفجره پرانرژی مانند RDX و HMX و CL-20 است. این ماده ویژگی‌های منحصربه‌فردی مانند محتوای انرژی بالا، دانسیته بالا، حساسیت پایین به ضربه، سمیت کم و محتوای بالای نیتروژن را دارا است و ازنظر حرارتی نیز پایدار است. این ویژگی‌ها، در کنار سهولت آماده‌سازی سبب شده تا این ترکیب به‌عنوان جایگزینی برای مواد منفجره قوی متداول حاوی CHON مانند RDX و HMX و CL-20 گردد [۱۲].

TXK-50 یکی از نمک‌های یونی توسعه‌یافتهٔ مطرح به‌عنوان جانشینی برای RDX است. در مقابل سنتز مواد منفجره با کارایی بالا مانند دی نیتروآزوفوراکسان (DDF) و اکتا نیتروکوبان (ONC) که با سرعت انفجار حدوداً ۱۰۰۰۰ m/S به فرایند سنتزی فوق‌العاده پیچیده‌ای نیاز دارند (ده مرحله واکنش یا بیشتر) و برای تولید صنعتی مناسب نیستند، روش‌های سنتز TXK-50 ساده و قابل‌ارتقا است [۱۳]. یکی از مزایای سنتز این ماده، سنتز آن به‌صورت تک ظرف (انجام همه واکنش در یک راکتور) است که برای تولید محصول تجاری استفاده می‌شود. این پژوهش مزایای ذیل را در پی خواهد داشت:

- باتوجه‌به اینکه مهمات غیرحساس (IM[4]) بیشتر موردتوجه هستند، برخی جایگزین‌ها برای کاهش خطرات TNT کشف

[1] Less Sensitive Explosives
[2] IM - Insensitive Munitions
[3] high energy insensitive explosives
[4] insensitive munitions

می‌شوند [۱۴].

• معرفی ماده‌ای که خطرات کمتری را نسبت به دماهای بالا نشان دهد [۱۵].

• پیشگیری از علل حوادث ایمنی مهمات در فرایند ساخت، ذخیره‌سازی و بهره‌برداری

• ارزیابی خطر حرارتی مواد منفجره مبتنی بر TXK-50 برای اولین‌بار [۱۶].

• ارزیابی تطبیقی ایمنی حرارتی مواد منفجره برای اولین‌بار

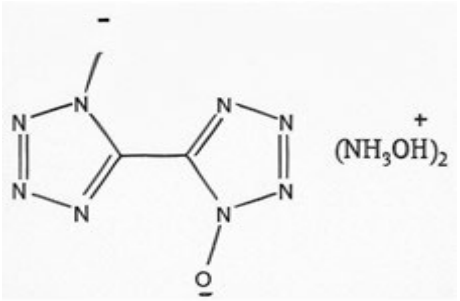
• نظارت مستمر و مستقیم بر تغییر فشار در طول فرایند تجزیه

بنابراین، هدف از این پژوهش ارزیابی و رصد ایمنی ماده منفجره نوظهور TKX-50 مبتنی بر نرم‌افزار VOSviewer است.

۲- مرور ادبیات تحقیق

۲-۱- معرفی و ویژگی‌های ماده TKX-50

دی هیدرو کسل آمونیوم ۵،۵- بیس تترازول ۱،۱-دی اولات، با نام اختصاری TKX-50، یک ماده منفجره پرقدرت و پایدار است [۱۷] ساختار شیمیایی TKX-50 در شکل (۱) نمایان است.



شکل (۱): ساختار شیمیایی TKX-50

این ترکیب به دلیل خواص منحصربه‌فرد خود در صنایع نظامی و مهندسی انفجار موردتوجه قرار گرفته است. برخی از ویژگی‌های کلیدی این ماده عبارت‌اند از:

۱. قدرت بالا: TKX-50 دارای قدرت انفجاری بالایی است که می‌توان آن را برای استفاده در مواد منفجره نظامی مناسب دانست [۱۸].

۲. پایداری حرارتی: این ماده در دماهای بالا پایداری مناسبی دارد و این امر آن را برای استفاده در محیط‌های مختلف مناسب می‌سازد.

۳. ایمنی: TKX-50 در مقایسه با مواد منفجره مشابه، نسبت به شوک‌های مکانیکی و حرارتی حساسیت کمتری دارد و این امر خطرات مرتبط با جابجایی و ذخیره‌سازی آن را کاهش می‌دهد.

۴. محیط‌زیست: این ماده به دلیل ویژگی‌های شیمیایی خود اثرات مخرب کمتری برای محیط‌زیست دارد و در مقایسه با برخی از مواد منفجره قدیمی‌تر، آلودگی کمتری ایجاد می‌کند [۱۹].

۳- روش تحقیق

۳-۱- روش کار و اعتبار

برای رصد و دیده‌بانی ایمنی مواد منفجره نوظهور TKX-50 از ترکیب چند روش رصدی استفاده‌شده است. برای گرفتن خروجی داده‌ها از پایگاه‌های اطلاعات، از روش نگاشت دانش برای تحلیل مقالات خارجی، از روش تحلیل پتنت برای بررسی روند ثبت اختراع‌های مربوط به ماده و از روش‌های تحلیل روند، هم رخدادی و هم واژگانی در نرم‌افزار VOSviwever استفاده‌شده است؛ همچنین برای تحلیل روند دیده‌بانی TKX-50 پرسش‌نامه‌ای با شاخص‌های تعیین‌شده طراحی و در بین خبرگان توزیع گردید.

۳-۲- نرم‌افزار VOSviewer

VOSviewer نرم‌افزاری است که برای ساخت و مصورسازی شبکه‌های Bibliometric (کتاب‌سنجی)، ایجاد نقشه بر اساس داده‌های شبکه و مصورسازی و کاوش در این نقشه‌ها استفاده می‌شود. این ابزار همچنین قابلیت استخراج ارتباطات بین متون و داده‌ها را ارائه می‌دهد که می‌تواند برای ساخت و مصورسازی شبکه‌های هم‌زمانی مورداستفاده قرار گیرد. VOSviewer امکانات مصورسازی خارق‌العاده‌ای دارد و قادر است اطلاعات را از منابع مختلفی دریافت و آن‌ها را تبدیل به تصاویر قابل‌فهم کند و همین‌طور آن‌ها را پردازش نماید. برای ساخت شبکه، می‌توان داده‌ها را از پایگاه‌های داده‌های علمی مختلفی مانند Web of Science، Scopus، Lens Dimensions و PubMed و نرم‌افزارهای مدیریت منابع و مراجع علمی مانند EndNote و RefWorks، به‌عنوان ورودی به VOSviewer ارائه داد. برخلاف بیشتر نرم‌افزارها که برای مصورسازی داده‌های Bibliometric استفاده می‌شوند، VOSviewer توجه ویژه‌ای به نمایش گرافیکی و مصورسازی داده‌های Bibliometric دارد. عملکردVOSviewer مخصوصاً برای نمایش و تفسیر داده‌های زیاد Bibliometric بسیار مفید است. بسته به داده‌های موجود،VOSviewer می‌تواند سه تصویر از آن‌ها ارائه دهد: مصورسازی شبکه، مصورسازی

همپوشانی و مصورسازی تراکم داده‌ها. قابلیت بزرگ‌نمایی و پیمایش این ابزار اجازه می‌دهد تا نقشه با جزئیات کامل موردبررسی قرار گیرد که این امر هنگام کار با نقشه‌های بزرگ حاوی هزاران آیتم بسیار کمک‌کننده است. اگرچه VOSviewer اساساً برای تجزیه‌وتحلیل شبکه‌های Bibliometric در نظر گرفته‌شده است، اما درواقع می‌توان از آن برای ایجاد، مصورسازی و کاوش داده‌ها بر اساس هر نوع داده‌ای استفاده کرد.

۴- یافته‌های تحقیق

به‌منظور استخراج داده‌های موردنیاز TKX-50 در نرم‌افزار VOSviewer از سه پایگاه اطلاعات علمی PubMed، Webofscienc، Scopus استفاده‌شده است.

۴-۱- تجزیه‌وتحلیل روند TKX-50 در پایگاه Webofscience.com

از تعداد کل مقالات TKX-50، ۱۹۶ مقاله در سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۴ از نوع پژوهشی و مروری به‌صورت فایل txt دریافت و بررسی شد. از ۷۸۷ کلیدواژه، تعداد ۶۵ کلیدواژه اصلی، ۵ بار به‌عنوان پرتکرارترین موضوعات انتخاب شد؛ بنابراین تعداد واژگان کلیدی ۶۵ بار در نظر گرفته شد. این کلیدواژه‌ها نشان‌دهنده تمرکز مطالعات بر روی ویژگی‌های مختلف TKX-50 و اهمیت ایمنی و کارایی این ماده منفجره نوظهور است. در جدول (۱) کلیدواژه‌های مربوط به تحلیل ایمنی مواد منفجره نوظهور TKX-50 به همراه تعداد تکرارها و قوت پیوند کلیدی‌شان نمایش‌داده‌شده‌اند. تحلیل این کلیدواژه‌ها به شرح زیر است:

۱) TKX-50

- تعداد تکرار: ۱۰۳ بار
- قوت پیوند کلیدی: ۴۲۰
- تحلیل: TKX-50 به‌عنوان یک ماده منفجره نوظهور بیشترین تکرار و قوت پیوند کلیدی را دارد که نشان‌دهنده اهمیت و تمرکز بالای مطالعات بر روی این ماده است.

۲) پایداری (stability)

- تعداد تکرار: ۴۳ بار
- قوت پیوند کلیدی: ۲۲۸
- تحلیل: پایداری ماده منفجره TKX-50 یکی از مهم‌ترین موضوعات مورد بررسی است. این امر به دلیل اهمیت پایداری در ایمنی و کارایی مواد منفجره است.

۳) مواد پرانرژی (Energetic materials)

- تعداد تکرار: ۴۷ بار
- قوت پیوند کلیدی: ۲۱۴
- تحلیل: مواد پرانرژی دسته‌بندی وسیعی از مواد منفجره را شامل می‌شوند که TKX-50 نیز در این دسته قرار می‌گیرد. تکرار زیاد این کلیدواژه نشان‌دهنده بررسی‌های گسترده بر روی مواد پرانرژی است.

۴) حساسیت (sensitivity)

- تعداد تکرار: ۳۱ بار
- قوت پیوند کلیدی: ۱۸۶
- تحلیل: حساسیت مواد منفجره به‌عنوان یکی از عوامل مهم در ارزیابی ایمنی مواد منفجره موردتوجه قرار گرفته است.

۵) تجزیه (decomposition)

- تعداد تکرار: ۳۴ بار
- قوت پیوند کلیدی: ۱۵۶
- تحلیل: تجزیه مواد منفجره و بررسی فرایندهای شیمیایی مرتبط با آن‌ها برای درک بهتر رفتار و ایمنی این مواد حیاتی است.

۶) رفتار (behavior)

- تعداد تکرار: ۳۱ بار
- قوت پیوند کلیدی: ۱۴۳
- تحلیل: رفتار مواد منفجره در شرایط مختلف (مثل فشار، دما و...) بررسی می‌شود تا ایمنی و کارایی آن‌ها بهتر درک شود.

۷) تجزیه حرارتی (thermal-decomposition)

- تعداد تکرار: ۲۴ بار
- قوت پیوند کلیدی: ۹۴
- تحلیل: تجزیه حرارتی مواد منفجره نیز یکی از موضوعات مهم است که به درک بهتر از پایداری و حساسیت این مواد کمک می‌کند.

۸) ساختار بلوری (crystal-structure)

- تعداد تکرار: ۱۸ بار
- قوت پیوند کلیدی: ۸۱
- تحلیل: ساختار بلوری مواد منفجره نقش مهمی در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها دارد.

این کلیدواژه‌ها نشان‌دهنده تمرکز مطالعات بر روی ویژگی‌های مختلف TKX-50 و اهمیت ایمنی و کارایی این ماده منفجره

نوظهور هستند. بیشتر تحقیقات به سمت این کلیدواژه‌ها متمرکزشده است. حال به توضیح بیشتر هر یک از این کلیدواژه‌ها می‌پردازیم:

۱) TKX-50

توضیح: TKX-50 یک ماده منفجره جدید و نوظهور است که به دلیل ویژگی‌های خاص خود مثل پایداری بالا و عملکرد قوی موردتوجه قرار گرفته است. تحقیقات بر روی این ماده برای درک بهتر از خواص فیزیکی و شیمیایی آن انجام می‌شود.

۲) پایداری (Stability)

توضیح: پایداری به معنی مقاومت ماده در برابر تغییرات فیزیکی و شیمیایی است. در مورد مواد منفجره، پایداری به توانایی ماده در حفظ ویژگی‌های خود تحت شرایط مختلف مانند دما و فشار اشاره دارد. این امر برای اطمینان از ایمنی و کارایی مواد منفجره حیاتی است.

۳) مواد پرانرژی (Energetic Materials)

توضیح: مواد پرانرژی به موادی اطلاق می‌شود که قادر به تولید انرژی زیادی در هنگام واکنش شیمیایی هستند. این مواد شامل مواد منفجره، سوخت‌های راکتی و پیشران‌ها می‌شوند. TKX-۵۰ نیز به‌عنوان یک ماده پرانرژی در این دسته قرار می‌گیرد.

۴) حساسیت (Sensitivity)

توضیح: حساسیت به توانایی یک ماده منفجره در واکنش به تحریکات خارجی مانند ضربه، اصطکاک یا حرارت اشاره دارد. مواد منفجره حساس به‌راحتی می‌توانند در شرایط غیرمنتظره واکنش نشان دهند، بنابراین کنترل حساسیت برای ایمنی بسیار مهم است.

۵) تجزیه (Decomposition)

توضیح: تجزیه به فرایند شکست یک ماده به ترکیبات ساده‌تر در اثر حرارت، فشار یا دیگر شرایط شیمیایی اشاره دارد. تجزیه مواد منفجره می‌تواند به تشکیل گازهای داغ و ایجاد انفجار منجر شود. بررسی فرایند تجزیه برای درک رفتار مواد منفجره ضروری است.

۶) رفتار (Behavior)

توضیح: رفتار مواد منفجره شامل واکنش آن‌ها به شرایط مختلف محیطی مثل فشار، دما و رطوبت است. این مطالعات به‌منظور پیش‌بینی و کنترل عملکرد مواد منفجره در شرایط مختلف انجام می‌شود.

۷) تجزیه حرارتی (Thermal Decomposition)

توضیح: تجزیه حرارتی به شکست یک ماده در اثر حرارت اشاره دارد. این فرایند در مواد منفجره بسیار مهم است، زیرا می‌تواند به انفجار منجر شود. مطالعه تجزیه حرارتی برای درک پایداری حرارتی و ایمنی مواد منفجره ضروری است.

۸) ساختار بلوری (Crystal Structure)

توضیح: ساختار بلوری به ترتیب و آرایش اتم‌ها در یک ماده جامد اشاره دارد. ساختار بلوری مواد منفجره می‌تواند تأثیر زیادی بر خواص فیزیکی و شیمیایی آن‌ها داشته باشد، ازجمله پایداری، حساسیت و عملکرد انفجاری.

این توضیحات کمک می‌کنند تا فهم بهتری از مفاهیم کلیدواژه‌های مورداستفاده در تحلیل‌ها و تحقیقات مربوط به مواد منفجره نوظهور به‌ویژه TKX-50 شکل گیرد.

جدول (۱): ابر واژگان استخراج‌شده از نرم‌افزار vosviewer مرتبط با ماده منفجره TKX-50 در بین ۱۹۶ مقاله ISI

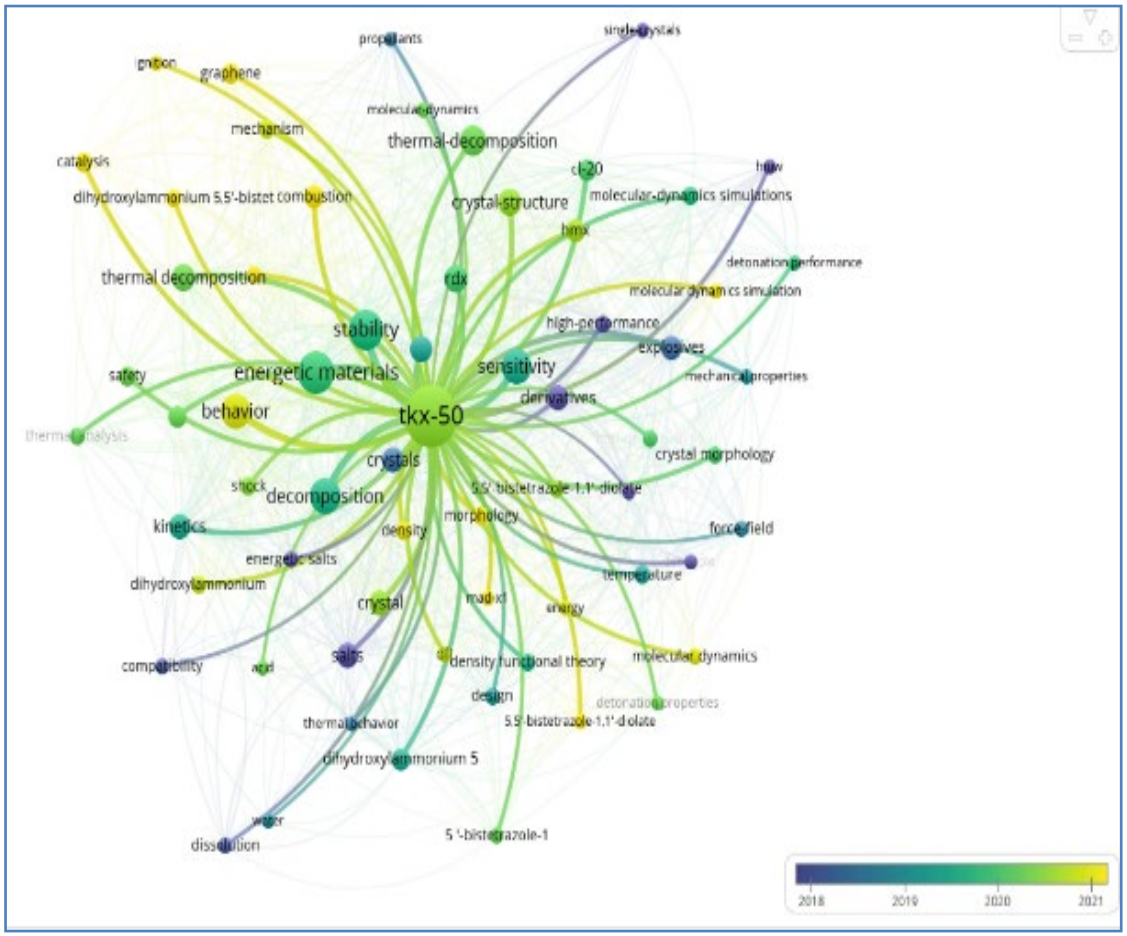
Verify selected keywords

Selected	Keyword	Occurrences	Total link strength
☑	tkx-50	103	420
☑	stability	43	228
☑	energetic materials	47	214
☑	sensitivity	31	186
☑	decomposition	34	156
☑	behavior	31	143
☑	thermal-decomposition	24	94
☑	crystal-structure	18	81
☑	crystals	15	81
☑	explosives	14	80
☑	performance	17	80
☑	kinetics	16	79
☑	crystal	16	75
☑	salts	16	72
☑	rdx	18	69
☑	hmx	13	68
☑	dihydroxylammonium 5	12	63
☑	thermal decomposition	18	63
☑	cl-20	11	62

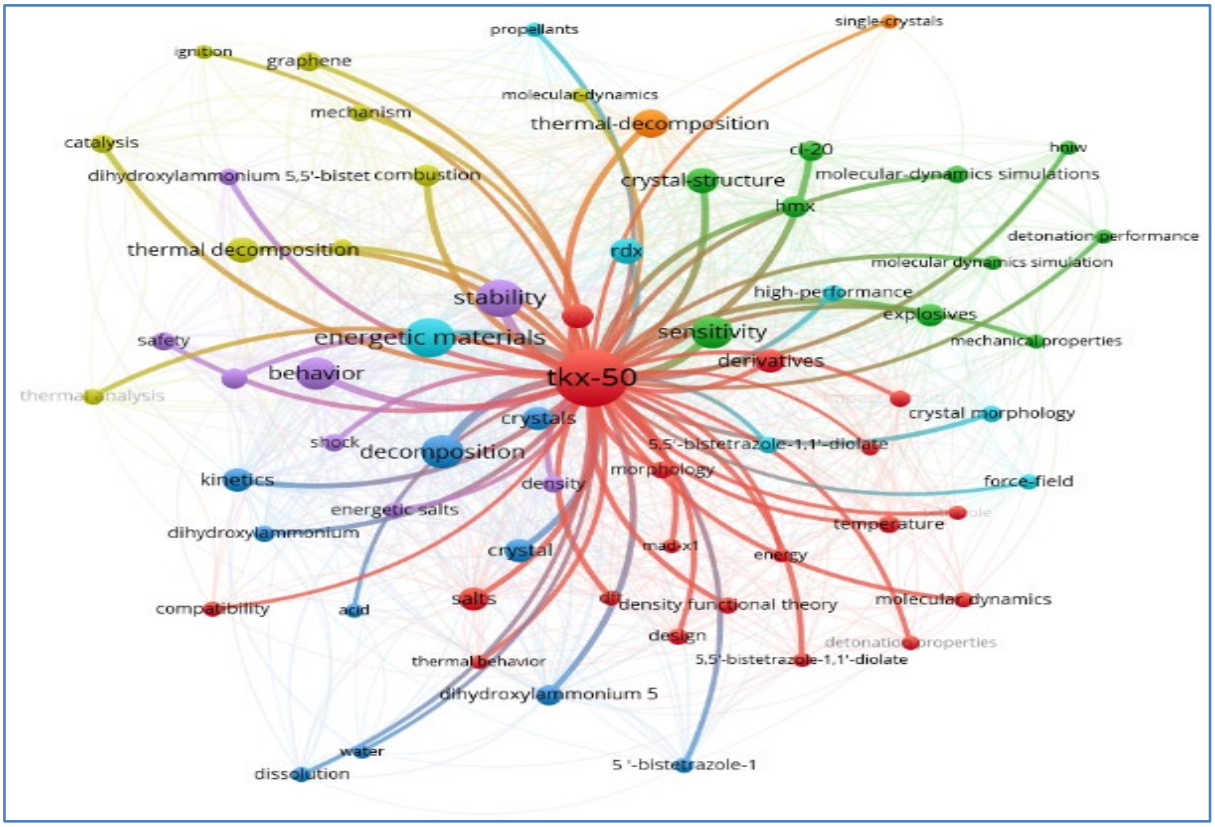
جدول (۱) ابر واژگان استخراج‌شده از نرم‌افزار VOSviewer مرتبط با ماده منفجره TKX-50 در میان ۱۹۶ مقاله ISI را نشان می‌دهد. در این ابر واژگان، "پایداری"، "مواد انرژی‌زا" و "حساسیت" به‌عنوان سه کلیدواژه برجسته‌ای هستند که بیشترین تکرار را در مقالات مرتبط با ماده منفجره TKX-50 داشته‌اند. به‌عبارت‌دیگر، دانش در این حوزه به سمت مطالعه و بهینه‌سازی این سه جنبه مهم از ماده TKX-50 هدایت‌شده است. پایداری ماده منفجره TKX-50 به توانایی این ماده در حفظ خواص شیمیایی و فیزیکی خود در شرایط مختلف محیطی و زمانی اشاره دارد. پایداری در این زمینه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا یک ماده منفجره باید در طول ذخیره‌سازی و حمل‌ونقل بدون تغییر باقی بماند تا ایمنی و کارایی آن تضمین شود.

مطابق با مرور ادبیات انجام‌شده در شکل (۲) در حوزه ماده منفجره TKX-50، بیشترین موضوع کارشده در مقالات به بهینه‌سازی و پایداری مواد انرژی‌زا و به‌صرفه اختصاص دارد. این تحقیقات بیشتر بر روی افزایش کارایی، پایداری حرارتی و کاهش حساسیت این ماده منفجره متمرکز بوده است.

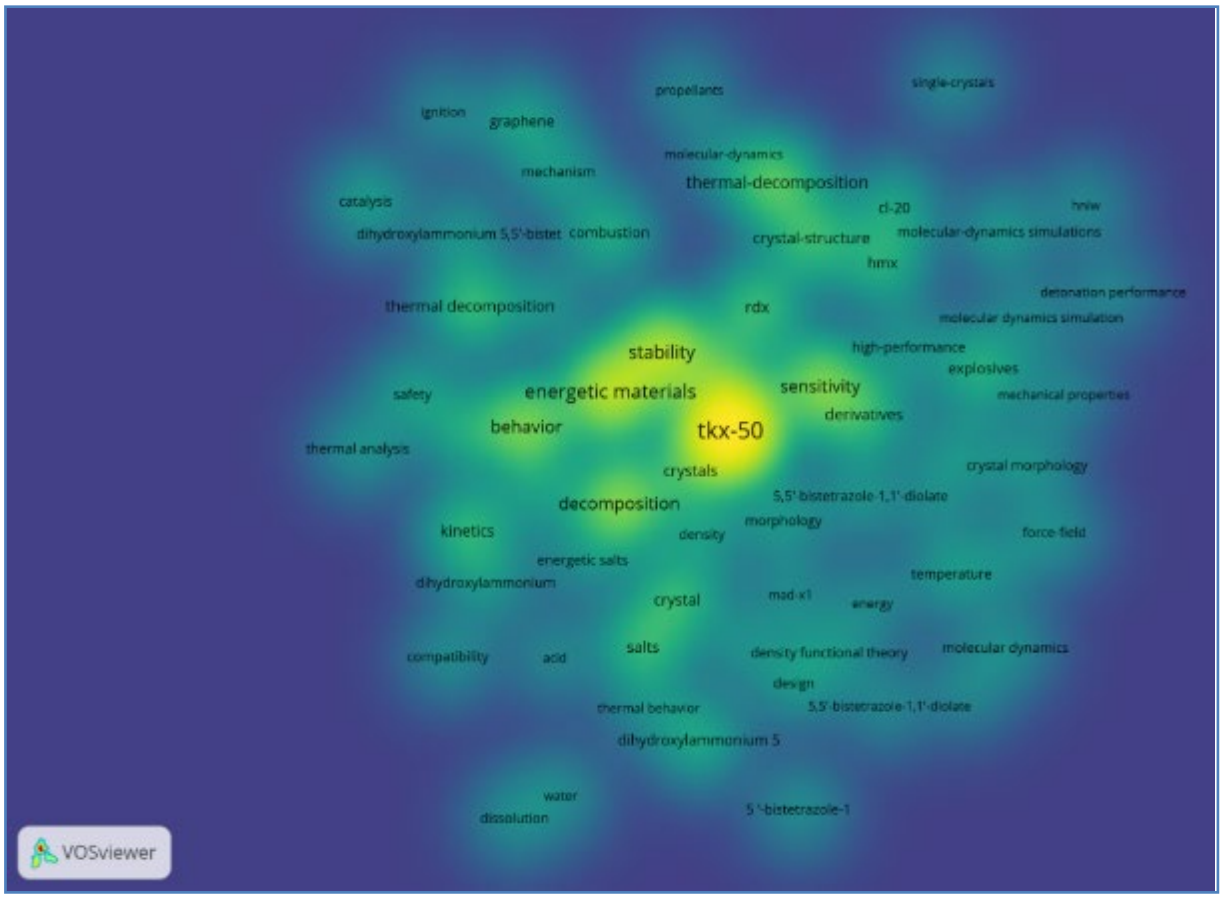
شکل (۳) نشان‌دهنده نحوه ارتباط ابروارگان استخراج‌شده از نرم‌افزار VOSviewer مرتبط با ماده منفجره TKX-50 در بین ۱۹۶ مقاله ISI است. در این شکل، ارتباطات و تعاملات بین کلیدواژه‌ها و موضوعات مختلفی که در مقالات علمی در ارتباط با TKX-50به آن پرداخته‌شده، به تصویر کشیده شده است. در این تحلیل، ابر واژگان یا کلیدواژه‌های اصلی که در مقالات مورداستفاده قرارگرفته‌اند، با استفاده از نرم‌افزار VOSviewer استخراج و به‌صورت شبکه‌ای نمایش داده‌شده‌اند. این نمایش شبکه‌ای به ما این امکان را می‌دهد که ارتباطات و ارتباطات متقابل بین موضوعات مختلف را بهتر درک کنیم و ببینیم که چگونه تحقیقات مختلف درزمینهٔ TKX-50 به یکدیگر مرتبط هستند. همان‌طور که مشاهده می‌گردد پایداری ماده منفجره، مواد انرژی‌زا و حساسیت ماده منفجره از مهم‌ترین واژگان تحقیقاتی در این حوزه خاص می‌باشند.



شکل (۲): نحوه ارتباط زمانی ابر واژگان استخراج‌شده از نرم‌افزار vosviewer مرتبط با ماده منفجره TKX-50 در بین ۱۹۶ مقاله ISI



شکل (۳): نحوه ارتباط ابر واژگان استخراج‌شده از نرم‌افزار vosviewer مرتبط با ماده منفجره TKX-50 در بین ۱۹۶ مقاله ISI



شکل (۴): غلظت ابر واژگان استخراج‌شده از نرم‌افزار vosviewer مرتبط با ماده منفجره TKX-50 در بین ۱۹۶ مقاله ISI

شکل (۴) نشان‌دهنده غلظت ابر واژگان استخراج‌شده از نرم‌افزار VOSviewer مرتبط با ماده منفجره TKX-50 در بین ۱۹۶ مقاله ISI است. در این شکل، تمرکز بر روی واژگان کلیدی و موضوعات اصلی مرتبط با TKX-50 به تصویر کشیده شده است. در این تحلیل، برخی از مباحث مهم که به‌صورت قابل‌توجهی در مقالات موردبررسی قرارگرفته‌اند، شامل موارد زیر هستند:

حساسیت به پایداری مواد پرانرژی: این موضوع به بررسی و تحلیل حساسیت مواد منفجره نسبت به تغییرات شرایط محیطی و کاربردهای مختلف پرداخته و نقش کلیدی در بهینه‌سازی عملکرد و ایمنی این مواد دارد.

پایداری مواد پرانرژی: این مبحث به مطالعه ویژگی‌های پایداری مواد منفجره در برابر عوامل مختلف ازجمله حرارت، فشار و رطوبت می‌پردازد و اهمیت ویژه‌ای در تأمین امنیت و کارایی این مواد دارد. این شکل به‌خوبی نشان می‌دهد که تحقیق‌وتوسعه در زمینه TKX-50 روی چه موضوعات کلیدی و مهمی متمرکزشده است و چگونه این واژگان و موضوعات به‌صورت شبکه‌ای و متقابل در مقالات علمی مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۴-۲- تجزیه‌وتحلیل روند TKX-50 در پایگاه اطلاعات pubmed

از تعداد کل مقالات دررابطه‌با TKX-50، ۳۳ مقاله در سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۴ یافت شد. انواع مقالات پژوهشی و مروری به‌صورت فایل CSV دریافت و بررسی شد. از ۱۰۹۱ کلیدواژه نمایه شده ۶۷ کلیدواژه اصلی که حداقل ۱۵ بار هم رخداد بودند انتخاب شدند.

باتوجه‌به جدول (۲) در ۳۳ مقاله ISI منتشرشده در پایگاه اطلاعات علمی پاب‌مد که به ماده منفجره TKX-50 پرداخته‌اند، کلماتی مانند "شبیه‌سازی دینامیک مولکولی"، "بلوره سازی" و "عامل انفجاری" به‌عنوان موضوعات اصلی در بررسی‌های علمی مربوط به این ماده شناخته‌شده‌اند. این موضوعات بیانگر محورهای اصلی پژوهش‌های علمی در این زمینه هستند که به بررسی‌های دقیق‌تر و عمیق‌تر این جنبه‌ها از ماده منفجره TKX-50 پرداخته‌اند. درنتیجه، این موارد به‌عنوان کلمات کلیدی و محوری در این حوزه موردتوجه قرارگرفته‌اند.

۴-۲-۱- شبیه‌سازی دینامیک مولکولی Molecular Dynamics Simulation

این روش یک فن محاسباتی است که برای مدل‌سازی رفتار ذرات (مانند اتم‌ها و مولکول‌ها) در سطح نانو به کار می‌رود. در مورد TKX-50 از این روش برای مطالعه و پیش‌بینی رفتار مولکول‌های این ماده در شرایط مختلف مانند فشار، دما و ضربه استفاده می‌شود. این اطلاعات می‌تواند به درک بهتر پایداری، واکنش‌پذیری و ویژگی‌های انفجاری این ماده کمک کند.

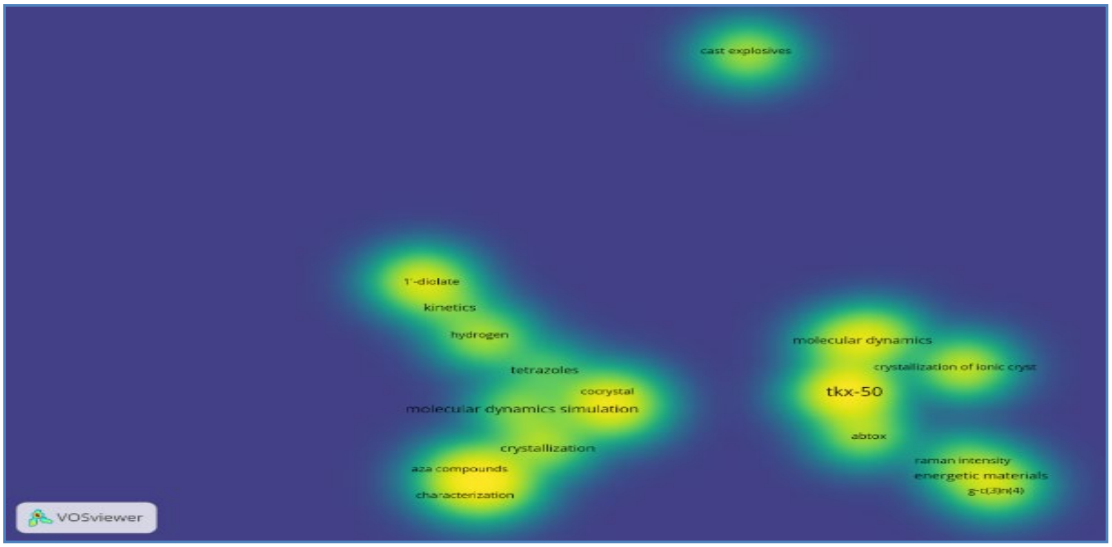
۴-۲-۲- بلوره سازی Crystallization

بلوره سازی فرایندی است که در آن مولکول‌های یک ماده به‌صورت منظم و در یک ساختار شبکه‌ای قرار می‌گیرند و یک بلوره را تشکیل می‌دهند. در مورد TKX-50، بلوره سازی اهمیت زیادی دارد، زیرا خواص فیزیکی و شیمیایی ماده منفجره به‌شدت وابسته به ساختار بلوره‌ای آن است. تحقیقات در این زمینه به دنبال بهبود و کنترل فرایند بلوره سازی برای دستیابی به خواص مطلوب‌تر مانند پایداری و قدرت انفجاری بیشتر هستند.

جدول (۲): ابر کلمات مرتبط با ماده منفجره TKX-50 در بین ۳۳ مقاله ISI منتشرشده در پایگاه اطلاعات علمی پاب‌مد

Verify selected keywords

Selected	Keyword	Occurrences	Total link strength
☑	tkx-50	7	35
☑	molecular dynamics simulation	3	34
☑	crystallization	2	28
☑	explosive agents	2	28
☑	tetrazoles	2	19
☑	aza compounds	1	15
☑	azocines	1	15
☑	characterization	1	15
☑	cl-20	1	15
☑	cocrystal energetic materials	1	15
☑	ethylenes	1	15
☑	heterocyclic compounds	1	15
☑	molecular conformation	1	15
☑	molecular dynamic simulation	1	15
☑	nitro compounds	1	15
☑	preparation	1	15
☑	structure-activity relationship	1	15
☑	trinitrotoluene	1	15
☑	algorithms	1	13



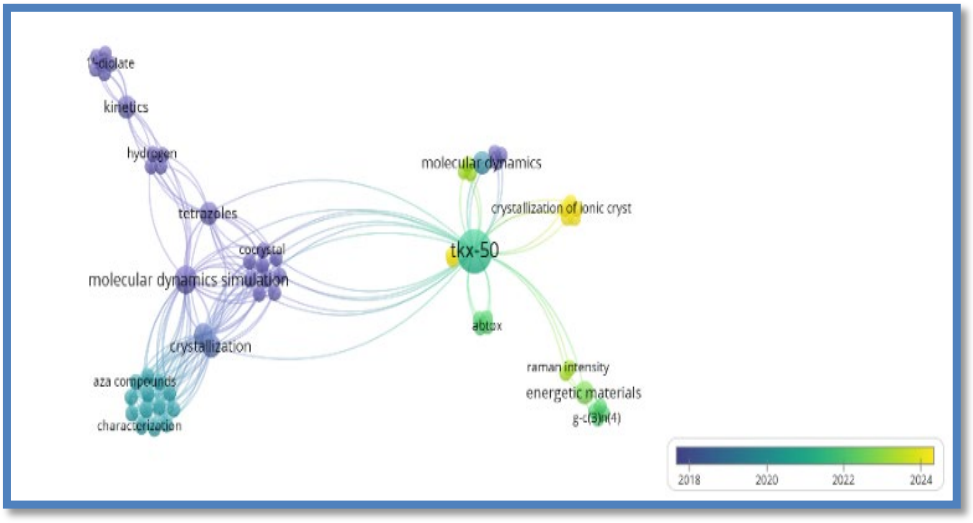
شکل (۵): ابر واژگان تحقیقاتی مرتبط با ماده منفجره TKX-50 در بین ۳۳ مقاله ISI منتشرشده در پایگاه اطلاعات پاب مد

۴-۲-۳- عامل انفجاری Explosive Agent

عامل انفجاری به موادی گفته می‌شود که قادر به تولید یک واکنش شیمیایی بسیار سریع و تولید انرژی زیاد به‌صورت ناگهانی هستند. TKX-50 به‌عنوان یک ماده منفجره جدید و پرقدرت در دسته‌بندی این مواد قرار می‌گیرد. بررسی‌ها در مورد TKX-50 به‌منظور بهبود عملکرد و ایمنی این ماده در کاربردهای نظامی و صنعتی انجام می‌شود.

شبیه‌سازی دینامیک مولکولی به محققان کمک می‌کند تا رفتار مولکول‌های TKX-50 در شرایط مختلف را بهتر درک کنند و این اطلاعات برای بهینه‌سازی فرایند بلوره سازی بسیار مفید است. از سوی دیگر، کنترل بهتر بر روی بلوره سازی می‌تواند به تولید عامل انفجاری TKX-50 با خواص مطلوب‌تر مانند پایداری و قدرت انفجاری بیشتر منجر شود. درنهایت، همه این موضوعات با هم در ارتباط هستند و به بهبود ویژگی‌های این ماده منفجره و کاربردهای عملی آن کمک می‌کنند.

در شکل (۵)، کلماتی که بیشتر مورداستفاده قرارگرفته‌اند، به‌صورت بزرگ‌تر و پررنگ‌تر نمایش داده می‌شوند. برای مثال، اگر واژگانی مانند "شبیه‌سازی دینامیک مولکولی"، "بلوره سازی" و "عامل انفجاری" بزرگ‌تر نمایش داده شوند، نشان‌دهنده اهمیت و فراوانی این مفاهیم در تحقیقات مرتبط با TKX-50است. این نوع تجسم داده به محققان و علاقه‌مندان کمک می‌کند تا به‌سرعت بفهمند که چه موضوعاتی بیشتر در این حوزه موردبررسی قرارگرفته‌اند و چه زمینه‌هایی ممکن است نیاز به پژوهش‌های بیشتر داشته باشند



شکل (۶): کلمات مرتبط با TKX-50 در بین ۳۳ مقاله ISI منتشرشده در پایگاه اطلاعات علمی پاب مد

در شکل (۶) کلمات مرتبط با TKX-50 در بین ۳۳ مقاله ISI منتشرشده در پایگاه اطلاعات علمی پاب‌مد به تصویر کشیده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، رشد حوزه دانشی مرتبط با TKX-50 به‌صورت نامنظم بوده است که نشان‌دهنده نیاز به تحقیقات و توسعه بیشتر در این حوزه است. برای شکل‌گیری درختواره دانش منسجم و پایدار، لازم است که پژوهش‌های بیشتری انجام شود تا مفاهیم و ارتباطات علمی در این زمینه به‌صورت جامع‌تری تدوین شوند. نقشه مصور علمی از کلمات کلیدی مرتبط با ماده منفجره TKX-50 ارائه‌شده است که از تجزیه‌وتحلیل ۳۳ مقاله منتشرشده در پایگاه اطلاعات علمی پاب‌مد استخراج‌شده است. این نقشه به‌صورت گرافیکی ارتباطات بین کلمات کلیدی و موضوعات مختلف را نشان می‌دهد. کلمات مرتبطی که بیشتر در این مقالات تکرار شده‌اند و در نقشه با غلظت بیشتری نمایش داده‌شده‌اند، شامل مفاهیم زیر هستند:

الگوریتم‌ها: این کلمه نشان‌دهنده اهمیت روش‌ها و مدل‌های محاسباتی در تحلیل‌ها و شبیه‌سازی‌های مرتبط با TKX-50 است.

پدیده‌های مکانیکی: بیانگر بررسی‌های مرتبط با رفتار فیزیکی و مکانیکی ماده TKX-50 تحت شرایط مختلف است.

شبیه‌سازی دینامیک مولکولی: این کلمه نشان‌دهنده استفاده گسترده از شبیه‌سازی‌های پیشرفته برای مطالعه و درک رفتار مولکولی TKX-50 است.

فشارها: اهمیت مطالعه اثرات فشارهای مختلف بر ویژگی‌ها و عملکرد TKX-50 را نشان می‌دهد.

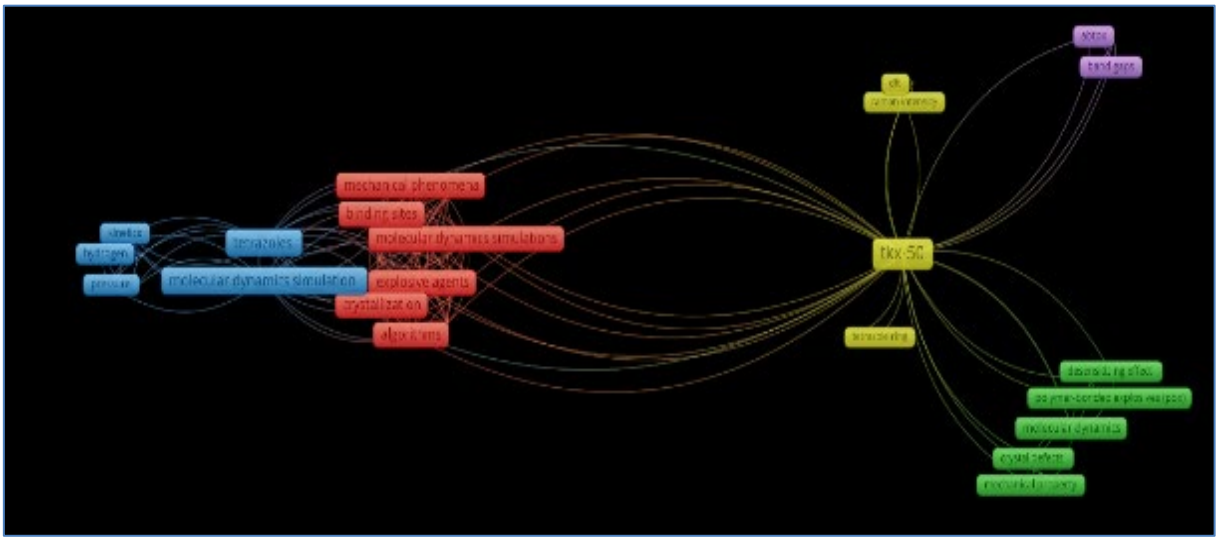
انرژی جنبشی: به بررسی انرژی‌های موجود در سیستم و تأثیر آن‌ها بر عملکرد TKX-50 اشاره دارد.

تترازول‌ها: این کلمه خاص به بررسی ترکیبات شیمیایی و ساختارهای مرتبط با تترازول‌ها در ارتباط با TKX-50 اشاره دارد.

در نقشه مصور هر کلمه به‌صورت یک گره یا node نمایش‌داده‌شده و ارتباطات بین این کلمات از طریق خطوط یا لبه‌ها (edges) مشخص‌شده‌اند.

ضخامت و طول این خطوط نشان‌دهنده میزان ارتباط و همبستگی بین کلمات مختلف است. در این نقشه، گره‌های مربوط به کلمات با تراکم بالاتر، بزرگ‌تر و پررنگ‌تر هستند که نشان‌دهنده اهمیت و فراوانی بیشتر آن‌ها در مقالات ISI بررسی‌شده است.

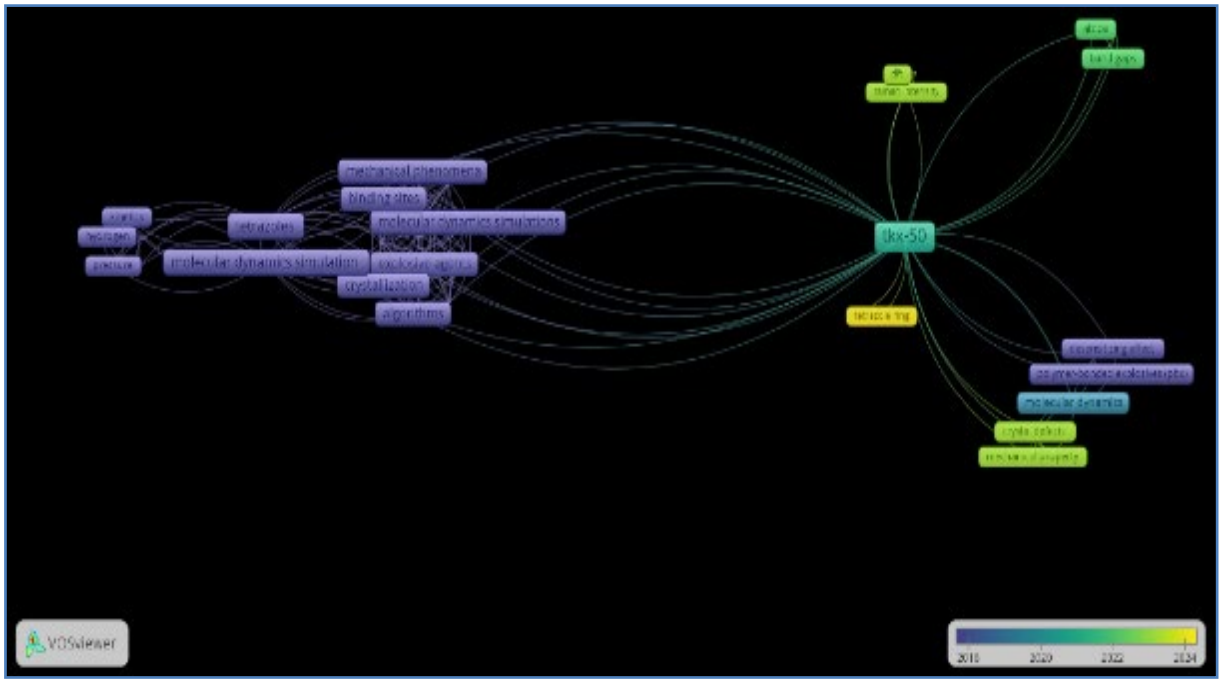
این نقشه به پژوهشگران امکان می‌دهد تا به‌سرعت مفاهیم و کلمات کلیدی مرتبط با TKX-50 را شناسایی کرده و ارتباطات بین آن‌ها را درک کنند که می‌تواند در جهت‌دهی به تحقیقات آینده و فهم عمیق‌تر موضوع موردمطالعه مؤثر باشد.



شکل (۷): کلمات مرتبط با TKX-50 در بین ۳۳ مقاله ISI منتشرشده در پایگاه اطلاعات علمی پاب مد

مطابق شکل (۷) تترازول‌ها دسته‌ای از ترکیبات شیمیایی هستند که به دلیل ساختار حلقوی خاص خود و داشتن گروه‌های نیتروژن، ویژگی‌های منحصربه‌فردی مانند پایداری حرارتی و انرژی بالا دارند. ارتباط تترازول‌ها با TKX-50 ازاین‌جهت مهم است که TKX-50 نیز یک ماده منفجره باانرژی بالا است و ترکیبات شیمیایی مرتبط با تترازول‌ها می‌توانند در بهبود خواص انرژی‌زا و پایداری TKX-50 تأثیرگذار باشند. در تحقیقاتی که بر روی TKX-50 انجام‌شده، تترازول‌ها به‌عنوان یکی از ساختارهای شیمیایی کلیدی موردبررسی قرارگرفته‌اند. این ترکیبات ممکن است به‌عنوان بخش‌های سازنده یا افزودنی‌هایی برای افزایش

کارایی، پایداری و ایمنی TKX-50 مورداستفاده قرار گیرند. تترازول‌ها می‌توانند در فرمولاسیون‌های مواد منفجره جدید و پیشرفته به کار گرفته شوند که باعث می‌شود مطالعات مربوط به آن‌ها برای توسعه و بهبود TKX-50 بسیار حائز اهمیت باشد.



شکل (۸): کلمات مرتبط ازلحاظ زمان‌بندی با حوزه دانشی TKX-50 در بین ۳۳ مقاله ISI منتشرشده در پایگاه اطلاعات علمی پاب مد

در شکل (۸) کلمات مرتبط با حوزه دانشی ماده منفجره TKX-50 ازنظر زمان‌بندی بررسی‌ها در بین ۳۳ مقاله ISI منتشرشده در پایگاه اطلاعات علمی پاب‌مد نشان داده‌شده‌اند. یکی از نکات قابل‌توجه در این نقشه، افزایش توجه به تترازول‌ها در مطالعات اخیر است. این نشان می‌دهد که تترازول‌ها به‌عنوان ترکیبات شیمیایی بااهمیت در پژوهش‌های جدید مرتبط با TKX-50 مطرح‌شده‌اند و احتمالاً تحقیقات بیشتری در این زمینه در حال انجام است. این افزایش توجه به تترازول‌ها ممکن است به دلیل پتانسیل بالای آن‌ها در بهبود خواص و کارایی TKX-50 باشد.

۴-۳- تجزیه‌وتحلیل روند TKX-50 در پایگاه اطلاعات اسکاپوس

از تعداد کل مقالات دررابطه‌با TKX-50 تعداد ۱۴۴ مقاله بین سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴ یافت شد. انواع مقالات پژوهشی و مروری به‌صورت فایل CSV دریافت و بررسی شد که از ۱۰۹۱ کلیدواژه نمایه شده ۱۰ کلیدواژه اصلی که حداقل ۱۵ بار هم رخداد بودند انتخاب شدند.

کل داده‌ها به نرم‌افزار VOSviewer وارد شد. روش آنالیز از نوع هم رخدادی، واحد آنالیز از نوع کل کلیدواژگان اصلی و روش محاسبه از نوع شمارش کامل انتخاب شد.

جدول (۳) نشان‌دهنده واژگان مرتبط با ماده منفجره TKX-50 در بین ۱۴۴ مقاله ISI منتشرشده در پایگاه اطلاعات علمی اسکاپوس است. بر اساس این شکل، سه واژه کلیدی که بیشتر از بقیه مورداستفاده قرارگرفته‌اند عبارت‌اند از:

ترمولیز: به فرایند تجزیه مواد تحت‌تأثیر حرارت اشاره دارد. در زمینه مواد منفجره، مطالعه ترمولیز می‌تواند به بررسی تغییرات شیمیایی و رفتار مواد در دماهای بالا بپردازد که به نوبه خود به بهبود پایداری و ایمنی مواد کمک می‌کند.

تجزیه: این واژه به فرایندهای شیمیایی اشاره دارد که در آن مواد به اجزای کوچک‌تر تقسیم می‌شوند. در مورد مواد منفجره، تجزیه می‌تواند به بررسی نحوه واکنش و عملکرد ماده در شرایط مختلف و تحت‌تأثیر عوامل محیطی بپردازد.

انرژی فعال‌سازی: این واژه به مقدار انرژی لازم برای شروع یک واکنش شیمیایی اشاره دارد. در زمینه مواد منفجره، انرژی فعال‌سازی می‌تواند به تحلیل و بهینه‌سازی میزان انرژی موردنیاز برای فعال‌شدن و عملکرد مؤثر مواد پرداخته و به توسعه مواد با عملکرد بهتر و ایمن‌تر کمک کند.

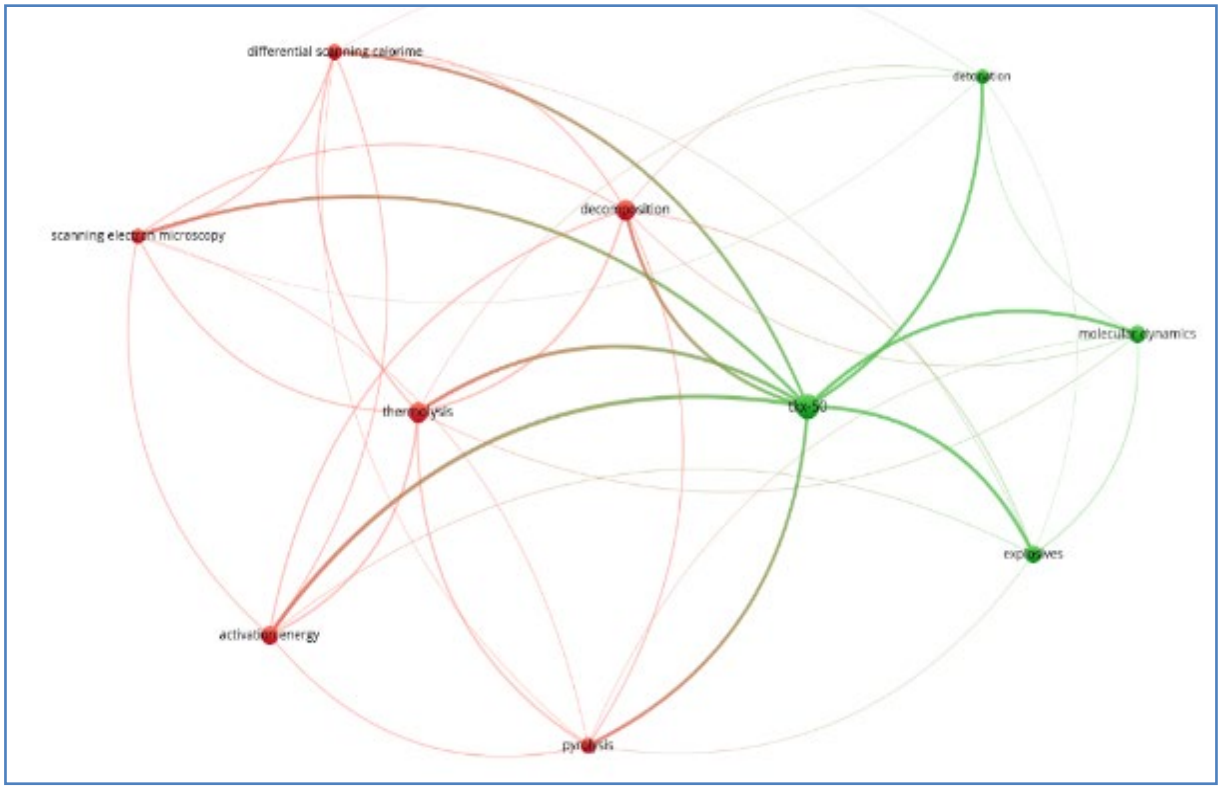
جدول (۳): واژگان مرتبط با TKX-50 در بین ۱۴۴ مقاله ISI منتشرشده در پایگاه اطلاعات علمی اسکاپوس

Verify selected keywords

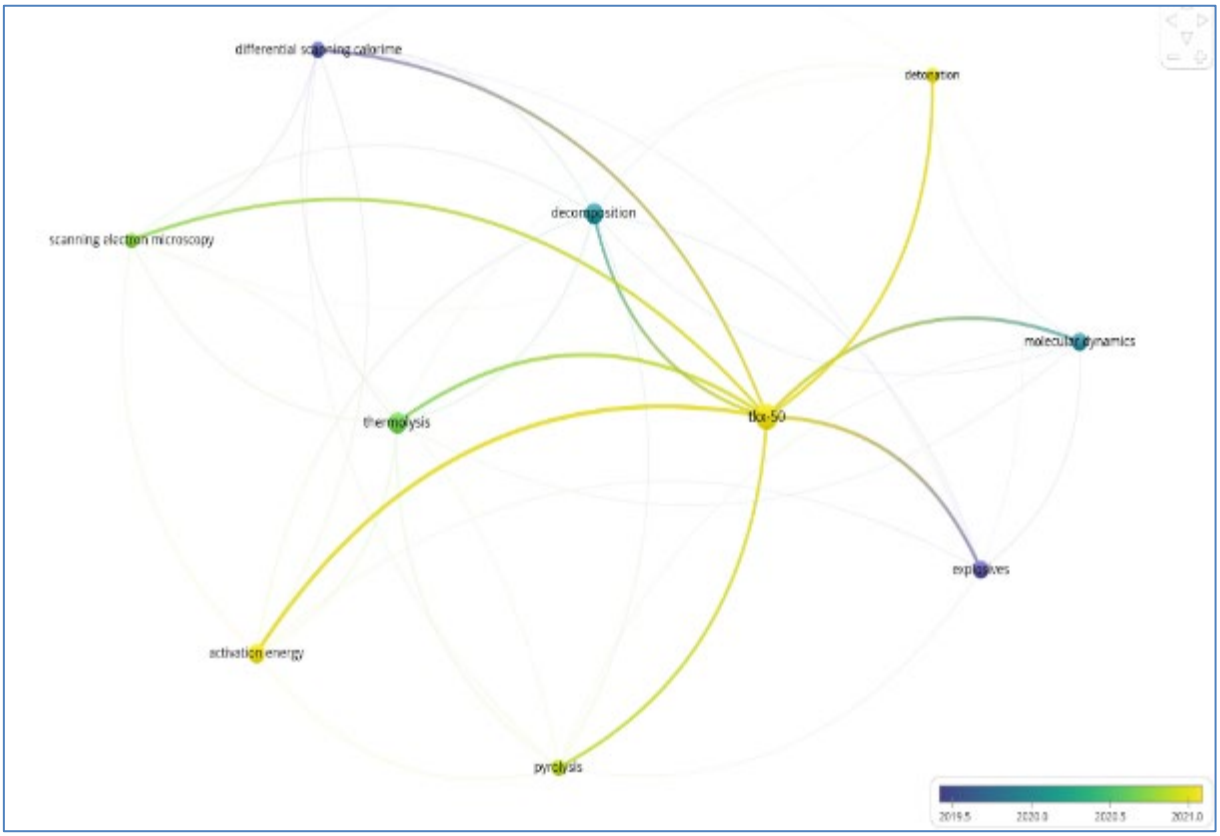
Selected	Keyword	Occurrences	Total link strength
☑	thermolysis	31	76
☑	decomposition	30	70
☑	tkx-50	46	67
☑	activation energy	25	64
☑	differential scanning calorimetry	17	48
☑	scanning electron microscopy	16	44
☑	pyrolysis	17	42
☑	explosives	21	28
☑	molecular dynamics	23	26
☑	detonation	15	17

این مفاهیم نشان می‌دهند که تحقیقات منتشرشده در مورد TKX-50 به جنبه‌های مختلف شیمیایی و فیزیکی ماده پرداخته‌اند، به‌ویژه تمرکز بر روی رفتار مواد تحت شرایط مختلف (ترمولیز و تجزیه) و ویژگی‌های انرژی لازم برای واکنش‌های شیمیایی (انرژی فعال‌سازی). این موارد به درک بهتر عملکرد و بهبود مواد منفجره کمک کرده و می‌توانند نشان‌دهنده تمرکز تحقیقاتی بر روی افزایش کارایی و ایمنی TKX-50 باشند.

طبق مفاهیم شکل (۹) و (۱۰) تحقیقات منتشرشده در مورد TKX-50 به جنبه‌های مختلف شیمیایی و فیزیکی این ماده پرداخته‌اند. به‌ویژه، تمرکز بر رفتار مواد تحت شرایط مختلف، ازجمله ترمولیز و تجزیه و همچنین ویژگی‌های انرژی موردنیاز برای واکنش‌های شیمیایی (انرژی فعال‌سازی) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این موارد به درک بهتر عملکرد و بهبود مواد منفجره کمک می‌کنند و می‌توانند نمایانگر تمرکز تحقیقاتی برافزایش کارایی و ایمنی TKX-50 باشند.

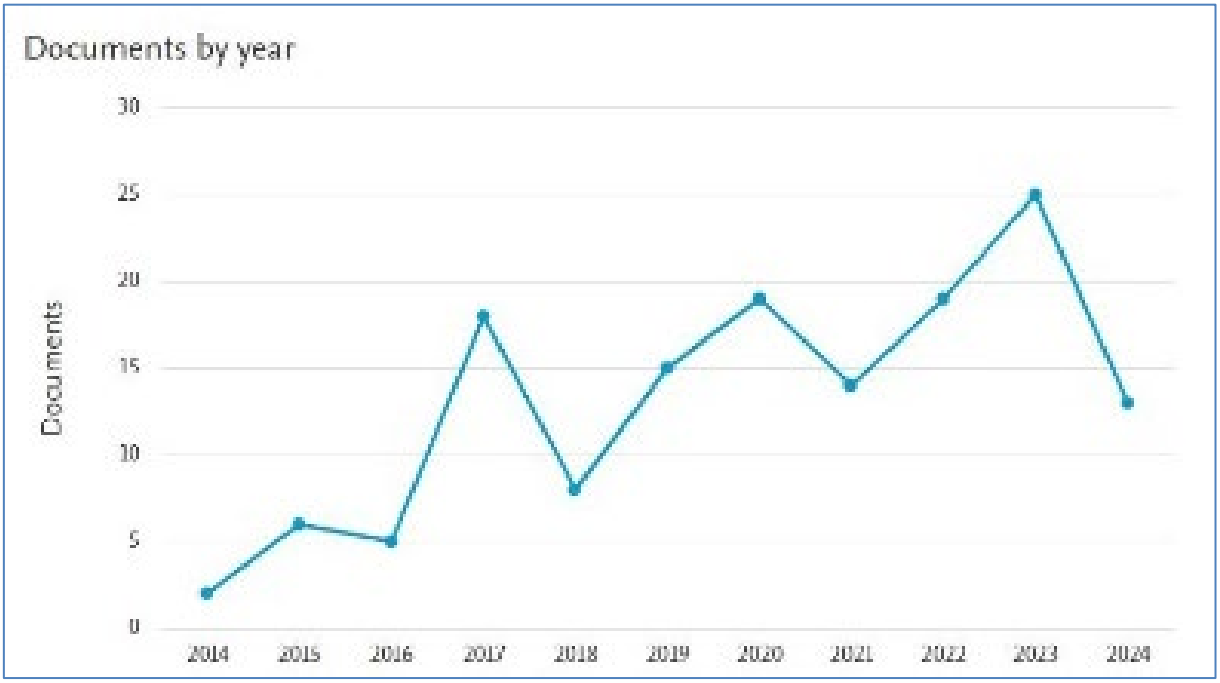


شکل (۹): واژگان مرتبط با ماده منفجره TKX-50 در بین ۱۴۴ مقاله ISI منتشرشده در پایگاه اطلاعات علمی اسکاپوس



شکل (۱۰): واژگان ازلحاظ زمانی مرتبط با TKX-50 در بین ۱۴۴ مقاله ISI منتشرشده در پایگاه اطلاعات علمی اسکاپوس

شکل (۱۱) نشان‌دهنده تعداد اسناد منتشرشده مرتبط با ماده منفجره TKX-50 در بین ۱۴۴ مقاله ISI منتشرشده در پایگاه اطلاعات علمی اسکاپوس است. بر اساس داده‌ها، سال ۲۰۲۳ بیشترین تعداد تحقیقات را به خود اختصاص داده است که نشان‌دهنده به‌روز بودن این موضوع است؛ همچنین به نظر می‌رسد که در سال ۲۰۲۴ نیز تحقیقات بیشتری در حال انجام است و این روند ادامه دارد. این اطلاعات می‌تواند نشان‌دهنده اهمیت و توجه روزافزون به TKX-50 در جامعه علمی باشد.



شکل (۱۱): تعداد اسناد مرتبط با ماده منفجره TKX-50 در بین ۱۴۴ مقاله منتشرشده در پایگاه اطلاعات علمی اسکاپوس

۵- بحث و نتیجه‌گیری

استفاده از مواد منفجره ایمن به‌عنوان بخشی از راهکارهای پدافند غیرعامل، با کاهش حساسیت انفجاری، افزایش پایداری ذخیره‌سازی و کاهش خسارات ثانویه، به افزایش ایمنی و امنیت تأسیسات حیاتی و نظامی کمک می‌کند.

۵-۱- توصیه‌های سطح راهبرد و سیاست

توصیه‌های سطح راهبرد و سیاست برای TKX-50 بر اساس ویژگی‌های فنی، ایمنی، محیط زیستی و اقتصادی این ماده به شرح زیر ارائه می‌شوند:

۵-۱-۱- راهبردهای تحقیق و توسعه (R&D)

۱- افزایش سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه:

- حمایت مالی برای بهینه‌سازی فرایندهای سنتز و کاهش هزینه‌های تولید.
- توسعه فناوری‌های جدید برای افزایش بهره‌وری و ایمنی.

۲- همکاری‌های بین‌المللی و دانشگاهی:

- تشکیل کنسرسیوم‌های تحقیقاتی بین‌المللی برای تسهیل دسترسی به دانش فنی.
- ایجاد برنامه‌های آموزشی مشترک برای تربیت متخصصان در حوزه مواد پرانرژی.

۵-۱-۲- سیاست‌های تولید و صنعتی سازی

۱- ایجاد زیرساخت‌های صنعتی پیشرفته:

- توسعه واحدهای تولیدی مدرن با سامانه‌های کنترل خودکار برای کاهش خطرات ایمنی.
- به‌کارگیری فناوری‌های سبز برای مدیریت پسماندهای تولید.

۲- اقتصاد مقیاس (Economies of Scale):

- کاهش هزینه تولید با مقیاس‌بندی فرایندها برای تولید انبوه.
- تدوین برنامه‌های صادراتی به‌منظور گسترش بازارهای جهانی.

۵-۱-۳- سیاست‌های محیط‌زیست و ایمنی

۱- مدیریت پسماندهای شیمیایی:

- تدوین مقررات سخت‌گیرانه برای کاهش پسماندهای اسیدی در فرایند تولید.
- توسعه فناوری‌های تصفیه برای خنثی‌سازی آلاینده‌ها.

۲- استفاده از مواد تجزیه‌پذیر و کم‌خطر:

- ارزیابی جایگزین‌ها برای افزودن پایداری بیشتر به ترکیبات شیمیایی.

۵-۱-۴- راهبردهای کاربردی صنعتی

۱- کاربردهای صنعتی و غیرنظامی:

- استفاده در صنایع معدنی و حفاری برای ایجاد انفجارهای کنترل‌شده.

۲- افزایش کاربرد در برنامه‌های فضایی:

- استفاده از TKX-50 به‌عنوان سوخت‌های پیشرانه کارآمد در پروژه‌های فضایی.

۵-۱-۵- سیاست‌های امنیتی و کنترل دسترسی

۱- کنترل صادرات و واردات:

- نظارت دقیق بر زنجیره تأمین و جلوگیری از سوءاستفاده‌های غیرقانونی.

۲- سامانه‌های ردیابی پیشرفته:

- استفاده از فناوری‌های ردیابی برای نظارت بر انتقال و ذخیره TKX-50.

۵-۱-۶- سیاست‌های اقتصادی و بازار

۱- تحریک سرمایه‌گذاری خصوصی و دولتی:

- ارائه مشوق‌های مالیاتی به شرکت‌های فعال در تولید TKX-50.

۲- ارزیابی و توسعه بازارهای جدید:

- تحلیل بازارهای بالقوه برای صادرات و گسترش حوزه کاربردهای صنعتی و نظامی.

۵-۱-۷- ارتقای نظارت و ارزیابی عملکرد

۱- ایجاد سامانه‌های ارزیابی عملکرد (KPIs):

- پایش عملکرد TKX-50 در عملیات آزمایشی و عملیاتی.

۲- مدیریت ریسک‌های عملیاتی:

- شناسایی خطرات احتمالی در چرخه تولید و مصرف و تدوین برنامه‌های کاهش خطر.

راهبردهای پیشنهادی برای TKX-50 بر اساس افزایش ایمنی، کاهش هزینه‌ها، سازگاری با محیط‌زیست و توسعه بازارهای جدید بناشده است. سیاست‌های مناسب در زمینه تحقیق‌وتوسعه، تولید صنعتی، ایمنی و بازار می‌توانند جایگاه این ماده را به‌عنوان یک فناوری پیشرفته در صنایع نظامی و غیرنظامی تثبیت کنند.

۵-۲- توصیه‌های سطح عملیات

توصیه‌های عملیاتی برای استفاده از TKX-50 به شرح زیر است:

۱- ایمنی و پایداری:

• پروتکل‌های ایمنی: تدوین دستورالعمل‌های دقیق برای حمل‌ونقل، ذخیره‌سازی و استفاده ایمن از این ماده.

۲- بررسی اثرات محیطی:

• مطالعات محیط زیستی: ارزیابی تأثیرات احتمالی TKX-50 بر آب، خاک و موجودات زنده در صورت نشت یا تخریب.

۳- بهینه‌سازی فرآیند تولید:

• افزایش بازده: بهبود فرایندهای تولید برای افزایش بهره‌وری و کاهش ضایعات.

۴- کاربردهای نوین:

• شناسایی فرصت‌ها: بررسی امکان استفاده از TKX-50 در صنایع مختلف مانند فضایی و نفت و گاز.

• توسعه محصولات جدید: طراحی محصولات و کاربردهای جدید با استفاده از خواص منحصربه‌فردTKX-50

۵- مقایسه با سایر مواد منفجره:

• بهینه‌سازی ویژگی‌ها: شناسایی مزایا و معایب TKX-50 برای بهبود و ارتقای ویژگی‌های آن.

اجرای این توصیه‌ها می‌تواند به بهبود ایمنی، کارایی و سازگاری محیط‌زیست با TKX-50 در کاربردهای مختلف کمک کند.

در جدول (۴) فرصت‌ها و تهدیدهای مرتبط با ماده TKX-50 به‌صورت دسته‌بندی‌شده ارائه‌شده‌اند:

جدول (۴): فرصت‌ها و تهدیدهای مرتبط با ماده TKX-50

تهدیدها	فرصت‌ها
اثرات تولید در محیط‌زیست: تولید پسماندهای اسیدی نیازمند زیرساخت و مدیریت ویژه است	حساسیت پایین به ضربه و اصطکاک: ایمن‌تر برای کاربردهای عملیاتی بدون نیاز به مواد حساسیت‌زدا
هزینه تولید بالا: فرایندهای پیچیده و مواد اولیه خاص منجر به افزایش هزینه می‌شوند	پایداری حرارتی بالا: مناسب برای شرایط دمایی بالا (مانند محیط‌های بیابانی)
امکان سوءاستفاده: قابلیت استفاده در اقدامات خرابکارانه به دلیل قدرت بالای ماده	بازده انرژی بالا: سرعت و فشار انفجار بالاتر نسبت به TNT، RDX و HMX
محدودیت در پایداری بلندمدت: نیازمند شرایط خاص برای نگهداری و حمل‌ونقل است	سمیت زیستی کمتر: سازگارتر با محیط‌زیست نسبت به موادی مانند RDXوCL-20
ریسک‌های عملیاتی در کاربرد صنعتی: احتمال حوادث در شرایط خاص وجود دارد	کاربردهای چندگانه: پتانسیل در پیشرانه‌ها، مواد منفجره سبز، کشاورزی و دارویی
چالش در توسعه کاربردهای جدید: نیاز به زیرساخت تحقیقاتی و فناورانه پیشرفته	ایمنی بالا در برابر الکتریسیته ساکن کاهش خطر انفجار ناخواسته در جابه‌جایی
تولید TKX-50 با تولید پسماندهای اسیدی همراه است که نیازمند مدیریت ویژه‌ای است. این موضوع چالشی برای زیست‌سازگاری این ماده محسوب می‌شود.	ایمنی و آمادگی فناوری (TRL) برای استفاده عملیاتی ایمن و قابل‌اعتماد است. این ویژگی، فرصت بزرگی برای توسعه کاربردهای مختلف این ماده فراهم می‌کند.
هزینه تولید بالا ناشی از فرایندهای پیچیده و مواد اولیه خاص، تهدیدی برای رقابت اقتصادی TKX-50 است.	کاهش خطر و حساسیت ماده: ماده TKX-50 نسبت به ضربه، اصطکاک و الکتریسیته ساکن حساسیت پایینی دارد
محدودیت‌هایی در کار با این ماده در شرایط خاص یا شکل‌های متفاوت است.	جایگزین مواد موجود (RDX): قابلیت رقابتی TKX-50 در جایگزینی مواد منفجره متداول مانند RDX است، به‌ویژه باتوجه‌به بازده انرژی بالاتر و پایداری حرارتی.
اگرچه ظرفیت این ماده برای تولید انرژی بالا است، نیاز به بهینه‌سازی بیشتر در ترکیبات شیمیایی آن، توسعه کاربردهای جدید را محدود می‌کند.	ظرفیت این ماده برای تولید انرژی و بازده بالا بر اساس ساختار شیمیایی نیتروژن-اکسیژن، امیدبخش است
به دلیل پیچیدگی فرایند سنتز و تجهیزات موردنیاز، تولید این ماده ممکن است در همه کشورها یا شرایط قابل‌اجرا نباشد.	TKX-50 نسبت به برخی مواد منفجره متداول (مانند RDX) سمیت زیستی کمتری دارد و می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای سازگارتر با محیط‌زیست مطرح شود.

۶- مراجع

[1] M. Held, "Insensitive Munitions – A Contribution to Passive Defense," Propellants, Explosives, Pyrotechnics, vol. 30, no. 1, pp. 3-8, Feb. 2005.

[2] A. J. Tulis, "Passive Defense Strategies for Military Infrastructure Protection," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, vol. 48, no. 6, pp. 915-925, June 2018.

[3] N. Kubota, "Propellants and Explosives: Thermochemical Aspects of Combustion," Wiley-VCH, 3rd Edition, 2015.

[4] S. P. Marsh et al., "Insensitive High Explosives: Safety and Performance," Journal of Energetic Materials, vol. 34, no. 2, pp. 123-140, 2016.

[5] N. Fischer, D. Fischer, T. M. Klapötke, D. G. Piercey, and J. Stierstorfer, "Pushing the limits of energetic materials – the synthesis and characterization of dihydroxylammonium 5,5'-bistetrazole-1,1'-diolate," J. Mater. Chem., vol. 22, no. 38, pp. 20418–20422, 2012.

[6] T. M. Klapötke, "TKX-50," in Energetic Materials Encyclopedia, Munich, Germany: Ludwig-Maximilians-Universität München, 2017.

[7] H. Huang, Y. Shi, and J. Yang, "Compatibility study of dihydroxylammonium 5,5'-bistetrazole-1,1'-diolate (TKX-50) with some energetic materials and inert materials," J. Energ. Mater., vol. 33, no. 1, pp. 66–72, 2015.

[8] P. Deng, Q. J. Jiao, and H. Ren, "Nano dihydroxylammonium 5,5'-bistetrazole-1,1'-diolate (TKX-50) sensitized by the liquid medium evaporation-induced agglomeration self-assembly," J. Energ. Mater., vol. 38, no. 3, pp. 253–260, 2020.

[9] S. Elbasuney, M. Yehia, S. Ismael, and M. El Gamal, "Novel ammonium perchlorate/RDX co-crystal: Bespoke energetic materials with tailored decomposition kinetics," J. Energ. Mater., vol. 41, no. 3, pp. 429–443, 2023.

[10] S. Zhao, Y. Zhao, X. Xing, et al., "Decomposition mechanism of 5,5'-bis(tetrazole)-1,1'-diolate (TKX-50) anion initiated by intramolecular oxygen transfer," Chem. Res. Chin. Univ., vol. 35, no. 3, pp. 485–489, 2019.

[11] J. Jia, J. Xu, X. Cao, S. Li, S. Huang, and Y. Liu, "Up-sizing 50 grams-scale synthesis technology of dihydroxylammonium 5,5'-bistetrazole-1,1'-diolate (TKX-50)," Propellants Explos. Pyrotech., vol. 44, no. 8, pp. 989–999, 2019.

[12] D. M. Badgujar et al., "Green Energetic Materials: TKX-50 as a Promising Candidate for Insensitive Munitions," Cent. Eur. J. Energ. Mater., vol. 17, no. 2, pp. 189–205, 2020. DOI: 10.22211/cejem/123456

[13] S. V. Chapyshev et al., "Computational Modeling of TKX-50 for Advanced Energetic Applications," in Proc. Int. Annu. Conf. ICT, Karlsruhe, Germany, 2018, pp. 1–12.

[14] Y. Liu, Q. Zhang, and J. Zhang, "Advances in high-energy insensitive explosives: Applications of TKX-50 in smart munitions," Propellants Explos. Pyrotech., vol. 49, no. 2, pp. 156–165, 2024.

[15] X. Wang, H. Li, and C. Xu, "Polymer-bonded explosives with TKX-50 for enhanced safety and performance," J. Energ. Mater., vol. 42, no. 4, pp. 321–330, 2024.

[16] Z. Chen, L. Yang, and T. Wu, "TKX-50 in underwater explosive formulations: Stability and performance," Chem. Eng. J., vol. 472, pp. 144–152, 2024.

[17] S. Zhang, J. Wang, and H. Ren, "Hybrid explosive formulations with TKX-50 and ammonium perchlorate for aerospace applications," Aerospace Sci. Technol., vol. 139, pp. 108–116, 2024.

[18] Q. Jiao, P. Deng, and Y. Shi, "Nano-engineered TKX-50 for micro-explosive systems in MEMS applications," Nano Energy, vol. 118, pp. 105–112, 2025.

[19] L. Zhang, X. Cao, and J. Xu, "Scalable synthesis of TKX-50 for industrial explosive applications," Ind. Eng. Chem. Res., vol. 63, no. 5, pp. 2100–2108, 2024.