

Biyoçar Ekonomisi Araştırmalarının Bibliyometrik Haritalanması: VOSviewer Uygulaması

Esin DERİ¹ , Mürşide Çağla ÖRMECİ KART² ¹ Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, İzmir, TÜRKİYE² Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

Öz: Bu çalışma, biyoçarın ekonomik boyutuna odaklanan akademik literatürün yapısını, gelişim eğilimlerini ve temel araştırma temalarını bibliyometrik yöntemlerle analiz etmeyi amaçlamaktadır. Web of Science (WoS) veri tabanından "biochar" ve "economy" anahtar kelimeleriyle taranan 2009-2025 yılları arasındaki yayınlar, VOSviewer yazılımı kullanılarak görselleştirilmiştir. Analiz kapsamında; atık ağları, eş-yazarlık ilişkileri ve anahtar kelime eş-oluşum haritaları oluşturulmuştur. Literatürde ilk çalışmanın 2009'da başladığı, özellikle 2020 yılından sonra yayın ve atıf sayılarında üstel bir artış yaşandığı görülmektedir. Çalışmaların büyük çoğunluğu SCI-Expanded endeksli makalelerden oluşmaktadır. Çin Halk Cumhuriyeti ve Hindistan yayın üretiminde lider ülkelerdir. Tematik analizler; biyoçarın döngüsel ekonomi, enerji üretimi, atık yönetimi ve toprak iyileştirme ekseninde dört ana kümede yoğunlaştığını göstermektedir. Biyoçar ekonomisi, disiplinler arası bir yapıdan multidisipliner bir olgunluk aşamasına geçmektedir. Gelecek çalışmaların saha verisine dayalı maliyet-getiri analizlerine daha fazla odaklanması beklenmektedir.

Anahtar kelimeler: Atık yönetimi, bibliyometrik analiz, döngüsel ekonomi, enerji ekonomisi, literatür tarama

Bibliometric Mapping of Biochar Economics Research: VOSviewer Application

Abstract: This study aims to analyse the structure, development trends, and main research themes of the academic literature focusing on the economic dimension of biochar using bibliometric methods. Publications from 2009-2025, searched in the Web of Science (WoS) database using the keywords "biochar" and "economy," were visualized using VOSviewer software. The analysis included the creation of citation networks, co-authorship relationships, and keyword co-occurrence maps. The literature shows that the first study began in 2009, with an exponential increase in publication and citation numbers, particularly after 2020. The vast majority of studies consist of articles indexed in SCI-Expanded databases. The People's Republic of China and India are the leading countries in publication production. Thematic analyses indicate that biochar is concentrated in four main clusters: circular economy, energy production, waste management, and soil remediation. The biochar economy is transitioning from an interdisciplinary structure to a multidisciplinary stage of maturity. Future studies are expected to focus more on cost-benefit analyses based on field data.

Keywords: Waste management, bibliometric analysis, circular economy, energy economics, literature review

GİRİŞ

Biyoçar, biyokütlenin oksijensiz veya sınırlı oksijenli koşullarda termokimyasal dönüşüme uğratılması sonucunda elde edilen karbon bakımından zengin bir materyaldir (Akgül, 2017). Son yıllarda biyoçar; toprak iyileştirme, su tutma kapasitesinin artırılması, pH dengesini düzenlenmesi, gübre kaynaklı emisyonların azaltılması, karbon tutumu, atık yönetimi, enerji üretimi ve çevresel arıtım gibi çok çeşitli alanlardaki potansiyel uygulamaları nedeniyle araştırmacılar ve politika yapıcılar tarafından giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Lehmann ve ark., 2011; Mohan ve ark., 2014; Lorenz ve Lal 2014; Akgül, 2017; Dvořáková ve Dvořáček, 2023; Ferdous ve ark., 2023; Lebrun Thauront ve ark., 2024; Verdi ve ark., 2024). Özellikle iklim değişikliğiyle mücadele, döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri çerçevesinde biyoçar, yalnızca çevresel bir çözüm aracı değil, aynı zamanda ekonomik değeri olan stratejik bir çıktı olarak değerlendirilmektedir (Yang ve ark., 2023).

Literatürdeki hızlı artışa rağmen, biyoçarın ekonomik boyutuna ilişkin çalışmaların büyük ölçüde belirli temalar, ülkeler ve metodolojik yaklaşımlar etrafında yoğunlaştığı; alanın genel yapısını ve gelişim eğilimlerini bütüncül biçimde

ortaya koyan çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu noktada bibliyometrik analiz yöntemi, bilimsel üretimin yapısal özelliklerini, tematik kümelenmelerini ve zaman içindeki dönüşümünü sistematik biçimde inceleme imkânı sunmaktadır.

Bununla birlikte, literatürde biyoçara ilişkin çalışmaların büyük ölçüde fiziksel ve kimyasal özellikler, toprak verimliliği üzerindeki etkilerine odaklandığı; ekonomik boyutunu ele alan çalışmaların ise sınırlı kaldığı görülmektedir. Bu çalışmanın amacı, biyoçarın ekonomik boyutunu ele alan akademik literatürün yapısını, gelişim eğilimlerini ve temel araştırma temalarını bibliyometrik yöntemler kullanarak analiz etmektir. Web of Science (WoS) veri tabanında yer alan yayınlar VOSviewer yazılımı aracılığıyla incelenerek; atıf

***Sorumlu Yazar:** cagla.kart@ege.edu.tr

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 1250066 numaralı araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir.

Geliş Tarihi: 31 Ocak 2026

Kabul Tarihi: 30 Haziran 2026

ağları, ortak yazarlık ilişkileri ve anahtar kelime eş-oluşumları üzerinden literatürün kavramsal ve yapısal haritası ortaya konulmaktadır. Bu yönüyle çalışma, biyoçar ekonomisi literatürünün mevcut durumuna ilişkin kapsamlı bir çerçeve sunmayı ve gelecekteki araştırmalar için yol gösterici bulgular üretmeyi amaçlamaktadır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, biyoçarın ekonomik boyutunu ele alan akademik literatürün yapısını ve zaman içindeki gelişim eğilimlerini ortaya koymak amacıyla bibliyometrik analiz yöntemi kullanılmıştır. Analiz kapsamında elde edilen verilerin görselleştirilmesinde VOSviewer (sürüm 1.6.20) yazılımından yararlanılmıştır. VOSviewer; bibliyometrik verilerin analiz edilmesine, atıf, ortak yazarlık ve anahtar kelime ağlarının görsel olarak sunulmasına olanak sağlayan bir bilimsel haritalama aracıdır (Van Eck ve Waltman, 2010; Van Eck ve Waltman, 2023; Dereli, 2024).

Araştırmada veri kaynağı olarak WoS veri tabanı tercih edilmiştir. “Biochar” ve “economy” anahtar kelimeleri kullanılarak ilgili yayınlar taranmış, 2009 yılı ve sonrasında yayımlanan çalışmalar analiz kapsamına dâhil edilmiştir. Elde edilen veriler VOSviewer yazılımı aracılığıyla analiz edilerek atıf ağları, ortak yazarlık ilişkileri ve anahtar kelime eş-oluşum haritaları oluşturulmuş; bu görseller yardımıyla literatürdeki temel eğilimler ve yapısal ilişkiler ortaya konulmuştur.

Bibliyometrik analiz yöntemi, belirli bir araştırma alanındaki bilimsel yayınların nitel ve nicel özelliklerini inceleyerek literatürün profilini oluşturmayı ve disiplin içindeki eğilimleri belirlemeyi amaçlayan istatistiksel yöntemlerin uygulanmasından oluşmaktadır (DeBakker ve ark., 2005). Bu yöntemin temel amacı, bilimsel yayınları sistematik biçimde değerlendirerek elde edilen bulguları politika yapıcılar, araştırmacılar ve diğer paydaşlar için anlamlı hale getirmektir (Ellegaard ve Wallin, 2015). Bibliyometrik analiz; incelenen konuların, bu konular üzerinde çalışan yazarların, ülkelerin ve yayın türlerinin dağılımlarını ortaya koyarak bir disiplinin genel görünümünün belirlenmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca belirli araştırma konularına yönelik ilgi düzeylerini ve zaman içindeki eğilim değişimlerini gözlemlemeyi mümkün kılmaktadır (Zeren ve Kaya, 2020).

Yöntemin uygulanabilmesi için ilgili alanda yeterli sayıda bilimsel yayının bulunması gerekmekte olup, bu durum büyük hacimli veriler üzerinden konunun gelişimine ilişkin ayrıntılı çıkarımlar yapılmasına ve yeni araştırma alanlarının belirlenmesine olanak tanımaktadır (Ellegaard ve Wallin, 2015; Donthu ve ark., 2021). Bu çalışmada bibliyometrik analizin görselleştirilmesi amacıyla kullanılan VOSviewer yazılımı, ağ verilerine dayalı haritalar oluşturarak büyük ve karmaşık veri setlerinin daha anlaşılır biçimde analiz edilmesini sağlamaktadır (Van Eck ve Waltman, 2010; Van Eck ve Waltman, 2014). Elde edilen görsel çıktılar,

araştırmacılar literatürün yapısı hakkında daha bütüncül ve sağlıklı değerlendirmeler sunmaktadır (Gürdin, 2020).

Bibliyometrik analiz süreci; arama kriterlerinin belirlenmesi, veri tabanının seçimi ve verilerin analiz edilerek görselleştirilmesi olmak üzere üç temel aşamadan oluşmaktadır (Duque-Acevedo ve ark., 2020). Bu çalışmada öncelikle araştırma konusu kapsamında kullanılacak anahtar kelimeler belirlenmiş, ardından WoS veri tabanında bu kriterlere uygun yayınlar seçilmiştir. Son aşamada ise elde edilen veriler VOSviewer yazılımı kullanılarak analiz edilmiş; atıf ağları, eş-yazarlık ilişkileri, anahtar kelime eş-oluşumları ve tematik haritalar aracılığıyla literatürdeki eğilimler ve yapısal ilişkiler ortaya konulmuştur. Bibliyometrik analiz sürecinin tüm aşamaları, yazılım dosyasına erişimden analizlerin yürütülmesine ve görsel çıktılarının elde edilerek bulguların yorumlanmasına kadar sistematik bir şekilde gerçekleştirilmiştir (Dereli, 2024).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Betimsel Analiz

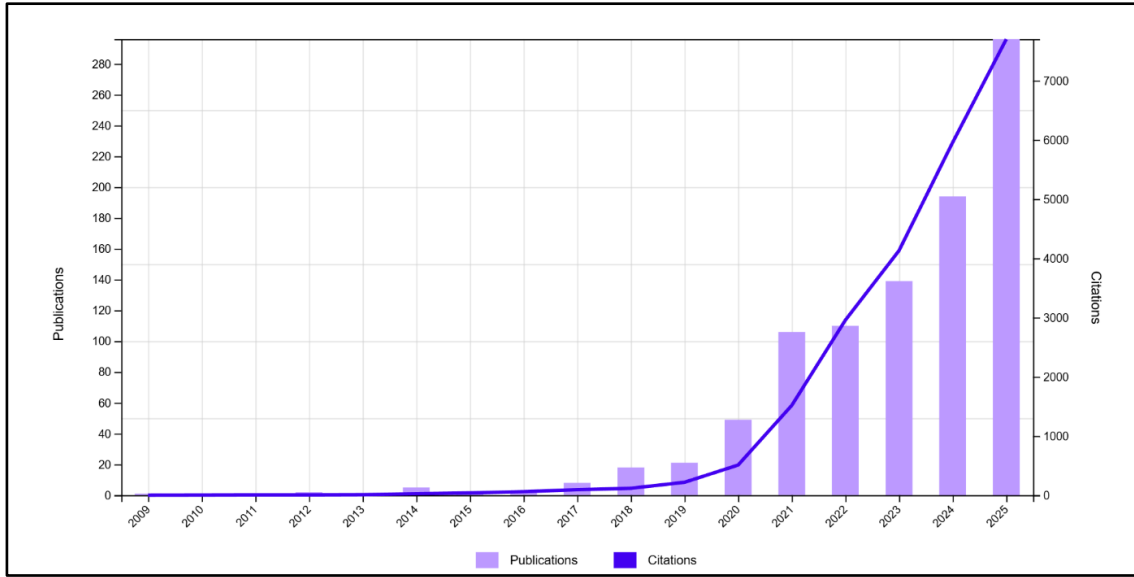
Biyoçar ve ekonomi anahtar kelimelerini içeren 2009–2025 yılları arasında Web of Science veri tabanındaki yayınların yıllara göre dağılımı ile bu yayınların aldığı atıf sayıları Şekil 1’de sunulmaktadır. Bulgular, söz konusu alandaki akademik ilginin uzun süre sınırlı kaldığını, ancak özellikle 2020 yılı sonrasında belirgin bir ivme kazandığı görülmektedir.

Konu ile ilgili ilk çalışmanın 2009 yılında yapıldığı belirlenmiştir. 2009–2014 döneminde yayın sayılarının oldukça düşük seviyelerde seyrettiği ve atıf sayılarının sınırlı kaldığı görülmektedir. Bu durum, biyoçarın ekonomik yönünün literatürde henüz yeni bir araştırma alanı olarak ele alındığını göstermektedir. 2015–2019 yılları arasında yayın sayılarında kademeli bir artış gözlenmekle birlikte, esas kırılma noktası 2020 yılı itibarıyla ortaya çıkmaktadır. Bu tarihten sonra yayın sayılarında hızlı ve sürekli bir artış yaşanmış, özellikle 2021 sonrası dönemde literatürde dikkat çekici bir yoğunlaşma meydana gelmiştir.

Atıf sayılarındaki artış eğilimi ise yayın sayılarındaki artıştan daha keskin bir yükseliş sergilemektedir. 2020 sonrası dönemde atıfların üstel bir şekilde artması, yalnızca yayın sayısındaki artışı değil, aynı zamanda yapılan çalışmaların bilimsel etki düzeyinin de yükseldiğini göstermektedir. Bu durum, biyoçarın ekonomik etkileri, maliyet-fayda analizi, karbon piyasaları ve sürdürülebilir kalkınma bağlamında giderek daha fazla araştırmacının ve politika yapıcının ilgisini çektiğine işaret etmektedir.

Özellikle 2023–2025 yılları arasında atıf sayılarındaki hızlı yükseliş, alanın olgunlaşma sürecine girdiğini ve temel referans çalışmaların oluşmaya başladığını düşündürmektedir. Yayın sayıları ile atıf eğilimlerinin birlikte değerlendirilmesi, biyoçarın ekonomik boyutunun disiplinler arası bir araştırma alanı olarak önem kazandığını ve

literatürde yüksek etki potansiyeline sahip bir araştırma eksenine haline geldiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 1.Yayınların yıllara göre dağılımı, yüzde oranları ve atıf sayısı (2009-2025*)

(*16 Aralık 2025 tarihindeki yayın ve atıf sayıları dikkate alınmıştır.)

Çizelge 1, biyoçarın ekonomik boyutunu ele alan bilimsel yayınların türlere göre dağılımını göstermektedir. Bulgular, literatürün büyük ölçüde hakemli dergi makaleleri ve derleme çalışmalar etrafında şekillendiğini ortaya koymaktadır. Toplam yayınların %73,93'ünü oluşturan makaleler, alanın ağırlıklı olarak özgün araştırmalar üzerinden geliştiğini göstermektedir. Derleme makalelerin %23,88 gibi yüksek bir orana sahip olması ise, konunun olgunlaşma sürecine girdiğine ve mevcut bilginin sistematik olarak değerlendirilmeye başlandığına işaret etmektedir.

Erken görünüm/ön izleme yayınlarının (%2,61) ve bildirilerin (%2,09) görece sınırlı bir paya sahip olması, araştırma sonuçlarının büyük ölçüde dergi yayınları aracılığıyla kalıcı bilimsel kayda dönüştürüldüğünü göstermektedir. Editöryal

yazılar (%0,52) ve endişe bildirimi bulunan yayınlar (%0,21) oldukça düşük oranlarda yer almakta olup, bu durum literatürde editöryal müdahalelerin ve bilimsel bütünlüğe ilişkin sorunların sınırlı düzeyde kaldığını göstermektedir.

Kitap bölümü ve geri çekilmiş yayınların her birinin %0,10 oranında temsil edilmesi, biyoçarın ekonomik boyutuna ilişkin çalışmaların ağırlıklı olarak süreli yayınlar üzerinden ilerlediğini ve etik açıdan sorunlu yayınların literatürde marjinal bir yer tuttuğunu ortaya koymaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, yayın türlerine ilişkin bu dağılım, alanın akademik olarak kurumsallaştığını, bilimsel üretimin büyük ölçüde hakemli dergiler aracılığıyla gerçekleştiğini ve literatürün metodolojik açıdan nispeten istikrarlı bir yapı sergilediğini göstermektedir.

Çizelge 1. Bilimsel yayınların türlere göre dağılımı

Yayın türü	Yayın sayısı	Oran (%)
Makale	709	73.93
Derleme makale	229	23.88
Erken görünüm / ön izleme	25	2.61
Bildiri	20	2.09
Editöryal yazı (Editorial Material)	5	0.52
Endişe bildirimi bulunan yayın (Publication with expression of concern)	2	0.21
Kitap bölümü	1	0.10
Geri çekilmiş yayın (Retracted publication)	1	0.10

Çizelge 2, biyoçarın ekonomik boyutunu ele alan bilimsel yayınların WoS kategori sınıflandırmasına göre dağılımını göstermektedir. Bulgular, ilgili literatürün ağırlıklı olarak çevre ve sürdürülebilirlikle ilişkili disiplinlerde yoğunlaştığını ortaya koymaktadır. En yüksek paya sahip olan Çevre Bilimleri kategorisi (%37,75), biyoçarın ekonomik boyutuna ilişkin çalışmaların önemli ölçüde çevresel araştırmalarla ilişkilendirildiğini göstermektedir.

Enerji ve Yakıtlar (%19,29) ile Kimya Mühendisliği (%17,62) ve Çevre Mühendisliği (%16,68) kategorilerinin yüksek paylara sahip olması ise literatürün enerji, mühendislik ve çevre alanlarıyla güçlü bir disiplinler arası bağ içerisinde geliştiğine işaret etmektedir. Bununla birlikte WoS kategori sınıflandırması makalelerin doğrudan içeriklerini veya kullandıkları ekonomik analiz yaklaşımlarını yansıtmadığından, bu dağılımdan, çevresel etkiler, üretim maliyetleri, enerji verimliliği ya da teknolojik uygulanabilirlik gibi belirli araştırma temalarına ilişkin kesin çıkarımlarda bulunmak mümkün değildir. Söz konusu temaların daha

ayrıntılı olarak değerlendirilmesi için içerik ve anahtar kelime analizlerinin birlikte ele alınması gerekmektedir.

Yeşil ve Sürdürülebilir Bilim ve Teknoloji kategorisinin %13,76'lık payı, biyoçarın ekonomik boyutunun sürdürülebilir kalkınma, döngüsel ekonomi ve yeşil dönüşüm politikaları bağlamında ele alındığını ortaya koymaktadır. Ayrıca Çok Disiplinli Kimya, Biyoteknoloji ve Uygulamalı Mikrobiyoloji ve Çok Disiplinli Malzeme Bilimi kategorilerinin tabloda yer alması, alanın güçlü bir disiplinler arası yapı sergilediğini ve farklı bilim dallarının ortak katkısıyla geliştiğini göstermektedir.

Ziraat Mühendisliği (%4,80) ve Fiziksel Kimya (%4,38) kategorilerindeki yayınlar ise biyoçarın tarımsal uygulamaları, toprak iyileştirme etkileri ve temel kimyasal özelliklerinin ekonomik sonuçlarıyla birlikte değerlendirildiğini ortaya koymaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, WoS kategorilerine göre dağılım, biyoçarın ekonomik boyutunun çevre, enerji, mühendislik ve tarım ekseninde şekillenen çok boyutlu ve bütüncül bir araştırma alanı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 2. Bilimsel yayınların WoS kategorilere göre dağılımı (ilk 10 kategori)

WoS Kategorisi	Yayın sayısı	Oran (%)*
Çevre Bilimleri	362	37.75
Enerji ve Yakıtlar	185	19.29
Kimya Mühendisliği	169	17.62
Çevre Mühendisliği	160	16.68
Yeşil ve Sürdürülebilir Bilim ve Teknoloji	132	13.76
Çok Disiplinli Kimya	86	8.97
Biyoteknoloji ve Uygulamalı Mikrobiyoloji	78	8.13
Çok Disiplinli Malzeme Bilimi	63	6.57
Ziraat Mühendisliği	46	4.80
Fiziksel Kimya	42	4.38

*geri çekilmiş 1 yayın değerlendirmeye alınmamıştır.

Biyoçarın ekonomik boyutunu ele alan bilimsel yayınların ülkelere göre dağılımı Çizelge 3'te verilmiştir. Bulgular, literatürün belirli ülkelerde yoğunlaştığını ve özellikle gelişmekte olan ülkeler ile çevre ve enerji politikalarına öncelik veren ülkelerin öne çıktığını ortaya koymaktadır. En yüksek yayın payına sahip olan Çin Halk Cumhuriyeti (%23,36), biyoçar alanındaki araştırmalarda küresel ölçekte lider konumda bulunmaktadır. Bu durum, Çin'in tarımsal atıkların değerlendirilmesi, karbon azaltım politikaları ve sürdürülebilir enerji stratejileri kapsamında biyoçara verdiği önemi yansıtmaktadır.

Hindistan (%17,41) ikinci sırada yer almakta olup, özellikle tarımsal üretim yoğunluğu, toprak verimliliği sorunları ve

düşük maliyetli çevre dostu teknolojilere olan ihtiyaç, bu ülkedeki yayın yoğunluğunu açıklamaktadır. İtalya (%8,24) ve Amerika Birleşik Devletleri (%8,13) benzer oranlarla üçüncü ve dördüncü sıralarda yer almaktadır. Brezilya (%6,47), İspanya (%6,36) ve Polonya (%5,42) Avustralya (%5,21), Güney Kore (%4,84) Suudi Arabistan (%4,38), Mısır (%2,50) ve Nijerya (%2,29) gibi ülkelerin üst sıralarda yer alması, biyoçarın farklı ülkelerde de ele alındığını göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, ülkelere göre dağılım biyoçarın ekonomik boyutuna ilişkin araştırmaların küresel ölçekte yaygınlaştığını, ancak yayın üretiminin belirli ülkelerde yoğunlaştığını ortaya koymaktadır. Bu durum, biyoçarın ekonomik analizlerinin ülkelere özgü tarımsal yapı,

enerji politikaları ve çevresel önceliklerle yakından ilişkili olduğunu ve uluslararası iş birlikleri için önemli bir potansiyel sunduğunu göstermektedir.

Çizelge 3. Bilimsel yayınların ülkelere göre dağılımı

Ülke	Yayın Sayısı	Oran (%)	Ülke	Yayın Sayısı	Oran (%)
Çin Halk Cumhuriyeti	224	23.36	Kanada	40	4.17
Hindistan	167	17.41	Tayvan	39	4.07
İtalya	79	8.24	Malezya	37	3.86
ABD	78	8.13	Çek Cumhuriyeti	31	3.23
Brezilya	62	6.47	İngiltere	28	2.92
İspanya	61	6.36	Fransa	27	2.82
Polonya	52	5.42	Almanya	26	2.71
Avustralya	50	5.21	Mısır	24	2.50
Güney Kore	43	4.84	İskoçya	24	2.29
Suudi Arabistan	42	4.38	Nijerya	22	2.29

Çizelge 4 incelendiğinde, bilimsel yayınların büyük çoğunluğunun SCI-Expanded endeksinde yer aldığı (%86,35) görülmektedir. Bu durum, çalışmanın ağırlıklı olarak fen ve uygulamalı bilimler alanında yoğunlaştığını göstermektedir.

ESCI ve SSCI endekslerindeki yayınlar ise sırasıyla %11,56 ve %4,27 oranlarıyla daha sınırlı bir paya sahiptir. Diğer endekslerde yer alan yayınların oranı oldukça düşüktür.

Çizelge 4. Bilimsel yayınların endekslere göre dağılımı

Endeks türü	Yayın Sayısı	Oran (%)
Science Citation Index Expanded (SCI-Expanded)	829	86.35
Emerging Sources Citation Index (ESCI)	111	11.56
Social Sciences Citation Index (SSCI)	41	4.27
Conference Proceedings Citation Index – Science (CPCI-S)	19	1.98
Conference Proceedings Citation Index – Social Science & Humanities (CPCI-SSH)	2	0.21
Arts & Humanities Citation Index (A&HCI)	1	0.10
Book Citation Index – Science (BKCI-S)	1	0.10
Current Chemical Reactions (CCR-EXPANDED)	1	0.10

Bibliyometrik Analiz

Şekil 2’de bibliyometrik analiz sonucunda belirlenen ortak anahtar kelimelerin analizi verilmiştir. Araştırma sonucunda ulaşılan çalışmalarda 1640 anahtar kelime bulunmaktadır. Bu anahtar kelimelerden en az 8 kez tekrarlanan 30 anahtar kelimeye dayalı ortak kelime (co-occurrence author keyword) analizi sonucunda elde edilen 5 küme belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre “biyoçar” ve “döngüsel ekonomi” kavramlarının ağırlık merkezinde yer aldığı, diğer kümelerle yüksek bağlantı yoğunluğuna sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, literatürde biyoçarın atık yönetimi, enerji üretimi, sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi bağlamlarında çok-disiplinli bir köprü kavram olduğunu göstermektedir.

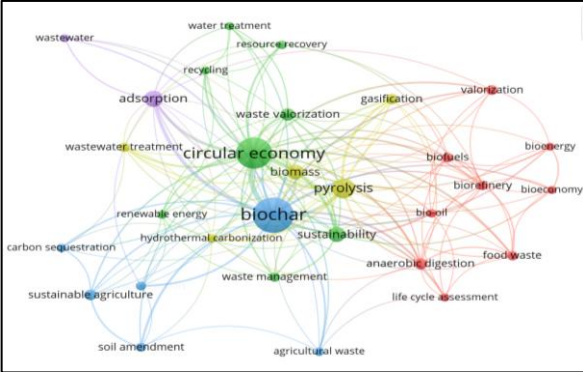
İlk kümede (kırmızı) enerji ve biyoyakıt üretimi ile ilgili kavramlar öne çıkmaktadır. Organik atıkların enerji ve yakıt üretimi amacıyla değerlendirilmesine odaklanmaktadır. Anaerobik sindirim, biyorafineri ve yaşam döngüsü değerlendirmesi kavramlarının birlikte yer alması, literatürde teknolojik fizibilite ile çevresel etki analizlerinin birlikte ele alındığını göstermektedir.

İkinci kümede (yeşil) öne çıkan anahtar kelimeler döngüsel ekonomi, atık değerlendirme, geri dönüşüm, doğal kaynak koruması, su arıtması, atık su arıtması ve sürdürülebilirliktir. Bu küme biyoçar literatürünün döngüsel ekonomi kavramı ile en güçlü şekilde kesiştiği temayı temsil etmektedir. Atıkların bertaraf edilmesinden ziyade ikincil hammaddeye

dönüştürülmesi, kaynak verimliliği ve kapalı döngü sistemler bu kümenin temelini oluşturmaktadır. Biyoçar bu bağlamda hem malzeme geri kazanımı hem de çevresel iyileştirme aracı olarak konumlanmaktadır.

Üçüncü küme (mavi) biyoçarın sürdürülebilir tarım, toprak iyileştirme ve karbon tutumu gibi tarımsal uygulamalardaki rolünü ön plana çıkarmaktadır. Toprak verimliliğinin artırılması, tarımsal atıkların değerlendirilmesi ve karbon tutumu yoluyla iklim değişikliğiyle mücadele bu kümenin ana temalarıdır. Bu kümede biyoçar bir toprak düzenleyici ve iklim dostu araç olarak ele alınmaktadır.

Dördüncü küme (sarı) biyoçar üretiminde kullanılan termokimyasal süreçler ile biyoçarın çevresel arıtmada kullanımını bir araya getirmektedir. Bu kümede yer alan anahtar kelimeler; biyokütle, gazlaştırma, hidrotermal karbonlaştırma, piroliz ve atık su arıtmadır. Özellikle atık su arıtımı ve kirletici giderimi bağlamında biyoçarın fonksiyonel özellikleri ön plana çıkmaktadır. Bu durum, biyoçarın yalnızca bir yan ürün değil, yüksek katma değerli çevre teknolojisi bileşeni olduğunu göstermektedir.



Şekil 2. Bilimsel yayınlarda kullanılan anahtar kelimelerin ağ analizi

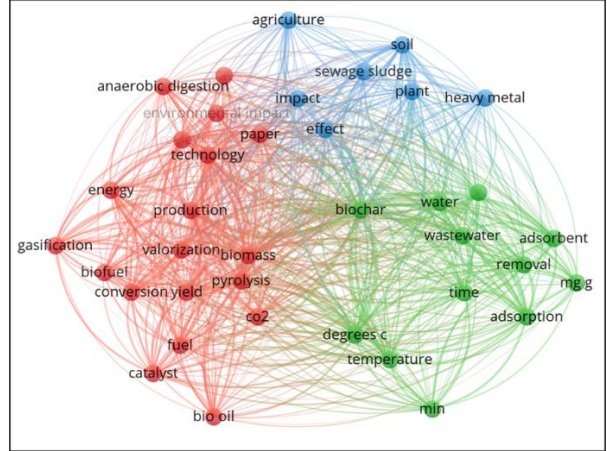
Çalışma kapsamında ulaşılan yayınlarda kullanılan terimler analiz edilmiş ve Şekil 3'de verilmiştir. Bir terimin tekrarlanma sayısı için eşik sınır 40 olarak belirlenmiş ve bu koşulu sağlayan ortak terimler VOSviewer tarafından belirlenen 3 küme (kırmızı-mavi-yeşil), ağ yapısı ve kavramsal yoğunluklar dikkate alınarak akademik olarak yorumlanmış ve isimlendirilmiştir.

Kırmızı küme biyokütlenin termokimyasal ve biyokimyasal dönüşüm süreçleri yoluyla enerjiye ve yakıta dönüştürülmesini merkeze almaktadır. Piroliz ve gazifikasyon gibi süreçler ile biyoyakıt üretimi arasındaki güçlü bağlantılar, literatürde enerji verimliliği, ürün çıktısı ve proses optimizasyonu konularının yoğun şekilde çalışıldığını göstermektedir. Biyoçar, bu kümede çoğunlukla yan ürün veya süreç entegre unsuru olarak ele alınmaktadır.

Mavi kümede biyoçar uygulamalarının toprak, bitki gelişimi ve çevresel etkileri üzerine odaklanmaktadır. Özellikle ağır metal kirliliği, arıtma çamurlarının tarımsal kullanımı ve çevresel etki değerlendirmeleri bu kümenin belirgin temalarıdır. Biyoçar, burada toprak düzenleyici, kirletici

bağlayıcı ve ekosistem iyileştirici bir araç olarak ele alınmaktadır.

Yeşil kümede biyoçarın adsorban özellikleri temelinde su ve atık su arıtımında kullanımına odaklanmaktadır. Konsantrasyon (mg/g), sıcaklık, süre gibi proses parametrelerinin öne çıkması, literatürde deneysel ve uygulamalı çalışmaların ağırlıkta olduğunu göstermektedir. Biyoçar bu bağlamda düşük maliyetli ve çevre dostu bir arıtım malzemesi olarak konumlandırılmaktadır.



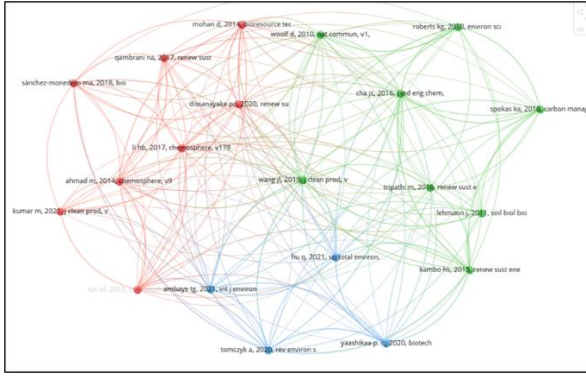
Şekil 3. Bilimsel yayınlarda kullanılan terimlerin ağ analizi

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen yazar atıf ağ analizinde 44342 çalışmaya atıf yapıldığı sonucuna ulaşılmıştır. Bir yazarın aldığı minimum atıf sayısı için eşik sınır 12 olarak belirlenmiş ve bu koşulu sağlayan 22 çalışmaya ulaşılmıştır. Sonuçlar 20 kaynak, üç küme ile organik gübre ve ekonomi ile ilgili WOS veri tabanında ulaşılan yayınların atıf ağ haritası oluşturulmuştur (Şekil 4).

Kırmızı kümede yer alan çalışmalar biyoçar üretiminde kullanılan piroliz, hidrotermal karbonizasyon ve diğer termokimyasal dönüşüm teknolojileri üzerine odaklanan öncü çalışmaları içermektedir. Literatürde bu çalışmalar, proses koşullarının biyoçar verimi, yüzey özellikleri ve çevresel performans üzerindeki etkilerini inceleyerek alanın teknolojik temelini oluşturmaktadır.

Yeşil kümedeki çalışmalar biyoçarın toprak kalitesi, karbon tutumu ve iklim değişikliğiyle mücadeledeki rolünü ele alan çalışmalardan oluşmaktadır. Biyoçarın tarımsal sistemlerde uzun vadeli çevresel etkileri ve karbon yönetimi potansiyeli bu kümenin ana araştırma temalarıdır. Bu çalışmalar, biyoçar literatürünün ekolojik ve sürdürülebilirlik boyutunu temsil etmektedir.

Mavi kümedeki çalışmalar ise biyoçarın su ve atık su arıtımı, kirletici giderimi ve çevresel uygulamalarına odaklanan çalışmaları kapsamaktadır. Deneysel ve uygulamalı nitelikteki bu çalışmalar, biyoçarın fonksiyonel çevre teknolojisi olarak kullanım potansiyelini ortaya koymaktadır.



Şekil 4. Bilimsel yayınlarda kullanılan atıf ağı analizi

Çizelge 5’de bibliyometrik sonucu en çok atıf alan çalışmalar özetlenmiştir. Atıf alan çalışmaların büyük bölümü, biyoçarın tekil bir ürün olmanın ötesinde, döngüsel ekonomi ve karbon yönetimi çerçevesinde çok işlevli bir değer yaratma aracı olarak ele alındığını göstermektedir. Özellikle yüksek atıf alan bu çalışmalar, biyoçarın enerji üretimi, atık yönetimi ve iklim değişikliğiyle mücadele politikalarıyla bütünlük biçimde değerlendirildiğini ortaya koymaktadır.

Çalışmaların coğrafi dağılımı incelendiğinde, araştırmaların büyük ölçüde küresel ölçekli derleme çalışmalarına dayandığı görülmektedir. Bu durum, biyoçar temelli teknolojilerin farklı bölgesel bağlamlarda uygulanabilirliğini tartışan kavramsal

Çizelge 5. En çok atıf alan on yayın

Yazar/lar, Yıl	Atıf Sayısı	Bölge / Ülke	Ana Odak/ Ürün	Çalışma Türü
Bhuvaneshwari, S. ve ark., 2019	451	Hindistan	Tarımsal atıklar, anız yakma, biyokütle	Politika odaklı derleme
Osman ve ark., 2022	329	Küresel (Global)	Biyoçar uygulamaları	Kapsamlı derleme
Worlanyo ve Jiangfeng, 2021	310	Küresel / Çin, Afrika ağırlıklı	Madencilik sonrası arazi restorasyonu toprak iyileştirme	Derleme
Oni, ve ark., 2019	273	Küresel (Gelişmekte olan ülkeler ağırlıklı)	Biyoçar üretimi, tarım ve biyoekonomi	Derleme
Dutta, S. ve ark., 2021	226	Küresel	Gıda atığı digestatı (anaerobik sindirim kalıntısı), biyogaz, mikroalg üretimi, biyoçar/hidroçar	Döngüsel ekonomi odaklı derleme
Chiappero, M. ve ark., 2020	219	Küresel	Anaerobik sindirim, biyogaz üretimi, biyoçar katkısı	Derleme
Karmee, S. K. 2018	211	Küresel	Kahve atıkları temelli biyorafineri, biyodizel, biyoetanol, biyoçar, biyogaz ve katma değerli ürünler	Derleme + süreç odaklı uygulama
Hoang ve ark., 2022	205	Güneydoğu Asya / Küresel	Belediye katı atıkları, enerji yakma, termokimyasal ve biyokimyasal dönüşüm	Teknoloji ve ekonomi odaklı derleme
Zhao ve ark., 2021	189	Çin	Anaerobik sindirim, biyogaz üretimi, biyoçar	Derleme
Osman ve ark., 2023	178	Küresel	Alg ve lignoselülozik biyokütle pirolizi, biyoçar, ekonomi, yaşam döngüsü analizi ve karbon azaltımı	Tekno-ekonomik ve yaşam döngüsü odaklı derleme

SONUÇ

Araştırma bulguları ışığında biyoçar ekonomisi üzerine yapılan çalışmaların büyük ölçüde, toprak düzenleyici etkilerin ötesinde karbon tutumu, döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir enerji politikaları gibi farklı temalarla birlikte

DERİ E, ÖRMECİ KART MÇ

ve çerçeve oluşturu çalışmaları literatürde merkezi bir konuma sahip olduğunu göstermektedir. Çin, Hindistan ve gelişmekte olan ülkeler gibi biyokütle ve atık potansiyeli yüksek bölgeler ise, özellikle uygulama ve politika tartışmalarında öne çıkmaktadır.

İncelenen makalelerde öne çıkan ana temalar; biyokütle pirolizi, anaerobik sindirim, atıkların enerjiye dönüştürülmesi (W2E) ve entegre biyorafineri yaklaşımlarıdır. Biyoçar; tarımsal atıklar, belediye katı atıkları, gıda atıkları ve kahve atıkları gibi farklı hammaddelerden elde edilmekte ve çoğu çalışmada ekonomik fizibilite, yaşam döngüsü analizi (LCA) ve karbon giderimi bağlamında değerlendirilmektedir. Bu yönüyle biyoçar, yalnızca bir yan ürün değil, ekonomik olarak anlamlı ve iklim açısından stratejik bir çıktı olarak konumlandırılmaktadır.

Çalışma türleri açısından bakıldığında, çizelgede yer alan yayınların neredeyse tamamının derleme niteliğinde olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum, alanın belirli bir olgunluğa eriştiğini, ancak aynı zamanda bölgesel, ürün-özel ve uygulamaya dayalı ampirik çalışmaların görece sınırlı kaldığını göstermektedir. Yüksek atıf alan bu derlemeler, daha çok teknoloji sınıflandırması, ekonomik göstergelerin karşılaştırılması ve politika yönlendirmesi sunmakta; saha verisine dayalı maliyet–getiri analizleri ise sınırlı düzeyde ele alınmaktadır.

ele alınmaya başlandığını göstermektedir. . Yayınların belirli ülkelerde (Çin, Hindistan, İtalya, ABD) yoğunlaşması, bu ülkelerde biyoçar teknolojilerine yönelik araştırma kapasitesinin, akademik ilginin ve bilimsel üretimin görece daha yüksek olduğuna işaret etmektedir.. Bu durum, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında teknoloji transferi ve

uluslararası iş birlikleri için büyük bir potansiyel barındırmaktadır. Mevcut literatürde derleme makalelerin yüksek oranı (%23,88), alanın kavramsal ve tematik açıdan derlenme ve sentez aşamasında olduğuna işaret etmektedir. Bununla birlikte, en çok atıf alan çalışmaların önemli bir kısmının derleme niteliğinde olması, alanın ampirik temelli araştırmalar açısından yeterince güçlenmediğini ve özellikle bölgesel ya da ürün bazlı maliyet-fayda analizlerine yönelik çalışmalara ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Bu çalışma biyoçar ekonomisi literatürünü bibliyometrik bir yaklaşımla inceleyerek alanın mevcut yapısını ve araştırma boşluklarını ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, gelecekteki çalışmaların yalnızca üretim maliyetlerine odaklanmak yerine ekosistem hizmetlerinin ekonomik değerlemesi ve yaşam döngüsü analizlerine (LCA) daha fazla ağırlık vermesinin, alanın politika üretim süreçlerine katkısını güçlendireceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Akgül G (2017) Biyokömür: Üretimi ve Kullanım Alanları. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5 (4): 485-499.
- Bhuvaneshwari S, Hettiarachchi H, Meegoda JN (2019) Crop Residue Burning in India: Policy Challenges and Potential Solutions. International Journal of Environmental Research and Public Health, 16 (5): 832.
- Chiappero M, Norouzi O, Hu M, Demichelis F, Berruti F, Di Maria F, Masek O, Fiore, S (2020) Review of Biochar Role as Additive in Anaerobic Digestion Processes. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 131:110037.
- De Bakker FG, Groenewegen P, Den Hond F (2005) A Bibliometric Analysis of 30 Years of Research and Theory on Corporate Social Responsibility and Corporate Social Performance. Business & Society, 44 (3): 283–317.
- Dereli AB (2024) Vosviewer İle Bibliyometrik Analiz. Communicata, (28): 1-7.
- Donthu N, Kumar S, Mukherjee D, Pandey N, Lim WM (2021) How to Conduct a Bibliometric Analysis: An Overview and Guidelines. Journal of Business Research, 133: 285-296.
- Duque-Acevedo M, Belmonte-Ureña LJ, Yakovleva N, Camacho-Ferre F, (2020) Analysis of The Circular Economic Production Models and Their Approach in Agriculture and Agricultural Waste Biomass Management. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(24): 9549.
- Dutta S, He M, Xiong X, Tsang DC (2021) Sustainable Management and Recycling of Food Waste Anaerobic Digestate: A Review, Bioresource Technology, 341: 125915.
- Dvořáčková H, Dvořáček J (2023) Manure Application Followed by Biochar Application Increases Plant Production Regardless of Soil Dehydrogenase Activity, Soil Use and Management, 39 (4): 1557-1569.
- Ellegaard O, Wallin JA (2015). The Bibliometric Analysis of Scholarly Production: How Great Is The Impact?, Scientometrics, 105 (3): 1809-1831.
- Ferdous J, Mumu NJ, Hossain MB, Hoque MA, Zaman M, Müller C, Jahiruddin M, Jahangir MMR (2023) Co-application of Biochar and Compost with Decreased N Fertilizer Reduced Annual Ammonia Emissions in Wetland Rice, Frontiers in Sustainable Food Systems, 6: 1067112.
- Gürdin B (2020). Yeşil Pazarlamanın Bilimsel Haritaların Görselleştirilmesi Tekniğiyle Bibliyometrik Analizi. Econder International Academic Journal, 4 (1): 203-231.
- Hoang QN, Van Caneghem J, Croymans T, Pittoors R, Vanierschot M (2022). A Novel Comprehensive CFD-Based Model for Municipal Solid Waste Incinerators Based on the Porous Medium Approach. Fuel, 326:124963.
- Karmee SK (2018). A Spent Coffee Grounds Based Biorefinery for the Production of Biofuels, Biopolymers, Antioxidants and Biocomposites. Waste Management, 72: 240-254.
- Lebrun Thauront J, Soja G, Schmidt HP, Abiven S (2024) A Critical Re-Analysis of Biochar Properties Prediction From Production Parameters and Elemental Analysis, GCB Bioenergy, 16 (11):e13170.
- Lehmann J, Joseph S (2015) Biochar for environmental management: Science, Technology and Implementation (2nd ed.). Routledge.
- Lorenz K, Lal R (2014) Biochar Application to Soil for Climate Change Mitigation by Soil Organic Carbon Sequestration, J. Plant Nutr. Soil Sci., 177: 651–670.
- Mohan D, Sarswat A, Ok YS, Pittman CU (2014) Organic and Inorganic Contaminants Removal Fromwater with Biochar, A Renewable, Low-Cost and Sustainable Adsorbent–A Critical Review. Bioresource Technology, 160: 191–202.
- Oni BA, Oziegbe O, Olawole OO (2019) Significance of Biochar Application to the Environment and Economy. Annals of Agricultural Sciences, 64 (2): 222-236.
- Osman AI, Farghali M, Ihara I, Elgarahy AM, Ayyad A, Mehta N, Ng KH, El-Monaem EMA, Eltaweil AS, Hosny M, Hamed SM, Fawzy S, Yap P, Rooney DW (2023) Materials, Fuels, Upgrading, Economy, and Life Cycle Assessment of the Pyrolysis of Algal and Lignocellulosic Biomass: A Review. Environmental Chemistry Letters, 21(3):1419-1476.

- Van Eck NJ, Waltman L (2010) Software Survey: VOSviewer, A Computer Program for Bibliometric Mapping, *Scientometrics*, 84: 2.
- Van Eck NJ, Waltman L (2023) VOSviewer Manual for VOSviewer Version 1.6.20. Universiteit Leiden: CWTs.
- Van Eck NJ, Waltman L (2014) Visualizing Bibliometric Networks. In *Measuring Scholarly Impact: Methods and Practice*, Springer International Publishing.
- Verdi L, Dalla Marta A, Orlandini S, Maienza A, Baronti S, Vaccari FP (2024). Evaluation of Biochar Addition to Digestate, Slurry, and Manure for Mitigating Carbon Emissions, *Agriculture*, 14 (1):162.
- Worlanyo AS, Jiangfeng L (2021). Evaluating the Environmental and Economic Impact of Mining for Post-Mined Land Restoration and Land-Use: A Review. *Journal of Environmental Management*, 279: 111623.
- Yang M, Chen L, Wang J, Msigwa G, Osman AL, Fawzy S, Rooney DW, Yap PS (2023) Circular Economy Strategies for Combating Climate Change and Other Environmental Issues. *Environ Chem Lett* 21:55–80 .
- Zeren D, Kaya N (2020). Dijital Pazarlama: Ulusal Yazının Bibliyometrik Analizi, *Çağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 17(1): 35-52.
- Zhao Y, Jiang H, Gao J, Wan X, Yan B, Liu Y, Cheng G, Chen L, Zhang W(2024). Effects of Biochar Application Methods on Greenhouse Gas Emission and Nitrogen Use Efficiency in Paddy Fields. *Science of the Total Environment*, 915: 169809.

