

## Grey Systems Theory: A Global Reappraisal and Interdisciplinary Applications for Decision-Making in an Uncertain World – A Scientometric Approach

Tooraj Karimi<sup>1</sup>, Alireza Payvar<sup>2</sup>, SeyedAli Doorafshan<sup>3</sup>, and Soraya Birami<sup>4</sup>

1. Associate Prof., Department of Industrial Management, College of Farabi, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: [tkarimi@ut.ac.ir](mailto:tkarimi@ut.ac.ir)
2. Ph.D Candidate, Industrial Management, College of Farabi, University of Tehran, Qom, Iran. E-mail: [alireza.payvar@ut.ac.ir](mailto:alireza.payvar@ut.ac.ir)
3. Ph.D Candidate, Industrial Management, College of Farabi, University of Tehran, Qom, Iran. E-mail: [sa.doorafshan@ut.ac.ir](mailto:sa.doorafshan@ut.ac.ir)
4. Ph.D Candidate, Industrial Management, College of Farabi, University of Tehran, Qom, Iran. E-mail: [soraya.birami@ut.ac.ir](mailto:soraya.birami@ut.ac.ir)

### Article Info

**Article type:**  
Research

**Article history:**

Received: 2025/09/16  
Received in revised:  
2025/10/02

Accepted: 2025/10/17

Available online: 2025/11/11

**Keywords:**

Grey Systems Theory,  
Uncertainty, Decision-  
Making; Scientometrics,  
Thematic Mapping; Scopus,  
International Collaboration.

### ABSTRACT

**Background:** Grey Systems Theory (GST), introduced by Deng in 1982, is a foundational approach to modeling uncertainty and decision-making with incomplete data. GST views reality as a spectrum—neither fully known nor unknown—enabling its application across engineering, economics, environmental science, medicine, management, and public policy. Despite wide adoption, prior reviews remain fragmented, lacking comprehensive analysis of GST’s intellectual progress and current frontiers. This study addresses these gaps by providing an integrated, systematic scientometric analysis that clarifies GST’s development, structure, and emerging trends.

**Purpose:** This study delivers a dynamic, holistic mapping of GST’s intellectual development from 1982 to 2025. It traces GST’s evolving trajectory, reveals global collaboration networks, pinpoints key thematic clusters, and spotlights emerging domains of application.

**Methodology:** Driven by clear objectives, we adopted a comprehensive scientometric approach. We retrieved data from the Scopus database, analyzing it through the R package Bibliometrix to spotlight citation, co-authorship, and co-word networks. To ensure depth and reliability, our search query spanned diverse keywords: “grey systems,” “grey model,” “grey prediction,” and “grey theory.” Only peer-reviewed, finalized research articles qualified, guaranteeing academic rigor. With this methodology, we constructed thematic maps, identified leading authors and journals, and mapped international research collaborations.

**Findings:** The analysis reveals three distinct phases in the evolution of GST:

1. Conceptual Foundation (1980s–1990s): This phase was marked by the development of core constructs such as grey numbers and grey matrices.
2. Building on these foundations, the next phase—Algorithmic Expansion (2000–2015)—saw the proliferation of hybrid models and the integration of GST with fuzzy logic, evolutionary algorithms, and machine learning.
3. In recent years, this trajectory has given way to Global Convergence (2016–present), marked by growing interdisciplinary applications in public policy, population health, sustainable energy, digital logistics, and socio-technical systems analysis.

Complementing this evolutionary timeline, co-word analysis indicates two dominant **research clusters:** a technical cluster centered on forecasting, optimization, and multi-criteria decision-making, and a human-oriented cluster focusing on applications in the social sciences and public health. Citation analysis reconfirms the seminal role of Deng’s 1982 article as the intellectual cornerstone of the field. Geographically, China remains the epicenter of scientific production, with institutions such as Nanjing, Wuhan, and Chongqing universities playing central roles, while countries like the United States, the United Kingdom, and India contribute as complementary partners through international collaborations.

**Conclusion:** As global challenges grow more complex, the integration of GST with social sciences and advanced technologies—such as artificial intelligence, big data, and digital twins—emerges as crucial. GST, once seen primarily as a computational tool, is now shifting to an interdisciplinary framework that empowers researchers to address twenty-

---

first century problems. Through this evolution, researchers, policymakers, and managers gain a common language, which enables informed decision-making even in uncertain environments. Advancing hybrid grey–AI models, fostering international scientific collaborations, and localizing models to address specific challenges—including resource management, public health, supply chain resilience, and crisis response—are key implications. Moreover, novel applications in climate change and data governance further expand opportunities for decision-making under uncertainty. In sum, this study presents the first systematic and comprehensive scientometric review of over four decades of GST research, clarifying both the current status of the field and future trajectories.

---

**Cite this article:** Karimi, Tooraj; Payvar, Alireza; Doorafshan, SeyedAli; Birami, Soraya (2025). Grey Systems Theory: A Global Reappraisal and Interdisciplinary Applications for Decision-Making in an Uncertain World – A Scientometric Approach, *Applied Scientometric Studies*, 2(3), 76 - 101. <https://doi.org/10.22091/apss.2026.13886.1059>



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

**Publisher:** University of Qom.

**DOI:** <http://doi.org/10.22091/apss.2026.13886.1059>

---



---

**نتیجه‌گیری:** این پژوهش مرزهای نوظهور نظریه‌ خاکستری را در تعامل با علوم اجتماعی و فناوری‌های نوین همچون هوش مصنوعی، کلان‌داده، و دوقلوهای دیجیتال برجسته می‌سازد. چنین تلفیقی، نظریه را از یک ابزار محاسباتی به چارچوبی میان‌رشته‌ای برای فهم پیچیدگی‌های قرن بیست‌ویکم ارتقا می‌دهد. یافته‌ها نشان می‌دهند که نظریه‌ خاکستری اکنون می‌تواند زبان مشترکی برای پژوهشگران، سیاست‌گذاران، و مدیران فراهم آورد تا در رویارویی با مسائل پیچیده و چندبُعدی جهانی به تصمیم‌سازی آگاهانه‌تر بپردازند. از نظر کاربردی، دلالت‌های کلیدی شامل توسعه مدل‌های ترکیبی خاکستری-هوش مصنوعی، گسترش همکاری‌های علمی بین‌المللی، و بومی‌سازی مدل‌ها برای حل مسائل محلی در حوزه‌هایی چون مدیریت منابع، سلامت عمومی، تاب‌آوری زنجیره‌تأمین، و مقابله با بحران‌ها است. افزون‌بر این، کاربردهای جدید در زمینه اقلیم و حکمرانی داده ظرفیت‌های تازه‌ای برای تصمیم‌سازی در شرایط عدم قطعیت ایجاد می‌کند. بدین ترتیب، این مطالعه نخستین مرور نظام‌مند و جامع از چهار دهه پژوهش در حوزه نظریه سیستم‌های خاکستری است که هم وضعیت کنونی را روشن می‌سازد و هم مسیرهای آینده را ترسیم می‌کند.

---

**استناد:** کریمی، تورج؛ پایور، علیرضا؛ درافشان، سیدعلی؛ بیرامی، ثریا (۱۴۰۴). نظریه سیستم‌های خاکستری؛ بازخوانی جهانی و کاربردهای میان‌رشته‌ای برای تصمیم‌گیری در دنیای نامطمئن: رویکرد علم سنجی. *مطالعات کاربردی علم‌سنجی*، ۲ (۳)، ۱۰۱-۷۶.

<https://doi.org/10.22091/apss.2026.13886.1059>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه قم.

---

## ۱. مقدمه

نظریه‌های مربوط به عدم قطعیت پس از شکل‌گیری مباحث آمار و احتمال، با معرفی منطق فازی از سوی زاده در سال ۱۹۶۵ گسترش یافت. در ادامه، دنگ<sup>۱</sup> در سال ۱۹۸۲ نظریه سیستم‌های خاکستری را مطرح و پاولاک<sup>۲</sup> نیز در سال ۱۹۸۵ استفاده از نظریه مجموعه‌های راف را آغاز کرد. واژه «خاکستری» به معنای ناکامل، جزئی یا نامطمئن بودن اطلاعات است. ویژگی بنیادین سیستم‌های نامطمئن، «نقصان و ناکافی بودن داده‌ها» محسوب می‌شود (پراکاش<sup>۳</sup> و دیگران، ۲۰۲۲). هرچند پژوهش‌ها در حوزه سیستم‌های خاکستری حدود ۴۰ سال پیش با مقاله دنگ با عنوان «مسائل کنترل سیستم‌های خاکستری» آغاز شد، این حوزه به سرعت به یکی از زمینه‌های پژوهشی مهم و پربازده تبدیل شد و توانست کاربردهای عملی گسترده و موفقی در دنیای واقعی پیدا کند (دلسا<sup>۴</sup>، ۲۰۱۵). پروفیسور دنگ در مقاله خود مفاهیم بنیادین «سیستم‌های خاکستری» و «ماتریس خاکستری» را همراه با عناصر مرتبط با پایداری و کنترل‌پذیری معرفی کرد. وی همچنین به شکلی ساده توضیح داد که سیستم خاکستری، سامانه‌ای است که هم‌زمان شامل اطلاعات معلوم و نامعلوم می‌شود، چرا که این مفهوم از ایده «جعبه سیاه<sup>۵</sup>» سرچشمه می‌گیرد. در نظریه جعبه سیاه، پدیده‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند، زمانی که اطلاعات کاملاً ناشناخته است، آن‌ها «سیاه» نامیده می‌شوند و هنگامی که اطلاعات به طور کامل شناخته شده باشد، به عنوان «سفید» شناخته می‌شوند. در سال‌های اخیر، نظریه سیستم‌های خاکستری<sup>۶</sup> رشد چشمگیری داشته و به یکی از حوزه‌های پرطرفدار پژوهشی بدل شده است. مبانی اصلی این حوزه را اعداد خاکستری، معادلات، ماتریس‌ها، و سیستم‌ها تشکیل می‌دهند. امروزه مطالعات علمی مرتبط با این نظریه در شاخه‌های متنوعی همچون علوم اجتماعی، مهندسی، علوم طبیعی، هوانوردی، نفت‌وانرژی، حمل‌ونقل، معماری، علوم رفتاری، مدیریت، آموزش، حقوق، و همچنین علوم نظامی به کار گرفته می‌شوند (دومنتئانو<sup>۷</sup> و دیگران، ۲۰۲۵).

تحلیل کتاب‌سنجی (علم‌سنجی) را نخستین بار پریچارد<sup>۸</sup> در سال ۱۹۶۹ مطرح کرد و به استفاده از روش‌های ریاضی و آماری برای بررسی انتشارات در یک حوزه پژوهشی خاص اشاره داشت. به مرور زمان، علم‌سنجی به مثابه رویکردی کمی در پژوهش‌ها گسترش یافت و به روشی شناخته شد که با تحلیل داده‌های کمی، تصویری کلی از یک زمینه پژوهشی ارائه می‌دهد. این روش با بررسی مقالات علمی، مجموعه مقالات کنفرانس‌ها، مرورها و کتاب‌های منتشرشده در یک حوزه، همراه با استنادات آن‌ها، امکان تحلیل ساختاری و محتوایی حوزه‌های علمی را فراهم می‌کند (دلسا، ۲۰۱۵).

علم‌سنجی به مثابه یکی از روش‌های پژوهشی در علوم کتابداری و اطلاع‌رسانی، مبتنی بر سیستم‌های دانش‌بنیان و نظریه انتشار است و به طور گسترده برای ارزیابی پیشرفت علمی و تغییرات پارادایم به کار می‌رود. این امر با سنجش بهره‌وری علمی و تحلیل داده‌های استنادی در سطح موضوع، حوزه، مؤسسه، یا کشور انجام می‌گیرد. مطالعه متون حاصل از تحلیل‌های علم‌سنجی، علاوه بر فراهم کردن درکی جامع و نظام‌مند از پژوهش‌های پیشین، زمینه‌ساز شکل‌گیری ایده‌ها و جهت‌گیری‌های پژوهشی آینده نیز می‌شود.

1. Deng
2. Pawlak
3. Prakash
4. Delcea
5. Black Box
6. Grey Systems Theory (GST)
7. Domenteanu
8. Pritchard

در همین راستا، مرور ترکیبی حاضر با هدف ارائه تصویری جامع از دستاوردهای پژوهشگران در حوزه نظریه سیستم‌های خاکستری (جی.اس.تی) و نیز حمایت از توسعه مستمر و روبه‌جلوی این نظریه در زمینه‌های گوناگون برای پژوهش‌های آینده انجام شده است (یین<sup>۱</sup>، ۲۰۱۳). اگرچه بررسی‌های پیشین در حوزه GST طیف گسترده‌ای از کاربردها را پوشش داده‌اند، اما یافته‌ها پراکنده بوده و انسجام کافی نداشته‌اند. به‌ویژه، تعامل و هم‌گرایی این نظریه با فناوری‌های نوینی همچون هوش مصنوعی، منطق فازی، و یادگیری ماشین تاکنون به‌طور کامل واکاوی نشده است. این نقاط تلاقی می‌توانند زمینه‌ساز گسترش کاربرد GST در تحلیل سیستم‌های پیچیده و توسعه مدل‌های پیش‌بینی باشند.

در این پژوهش، با بهره‌گیری از رویکرد علم‌سنجی، روند تکاملی نظریه سیستم‌های خاکستری از زمان شکل‌گیری آن در دهه ۱۹۸۰ میلادی تا سال ۲۰۲۵ بررسی می‌شود. داده‌های استفاده‌شده از پایگاه اسکوپوس استخراج شده و تحلیل‌ها با استفاده از بسته نرم‌افزاری بیبلمتریکس<sup>۲</sup> در محیط آر انجام شده است. فرایند تحلیل شامل هم‌واژگانی، نقشه‌برداری تماتیک، تاریخ‌نگاری علمی، و بررسی شبکه‌های همکاری پژوهشی می‌شود.

اهداف این پژوهش عبارتند از:

۱. نقشه‌برداری ساختار فکری در نظریه سیستم‌های خاکستری و شناسایی روندهای اصلی در پژوهش‌های علمی در این زمینه.

۲. شناسایی خوشه‌های تماتیک و تحلیل کاربردهای اصلی نظریه سیستم‌های خاکستری در حوزه‌های مختلف.

۳. تحلیل شبکه‌های همکاری علمی و شناسایی نویسندگان، مجلات، و مؤسسه‌های برجسته در این حوزه.

این پژوهش با توجه به جایگاه و کاربردهای گسترده نظریه سیستم‌های خاکستری در حوزه‌های مختلف علمی، می‌تواند افق‌های تازه‌ای را برای پژوهش‌های آینده بگشاید. به‌ویژه، نتایج آن به پژوهشگران و سیاست‌گذاران علمی یاری می‌رساند تا درک عمیق‌تری از روند تکامل این نظریه و فناوری‌های وابسته به آن به‌دست آورند و مسیرهای نوینی را برای گسترش کاربردهای آن در حل مسائل پیچیده و چندبُعدی شناسایی کنند.

## ۲. پیشینه نظری پژوهش

مطالعات علم‌سنجی در زمینه GST نشان می‌دهند که این نظریه از دهه ۱۹۸۰ تاکنون به‌طور پیوسته گسترش یافته و در حوزه‌های متنوعی از جمله اقتصاد، آموزش، کشاورزی، و زنجیره تأمین به کار گرفته شده است. روش علم‌سنجی نخستین بار از سوی لیو و لین<sup>۳</sup> (۱۹۹۸) برای مقایسه عملکرد انتشارات و شناسایی روندهای نوظهور در ریاضیات فازی، نظریه سیستم‌های خاکستری، و مجموعه‌های راف با استفاده از پایگاه‌های وب‌آوساینس<sup>۴</sup> و ای. آی کامپندکس<sup>۵</sup> معرفی شد. در ادامه، لیو و فارست<sup>۶</sup> (۲۰۰۷) با بهره‌گیری از داده‌های پایگاه‌های CNKI و ای. آی کامپندکس، رشد تأثیر علمی GST را بررسی کرده و نشان دادند که این حوزه

1. Yin  
2. Bibliometrix  
3. Liu & Lin  
4. Web of Science  
5. EI Compendex  
6. Liu & Forrest

پژوهشی در کشورهای متعددی از جمله چین، ایالات متحده، انگلستان، آلمان، ژاپن، استرالیا، کانادا، اتریش، روسیه، ترکیه، هلند، و ایران توسعه یافته است.

دهه ۲۰۰۰ میلادی نقطه عطفی در گسترش مطالعات GST بود؛ به گونه‌ای که این نظریه به‌مثابه ابزاری نوین در تصمیم‌گیری چندمعیاره در کانون توجه قرار گرفت و مقالات مرتبط با آن با حمایت نهادهای علمی در بیش از هزار مجله تخصصی منتشر شدند (بین، ۲۰۱۳). مرورهای تاریخی انجام‌شده بین (۲۰۱۳) و پان<sup>۱</sup> و دیگران (۲۰۱۹) بیانگر رشد چشمگیر کمی و کیفی در حوزه انتشارات و استنادها هستند، در حالی که پژوهش‌های دلسا (۲۰۱۵) و دلسا و دیگران (۲۰۲۲) بر نقش فزاینده GST در اقتصاد و آموزش، به‌ویژه در دوران همه‌گیری کووید-۱۹، تأکید کرده‌اند.

همچنین مطالعات جدید، از جمله پژوهش‌های لی<sup>۲</sup> و دیگران (۲۰۲۲)، پراکاش و دیگران (۲۰۲۲)، دومنتانو و دیگران (۲۰۲۵)، و جیانگ<sup>۳</sup> و دیگران (۲۰۲۵)، به بررسی شبکه‌های همکاری جهانی پرداخته و حوزه‌های نوظهوری همچون لجستیک دیجیتال، مدیریت پایدار زنجیره‌تأمین، و ادغام مدل‌های خاکستری با فناوری‌های نوین را برجسته ساخته‌اند. این دستاوردها مسیرهای تازه‌ای برای آینده پژوهش در این حوزه ترسیم می‌کنند. در جدول ۱، مروری بر مطالعات انجام‌شده در این زمینه ارائه شده است.

جدول ۱. پیشینه پژوهش

عنوان پژوهش	نویسنده / سال	نتایج
پانزده سال پژوهش در زمینه نظریه سیستم‌های خاکستری: یک مرور تاریخی و تحلیل علم‌سنجی	بین (۲۰۱۳)	این مطالعه علم‌سنجی به تحلیل روندهای انتشار و استناد نظریه سیستم‌های خاکستری، به‌ویژه تحلیل رابطه‌ای خاکستری و پیش‌بینی خاکستری، از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰ می‌پردازد و رشد قابل توجهی را در تولید علمی این حوزه برجسته می‌سازد. یافته‌های پژوهش با ترسیم توسعه فکری و نفوذ آکادمیک مطالعات GRA و پیش‌بینی خاکستری، مرجعی ارزشمند برای پژوهش‌های آتی فراهم می‌آورند.
کاوش سیستم‌های خاکستری در محیط‌های نامطمئن: تحلیل علم‌سنجی مشارکت‌های جهانی و موضوعات پژوهشی	دومنتانو و همکاران (۲۰۲۵)	این تحلیل علم‌سنجی سیر تکامل ۴۲ ساله نظریه سیستم‌های خاکستری را از سال ۱۹۸۲ تا ۲۰۲۴ ردیابی کرده و رشد ثابتی را در علاقه پژوهشی با افزایش سالانه ۱۲/۹۹٪ آشکار می‌سازد. مشارکت‌کنندگان کلیدی، نویسندگان تأثیرگذار، روندهای موضوعی و شبکه‌های همکاری جهانی نقش روبه‌گسترش این نظریه را در تصمیم‌گیری هوشمند برجسته می‌کنند.
نظریه سیستم‌های خاکستری در اقتصاد - تحلیل علم‌سنجی و مروری بر کاربردها	دلسا (۲۰۱۵)	این مطالعه اولین تحلیل جامع علم‌سنجی متمرکز بر کاربردهای نظریه سیستم‌های خاکستری در اقتصاد را ارائه می‌دهد و حوزه‌های کلیدی پژوهش، روندهای نویسنده‌گی، و الگوهای استناد را شناسایی می‌کند. این پژوهش با برجسته کردن تکامل و دامنه مدل‌های اقتصادی خاکستری و تحلیل‌های رابطه‌ای، نقشه راهی ترکیبی برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌کند.

عنوان پژوهش	نویسنده / سال	نتایج
روندهای نظریه سیستم‌های خاکستری از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۸: یک تحلیل علم‌سنجی و بصری‌سازی	پان و همکاران (۲۰۱۹)	این تحلیل علم‌سنجی سیر تکامل نظریه سیستم‌های خاکستری را طی ۲۷ سال گذشته ترسیم کرده و سهم غالب چین و نقاط داغ پژوهشی در حال تغییر را آشکار می‌سازد. این مطالعه با استفاده از ابزارهایی مانند سایت‌اسپیس <sup>۱</sup> و گفنی <sup>۲</sup> ، نویسندگان، و مؤسسه‌های تأثیرگذار و خوشه‌های موضوعی نوظهور در این زمینه را شناسایی می‌کند.
روند پیشرفت کاربرد فناوری مدل خاکستری در علوم کشاورزی	لی و همکاران (۲۰۲۲)	این مطالعه به کاوش در سیر تکامل ۳۷ ساله کاربردهای مدل‌سازی خاکستری در علوم کشاورزی می‌پردازد و کاربرد گسترده و تأثیر علمی روبه‌رشد آن را برجسته می‌سازد. تحلیل علم‌سنجی، مشارکت‌کنندگان کلیدی، مؤسسه‌ها، و مرزهای پژوهشی نوظهور را در زمینه ادغام مدل‌های خاکستری با حل مسائل کشاورزی آشکار می‌کند.
یک دهه سیستم‌های خاکستری: نظریه و کاربرد - مروری علم‌سنجی و مسیرهای پژوهشی آتی	پراکش و همکاران (۲۰۲۲)	این مطالعه علم‌سنجی به تحلیل دهه اول انتشارات در GSTA پرداخته و تکامل موضوعی و روندهای استناد آن را ترسیم می‌کند. این تحلیل، علاقه جهانی روبه‌رشد و تنوع موضوعی به حوزه‌هایی مانند مدل‌سازی خاکستری - فازی، تصمیم‌گیری، و پیش‌بینی را آشکار می‌سازد.
۳۵ سال نظریه سیستم‌های خاکستری در اقتصاد و آموزش	دلسا و همکاران (۲۰۲۲)	این مطالعه به بررسی سیر تکامل و کاربرد نظریه سیستم‌های خاکستری در اقتصاد و آموزش از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۱ پرداخته و نویسندگان و مؤسسه‌های تأثیرگذار و روندهای موضوعی را شناسایی می‌کند. این پژوهش، ارتباط روبه‌رشد GST را در حوزه‌هایی مانند مدیریت زنجیره تامین و توسعه اقتصادی، به‌ویژه در دوره کووید-۱۹، برجسته می‌سازد.
نظریه سیستم‌های خاکستری در زنجیره تامین: نقاط داغ نوظهور و روندها	جیانگ و دیگران (۲۰۲۵)	این مطالعه با ارائه یک تحلیل علم‌سنجی از ۱۶۱۷ مقاله، به ترسیم چشم‌انداز پژوهشی نظریه سیستم‌های خاکستری در مطالعات زنجیره‌تأمین پرداخته و مؤسسه‌های کلیدی، نویسندگان، و مجلات را شناسایی می‌کند. این تحلیل، نقاط داغ پژوهشی نوظهور مانند لجستیک دیجیتال، مدیریت تأمین‌کننده پایدار، و پیش‌بینی تقاضا مبتنی بر مدل خاکستری را برجسته می‌سازد.

### ۳. روش‌شناسی

این پژوهش بر پایه یک رویکرد علم‌سنجی جامع طراحی شده است که به‌طور ویژه بر تحلیل ارجاعات، هم‌نویسندگی، و هم‌واژگانی تمرکز دارد. داده‌های مورد نیاز از پایگاه اسکوپوس استخراج شده و تحلیل‌ها با استفاده از بسته تحلیلی بیبلیومتریکس در محیط آر انجام گرفته است. خروجی این تحلیل‌ها، شامل نقشه‌های تماتیک و شبکه‌های همکاری علمی، می‌تواند به پژوهشگران در شناسایی روندهای رشد و توسعه نظریه سیستم‌های خاکستری در سطوح مختلف علمی یاری رساند. همچنین، کوئری طراحی شده برای جست‌وجو در پایگاه اسکوپوس با تمرکز بر نظریه سیستم‌های خاکستری، به‌صورت جامع و کارآمد مقالات کلیدی این حوزه را شناسایی کرده است.

"TITLE-ABS-KEY ( "gray system" OR "grey system" OR "gray numbers" OR "grey numbers" OR "gray cluster" OR "grey cluster" OR "gray control" OR "grey control" OR "gray decision" OR "grey decision" OR "gray incidence" OR "grey incidence" OR "gray model" OR "grey model" OR "gray

theory" OR "grey theory" OR "gray sequence" OR "grey sequence" OR "gray prediction" OR "grey prediction" OR "grey set theory" ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) ) AND ( LIMIT-TO ( SRCTYPE , "j" ) ) AND ( LIMIT-TO ( PUBSTAGE , "final" ) )"

این کوئری با بهره‌گیری از ترکیبی جامع از واژگان کلیدی نظیر «سیستم‌های خاکستری»، «مدل خاکستری»، «پیش‌بینی خاکستری»، «نظریه خاکستری»، و سایر اصطلاحات مرتبط طراحی شده است تا طیف گسترده‌ای از مفاهیم بنیادی و کاربردی این نظریه را پوشش دهد. هدف اصلی جست‌وجو، شناسایی مقالاتی است که در عنوان، چکیده، یا کلیدواژه‌های خود به این مفاهیم پرداخته‌اند و در عین حال، تنها مقالات منتشرشده در مجلات علمی معتبر و با داوری هم‌تا در مرحله نهایی انتشار در نظر گرفته می‌شوند. این محدودسازی تضمین می‌کند که داده‌های تحلیل شده از بالاترین سطح اعتبار علمی برخوردار باشند.

کاربرد این کوئری به‌ویژه در پژوهش‌های علم‌سنجی و مرورهای نظام‌مند اهمیت دارد، زیرا امکان تحلیل روندهای تاریخی و تکاملی نظریه سیستم‌های خاکستری، شناسایی شبکه‌های همکاری علمی بین‌المللی، نویسندگان برجسته، و نشریات کلیدی را فراهم می‌کند. افزون بر این، این رویکرد ابزار مؤثری برای کشف مفاهیم نوظهور و موضوعات برجسته در پژوهش‌ها علمی به شمار می‌رود و می‌تواند به پژوهشگران در دستیابی به درکی دقیق‌تر از وضعیت کنونی و مسیرهای آینده نظریه سیستم‌های خاکستری یاری رساند. در نتیجه، این کوئری به‌مثابه ابزاری کارآمد برای شناسایی مقالات برجسته و اثرگذار، می‌تواند پایه‌گذار پژوهش‌های علمی معتبر در این حوزه باشد.

#### ۴. یافته‌ها

مجموعه داده‌های ارائه‌شده در تصویر ۱ حاصل یک تحلیل جامع از اطلاعات موجود در پایگاه‌های استنادی است. این داده‌ها دوره زمانی<sup>۱</sup> ۱۹۸۲ تا ۲۰۲۵ را پوشش می‌دهند و بدین ترتیب امکان بررسی تاریخی و تحلیل تحولات علمی در این بازه گسترده فراهم می‌شود.

در این پژوهش، ۲۵۷۹ منبع شامل مقالات، کتاب‌ها، و سایر مستندات علمی انتخاب و تحلیل شده‌اند. در مجموع، ۹۴۹۴ مستند علمی بررسی شده‌اند که نشان‌دهنده حجم قابل توجهی از تولیدات علمی در این حوزه است. نرخ رشد سالانه انتشارات ۴/۶۶ درصد برآورد شده که گویای روند افزایشی و رشد پایدار پژوهش‌ها در این زمینه است.

از منظر نویسندگان، ۱۵۹۳۷ پژوهشگر فعال در این حوزه شناسایی شده‌اند که بیانگر پویایی و تنوع علمی بالاست. تنها ۵۱۱ نویسنده آثار خود را به‌صورت تک‌نویس منتشر کرده‌اند که نشان می‌دهد بیشتر فعالیت‌ها به‌صورت گروهی انجام شده‌اند. نسبت هم‌نویسندگی بین‌المللی نیز ۱۲/۶۳ درصد بوده که بیانگر همکاری‌های علمی میان کشورهای مختلف است. به‌طور متوسط، هر مقاله را ۴/۰۸ نویسنده نگاشته‌اند که نشان‌دهنده روحیه همکاری و کار تیمی در این حوزه است.

از نظر زمانی، میانگین عمر مستندات ۹/۳۱ سال برآورد شده است؛ به این معنا که بیشتر مقالات نسبتاً جدید هستند، درحالی‌که شماری از مقالات قدیمی‌تر نیز همچنان در کانون توجه قرار گرفته‌اند. همچنین هر مستند به‌طور میانگین ۱۷/۳۹ استناد دریافت کرده که بیانگر اثرگذاری چشمگیر این حوزه در جامعه علمی است.

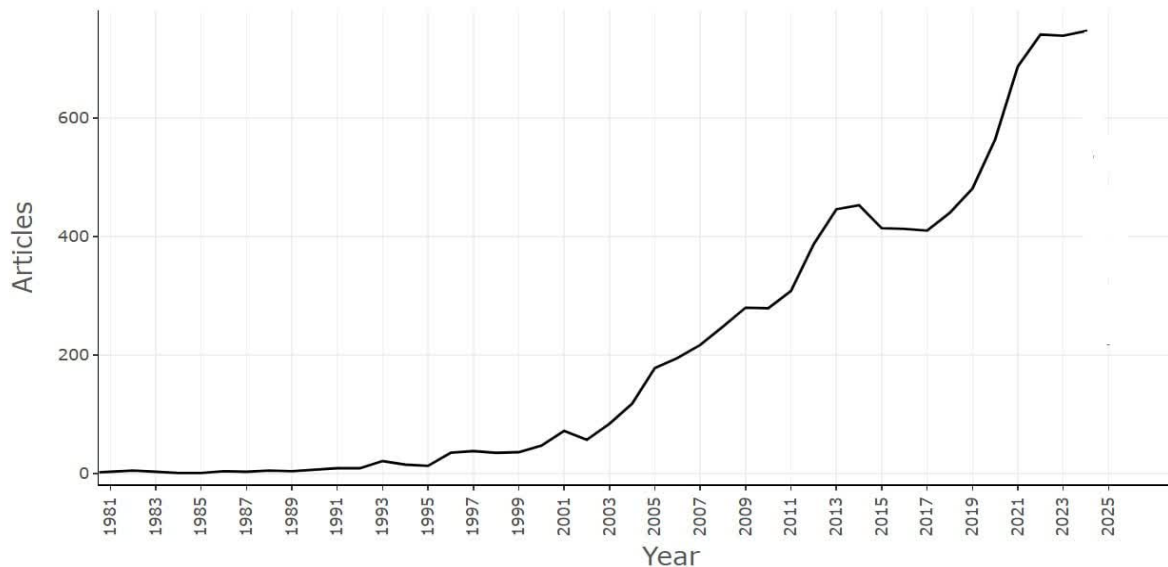


شکل ۱. اطلاعات تحلیل پژوهش

نتایج تحلیل تصویر ۲ نشان می‌دهد که روند تولید علمی و پیش‌زمینه‌های نظریه سیستم‌های خاکستری در بازه زمانی ۱۹۸۲ تا اوایل دهه ۱۹۹۰ نسبتاً ثابت بوده است. این دوره را می‌توان به‌مثابه دوران اولیه شکل‌گیری نظریه در نظر گرفت، چرا که در آن زمان GST هنوز به‌عنوان یک چارچوب تحلیلی مستقل و تثبیت‌شده در ادبیات علمی بین‌المللی شناخته نمی‌شد. با آغاز دهه ۱۹۹۰ و هم‌زمان با پیچیده‌تر شدن مسائل تصمیم‌گیری و افزایش نیاز به ابزارهای تحلیلی برای داده‌های ناقص و نامطمئن، این نظریه به‌تدریج جایگاه خود را در تحلیل‌های میان‌رشته‌ای پیدا کرد. از سال ۲۰۰۵ به بعد، رشد تعداد مقالات منتشرشده به‌صورت انفجاری و نمایی افزایش یافته و این روند تا سال‌های ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ به اوج خود رسیده است. این افزایش سریع تولید علمی را می‌توان به چند عامل نسبت داد، توسعه کاربرد GST در حوزه‌هایی چون مهندسی، لجستیک، علوم محیطی، انرژی، و علوم اجتماعی؛ ادغام آن با تکنیک‌های نوین مانند سیستم‌های فازی، الگوریتم‌های تکاملی، و یادگیری ماشین؛ و همچنین گسترش همکاری‌های بین‌المللی و میان‌رشته‌ای که امکان استفاده از مدل‌های خاکستری در قالب چارچوب‌های ترکیبی و پیشرفته را فراهم کرده است.

به‌طور خلاصه، نظریه سیستم‌های خاکستری طی بیش از چهار دهه، از یک مدل نظری محدود به چارچوبی علمی و کاربردی در تحلیل سیستم‌های پیچیده و نامطمئن تبدیل شده است و اکنون به‌عنوان یکی از ارکان اصلی تصمیم‌سازی در شرایط عدم قطعیت شناخته می‌شود.

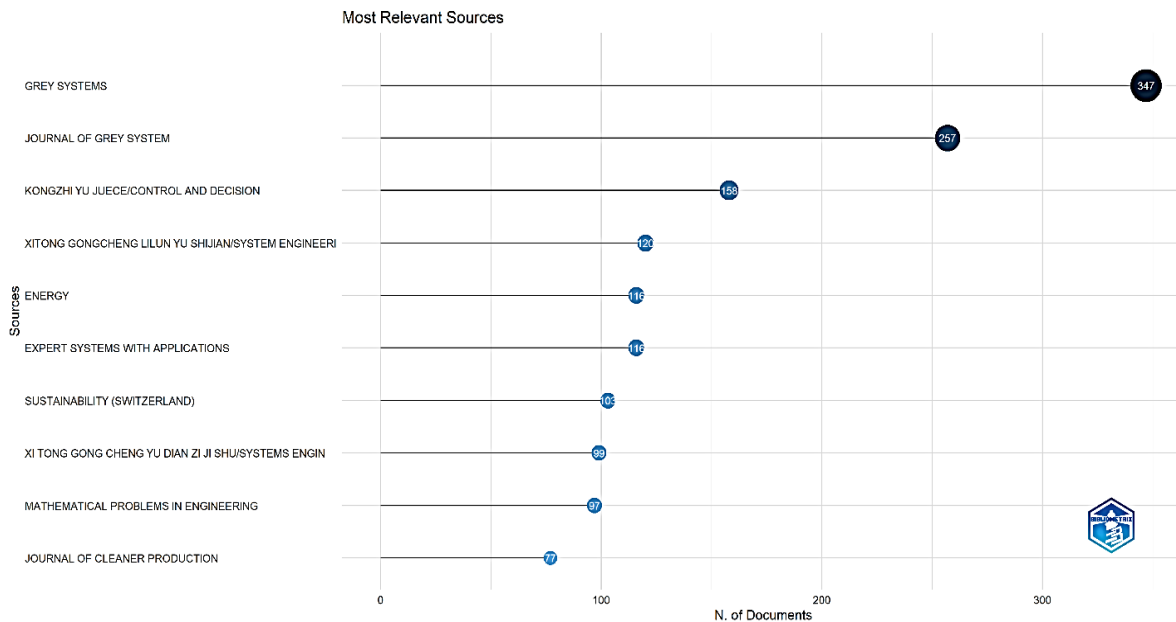
## Annual Scientific Production



تصویر ۲. روند تولید علمی و پیش‌زمینه‌های علمی

تصویر ۳ نمایانگر پُر استنادترین منابع علمی در حوزه نظریه سیستم‌های خاکستری است که با تحلیل داده‌های پایگاه اسکوپوس و بهره‌گیری از بسته تحلیلی بیبلومتریکس آر استخراج شده و تصویری دقیق از جایگاه نشریات علمی در این حوزه ارائه می‌دهد. در صدر این فهرست، "نشریه سیستم‌های خاکستری: نظریه و کاربرد"<sup>۱</sup> با انتشار ۳۴۷ مقاله قرار دارد و به‌مثابه مرجع اصلی و تخصصی این حوزه شناخته می‌شود. پس از آن "نشریه سیستم خاکستری"<sup>۲</sup> با ۲۵۷ مقاله در جایگاه دوم قرار گرفته است که نشان‌دهنده تمرکز تخصصی این مجله بر توسعه نظری و کاربردی GST است. سایر نشریات برجسته شامل "کنترل و تصمیم‌گیری"<sup>۳</sup> با ۱۵۸ مقاله و "نظریه و عمل مهندسی سیستم"<sup>۴</sup> با ۱۲۰ مقاله هستند که بیانگر ارتباط نظریه سیستم‌های خاکستری با حوزه مهندسی سیستم و کنترل است. همچنین، حضور نشریات میان‌رشته‌ای مانند "انرژی"<sup>۵</sup>، "پایداری (سوئیس)"<sup>۶</sup>، "سیستم‌های خیره با کاربردهای آن"<sup>۷</sup>، و "نشریه تولید پاک"<sup>۸</sup> نشان‌دهنده گسترش کاربردهای نظریه خاکستری در تحلیل پایداری، بهینه‌سازی انرژی، و سامانه‌های تصمیم‌یار هوشمند است. این روند انتشار نشان می‌دهد که نظریه سیستم‌های خاکستری علاوه بر بلوغ علمی، به‌طور فزاینده‌ای در زمینه‌های میان‌رشته‌ای کاربرد پیدا کرده و در حوزه‌هایی مانند مهندسی صنایع، محیط زیست، انرژی‌های تجدیدپذیر، و تصمیم‌گیری چندمعیاره در کانون توجه قرار گرفته است. چنین الگویی بیانگر باز بودن این حوزه برای ادغام با نظریه‌ها و روش‌های نوین تحلیلی است.

1. Grey Systems: Theory and Application
2. Journal of Grey System
3. Control and Decision
4. System Engineering Theory and Practice
5. Energy
6. Sustainability (Switzerland)
7. Expert Systems with Applications
8. Journal of Cleaner Production



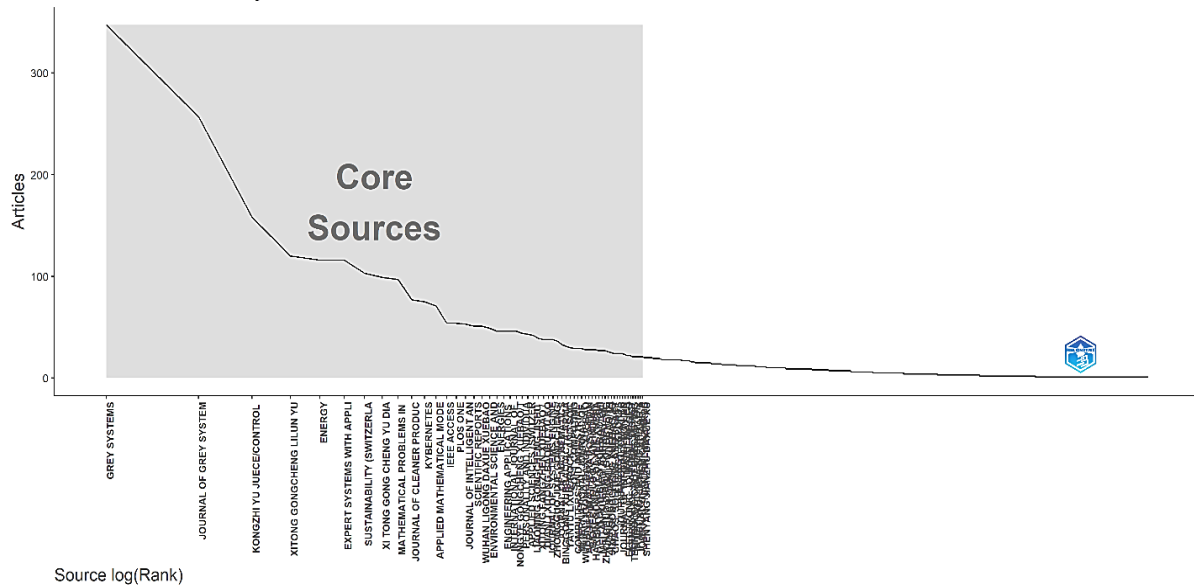
تصویر ۳. پُر استنادترین منابع علمی

تصویر ۴ که با استفاده از داده‌های پایگاه اسکوپوس و تحلیل بسته تخصصی بیبلمتریکس آر تولید شده است، توزیع بصری منابع اصلی علمی در حوزه نظریه سیستم‌های خاکستری را بر اساس قانون بردفورد<sup>۱</sup> نمایش می‌دهد. براساس این نمودار، نشریات تخصصی در این حوزه به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند: ۱- منابع مرکزی محدود<sup>۲</sup> که بیشترین سهم را در تولید دانش حوزه GST دارند؛ ۲- نشریات پراکنده‌تر با سهم اندک از انتشارات.

ناحیه خاکستری مشخص شده در نمودار نشان‌دهنده تمرکز بالاترین تراکم مقالات است. در رأس این ناحیه، نشریاتی همچون "سیستم‌های خاکستری: نظریه و کاربرد"، "سیستم خاکستری" و "کنترل و تصمیم‌گیری" قرار دارند که با انتشار صدها مقاله، در شکل‌گیری، تثبیت، و توسعه دانش نظری و کاربردی این حوزه نقش محوری ایفا کرده‌اند. این الگو براساس قانون بردفورد نشان می‌دهد که تنها اقلیتی از نشریات توانسته‌اند سهم اکثریتی در توسعه نظریه خاکستری داشته باشند.

هم‌زمان، انتشار پراکنده مقالات در نشریات میان‌رشته‌ای مانند انرژی<sup>۳</sup> انرژی<sup>۴</sup>، "سیستم‌های خبره با کاربردهای آن"، و "نشریه پایداری" انعطاف‌پذیری مفهومی نظریه خاکستری و ظرفیت آن برای ورود به حوزه‌های نوظهور و میان‌رشته‌ای را نمایان می‌سازد. تحلیل مبتنی بر قانون بردفورد، علاوه بر شناسایی منابع محوری، برای پژوهشگران به مثابه نقشه راهی عمل می‌کند که امکان انتخاب هدفمند نشریه، تمرکز بر کانون ادبیات، و هدایت پژوهش‌های آتی در مسیر علمی معتبر و اثرگذار را فراهم می‌آورد.

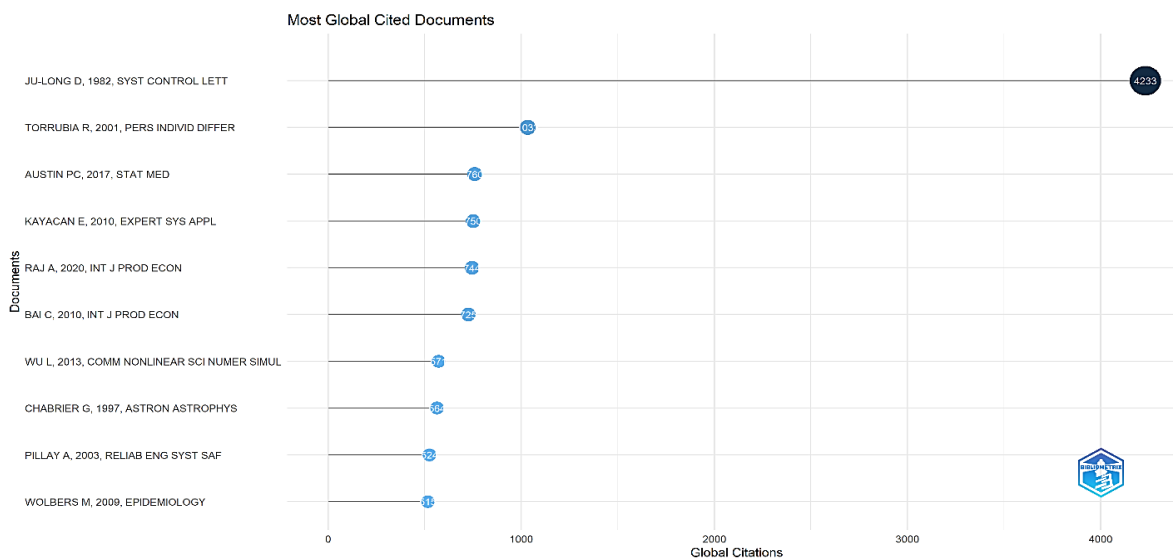
## Core Sources by Bradford's Law



تصویر ۴. توزیعی بصری از منابع اصلی علمی

با توجه به تصویر ۵ و جدول ۲، مقاله جولونگ دی<sup>۱</sup> منتشرشده در سال ۱۹۸۲ در مجله "سیستم‌های کنترل حروف"<sup>۲</sup> با ۴۲۳۳ ارجاع و میانگین ۹۶/۲ ارجاع سالانه، به‌عنوان اثری کلاسیک و بنیادین در حوزه کنترل و نظریه سیستم‌های خاکستری شناخته می‌شود و عملاً پایه‌گذار رسمی این نظریه بوده و در پژوهش‌های بعدی نقش ساختاری ایفا کرده است. در ادامه، مقاله آستین پی. سی<sup>۳</sup> در سال ۲۰۱۷ با نرخ ۸۴/۴۴ ارجاع سالانه، علی‌رغم تعداد کل ارجاعات کمتر به دلیل تازگی اثر، اهمیت بالایی خود را در سال‌های اخیر نشان داده و پتانسیل قابل توجهی برای هدایت جریان‌های پژوهشی آینده دارد. از سوی دیگر، مقاله کایاکان ای<sup>۴</sup> منتشرشده در سال ۲۰۱۰ در مجله "سیستم‌های خیره با کاربردهای آن" با ۷۵۰ ارجاع و میانگین سالانه ۴۶/۸۸، جایگاه ویژه‌ای در نشان دادن کاربرد عملی مدل‌های خاکستری در سیستم‌های هوشمند و تحلیل‌های کاربردی یافته است. همچنین، مقاله راج آ<sup>۵</sup> در سال ۲۰۲۰، اگرچه تعداد کل ارجاعات آن (۷۴۴) کمتر از اثر قبلی است، با میانگین ۱۲۴/۰۰ ارجاع سالانه نشان‌دهنده تأثیر بلندمدت و پایدار، به‌ویژه در حوزه تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت است.

1. JU-LONG D
2. Systems Control Letters
3. AUSTIN PC
4. KAYACAN E
5. RAJ A



تصویر ۵. مقالات پراستناد

جدول ۲. مقالات پراستناد

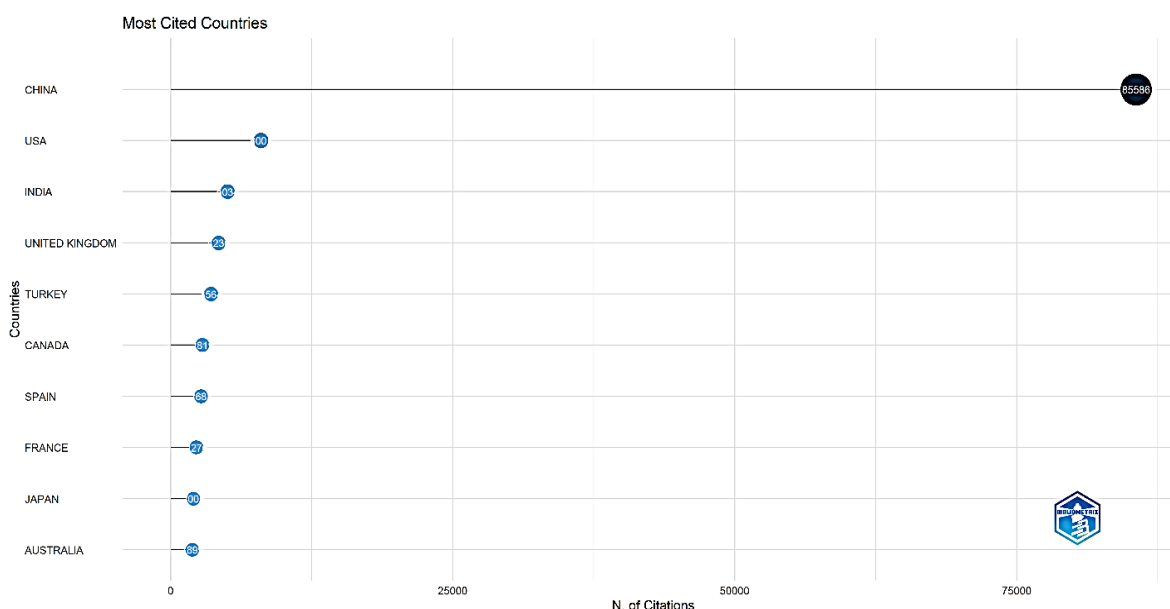
نام مقاله / سال...	DOI	کل استنادات	تعداد کل در هر سال
JU-LONG D, 1982, SYST CONTROL LETT	<a href="https://doi.org/10.1016/S0167-6911(82)80025-X">https://doi.org/10.1016/S0167-6911(82)80025-X</a>	۴۲۳۳	۹۶.۲۰
AUSTIN PC, 2017, STAT MED	<a href="https://doi.org/10.1002/sim.7501">https://doi.org/10.1002/sim.7501</a>	۷۶۰	۸۴.۴۴
KAYACAN E, 2010, EXPERT SYS APPL	<a href="https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.07.064">https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.07.064</a>	۷۵۰	۴۶.۸۸
RAJ A, 2020, INT J PROD ECON	<a href="https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107546">https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107546</a>	۷۴۴	۱۲۴
BAI C, 2010, INT J PROD ECON	<a href="https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.11.023">https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.11.023</a>	۷۲۵	۴۵.۳۱
WU L, 2013, COMM NONLINEAR SCI NUMER SIMUL	<a href="https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2012.11.017">https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2012.11.017</a>	۵۷۱	۴۳.۹۲
PILLAY A, 2003, RELIAB ENG SYST SAF	<a href="https://doi.org/10.1016/S0951-8320(02)00179-5">https://doi.org/10.1016/S0951-8320(02)00179-5</a>	۵۲۴	۲۲.۷۸
PAO H-T, 2011, CO2 EMISSIONS AND ENERGY	<a href="https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.01.032">https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.01.032</a>	۵۰۳	۳۳.۵۳
HASHEMI PETRUDI SH, 2015, GREEN SUPPLIER SELECTION	<a href="https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.027">https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.027</a>	۴۸۵	۴۴.۰۹
TOSUN N, 2006, MULTI-PERFORMANCE OPTIMIZATION	<a href="https://doi.org/10.1007/s00170-004-2386-y">https://doi.org/10.1007/s00170-004-2386-y</a>	۴۵۶	۲۲.۸

تصویر ۶ پراستنادترین کشورها از منظر تولید دانش در حوزه نظریه سیستم‌های خاکستری را نشان می‌دهد. تحلیل این نمودار نشان می‌دهد که چین با اختلافی چشمگیر جایگاه نخست را با بیش از ۸۵/۵۸۶ استناد به خود اختصاص داده است. این رقم نه تنها برتری عددی، بلکه هژمونی علمی چین در توسعه و گسترش نظریه سیستم‌های خاکستری را منعکس می‌کند.

پس از چین، ایالات متحده آمریکا با فاصله قابل توجه در رتبه دوم قرار دارد، که نشان‌دهنده جایگاه کاربردی و میان‌رشته‌ای نظریه خاکستری در پروژه‌های پژوهشی آمریکایی است. همچنین، کشورهای هند، بریتانیا، ترکیه، و کانادا در رتبه‌های بعدی قرار دارند و گسترش جهانی این نظریه در محیط‌های دانشگاهی و صنعتی را نشان می‌دهند.

از منظر علم‌سنجی، این توزیع نه تنها بازتاب‌دهنده قدرت علمی کشورهاست، بلکه می‌تواند به مثابه شاخصی برای شناسایی فرصت‌های همکاری علمی بین‌المللی، دیپلماسی علمی، و توسعه ظرفیت پژوهشی در حوزه سیستم‌های خاکستری به کار رود. کشورهایی که در نمودار حضور ندارند، اما با مسائل تصمیم‌گیری، سیستم‌های ناپایدار یا عدم قطعیت روبه‌رو هستند (مانند برخی کشورهای خاورمیانه، آفریقا، و بخش‌هایی از آمریکای لاتین)، می‌توانند از این تحلیل برای تدوین سیاست‌های پژوهشی هدفمند بهره‌برداری کنند.

در مجموع، این نمودار نمایی چندلایه از توزیع قدرت علمی، فرصت‌های همکاری، و بلوغ نظریه خاکستری در سطح بین‌المللی ارائه می‌دهد و می‌تواند مبنایی راهبردی برای طراحی پروژه‌های آینده و سیاست‌گذاری علمی در سطوح ملی و منطقه‌ای باشد.



تصویر ۶. پُر استنادترین کشورها

تصویر ۷ نقشه جهانی تولید علمی کشورها<sup>۱</sup> در حوزه نظریه سیستم‌های خاکستری را نشان می‌دهد و نمایی فراگیر و جغرافیامحور از توزیع پژوهش‌ها در این حوزه ارائه می‌کند. در این نقشه، شدت رنگ هر کشور نشان‌دهنده میزان تولید علمی آن در زمینه نظریه خاکستری است. به‌وضوح، چین با پُررنگ‌ترین سایه، در جایگاه قطب اصلی تولید دانش در این حوزه برجسته می‌شود.

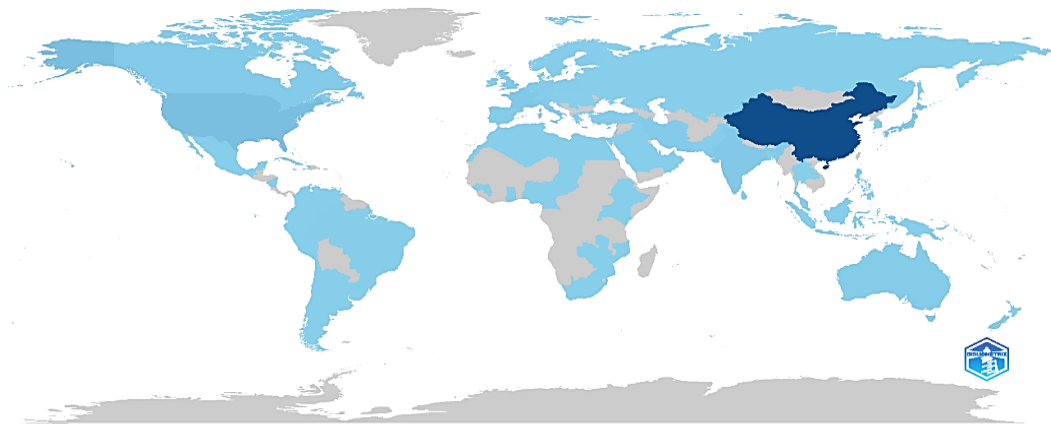
از طرفی، تصویر ۸ نقشه همکاری علمی بین‌المللی کشورها<sup>۲</sup> در حوزه نظریه سیستم‌های خاکستری را نشان می‌دهد. این نقشه به‌طور مؤثر پیوندهای علمی میان کشورها را با خطوط همکاری<sup>۳</sup> ترسیم کرده است. در این تحلیل، چین همچنان در جایگاه گره مرکزی و برجسته‌ترین کانون همکاری‌های علمی دیده می‌شود. کشورهایی مانند آمریکا، بریتانیا، آلمان، هند، استرالیا، و کانادا به‌طور منظم

1. Country Scientific production
2. Country collaboration map
3. co-authorship links

در تعاملات علمی با چین مشارکت دارند. این الگوی همکاری، از یک‌سو، انعکاس‌دهنده قدرت تولید علمی چین در حوزه نظریه‌های خاکستری و از سوی دیگر نشان‌دهنده تمایل سایر کشورها به بهره‌برداری از تخصص و مدل‌سازی‌های توسعه‌یافته در چین است. اروپا نیز به‌مثابه دومین کانون مهم تعامل علمی ظاهر می‌شود. ایالات متحده آمریکا در شبکه همکاری‌های علمی ایفا نقش محوری می‌کند، اما تمرکز آن بیشتر بر همکاری‌های استراتژیک میان‌رشته‌ای با اروپا و شرق آسیا است.

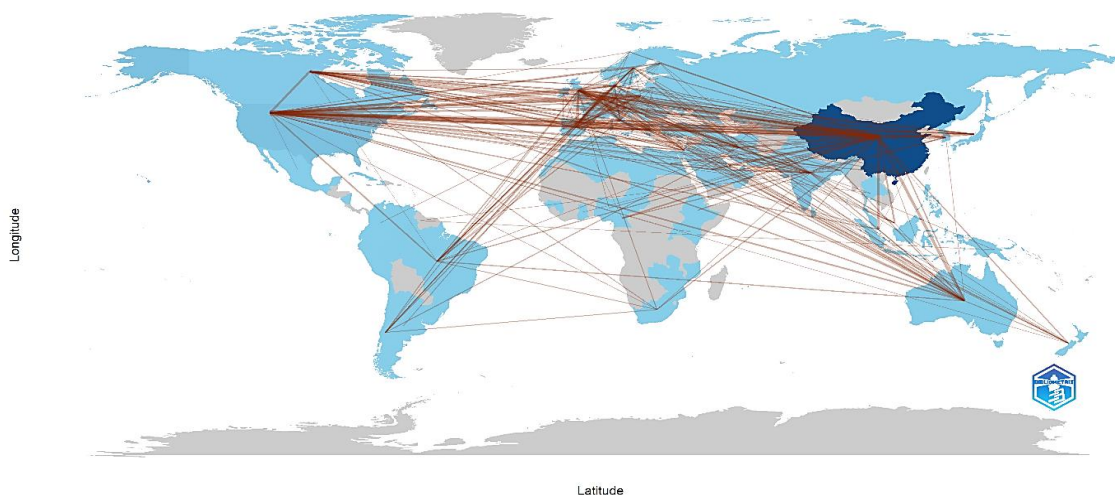
از منظر فلسفه علم، این الگوی همکاری جهانی می‌تواند نشانه‌ای از شکل‌گیری اجماع نظری بین‌المللی بر کاربردپذیری نظریه سیستم‌های خاکستری باشد. چنین اجماعی زمینه را برای تولید رویکردهای مشترک، بومی‌سازی مدل‌های خاکستری، و ارتقای پویایی نظری در قالب پروژه‌های بین‌المللی فراهم می‌آورد.

### Country Scientific Production



تصویر ۷. تولید علمی کشورها

### Country Collaboration Map

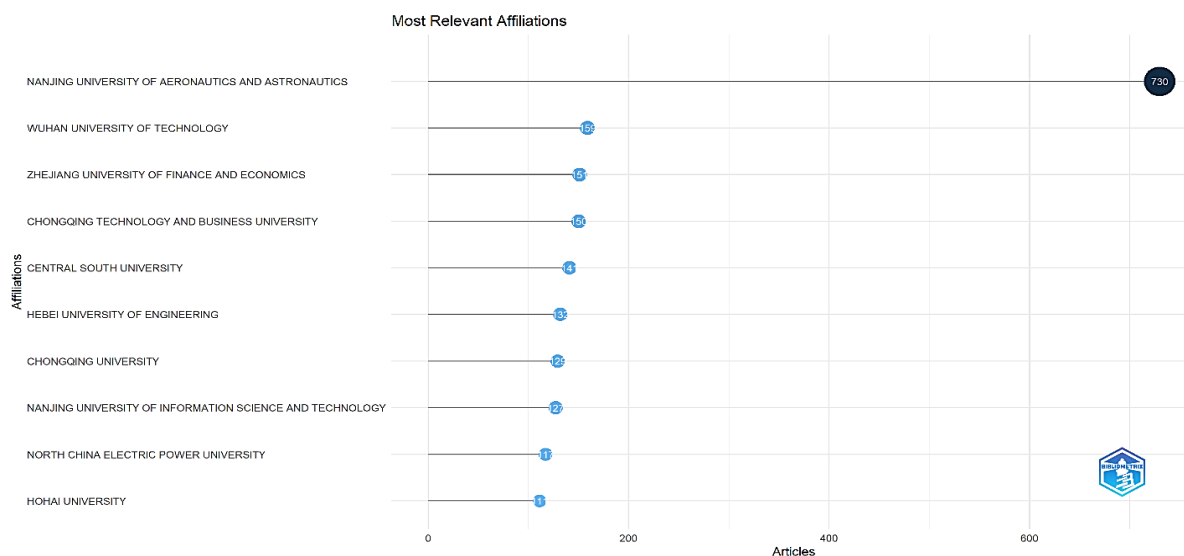


تصویر ۸. نقشه همکاری علمی بین‌المللی کشورها

تصویر ۹ پُر استنادترین وابستگی‌ها را در حوزه نظریه سیستم‌های خاکستری نشان می‌دهد. در صدر این فهرست، دانشگاه نانجینگ در چین با بیش از ۷۳۰ مقاله قرار دارد و به دلیل پیشینه تاریخی و ریشه‌دار بودن نظریه سیستم‌های خاکستری در چین، به‌مثابه یکی از قطب‌های اصلی پژوهش در این حوزه شناخته می‌شود.

در رتبه‌های بعدی، دانشگاه‌های ووهان و چونگ‌چینگ با به‌ترتیب ۱۵۰ و ۱۳۲ مقاله جایگاه‌های دوم و سوم را به خود اختصاص داده‌اند. این دانشگاه‌ها به‌ویژه در زمینه مهندسی سیستم و کنترل، کاربردهای گسترده‌ای از نظریه خاکستری را توسعه داده‌اند. علاوه بر این، دانشگاه‌های تخصصی دیگر در چین، مانند دانشگاه فنی هبی و دانشگاه فناوری اطلاعات نانجینگ نیز به‌مثابه مراکز مهم پژوهشی در این حوزه معرفی شده‌اند. در مقابل، دانشگاه‌های خارج از چین که در نمودار دیده می‌شوند شامل نهادهایی از انگلستان، فرانسه، اسپانیا، و کانادا هستند. هرچند تولید علمی آن‌ها در مقایسه با چین کمتر است، اما در گسترش جهانی نظریه سیستم‌های خاکستری نقش مهمی ایفا کرده‌اند و به‌ویژه در تلفیق آن با روش‌های میان‌رشته‌ای مانند مدل‌های فازی، الگوریتم‌های تکاملی، و یادگیری ماشین فعال بوده‌اند.

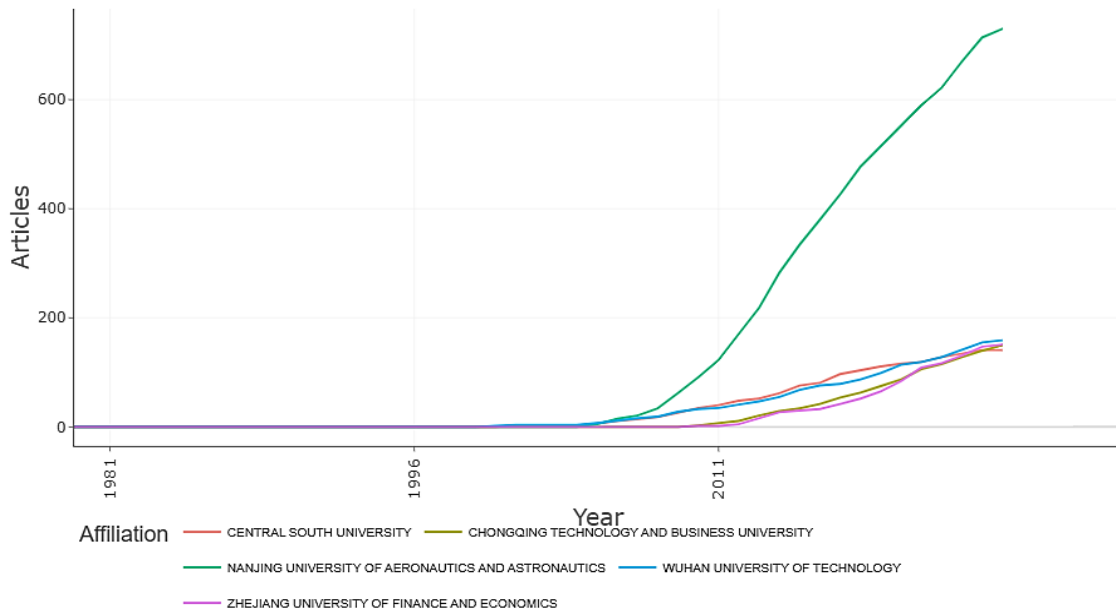
در نهایت، این نمودار ابزاری کلیدی برای شناسایی مراکز برجسته پژوهشی در حوزه نظریه سیستم‌های خاکستری محسوب می‌شود و می‌تواند به پژوهشگران و سیاست‌گذاران کمک کند تا راهبردهای همکاری علمی خود را طراحی کرده و نهادهای برتر را برای ایجاد پیوندهای پژوهشی بین‌المللی شناسایی کنند.



تصویر ۹. پُر استنادترین وابستگی‌ها

تصویر ۱۰ روند تولید علمی وابستگی‌ها را در طول زمان نشان می‌دهد و براساس داده‌های استخراج‌شده، انتشار مقالات علمی از دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی مختلف در حوزه نظریه سیستم‌های خاکستری را به‌صورت زمانی ترسیم می‌کند. تحلیل این نمودار نشان می‌دهد که دانشگاه‌های مختلف چین در سال‌های اخیر شاهد رشد چشمگیر تولید علمی در این حوزه بوده‌اند. به‌ویژه، دانشگاه نانجینگ با ارائه بودجه و کمک‌هزینه تحصیلی قابل توجه برای دانشجویان مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری فعال در زمینه سیستم‌های خاکستری، توانسته مشارکت دانشجویانی از کشورهای مختلف از جمله ایران، پاکستان، و هند را جذب کند. در این دانشگاه، درس سیستم‌های خاکستری به‌عنوان بخشی از سرفصل برخی گرایش‌های کارشناسی ارشد و دکتری گنجانده شده است.

همچنین، دانشگاه ووهان به‌ویژه در دهه‌های اخیر افزایش قابل توجهی در تولید مقالات داشته است. روند رشد شتابان از سال ۲۰۱۰ به بعد به‌وضوح نشان‌دهنده اهمیت روزافزون پژوهش‌های خاکستری در چین و تمرکز این دانشگاه‌ها بر مدل‌سازی پیچیده در شرایط عدم قطعیت است. دانشگاه‌های دیگری مانند دانشگاه مرکزی جنوب و دانشگاه فناوری و تجارت چونگ‌چینگ نیز با تولید مقالات نسبی اما روبه‌رشد در این حوزه حضور دارند. از سوی دیگر، دانشگاه ژجیانگ<sup>۱</sup> که از اواسط دهه ۲۰۱۰ فعالیت قابل توجهی در تولید مقالات خاکستری داشته، به‌مثابه یکی دیگر از دانشگاه‌های پیشرو در این زمینه شناخته می‌شود.

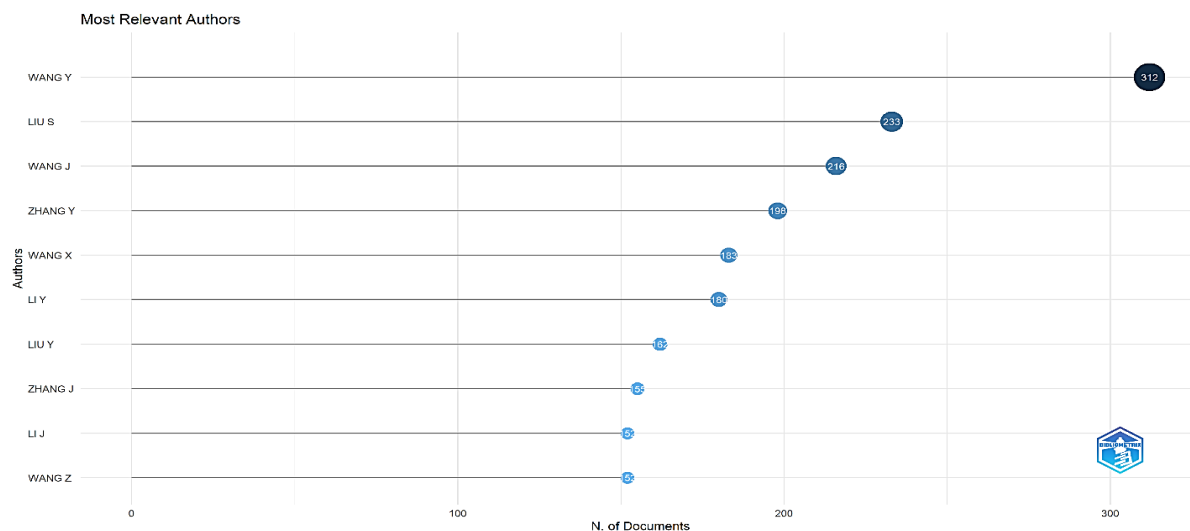


تصویر ۱۰. تولید علمی وابستگی‌ها در طول زمان

نتایج تحلیل تصویر ۱۱ که نویسندگان وابسته<sup>۲</sup> را نشان می‌دهد، نمایانگر افزایش چشمگیر تعداد نویسندگان فعال در حوزه نظریه سیستم‌های خاکستری است. بیشترین فعالیت در این زمینه مربوط به چین است، که بالاترین تعداد مقالات علمی را منتشر کرده است. همچنین، نویسندگان از کشورهای آمریکا، بریتانیا، و هند نیز حضور قابل توجهی دارند و در تلفیق نظریه سیستم‌های خاکستری با روش‌های نوین تحلیلی مانند الگوریتم‌های تکاملی، منطق فازی، و یادگیری ماشین نقش برجسته‌ای ایفا کرده‌اند. از میان نویسندگان، وانگ وای<sup>۳</sup> بیشترین سهم را با انتشار ۳۱۲ مقاله در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۴ دارد. سایر نویسندگان مانند لیو اس<sup>۴</sup> و وانگ جی<sup>۵</sup> نیز روند مشابهی داشته و تولید علمی خود را در دهه‌های اخیر افزایش داده‌اند. علاوه بر این، نویسندگان دیگری همچون ژانگ وای<sup>۶</sup> و ژانگ جی<sup>۷</sup> نیز فعال هستند، هرچند حجم تولیدات علمی آن‌ها نسبت به گروه نخست کمتر است.

1. Zhejiang University
2. Most relevant authors
3. Wang Y
4. Liu S
5. Wang J
6. Zhang Y
7. Zhang J

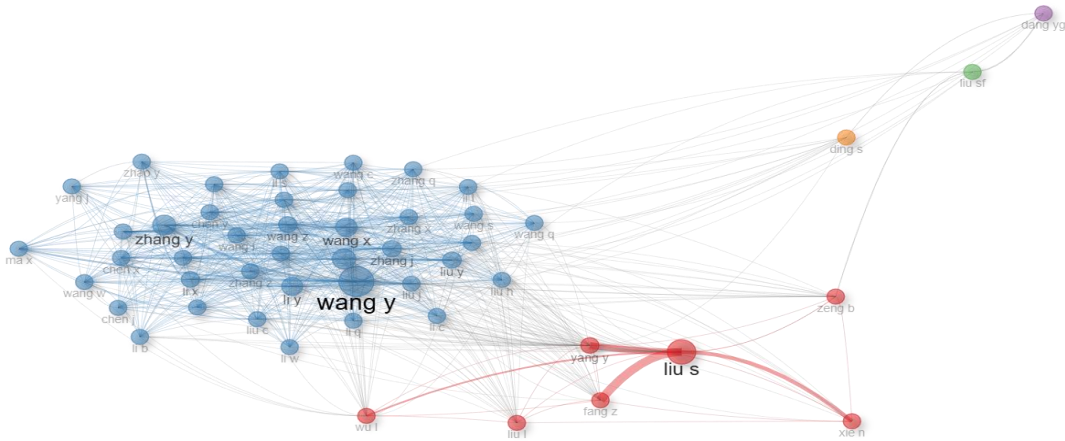
در مجموع، این نمودار نه تنها رشد قابل توجه تولید علمی در حوزه نظریه سیستم‌های خاکستری را نشان می‌دهد، بلکه می‌تواند به‌مثابه شاخصی برای شناسایی نویسندگان برجسته و تأثیرگذار در این حوزه استفاده شود.



تصویر ۱۱. نویسندگان وابسته

تصویر ۱۲ و جدول ۴ اطلاعات مربوط به شبکه همکاری‌های علمی در حوزه نظریه سیستم‌های خاکستری را ارائه می‌دهند. داده‌های این جدول شامل ویژگی‌های مختلف نویسندگان و ساختار شبکه همکاری است. برخی از شاخص‌های کلیدی موجود عبارتند از:

۱. کانون (گره): نام نویسنده یا گره در شبکه همکاری.
  ۲. خوشه: گروه‌بندی نویسندگان براساس همکاری‌های مشترک؛ هر خوشه نمایانگر مجموعه‌ای از نویسندگان است که بیشترین تعامل علمی را با یکدیگر دارند.
  ۳. درجه میانجی‌گری: میزان تأثیرگذاری نویسنده در انتقال اطلاعات بین دیگر اعضای شبکه. نویسندگانی با درجه میانجی بالاتر نقش محوری در جریان دانش دارند.
  ۴. درجه نزدیکی: نشان می‌دهد که یک نویسنده تا چه حد به سایر اعضای شبکه نزدیک است و قادر است به سرعت با آن‌ها ارتباط برقرار کند.
  ۵. رتبه‌بندی صفحه<sup>۱</sup>: شاخصی مشابه الگوریتم رتبه‌بندی صفحات گوگل که اهمیت نسبی نویسنده در شبکه همکاری علمی را بر اساس ارجاعات و تأثیر مقالاتش ارزیابی می‌کند.
- با تحلیل این داده‌ها می‌توان نویسندگان کلیدی و تأثیرگذار در شبکه همکاری علمی را شناسایی کرد. نویسندگانی که درجه میانجی و رتبه صفحه بالاتری دارند، در انتقال دانش و ایجاد ارتباطات علمی مؤثر در سطح جهانی نقش مهمی ایفا می‌کنند. این داده‌ها همچنین می‌توانند مبنای تحلیلی برای شناسایی نویسندگان برجسته و گروه‌های پژوهشی فعال در زمینه نظریه سیستم‌های خاکستری و توسعه همکاری‌های علمی بین‌المللی مورد استفاده قرار گیرند.



تصویر ۱۲. شبکه همکاری‌های علمی

جدول ۴. شبکه همکاری‌های علمی

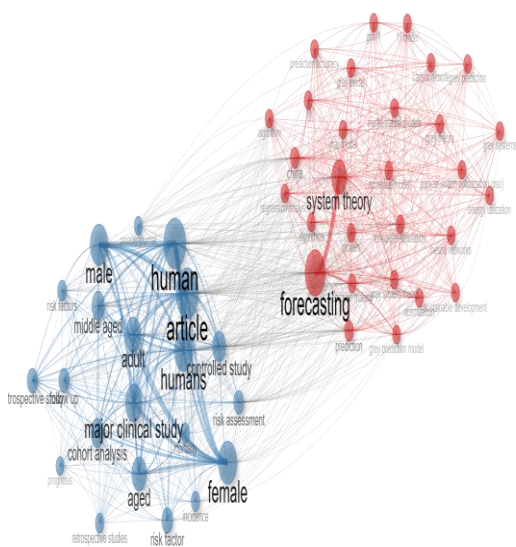
رتبه‌بندی صفحه	درجه نزدیکی	درجه میانجگری	خوشه	کانون
۰٫۰۴۶	۰٫۰۱۶	۳۲٫۴۷۲	۱	liu s
۰٫۰۲۹	۰٫۰۱۸	۱۷٫۲۹۱	۱	yang y
۰٫۰۲۲	۰٫۰۱۳	۱۵٫۲۶۱	۱	zeng b
۰٫۰۱۶	۰٫۰۱۴	۲٫۴۸۴	۱	wu l
۰٫۰۱۳	۰٫۰۱۲	۰٫۱۶۱	۱	xie n
۰٫۰۰۲	۰٫۰۱۴	۲٫۱۸۳	۱	fang z
۰٫۰۱۳	۰٫۰۱۴	۲٫۰۴۹	۱	liu l
۰٫۰۵۲	۰٫۰۱۹	۵۱٫۴۶۱	۲	wang y
۰٫۰۲۹	۰٫۰۱۸	۱۹٫۶۷۵	۲	wang j
۰٫۰۱۴	۰٫۰۱۷	۱۵٫۳۴۳	۲	zhang y

در گراف ۱۳ و ۱۴ هم‌وقوعی واژگان که ساختاری دو خوشه‌ای دارد، واژگان موجود به دو حوزه گفتمانی اصلی تقسیم شده‌اند:

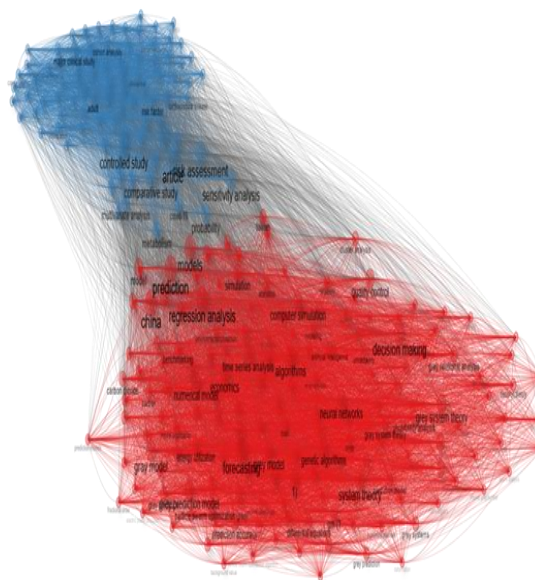
- خوشه قرمز رنگ که بیشتر بر مفاهیمی چون پیش بینی<sup>۱</sup>، تئوری سیستم<sup>۲</sup>، بهینه‌سازی<sup>۳</sup>، و مدل خاکستری تمرکز دارد، بازتاب‌دهنده‌ی هسته نظری و الگوریتمی نظریه سیستم‌های خاکستری است. این خوشه معرف جریان‌های علمی متمرکز بر مدل‌سازی عددی، تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت، و طراحی سیستم‌های پیش‌بینی‌محور در حوزه‌هایی مانند لجستیک، انرژی، اقتصاد، و مهندسی سیستم‌هاست.
- در مقابل، خوشه آبی رنگ مفاهیمی همچون انسان، مطالعه بالینی<sup>۴</sup>، بزرگسال و مرگ‌ومیر<sup>۵</sup> را در بر می‌گیرد که نمایانگر گرایش‌های پژوهشی میان‌رشته‌ای، به‌ویژه در حوزه‌های پزشکی، سلامت عمومی، و علوم اجتماعی است. از نظر کمی

1. forecasting  
 2. system theory  
 3. optimizatio  
 4. clinical study  
 5. mortality

نیز داده‌ها نشان می‌دهند که در این شبکه بیش از ۵۰ واژه کلیدی پُر تکرار شناسایی شده‌اند. این واژگان در دو خوشه معنایی اصلی تقسیم‌بندی شده‌اند. میزان درجه میانجی‌گری<sup>۱</sup> برخی گره‌ها مانند پیش‌بینی و مدل خاکستری بالاست، که نشانه نقش واسطی آن‌ها در اتصال زیرحوزه‌هاست. شاخص رتبه‌بندی صفحه<sup>۲</sup> برای واژگانی چون نظریه سیستم، انسان، و پیش‌بینی بالا بوده و نشان‌دهنده جایگاه آن‌ها در تکرار و استناد است.



۱۳. هم‌رخدادی واژگان



۱۴. واژگان پُر تکرار

در مجموع جدول ۵ حاصل این تحلیل هم‌واژگانی می‌تواند به‌عنوان نقشه مفهومی<sup>۳</sup> برای تعریف مرزهای دانش در حوزه نظریه سیستم‌های خاکستری استفاده شود. همچنین در شناسایی واژگان مرکزی و خوشه‌های موضوعی مبنای مستدلی برای طراحی چارچوب مفهومی پایان‌نامه‌ها، مقالات، توسعه نقشه راه پژوهشی، و شناسایی شکاف‌های نظری یا فرصت‌های پژوهش میان‌رشته‌ای خواهد بود.

جدول ۵. تحلیل هم‌رخدادی واژگان

خوشه	کلید واژه‌ها	کاربردهای رایج	جهت‌گیری‌های پژوهشی آینده
خوشه ۱ مدل‌سازی و پیش‌بینی	پیش‌بینی، نظریه سیستم‌ها، مدل خاکستری، بهینه‌سازی	پیش‌بینی سیستم، تحلیل تصمیم‌گیری، بهینه‌سازی، مدل‌سازی در عدم قطعیت	توسعه مدل‌های ترکیبی هوش مصنوعی خاکستری، کاربردهای آن در لجستیک، انرژی و مدیریت بحران
خوشه ۲ انسان و سلامت‌محور	انسان، مطالعه بالینی، مرگ‌ومیر، بزرگسال	تجزیه و تحلیل داده‌های بهداشتی ناقص، پیش‌بینی بیماری، بالینی، سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری	مدل‌سازی عدم قطعیت پزشکی، تحلیل روند جمعیتی، و اپیدمیولوژیک

1. Betweenness
2. PageRank
3. conceptual structure

تصویر ۱۵ (ابر واژگان) نمایی از واژگان کلیدی پرتکرار در ادبیات مرتبط با نظریه سیستم‌های خاکستری را ارائه می‌دهد. در این نمودار، اندازه واژگان بیانگر تکرار و اهمیت بیشتر آن‌ها در مقالات علمی است. واژگان برجسته بیشتر به مفاهیمی مرتبط با مدل‌سازی، پیش‌بینی، و تحلیل سیستم‌ها اشاره دارند و می‌توانند مسیرهای پژوهشی و اولویت‌های موضوعی در این حوزه را آشکار سازند.

- پیش‌بینی: برجسته‌ترین واژه در تصویر است و اهمیت مدل‌های پیش‌بینی در نظریه سیستم‌های خاکستری را نشان می‌دهد.
- نظریه سیستم‌ها: از مفاهیم کلیدی این حوزه به شمار می‌آید و به تحلیل و مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده و رفتارهای غیرخطی در شرایط ناپایدار می‌پردازد.
- انسان، مطالعه بالینی، بزرگسال: این واژگان نشان‌دهنده کاربردهای نظریه سیستم‌های خاکستری در علوم انسانی و پزشکی هستند. مدل‌های خاکستری در این زمینه برای تحلیل داده‌های ناقص و پیش‌بینی روندهای سلامت در جمعیت‌های مختلف، از جمله پیش‌بینی نرخ مرگ‌ومیر یا تحلیل شیوع بیماری‌ها، به کار گرفته می‌شوند.
- تصمیم‌گیری: این واژه نشان‌دهنده کاربرد مدل‌های خاکستری در تحلیل و پشتیبانی تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت است. استفاده از این مدل‌ها در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره و بهینه‌سازی نیز به وضوح در این واژگان مشاهده می‌شود.

این ابر واژگان، تصویر روشنی از گرایش‌ها و اولویت‌های پژوهشی در نظریه سیستم‌های خاکستری ارائه می‌دهد و به پژوهشگران کمک می‌کند تا محورهای پژوهشی کلیدی و فرصت‌های توسعه علمی را شناسایی کنند.

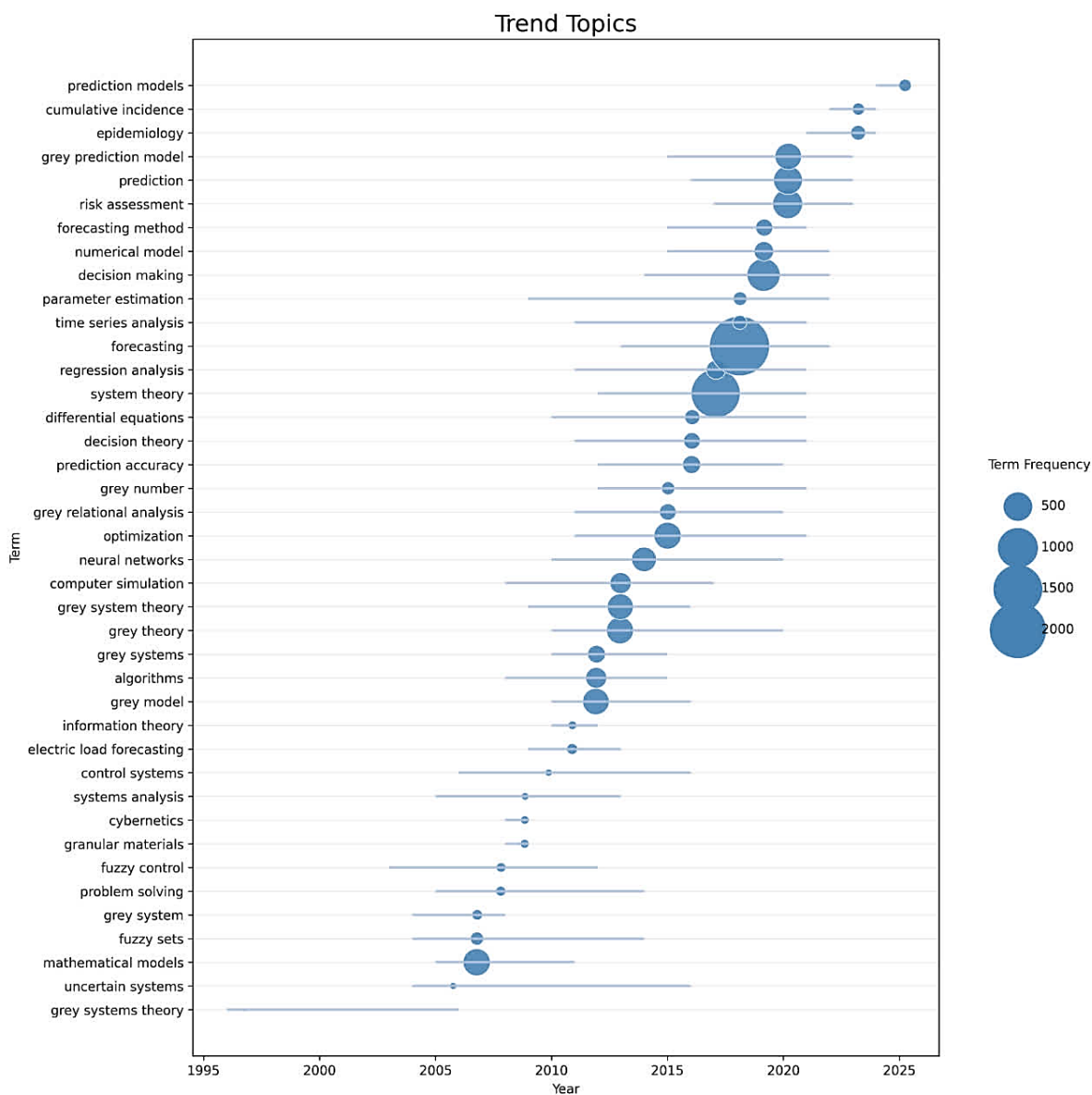


تصویر ۱۵. ابر کلمات کلیدی

با توجه به تحلیل واژگان کلیدی در حوزه نظریه سیستم‌های خاکستری (داده‌های تصویر ۱۶)، روند تحول مفاهیم علمی از سال ۱۹۹۶ تا کنون بازه‌های متفاوتی از تمرکز پژوهشی را نشان می‌دهد. براساس داده‌ها، واژه "Mathematical Models" با ۴۹۴ تکرار و "Grey Theory" با ۴۸۲ تکرار، ستون‌های اصلی این حوزه را تشکیل می‌دهند. در حالی که اصطلاح "Grey Systems Theory" از قدیمی‌ترین کلیدواژه‌ها (با میانه سال ۱۹۹۷) محسوب می‌شود، مفاهیم نوظهورتر نشان‌دهنده بلوغ این دانش هستند.

تحلیل روند زمانی نشان می‌دهد که در دهه‌های اخیر، تمرکز مطالعات از مباحث تئوریک اولیه به سمت کاربردهای عملیاتی سوق پیدا کرده است. برای نمونه، واژه “Forecasting” با فراوانی ۴۲۸ بار، یکی از پرکاربردترین حوزه‌ها بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰ بوده است. همچنین، موضوعات تخصصی‌تری مانند “Grey Forecasting Model” و “Grey Relational Analysis” (با فراوانی بیش از ۲۰۰ مورد) نشان‌دهنده ابزارهای کلیدی این نظریه در تحلیل عدم قطعیت هستند.

در سال‌های اخیر (۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴)، روند پژوهش‌ها به سمت ترکیب سیستم‌های خاکستری با هوش مصنوعی و بهینه‌سازی حرکت کرده است؛ کلیدواژه‌هایی نظیر “Machine Learnin”، “Deep Learnin” و “Grey Prediction” در صدر موضوعات داغ قرار گرفته‌اند. این تغییر رویکرد، نشان‌دهنده توانمندی مدل‌های خاکستری در تلفیق با الگوریتم‌های مدرن برای تحلیل داده‌های کم و پیش‌بینی‌های دقیق در حوزه‌های مهندسی، اقتصاد، و مدیریت انرژی است. این تحلیل می‌تواند به پژوهشگران برای شناسایی شکاف‌های پژوهشی و انتخاب موضوعات پیشرو کمک شایانی کرد.



تصویر ۱۶. موضوعات پُرطرفدار برای کلمات کلیدی نویسنده

## ۵. نتیجه‌گیری

نظریه سیستم‌های خاکستری، از زمان شکل‌گیری‌اش در دهه ۱۹۸۰ به‌عنوان چارچوبی برای تحلیل و تصمیم‌گیری در شرایط داده‌های ناقص و نامطمئن جایگاهی برجسته در مباحث میان‌رشته‌ای پیدا کرده است. این نظریه که ریشه در آثار دنگ (۱۹۸۲) دارد، به‌تدریج به ابزاری قدرتمند برای حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره و پیش‌بینی در حوزه‌های گوناگون علمی تبدیل شده است و امروزه در تحلیل‌های کلان و میان‌رشته‌ای در حوزه‌های گوناگونی چون بهداشت عمومی، علوم محیطی، انرژی‌های پایدار، و حتی سیاست‌گذاری‌های کلان نقش‌آفرین است. در این پژوهش داده‌های استخراج‌شده از پایگاه اسکوپوس با استفاده از نرم‌افزار آر بیبلمتریکس تحلیل شدند تا نه تنها حجم و روند تولید علمی را ترسیم کنند، بلکه ساختار مفهومی و شبکه‌های همکاری علمی را نیز شناسایی کنند. تحلیل هم‌واژگانی، شبکه‌های همکاری، و نقشه‌های خوشه‌بندی واژگان، بیانگر از وجود سه مرحله اصلی در تکامل نظریه سیستم‌های خاکستری است. مرحله بنیادین مفهومی در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰، گسترش الگوریتمی و مدل‌های ترکیبی در دهه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ و در نهایت، هم‌گرایی جهانی و نفوذ میان‌رشته‌ای در سال‌های اخیر است. این سه مرحله نه تنها بازتاب‌دهنده بلوغ نظری این حوزه هستند، بلکه بیانگر انعطاف‌پذیری و ظرفیت انطباق بالای نظریه سیستم‌های خاکستری با نیازهای علمی و عملی در سطوح مختلف است. یکی از نکات جالب‌توجه در یافته‌های این پژوهش گسترش کاربرد نظریه خاکستری از حوزه‌های فنی و مهندسی به حوزه‌های انسانی و اجتماعی است. خوشه‌های واژگانی شناسایی‌شده در تحلیل مفهومی نشان می‌دهند که در کنار مفاهیمی چون پیش‌بینی، بهینه‌سازی و مدل‌سازی عددی، واژگانی مانند مطالعه بالینی، انسان، مرگ‌ومیر، و سیاست‌گذاری نیز در هسته پژوهش‌های اخیر قرار گرفته‌اند. این ترکیب واژگانی نشان‌دهنده یک تغییر پارادایمی مهم است. نظریه‌ای که پیش‌تر تنها در مهندسی و صنعت مطرح بود، اکنون به‌مثابه پلی برای تفسیر و تصمیم‌سازی در موضوعات پیچیده انسانی-اجتماعی ایفای نقش می‌کند. پیوند میان خوشه‌های سلامت‌محور و مدل‌سازی‌های پیش‌بینی نشان می‌دهد که مدل‌های خاکستری می‌توانند در تحلیل‌های سیاست‌گذاری سلامت، اپیدمیولوژی، و حتی جمعیت‌شناسی نیز به‌کار گرفته شوند. از سوی دیگر، تحلیل‌های کمی این مطالعه نشان می‌دهند که نرخ رشد سالانه تولید علمی در این حوزه حدود ۴.۶۶ درصد بوده و میانگین سن مستندات ۹.۳۱ سال است. این آمارها در کنار تعداد نویسندگان فعال (بیش از ۱۵ هزار نفر) و شاخص‌های هم‌نویسندگی بین‌المللی (۱۲.۶۳ درصد)، گویای یک پویایی علمی گسترده و همکاری‌های فزاینده میان‌کشوری است. با این حال، تمرکز اصلی تولیدات علمی همچنان در چین قرار دارد؛ کشوری که با بیش از ۸۵ هزار استناد و ده‌ها دانشگاه پیشرو مانند نانجینگ، ووهان، و چونگ‌چینگ تسلط علمی آشکاری بر این حوزه دارد. این سلطه علمی اگرچه نشان از قدرت نظری و پژوهشی چین در این عرصه دارد، اما در عین حال چالش‌هایی در زمینه بومی‌سازی و تعمیم مدل‌های خاکستری به شرایط و نیازهای کشورهای دیگر ایجاد می‌کند و ممکن است به تکرار الگوهای بومی و تقلیل قابلیت‌های انطباق‌پذیری جهانی بیانجامد. در مجموع می‌توان گفت که نظریه سیستم‌های خاکستری اکنون نه تنها یک مدل تحلیلی قدرتمند برای مسائل مهندسی و بهینه‌سازی است، بلکه در حال تثبیت جایگاه خود در حوزه‌های میان‌رشته‌ای مانند سلامت، سیاست‌گذاری عمومی، و توسعه پایدار است. این تنوع کاربردی و قدرت تطبیق با مسائل پیچیده، نظریه خاکستری را به ابزاری راهبردی برای تحلیل داده‌های ناقص، شناسایی روندهای نامطمئن، و تصمیم‌سازی چندسطحی بدل کرده است. از این منظر، سیاست‌گذاران و مدیران باید به ظرفیت‌های بی‌بدیل این نظریه توجه کنند و از آن در توسعه سیاست‌های کلان و تحلیل‌های پیچیده چندسطحی بهره ببرند. به‌طور خاص، پیشنهاد‌های مدیریتی این مطالعه عبارتند از: نخست، حمایت از پروژه‌های میان‌رشته‌ای و ترکیبی و تلفیق نظریه سیستم‌های خاکستری با الگوریتم‌های یادگیری ماشین و مدل‌های فازی تا قابلیت‌های تحلیلی آن در شرایط

داده‌های بزرگ و چندمنظوره تقویت شود؛ دوم، تقویت همکاری‌های بین‌المللی و ایجاد شبکه‌های علمی فراگیر برای جلوگیری از وابستگی شدید به داده‌ها و مقالات چینی و کمک به بومی‌سازی مدل‌های خاکستری؛ سوم، توسعه و کاربرد مدل‌های خاکستری در تحلیل‌های سیاست‌گذاری سلامت، انرژی، لجستیک، و مدیریت بحران برای کمک به تصمیم‌سازی در شرایط عدم قطعیت و ناپایداری و پیش‌بینی بحران‌های آینده؛ و چهارم، ارتقای زیرساخت‌های داده‌ای و نمایه‌سازی ملی و بین‌المللی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه برای حمایت از پژوهش‌های آتی و ارتقای کیفی مدل‌های تصمیم‌یار مبتنی بر نظریه خاکستری. در نهایت، نظریه سیستم‌های خاکستری را می‌توان به‌عنوان الگویی از «تفکر در شرایط خاکستری» دانست، همان‌گونه که در میان ابهام‌های زندگی و سیاست، نیاز به تحلیل داده‌های ناقص و تصمیم‌گیری‌های چندوجهی داریم، مدل‌های خاکستری نیز یادآور می‌شوند که در جهانی پیچیده و نامطمئن، هیچ تصمیمی سفید یا سیاه نیست و باید با پذیرش سایه‌های خاکستری بهترین راهکارها را جست‌وجو کرد.

## References

- Austin, P. C., & Fine, J. P. (2017). Practical recommendations for reporting Fine-Gray model analyses for competing risk data. *Statistics in Medicine*, 36(27), 4391–4400. <https://doi.org/10.1002/sim.7501>
- Bai, C., & Sarkis, J. (2010). Integrating sustainability into supplier selection with grey system and rough set methodologies. *International Journal of Production Economics*, 124(1), 252–264. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.11.023>
- Camelia, D. (2015). Grey systems theory in economics: Bibliometric analysis and applications' overview. *Grey Systems: Theory and Application*, 5(2), 244–262. <https://doi.org/10.1108/GS-03-2015-0005>
- Delcea, C., Javed, S. A., Florescu, M.-S., Ioanas, C., & Cofas, L.-A. (2025). 35 years of grey system theory in economics and education. *Kybernetes*, 54(2), 649–683. <https://doi.org/10.1108/K-08-2023-1416>
- Deng, J. (1982). Control problems of grey systems. *Systems & Control Letters*, 1(5), 288–294. [https://doi.org/10.1016/S0167-6911\(82\)80025-X](https://doi.org/10.1016/S0167-6911(82)80025-X)
- Deng, J. (1982). Grey control system. *The Journal of Huazhong University of Science and Technology*, 3, 9–18.
- Domenteanu, A., Crişan, G.-A., Frăşineanu, C., & Delcea, C. (2025). Exploring grey systems in uncertain environments: A bibliometric analysis of global contributions and research themes. *Sustainability*, 17(6), 2764. <https://doi.org/10.3390/su17062764>
- Energy. (1976–2025). Elsevier Ltd. United Kingdom. <https://www.sciencedirect.com/journal/energy>
- Expert Systems with Applications. (n.d.). Elsevier Ltd. United Kingdom. <https://www.sciencedirect.com/journal/expert-systems-with-applications>
- Grey Systems: Theory and Application. (2010). Nanjing University of Aeronautics and Astronautics & Northwestern Polytechnical University, in association with the International Association of Grey System and Uncertainty Analysis. Emerald Publishing. <https://www.emerald.com/gs>
- Hashemi Petrudi, S. H., Karimi, A., & Tavana, M. (2015). An integrated green supplier selection approach. *International Journal of Production Economics*, 159, 178–192. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.027>
- Jiang, P., Dong, Z., Sun, H., Song, Y., & Zou, Q. (2025). Grey system theory in supply chain: Emerging hotspots and trends. *Grey Systems: Theory and Application*, 15(1), 124–144. <https://doi.org/10.1108/GS-10-2024-0113>
- Journal of Cleaner Production. (1993–2025). Elsevier Ltd. United Kingdom. <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-cleaner-production>
- Journal of Grey System. (2008–2019). Research Information Ltd. Editor-in-Chief: Sifeng Liu. United Kingdom. <https://researchinformation.co.uk/research-information-specialist-publications/the-journal-of-grey-system/>

- Kayacan, E., Ulutas, B., & Kaynak, O. (2010). Grey system theory-based models in time series prediction. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1784–1789. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.07.064>
- Kongzhi yu Juece / Control and Decision. (1997–2025). Northeast University. China.
- Li, B., Zhang, S., Li, W., & Zhang, Y. (2022). Application progress of grey model technology in agricultural science. *Grey Systems: Theory and Application*, 12(4), 744–784. <https://doi.org/10.1108/GS-05-2022-0045>
- Liu, S. F., & Forrest, J. (2007). The current development status on grey system theory. *Journal of Grey System*, 19(2), 111–123.
- Liu, S. F., & Lin, Y. (1998). *An introduction to grey systems: Foundations, methodology and applications*. IIGSS Academic Publisher.
- Mathematical Problems in Engineering. (1992, 1995–2024). John Wiley and Sons Ltd. United States. Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/2629>
- Pan, W., Jian, L., & Liu, T. (2019). Grey system theory trends from 1991 to 2018: A bibliometric analysis and visualization. *Scientometrics*, 121(3), 1407–1434. <https://doi.org/10.1007/s11192-019-03256-z>
- Pao, H.-T., & Tsai, C.-M. (2011). Modeling and forecasting the CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption, and economic growth in Brazil. *Energy*, 36(5), 2450–2458. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.01.032>
- Pawlak, Z. (1985). *Rough sets and fuzzy sets*. *Fuzzy Sets and Systems*, 17(1), 99–102. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(85\)80029-4](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(85)80029-4)
- Pillay, A., & Wang, J. (2003). Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning. *Reliability Engineering & System Safety*, 79(1), 69–85. [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(02\)00179-5](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(02)00179-5)
- Prakash, S., Agrawal, A., Singh, R., Singh, R. K., & Zindani, D. (2023). A decade of grey systems: Theory and application – Bibliometric overview and future research directions. *Grey Systems: Theory and Application*, 13(1), 14–33. <https://doi.org/10.1108/GS-03-2022-0030>
- Pritchard, A., & Wittig, G. R. (1981). *Bibliometrics*. Watford. AllM Books.
- Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., Jabbour, A. B. L. de S., & Rajak, S. (2020). Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of Production Economics*, 224, 107546. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107546>
- Sustainability. (2009–2025). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). Switzerland. <https://www.mdpi.com/journal/sustainability>
- Tosun, N. (2006). Determination of optimum parameters for multi-performance characteristics in drilling by using grey relational analysis. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(5–6), 450–455. <https://doi.org/10.1007/s00170-004-2386-y>
- Wu, L., Liu, S., Yao, L., Yan, S., & Liu, D. (2013). Grey system model with the fractional order accumulation. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 18(7), 1775–1785. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2012.11.017>
- Xitong Gongcheng Lilun yu Shijian / System Engineering Theory and Practice. (1998, 2001–2025). Zhongguo Xitong Gongcheng Xuehui. China.
- Yin, M.-S. (2013). Fifteen years of grey system theory research: A historical review and bibliometric analysis. *Expert Systems with Applications*, 40(7), 2767–2775. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.11.002>
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)