نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۴، شماره ۸، سال ۱۴۰۱، صفحات ۳۰۲۵ تا ۳۰۴۰
DOI: 10.22060/ceej.2022.20084.7339

تحلیل بیبلیومتریک تحقیقات صورت گرفته در خصوص خاکستر زباله‌سوز طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

امیر مصطفی حاتمی[۱]، محمد رضا صبور*[۱]، مرتضی نیکروان[۲]

۱- دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر، تهران، ایران
۲- دانشکده فنی، دانشگاه برلین، برلین، آلمان

خلاصه: اگرچه زباله‌سوزی به طور گسترده توسط بسیاری از محققان مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است، اما تعداد بسیار کمی تحلیل مروری هدفمند در این زمینه ارائه شده است. مقاله حاضر با استفاده از روش بیبلیومتریک و به کمک تحلیل شبکه اجتماعی با هدف ارزیابی روند تحقیقات و مشخص نمودن موضوعات پرکاربرد، به بررسی جامع تحقیقات حوزه «خاکستر زباله‌سوز» طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ پرداخته است. این تحقیق شامل بررسی نوع و توزیع تألیفات، حوزه موضوعات، معرفی مجلات علمی، مؤسسات و کشورهای پیشرو و در نهایت بررسی روند کلیدواژه‌های پرکاربرد در این زمینه است. نتایج نشان می‌دهد در میان ۶۱۷۹ تألیفات بررسی شده مرتبط با خاکستر زباله‌سوز، بیش از ۵۷٪ آن‌ها متعلق به حوزه محیط‌زیست بوده و تعداد تألیفات در سال ۲۰۲۰ نزدیک به ۵ برابر تعداد تألیفات در سال ۲۰۰۰ بوده است. کشور چین در میان کشورها، نقشی اساسی در تألیفات داشته و رتبه‌های بعدی متعلق به ژاپن و امریکا هستند. مجله «Waste Management» با مجموع ۵۷۹ مقاله مرتبط با خاکستر زباله‌سوز پیشروترین مجله علمی این حوزه بوده و بیشترین رشد را مجله «Journal Of Cleaner Production» داشته است. کلیدواژه‌های «خاکستر بادی»، «فلزات سنگین» و «خاکستر زیرین» پرتکرارترین کلمات کلیدی طی این ۲۱ سال بوده‌اند. در سال‌های اخیر، کلمات مرتبط با حوزه تثبیت و جامدسازی جزو کلمات پرکاربرد و در حال رشد بوده‌اند، که رشد این دسته از تحقیقات را نشان می‌دهد. رشد چشمگیر کلمات حوزه‌های نوظهور «ارزیابی چرخه عمر» و «توسعه پایدار» و همچنین تحقیقات مرتبط با خاکستر زباله‌سوز که حاوی «XRD» و «SEM» باشند، نیز قابل مشاهده است.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۳
بازنگری: ۱۴۰۰/۰۸/۰۱
پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۹
ارائه آنلاین: ۱۴۰۰/۱۱/۱۲

کلمات کلیدی:
خاکستر زباله‌سوز
بیبلیومتریک
بیبلیوگرافی
خاکستر بادی
نرم‌افزار VOSviewer
مدیریت پسماند شهری

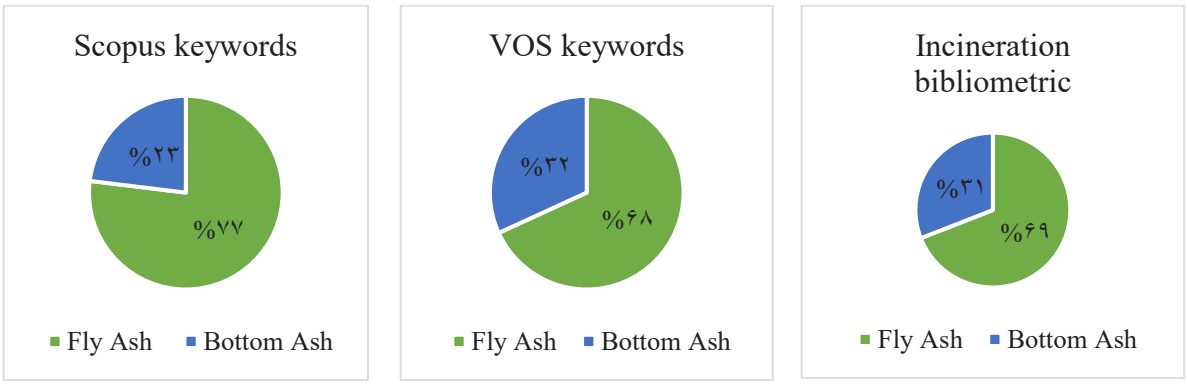
۱- مقدمه

سالانه میلیون‌ها تن پسماند در سراسر جهان تولید می‌شود [۱]. استفاده گسترده از فناوری زباله‌سوزی، یکی از راهکارهای رویارویی با چالش افزایش روزافزون پسماند است [۳ و ۲]. به طوری که در سال ۲۰۱۸، ۷۵ میلیون تن در اروپا [۴]، ۷۲ میلیون تن در چین [۵] و بیش از ۳۰ میلیون تن پسماند شهری در آمریکا سوزانده شده است [۶]. مزیت اصلی زباله‌سوزی، تولید انرژی، کاهش حجم پسماند قابل دفن، کاهش استفاده از زمین و کاهش آلودگی ناشی از دفن پسماند است [۷]. با این حال، در فرآیند سوزاندن پسماند، محصولات جانبی از جمله خاکسترهای زیرین[۱] و خاکستر بادی[۲] تولید می‌شوند که ۳۰-۲۰ درصد حجم اولیه پسماند را تشکیل می‌دهد [۹ و ۸]. خاکستر زیرین عمدتاً در زیر محفظه احتراق[۳] و خاکستر بادی در سیستم تصفیه گاز دودکش[۴] و سیستم بازیابی حرارت پسماند[۵] جمع می‌شود [۱۲-۱۰]. استفاده از خاکستر زیرین به عنوان جایگزینی برای مواد معمولی در کاربردهای ساختمانی و ژئوتکنیک توسط محققان زیادی مورد بررسی قرار گرفته است [۱۹-۱۳]. در خاکستر زباله‌سوز و به ویژه خاکستر بادی، مقادیر قابل توجهی نمک، مواد آلی سمی و فلزات سنگین قابل نشت وجود دارد [۲۰ و ۱۱] و غلظت فلزات سنگین در این دو خاکستر، بستگی به میزان فرار بودن فلزات دارد؛ که در نتیجه دفع نادرست خاکستر منجر به آلودگی محیط‌زیست خواهد شد [۲۱]. این امر موجب شده تا دفع صحیح خاکستر زباله‌سوز به موضوعی مهم در جهان تبدیل شود [۳]. به طور کلی می‌توان پردازش‌های قابل بررسی هر دو دسته خاکستر را به سه گروه تقسیم کرد: ۱) فرآیندهای

1 bottom ash
2 fly ash
3 combustion chambers
4 flue gas purification
5 waste heat recovery system

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: sabour@kntu.ac.ir

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.



شکل ۱. مقایسه تعداد تحقیقات مرتبط با خاکستر بادی و خاکستر زیرین

Fig. 1. Comparison of the number of publications related to fly ash and bottom ash

جداسازی؛ ۲) تثبیت/جامدسازی[1]؛ و ۳) عملیات حرارتی [۲۲ و ۱۵] با توجه به میزان فلزات سنگین، آلاینده‌های آلی پایدار و نمک‌های محلول در خاکستر بادی، پردازش این خاکستر از حساسیت بیشتری برخوردار است و باید طوری مورد پردازش قرار گیرد، تا میزان سمیت آن کاهش یابد و از تأثیرات منفی آن بر محیط‌زیست و سلامت انسان جلوگیری شود [۲۴ و ۲۳]. این امر در سال‌های اخیر خصوصاً با گسترش مفهوم اقتصاد دوار[2] بیشتر مورد توجه قرار گرفته است [۲۸-۲۵ و ۸]. پردازش مورد نظر باید حاوی دو رویکرد باشد: حصول اطمینان از دفن یا تثبیت ایمن آن [۲۹].

با پیشرفت فناوری‌های مرتبط با زباله‌سوزی، تحقیقات این زمینه به طور قابل توجهی رشد کرده است [۳۰]. از آنجایی که خاکستر بادی از حساسیت و خطر بالایی برخوردار است، تعداد تحقیقاتی که روی این خاکستر صورت گرفته، به میزان قابل توجهی بیشتر از تحقیقات بر روی خاکستر زیرین بوده است.

در شکل ۱، از سه روش (بر اساس کلمات کلیدی پایگاه داده اسکاپوس[3]، بر اساس داده‌های ورودی نرم‌افزار VOSviewer (که بعدتر توضیح داده می‌شود) و مقالات بیبلیومتریک چاپ شده سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰)، نسبت تحقیقات مرتبط با دو نوع خاکستر نشان داده شده است [۳۲ و ۳۱]. در هر سه روش، تحقیقات مرتبط با خاکستر بادی به طور قابل توجهی بیشتر از تحقیقات مرتبط با خاکستر زیرین هستند.

بیبلیومتریک روش مفیدی است که با استفاده از آن می‌توان به صورت کمی، توسعه و رشد هر یک از زمینه‌های تحقیقاتی خاص را تجزیه و تحلیل کرد [۳۵-۳۳]. با استفاده از این ابزار، می‌توان از روش‌های ریاضی و آماری برای بررسی ویژگی‌های مختلف تألیفات (شامل مجلات علمی، کتاب‌ها، مقالات کنفرانسی و ...) مانند چگونگی توزیع و الگوهای تغییرات آن‌ها استفاده کرد، که این امر به نوبه خود منعکس کننده وضعیت موجود و پیش‌بینی کننده موضوعات آینده در علوم و فنون اساسی است [۳۶]. روش بیبلیومتریک در حال حاضر یکی از کاربردی‌ترین، در دسترس‌ترین و شناخته شده‌ترین ابزار در دنیای دانشگاهی است [۳۸ و ۳۷].

روش بیبلیومتریک پیش از این، به صورت محدود در زمینه تحقیقات زباله‌سوزی نیز به کار گرفته شده است [۴۱-۳۹]. با توجه به اهمیت این موضوع برای محققان، خصوصاً در کشور عزیزمان ایران که در حال سرمایه‌گذاری در این حوزه می‌باشد؛ مقاله حاضر از طریق تجزیه و تحلیل بیبلیومتریک تألیفات تولید شده طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰، تحولات اخیر تحقیقات حوزه «خاکستر زباله‌سوزی» را با استفاده از پایگاه داده اسکاپوس برای اولین بار مورد بررسی قرار داده و روند کلی تحقیقات را در قالب معیارهای گوناگون نشان می‌دهد.

1 solidification/stabilization
2 Circular Economy
3 Scopus

۲- روش تحقیق

۲- ۱- روش بیبلیومتریک

بیبلیومتریک ابزار مفیدی جهت بررسی روند تحقیقات و مشخص کردن موضوعات داغ و جدید بر اساس اطلاعات تألیفات صورت گرفته است [۴۳ و ۴۲] و به روشی پرکاربرد در زمینه تجزیه و تحلیل سیستماتیک در رشته‌های مختلف علمی و مهندسی تبدیل شده است [۴۴]. کتاب‌سنجی ارائه شده در این مقاله، شامل انتخاب داده‌ها (تألیفات) از یک پایگاه داده جامع، تبدیل داده‌ها برای به کارگیری در نرم‌افزار بیبلیومتریک و ارزیابی آن‌ها به کمک تحلیل‌های آماری و نقشه‌های تجسم شبکه[1] بوده است که در ادامه به توضیح آن‌ها پرداخته شده است. داده‌های مورد نیاز تحلیل‌های بیبلیومتریک را می‌توان از پایگاه‌های داده مختلف، مانندGoogle Scholar ، Research Gate، Web of Science (WoS) و Scopus استخراج کرد [۴۵]. در تحقیق پیش رو، با توجه به منابع آماری جامع و کاربرد گسترده آن از پایگاه داده Scopus استفاده شده است [۴۷ و ۴۶].

۲- ۲- تحلیل شبکه‌های اجتماعی

تحلیل شبکه اجتماعی (SNA) به منظور بررسی دقیق ارتباط بین گره‌های (Node) موجود در خوشه‌های (Cluster) مختلف یک ساختار به کار برده می‌شود [۳۰]. در تحقیق پیش رو، گره‌های موجود نشان دهنده کشورها و کلمات کلیدی، و پیوندهای رسم شده (Link) بیانگر ارتباط میان آن‌ها هستند.

در مقاله حاضر، از نرم‌افزار VOSviewer 1.6.6 یکی از کاربردی‌ترین ابزارهای اجرای SNA بوده که در نقشه‌های حاضر، ارتباط بین کشورها و کلیدواژه‌ها مشخص شده است.

VOSviewer یکی از نرم‌افزارهای توسعه یافته توسط Van Eck و Waltman از دانشگاه لیدن[2] هلند است [۴۸]. این نرم‌افزار نقشه‌های بیبلیومتریک را با ساختار مناسب و گرافیک بالا نمایش می‌دهد [۴۹]. همچنین، یکی دیگر از امتیازات این نرم‌افزار نمایش نقشه‌های نقشه‌های با داده‌های زیاد است، که اکثر برنامه‌های رایانه‌ای که برای تحلیل‌های بیبلیومتریک استفاده می‌شوند، فاقد این ویژگی هستند [۵۰]. این نرم‌افزار به ما امکان می‌دهد نقشه‌هایی از مجموعه داده‌های شبکه ایجاد کنیم تا پیوندها در استنادات، نشریات علمی، مجلات، تألیفات، مؤسسات و کشورها را کشف و تجسم کنیم [۵۲ و ۵۱].

1 Network visualization map
2 Leiden

۲- ۳- جمع‌آوری داده‌ها

دستیابی به تحقیقات مرتبط با حوزه خاکستر زباله‌سوز از طریق پایگاه داده اسکاپوس[3] بوده است. پایگاه داده اسکاپوس بزرگ‌ترین بانک اطلاعاتی چکیده[4] و استناد[5] تألیفات (شامل مجلات علمی، کتاب‌ها و مقالات کنفرانسی) است [۵۳، ۵۲ و ۴۲]. ورودی روش بیبلیومتریک حاضر، تمام تألیفات مرتبط با خاکستر زباله‌سوز در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ بوده‌اند؛ به این صورت که تألیفاتی که در «عنوان» ، «چکیده» و یا «کلیدواژه‌ها» خود حاوی دو کلمه «زباله‌سوزی[6]» و «خاکستر» بوده‌اند مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این بررسی شامل موارد تعداد تفکیکی تألیفات، نوع انتشار[7]، حوزه موضوع[8]، مجلات علمی، مؤسسات و کشورهای پیشرو و در آخر کلیدواژه‌ها پرکاربرد این حوزه[9] در بازه مورد مطالعه بوده است.

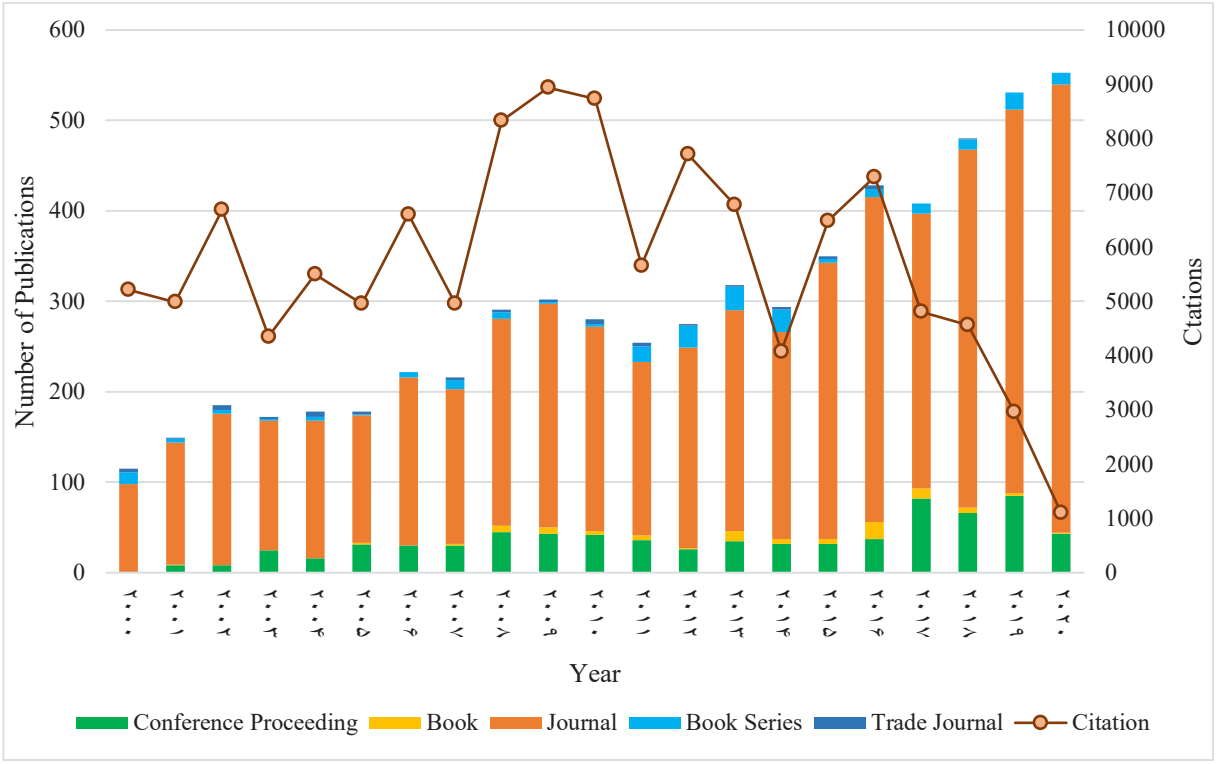
لازم به ذکر است در تحقیق حاضر «تألیفات» شامل مقالات علمی، مقالات کنفرانسی، مقالات بررسی، فصول کتاب‌ها و کتاب‌ها بوده است.

۳- نتایج

۳- ۱- بررسی آثار منتشر شده و روند آن‌ها

از تعداد ۶۱۷۹ مورد انتشار یافته در خصوص خاکستر زباله‌سوز طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰، ۹۰/۸٪ (۵۶۱۲) از این تعداد به زبان انگلیسی بوده و زبان‌های چینی، ژاپنی و آلمانی با ۶/۲٪ (۳۸۱ عدد)، ۱/۰٪ (۶۲ عدد) و ۰/۷٪ (۴۲ عدد) در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در شکل ۲ روند تعداد تألیفات (شامل مقالات علمی چاپ شده در مجلات علمی، مقالات کنفرانسی، مجموعه کتاب و دفترچه تجاری) و تعداد استنادهای مقالات هر سال نشان داده شده است. در مجموع بیش از ۸۲٪ (۵۰۷۰ عدد) تألیفات در قالب مقالات علمی مجلات بوده و مقالات کنفرانسی، مجموعه کتاب‌ها، کتاب‌ها و دفترچه‌های تجاری به ترتیب ۱۲/۱٪ (۷۵۲ عدد)، ۳/۵٪ (۲۱۶ عدد)، ۱/۵٪ (۸۷ عدد) و ۰/۹٪ (۵۴ عدد) از موارد انتشار یافته را تشکیل می‌دهند. تعداد تألیفات و مقالات به ترتیب از ۱۱۵ و ۹۸ در سال ۲۰۰۰ به

3 Scopus
4 Abstract
5 Citation
6 Incineration
7 Document type
8 Subject Area
9 Keywords



شکل ۲. میزان توزیع تألیفات و تعداد استنادهای به آن‌ها در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

Fig. 2. Distribution of publications and the number of citations during 2000-2020

۵۵۳ (۴/۸ برابر) و ۴۹۶ (۵/۱ برابر) در سال ۲۰۲۰ رسیده است.

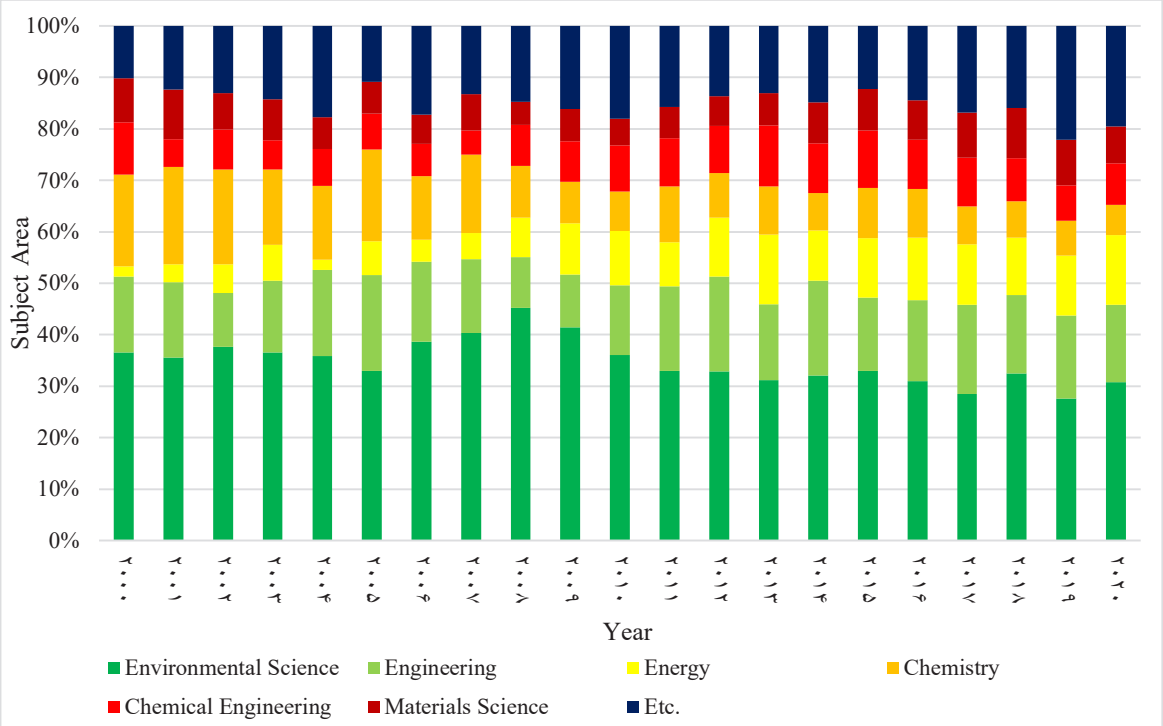
همچنین بیشترین میزان استناد (۸۹۳۷ مورد)، مربوط به مقالات چاپ شده در سال ۲۰۰۹ بوده و روند نزولی استنادها در سال‌های اخیر، به دلیل جدید بودن و کمتر دیده شدن مقالات است، در صورتی که مقالات سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ بیش از ۱۰ سال زمان برای دیده و مطالعه شدن داشته‌اند.

۳- ۲- دسته‌بندی موضوعی

در شکل ۳ چگونگی توزیع حوزه موضوعات موارد انتشار یافته طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ دیده می‌شود. با در نظر داشتن اینکه یک مقاله ممکن است به چند حوزه تعلق داشته باشد، بیشترین حوزه موضوعی تألیفات به ترتیب علوم زیست‌محیطی (۵۷/۲٪)، مهندسی (۲۵/۸٪)، انرژی (۱۶/۹٪) و شیمی (۱۶/۷٪) است.

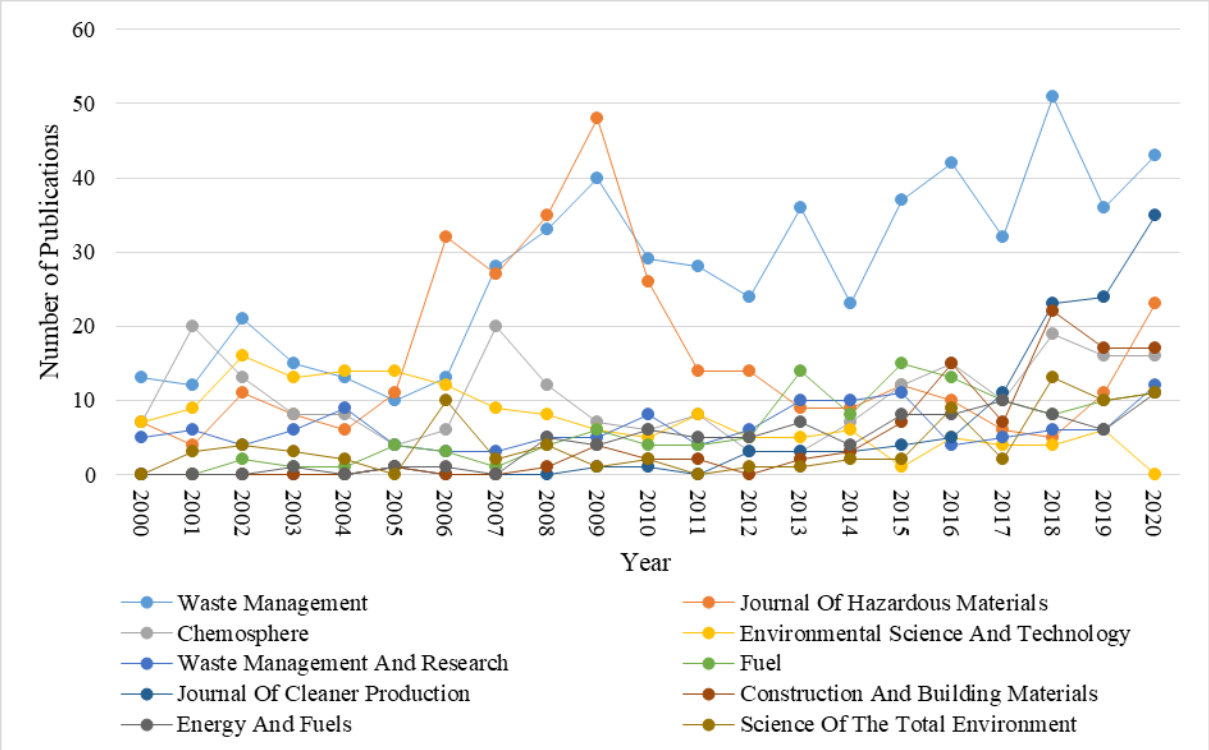
۳- ۳- مجلات و مؤسسات

ده مجله علمی دارای بیشترین میزان مقالات چاپ شده در حوزه خاکستر زباله‌سوز و روند تعداد مقالات چاپ شده در این ده مجله در شکل ۴ نشان داده شده است. مجله «Waste Management» با مجموع ۵۷۹ مقاله مرتبط با خاکستر زباله‌سوز طی ۲۱ سال مورد بررسی، از سال ۲۰۱۰ در رتبه اول قرار داشته و تعداد مقالات مجلات «Journal Of Hazardous Materials»، «Chemosphere»، «Environmental Sci-ence And Technology» و «Waste Management And Research» به ترتیب ۳۲۸، ۲۲۰، ۱۵۷ و ۱۳۲ عدد بوده است. همچنین مجله «Journal Of Cleaner Production» با ۳۵ مقاله در سال ۲۰۲۰ نسبت به تعداد ۳ مقاله در سال ۲۰۱۴، بیشترین رشد را در سال‌های اخیر داشته است. در این میان، بالاترین شاخص h-index با ۳۹۷ متعلق به «Environmental Science And Technology» و بیشترین ضریب تأثیر (Impact Factor) با ۱۰/۵۸۸ نیز متعلق به «Journal Of Hazardous Materials» بوده است [۵۴]. لازم به ذکر است که ضریب تأثیر (IF)، تعداد متوسط استنادهایی است که یک مقاله منتشر شده در دو سال منتهی به آن سال مشخص دریافت کرده است [۳۷]؛ و h-



شکل ۳. توزیع حوزه موضوعات تألیفات در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

Fig.3. Distribution of subject areas of publications during 2000-2020



شکل ۴. ده مجله علمی پیشرو در زمینه چاپ مقالات مرتبط با خاکستر زباله‌سوز طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

Fig. 4. Top ten journals in publishing articles related to incineration ash during 2000-2020

جدول ۱. ده سازمان/مؤسسه/دانشگاه پیشرو در زمینه چاپ مقالات مرتبط با خاکستر زباله‌سوز طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

Table 1. Top ten organizations/institutes/universities in publishing articles related to incineration ash during 2000-2020

ردیف	مؤسسه	کشور	تعداد مقالات
۱	Zhejiang University	چین	۲۰۹
۲	Ministry of Education China	چین	۱۷۹
۳	State Key Laboratory of Clean Energy Utilization	چین	۱۶۸
۴	Chinese Academy of Sciences	چین	۱۵۳
۵	Tongji University	چین	۲۲
۶	Tsinghua University	چین	۱۱۱۵
۷	Danmarks Tekniske Universitet	دانمارک	۱۰۹
۸	Kyoto University	ژاپن	۷۲
۹	Southeast University, Nanjing	چین	۷۱
۱۰	Nanyang Technological University	سنگاپور	۶۶

index به عنوان تعداد h مقاله با حداقل h تعداد استناد تعیین می‌شود [۵۵].

در جدول ۱، ده مؤسسه پیشرو با بیشترین میزان مقالات چاپ شده در حوزه خاکستر زباله‌سوز ذکر شده است. از ده سازمان، رتبه‌های اول تا ششم و در مجموع هفت سازمان از کشور چین هستند. دانمارک، ژاپن و سنگاپور هر کدام با یک مؤسسه در رتبه‌های هفتم، هشتم و دهم این جدول قرار دارند.

۳- ۴- کشورها

۲۰ کشور دارای بیشترین میزان مقالات چاپ شده در حوزه خاکستر زباله‌سوز در جدول ۲ نشان داده شده است. این کشورها بر اساس ملیت حداقل یکی از نویسندگان آن به دست آمده است، به طوری که یک مقاله بنا بر ملیت نویسندگان آن ممکن است متعلق به چند کشور باشد. از میان ۲۰ کشور حاضر در جدول، ۱۵ کشور توسعه یافته هستند. کشور چین با ۱۵۵۹ نشر (بیش از یک چهارم کل مقالات این حوزه) در رتبه اول قرار داشته و به دنبال آن، کشورهای ژاپن، امریکا، تایوان و ایتالیا با تعداد ۵۳۵، ۴۷۶، ۳۳۸ و ۳۰۹ در رتبه‌های بعدی تعداد تألیفات قرار دارند. همچنین بیشترین نرخ رشد نیز متعلق به کشور چین است. در جدول ۲، میزان تألیفات مستقل و مشترک این کشورها نیز نشان داده شده است. تألیفات مستقل، موارد انتشار یافته‌ای هستند که نویسندگان آن تماماً از یک کشور باشند و نویسنده‌های تألیفات مشترک از چند ملیت هستند. بر این اساس، ۷۸٪ موارد انتشار یافته چین، ۸۵٪ تألیفات تایوان، ۸۵ ٪ تألیفات هند و ۸۴٪ تألیفات روسیه به صورت مستقل بوده، در صورتی که بیش از نیمی از تألیفات کشورهای انگلیس، هلند و بلژیک به صورت مشترک با کشورهای دیگر بوده است.

شکل ۵، کشورهای دارای حداقل ۵ تألیفات در زمینه خاکستر زباله‌سوز در بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ و ارتباط بین این کشورها با استفاده از نرم‌افزار VOSviewer توصیف شده است. این نرم‌افزار توسط دانشگاه لایدن هلند گسترش داده شده است و برای تحقیقات بیبلیومتریک استفاده می‌شود. گره‌های موجود (Node) نشان دهنده کشورها و پیوندهای رسم شده (Link) بیانگر ارتباط میان این کشورها است. در میان ۶۶ کشور نشان داده شده در این شکل، هر چه تعداد تألیفات کشوری بیشتر باشد، اندازه گره مربوط به آن بزرگ‌تر است. همچنین بر مبنای تعداد تألیفات مشترک میان کشورها، هر چند کشور با هم تشکیل یک خوشه (Cluster) می‌دهد که با رنگی متفاوت تصویر شده است. بر اساس شکل ۵، بیشترین تألیفات به ترتیب به چین، ژاپن و امریکا اختصاص دارد و بیشترین ارتباط با دیگر کشورها به ترتیب به کشورهای امریکا، انگلیس و چین با ۴۱، ۴۰ و ۳۳ ارتباط تعلق دارد.

در گزارش سازمان ملل در بیشترین میزان استحصال انرژی از پسماند با ۲۲٪ در کشورهای با درآمد بالا (طبق تعریف سازمان ملل) ذکر شده

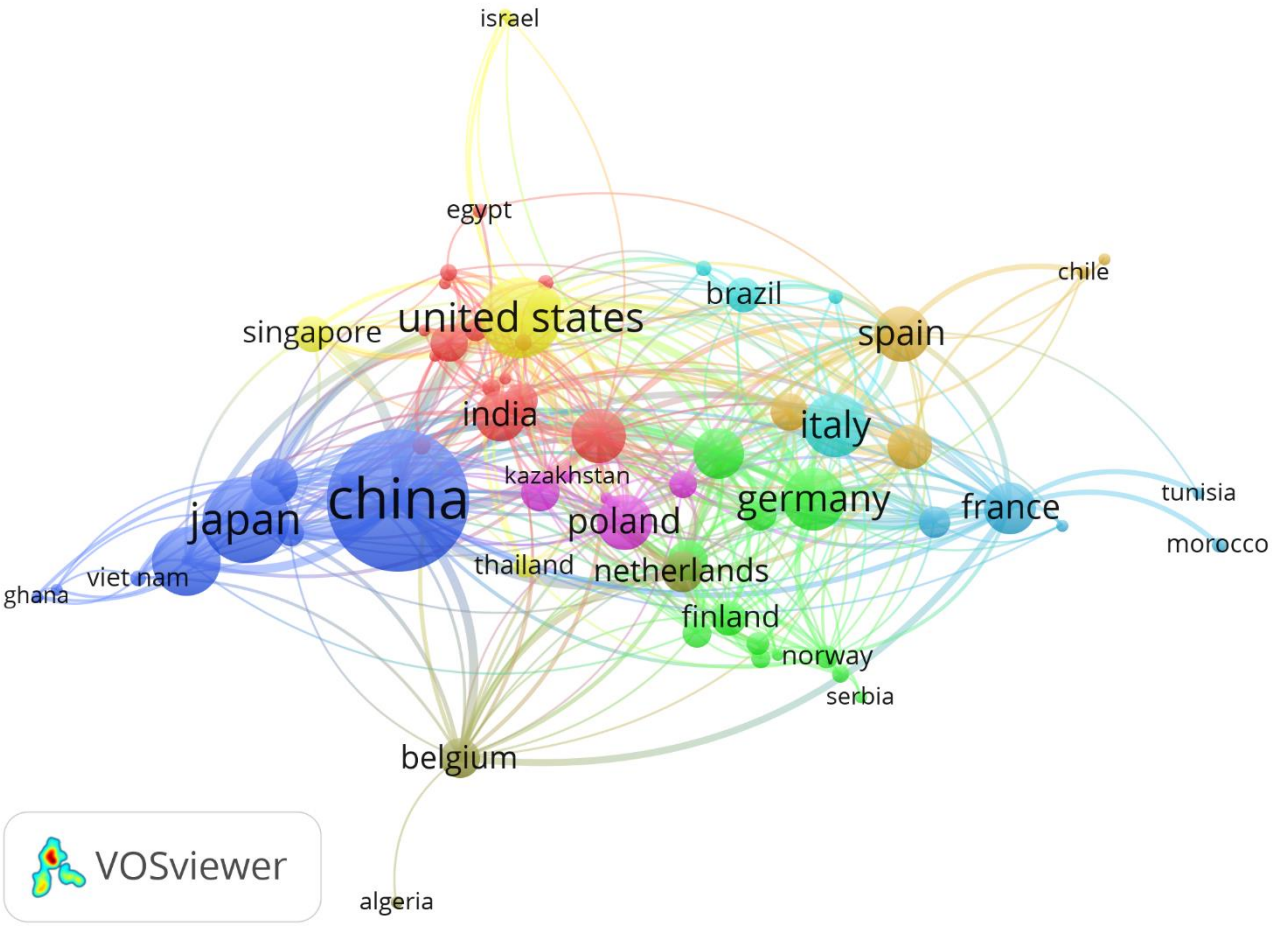
جدول ۲. بیست کشور پیشرو در زمینه چاپ مقالات مرتبط با خاکستر زباله‌سوز طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

Table 2. Top twenty countries in publishing articles related to incineration ash during 2000-2020

ردیف	کشور	تعداد مقالات	مستقل		مشترک	
			تعداد	درصد	تعداد	درصد
۱	چین	۱۵۵۹	۱۲۱۶	٪۷۸	۳۴۳	٪۲۲
۲	ژاپن	۵۳۵	۳۹۰	٪۷۳	۱۴۵	٪۲۷
۳	امریکا	۴۷۶	۲۸۱	٪۵۹	۱۹۵	٪۴۱
۴	تایوان	۳۳۸	۲۸۷	٪۸۵	۵۱	٪۱۵
۵	ایتالیا	۳۰۹	۲۳۲	٪۷۵	۷۷	٪۲۵
۶	آلمان	۲۹۳	۱۸۹	٪۶۵	۱۰۴	٪۳۵
۷	لهستان	۲۴۷	۲۰۸	٪۸۴	۳۹	٪۱۶
۸	انگلیس	۲۳۳	۱۱۳	٪۴۸	۱۲۰	٪۵۲
۹	اسپانیا	۲۲۸	۱۵۲	٪۶۷	۷۶	٪۳۳
۱۰	هند	۲۰۱	۱۷۱	٪۸۵	۳۰	٪۱۵
۱۱	فرانسه	۱۹۹	۱۱۳	٪۵۷	۸۶	٪۴۳
۱۲	سوئد	۱۸۷	۱۲۵	٪۶۷	۶۲	٪۳۳
۱۳	کره جنوبی	۱۶۳	۱۱۵	٪۷۱	۴۸	٪۲۹
۱۴	دانمارک	۱۴۹	۸۰	٪۵۴	۶۹	٪۴۶
۱۵	هلند	۱۲۶	۵۷	٪۴۵	۶۹	٪۵۵
۱۶	چک	۱۱۹	۸۵	٪۷۱	۳۴	٪۲۹
۱۷	بلژیک	۱۱۷	۵۶	٪۴۸	۶۱	٪۵۲
۱۸	مالزی	۱۱۲	۸۳	٪۷۴	۲۹	٪۲۶
۱۹	روسیه	۱۱۱	۹۳	٪۸۴	۱۸	٪۱۶
۲۰	پرتغال	۱۱۰	۶۷	٪۶۱	۴۳	٪۳۹

است، در حالی که در کشورهای کم درآمد حدود ۹۳٪ زباله در فضای باز دفن می‌شوند [۵۶]. و لذا بیشترین تحقیقات در خصوص مدیریت خاکستر از کشورهای پیشرفته است. به طوری که تعداد زباله‌سوزها در کشورهای چین، ژاپن، آمریکا، اتحادیه اروپا به ترتیب ۵۵۲ عدد (در سال ۲۰۱۵)، ۵۵۱ عدد (در سال ۲۰۱۳)، ۲۱۰ (در سال ۲۰۱۴) و ۹۱۷ (در سال ۲۰۱۲) بوده است [۵۷].

جدول ۳، مقایسه تعداد زباله‌سوز به کار برده در کشورهای پیشرو در این صنعت و تعداد تألیفات این کشورها را نشان می‌دهد. بر اساس آمار جمع‌آوری شده در سال ۲۰۱۷ [۵۷] از میان ۱۴ کشور برتر از لحاظ چاپ مقالات مرتبط با خاکستر زباله‌سوز، ۱۰ کشور متعلق به جدول زیر و پیشروترین کشورها در زمینه استفاده از زباله‌سوز هستند؛ به طوری که از میان آن‌ها تنها کشورهای لهستان، انگلیس، اسپانیا و هند در این جدول دیده نمی‌شوند. همچنین می‌توان در کنار رتبه‌های اول و دوم (چین و ژاپن) مشترک در این دو جدول، به آمریکا، ایتالیا و آلمان نیز اشاره کرد، که بر وجود ارتباطی مستقیم بین تعداد زباله‌سوز و تعداد مقالات مرتبط با خاکستر زباله‌سوز کشورها صحه



شکل ۵. نقشه پراکندگی کشورها بر اساس روابط همکاری نویسندگی تألیفات مرتبط با خاکستر زباله‌سوز طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

Fig. 5. Distribution map of countries based on co-authorship relationships of incineration ash publications during 20000-2020

می‌گذارند.

۳- ۵- تجزیه و تحلیل کلیدواژه‌ها

تجزیه و تحلیل کلیدواژه‌ها در مطالعات بیبلیومتریک امری ضروری است [۵۸]، زیرا زمینه‌های اصلی تحقیقات را شناسایی و نشان می‌دهند. در شکل ۶ روند شش کلیدواژه پرکاربرد در زمینه خاکستر زباله‌سوز در بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ نشان داده شده است. در کنار کلمات مترادف زباله‌سوزی (Incineration، Waste Incineration و Combustion) می‌توان به رشد کاربرد «خاکستر بادی»، «پسماند جامد شهری[1]» و «نشت[2]» توجه داشت. کاربرد کلمه «پسماند جامد شهری» در سال ۲۰۲۰، بیش از ۳۵ برابر کاربرد این کلمه در سال ۲۰۰۰ بوده است.

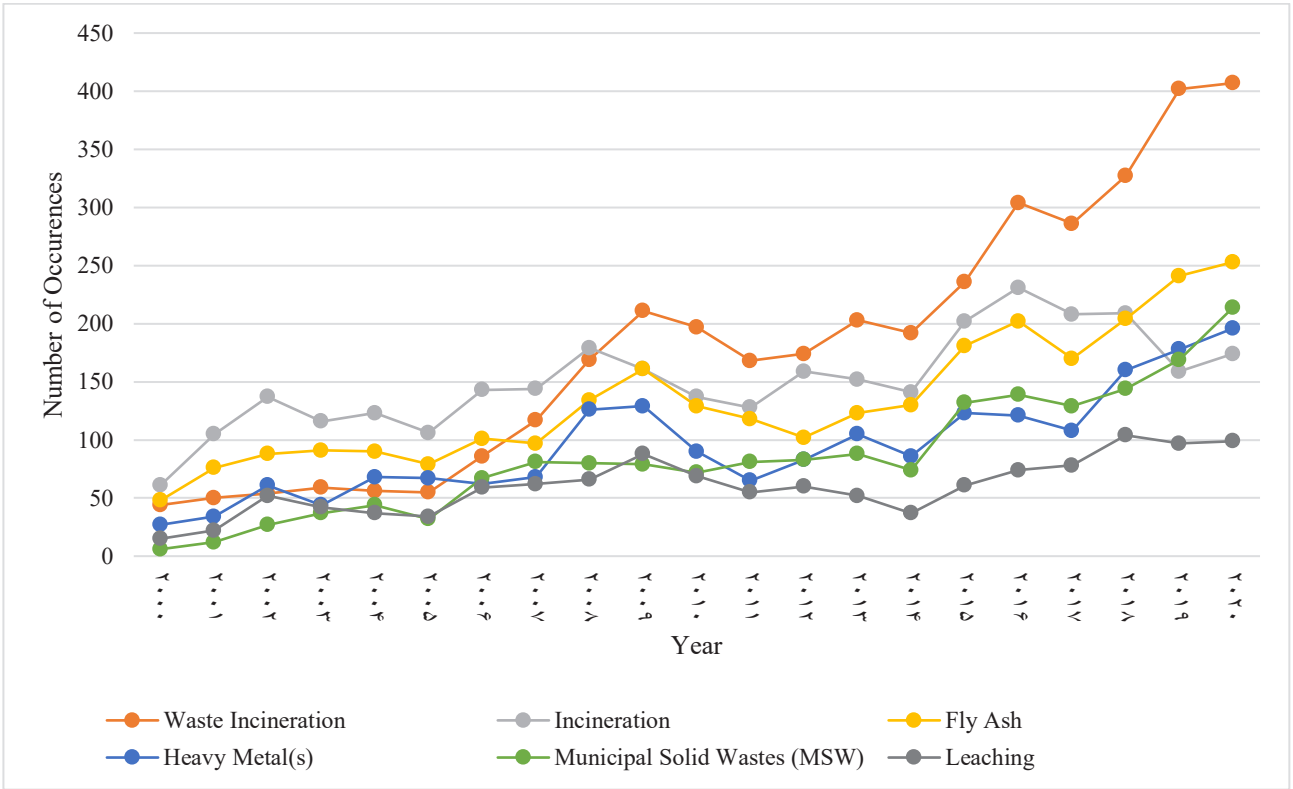
بر اساس نقشه تصویرسازی شکل ۷، تعداد ۵۰۰ کلیدواژه پرکاربرد در ۴ خوشه دسته‌بندی شده‌اند. حداقل تعداد کلمات هر خوشه، ۷۰ عدد تعریف شده و حداقل تکرار هر کلمه در بازه ۲۰۲۰-۲۰۰۰ برابر با ۵ در نظر گرفته شده است. در نتیجه با توجه به پیوندهای میان کلمات، خوشه اول (قرمز رنگ) ۲۲۰، خوشه دوم (سبز رنگ) ۱۰۷، خوشه سوم (آبی رنگ) ۹۵ و خوشه چهارم (زرد رنگ) ۷۸ کلیدواژه دارند. همان‌طور که مشخص است، بزرگ‌ترین گره‌ها عبارتند از: «خاکستر بادی»، «فلزات سنگین[3]»، «زباله‌سوزی»، «خاکستر زیرین» و «فلز سنگین» که بیشترین تکرار در طول بازه را نشان می‌دهند. کاربرد کلیدواژه «خاکستر بادی» بیش از دو برابر کاربرد کلیدواژه «خاکستر زیرین» است که می‌تواند اهمیت و حساسیت حوزه

1 Municipal Solid Waste (MSW)
2 Leaching
3 Heavy Metals

جدول ۳. ده کشور پیشرو در زمینه تعداد زباله‌سوز

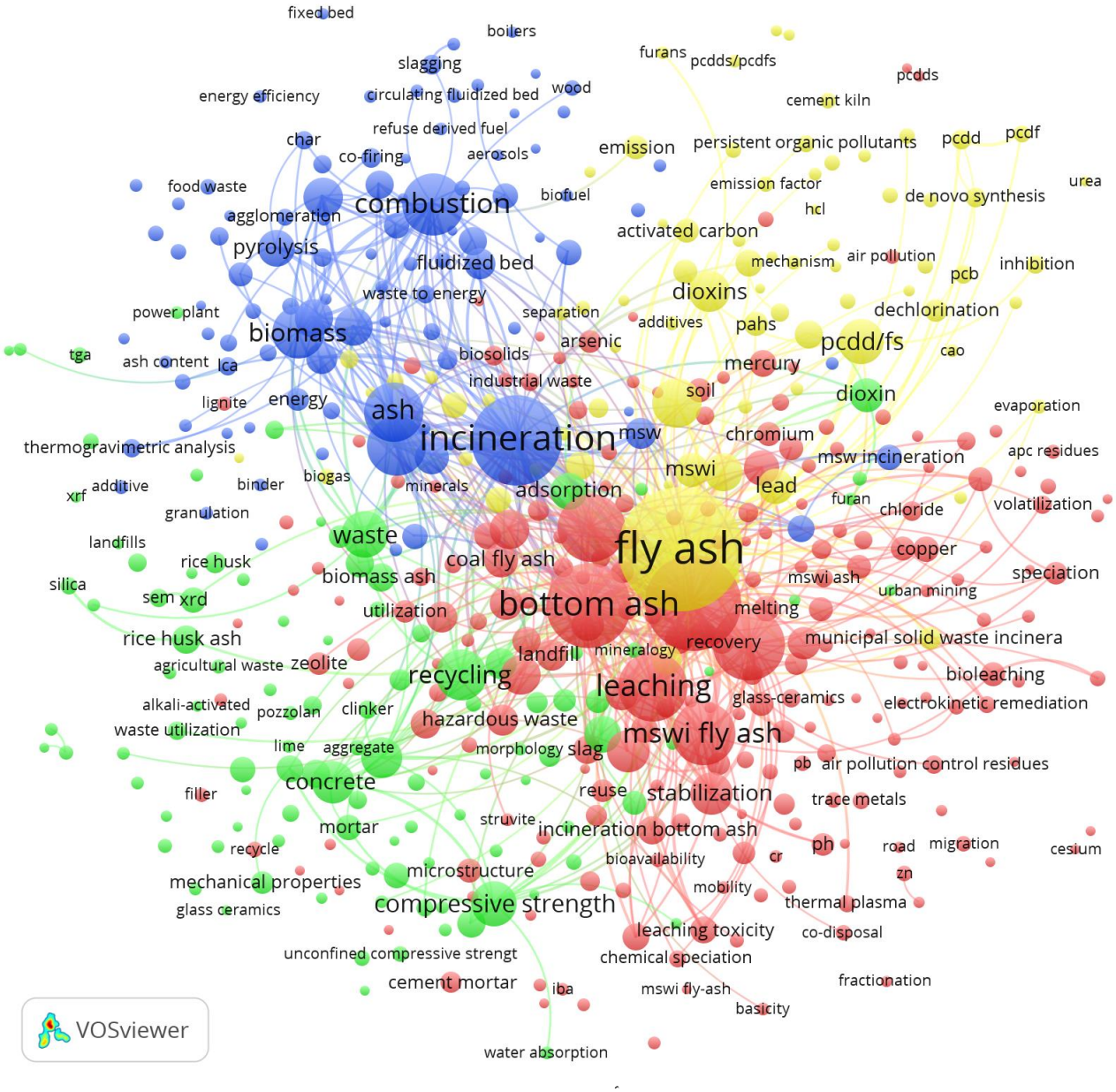
Table 3. Ten leading countries in the number of incinerators

ردیف	کشور	تعداد زباله‌سوز	ظرفیت کل (Mg/d)	تعداد مقالات
۱	چین	۵۵۲	۲۳۱/۶۰۰	۱۵۵۹
۲	ژاپن	۵۵۱	۹۲/۲۰۳	۵۳۵
۳	فرانسه	۲۴۸	۴۵/۳۳۴	۱۹۹
۴	آمریکا	۲۱۰	۸۸/۷۶۵	۴۷۶
۵	آلمان	۱۹۲	۵۲/۵۵۴	۲۹۳
۶	ایتالیا	۹۷	۱۷/۸۲۵	۳۰۹
۷	کره جنوبی	۷۲	۱۳/۵۸۰	۱۶۳
۸	سوئد	۶۷	۱۴/۴۷۷	۱۸۷
۹	دانمارک	۶۴	۱۰/۹۰۰	۱۴۹
۱۰	تایوان	۶۲	۲۴/۶۵۰	۳۳۸



شکل ۶. شش کلیدواژه پیشرو در زمینه تألیفات مرتبط با خاکستر زباله‌سوز طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

Fig. 6. Six leading keywords in incineration ash publications during 2000-2020

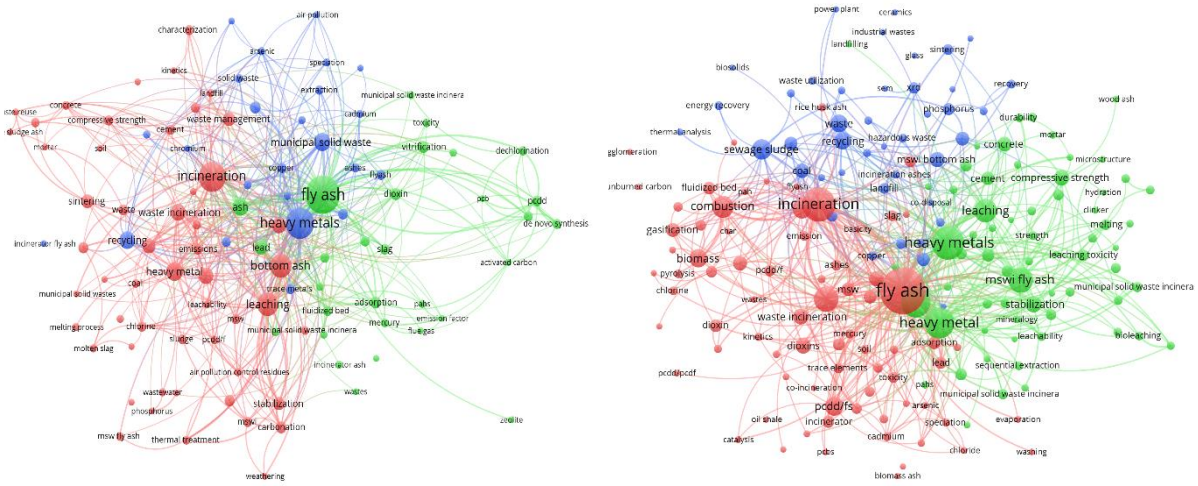


شکل ۷. نقشه پراکندگی کلیدواژه‌ها بر اساس روابط همزمانی تألیفات مرتبط با خاکستر زباله‌سوز طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

Fig. 7. Distribution map of keywords based on co-occurrence relationships of incineration ash publications during 2000-2020

مرتبط با خاکستر بادی را نسبت به خاکستر زیرین نشان دهد.

خوشه‌ها بر اساس ارتباطی که کلمات کلیدی با هم دارند، تشکیل می‌شوند و بنابر تعداد دفعاتی که این کلمات در تألیفات به همراه یکدیگر به عنوان کلیدواژه تعریف شده‌اند، در یک خوشه قرار می‌گیرند. با این حال، در هر خوشه کلیدواژه‌های دیگری نیز در میان کلمات کلیدی مرتبط با هم یافت می‌شود. گره‌هایی که از خوشه قرمز رنگ قابل مشاهده هستند، عبارتند از: «فلزات سنگین»، «خاکستر زیرین»، «فلز سنگین»، «نشت» و «خاکستر زیرین زباله‌سوز». کلمات کلیدی خوشه سبز رنگ عمدتاً به مطالعات مربوط به تثبیت خاکستر تعلق دارند که از میان آن‌ها می‌توان به «بازیافت»، «بتن» و «سیمان» اشاره کرد. موضوعات مرتبط با فاضلاب و همچین گازی‌سازی در خوشه آبی رنگ یافت می‌شود؛ به طوری که «لجن فاضلاب»، «بیومس»، «گازی‌سازی»، «پیرولیز» و «لجن» از گره‌های اصلی این خوشه هستند. خوشه زرد رنگ بر روی خاکستر بادی، کنترل آلودگی هوا و اجزای آن تمرکز دارد و حاوی کلیدواژه‌هایی از قبیل «خاکستر بادی»، «دیوکسین»



شکل ۸. نقشه تجسم شبکه کلمات کلیدی در دوره‌های ۷ ساله

Fig. 8. Keyword network visualization map in 7-year periods

و «سرب» است.

در شکل ۸، نقشه تصویرسازی کلیدواژه‌های پرکاربرد در سه دوره زمانی ۷ ساله (۲۰۰۶–۲۰۰۰، ۲۰۱۳–۲۰۰۷ و ۲۰۲۰–۲۰۱۴) نشان داده شده است. حداقل تعداد کلمات خوشه‌ها، در بازه اول ۲۰، بازه دوم ۳۰ و بازه سوم ۴۰ عدد در نظر گرفته شد، که می‌توان علاوه بر رشد تعداد کلیدواژه‌ها به افزایش تعداد خوشه‌ها نیز توجه داشت. در هر سه بازه، کلمات دارای حداقل ۵ تکرار در نقشه‌ها نشان داده شده‌اند. در بازه ۲۰۰۶–۲۰۰۰، ۱۰۷ کلمه در ۳ خوشه، در بازه ۲۰۱۳–۲۰۰۷، ۱۸۳ کلمه در ۳ خوشه و در بازه ۲۰۲۰–۲۰۱۴، ۲۸۹ کلمه در ۴ خوشه قابل رؤیت هستند. با مقایسه روند به کار بردن کلمات کلیدی در سه دوره مذکور، می‌توان به رشد «Stabili-

zation» و «Solidification» اشاره کرد که از ۱۶ و ۵ تکرار در بازه ۲۰۰۶–۲۰۰۰ به ۴۸۱ و ۲۹۹ تکرار در بازه ۲۰۲۰–۲۰۱۴ رسیده‌اند. در همین رابطه رشد «Concrete» و «Cement» نیز قابل توجه است؛ به گونه‌ای که «Concrete» از ۷ تکرار در بازه هفت ساله اول به دهمین کلیدواژه پرکاربرد در بازه انتهایی با ۲۹۲ تکرار تبدیل شده است. در مورد رشد کلیدواژه‌های جدید می‌توان به «LCA» و «Sustainability» اشاره کرد که هر دو مورد در بازه اول و دوم کمتر از ۵ تکرار داشته‌اند؛ در صورتی که در بازه هفت ساله ۲۰۲۰–۲۰۱۴ به ۲۰۰ و ۱۳۹ تکرار رسیده‌اند. همچنین کلیدواژه‌های مرتبط با حوزه میکروسکوپ الکترونی و آزمایش‌های اشعه X نیز رشد چشمگیری داشته است. کلیدواژه‌های شامل اشعه X از جمله «XRD»، «XRF»، «X raydiffraction»، «X ray fluores-cence» و «X ray absorption»، در ۱۴ سال اول، هر کدام کمتر از ۵ بار استفاده شده‌اند، و در هفت سال آخر، بیش از ۸۰۰ بار مورد استفاده قرار گرفته‌اند، به طوری که «XRD» و «X ray diffraction» در رتبه ۱۲ و ۱۶ پرکاربردترین کلمات این بازه قرار داشته‌اند. در آخر می‌توان به کلیدواژه‌های نوظهور حوزه «ارزیابی چرخه عمر» (LCA، life cycle و life cycle assessment) و «توسعه پایدار» (sustainability، sustainable development و sustainable use) توجه داشت. حوزه «ارزیابی چرخه عمر» سال ۲۰۱۳ برای بار اول در تألیفات مرتبط با خاکستر زباله‌سوزی به کار رفته است و در بازه ۲۰۲۰–۲۰۱۴، با بیش از ۲۰۰ تکرار در زمره کلیدواژه‌های با رشد چشمگیر بوده است. کلمات کلیدی مرتبط با حوزه «توسعه پایدار» نیز با ۱۴۰ تکرار در بازه انتهایی دیده می‌شود، در حالی که در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ کمتر از ۵ تکرار داشته است.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

بررسی جامع تحقیقات مرتبط با خاکستر زباله‌سوز طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ با استفاده از روش بیبلیومتریک و تحلیل شبکه اجتماعی صورت گرفته است. بانک اطلاعاتی مورد استفاده، پایگاه داده Scopus بوده و مؤلفه‌های متعددی از قبیل نوع تألیفات، حوزه موضوعات، معرفی مجلات علمی، مؤسسات و کشورهای پیشرو و در نهایت بررسی روند کلیدواژه‌های پرکاربرد در این زمینه مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که تعداد تألیفات مرتبط با خاکستر زباله‌سوز، از ۱۱۵ در سال ۲۰۰۰ به ۵۵۳ در سال ۲۰۲۰ افزایش یافته است. مجلات علمی «Waste Management»، «Journal Of Hazardous Materials»، «Chemosphere» و «Environmental Science And Technology» دارای بیشترین مقالات این حوزه در این بازه بوده‌اند.

در میان ده مؤسسه پیشرو در این زمینه، رتبه‌های ۱ تا ۶ متعلق به چین است. کشور چین با ۱۵۵۹ تألیفات بیشترین مقالات این حوزه را داراست، که از این میان، ۱۲۱۶ تألیفات به صورت مستقل و ۳۴۳ تألیفات با همکاری دیگر کشورها منتشر شده است. مؤسسه «Zhejiang University» از این کشور با بیش از ۲۰۰ تألیفات در رتبه یک قرار داشته و رتبه هفتم تا دهم نیز متعلق به مؤسساتی از کشورهای دانمارک، ژاپن، چین و سنگاپور است. در میان کشورها، کشورهای ژاپن، امریکا، تایوان و ایتالیا با تعداد ۵۳۵ (۳۹۰ مستقل و ۱۴۵ مشترک)، ۴۷۶ (۲۸۱ مستقل و ۱۹۵ مشترک)، ۳۳۸ (۲۸۷ مستقل و ۵۱ مشترک) و ۳۰۹ (۲۳۲ مستقل و ۷۷ مشترک) در رتبه‌های دوم تا پنجم نشر قرار دارند. بیشترین همکاری در تولید تألیفات مربوط به کشورهای امریکا، انگلیس و چین بوده که هر کدام با ۴۱، ۴۰ و ۳۳ کشور دیگر ارتباط داشته‌اند. لازم به ذکر است در میان ۲۰ کشور پیشروی این حوزه، کشور هلند (۵۵٪) بیشترین درصد همکاری با سایر کشورها را داشته است، و پس از آن کشورهای انگلیس (۵۲٪) و بلژیک (۵۲٪) قرار دارند. همچنین با مقایسه تعداد زباله‌سوز و تعداد مقالات مرتبط با خاکستر زباله‌سوز، ارتباطی مستقیم بین این دو متغیر مشاهده گردید. به طوری که از میان ۱۴ کشور برتر از نظر چاپ مقالات مرتبط با خاکستر زباله‌سوز، ۱۰ کشور متعلق به پیشروترین کشورها در زمینه استفاده از زباله‌سوز هستند.

بر اساس تحلیل کلمات کلیدی به کار برده شده در طی بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ و به کمک نرم‌افزار VOSviewer مشخص شد که «خاکستر بادی» (Fly Ash)، «فلزات سنگین» (Heavy Metals)، «زباله‌سوزی» (Incineration)، «خاکستر زیرین» (Bottom Ash) و «فلز سنگین» (Heavy Metal) پرکاربردترین کلمات بوده‌اند.

در انتها تحلیل کاربرد کلیدواژه‌ها طی سه بازه ۷ ساله ۲۰۰۶–۲۰۰۰ ، ۲۰۱۳–۲۰۰۷ و ۲۰۲۰–۲۰۱۴ صورت گرفت. با مقایسه روند به کار بردن کلمات کلیدی در سه دوره مذکور، می‌توان به رشد «Stabilization» و «Solidification» اشاره کرد که از ۱۶ و ۵ تکرار در بازه ۲۰۰۶–۲۰۰۰ به پرتکرارترین کلمات در بازه ۲۰۲۰–۲۰۱۴ رسیده‌اند. کلیدواژه‌های دو حوزه میکروسکوپ الکترونی و آزمایش‌های اشعه X نیز در سال‌های اخیر رشد چشمگیری داشته‌اند، «XRD»، «X ray diffraction» و «SEM» در جایگاه ۱۲، ۱۶ و ۲۵ کلمات پرتکرار بازه آخر قرار داشته‌اند، در صورتی که در دو بازه هفت ساله قبلی هر کدام کمتر از ۵ تکرار داشته‌اند. از

دیگر کلیدواژه‌هایی که رشد آن‌ها در هفت سال اخیر قابل توجه بوده است، کلیدواژه‌های حوزه «life cycle assessment» و «sustainability» است که هر دو از مباحث جدید علوم زیست‌محیطی هستند که در سال‌های اخیر در تحقیقات مرتبط با خاکستر زباله‌سوزی نیز به کار رفته‌اند.

این نتایج می‌تواند موجب درک بهتری از وضعیت فعلی، رشد و روند کلی تحقیقات مرتبط با خاکستر زباله‌سوز شده و زمینه‌ساز حوزه‌های مطالعات آینده در این زمینه باشد.

منابع

[1] T. Thriveni, C. Ramakrishna, A.J. Whan, Simultaneous CO2 Sequestration of Korean Municipal

Solid Waste Incineration Bottom Ash and Encapsulation of Heavy Metals by Accelerated

Carbonation, in: Energy Technology 2019, (2019) 81-89.

[2] T. Nakakubo, N. Yoshida, Y. Hattori, Analysis of greenhouse gas emission reductions by

collaboratively updating equipment in sewage treatment and municipal solid waste incineration

plants, Journal of Cleaner Production, 168 (2017) 803-813.

[3] B. Liu, Q.-W. Yang, S.-G. Zhang, Integrated utilization of municipal solid waste incineration fly ash

and bottom ash for preparation of foam glass–ceramics, Rare Metals, 38(10) (2019) 914-921.

[4] M. Bruno, M. Abis, K. Kuchta, F.-G. Simon, R. Grönholm, M. Hoppe, S. Fiore, Material flow, econ

omic and environmental assessment of municipal solid waste incineration bottom ash recycling potential in

Europe, Journal of Cleaner Production, 317 (2021).

[5] P. Wang, Y. Hu, H. Cheng, Municipal solid waste (MSW) incineration fly ash as an important source

of heavy metal pollution in China, Environ Pollut 252 (2019) 461–475.

[6] Y. Liu, K.A. Clavier, C. Spreadbury, T.G. Townsend, Limitations of the TCLP fluid determination

step for hazardous waste characterization of US municipal waste incineration ash, Waste Manag, 87

(2019) 590-596.

[7] A. Assi, F. Bilo, A. Zanoletti, J. Ponti, A. Valsesia, R. La Spina, A. Zacco, E. Bontempi, Zero-waste

approach in municipal solid waste incineration: Reuse of bottom ash to stabilize fly ash, Journal of

Cleaner Production, 245 (2020).

[8] M.J. Quina, E. Bontempi, A. Bogush, S. Schlumberger, G. Weibel, R. Braga, V. Funari, J. Hyks ,

E.Rasmussen, J. Lederer, Technologies for the management of MSW incineration ashes from gas

cleaning: New perspectives on recovery of secondary raw materials and circular economy, Sci Total

Environ 635 (2018) 526–542.

[9] D. Xuan, P. Tang, C.S. Poon, Limitations and quality upgrading techniques for utilization of MSW

incineration bottom ash in engineering applications – A review, Construction and Building Materials,

190 (2018) 1091-1102.

[10] W.-D. Fan, B. Liu, X. Luo, J. Yang, B. Guo, S.-G. Zhang, Production of glass–ceramics using

Municipal solid waste incineration fly ash, Rare Metals, 38(3) (2017) 245-251.

[11] M. Nikravan, A.A. Ramezanianpour, R. Maknoon, Study on physiochemical properties and leaching

behavior of residual ash fractions from a municipal solid waste incinerator (MSWI) plant, J Environ

Manage 260 (2020).

[12] A.A. Ramezanianpour, M. Nikravan, R. Maknoon, Characterization of bottom ash from

petrochemical waste incinerator, J Residuals Sci Technol 8 (2011) 189–196.

[13] R. Cossu, T. Lai, K. Pivnenko, Waste washing pre-treatment of municipal and special waste, J Hazard

Mater, 207-208 (2012) 65-72.

[14] G. Gupta, M. Datta, G.V. Ramana, B.J. Alappat, MSW incineration bottom ash (MIBA) as a

substitute to conventional materials in geotechnical applications: A characterization study from India

[23] M. Margallo, M.B.M. Taddei, A. Hernández-Pellón, R. Aldaco, Á. Irabien, Environmental

sustainability assessment of the management of municipal solid waste incineration residues: a review

of the current situation, Clean Technologies and Environmental Policy, 17(5) (2015) 1333-1353.

[24] C. Fan, B. Wang, Y. Qi, Z. Liu, Characteristics and leaching behavior of MSWI fly ash in novel

solidification/stabilization binders, Waste Manag 131 (2021) 277–285.

[25] V.D. Martinho, P.R. Mourão, Circular Economy and Economic Development in the European Union:

A Review and Bibliometric Analysis, Sustainability, 12(18) (2020).

[26] F. Savini, The circular economy of waste: recovery, incineration and urban reuse, Journal of

Environmental Planning and Management, 64(12) (2021) 2114-2132.

[27] A. Mary Joseph, R. Snellings, P. Nielsen, S. Matthys, N. De Belie, Pre-treatment and utilisation of

municipal solid waste incineration bottom ashes towards a circular economy, Construction and

Building Materials, 260 (2020).

[28] T. Bakalár, H. Pavolová, Z. Hajduová, R. Lacko, K. Kyšeľa, Metal recovery from municipal solid

waste incineration fly ash as a tool of circular economy, Journal of Cleaner Production, 302 (2021).

[29] L. Reijnders, Disposal, uses and treatments of combustion ashes: a review, Resources, Conservation

and Recycling, 43(3) (2005) 313-336.

[30] Y. Wang, N. Lai, J. Zuo, G. Chen, H. Du, Characteristics and trends of research on waste-to-energy

incineration: A bibliometric analysis, 1999–2015, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 66

(2016) 95-104.

[31] Scopus, https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic (2021) Data extracted on March

2020

and comparison with literature, Constr Build Mater 308, 124925 (2021).

[15] S. Seraj, M. Nikravan, A.A. Ramezanianpour, P. Zendehdel, Evaluation of the application of

municipal solid waste incinerator (MSWI) ash in civil engineering using a sustainability approach,

Detritus 9 (2020) 113–124.

[16] L. Diaz Caselles, C. Roosz, J. Hot, S. Blotevogel, M. Cyr, Immobilization of molybdenum by

alternative cementitious binders and synthetic C-S-H: An experimental and numerical study, Sci

Total Environ, 789 (2021) 148069.

[17] Y. Wang, H. Xu, C. Chen, X. Wang, H. Zhang, X. Wu, L. Cai, Enhanced solidification/stabilization

of lead in MSWI fly ash treatment and disposal by gelatinized sticky rice, Environ Technol (United

Kingdom) 42(10) (2021) 1531–1541.

[18] B.H. Cho, B.H. Nam, J. An, H. Youn, Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) Ashes as

Construction Materials-A Review, Materials (Basel), 13(14) (2020).

[19] J. Bawab, J. Khatib, S. Kenai, M. Sonebi, A Review on Cementitious Materials Including Municipal

Solid Waste Incineration Bottom Ash (MSWI-BA) as Aggregates, Buildings, 11(5) (2021).

[20] J. Tang, B.M. Steenari, Leaching optimization of municipal solid waste incineration ash for resource

recovery: A case study of Cu, Zn, Pb and Cd, Waste Manag, 48 (2016) 315–322.

[21]J. Haberl, M. Schuster, Solubility of elements in waste incineration fly ash and bottom ash under

various leaching conditions studied by a sequential extraction procedure, Waste Manag, 87 (2019)

268-278.

[22] A. Zacco, L. Borgese, A. Gianoncelli, R.P.W.J. Struis, L.E. Depero, E. Bontempi, Review of fly ash

inertisation treatments and recycling, Environmental Chemistry Letters, 12(1) (2014) 153-175.

Environ Sci Pollut Res, 26 (2019) 35687–35703.

[41] S. Wong, A.X.Y. Mah, A.H. Nordin, B.B. Nyakuma, N. Ngadi, R. Mat, N.A.S. Amin, W.S. Ho, T.H.

Lee, Emerging trends in municipal solid waste incineration ashes research: a bibliometric analysis from

1994 to 2018, Environ Sci Pollut Res, 27 (2020) 7757–7784.

[42] M.R. Sabour, E. Alam, A.M. Hatami, Global trends and status in landfilling research: a systematic

analysis,

Journal of Material Cycles and Waste Management, 22(3) (2020) 711-723.

[43] Z. Ye, B. Zhang, Y. Liu, J. Zhang, Z. Wang, H. Bi, A bibliometric investigation of research trends on

sulfate

removal, Desalination and Water Treatment, 52(31-33) (2013) 6040-6049.

[44] E. Otte, R. Rousseau, Social network analysis: a powerful strategy, also for the information sciences,

Journal of Information Science, 28(6) (2016) 441-453.

[45] X. Zhao, J. Zuo, G. Wu, C. Huang, A bibliometric review of green building research 2000–2016,

Architectural Science Review, 62(1) (2018) 74-88.

[46] C. Gao, M. Sun, Y. Geng, R. Wu, W. Chen, A bibliometric analysis based review on wind power

price, Applied Energy, 182 (2016) 602-612.

[47] D.N. Effendi, Irwandani, W. Anggraini, A. Jatmiko, H. Rahmayanti, I.Z. Ichsan, M. Mehadi Rahman,

Bibliometric analysis of scientific literacy using VOS viewer: Analysis of science education, Journal

of Physics: Conference Series, 1796(1) (2021).

[48] L. Meng, K.-H. Wen, R. Brewin, Q. Wu, Knowledge Atlas on the Relationship between Urban Street

Space and Residents' Health—A Bibliometric Analysis Based on VOSviewer and CiteSpace,

Sustainability, 12(6) (2020).

[49]C. Velmurugan, G. Ramasamy, Nephrology Publications of Bibliographic Coupling and Co-authorship

[32] N.J. Van Eck, L. Waltman, Manual for VOSviwer version 1.6.10. CWTS Meaningful metrics (2019)

1–53.

[33] G. Mao, X. Liu, H. Du, J. Zuo, L. Wang, Way forward for alternative energy research: A bibliometric

analysis during 1994–2013, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 48 (2015) 276-286.

[34] A.F.J. Raan, Measurement : Interdisciplinary Research and Perspectives For Your Citations Only?

Hot Topics in Bibliometric Analysis. Interdiscip Res Perspect 31, 50-62 (2009) 37–41.

[35] G. Mao, H. Zou, G. Chen, H. Du, J. Zuo, Past, current and future of biomass energy research: A

bibliometric analysis, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 52 (2015) 1823-1833.

[36] J. Dong, Y. Chi, D. Zou, C. Fu, Q. Huang, M. Ni, Energy–environment–economy assessment of

waste management systems from a life cycle perspective: Model development and case study,

Applied Energy, 114 (2014) 400-408.

[37] J.L. Aleixandre-Tudo, L. Castelló-Cogollos, J.L. Aleixandre, R. Aleixandre-Benavent, Unravelling

the scientific research on grape and wine phenolic compounds: a bibliometric study, Scientometrics,

119(1) (2019) 119-147.

[38] C. Michael Hall, Publish and perish? Bibliometric analysis, journal ranking and the assessment of

research quality in tourism, Tourism Management, 32(1) (2011) 16-27.

[39] A. Mostafa Hatami, M.R. Sabour, M. Nikravan, A systematic analysis of research trends on

incineration during 2000–2019, International Journal of Environmental Science and Technology,

18(2) (2020) 353-364.

[40] Y. Xing, H. Zhang, W. Su, Q. Wang, H. Yu, J. Wang, R. Li, C. Cai, Z. Ma, The bibliometric analysis

and

review of dioxin in waste incineration and steel sintering,

Res, 39(5) (2021) 664-678.

[54] SCImago Journal Rank, https://www.scimagojr.com (2021) Data extracted on March 2021

[55] J.E. Hirsch, An index to quantify an individual's scientific research output, Proc Natl Acad Sci, 102 (2005) 16569–16572.

[56] G. Rosenthal, Economic and Social Council. Oxford Handb United Nations 14898 (2009).

[57] J.W. Lu, S. Zhang, J. Hai, M. Lei, Status and perspectives of municipal solid waste incineration in China: A comparison with developed regions, Waste Manag, 69 (2017) 170-186.

[58] M.S. Rahaman, K.M.N. Ansari, H. Kumar, K. Shah, Mapping and Visualizing Research Output on Global Solid Waste Management: A Bibliometric Review of Literature, Science & Technology Libraries, (2021) 1-29.

Network using VOS viewer: A Scientometric Profile, Libr Philos Pract 2021 (2021).

[50] N.J. van Eck, L. Waltman, Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping, Scientometrics, 84(2) (2010) 523-538.

[51] K. Obileke, H. Onyeaka, O. Omoregbe, G. Makaka, N. Nwokolo, P. Mukumba, Bioenergy from bio-waste: a bibliometric analysis of the trend in scientific research from 1998–2018, Biomass Conversion and Biorefinery, (2020).

[52] W. Ahmad, A. Ahmad, K.A. Ostrowski, F. Aslam, P. Joyklad, A scientometric review of waste material utilization in concrete for sustainable construction, Case Studies in Construction Materials, 15 (2021).

[53] F.D.B. de Sousa, Management of plastic waste: A bibliometric mapping and analysis, Waste Manag

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

A. Mostafa Hatami, M. R. Sabour , M. Nikravan, A bibliometric analysis on incineration ash during 2000 to 2020, Amirkabir J. Civil Eng., 54(8) (2022) 3025-3040.

DOI: 10.22060/ceej.2022.20084.7339