

Yeşil Sürdürülebilir Bilim ve Teknoloji Alanında Hidrojen Enerjisi Araştırması: Trendler, Gelişim Alanları ve Gelecek Yönelimleri

Hatice TÜRKOĞLU^{1*}, Levent SEMİZ²

¹Amasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü / Yenilenebilir Enerji Uygulamaları Anabilim Dalı, Amasya, Türkiye

²Amasya Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojisi Bölümü, Amasya, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author
E-mail: turkoglu0683@gmail.com

Araştırma Makalesi/Research Article
Geliş Tarihi/Received: 20.09.2024
Kabul Tarihi/Accepted: 18.02.2025

ÖZ

Yeşil Sürdürülebilir Bilim ve Teknoloji (Green Sustainable Science and Technology) (GSST), çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda enerji kaynaklarının verimli ve temiz kullanımını teşvik eden önemli bir araştırma alanıdır. Bu bağlamda, hidrojen enerjisi, çevre dostu ve yenilenebilir enerji kaynaklarından üretildiğinde sürdürülebilir bir enerji taşıyıcısı olarak dikkat çekmektedir. Bu çalışma, GSST alanında hidrojen enerjisi üzerine yapılan bilimsel yayınların bibliyometrik analizini sunmaktadır. Biblioshiny web arayüzü ve Bibliometrix R paketi kullanılarak yapılan dahil etme ve hariç tutma kriterleri sonucunda WoS veri tabanında yayımlanan 454 belgeye ulaşılmıştır. Renewable Energy, en fazla makale yayımlayan ve en yüksek alıntı oranına sahip dergi olarak öne çıkarken, ACS Sustainable Chemistry and Engineering dergisi bibliyometrik ölçümler açısından en yüksek etki puanına sahiptir. En üretken ve işbirlikçi kurum Tsinghua Üniversitesi, araştırmacı ise Li Y'dir. Çin, en fazla üretime ve en yüksek iş birliğine sahiptir. En çok kullanılan anahtar kelime “performans” olup, 2024'te en çok tartışılan konu “Buharla Gazlaştırma”dır. “Verimlilik, Nanopartiküller ve Katalizörler” gibi konular, alanın öne çıkan temalarıdır. Ortak alıntı analizine göre en çok alıntı yapılan makale Nikolaidis P (2017) olarak belirlenmiştir. Bu bulguların, hidrojen enerjisinin sürdürülebilir enerji çözümlerindeki mevcut durumunu ve yakın gelecekteki potansiyel araştırma konularını ortaya konması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hidrojen enerjisi, GSST, Bibliyometrik analiz, Web of Science, Biblioshiny.

Hydrogen Energy Research in Green Sustainable Science and Technology: Trends, Development Areas and Future Directions

ABSTRACT

Green Sustainable Science and Technology (GSST) is an important research field that promotes the efficient and clean use of energy resources in line with environmental sustainability goals. In this context, hydrogen energy has attracted attention as a sustainable energy carrier when produced from environmentally friendly and renewable energy sources. This study presents a bibliometric analysis of scientific publications on hydrogen energy in the field of GSST. As a result of the inclusion and exclusion criteria, using the Bibliometrix R package and the Biblioshiny web interface, 454 documents published in the WoS database were accessed. While Renewable Energy stands out as the journal that published the most articles and had the highest citation rate, the ACS Sustainable Chemistry and Engineering journal has the highest impact score in terms of bibliometric measurements. The most productive and collaborative institution is Tsinghua University, and the leading researcher is Li Y. China has the most publications and the highest collaboration rate. The most used keyword is “Performance” and the most discussed topic in 2024 is “Steam Gasification”. Topics such as “Efficiency, Nanoparticles and Catalysts” are prominent themes in the field. According to the co-citation analysis, the most cited reference is Nikolaidis P (2017). These findings are expected to reveal the current status of hydrogen energy in sustainable energy solutions, as well as potential research topics in the near future.

Keywords: Hydrogen energy, GSST, Bibliometric analysis, Web of Science, Biblioshiny.

Cite as;

Türkoğlu, H., Semiz, L. (2025). Yeşil Sürdürülebilir Bilim ve Teknoloji Alanında Hidrojen Enerjisi Araştırması: Trendler, Gelişim Alanları ve Gelecek Yönelimleri, *Recep Tayyip Erdogan University Journal of Science and Engineering*, 6(1), 140-167. Doi: 10.53501/rteufemud.1553636

1. Giriş

GSST, çevreye en az zarar vererek ve doğal kaynakları koruyarak insan ihtiyaçlarını karşılamayı amaçlayan bir disiplindir. Bu alan, çevresel, ekonomik ve toplumsal sürdürülebilirliği sağlamak için yenilikçi çözümler üretmeye odaklanmaktadır. Yeşil bilim ve teknoloji, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, atık yönetimi, su ve hava kalitesinin iyileştirilmesi, sürdürülebilir tarım ve endüstriyel süreçlerin geliştirilmesi gibi geniş bir yelpazede uygulama alanı bulmaktadır (Manahan, 2006).

Küresel enerji dünyası, azalan fosil yakıt kaynakları ve bunların çevresel etkileri gibi iki kritik zorlukla karşı karşıyadır. Fosil enerjiye geçiş ve kapsamlı gelişimi; önemli miktarda karbondioksit emisyonuna yol açarak çevre kirliliği, iklim değişikliği, ekosistemin bozulması, insan yaşam ortamlarının ve sağlığının tehdit edilmesi gibi bir dizi sorunu tetiklemektedir (Hou vd., 2024). Bu sorunları çözmek için alternatif enerji kaynaklarına acil ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada hidrojen, bu sorunların çözümü için uygun bir alternatif sunmaktadır. Hidrojen, yenilenebilir kaynaklardan üretilen bir enerji taşıyıcısı olarak umut vadeden bir çözümdür (Dinçer ve Aydın, 2023).

Dünya daha sürdürülebilir enerji biçimlerine geçiş yaparken temiz, verimli ve çok yönlü bir enerji kaynağı olan hidrojene duyulan ilgi giderek artmaktadır. Evrenin en hafif ve en bol bulunan elementi olan hidrojen; element kütlesinin yaklaşık %75'ini oluşturarak su, doğal gaz ve biyokütle gibi çok çeşitli hammaddelerden üretilmektedir. Yakıldığında yalnızca su buharı üretmesi, onu sera gazı emisyonlarını ve hava kirliliğini önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahip sıfır emisyonlu bir yakıt haline getirmektedir (Hassan vd., 2023).

Hidrojen, enerji üretim kapasitesinin yanı sıra çeşitli kullanım alanları ve Yakıt Hücreli Araçlar (Fuel Cell Vehicles) (FCV) aracılığıyla sürdürülebilir ve düşük karbonlu bir geleceğe

geçişte önemli bir aşama olarak görülmektedir (Singla vd., 2024). Son yıllarda hükümetlerin, iş dünyasının ve araştırmacıların bu çok yönlü yakıtın potansiyelinden yararlanmak için yeni teknolojiler ve uygulamalar keşfetmesi; düşük karbonlu ekonomiye geçişin önemli bir bileşeni olarak hidrojene olan eğilimi yeniden artırmıştır (Mazloomi ve Gomes, 2012).

Hidrojenin yüksek enerji yoğunluğu, onu benzersiz kılan bir özelliktir ve bu da birim kütle başına çok fazla enerji içerdiği anlamına gelmektedir (Idriss vd., 2015). Bu özellik, ağırlığın kritik bir faktör olduğu ulaşım sektörü için hidrojeni potansiyel olarak cazip bir yakıt kaynağı haline dönüştürmektedir. Gaz veya sıvı olarak depolanıp taşınabilen hidrojen, çeşitli uygulamalarda esnek bir yakıt kaynağı olarak kullanılabilir ve bu süreçte su buharı dışında herhangi bir emisyon üretmemesi onu son derece verimli hale getirmektedir. Hidrojen, küresel enerji karışımında önemli bir rol potansiyeline sahip, gelecek vaat eden bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Hidrojenin bu özelliği, ulaşımdan enerji üretimine ve endüstriyel işlemlere kadar çeşitli alanlarda kullanılabilen çok yönlü bir yakıt kaynağı olarak kabul edilmesini sağlamaktadır (Farooq ve Cora, 2024).

Hidrojen üretimi; su elektrolizi, doğal gaz reformasyonu, biyokütle gazlaştırma ve fotoelektrokimyasal su ayırma gibi çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Üretim yöntemleri çevresel etkileri ve sürdürülebilirliği açısından büyük farklılıklar göstermektedir. Bu bağlamda yeşil hidrojen, yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak üretilen hidrojen olarak tanımlanır ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda en çok tercih edilen üretim yöntemidir (Omid vd., 2024).

Yeşil hidrojen, elektroliz yöntemiyle su ve yenilenebilir elektrik kaynaklarından sera gazı emisyonu olmadan üretilmesi nedeniyle gelecekteki sürdürülebilir ilerleme ve enerji geçişleri için uygun bir yakıt olarak kabul edilmektedir. Bu üretim yöntemi, karbon emisyonlarını ve fosil yakıtların tüketimini en

aza indirmeyi hedeflemektedir (Hassan vd., 2023). Küresel ısınmayı önlemek ve dünya çapında net sıfır hedefine ulaşmak için yeşil hidrojen giderek daha fazla savunulmaktadır. Bu nedenle, yeşil hidrojen ve ilgili teknolojilere yönelik dünya çapındaki pazarın önümüzdeki yıllarda önemli ölçüde büyümesi beklenmektedir. Yeşil hidrojen; ulaşım, sanayi ve enerji üretimi gibi çeşitli sektörleri karbondan arındırmak ve böylece sera gazı emisyonlarını azaltmaya ve iklim değişikliğinin etkilerini hafifletmeye yönelik küresel çabalara katkıda bulunmak için önemli bir potansiyel sunmaktadır (Yang vd., 2023).

Yeşil hidrojenin küresel enerji karışımındaki önemi, iklim değişikliğine çözüm bulma, enerji güvenliğini artırma ve sürdürülebilir kalkınmayı destekleme potansiyeline dayanmaktadır. Temiz ve çok yönlü bir enerji taşıyıcısı olarak yeşil hidrojen, onu küresel ekonomiyi karbondan arındırma arayışında önemli bir bileşen haline getiren bir dizi avantaj sunmaktadır. Bu temiz ve çok yönlü enerji kaynağından yararlanılarak düşük karbonlu bir geleceğe doğru küresel geçiş hızlandırılabilir ve daha dayanıklı, müreffeh ve çevre dostu bir dünya inşa edilebilir (Yu vd., 2021). Bununla birlikte yeşil bir hidrojen ekonomisi geliştirmenin zorlukları arasında teknik, ekonomik ve sosyal fizibilitenin sağlanması, maliyetlerin düşürülmesi ve dağıtım, imha ve kullanım için altyapının uygulanması yer almaktadır. Ulaşım, enerji ve endüstri sektörlerinde yeşil hidrojen kullanımına öncelik vermeli, sürdürülebilir bir gelecek için önemli kaynaklar ve araştırmalar kanalları edilmelidir. Bu noktada, yeşil hidrojen enerji sistemlerinin teknik ve çevresel sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi için derinlemesine analizlerin yapılması büyük önem taşımaktadır (Valente vd., 2017).

Li vd. (2019), hidrojen depolama teknolojisinin gelişimini bibliyometrik bir yaklaşımla incelemiştir. Çalışma, magnezyum bazlı hidrojen depolama alaşımlarının stabilitesi ve hidrojen salınım performansı ile nanopartiküller aracılığıyla malzeme yapısının keşfinin

gelecekteki araştırmalar için önemli olduğunu vurgulamaktadır. Zhao vd. (2020), Mikrobiyal Elektroliz Hücrelerinin (Microbial Electrolysis Cells) (MEC) araştırma eğilimlerini ve hidrojen üretimini iyileştirme stratejilerini analiz etmişlerdir. Sonuçlar, MEC çalışmalarının enerji kaygılarına odaklandığını ve hidrojen üretim verimliliğini artırmak için iç direnci ve hidrojen difüzyonunu azaltmanın kritik olduğunu göstermiştir. Arsad vd. (2022), Hidrojen Enerjisi Depolama Sistemlerinde (Hydrogen Energy Storage Systems) (HydESS) en çok alıntı yapılan makaleleri bibliyometrik olarak analiz etmiş ve Scopus veri tabanını kullanarak bu alandaki araştırma eğilimlerini incelemiştir. Araştırmada, makalelerin %89,17'sinin kontrol ve test sistemleriyle ilgili yöntemleri, %10,83'ünün ise inceleme değerlendirmelerini tartıştığı tespit edilmiştir. Sillero vd. (2022), karanlık fermantasyondan (dark fermentation) hidrojen üretimine dair araştırmaları bibliyometrik bir inceleme ile değerlendirmiştir. 2000-2021 yılları arasındaki belgeler WoS veri tabanından seçilmiş ve analizler VOSviewer ve Bibliometrix yazılımlarıyla yapılmıştır. Bulgular, son beş yılda yayın sayısındaki artışın, temiz enerji üretimi ve petrol bazlı yakıtların çevresel etkilerini azaltmaya yönelik yeni teknolojilere artan taleple bağlantılı olduğunu göstermiştir. Wei vd. (2022), 1957-2021 yılları arasında hidrojen güvenliği ile ilgili yayınları bibliyometrik olarak analiz etmiştir. WoS, Scopus ve Lens'ten alınan toplam 1356 yayın VOSviewer ile görselleştirilmiştir. Bu analiz, araştırma alanının genel durumunu ve sınırlarını anlamaya yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Alhassan vd. (2022), 1970-2022 yılları arasında Kuru Metan Reformasyonu (Dry Methane Reforming) (DRM) üzerine yapılan araştırmaları bibliyometrik olarak analiz etmiştir. WoS veri tabanı ve R-studio kullanılarak anahtar kelimeler, ülkeler ve ortak yazar ağları gibi parametrelerin etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, DRM'nin hidrojen ve sentez gazı üretimi ile gelecekteki enerji sorunlarını çözmede ve çevre kirliliğini azaltmada önemli olabileceğini göstermiştir. Sharma vd. (2023), Scopus veri tabanından elde edilen hidrojen enerjisi literatürünü, Bibliometrix

R-tool ve VOSviewer kullanarak sosyo-ekonomik sonuçlar açısından analiz etmiştir. Çalışma; çoğu araştırmanın üretim, depolama, taşıma, uygulama ve politika geliştirme gibi çok disiplinli konulara odaklandığını göstermiştir. Bulgular; gelecekte yeşil hidrojen üretimi, hidrojen sızıntısı yönetimi, verimli depolama ve tekno-ekonomik fizibilite gibi faktörlerin sosyo-ekonomik açıdan kritik olacağını ortaya koymuştur. Arsad vd. (2023), Scopus veri tabanından elde edilen hidrojen elektrolizörleri üzerine yapılan çalışmaları bibliyometrik olarak analiz etmiştir. Araştırmaların %33,3'ü hidrojen elektrolizör verimliliğinin kontrolüne odaklanmıştır. Çalışma, elektrolizörlerin mevcut teknoloji, modeller, temel zorluklar ve gelecekteki araştırmalar hakkında kapsamlı bir değerlendirmesini sunmak için küresel literatürdeki farklı uygulamalı çalışmaları kullanmıştır. Viteri vd. (2023), yeşil hidrojen araştırmalarını, teknolojilerini ve şebeke dışı topluluklardaki potansiyel uygulamalarını bibliyometrik bir yaklaşımla incelemiştir. Dawood ve diğerlerinin dört köşeli çerçeve yöntemini inceleyerek, üretim, depolama, kullanım ve güvenlik konularını derinlemesine analiz etmişlerdir. İnceleme, yeşil hidrojenin şebekeden bağımsız uygulamalar için en umut verici teknolojileri sunduğunu göstermiştir. Gong vd. (2023), 2001-2021 yılları arasında gerçekleştirilen hidrojen patlaması araştırmalarını analiz etmiştir. WoS veri tabanında 1043 belge elde edilmiş ve bu veriler VOSviewer ve CiteSpace ile görselleştirilmiştir. Hidrojen patlaması araştırmalarının, karışımın patlama özellikleri ve bastırma yöntemleri üzerinde yoğunlaştığı sonucuna varılmıştır. Al-Janabi vd. (2024), 2000-2023 yılları arasında biyokütle kaynaklarından hidrojen üretimi üzerine 1840 referansı kapsayan bir bibliyometrik analiz gerçekleştirmiştir. VOSviewer kullanılarak yapılan bu analiz, araştırma ortamının tarihsel ve güncel vurgularını, önemli katkıda bulunanları ve ortaya çıkan eğilimleri görsel olarak tasvir etmiştir. Zhang vd. (2024), hidrojen güvenliği literatürünü bibliyometrik yöntemlerle karşılaştırmış ve analiz etmiştir. Çalışmada, mevcut küresel

araştırma durumunu, önceliklerini, eksikliklerini ve sınırlamalarını incelenmiş ve hidrojen güvenliği araştırmalarının öneminin arttığı sonucuna varılmıştır. Nabgan vd. (2024), atık sudan fotoelektrokimyasal hidrojen üretimi için nano yapıları malzemeleri incelemiş ve bu malzemelerin fotoelektrokimyasal hücrelerdeki kullanımını değerlendirmiştir. Çalışma, morfolojik değişikliklerin yük transferini ve güç dönüşüm verimliliğini nasıl artırabileceğini, ayrıca farklı karmaşıklıkta nano yapıların üstün katalitik performansını göstermiştir.

Bu çalışma, yeşil sürdürülebilir bilim ve teknoloji alanında hidrojen enerjisi üzerine yapılan bilimsel çalışmaları bibliyometrik bir perspektifle analiz etmeyi amaçlamaktadır. Öncelikle, hidrojen enerjisinin sürdürülebilirlik bağlamında rolü ele alınırken hem çevresel hem de ekonomik açıdan kapsamlı bir analizi yapılacaktır. Literatürdeki mevcut çalışmaların çoğu, genellikle hidrojen üretim yöntemlerine veya teknik iyileştirmelere odaklanırken mevcut çalışma, hidrojen enerjisinin sürdürülebilir enerji politikaları üzerindeki etkilerini, sosyal kabulünü ve ekonomik uygulanabilirliğini de detaylı bir şekilde incelemektedir. Ayrıca bibliyometrik bir yaklaşımla bu alandaki araştırma eğilimleri, en etkili çalışmalar ve bilimsel işbirliklerinin küresel dağılımı analiz edilerek, hidrojen enerjisi araştırmalarının gelişim sürecine ışık tutulacaktır. Bu sayede, mevcut literatürün eksiklikleri ve gelecekteki araştırma yönelimleri belirlenerek, alana katkıda bulunacak yeni ve yenilikçi araştırma önerileri sunulacaktır.

2. Metodoloji

Makalenin amacı, yeşil sürdürülebilir bilim ve teknoloji alanında hidrojen enerjisi üzerine yapılan bilimsel çalışmaların bibliyometrik analizini yaparak bu alandaki araştırma eğilimlerini, anahtar yayınları, önde gelen araştırmacıları ve işbirliği ağlarını ortaya koymaktır.

Makalenin kapsamı, hidrojen enerjisi üzerine yapılan bilimsel yayınların bibliyometrik analizini içermektedir. Bu çalışma; belirli bir

zaman dilimini kapsayacak şekilde literatür taraması yapılmasını, anahtar kelime analizleri, yazar işbirlikleri, atıf analizleri, en çok atıf alan makaleler ve dergiler gibi çeşitli bibliyometrik göstergeleri değerlendirmektedir. Yeşil sürdürülebilir bilim ve teknoloji alanında hidrojen enerjisine dair WoS veri tabanındaki indekslerden elde edilen makaleler aşağıdaki araştırma soruları kapsamında incelenmiştir:

- Hidrojen enerjisi alanında yıllara göre yayın ve alıntı sayısı nasıl bir trend izlemektedir?
- Hidrojen enerjisi araştırma alanıyla ilgili en üretken ve etkili kaynaklar, kurumlar ve ülkeler hangileridir?
- Hidrojen enerjisi ile ilgili en çok atıf alan makaleler ve bu makalelerin yazarları kimlerdir?
- Hidrojen enerjisi araştırmalarında öne çıkan anahtar kelimeler ve konular nelerdir?
- Hidrojen enerjisi alanında yapılan araştırmaların yazarları kimlerdir?
- Hidrojen enerjisi alanında gelecekteki araştırma eğilimleri ve potansiyel araştırma boşlukları nelerdir?

Son yıllarda bilimsel çalışmalarda görülen artışlar, tek bir alandaki ilgili yayınları takip etmeyi giderek zorlaştırmaktadır. Bu durum, bu kadar büyük miktardaki veriyi ele alabilecek, etkilerini değerlendirerek en önemli çalışmaları filtreleyebilecek ve alanın temelini oluşturan yapıyı ortaya çıkarabilecek niceliksel bibliyometrik yaklaşımların geliştirilmesini gerektirmektedir (Velasco-Muñoz vd., 2018). Bibliyometri, tüm bilgi taşıyıcılarının matematiksel ve istatistiksel yöntemlerle niceliksel analizini yapan disiplinler arası bir bilimdir (Merigó vd., 2016). En eski bibliyometrik çalışmalar yirminci yüzyılın başlarında başlamıştır. Yayınlardaki konu dağılımını incelemek için istatistiksel yöntemler kullanan Campbell (1896)'ın çalışmasının muhtemelen bibliyometrik çalışmalara yönelik ilk girişim olduğu kabul edilmektedir. 1917'de Cole ve Eales, karşılaştırmalı anatomi

literatürünün gelişimini bibliyografik alıntılar aracılığıyla incelemişlerdir. Bunu takiben 1923'te Hulme, bilim ve teknoloji tarihi sürecinin belgelerini sayarak nasıl daha anlaşılır hale getirilebileceğini açıklamak için istatistiksel bibliyografya terimini kullanmıştır. Ayrıca, bir matematikçi olan Ranganathan da istatistiksel ve matematiksel analizin tüm gelişim ve tahmin çalışmaları için anahtar araçlar olduğuna inanmış ve 1948'de resmi olarak "*Kütüphane*" terimini önermiştir. 1969'da ünlü İngiliz bilim insanı Allen Richard, "*İstatistiksel Bibliyografya*" yerine ilk kez "*Bibliyometri*" terimini önermiştir. Bu terimin ortaya çıkışı, bibliyometrinin resmî olarak doğuşuna işaret etmektedir (Osareh, 1996).

Bibliyometrik analiz, az sayıda makalenin incelenmesini ifade eden sistematik incelemeye kıyasla, büyük miktarda araştırma makalesini keşfetmek ve analiz etmek için niceliksel yöntemlerin uygulanmasını içermektedir (Michailidis, 2022). Bu analiz yöntemi; araştırma trendlerini belirlemek, belirli bir alandaki en etkili çalışmalar ve yazarlar hakkında bilgi edinmek ve genel olarak bilimsel üretkenlik ve etkisi hakkında bir bakış açısı sağlamak için kullanılmaktadır. Bibliyometrik analiz; zaman içindeki tematik gelişimin, yazarların, araştırma işbirliklerinin, alıntıların, dergilerin, kurumların ve anahtar terimlerin belirlenmesine yardımcı olmaktadır (Argumedo-García vd., 2021).

Bu çalışmada kullanılan metodoloji, bilimsel çıktıların istatistiksel değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir metodoloji olan bibliyometrik analizdir. Bibliyometrik analiz, Bibliometrix kullanılarak yapılır. Bibliometrix, tüm ana bibliyometrik analiz yöntemlerini içeren, scientometri ve bibliyometri alanında nicel araştırmalara yönelik açık kaynaklı bir araçtır. Bibliometrix paketi SCOPUS, WoS, PubMed, Cochrane ve Dimensions veritabanlarından bibliyografik verileri içe aktarmak, bibliyometrik analiz gerçekleştirmek ve ortak alıntı, eşleştirme, bilimsel işbirliği analizi ve ortak kelime analizi için veri matrisleri oluşturmak gibi avantajlara sahiptir. Bibliometrix, mantıksal bibliyometrik iş

akışına göre istatistiksel hesaplama ve grafik R dilinde geliştirilmiştir. R, nesne yönelimli ve işlevsel bir programlama dili olduğundan oldukça genişletilebilir ve böylece analizleri otomatikleştirmek ve yeni işlevler oluşturmak oldukça kolay hale gelmektedir (Aria ve Cuccurullo, 2017).

Son yıllarda bibliyometrik analiz, dijital teknolojilerin ve VOSviewer, CiteSpace, Biblioshiny gibi bibliyometrik yazılımların ve Web of Science, Scopus ve Google Scholar gibi akademik veri tabanlarının ortaya çıkması gibi çeşitli nedenlerden dolayı birçok araştırmacının ilgisini çekmektedir. Bu çalışma için veri kaynağı olarak Web of Science kullanılmıştır. WoS; çeşitli çalışma konuları, yazarlar, belge türleri, zaman dilimleri, ülkeler, üniversiteler ve kurumlar hakkındaki verileri analiz etmeye yönelik görseller ve istatistikler içermesi sebebiyle en yaygın kullanılan veri tabanlarından biridir. Ayrıca, haritalama ve veri analizi uygulamaları tarafından yaygın olarak kullanılan çeşitli formatlardaki tüm makale listesinin indirilmesine de olanak tanımaktadır. Bir WoS veri tabanı kullanmanın mantığı, bu çalışmada kullanılan analiz aracının, yani Biblioshiny'in başlangıçta yalnızca bir WoS veri tabanına dayalı olarak geliştirilmiş olmasıdır (Darko vd., 2020). Bu, WoS kullanımıyla oluşturulan sonuçların en güvenilir ve doğru olacağı anlamına gelmektedir. Ayrıca farklı kaynaklardan alınan yayınların çoğaltılmasının önlenmesinde olası bilgi kaybını en aza indirmek için bu çalışmaya başka veri tabanları dahil edilmemiştir.

Bu bibliyometrik çalışmanın veri analizi, araştırma sorularına cevap verebilmek amacıyla performans analizi ve bilim haritalama analizi olarak iki düzeyde gerçekleştirilmiştir. Performans analizi ve bilim haritalama analizi bibliyometrik yaklaşımın iki ana çalışma alanıdır. Performans analizi araştırmacılar, kurumlar ve ülkeler gibi farklı bilimsel faaliyetlerin etkinliğini ve verimliliğini ölçmeyi amaçlarken; bilimsel haritalama ise bilgi alanlarının görsel temsillerini oluşturarak, araştırma alanlarındaki yapısal ilişkileri ve

dinamikleri ortaya koymaktadır (Moral-Muñoz vd., 2020). Bibliyometrik analiz, performans analizi ve bilimsel haritalamanın temel verilerini sağlamaktadır. Performans analizi, bu verileri kullanarak bilimsel faaliyetlerin etkinliğini değerlendirirken, bilimsel haritalama ise bu verileri kullanarak bilimsel alanların yapısal analizini ve görsel temsili yapmaktadır. Bu yöntemler bir arada kullanıldığında, bilimsel araştırma süreçlerinin daha derinlemesine anlaşılmasına ve stratejik kararların daha iyi bir şekilde alınmasına katkıda bulunur (Van Eck ve Waltman, 2010). Bu iki analiz düzeyini gerçekleştirmek için RStudio'nun açık kaynaklı bibliyometrik yazılımı Biblioshiny kullanılmıştır. Biblioshiny, Bibliometrix'ten yeniden geliştirilen R'deki Shiny paketi kullanılarak Dr. Massimo Aria (2017) tarafından oluşturulan web tabanlı bir veri analizi çerçevesidir (Aria ve Cuccurullo, 2017). Diğer bibliyometrik araçlarla karşılaştırıldığında Biblioshiny'nin üstünlüğü, çalışma alanının performans analizine ve bilimsel haritalamasına olanak tanıyan tam bir istatistiksel teknikler ve görselleştirme paketi sağlaması gerçeğinde yatmaktadır (Thangavel ve Chandra, 2023).

Bu araştırmanın verileri 04.06.2024 tarihinde WoS veri tabanından alınmıştır. Arama motorunda ana terim olarak “*Hydrogen Energy*” kavramı taratılmış ve hiçbir filtreleme yapılmadan gerçekleştirilen ilk aramada 57406 belge ortaya çıkmıştır. Dahil etme ve hariç tutma kriterlerine devam ederek, filtre belge türünü kullanarak yalnızca araştırma makaleleri seçilmiş (devam eden makaleler, erken erişim, inceleme makaleleri veya kitap incelemeleri için tercih edilmeyen) ve bu da belge sayısını 50653'e düşürmüştür. Çalışmanın amacına en uygun WoS disiplini olması bakımından GSST alanı filtreleme seçeneği kullanılarak sonucun daraltılması ise belge sayısını 501'e indirgemıştır. 1994-2024 yılları arasında (01.01.1994 - 04.06.2024) GSST alanında hidrojen enerjisine dair “*Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)*”, *Social Sciences Citation Index (SSCI)* ve *Emerging Sources Citation Index (ESCI)*” dizinlerinde yer bulmuş

454 makale elde edilmiştir. Belge verileri, WoS'tan BibTeX dosya formatında indirilmiştir. Belge toplama sürecinden elde edilen

3. Bulgular ve Tartışma

GSST alanında hidrojen enerjisi araştırma alanı için bibliyografik veri toplamanın istatistiksel bilgileri Tablo 1'de ifade edilmektedir. GSST alanında hidrojen enerjisine dair 1994-2024 zaman aralığında (01.01.1994 - 04.06.2024) dahil etme ve hariç tutma kriterlerinin sonucunda toplam 454 makale elde edilmiştir. 37 kaynakta yayınlanmış bu makalelerin yayımlandıktan sonraki ortalama yıllar oranı 14,15, belge başına ortalama alıntı sayısı 3,98 ve belge başına yıllık ortalama alıntıları 18,54'tür. “Yazarın Anahtar

veritabanlarının girdi bilgisi olarak kullanıldığı RStudio'nun Bibliometrix Kütüphanesi benimsenmiştir.

Kelimeleri (DE)” yazarın belirlediği temel kavramlardır ve 1785 makale bulunmaktadır. “*Anahtar Kelime Artı (ID)*” makalelerin başlıklarında sıklıkla görülen anahtar kelime sayısıdır ve 1336 adet bulunmaktadır. Analiz için kullanılan belgeler 1825 yazar tarafından yazılmıştır ve bu belgelerin 15'i tek yazarlı iken geri kalan 1810 belge ise çok yazarlıdır. Belge başına ortak yazarların oranı 5,66 ve işbirliği endeksi 27,97 olmuştur. Bu da “*Hidrojen Enerjisi*” ile ilgili çalışmaların sıklıkla daha fazla bilim insanı tarafından yürütüldüğü anlamına gelmektedir.

Tablo 1. Veri kümesinin ana bilgileri

Table 1. Main information of the dataset

Tanım	Sonuçlar
Zaman aralığı	1994:2024
Kaynaklar (Dergiler)	37
Belgeler	454
Yayımlandıktan sonraki ortalama yıllar	14,15
Belge başına ortalama alıntılar	3,98
Doküman başına yıllık ortalama alıntılar	18,54
Referanslar	22248
Belge İçeriği	
Anahtar Kelimeler Artı (Kimlik)	1336
Yazarın Anahtar Kelimeleri (DE)	1785
Yazarlar	
Yazarlar	1825
Tek yazarlı belgelerin yazarları	15
Yazarlar İşbirliği	
Tek yazarlı belgeler	16
Belge başına ortak yazarlar	5,66
Uluslararası ortak yazarlık yüzdesi	27,97
Belge Türleri	
Madde	422
Madde; erken erişim	8
Madde; kâğıt işlemleri	23
Madde; geri çekilen yayın	1

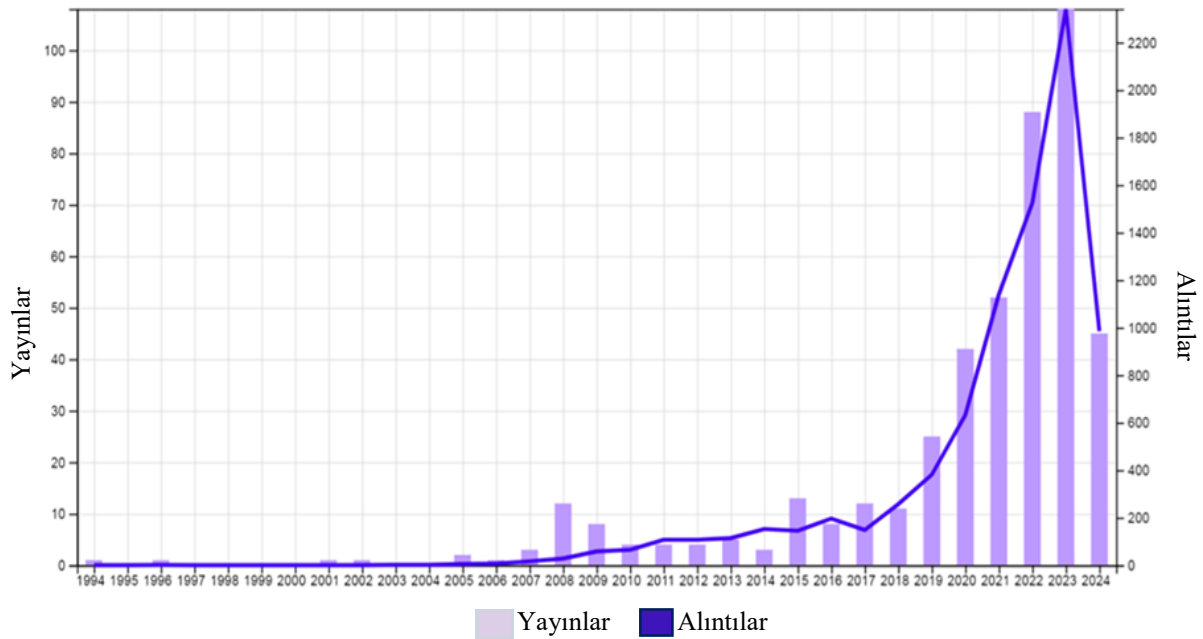
3.1. Yayın ve Alıntı Trendleri

Şekil 1, araştırma alanının yıllık bilimsel üretimini ve tüm dönemi boyunca yapılan toplam alıntıları göstermektedir. İlk makalenin yayımlandığı 1994 yılından bu yana GSST alanında hidrojen enerjisine dair araştırmalar takip eden 20 yılda çok yavaş bir artış elde

etmiştir. Son yıllarda yayın sayısında büyük bir artış yaşanması GSST alanında hidrojen enerjisinin araştırmacıların giderek daha fazla ilgisini çeken bir araştırma alanı olduğu anlamına gelmektedir. Ayrıca gelecekte dünya çapındaki araştırma yayınlarında GSST alanında hidrojen enerjisi konusuna daha çok yer verileceği öngörülmektedir. Şekil 1'e göre araştırma

alanının tüm dönemi boyunca yapılan toplam alıntılar incelendiğinde araştırma alanının ilk yıllarında (1994–2006) alıntı sayısının az olduğu, bunun da bu dönemdeki yayın sayısının az olmasından kaynaklandığı ifade edilebilir. Bununla birlikte, verilerin 04.06.2024 tarihinde elde edilmesi nedeniyle 2024 yılına ait veriler yalnızca yılın ilk altı ayını temsil etmektedir ve yıllık üretim eğilimlerini tam olarak yansıtamamaktadır. Bu durum, grafikte 2024 yılı için üretimde bir düşüş varmış gibi algılanmasına yol açabilir. Ancak, bu durum verilerin kapsadığı sınırlı zaman aralığından kaynaklanmaktadır. Veriler tam yıl boyunca yayımlanan makaleleri kapsamış olsaydı, 2024 yılı üretim miktarının 2023'ü aşması beklenebilirdi. Alıntı sayıları ise genel olarak artış göstermeye devam etmektedir. Hirsch indeksi veya H-faktörü olarak da bilinen H-indeksi, “yüksek alıntılar” anlamına

gelmektedir. 2005 yılında Amerikalı bir bilim adamı olan Hirsch, akademik değerlendirme için temel bilim insanlarını değerlendirmek amacıyla H-indeksini kullanmayı önermiştir (Bertoli-Barsotti ve Lando, 2017). Bir araştırmacının H-indeksi, en az H kez alıntı yapılan en fazla H makaleye sahip olduğu anlamına gelmektedir (Bornmann ve Daniel, 2007). H-indeksi yaygın olarak bireyin bilimsel başarılarını ölçmek için güvenilir ve özgün bir parametre olarak kabul edilmiştir (Pile, 2008). GSST alanında hidrojen enerjisi kaynağının h-indeksi 47, öge başına ortalama alıntı ise 18,53'tür. Makalelerden alıntı yapılanların toplamı 7789 iken kendinden alıntılar olmadan 7711'dir. Alıntı yapılanların toplamı 8413 iken kendinden alıntılar hariç 8312'dir. Şekil 1'de görüldüğü üzere hidrojen enerjisi teması son yıllarda giderek artan bir akademik ilgi çekmektedir.



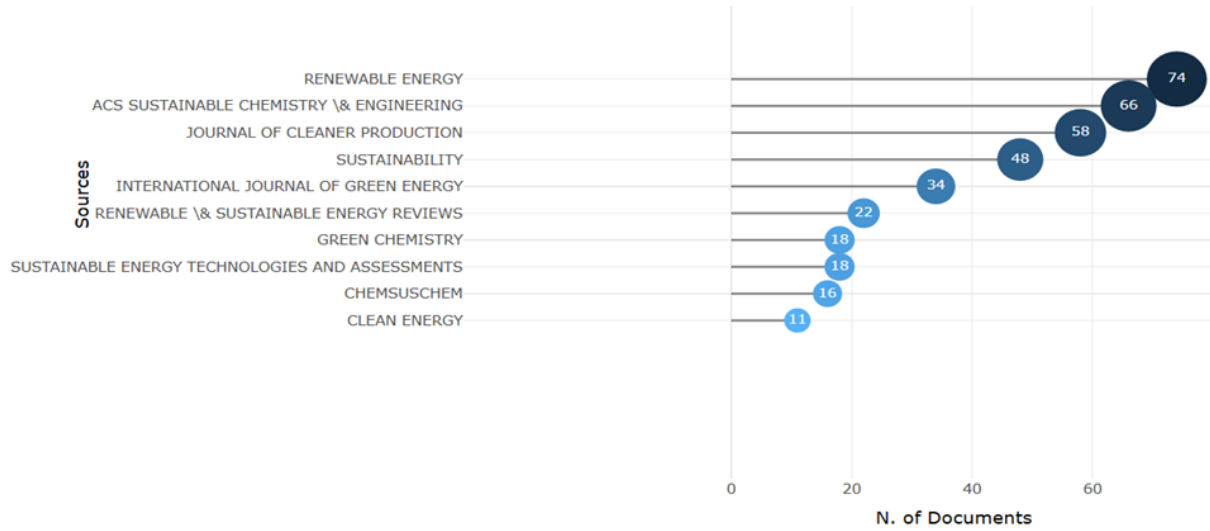
Şekil 1. GSST alanında hidrojen enerjisinin yıllık yayın ve alıntı dağılımı

Figure 1. Annual publication and citation distribution of hydrogen energy in the GSST field

3.2. En Üretken ve Etkili Kaynaklar

Kaynak analizine göre GSST alanında hidrojen enerjisi araştırmalarıyla ilgili 454 belge 37 farklı dergide yayınlanmıştır. Şekil 2, GSST alanında hidrojen enerjisi araştırmalarıyla ilgili en üretken 10 dergiyi göstermektedir. Topun renginin yoğunluğu ve boyutu yayın sayısını belirlerken,

daha derin renk ve daha büyük boyut ise daha fazla sayıda yayın olduğunu göstermektedir. Araştırma alanı ile ilgili makaleleri kapsayan ilk üç dergi Renewable Energy (Yenilenebilir Enerji), ACS Sustainable Chemistry and Engineering (ACS Sürdürülebilir Kimya ve Mühendislik) ve Journal of Cleaner Production (Temiz Üretim Dergisi)'dir.

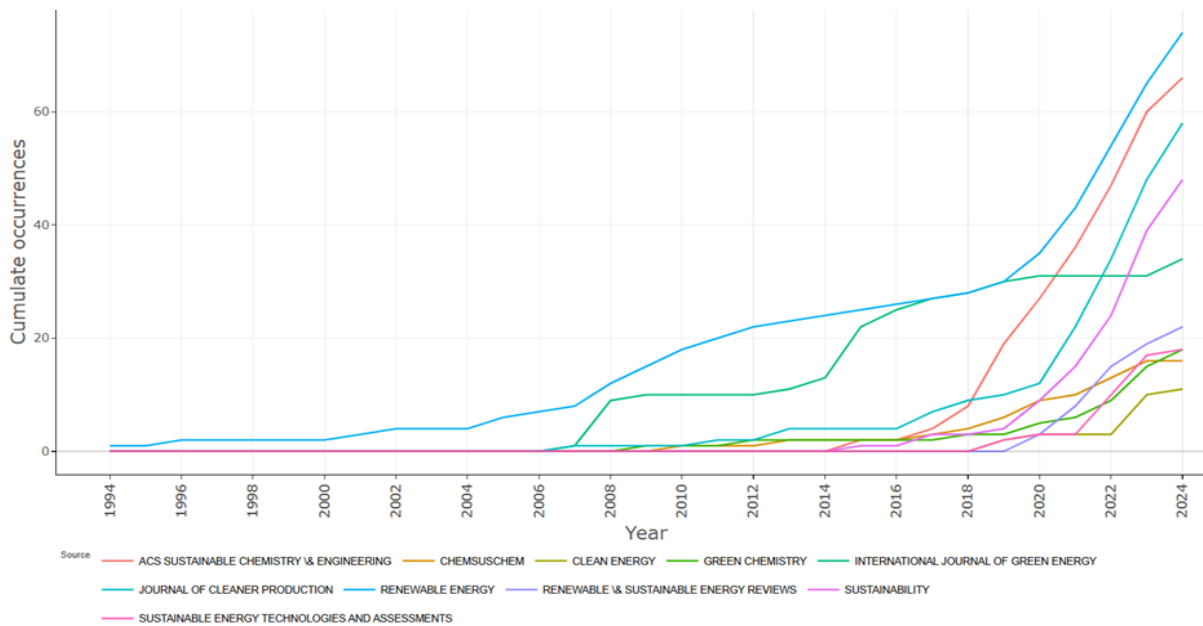


Şekil 2. GSST alanında yayın sayısına göre en ilgili 10 kaynak

Figure 2. The 10 most relevant sources in the GSST field by number of publications

Şekil 3, en iyi 10 kaynak için kümülatif yayın sayısının zaman içindeki gelişimini göstermektedir. Örnekleme dair gerçekleştirilen araştırmalarda Renewable Energy (Yenilenebilir Enerji) (74) en fazla bilimsel üretime sahip olan ve zaman içinde yayın sayısında önemli bir artış gözlemlenen dergi olmuştur. Ayrıca ACS Sustainable Chemistry and Engineering (ACS Sürdürülebilir Kimya ve Mühendislik), Journal

of Cleaner Production (Temiz Üretim Dergisi), Sustainability (Sürdürülebilirlik) ve International Journal of Green Energy (Uluslararası Yeşil Enerji Dergisi) gibi dergilerin yayın sayılarında son yıllarda artış görülmektedir. Bu artış, GSST alanındaki hidrojen enerjisi teknolojilerinin ve araştırmalarının popüleritesindeki artışın bir göstergesidir.



Şekil 3. Kaynakların zaman içindeki üretimi

Figure 3. The production of sources over time

Tablo 2, GSST alanında hidrojen enerjisi üzerine yayın yapan dergilerin akademik etkisini, yayınlarının alıntılanma sıklığını ve genel etkinliğini ölçmek için kullanılan önemli bibliyometrik indeksleri sunmaktadır. Kaynağın analiz etkisi, GSST alanında hidrojen enerjisiyle ilgili en alakalı ve etkili araştırma kaynaklarını tanımlamaktadır. “ACS Sustainable Chemistry and Engineering” h-indeksi, g-indeksi ve m-

indeksi gibi bibliyometrik ölçümlerde en yüksek dergi puanına sahipken, ikinci sırada yer alan “Renewable Energy” dergisi ise daha yüksek toplam alıntı oranına (1983) sahiptir. “Sustainable Cities and Society” (Sürdürülebilir Şehirler ve Toplum) dergisinin hem h-indeksinin (6) hem de toplam alıntılarının (283) diğerlerine göre daha düşük olması bu derginin akademik etkisinin daha sınırlı olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. Toplam alıntılara göre en yüksek etkiye sahip kaynakların ilk 10’u

Table 2. Top 10 sources with the highest impact based on total citations

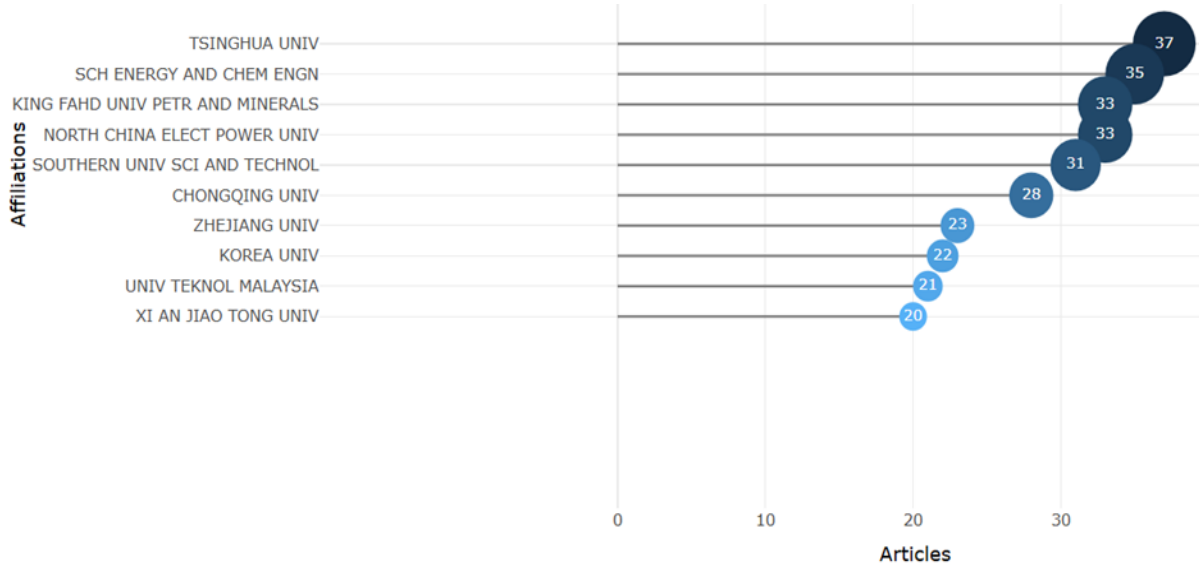
Kaynaklar	h-indeksi	g-indeksi	m-indeksi	Toplam Alıntı
ACS Sustainable Chemistry and Engineering	26	41	2,600	1780
Renewable Energy	24	43	0,774	1983
Journal of Cleaner Production	17	26	0,944	805
Renewable and Sustainable Energy Reviews	15	22	3,000	686
International Journal of Green Energy	10	14	0,556	274
Sustainability	10	15	1,000	284
ChemSusChem	8	16	0,533	467
Green Chemistry	8	18	0,500	335
Sustainable Energy Technologies and Assessments	8	15	1,333	240
Sustainable Cities and Society	6	7	1,000	283

3.3. En Üretken Kuruluşlar ve İşbirlikleri

Şekil 4’te GSST alanında hidrojen enerjisi araştırmalarına katkıda bulunan en ilgili kuruluşlara ilişkin analiz sonucu sunulmaktadır. Çin’deki Tsinghua University (Tsinghua Üniversitesi) 37 yayın ile ilk sırada yer almaktadır. Bunu sırasıyla Malezya’daki School of Energy and Chemical Engineering (Enerji ve Kimya Mühendisliği Fakültesi) (35), Suudi Arabistan’daki King Fahd University of Petroleum and Minerals (Kral Fahd Petrol ve Maden Üniversitesi) (33) ve Çin’deki North China Electric Power University (Kuzey Çin Elektrik Enerjisi Üniversitesi) (33), Çin’deki Southern University of Science and Technology (Güney Bilim ve Teknoloji Üniversitesi) (31), Çin’deki Chongqing University (Chongqing Üniversitesi) (28), Çin’deki Zhejiang University (Zhejiang Üniversitesi) (23), Güney Kore’deki Korea University (Kore Üniversitesi) (22),

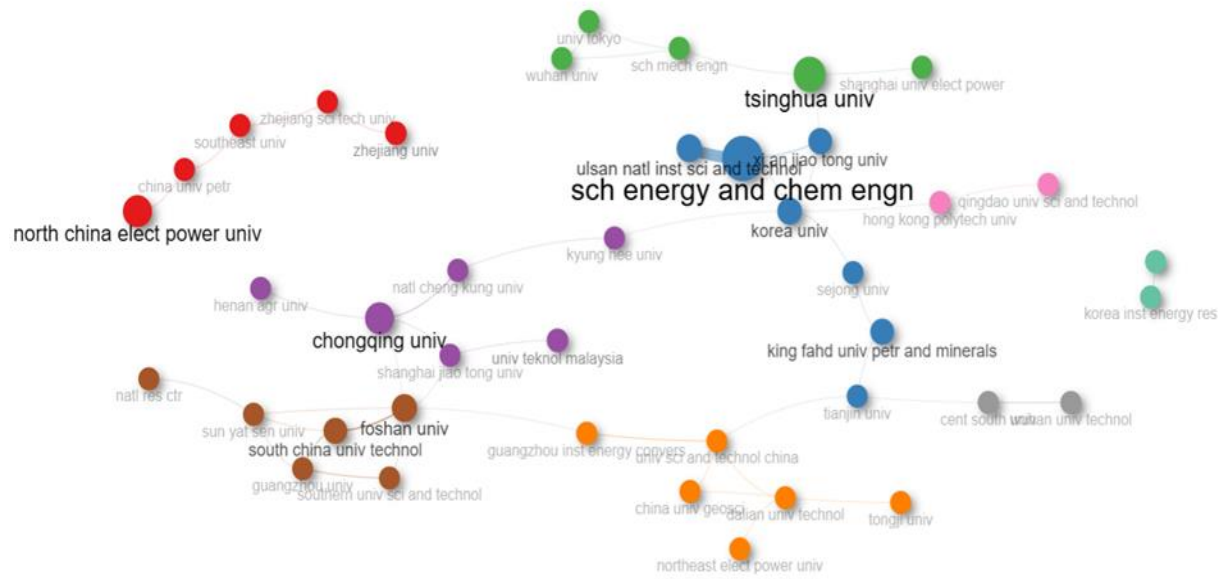
Malezya’daki University of Technology Malaysia (Malezya Teknoloji Üniversitesi) (21) ve Çin’deki Xi’an Jiaotong University (Xi’an Jiaotong Üniversitesi) (20) takip etmektedir.

Şekil 5’te GSST alanında hidrojen enerjisi üzerine çalışan kuruluşların işbirliği ağ analizi yer almaktadır. Düğümler arasındaki çizgiler, kurumlar arası işbirliğini temsil etmektedir. Çizgilerin kalınlığı, işbirliğinin sıklığını belirtirken; daha kalın çizgiler, kurumlar arasındaki daha yoğun işbirliğini işaret etmektedir. Şekil 5, coğrafi yakınlık dikkate alınarak kurulan kurumsal işbirliklerini ve bu bağlantıların büyük ölçüde aynı ülke içerisindeki kurumlar arasında gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Mavi renkli kümelenen kurumların Malezya’daki School of Energy and Chemical Engineering (Enerji ve Kimya Mühendisliği Fakültesi)’nin; yeşil, kırmızı, mor ve kahverengi renkli kümelenen kurumların ise Çin merkezli üniversitelerin hâkimiyetinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4. GSST alanında en çok yayın yapan araştırma kurumları

Figure 4. Research institutions with the most publications in the GSST field



Şekil 5. GSST alanındaki en bilinen araştırma kurumlarının etkileşim ağ haritası

Figure 5. Network map of interactions among the most prominent research institutions in the GSST field

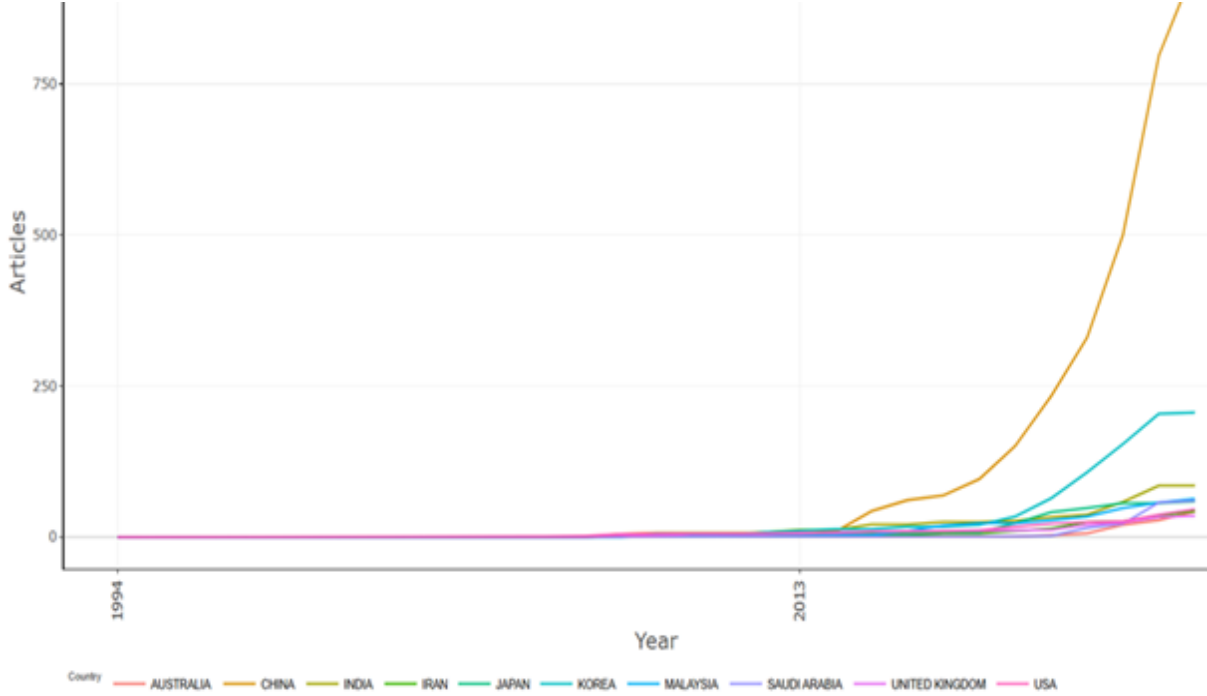
3.4. En Üretken ve Etkili Ülkeler

Şekil 6, GSST alanında hidrojen enerjisi üzerine çalışmaları olan ülkelerin zaman içerisindeki bilimsel üretimlerini ve değişimlerini ifade etmektedir. Şekil 6'ya göre örnekleme dair 1994-2024 zaman aralığında en çok bilimsel üretime sahip olan ilk 10 ülkenin sırasıyla Çin (943), Güney Kore (206), Hindistan (85), Malezya (63), Suudi Arabistan (60), Japonya (59), Amerika

Birleşik Devletleri (46), İran (43), Avustralya (42) ve Birleşik Krallık (35) olduğu görülmektedir. Çin, GSST alanında hidrojen enerjisi üzerine en fazla makale yayımlayan ülke olarak açık ara öndedir. Bu, Çin'in bu alandaki araştırma ve geliştirme faaliyetlerine büyük önem verdiğini ve yoğun bir akademik üretim içinde olduğunu göstermektedir. Çin'in bilimsel altyapısı ve araştırma kaynakları bu alanda

önemli bir katkı sağlamaktadır. Son yıllarda araştırma alanındaki bilimsel üretimin artışı; bu ülkelerdeki üniversiteler, araştırma merkezleri ve hükümetlerin bu alana ciddi yatırımlar yaptığını

ve bu ülkelerin hidrojen enerjisi teknolojileri geliştirmede ve uygulamada öncü olabileceğini göstermektedir.

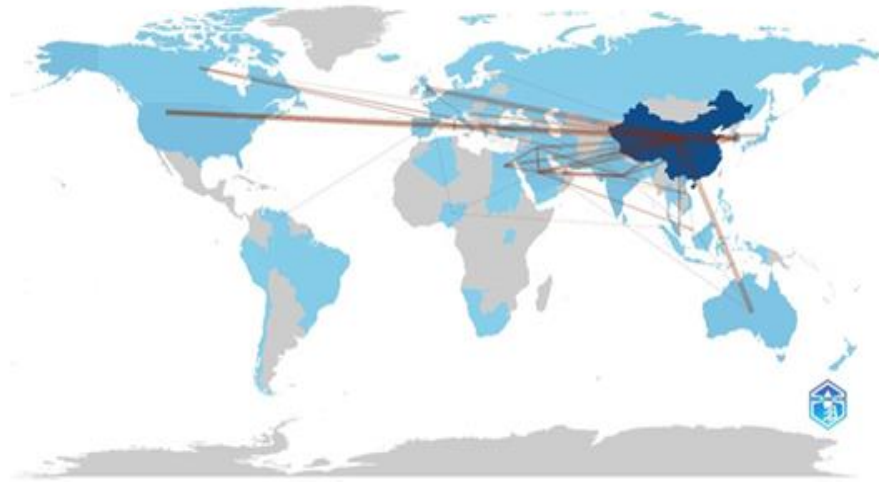


Şekil 6. Ülkelerin zaman içerisindeki bilimsel üretimi

Figure 6. Scientific production of countries over time

Şekil 7, GSST alanında hidrojen enerjisi üzerine çalışan ülkeler arasındaki işbirliği ağlarını ve bu işbirliklerinin sıklığını göstermektedir. Şekil 7'ye göre Çin bu alanda en fazla işbirliği yapan ülkedir. Ülkeler arası bağlantı hatlarının kalın ve hattın renginin koyu olması işbirliğinin sıklığını ifade etmesi sebebiyle Çin ve Avustralya arasında köklü bir işbirliğinin olduğu görülmektedir. Çin; özellikle Birleşik Krallık, Amerika Birleşik Devletleri, Kore, Hindistan, Japonya ve Suudi Arabistan ile yüksek frekansta işbirliği gerçekleştirmiştir. Bu durum, Çin'in hidrojen enerjisi araştırmalarında küresel çapta

geniş bir işbirliği ağına sahip olduğunu ve bu alanda lider konumda olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, Hindistan ve Suudi Arabistan, Kore ve Amerika Birleşik Devletleri, Suudi Arabistan ve Irak arasındaki işbirlikleri de belirgindir. Bu işbirliği ağları, hidrojen enerjisi araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin küresel boyutta yoğunlaştığını ve çeşitli ülkeler arasında güçlü bağlantılar kurulduğunu göstermektedir. Bu tür uluslararası işbirlikleri, teknolojik gelişmelerin hızlanmasına ve hidrojen enerjisinin yaygınlaşmasına katkıda bulunabilir.



Şekil 7. GSST alanında ülkelerin işbirliği ağı haritası

Figure 7. Collaboration network map of countries in the GSST field

Tablo 3'ün verileri GSST alanında hidrojen enerjisine dair en çok alıntı yapılan ülkelerin ilk onunu göstermektedir. Toplam Alıntı (Total Citation) (TC), bir ülkenin araştırmalarının toplamda kaç kez alıntılandığını ifade etmektedir. Bu, o ülkenin bu alandaki araştırma etkisini ve yaygınlığını yansıtmaktadır. Çin, 3338 toplam alıntı ile bu alanda en fazla alıntı yapılan ülke olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, Çin'in hidrojen enerjisi konusunda yoğun araştırma yaptığı ve bu araştırmaların akademik dünyada geniş bir yankı bulduğu anlamına gelmektedir. Ortalama Makale Alıntıları, bir ülkenin makalelerinin ortalama olarak kaç kez alıntılandığını göstermektedir. Bu, makalelerin kalitesini ve bireysel etkisini değerlendirmede kullanılır. Yunanistan, ortalama 80,70 alıntı ile makale başına en yüksek alıntı oranına sahiptir. Bu, Yunanistan'ın nispeten az sayıda makale yayımlamış olmasına rağmen, yayımlanan her makalenin çok yüksek bir etki yarattığını göstermektedir. Genel olarak alıntıların dağılımını ve kalitesini değerlendirdiğimizde Çin'in en yüksek toplam alıntıya sahip olmasına rağmen, ortalama alıntı sayısının (14,50) diğer ülkelere göre daha düşük olması Çin'de çok sayıda yayın yapıldığını ancak her bir makalenin bireysel olarak diğer ülkelerdeki kadar yüksek

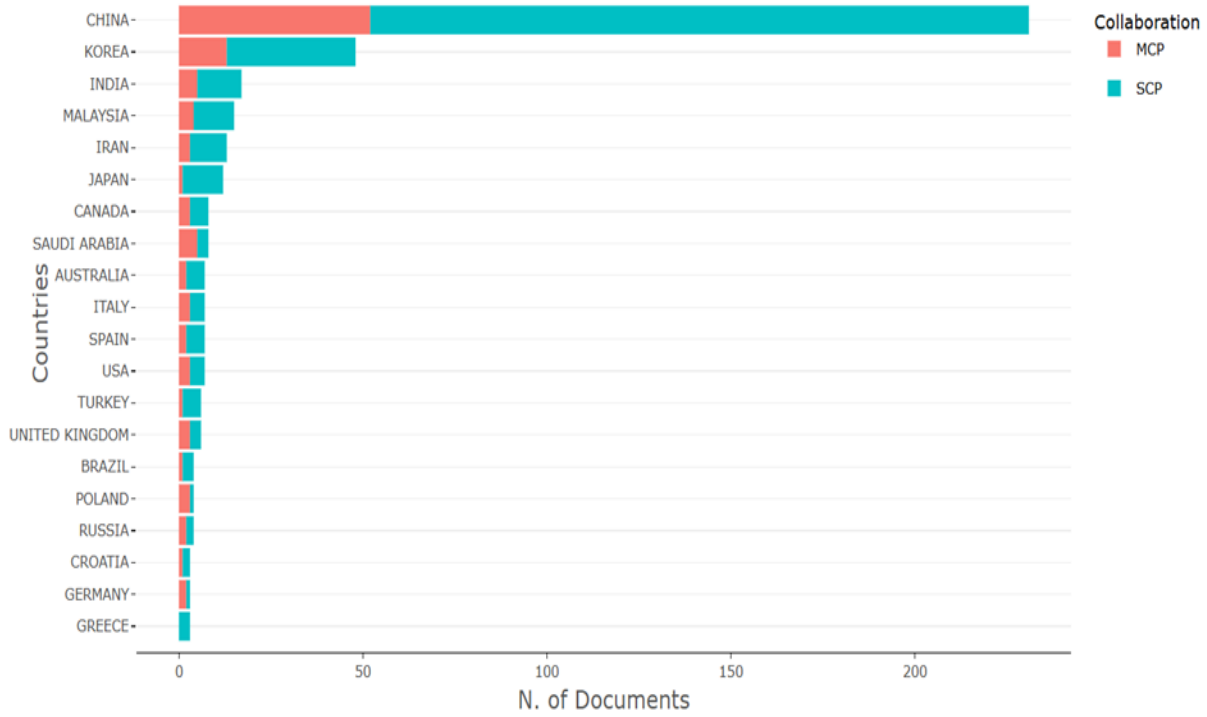
etkiye sahip olmayabileceğini gösterebilir. Kore'nin orta seviyede toplam alıntıya (971) sahipken, ortalama alıntı sayısının (20,20) daha yüksek olması makalelerin genel olarak iyi bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Kanada'nın düşük toplam alıntı sayısına (567) sahip olmasına rağmen, ortalama alıntı sayısının (70,90) oldukça yüksek olması Kanada'daki araştırmaların çok yüksek kaliteli ve etkili olduğunu göstermektedir. Hindistan'ın orta seviyede toplam alıntıya (513) ve yüksek ortalama alıntı sayısına (30,20) sahip olması, Hindistan'daki araştırmaların hem yaygın hem de etkili olduğunu göstermektedir. İran, Malezya, Japonya, İtalya, Birleşik Krallık gibi ülkelerin toplam alıntı sayılarının daha düşük seviyelerde ancak ortalama alıntı sayılarının genellikle iyi olduğu görülmektedir. Bu da, bu ülkelerdeki bireysel makalelerin belirli bir kalite ve etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu veriler, hidrojen enerjisi alanında en çok alıntı yapılan ülkelerin hangileri olduğunu ve bu ülkelerin araştırmalarının ne kadar etkili olduğunu anlamamıza yardımcı olmaktadır. Hem toplam alıntı sayısı hem de ortalama makale alıntıları, ülkelerin bu alandaki bilimsel ve teknolojik katkılarının bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Tablo 3. En çok alıntı yapılan ülkelerin ilk 10'u**Table 3.** Top 10 most cited countries

Sıra	Ülkeler	TC	Ortalama Makale Alıntıları
1	Çin	3338	14,50
2	Kore	971	20,20
3	Kanada	567	70,90
4	Hindistan	513	30,20
5	İran	337	25,90
6	Malezya	313	20,90
7	Japonya	259	21,60
8	Yunanistan	242	80,70
9	İtalya	201	28,70
10	Birleşik Krallık	182	30,30

Şekil 8, GSST alanında hidrojen enerjisi araştırmaları konusunda ülkelerin bilimsel üretimini ve çok ülkeli işbirliklerini sunmaktadır. Tek Ülkeli Yayınlar (Single Country Publications) (SCP) ve Çok Ülkeli Yayınlar (Multi Country Publications) (MCP) arasındaki oranlar, ülkelerin bilimsel araştırma stratejilerini ve uluslararası işbirliklerini yansıtmakta, bu da bilimsel üretimin küresel dağılımının ve etki potansiyelinin anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Çin, 231 toplam makale sayısı ile açık ara en yüksek bilimsel üretime sahiptir. Bu makalelerin 179'unun SCP ve 52'sinin MCP işbirliği ile gerçekleştirilmiş olması Çin'in hem yerel hem de uluslararası düzeyde güçlü bir araştırma kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Kore de Çin'e benzer şekilde hem yüksek sayıda SCP hem de MCP yaparak

hem ulusal hem de küresel düzeyde güçlü bir bilimsel etki yaratmaktadır. Hindistan, Malezya, İran, Japonya gibi orta düzeyde toplam makale sayısına sahip olan ülkelerin çoğunlukla SCP yaptıkları görülmektedir. Kanada ve Suudi Arabistan aynı makale sayısına sahip olmasına rağmen Kanada'nın 5 SCP ve 3 MCP'si, Suudi Arabistan'ın ise 3 SCP ve 5 MCP'si vardır. Bu, Suudi Arabistan'ın uluslararası işbirliklerine daha fazla önem verdiğini göstermektedir. Türkiye ise 6 makale ile orta düzeyde bir üretim seviyesine sahipken bu çalışmaların 5'i SCP 1'i MCP'dir. Bu durum; Türkiye'nin GSST alanında hidrojen enerjisi araştırmalarında yerel araştırma potansiyelinin yüksek, bilimsel altyapısının ve uzmanlığının iyi bir seviyede olduğunu, uluslararası araştırma ağlarına ise sınırlı katılım gösterdiğini, ancak yine de uluslararası işbirliği yapma eğiliminde olduğunu göstermektedir.



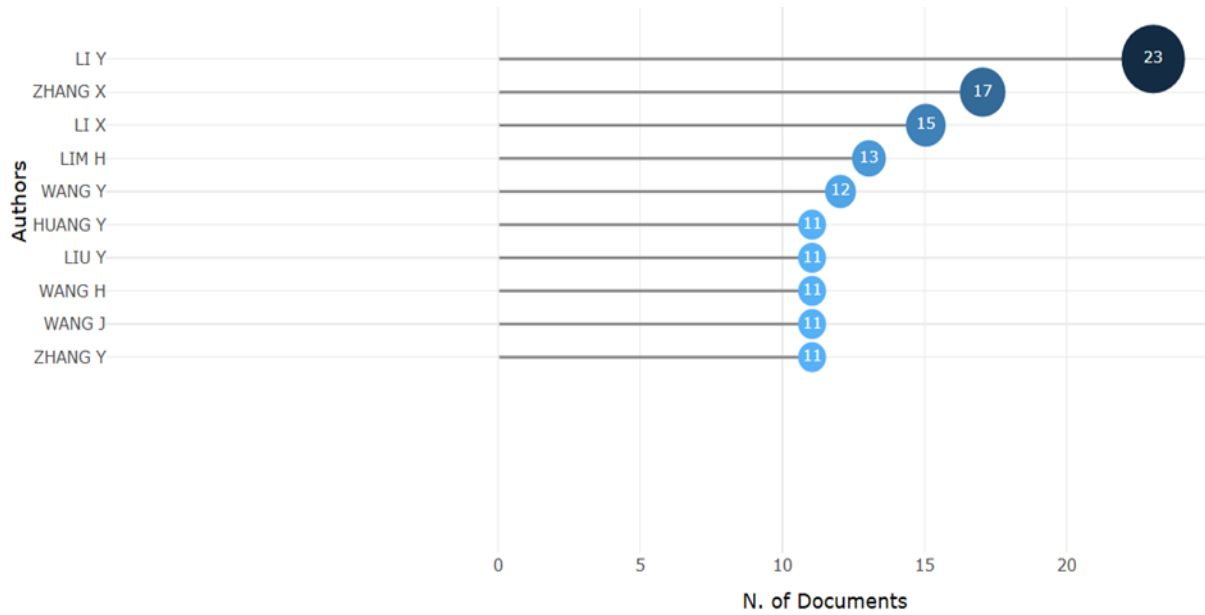
Şekil 8. GSST alanında sorumlu yazarların ülkesi

Figure 8. Country of corresponding authors in the GSST field

3.5. En Üretken Yazarlar

Yeşil sürdürülebilir bilim ve teknoloji alanında hidrojen enerjisi araştırmalarına ilişkin toplam 1825 yazar 454 yayınlara katkı sağlamıştır. Şekil 9, araştırma alanı ile ilgili en üretken ilk on yazarı

göstermektedir. Li Y, 23 makale ile en üretken araştırmacı iken bunu sırasıyla Zhang X (17), Li X (15), Lim H (13), Wang Y (12), Huang Y (11), Liu Y (11), Wang H (11), Wang J (11) ve Zhang Y (11) takip etmektedir.



Şekil 9. Yayın sayısına göre en ilgili ilk 10 yazar

Figure 9. Top 10 most relevant authors by number of publications

3.6. En Çok Alıntılanan Belgeler

GSST alanında hidrojen enerjisi literatürüne hangi yayının katkıda bulunduğunu belirlemek, bu araştırma alanının nasıl geliştiğini anlamak için büyük önem taşımaktadır. Aynı şekilde, araştırma alanı ile ilgili literatürdeki alıntı eğilimlerinin incelenmesi, araştırmanın gelecekteki yönelimi hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Analiz sonucunda, belge başına ortalama 3,98 alıntı ve yıllık ortalama yüzde 18,54 alıntı oranıyla 22,248 alıntıya sahip 454 belge elde edilmiştir. Bu çalışmada kaynak, kurum, yazar, yayın gibi araştırma bileşenlerinin ilgisi, belge üretim ve/veya alıntı sıklığına göre değerlendirilmektedir. Yerel alıntı, analiz edilen veri kümesindeki her bir yayının diğer yayınlar tarafından kaç kez alıntılındığını ifade ederken; küresel alıntılar, bir yayının dünya genelinde ne kadar etki yarattığını ve diğer araştırmacılar tarafından ne kadar referans alındığını gösteren önemli bir metriktir. Bu metrik, WoS gibi geniş kapsamlı veri tabanlarında kayıtlı olan tüm çalışmalar içerisindeki alıntı sayılarını ifade eder. Küresel alıntılar, sadece belirli bir veri seti veya araştırma alanıyla sınırlı kalmayıp, bir yayının farklı disiplinler ve coğrafi bölgeler üzerindeki etkisini de ortaya koymaktadır. Küresel alıntılar, araştırma kalitesinin ve öneminin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Bu alıntılar, belirli bir yayının diğer çalışma alanlarıyla olan ilgi düzeyini de gösterir ve böylece yayının disiplinler arası etki alanının anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Bu bilgi, araştırma trendlerini izlemek, önemli çalışmalar ve yazarlar hakkında bilgi sahibi olmak ve bilimsel bilginin nasıl yayıldığını değerlendirmek açısından önemlidir.

Tablo 4, küresel olarak en çok alıntı yapılan on belgeyi göstermektedir. Khan MJ (2005) tarafından gerçekleştirilen *“Newfoundland'daki uygulamalar için bağımsız hibrit enerji sistemlerinin ön fizibilite çalışması (Pre-feasibility study of stand-alone hybrid energy systems for applications in Newfoundland)”* başlıklı çalışma en çok küresel alıntıya (337) sahiptir ve bu da onu tüm alanlar içerisinde en önemli ve en etkili çalışma yapmaktadır. Çalışmada Kanada'nın Newfoundland kentindeki uygulamalar için hidrojenli hibrit enerji sistemlerinin enerji taşıyıcısı olarak kullanılmasına yönelik bir ön fizibilite çalışması konu edinilmektedir. Ayrıca, çeşitli yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları, enerji depolama yöntemleri ve bunların maliyet ve performans açısından uygulanabilirliği tartışılmaktadır. Pan G (2020) tarafından gerçekleştirilen *“Hidrojen ve ısıya dönüşen güç ve mevsimsel depolamayı göz önünde bulunduran elektrik-hidrojen entegre enerji sistemi için optimal planlama (Optimal planning for electricity-hydrogen integrated energy system considering power to hydrogen and heat and seasonal storage)”* başlıklı çalışma ise toplam alıntılarda ikinci sırada yer almasına rağmen yıllık toplam alıntılarda 39,80 oranıyla en çok alıntılanandır. Çalışmada yenilenebilir enerjinin ultra yüksek yaygınlığına sahip bir Entegre Enerji Sisteminin (Integrated Energy System) (IES) gelecekteki gelişimi için hidrojen üretimi ve depolama teknolojileri dikkate alınarak bir Elektrik-Hidrojen Entegre Enerji Sistemi (Electric-Hydrogen Integrated Energy System) (EH-IES) için bir planlama modeli önerilmektedir.

Tablo 4. Küresel olarak en çok alıntılanan ilk 10 belge
Table 4. Top 10 most cited documents globally

Belgeler	DOI	TC	Yıllık TC	Normalleştirilmiş TC
Khan Mj, 2005, Renew Energy	10.1016/j.renene.2004.09.001	337	16,85	1,80
Pan G, 2020, Ieee Trans Sustain	10.1109/TSTE.2020.2970078	199	39,80	6,16
Zoulas Ei, 2007, Renew Energy	10.1016/j.renene.2006.02.005	184	10,22	2,36
Wang Y, 2017, Chemsuschem	10.1002/cssc.201701456	175	21,88	3,68
Jamshidi M, 2019, Sust Cities Soc	10.1016/j.scs.2018.10.021	164	27,33	3,82
Bhirud Ap, 2012, Green Chem	10.1039/c2gc35519a	143	11,00	3,03
Ray C, 2018, Acs Sustain Chem	10.1021/acssuschemeng.7b04808	120	17,14	3,41
Xu P, 2020, Acs Sustain Chem Eng	10.1021/acssuschemeng.0c02276	119	23,80	3,69
Jeong Dw, 2014, Renew Energy	10.1016/j.renene.2013.07.035	115	10,45	2,83
Cai T, 2022, Renew Sust Enrg Rv	10.1016/j.rser.2021.112003	106	35,33	6,68

Kısaltmalar: Renewable Energy, IEEE Transactions on Sustainable Energy, Sustainable Cities and Society, Green Chemistry, Acs Sustainable Chemistry and Engineering, Renewable and Sustainable Energy Reviews.

Tablo 5, yerel olarak en çok alıntı yapılan on belgeyi göstermektedir. Homayouni F (2017), Nakajima K (2019), Quarton CJ (2021), Kim A (2021), Cha J (2021) ve Schrottenboer AH (2022) analiz edilen veri kümesindeki belgelerde yerel olarak en çok alıntılananlardır. Homayouni F, “İran'daki bir seraya CCHP yükleri sağlamak için entegre bağımsız hibrit güneş enerjisi sisteminin tekno-ekonomik ve çevresel analizi (Techno-economic and environmental analysis of an integrated standalone hybrid solar hydrogen system to supply CCHP loads of a greenhouse in Iran)” başlıklı çalışmada hibrit güneş hidrojen enerji sistemlerinin tekno-ekonomik ve çevresel performansını araştırmıştır. Nakajima K çalışmada amonyum format ve bikarbonat içeren tersinir reaksiyonlara dayalı olarak yüksek verimliliğe sahip tersinir hidrojen depolama-bırakma işlemi için destekli Pd-Au alaşım katalizörleri geliştirmiştir. Quarton CJ tarafından gerçekleştirilen çalışmada gelişen enerji

teknolojilerinin desteklenmesi ve sistem karbonsuzlaştırılmasının teşvik edilmesine yönelik mevcut politikalar incelenmekte ve bunların hidrojen teknolojileriyle ilgisi değerlendirilmiştir. Kim A çalışmada sıvı hidrojen, sıvı organik hidrojen taşıyıcıları ve amonyakla birlikte çeşitli hidrojen taşıyıcıları için deniz aşırı ülkelerden iç bölgelere genel hidrojen tedarikinin ekonomik ve karbon ayak izi analizini gerçekleştirmiştir. Cha J çalışmada katalizörlerin sentezi, reaktör geliştirme, süreç entegrasyonu ve tekno-ekonomik analiz de dâhil olmak üzere yeşil amonyak reformasyonundan hidrojen üretimini kapsamlı bir şekilde araştırmıştır. Schrottenboer AH tarafından gerçekleştirilen çalışma ise yenilenebilir enerji üretimi ve hidrojen depolamadan oluşan entegre enerji sistemlerini, hidrojen için doğrudan gaz bazlı kullanım durumlarıyla birlikte işletmeye yönelik en uygun stratejileri inceleyen ilk araştırma olmuştur.

Tablo 5. Yerel olarak en çok alıntılanan ilk 10 belge
Table 5. Top 10 most cited documents locally

Belge	DOI	LC	GC	LC/GC Oranı(%)	NLC	NGC
Homayouni F, 2017, Int J Green	10.1080/15435075.2016.1217417	2	16	12,50	6,00	0,34
Nakajima K, 2019, Acs Sustain	10.1021/acssuschemeng.8b04698	2	41	4,88	16,00	0,95
Quarton Cj, 2021, Sustain Prod	10.1016/j.spc.2021.02.007	2	22	9,09	13,00	1,11
Kim A, 2021, J Clean Prod	10.1016/j.jclepro.2021.128326	2	19	10,53	13,00	0,96
Cha J, 2021, Renew Sust Enrg Rn	10.1016/j.rser.2021.111562	2	40	5,00	13,00	2,02
Schrotenboer Ah, 2022, Renw S	10.1016/j.rser.2022.112744	2	67	2,99	26,67	4,22
Dincer I, 2011, Energy Sustain D	10.1016/j.esd.2011.03.006	1	73	1,37	4,00	1,69
Valente A, 2017, J Clean Prod	10.1016/j.jclepro.2017.02.163	1	74	1,35	3,00	1,56
Rahman Afa, 2017, J Clean Prod	10.1016/j.jclepro.2016.12.026	1	60	1,67	3,00	1,26
Huang Jf, 2018, Acs Sustain Che	10.1021/acssuschemeng.8b00295	1	31	3,23	3,67	0,88

Kısaltmalar: International Journal of Green Energy, Acs Sustainable Chemistry and Engineering, Sustainable Production and Consumption, Journal of Cleaner Production, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Energy for Sustainable Development, Journal of Cleaner Production.

3.7. Anahtar Kelimelerin Analizi ve Birlikte Oluşum Ağı

Şekil 10, 1994-2024 zaman aralığındaki GSST literatüründe hidrojen enerjisine ilişkin kelime bulutunu göstermektedir. Kelime bulutu analizi, metin verilerindeki en sık kullanılan kelimeleri görsel olarak temsil eden bir analiz yöntemidir. Kelime bulutu, kelimelerin sıklığını veya önemini gösteren bir bulut grafiği şeklinde olup, veri setindeki en sık geçen kelimeleri boyutlarıyla orantılı olarak ifade eden ve daha sık kullanılan kelimeleri daha büyük ve daha

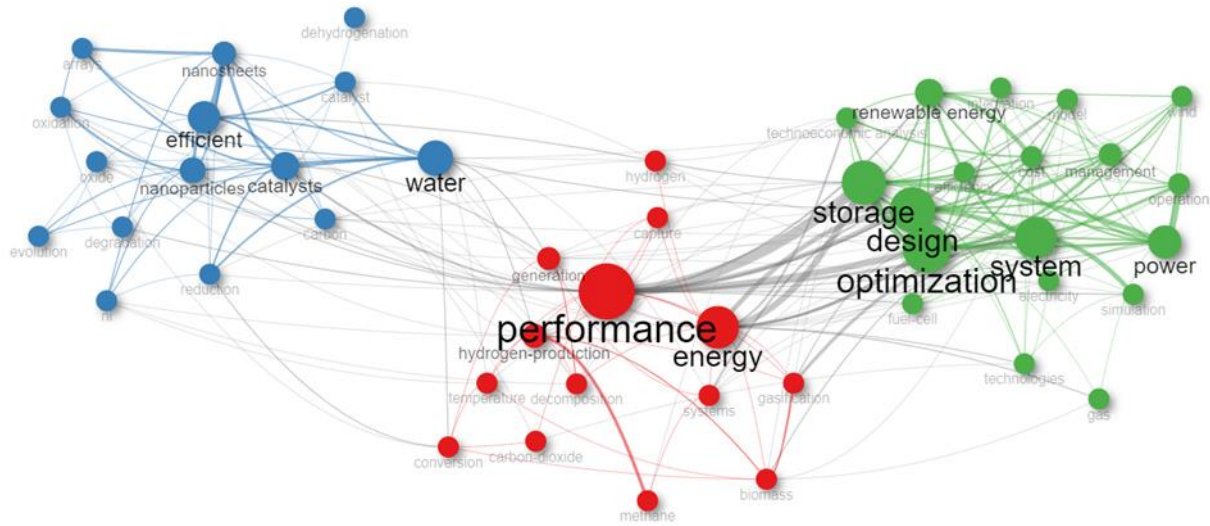
belirgin bir şekilde görselleştiren bir grafiksel görseldir (Laila vd., 2024). Görseldeki kelime bulutu, yazarın anahtar kelimeleri (DE), makale başlıkları ve özetlerinden oluşmaktadır. Bu koleksiyon, Biblioshiny ara yüzünde Keyword Plus (ID) olarak tanımlanmaktadır. Araştırma alanıyla en alakalı on anahtar kelime; performans (Frekans:49), tasarım (Frekans:37) enerji (Frekans:36), optimizasyon (Frekans:36), sistem (Frekans:34), verimli (Frekans:32), depolama (Frekans:32), güç (Frekans:26), su (Frekans:26) ve nanopartiküller (Frekans:23)'dir.



Şekil 10. GSST alanında hidrojen enerjisi araştırmasında en ilgili anahtar kelimeler
Figure 10. Most relevant keywords in hydrogen energy research in the GSST field

Şekil 11'de GSST alanında hidrojen enerjisi araştırmasındaki Anahtar Kelimeler Birlikte Oluşum Ağı (Keyword Co-occurrence Network) (KCN) gösterilmektedir. KCN, bilimsel makalelerde veya diğer metinlerde belirli anahtar kelimelerin birlikte nasıl kullanıldığını ve bu anahtar kelimeler arasındaki ilişkileri görsel olarak temsil eden bir analiz yöntemidir. KCN, düğümlerden (Anahtar Kelimeler) ve bu düğümleri birbirine bağlayan kenarlardan oluşmaktadır. Her bir düğüm, bir anahtar kelimeyi temsil ederken; düğümün boyutu, anahtar kelimenin metin korpusunda ne kadar sık kullanıldığını göstermektedir. Düğümler arasındaki çizgiler, anahtar kelimelerin birlikte ne sıklıkta kullanıldığını nitelemektedir. Çizgilerin kalınlığı veya yoğunluğu, birlikte kullanım sıklığına bağlı olarak değişir; daha kalın çizgiler daha sık birlikte kullanılan kelimeleri temsil etmektedir. “Performans” ve “Depolama” arasındaki kalın bağlantı, iki anahtar kelimenin diğer bağlantılı anahtar kelime çiftlerine göre daha fazla belgede birlikte bulunduğunu göstermektedir. Bir ağ içindeki bir anahtar kelimenin önemi, o kelimenin ağ içindeki konumuna ve bağlantılarına bağlı olarak

belirlenir. “Performans” en yüksek merkeziliğe (202.262) sahip önemli bir anahtar kelimedir. Bu durum, anahtar kelimenin merkeziyetin diğer kelimelerle olan bağlantılarının yanı sıra bu bağlantıların ağ içindeki diğer kelimelerle ne kadar etkileşim içinde olduğunu da göstermektedir. Yüksek merkeziliğe sahip kelimeler, ağ içinde daha geniş bir etki alanına sahiptir. Anahtar kelime kümeleri, ağın yapısını anlamada önemli bir rol oynar ve benzer özelliklere veya ilişkilere sahip anahtar kelimeler genellikle aynı kümede yer almaktadır. Renkler, ağdaki düğümlerin (anahtar kelimelerin) hangi kümeye veya gruplama kategorisine ait olduğunu belirtirken; aynı rengi paylaşan düğümler arasındaki bağlantılar daha güçlü veya sık görülüyorsa, bu kümeler arasında güçlü bir ilişki olabileceğini göstermektedir. Kırmızı kümeyi performans, enerji, hidrojen üretimi, biyokütle, hidrojen ve sistemler gibi anahtar kelimeler; yeşil küme bulutunu optimizasyon, tasarım, sistem, depolama, güç, yenilenebilir enerji ve yakıt hücresi gibi anahtar kelimeler; mavi kümeyi ise verimli, su, nanopartiküller, katalizörler, nano tabakalar ve karbon gibi anahtar kelimeler oluşturmaktadır.



Şekil 11. Anahtar kelimeler birlikte oluşum ağı
Figure 11. Co-occurrence network of keywords

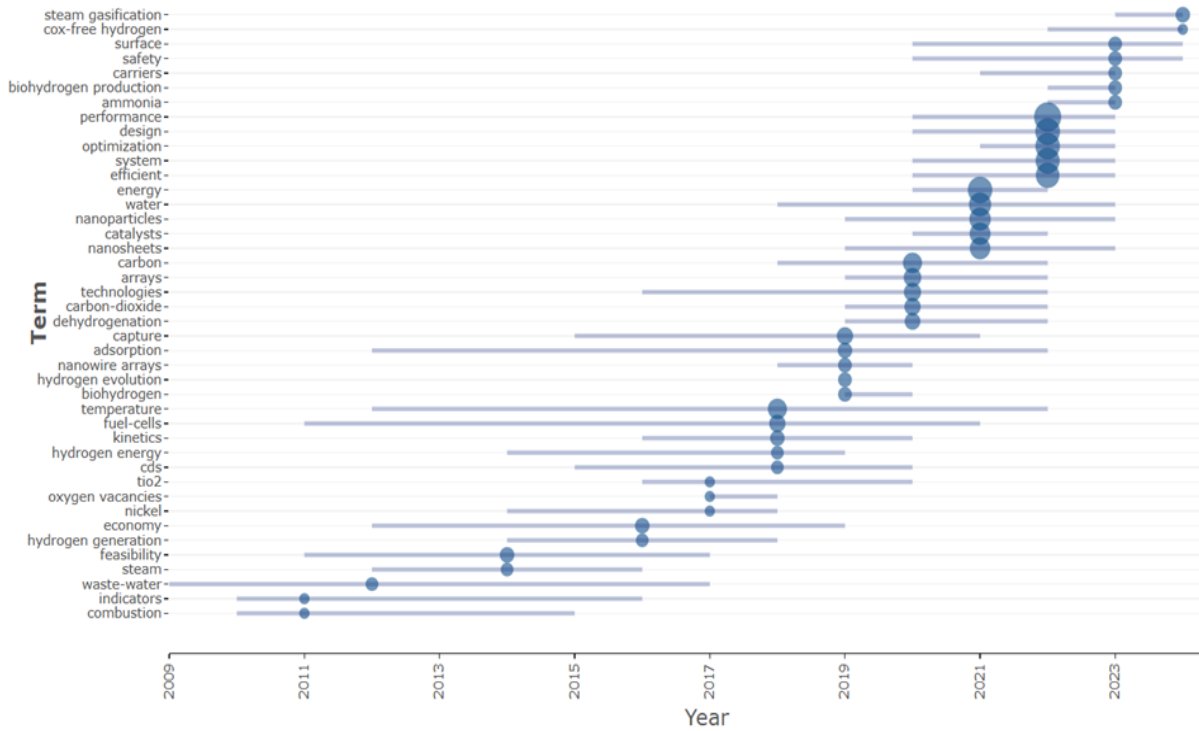
3.8. Güncel Araştırma Konuları

Şekil 12, 1994-2024 zaman aralığında GSST literatüründe hidrojen enerjisine yönelik trend

konu eğilimlerini göstermektedir. Trend konu analizi, belirli bir zaman diliminde belirli anahtar kelimelerin nasıl kullanıldığını ve popülaritesinin

nasıl değiştiğini inceleyerek, araştırma alanlarındaki eğilimleri ve değişimleri ortaya çıkarmaktadır. Analizde kullanılan grafiksel parametre ayarı, kelime minimum sıklığı 3, yıllık kelime sayısı ise 5'tir. Trend konu analizinde, anahtar kelimelerin zaman içindeki frekans değişimleri, araştırma alanlarındaki eğilimlerin anlaşılmasını sağlamaktadır. Çizgiler, anahtar kelimenin kullanıldığı zaman aralığını ifade ederken; çizgideki balon, anahtar kelimenin belirtilen zaman aralığındaki en sık kullanıldığı yılı vurgulamaktadır. Balonların boyutu, anahtar kelimenin araştırılma sıklığını gösterir; balon ne kadar büyükse o kadar sık araştırıldığı anlamına gelmektedir. 2022'deki en büyük balonla gösterilen "Performans" terimi, 49 frekansla tüm yayın başlıklarında en yüksek frekansa sahiptir. Araştırma alanına dair 2024'teki trend konunun ise "Buharla Gazlaştırma" olduğu görülmektedir. Bu durum araştırma alanında yeni

ve potansiyel olarak önemli bir araştırma eğiliminin başladığını ve bu teknolojinin hidrojen üretiminde yeni bir ilgi odağı olduğunu göstermektedir. Ayrıca hidrojen üretimi ve diğer enerji uygulamalarında kullanılabilen bu teknoloji, yenilenebilir enerji kaynaklarını teşvik ederek fosil yakıt bağımlılığını azaltır ve çevresel sürdürülebilirliği artırır. Örnekleme dair araştırmalara ilişkin çalışmalar 2022 yılında "Performans, Tasarım, Optimizasyon, Sistem, Verimlilik"; 2021 yılında "Enerji, Su, Nanopartiküller, Katalizörler, Nano Tabakalar"; 2020 yılında "Karbon, Diziler, Teknolojiler, Karbondioksit, Dehidrojenasyon"; 2019 yılında "Tutulma, Adsorpsiyon, Nanotel Dizileri, Hidrojen Evrimi, Biyohidrojen"; 2018 yılında ise "Sıcaklık, Yakıt Hücreleri, Kinetikler, Hidrojen Enerjisi, CD"ler gibi çeşitli konuları kapsamaktadır.



Şekil 12. Trend konular grafiği

Figure 12. Trend topics graph

3.9. Tematik Haritalama

Şekil 13, yoğunluk ve merkeziliğe göre dört çeyrekte kategorize edilmiş tematik harita analizini sunmaktadır. Tematik harita, çeşitli

temalar ve kavramlar arasındaki ilişkileri ve dinamikleri gösteren, belirli bir alanın entelektüel yapısını ve gelişimini görsel olarak temsil etmektedir (Mostafa, 2020). Tematik haritadaki

noktalar, en yüksek frekansa sahip anahtar kelimeleri temsil eder; noktaların çapı, bu terimlerin görünme sıklığı ile orantılıdır (Rejeb vd., 2023). Haritadaki noktaların boyutu, ilgili temaların yaygınlık ve önemini belirtirken, renkler tematik benzerliklere göre oluşturulmuş farklı kümeleri ifade etmektedir. Harita, her biri farklı bir tema kategorisini temsil eden dört çeyreğe ayrılmıştır. Tematik bir ağın sağ üst çeyreğindeki temalar (motor temalar) iyi gelişmiştir ve bir araştırma alanının yapısı için kritik öneme sahiptir. Bu temalar, yüksek merkeziliğe ve etkiye sahiptirler ve araştırma yönünü belirlemede önemlidir. Sol üst çeyrekteki temalar (niş temalar/yeni, yenilikçi temalar) ise iyi gelişmiş iç bağlara sahip olup, alanla düşük düzeyde ilişkilidir. Bu temalar, araştırma alanı üzerinde düşük merkeziliğe ve etkiye sahiptir. Sol alt çeyrekte yer alan temalar, ortaya çıkan veya azalan temalar olarak görülür ve genellikle marjinaldir. Bu temalar, düşük merkezilik ve yoğunluğa sahiptir. Sağ alt çeyrekteki temalar ise temel temalar olup, motor temalara kıyasla daha az gelişmiş ve anlamlıdır. Bu temaların merkezilikleri yüksek ancak etkileri düşüktür (Cobo vd., 2018).

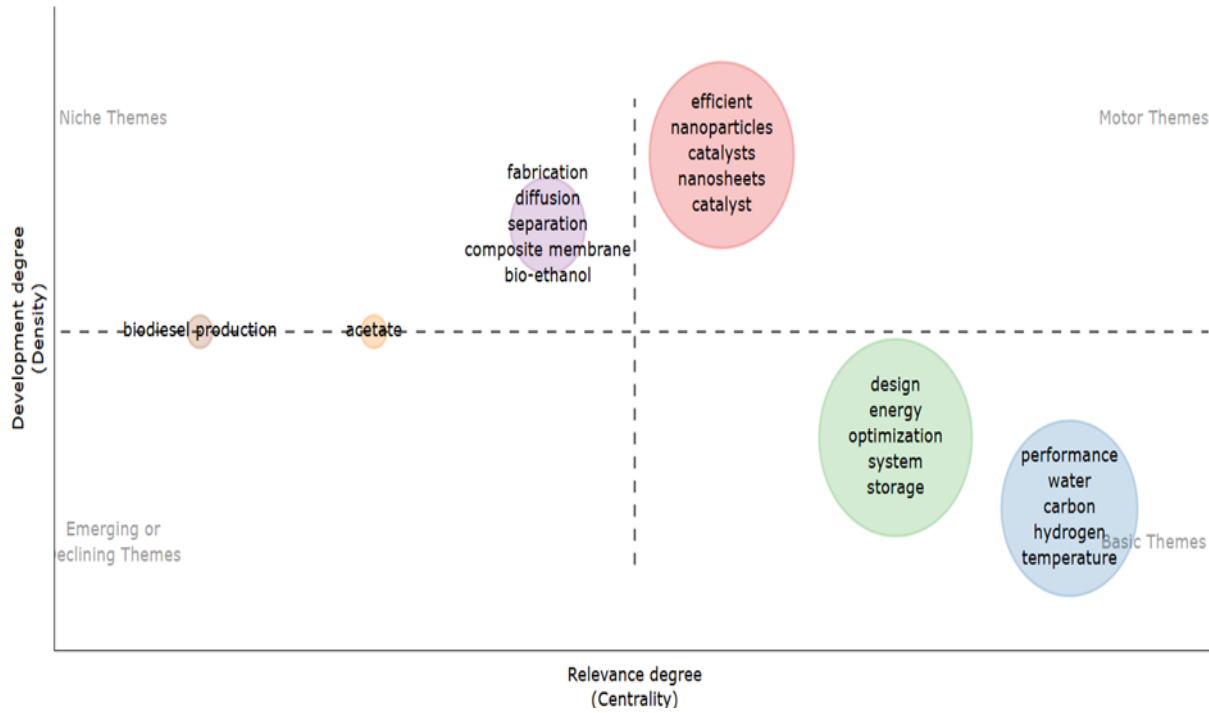
Motor temalar çeyreği, “Verimlilik, Nanopartiküller, Katalizörler, Nano Tabakalar ve Katalizör” gibi anahtar kelimelerin oluşturduğu tek bir nokta içermektedir. Bu, alanın ilerlemesini yönlendiren köklü ve etkili araştırma alanlarını temsil etmektedir. Bu anahtar kelimeler, GSST alanında kritik ve merkezi temaların bu konular etrafında toplandığını göstermektedir. Bu temaların gelecekteki araştırmalar ve uygulamalar için öncelikli alanlar olduğu ve yeşil sürdürülebilir bilim ve teknoloji hedeflerine ulaşmada önemli katkılar sağladığı anlaşılmaktadır.

Niş temalar çeyreği, “Üretim, Difüzyon, Ayırıştırma, Kompozit Membran ve Biyo-etanol” gibi anahtar kelimelerden oluşup, kendi içlerinde uzmanlaşmış olmalarına rağmen daha az yaygın olan araştırma alanlarını kapsamaktadır. Ancak,

gelecekte bu konuların daha fazla önem kazanması ve GSST hedeflerine ulaşmada kritik rol oynaması olasıdır. Bu bağlamda bu temaların takip edilmesi ve araştırılması, yeni ve yenilikçi çözümler geliştirme potansiyelini barındırmaktadır.

Temel temalar çeyreği, alanın temelini oluşturan temel ve temel araştırma alanlarını kapsar ve bu çeyrekte iki nokta bulunmaktadır. İlk nokta “*Tasarım, Enerji, Optimizasyon, Sistem ve Depolama*” gibi anahtar kelimeleri içermektedir. Hidrojen enerjisinin mühendislik ve teknik yönlerine odaklanan bu anahtar kelimeler; hidrojen enerjisinin verimli ve optimize edilmiş tasarımı, enerji sistemlerine entegrasyonu ve enerji depolama çözümlerinin geliştirilmesi ile ilgilidir. Bu durum, yeşil ve sürdürülebilir enerji sistemlerinin tasarımında kritik rol oynamaktadır. “*Performans, Su, Karbon, Hidrojen ve Sıcaklık*” gibi anahtar kelimelerden oluşan ikinci nokta, hidrojen enerjisi ile ilgili temel performans ve çevresel faktörlere odaklanmaktadır. Bu, hidrojen üretiminde su kullanımının verimliliği, karbon emisyonlarının azaltılması, hidrojenin özellikleri ve üretim süreçlerindeki sıcaklık etkileri gibi konuları kapsamaktadır. Bu da GSST açısından önemli hususları içermektedir.

Ortaya çıkan veya azalan temalar çeyreğinde yer alan konular, genellikle henüz tam olarak gelişmemiş veya önemini yitirmekte olan temaları ifade etmektedir. “*Biyo-dizel Üretim*” ve “*Asetat*” anahtar kelimelerinin ortaya çıkan veya azalan temalar ve niş temalar çeyreğinin ortak çizgisinde bulunması, bu temaların geçiş aşamasında olduğunu ve iki çeyrek arasındaki bir durumu yansıttığını göstermektedir. Bu temalar, henüz tam olarak olgunlaşmamış veya ilgisini kaybetmekte olan alanlardır. Ancak gelecekte bu konuların önem kazanması veya düşmesi de mümkündür. Bu durum, bu alanlarda yapılan araştırmaların dinamik ve değişken olduğunu ve bu temaların izlenmesinin önemli olduğunu göstermektedir.



Şekil 13. GSST alanında hidrojen enerjisi araştırmasının tematik haritası

Figure 13. The thematic map of hydrogen energy research in the GSST field

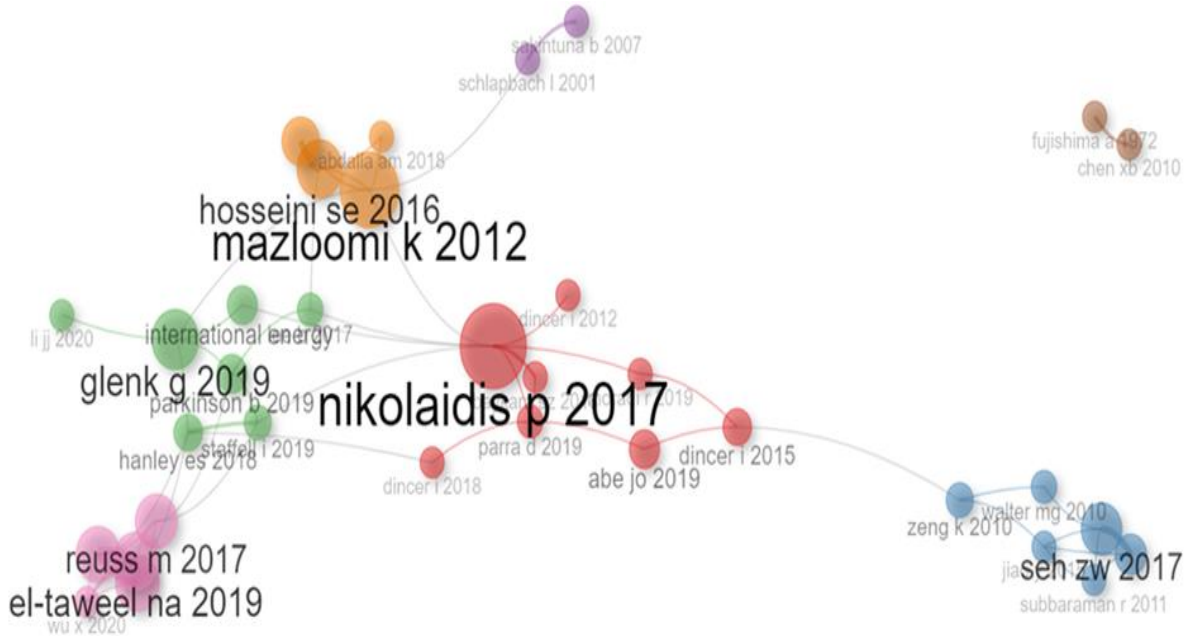
3.10. Ortak Alıntı Analizi

GSST alanında hidrojen enerjisi üzerine gerçekleştirilmiş makaleler arasındaki ilişkiler ve bağlantılar Şekil 14'te görselleştirilmiştir. Ortak Atıf Ağı (Co-Citation Network), bilimsel literatürde iki veya daha fazla çalışmanın aynı üçüncü çalışma tarafından atıf alması sonucu oluşan bir ağıdır. Ağdaki her düğüm, makalenin ilk yazarını ve yayın yılını ifade ederken; kenarlar, iki belge arasındaki ortak atıfları temsil etmektedir. Düğüm boyutları, makalelerin aldığı toplam atıf sayısını gösterir ve kenar kalınlığı, ortak atıf ilişkilerinin gücünü belirtmektedir. Düğüm renkleri ise makalelerin ait olduğu kümeleri göstermektedir. Bu ağ, ikiye eşit minimum ortak atıf derecesi ve 40 ağ düğümü eşiği ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 14'teki ortak alıntı ağından yedi alıntı kümesinin olduğu anlaşılmaktadır. Kümeler, kendilerine ait referansların çoğuna göre sınıflandırılmıştır. Kırmızı renkle temsil edilen ilk küme en büyüğüdür ve 8 belge içermektedir. Bu kümede en çok alıntı yapılan referansın Nikolaidis P (2017) olduğu tespit edilmiştir. Nikolaidis ve Poullikkas'ın çalışması, hidrojen üretim

yöntemlerinin kapsamlı bir analizini sunmaktadır. Mavi renkle temsil edilen ikinci küme, 7 makaleden oluşmaktadır ve en çok alıntı yapılan referansın Seh ZW (2017) olduğu tespit edilmiştir. Seh ve diğerleri, deneysel ve teorik yaklaşımların bir kombinasyonunu kullanarak bazal düzlem işlevselleştirmesinin (Tx) 5 farklı MXene'nin HER aktivitesi üzerindeki rolünü ve etkisini araştırmıştır. Yeşil renkle temsil edilen üçüncü küme, 7 makale içermektedir ve en çok alıntı yapılan referansın Glenk G (2019) olduğu tespit edilmiştir. Glenk ve Reichelstein, yenilenebilir enerji ve güç-gaza dönüştürme tesisini birleştiren hibrit bir enerji sistemini yatırımcı bakış açısıyla değerlendirmiştir. Mor renkle temsil edilen dördüncü küme, 2 makale içermektedir ve en çok alıntı yapılan referansın Schlapbach L (2001) olduğu tespit edilmiştir. Schlapbach, yüksek hidrojen depolama kapasitesine sahip yenilikçi malzemeler üzerine son gelişmeleri araştırmıştır. Turuncu renkle temsil edilen beşinci küme, 4 makale içermektedir ve en çok alıntı yapılan referansın Mazloomi K (2012) olduğu tespit edilmiştir. Mazloomi ve Gomes, araştırmalarında hidrojeni yakıt veya enerji taşıyıcısı olarak üretmenin

çeşitli ölçeklerdeki fizibilitesini incelemiştir. Kahverengi renkle temsil edilen altıncı küme, Fujishima A (1972) ve Chen XB (2010) tarafından yazılmış iki makaleyi içermektedir. Pembe renkle temsil edilen yedinci küme, 5 makale içermektedir ve en çok alıntı yapılan

referansın Reuss B (2017) olduğu tespit edilmiştir. Reuss ve diğerleri, Sıvı Organik Hidrojen Taşıyıcılarını (LOHC) analiz ederek bunların gelecekteki hidrojen hareketliliği üzerindeki potansiyel etkilerini incelemiştir.



Şekil 14. GSST alanında hidrojen enerjisi bilimsel çalışmalarının ortak alıntı ağı

Figure 14. Co-citation network of hydrogen energy scientific studies in the GSST field

4. Sonuçlar

Bu çalışma, GSST alanında hidrojen enerjisine yönelik araştırmaların mevcut durumunu ve gelişim trendlerini bibliyometrik bir analiz yöntemiyle incelemeyi amaçlamaktadır. WoS veri tabanından indekslenen makalelerden elde edilen veriler, hidrojen enerjisinin sürdürülebilir bir gelecek için önemli bir rol oynadığını ve bu alandaki araştırmaların giderek artan bir ivmeyle devam ettiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, hidrojenin hem çevresel sürdürülebilirlik hem de enerji güvenliği açısından kritik bir bileşen olarak öne çıktığını göstermektedir. Ayrıca araştırma, hidrojen enerjisi konusundaki mevcut literatürü haritalandırarak, bu alandaki ana eğilimleri, boşlukları ve gelecekteki araştırma yönelimlerini belirlemeyi hedeflemektedir.

Bu makalede GSST alanında hidrojen enerjisi üzerine bibliyometrik bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, bu araştırmanın

verileri 04.06.2024 tarihinde WoS veri tabanından alınmıştır. Arama motorunda ana terim olarak “Hydrogen Energy” (Hidrojen Enerjisi) kavramı taratılmış ve hiçbir filtreleme yapılmadan gerçekleştirilen ilk aramada 57406 belge ortaya çıkmıştır. Dahil etme ve hariç tutma kriterlerine devam ederek, filtre belge türünü kullanarak yalnızca araştırma makaleleri seçilmiş (devam eden makaleler, erken erişim, inceleme makaleleri veya kitap incelemeleri için tercih edilmeyen) ve bu da belge sayısını 50653'e düşürmüştür. Çalışmanın amacına en uygun WoS disiplini olması bakımından GSST alanı filtreleme seçeneği kullanılarak sonucun daraltılması ise belge sayısını 501'e indirmiştir. 1994-2024 yılları arasında (01.01.1994 - 04.06.2024) GSST alanında hidrojen enerjisine dair “Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED), Social Sciences Citation Index (SSCI) ve Emerging Sources Citation Index (ESCI)” dizinlerinde yer bulmuş

37 dergide, 1825 yazar tarafından İngilizce olarak yayımlanan toplam 454 makale elde edilmiştir. Bulgular incelendiğinde 1994'te yayımlanan ilk makaleden 2007'ye kadar yayın ve atıf sayısının sınırlı kalması, hidrojen enerjisinin GSST alanında erken dönemde kısıtlı bir ilgi gördüğünü göstermektedir. Ancak 2007 sonrası dönemde yayın ve atıf sayılarındaki artış, dalgalanmalar olsa da, GSST alanında hidrojen enerjisine yönelik küresel farkındalığın ve bu konunun disiplin içindeki öneminin arttığını belirtmektedir. Bu durum, hidrojen enerjisinin yalnızca teknik bir konu olmadığını aynı zamanda sürdürülebilir enerji çözümlerindeki öneminin de arttığını işaret etmektedir. Ayrıca, araştırma alanının bilimsel topluluk tarafından giderek daha fazla tanındığını ve bu alandaki çalışmaların etkisinin geniş bir akademik kitle tarafından kabul edildiğini göstermektedir. Çin'in bu alanda en üretken ve işbirlikçi ülke olması, birçok güçlü Ar-Ge ürünlerinin ve hidrojen enerji çözümlerine yapılan yatırımların bir göstergesi olabilir. Çin, son yıllarda yeşil enerji teknolojilerine yönelik büyük yatırımlar yapmış ve dünya çapında hidrojen enerji araştırmalarında lider ülkelerden biri haline gelmiştir. Ülkedeki üniversiteler, devlet destekli araştırma enstitüleri ve özel sektör işbirlikleri hızlı çözümler üretmeye olanak tanımaktadır. Tsinghua Üniversitesi'nin yüksek üretkenliği, bu alandaki araştırma geliştirme kapasitesinin güçlü bir örneğidir. Çin hükümeti, enerji dönüşümünü hızlandırmak ve karbon nötr hedefine ulaşmak için hidrojen enerji araştırmalarını yayınlamayı bir öncelik olarak benimsemektedir. Devlet destekli fonlar ve teşvikler, araştırmacılar ve girişimciler için büyük bir motivasyon kaynağı olabilir. Ayrıca, Çin'in bu alandaki üretkenliği, uluslararası düzeyde bir liderlik arayışını da yansıtmaktadır. Yüksek işbirliği oranları, küresel bilim topluluklarına uyum sağlama ve bilgi paylaşımı konusundaki gücünü göstermektedir. Bu durum, yalnızca ulusal üretimin arttırılmasıyla kalmamış aynı zamanda küresel enerji sorunlarına yönelik daha kapsamlı çözümler üretilmesine de katkı sağlamıştır. “Renewable Energy” dergisinin en üretken kaynak olması, hidrojen enerjisinin ve

yenilenebilir enerjinin sürdürülebilir çözümler için oldukça önemli bir araştırma alanı haline geldiğini göstermektedir. “ACS Sustainable Chemistry and Engineering” dergisinin en etkili dergi olması ise hidrojen enerjisinin hem sürdürülebilirlik hedeflerini hem de mühendislik çözümlerini yeniden oluşturma bir alan haline geldiğini vurgulamaktadır. “Performans” anahtar kelimesinin yaygın kullanımı, hidrojen enerjisi araştırmalarının teorik bilgi ile pratik uygulama arasında köprüler kurmaya odaklandığını ve enerji geçişindeki işlevine yönelik çabasını yansıtabilir. “Buharla Gazlaştırma”nın 2024'te en çok tartışılan konu olması, hidrojen üretimi alanında sürdürülebilirlik, verimlilik ve verimlilik tüketiminde süregelen çabaların bir yansıması olarak nitelendirilebilir. Son yıllarda hidrojen üretiminde elektrolizörlerin gelişimi, hidrojenin taşınabilirliği ve depolama sistemleri gibi alanlarda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Özellikle buharla gazlaştırma ve katalizör geliştirme gibi teknolojik ilerlemeler, hidrojen üretim maliyetlerini düşürmeye ve verimliliği arttırmaya yönelik küresel araştırma çabalarıyla uyumludur. Paris Anlaşması ve 2050 karbon nötr hedeflerine yönelik düzenlemeler, hidrojen ekonomisinin büyümesini teşvik eden politika girişimlerini desteklemektedir. Avrupa Birliği'nin Hidrojen Stratejisi ve ABD'nin Enflasyonu Düşürme Yasası (IRA) kapsamında sağlanan hidrojen sübvansiyonları akademik araştırmalara yön veren başlıca politika eğilimleridir. Bu doğrultuda, hidrojen enerjisi alanındaki akademik araştırmaların hem teknolojik inovasyonlar hem de politika yapıcılarının belirlediği stratejilerle şekillenmeye devam ettiği görülmektedir. Çalışmamızda belirlenen baskın araştırma eğilimleri, hidrojen enerjisinin gelişimiyle doğrudan ilişkilidir. Gelecekte hidrojen enerjisi çalışmalarının tematik açıdan genişlemesi ve GSST alanından farklı disiplinlerde daha spesifik biçimde ele alınması faydalı olabilir.

Bu çalışmanın verileri, yalnızca Web of Science (WoS) veri tabanından elde edilmiş olup, bu platform dışında indekslenen çalışmalar analiz dışında kalmıştır. Bu sınırlamanın nedeni,

Biblioshiny yazılımının Scopus ve Google Akademik gibi farklı bibliyografik kaynaklardan elde edilen BibTeX dosyalarını birleştiremiyor olmasıdır. Filtreleme işlemi sırasında yalnızca araştırma makaleleri dahil edilmiş, devam eden makaleler, erken erişim, inceleme makaleleri ve kitap incelemeleri dışarıda bırakılmıştır. Analiz edilen çalışmaların gerçekten araştırmanın odağındaki literatürü temsil etmesi amacıyla veri seti “*Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)*”, *Social Sciences Citation Index (SSCI)* ve *Emerging Sources Citation Index (ESCI)*” dizinlerinde yer alan yayınlarla sınırlandırılmıştır. Bu seçici filtreleme, çalışmanın odak noktasını daraltarak belirli bir literatürün daha derinlemesine incelenmesine olanak tanımış, ancak aynı zamanda daha geniş bir perspektifin dışarıda kalmasına yol açmıştır. Verilerin 04.06.2024 tarihinde WoS veri tabanından elde edilmiş olması ve bu tarihten sonra yapılan çalışmaların araştırmaya dahil edilmemiş olması çalışmanın diğer bir kısıtlılığıdır.

Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular ışığında, hidrojen enerjisi alanında birkaç önemli araştırma önerisi ortaya çıkmaktadır. İlk olarak, hidrojen üretimi, depolama teknolojileri ve farklı sektörlerdeki entegrasyon potansiyeli gibi spesifik konulara daha fazla dikkat çekilmesi önerilebilir. Hidrojenin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkileri ve karbon ayak izi gibi konularda daha kapsamlı araştırmalar yapılması önemlidir. Uluslararası işbirlikleri ve politikaların bu alandaki araştırmalar üzerindeki etkilerinin incelenmesi, küresel stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Ayrıca, verilerin ve metodolojik yaklaşımların çeşitlendirilmesi, daha sağlam ve kapsamlı sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir. Son olarak, akademik bulguların endüstriyel uygulamalara nasıl entegre edilebileceği konusunda endüstri ile işbirliklerinin artırılması, hidrojen enerjisinin pratikteki kullanımını güçlendirebilir. Bu önerilerin, hidrojen enerjisinin sürdürülebilir bir geleceğe katkısını artırmaya yönelik bir yol gösterici olması beklenmektedir.

Yazar Katkısı

Türkoğlu, H.: Fikir ve kavram, Literatür taraması, Analiz ve yorumların yapılması; Semiz, L.: Bilimsel yayın araştırması, Makalenin incelenmesi ve düzenlenmesi.

Finansman Beyanı

Bu araştırma herhangi bir fon kuruluşundan, ticari veya kar amacı gütmeyen sektörlerden özel bir hibe almamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Etik Standartlar

Bu çalışma için Etik Kurul Kararı gerekmemektedir.

References

- Alhassan, M., Jalil, A.A., Nabgan, W., Hamid, M. Y. S., Bahari, M. B., Ikram, M. (2022). Bibliometric studies and impediments to valorization of dry reforming of methane for hydrogen production. *Fuel*, 328, 125240. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125240>
- Al-Janabi, S.K., Barron, A.R., Shabbani, H.J.K., Othman, M.R., Kim, J. (2024). Advances in hydrogen production from sustainable recourses through biological and thermochemical pathways: Review and bibliometric analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 60, 28-45. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.02.054>
- Argumedo-García, M., Salas-Navarro, K., Acevedo-Chedid, J., Ospina-Mateus, H. (2021). Bibliometric analysis of the potential of technologies in the humanitarian supply chain. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, And Complexity*, 7(4), 232. <https://doi.org/10.3390/joitmc7040232>
- Aria, M., Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of informetrics*, 11(4), 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Arsad, A.Z., Hannan, M.A., Al-Shetwi, A.Q., Mansur, M., Muttaqi, K.M., Dong, Z.Y., Blaabjerg, F. (2022). Hydrogen energy storage integrated hybrid renewable energy systems: A review analysis for future research directions.

- International Journal of Hydrogen Energy, 47(39), 17285-17312. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.03.208>
- Arsad, A.Z., Hannan, M.A., Al-Shetwi, A.Q., Hossain, M.J., Begum, R.A., Ker, P.J., Salehi F., Muttaqi, K.M. (2023). Hydrogen electrolyser for sustainable energy production: A bibliometric analysis and future directions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(13), 4960-4983. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.11.023>
- Bertoli-Barsotti, L., Lando, T. (2017). A theoretical model of the relationship between the h-index and other simple citation indicators. *Scientometrics*, 111, 1415-1448. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2351-9>
- Bornmann, L., Daniel, H.D. (2007). What do we know about the h index? *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 58(9), 1381-1385. <https://doi.org/10.1002/asi.20609>
- Campbell, F. (1896). *The Theory of National and International Bibliography: With Special Reference to the Introduction of System in the Record of Modern Literature*, Library Bureau, ISBN-13: 978-1527845350, London, England.
- Cobo, M.J., Jürgens, B., Herrero-Solana, V., Martínez, M.A., Herrera-Viedma, E. (2018). Industry 4.0: A perspective based on bibliometric analysis. *Procedia Computer Science*, 139, 364-371. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.278>
- Darko, A., Chan, A.P., Adabre, M.A., Edwards, D.J., Hosseini, M.R., Ameyaw, E.E. (2020). Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities. *Automation in Construction*, 112, 103081. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103081>
- Dincer, I., Aydin, M.I. (2023). New paradigms in sustainable energy systems with hydrogen. *Energy Conversion and Management*, 283, 116950. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.116950>
- Gong, H., Guan, W., Dong, C., Ren, C. (2023). Analysis of research trends on hydrogen explosion by bibliometric approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(46), 102653-102672. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29531-4>
- Farooq, A., Cora, Ö. N. (2024). Current status and future perspectives for mobility options toward sustainable transportation with a focus on fuel cells. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 13(5), e539. <https://doi.org/10.1002/wene.539>
- Hassan, Q., Sameen, A.Z., Salman, H.M., Jaszczur, M., Al-Jiboory, A.K. (2023). Hydrogen energy future: Advancements in storage technologies and implications for sustainability. *Journal of Energy Storage*, 72, 108404. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108404>
- Hassan, Q., Sameen, A.Z., Salman, H.M., Jaszczur, M. (2023). A roadmap with strategic policy toward green hydrogen production: the case of Iraq. *Sustainability*, 15(6), 5258. <https://doi.org/10.3390/su15065258>
- Hou, X., Sun, R., Huang, J., Geng, W., Li, X., Wang, L., Zhang, X. (2024). Energy, economic, and environmental analysis: A study of operational strategies for combined heat and power system based on PEM fuel cell in the East China region. *Renewable Energy*, 223, 120023. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120023>
- Idriss, H., Scott, M., Subramani, V. (2015). Introduction to hydrogen and its properties. In *Compendium of Hydrogen Energy*, pp. 3-19. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78243614.00001-7>
- Laila, N., Sucia Sukmaningrum, P., Saini Wan Ngah, W.A., Nur Rosyidi, L., Rahmawati, I. (2024). An in-depth analysis of digital marketing trends and prospects in small and medium-sized enterprises: utilizing bibliometric mapping. *Cogent Business & Management*, 11(1), 2336565. <https://doi.org/10.1080/23311975.2024.2336565>
- Li, Y., Wu, F., Miao, H. (2019). Analysis of research status and development trend of hydrogen storage technology. In *Proceedings of the 2019 3rd international conference on information system and data mining*, 228-233. <https://doi.org/10.1145/3325917.3325955>
- Manahan, S.E. (2006). *Environmental Science and Technology: Green is A Sustainable Approach to Science and Technology* (2nd Edition), CRC Press, ISBN 13: 9780367390129, London, England, 36-45s.
- Mazloomi, K., Gomes, C. (2012). Hydrogen as an energy carrier: Prospects and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 3024-3033. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.028>
- Merigó, J.M., Cancino, C.A., Coronado, F., Urbano, D. (2016). Academic research in innovation: a country analysis. *Scientometrics*, 108, 559-593. <https://doi.org/10.1007/s11192-016-1984-4>
- Michailidis, P.D. (2022). A scientometric study of the stylometric research field. *Informatics* 2022, 9, 60. <https://doi.org/10.3390/bilgi9030060>

- Moral-Muñoz, J.A., Herrera-Viedma, E., Santisteban-Espejo, A., Cobo, M.J. (2020). Software tools for conducting bibliometric analysis in science: An up-to-date review. *Profesional de la Información/Information Professional*, 29(1). <https://doi.org/10.3145/epi.2020.ene.03>
- Mostafa, M.M. (2020). A knowledge domain visualization review of thirty years of halal food research: Themes, trends and knowledge structure. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 660-677. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.022>
- Nabgan, W., Alqaraghuli, H., Owgi, A.H.K., Ikram, M., Vo, D.V.N., Jalil, A.A., Djellabi R., Nordin A.H., Medina, F. (2024). A review on the design of nanostructure-based materials for photoelectrochemical hydrogen generation from wastewater: Bibliometric analysis, mechanisms, prospective, and challenges. *International Journal of Hydrogen Energy*, 52, 622-663. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.05.152>
- Omid, M.A., Şahin, M.E., Cora, Ö.N. (2024). Challenges and future perspectives on production, storage technologies, and transportation of hydrogen: a review. *Energy Technology*, 12(4), 2300997. <https://doi.org/10.1002/ente.202300997>
- Osareh, F. (1996). Bibliometrics, citation analysis and co-citation analysis: A review of literature I, 149-158. <https://doi.org/10.1515/libr.1996.46.3.149>
- Pilc, A. (2008). Using citation indicators to identify and support high-quality research in Poland. *Archivum Immunologiae et Therapiae Experimental*, 56, 381-384. <https://doi.org/10.1007/s00005-008-0042-1>
- Rejeb, A., Rejeb, K., Treiblmaier, H. (2023). Mapping metaverse research: identifying future research areas based on bibliometric and topic modeling techniques. *Information*, 14(7), 356. <https://doi.org/10.3390/info14070356>
- Sharma, G.D., Verma, M., Taheri, B., Chopra, R., Parihar, J.S. (2023). Socio-economic aspects of hydrogen energy: An integrative review. *Technological Forecasting and Social Change*, 192, 122574. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122574>
- Sillero, L., Sganzerla, W.G., Forster-Carneiro, T., Solera, R., Perez, M. (2022). A bibliometric analysis of the hydrogen production from dark fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(64), 27397-27420. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.06.083>
- Singla, M.K., Gupta, J., Beryozkina, S., Safaraliev, M., Singh, M. (2024). The colorful economics of hydrogen: Assessing the costs and viability of different hydrogen production methods-A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 61, 664-677. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319924006840>
- Thangavel, P., Chandra, B. (2023). Two decades of M-commerce consumer research: a bibliometric analysis using R biblioshiny. *Sustainability*, 15(15), 11835. <https://doi.org/10.3390/su151511835>
- Valente, A., Iribarren, D., Dufour, J. (2017). Life cycle assessment of hydrogen energy systems: a review of methodological choices. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22, 346-363. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1156-z>
- Van Eck, N., Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Velasco-Muñoz, J.F., Aznar-Sánchez, J.A., Belmonte-Ureña, L.J., and Román-Sánchez, I.M. (2018). Sustainable water use in agriculture: A review of worldwide research. *Sustainability*, 10(4), 1084. <https://doi.org/10.3390/su10041084>
- Viteri, J.P., Viteri, S., Alvarez-Vasco, C., Henao, F. (2023). A systematic review on green hydrogen for off-grid communities—technologies, advantages, and limitations. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(52), 19751-19771. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.02.078>
- Wei, R., Lan, J., Lian, L., Huang, S., Zhao, C., Dong, Z., Weng, J. (2022). A bibliometric study on research trends in hydrogen safety. *Process Safety and Environmental Protection*, 159, 1064-1081. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.01.078>
- Yang, L., Wang, S., Zhang, Z., Lin, K., Zheng, M. (2023). Current development status, policy support and promotion path of China's green hydrogen industries under the target of carbon emission peaking and carbon neutrality. *Sustainability*, 15(13), 10118. <https://doi.org/10.3390/su151310118>
- Yu, M., Wang, K., Vredenburg, H. (2021). Insights into low-carbon hydrogen production methods: Green, blue and aqua hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(41), 21261-21273. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.04.06>
- Zhang, D., Jiang, M., Li, G., Tang, Y. (2024). An advanced bibliometric analysis and future research insights on safety of hydrogen energy. *Journal of Energy Storage*, 77, 109833. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109833>

Zhao, N., Liang, D., Meng, S., Li, X. (2020). Bibliometric and content analysis on emerging technologies of hydrogen production using microbial electrolysis cells. *International*

Journal of Hydrogen Energy, 45(58), 33310-33324.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.09.104>