

ENERJİDE YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARININ BİBLİYOMETRİK ANALİZİ

Ramazan YILMAZ*

*Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi, Gönen MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü,
10900 Gönen, BALIKESİR, ryilmaz@bandirma.edu.tr

Özet: Amaç: Enerjide yapay zekâ uygulamaları konusuyla ilgili fen ve mühendislik alanında iş birliklerini, yazarları, dergileri, anahtar kelimeleri ve trend konuları belirleyebilmektir. Materyal ve Metot: Bibliyometrik analiz için PRISMA tabanlı sistematik araştırmaya benzer iş akışı uygulanmıştır. Araştırmada Web of Science (WoS) veri tabanında 2016-2025 yılları arasında yer alan 4396 araştırma makaleleri seçilmiştir. Analiz için R tabanlı Bibliometrix yazılımı içerisinde yer alan Biblioshiny programı ile WoS analiz aracı kullanılmıştır. Bulgular ve Tartışma: Analiz sonucu yıllık ortalama artış oranı %29,39 olarak bulunmuştur. En üretken yazar LIU Y, dergi ENERGIES, kurum Chinese Academy of Sciences ve ülke Çin'dir. Alanda en etkili makale Chen Y.H. (2017) tarafından yazılmıştır. En çok kullanılan yazar anahtar kelimesi (Author's keywords) "machine learning" ve artı anahtar kelimesi (keywords plus) "model" olarak bulunmuştur. Kelime analizi ile trend konular belirlenmiştir ve kavramsal yapının ortaya çıkarılması için tematik haritalama analizi ile motor, gelişmiş ve yalıtılmış, ortaya yeni çıkan veya kaybolan ve temel temalar bulunmuştur. Alanın uluslararası işbirliği ağı sunulmuştur. WoS analizi ile dergi kategorisi ve atıf çekirdeği bulunmuştur. Sonuç: Alanın entelektüel yapısı ortaya çıkarılmıştır ve geniş açıdan fotoğrafı çekilmiştir. Araştırmacılara çalışmalarında yol gösterecek bibliyometrik verilere ulaşılmıştır. Enerjide yapay zekâ uygulamalarının son yıllarda önemli ölçüde arttığı ve Türkiye'nin 121 makale ile 22. sırada yer aldığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Yapay zekâ, AI, Web of Science (WoS), Bibliyometrik analizi, Bibliometrix, Biblioshiny, Bilgi analitiği

BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS IN ENERGY

Abstract: Aim: To determine collaborations, authors, journals, keywords and trending topics in the field of science and engineering related to the subject of artificial intelligence applications in energy. Materials and Methods: A workflow similar to PRISMA-based systematic review was applied for bibliometric analysis. A total of 4,396 research articles published between 2016 and 2025 were selected from the Web of Science (WoS) database. The Biblioshiny program in the R-based Bibliometrix software and the WoS analysis tool was used for the analysis. Result and Discussion: The annual average growth rate was found to be 29.39%. The most productive author was LIU Y, the leading journal was *ENERGIES*, the top institution was the Chinese Academy of Sciences, and the leading country was China. The most influential article in the field was authored by Chen Y.H. (2017). Among the Author's Keywords, 'machine learning' was the most frequently used term, whereas 'model' was the most common in the Keywords Plus. Word analysis identified trending topics, while thematic mapping revealed motor, niche, emerging or declining, and basic themes to explain the conceptual structure. The international collaboration network of the field was presented. WoS analysis also identified journal categories and citation cores. Conclusions: It has been determined that artificial intelligence applications in energy have significantly increased in recent years, and that Türkiye ranks 22nd with 121 publications.

Keywords: Energy, Artificial intelligence, AI, Web of Science (WoS), Bibliometric analysis, Bibliometrix, Biblioshiny, Information analytics

GİRİŞ

Artan enerji ihtiyacı ve sınırlı kaynaklar, enerji alanında yapay zekâ (YZ) tekniklerinin kullanımını önemli hale getirmiştir. Yenilenebilir enerji üretiminden talep yönetimine, enerji iletiminden yapıların enerji verimliliğine kadar geniş bir yelpazede YZ uygulamaları,

sistemlerin esnekliğini, öngörülebilirliğini ve verimliliğini artırmak için kullanılmaktadır (Wang vd, 2025). Özellikle makine öğrenmesi (ML), derin öğrenme (DL) ve pekiştirmeli öğrenme gibi YZ alt teknikleri, enerji sistemlerinin optimizasyonu ve performans iyileştirilmesi açısından dönüştürücü potansiyel taşımaktadır (Entezari vd, 2023; Zhang vd, 2022).

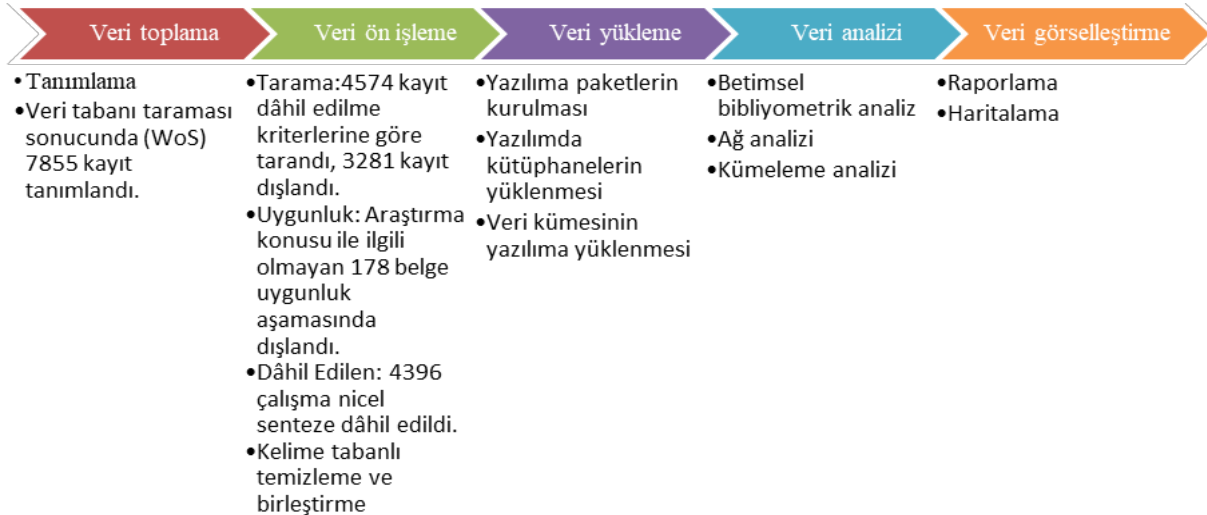
Enerji alanındaki YZ uygulamaları; fotovoltaik (PV) panel tespiti, rüzgâr ve güneş enerjisi tahmini, akıllı şebeke yönetimi, enerji depolama optimizasyonu, bina enerji performansı tahmini ve karbon salımı azaltımı gibi farklı kullanım alanlarında yaygınlaşmaktadır (Ying vd, 2023; Liu ve Chen, 2025; Mohd Nashruddin vd, 2025). Aynı zamanda literatürde, enerji tüketim tahmini ve iyileştirme önerilerinin ML teknikleriyle otomatikleştirildiği çalışmalar da artmaktadır (Anastasiadou vd, 2022; Ji vd, 2025). Ancak bu teknolojilerin gelişimiyle birlikte veri gizliliği, algoritma açıklanabilirliği ve teknolojik adalet gibi zorluklar da gündeme gelmiştir (Shahverdi vd, 2025). Bu bağlamda, enerjide YZ uygulamaları alanında yapılan bilimsel çalışmaların kapsamlı bir şekilde haritalanması önem arz etmektedir. Gao vd, (2025) 2000–2024 yılları arasında yayımlanan 1054 makaleyi bibliyometrik yöntemlerle inceleyerek Çin'in alandaki yayın liderliğini ve “makine öğrenmesi”, “akıllı şebekeler” ile “blockchain” gibi temaların öne çıktığını ortaya koymuş, AI tabanlı güneş tahmin modelleri ile enerji optimizasyonunun en yüksek atıf alan konular olduğunu vurgulamıştır. Benzer şekilde Alvarez vd, (2025) yapay zekânın enerji geçiş süreçlerinde veri analizi, yenilenebilir kaynak entegrasyonu ve akıllı şebeke yönetimi gibi kritik alanlarda rol oynadığını belirleyerek, özellikle enerji sistemlerinin karbonsuzlaştırılması için AI tabanlı araçların ülkeler ölünde politika geliştirme süreçlerinde kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Son dönemde bu konuda yapılan bibliyometrik analizler, belirli alt alanlara odaklanmakta; örneğin termal enerji depolama

(Mehraj vd, 2024), hibrit yenilenebilir sistemler (Wei vd, 2023) ya da enerji piyasaları ve ekonomi (Jiao vd, 2025; Silva vd, 2024) özelinde yapılmıştır. Ancak disiplinlerarası bir yaklaşımla, YZ'nin enerjiyle ilişkili tüm alt alanlardaki entelektüel yapısını ve eğilimlerini ortaya koyan daha bütüncül bir analiz ihtiyacı devam etmektedir.

Bu çalışmanın amacı, enerjide yapay zekâ uygulamaları konusuyla ilgili fen ve mühendislik alanında iş birliklerini, yazarları, dergileri, anahtar kelimeleri ve trend konuları belirleyebilmektir. Bu sayede, enerjide YZ uygulamaları alanında hangi konuların öne çıktığı, hangi boşlukların bulunduğu ve gelecekteki araştırmaların hangi alanlara yönelmesi gerektiği belirlenerek hem akademik topluluğa hem de uygulayıcılara yol gösterici bibliyometrik verilerin sunulması hedeflenmektedir. Araştırma 2016–2025 yılları arasında Web of Science (WoS) veri tabanında yayımlanmış araştırma makaleleri ile sınırlandırılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, enerjide yapay zekâ uygulamaları alanındaki bilimsel yayınların bibliyometrik özelliklerini ortaya koymak amacıyla PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) tabanlı sistematik tarama yaklaşımına benzer bir iş akışı izlenmiştir (Atabay ve Guzeller, 2021). Analiz süreci; veri toplama, ön işleme, veri yükleme, analiz ve görselleştirme olmak üzere beş aşamada gerçekleştirilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Bibliyometrik analiz için PRISMA tabanlı iş akışı.

Veri Toplama

Bibliyometrik analizlerde sıklıkla tercih edilen veri tabanları arasında Scopus, Google Scholar, ScienceDirect ve Web of Science (WoS) bulunmaktadır. Ancak WoS, yüksek etki faktörlü dergileri kapsamı, geniş yayın ve atıf kapasitesine sahip olması, indeksleme çeşitliliği ve bibliyometrik veriye kolay erişim sağlaması

nedeniyle bu çalışmada tercih edilmiştir (Huang vd, 2017; Zavadskas vd, 2014).

Veri toplama aşamasında WoS Core Collection veri tabanında “Title” (başlık) alanı temel alınarak aşağıdaki arama dizgesi kullanılmıştır:

TI = (“AI *” OR “Artificial intelligence *” OR “Artificial intelligent *” OR “Generative AI *” OR “Big Data *” OR “Big Models *” OR “Robotics *” OR “Multimodal model *”

OR "NLP *" OR "Computer Vision *" OR "LLM *" OR
"Neural networks *" OR
"Unsupervised learning *" OR "Supervised learning *" OR
"Feature extraction *" OR "Machine
learning *" OR "Deep learning *") AND TI = ("Energy
" OR "Enerğ *")

Bu sorgu sonucunda toplam 7855 kayıt elde edilmiştir
(04.06.2025).

Veri Ön İşleme

Elde edilen veri kümesi, bibliyometrik analiz öncesinde çeşitli filtreleme ve temizleme adımlarından geçirilmiştir. Bu kapsamda; yalnızca hakemli makaleler, İngilizce dilinde yayımlanmış ve Science Citation Index Expanded (SCIE) indeksinde yer alan kayıtlar çalışmaya dâhil edilmiştir. Yayın türü olarak "data paper", "editorial material", "early access", "proceedings paper" gibi araştırma dışı türler ile eksik veya bozuk veri içeren kayıtlar analiz dışı bırakılmıştır.

Yayın yılı sınırlaması 2016–2025 arası olarak belirlendiğinde kayıt sayısı 7263'e düşmüştür. Yayın türü olarak yalnızca "makale (article)" seçildiğinde 5280 yayın belirlenmiştir. İndeks olarak yalnızca SCIE dahil edildiğinde 4583 yayına ulaşılmıştır. Son olarak, sadece İngilizce dilinde yayımlanmış yayınlar seçildiğinde 4574 kayıt kalmıştır. Bu veriler, daha sonra Bibliometrix yazılımında yalnızca "article" türüyle filtrelenerek 4396 yayına indirgenmiştir. Bu 4396 yayın, analiz kapsamında değerlendirilmiştir.

Veri Yükleme

Temizlenmiş ve filtrelenmiş veri kümesi, Web of Science üzerinden "plain text" formatında dışa aktarılmış ve R tabanlı Bibliometrix yazılımı aracılığıyla analiz için yüklenmiştir.

Veri Analizi

Verilerin bibliyometrik analizi açık kaynak kodlu *Bibliometrix* (Aria ve Cuccurullo, 2017) yazılımı ve onun web arayüzü olan *Biblioshiny* programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, WoS analiz aracı yardımıyla alan kategorisi ve atıf merkezlilik verileri elde edilmiştir. Analiz kapsamında yıllık yayın eğilimleri, en üretken yazarlar, dergiler ve ülkeler, en çok atıf alan yayınlar, anahtar kelime kümeleri ve iş birlikleri incelenmiştir.

Veri Görselleştirme

Bibliometrix yazılımı aracılığıyla elde edilen bulgular; yıllık yayın trendleri, iş birliği ağları, anahtar kelime yoğunlukları ve tematik haritalama gibi farklı görsel tekniklerle sunulmuştur. Bu görseller, kavramsal yapının ve eğilimlerin daha açık şekilde ortaya konmasını sağlamaktadır.

BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Betimsel Bulgular

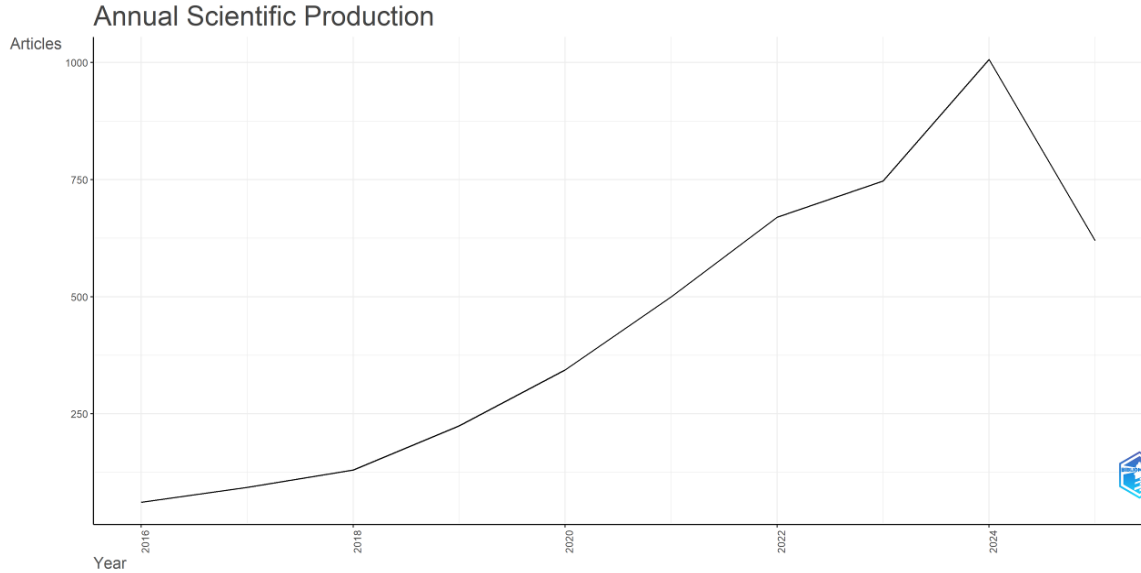
Bibliyometrik analiz kapsamında 2016–2025 yılları arasında yayımlanmış toplam 4396 makalenin betimsel bulguları Tablo 1'de verilmiştir. Belirtilen zaman aralığında belgelerin yıllık ortalama artış oranı %29,39 olarak belirlenmiştir. Yayınların ortalama yaşı 2,68 yıl, belge başına ortalama atıf sayısı ise 19,24 olarak hesaplanmıştır. İncelenen belgelerin %34,39'u uluslararası iş birlikli yayınlardır. Yayın başına ortalama yazar sayısı 5,59 olarak kaydedilmiştir. Toplam 166 çalışma ise tek yazarlı olarak yayımlanmıştır.

Şekil 2'de yıllık bilimsel üretimin yıllara göre dağılımı gösterilmiştir. Grafik, enerji alanında yapay zekâ uygulamaları konulu yayınların 2016 yılından itibaren istikrarlı bir şekilde arttığını, özellikle 2024 yılında en yüksek sayıya ulaşıldığını ortaya koymuştur. 2025 yılında ise yayın sayısında görece bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu durum, ilgili yılın henüz bitmemesinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Genel olarak, enerji ve yapay zekâ kesişimindeki yayın üretimi, hızlı büyüme eğilimi göstermiştir.

Bu temel veriler, enerji alanında yapay zekâ uygulamaları üzerine yapılan bilimsel yayınların son yıllarda belirgin bir ivme kazandığını ve çok yazarlı iş birliklerinin ön plana çıktığını göstermiştir.

Tablo 1. Betimsel bulgular.

Betimleme	Bulgular
VERİLERE İLİŞKİN TEMEL BİLGİLER	
Zaman aralığı	2016:2025
Kaynaklar (dergi, kitap vb.)	1009
Dokümanlar	4396
Yıllık ortalama artış oranı %	29,39
Yayınların ortalama yaşı	2,68
Belge başına ortalama atıf sayısı	19,24
Kaynakça	167052
BELGE İÇERİĞİ	
Artı anahtar kelimesi [Keywords Plus (ID)]	5403
Yazar anahtar kelimesi [Author's Keywords (DE)]	10724
YAZARLAR	
Yazar sayısı	18490
Tek yazarlı dokümanların yazarları	154
YAZAR İŞ BİRLİKLERİ	
Tek yazarlı dokümanlar	166
Yayın başına ortalama yazar sayısı	5,59
Uluslararası iş birlikli yayınlar %	34,39
DOKÜMAN TİPİ	
Makale	4396



Şekil 2. Yıllara göre bilimsel yayın üretimi.

Sosyal ve Entelektüel Bulgular

En çok atıf alan yayınlar

Enerji alanında yapay zekâ uygulamalarına odaklanan en çok atıf alan on yayın belirlenmiştir. Bu yayınlar, toplam atıf sayısı (TC), yıllık ortalama atıf sayısı (TC/Yıl) ve normalize edilmiş atıf puanı (NTC) açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2’de sunulmuştur. Tablo 2’ye göre en fazla atıf alan çalışma, Chen vd, (2017) tarafından IEEE Journal of Solid-State Circuits dergisinde yayımlanan ve 1517 atıf alan çalışmadır. Bu yayını sırasıyla Samaniego vd, (2020) (1329 atıf) ve Wang vd, (2018) (1193 atıf) izlemektedir. Normalleştirilmiş atıf puanına göre ise en yüksek değer 33,68 ile Samaniego ve arkadaşlarına aittir. Bu durum, çalışmanın yakın tarihte yayımlanmış olmasına rağmen yüksek bir etki düzeyi oluşturduğunu göstermektedir. Bu yayınların öne çıkması, enerji sistemlerinde yapay zekâ ve hesaplamalı yöntemlerin giderek daha fazla uygulama alanı bulduğunu ve literatürde güçlü bilimsel yankılar uyandırdığını ortaya koymaktadır. En çok atıf alan yayınların büyük bölümü, enerji modelleme, veri tahmini, fiziksel hesaplama ve optimizasyon tekniklerine odaklanmaktadır.

Tablo 3’te enerji alanında yapay zekâ uygulamaları üzerine yapılan yayınların en sık yayımlandığı dergiler sıralanmıştır. Bu tabloya göre *Energies* dergisi en fazla yayına ev sahipliği yapan kaynak olarak öne çıkmıştır. Onu sırasıyla *IEEE Access*, *Applied Energy*, *Energy* ve *Sustainability* dergileri takip etmiştir. Bu dergilerin çoğunun disiplinler arası yapısı, enerji sistemleri ile yapay zekâ tekniklerinin kesişiminde üretilen çalışmalara geniş bir yayın alanı sunduğunu göstermiştir. Özellikle *Energy and Buildings*, *Scientific Reports* ve *Applied Sciences-Basel* gibi dergiler, yapay zekâ uygulamalarının pratik mühendislik çözümlerine entegrasyonuna

odaklanan çalışmaların yoğunlaştığı kaynaklar arasında yer almaktadır.

Tablo 2. En çok atıf alan yayınlar.

Yazar (Yıl)	Dergi Kısaltması	Toplam Atıf (TC)	Yıllık Atıf (TC/Yıl)	Norm. Atıf (NTC)
Chen Y.H. (2017)	IEEE J Solid-St Circ	1517	168,56	18,99
Samaniego E. (2020)	Comput Method Appl Mech Eng	1329	221,50	33,68
Wang H. (2018)	Comput Phys Commun	1193	149,13	19,99
Kim T.Y. (2019)	Energy	933	133,29	22,59
Chmiela S. (2017)	Sci Adv	868	96,44	10,86
Zhang Y.Z. (2020)	Comput Phys Commun	520	86,67	13,18
Mocanu E. (2016)	Sustain Energy Grids Netw	413	41,30	5,91
Al-Ali A.R. (2017)	IEEE Trans Consum Electron	352	39,11	4,41
Robinson C. (2017)	Appl Energy	343	38,11	4,29
Faber F.A. (2016)	Phys Rev Lett	334	33,40	4,78

Ayrıca *Journal of Chemical Theory and Computation* ve *Journal of Cleaner Production* gibi dergilerin listede yer alması, alanın yalnızca enerji üretimi ve tüketimiyle

ULIBTK'25 Uluslararası Katılımlı 25. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi
10-12 Eylül 2025, ADANA

sınırlı kalmayıp, çevresel sürdürülebilirlik, kimyasal modelleme ve sistem optimizasyonu gibi geniş bir konu yelpazesiyle ilişkilendiğini göstermiştir. Bu bulgu, enerji ve yapay zekâ kesişimindeki bilimsel üretimin çok yönlü ve disiplinler arası karakterini doğrulamaktadır.

En ilgili kaynaklar

Tablo 3. En fazla yayına sahip ilk on bilimsel kaynak.

Kaynak	Yayın
ENERGIES	252
IEEE ACCESS	152
APPLIED ENERGY	140
ENERGY	130
SUSTAINABILITY	100
ENERGY AND BUILDINGS	99
SCIENTIFIC REPORTS	65
APPLIED SCIENCES-BASEL	62
JOURNAL OF CHEMICAL THEORY AND COMPUTATION	51
JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION	50

En çok yayın yapan yazarlar

Tablo 4'te enerji alanında yapay zekâ uygulamaları konusunda en fazla yayın yapan ilk on yazar sunulmuştur. Analiz sonuçlarına göre, *LIU Y.* 37 makale ile en üretken yazar olarak öne çıkarken, onu sırasıyla *WANG Y.*, *ZHANG H.*, *ZHANG Y.* ve *KIM J.* takip etmiştir. Ancak “fractionalized” (paylaştırılmış) yayın sayıları incelendiğinde, iş birlikli çalışmalarda yazarlık katkısının daha dengeli dağıldığı ve *WANG Y.*'nin 6,90 fractionalized yayınlı bu ölçüte göre ilk sırada yer aldığı görülmüştür. Bu veriler, enerjide yapay zekâ temalı araştırmaların çoğunlukla birden fazla araştırmacının katkısıyla yürütüldüğünü ve yazarlar arasında yaygın bir iş birliği olduğunu ortaya koymuştur.

Tablo 4. En fazla yayın yapan ilk on yazar.

Yazar	Yayın	Paylaştırılmış yayın
LIU Y	37	6,78
WANG Y	32	6,90
ZHANG H	32	6,22
ZHANG Y	31	5,77
KIM J	28	5,81
LEE S	28	5,51
WANG L	26	4,90
ZHANG L	26	6,38
LEE J	22	4,03
WANG J	21	4,28

En üretken kurumlar

Tablo 5'te, enerji alanında yapay zekâ uygulamaları konusundaki en üretken kurumlar sıralanmıştır. Bulgulara göre, *Chinese Academy of Sciences* 191 yayınlı en fazla bilimsel üretime sahip kurumdur. Onu *United States Department of Energy (DOE)* 152 yayınlı, *Egyptian Knowledge Bank (EKB)* ise 149 yayınlı takip

etmiştir. Liste incelendiğinde Çin, ABD, Mısır, Hindistan, Suudi Arabistan ve Fransa gibi ülkelerin kamu kurumları ve üniversiteleri yer almıştır.

Tablo 5. En fazla yayına sahip kurumlar.

Kurum	Yayın
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES	191
UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY (DOE)	152
EGYPTIAN KNOWLEDGE BANK (EKB)	149
UNIVERSITY OF CALIFORNIA SYSTEM	114
MINISTRY OF EDUCATION – CHINA	100
INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY SYSTEM (IIT SYSTEM)	72
KING SAUD UNIVERSITY	68
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS)	63
KING FAHD UNIVERSITY OF PETROLEUM AND MINERALS	60
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY	60

En üretken ülkeler

Tablo 6'da ülkelerin enerji alanında yapay zekâ uygulamaları konusundaki bilimsel yayın üretimi gösterilmiştir. Tablo 6'ya göre, Çin 3499 yayın ile en fazla yayın üreten ülke konumundadır. Çin'i sırasıyla ABD ve Hindistan izlemiştir. Bu veriler, enerji ve yapay zekâ gibi disiplinler arası alanların özellikle Asya ve Kuzey Amerika'daki ülkelerde yoğun ilgi gördüğünü ve bu ülkelerin araştırma kapasitesi ile stratejik yatırımlarının bilimsel üretime yansıdığını ortaya koymuştur. Çin'in yüksek üretkenliği, enerji dönüşümü ve dijitalleşme süreçlerinde yapay zekâya verdiği önemin bir yansıması olarak değerlendirilmiştir. Türkiye bu alanda 121 yayın ile 22. sırada yer almıştır.

Tablo 6. Ülkelerin bilimsel yayın üretimi.

Ülke	Yayın
CHINA	3499
USA	1763
INDIA	1058
SOUTH KOREA	596
SAUDI ARABIA	556
UK	459
ITALY	375
GERMANY	356
JAPAN	324
IRAN	303

Anahtar kelime analizi

Anahtar kelime analizleri, hem yazarlar tarafından belirlenen (Author's Keywords) hem de yayınlardan türetilen (Keywords Plus) terimlerin, literatürdeki tematik odakları ve yöntemsel çeşitliliği anlamaya yardımcı olur.

Tablo 7 incelendiğinde, Author's Keywords alanında en sık kullandığı anahtar kelimenin “machine learning” (1112 tekrar) olduğu görülmektedir. Bu terimi sırasıyla “deep learning” (609), “artificial intelligence” (363) ve “energy efficiency” (293) izlemiştir. Bu bulgu, enerji alanındaki çalışmalarda özellikle öğrenme tabanlı yapay zekâ tekniklerinin baskın olarak kullanıldığını ortaya koymaktadır. Keywords Plus alanında ise en yüksek frekansa sahip kelimeler “model” (436), “prediction” (370), “performance” (327) ve “optimization” (322) olarak öne çıkmıştır. Her iki terim kümesinde de “consumption” ve “neural networks” gibi ifadelerin yer alması, literatürde enerji verimliliği, tüketim tahmini ve sistem iyileştirmesine yönelik YZ uygulamalarının yoğunluğunu göstermiştir.

Tablo 8 her iki grubun ilk 200 satırında yer alan kelimelerden oluşturulmuştur. Tablo 8'de sunulan karşılaştırmalı analizde, Keywords Plus ve Author's Keywords alanlarında ortaklaşa en sık kullanılan on anahtar kelime sıralanmıştır. İlk sırada yer alan “prediction” terimi, Keywords Plus'ta 370 ve Author's Keywords'ta 456 kez tekrarlanarak, tahmin tabanlı modellerin literatürde merkezi bir konumda olduğunu göstermiştir. Diğer ortak terimler arasında “optimization”, “regression”, “simulation” ve “classification” gibi yöntemsel ifadelerin yanı sıra; “renewable energy”, “buildings” ve “random forest” gibi uygulamaya dönük kavramlar da bulunmaktadır. Bu ortaklık, disiplinin hem kuramsal hem uygulamalı yönlerini bütüncül biçimde kapsadığını ortaya koymuştur.

Tablo 7. Anahtar kelime analizine göre en sık kullanılan terimler.

Keywords Plus (ID)	Adet	Author's Keywords (DE)	Adet
Model	436	machine learning	1112
Prediction	370	deep learning	609
Performance	327	artificial intelligence	363
Optimization	322	energy efficiency	293
Design	261	energy consumption	220
Consumption	259	renewable energy	149
System	235	optimization	141
Algorithm	192	neural networks	131
neural-networks	152	artificial neural networks	117
Models	148	energy management	113

Tablo 8. Keywords Plus ile Author's Keywords alanlarında ortak olan ilk 10 anahtar kelime.

Anahtar Kelime	Keywords Plus Adet	Author's Keywords Adet
prediction	370	456
optimization	322	411
regression	119	144
simulation	114	156
classification	92	116
buildings	64	79
accuracy	37	41
random forest	34	38
renewable energy	34	42
support vector regression	34	38

Şekil 3, Keywords Plus terimlerine dayalı olarak oluşturulmuş bir kelime bulutudur. Görselde özellikle “model”, “prediction”, “optimization”, “performance”, “design” ve “consumption” gibi kavramlar dikkat çekmiştir. Bu yoğunluk, literatürde veri temelli modelleme ve sistem tasarımı konularının ön planda olduğunu göstermiştir. Ayrıca “algorithm” ve “neural networks” gibi teknik ifadelerin sıklığı, yapay zekânın enerji sistemlerine entegrasyonundaki önemini yansıtmıştır.

Benzer şekilde, Şekil 4'te Author's Keywords terimlerinin bulut görselleştirmesi sunulmuştur. Bu görselde en baskın ifadeler “machine learning”, “deep learning” ve “artificial intelligence” olarak öne çıkmıştır. Ayrıca “energy efficiency” ve “energy consumption” gibi pratik hedeflere yönelik kavramların da yer alması, araştırmaların yalnızca teorik değil aynı zamanda çözüm odaklı bir yapıya sahip olduğunu göstermiştir.

Şekil 3 ve Şekil 4 birlikte değerlendirildiğinde, enerji alanında yapay zekâ uygulamalarının hem metodolojik çeşitlilik hem de uygulama genişliği açısından zengin bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Keywords Plus verileri, literatürdeki genel eğilimleri nesnel biçimde yansıtırken; Author's Keywords, yazarların vurgulamak istedikleri tematik öncelikleri ortaya koymuştur. Bu iki görselin kavramsal olarak örtüşmesi, literatürdeki kavram bütünlüğü ve disiplinler arası yapının gücünü göstermiştir.



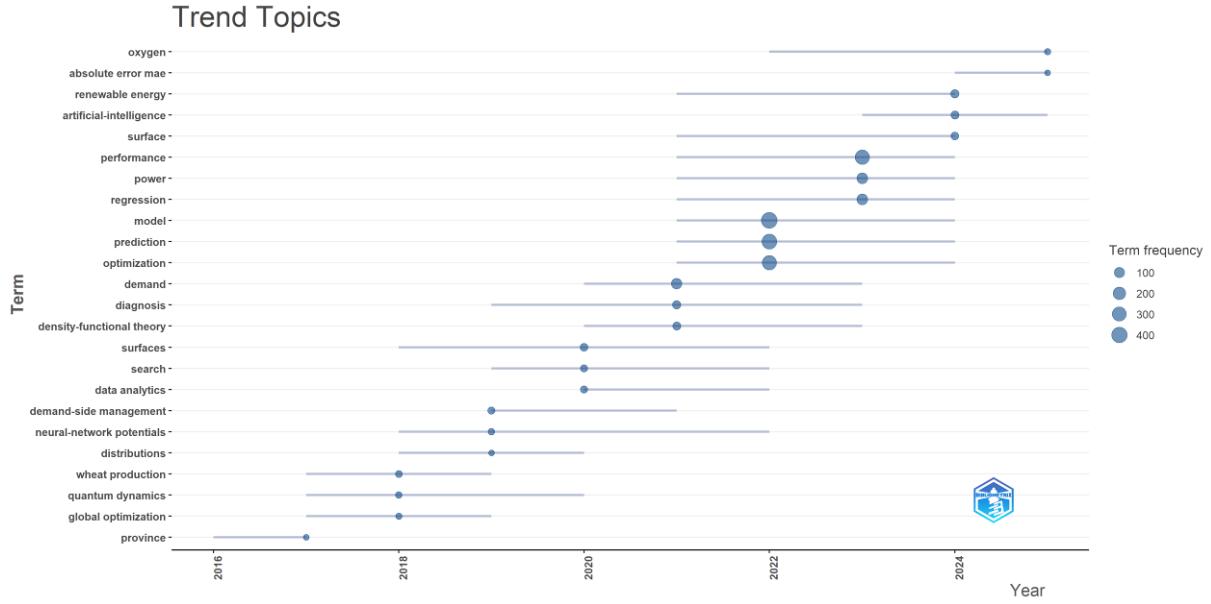
Şekil 3. Keywords Plus terimlerine göre kelime bulutu.

Şekil 5'te yer alan eğilim analizi, Keywords Plus terimlerinin yıllara göre dağılımını ortaya koymakta ve enerji alanında yapay zekâ uygulamalarının zaman içinde nasıl evrildiğini göstermiştir. Son yıllarda öne çıkan anahtar kavramlar arasında *model*, *prediction*, *optimization*, *artificial-intelligence* ve *renewable energy* yer almakta; bu da enerji sistemlerinin öngörülebilirliği ve sürdürülebilirliği bağlamında YZ temelli yaklaşımların giderek daha fazla önem kazandığını göstermiştir. 2023 ve 2024 yıllarında özellikle *oxygen*, *absolute error* *MAE* ve *renewable energy* gibi kavramların yükselişi dikkat çekmiştir. Bu bulgular, enerji sektöründe hem çevresel hem de hesaplamalı doğruluğa yönelik ilginin arttığını ortaya koymuştur. Şekil 6'da, çalışmada yer alan yazar anahtar kelimelerinin (*Author's Keywords*) yıllara göre eğilimleri incelenmiştir. Analiz sonucunda, 2021 yılından itibaren

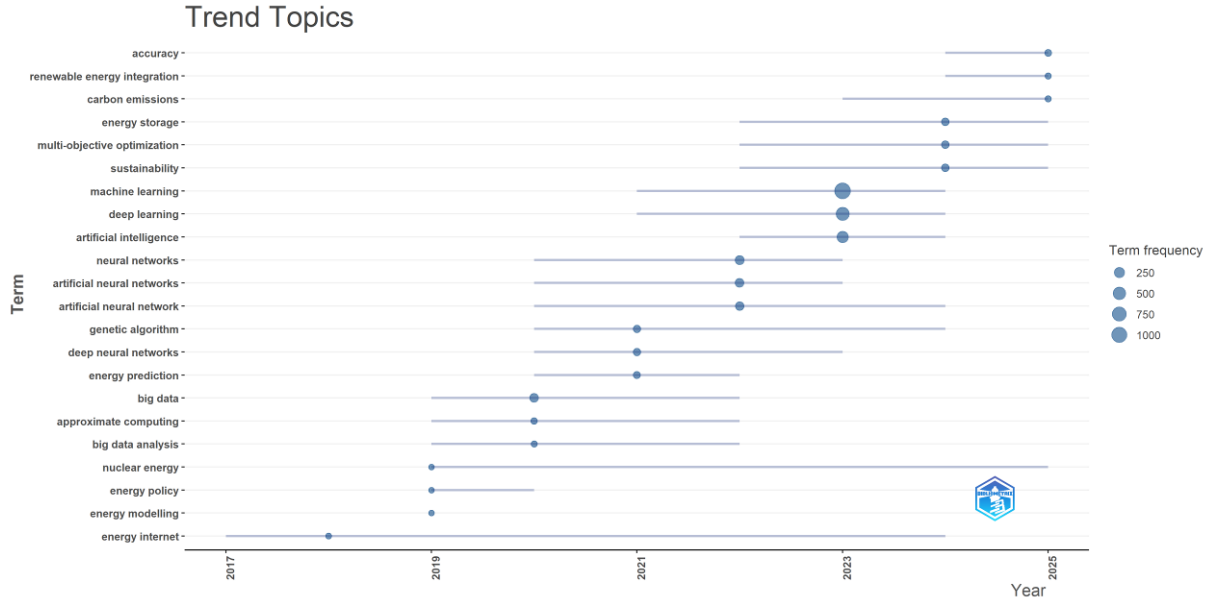
"machine learning", "deep learning", "artificial intelligence" ve "neural networks" gibi yapay zekâ temelli terimlerin daha sık kullanılmaya başlandığı görülmüştür. Bu terimlerin yüksek sıklıkta kullanılması, enerji alanındaki akademik çalışmalarda yapay zekâ uygulamalarına yönelik ilginin belirgin şekilde arttığını göstermektedir. Bunun yanı sıra, "renewable energy integration", "carbon emissions", "energy storage" ve "sustainability" gibi sürdürülebilir enerji politikalarıyla ilişkili kavramların da son yıllarda ön plana çıktığı belirlenmiştir. Terimlerin kullanım sıklıkları, şekil üzerindeki baloncukların büyüklükleriyle temsil edilmiştir. En yüksek sıklıkta kullanılan anahtar kelimeler arasında "artificial intelligence" ve "deep learning" terimlerinin yer aldığı tespit edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 4. Author's Keywords terimlerine göre kelime bulutu.



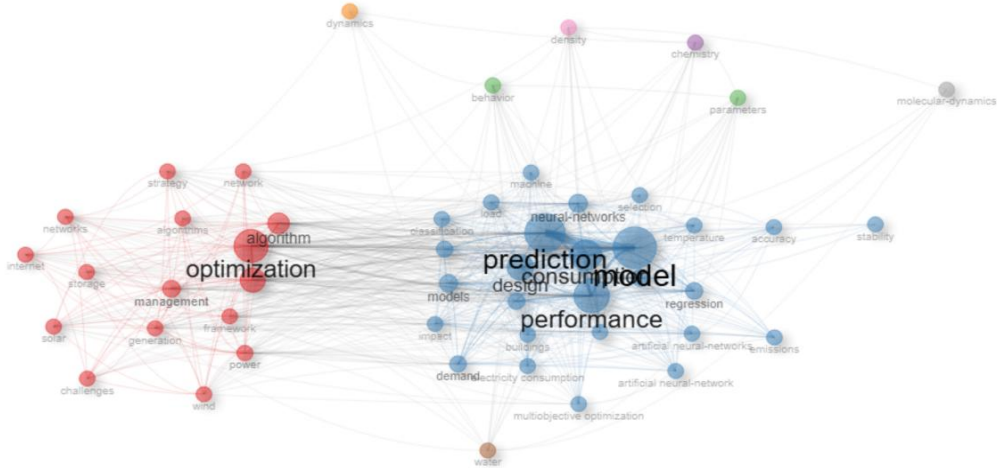
Şekil 5. Keywords Plus terimlerinin yıllara göre eğilimi.



Şekil 6. Author's Keywords terimlerinin yıllara göre eğilimi.

Keywords Plus terimlerinin kavramsal ilişkilerini gösteren Şekil 7, enerji alanındaki yapay zekâ uygulamalarının temel araştırma temalarını yansıtan anlamlı bir eş-görünüm ağı sunmuştur. Bu ağ yapısı, “model”, “prediction”, “optimization” ve “performance” gibi teknik ve yöntemsel kavramların literatürde sıklıkla birlikte kullanıldığını göstermiştir. Ayrıca, bu kavramların etrafında kümelenen “system”, “simulation”,

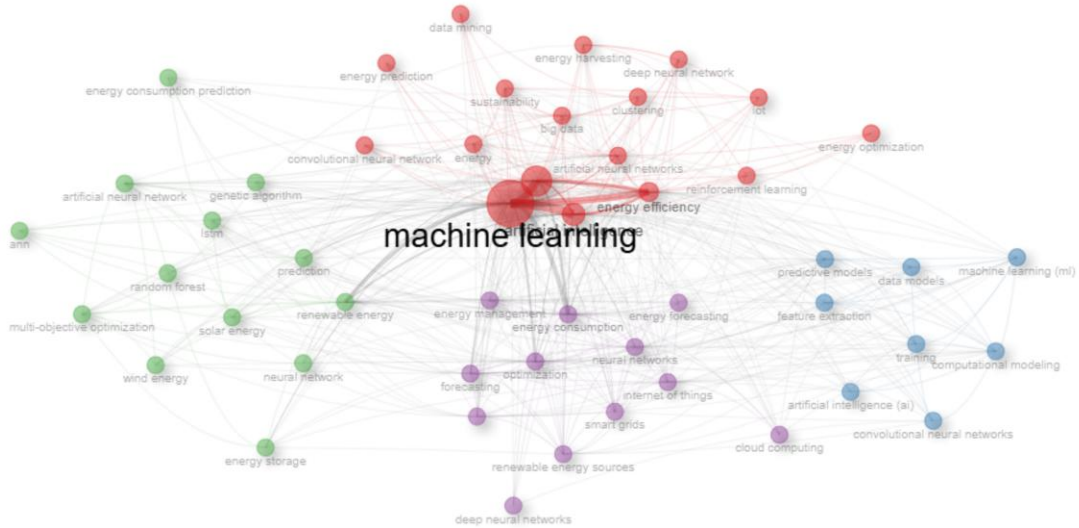
“algorithm” ve “consumption” gibi diğer anahtar terimler, enerji sistemlerinin modellenmesi, performans tahmini ve verimlilik optimizasyonu gibi konuların literatürde önemli bir yer tuttuğunu ortaya koymuştur. Şekilde yer alan farklı renkteki kümelenmeler ise bu ana temaların belirli alt başlıklar etrafında gruplaştığını ve disiplinler arası geçişken yapılar oluşturduğunu göstermiştir.



Şekil 7. Keywords Plus kavramlarının eş-zamanlılık ağı.

Benzer biçimde, Author's Keywords verilerine dayanarak oluşturulan eş-görünüm ağı Şekil 8'de sunulmuştur. Bu ağda "machine learning" kavramının merkezi konumu dikkat çekmiş ve bu kavramın "deep learning", "artificial intelligence", "energy efficiency", "renewable energy", "neural networks" ve "optimization" gibi diğer anahtar ifadelerle yoğun

biçimde ilişkili olduğu görülmüştür. Bu durum, enerjide yapay zekâ uygulamalarının yalnızca teorik değil, aynı zamanda çözüm odaklı ve pratik uygulamalarla entegre biçimde ele alındığını göstermiştir. Şekilde gözlemlenen kümelenmeler, literatürde enerji yönetimi, akıllı şebekeler, sistem optimizasyonu ve sürdürülebilirlik gibi farklı tematik alanların öne çıktığını işaret etmiştir.



Şekil 8. Author's Keywords terimlerine göre eş-ortaklık ağı.

Her iki ağ yapısı, yüksek frekansa sahip terimlerin merkezde toplandığını ve bu kavramların diğer anahtar kelimelerle sıkça birlikte kullanıldığını göstermiştir. Şekil 7'de öne çıkan terimler, daha çok teknik ve yöntemsel bir eğilimi (örneğin modelleme, tasarım ve

performans analizi) temsil ederken; Şekil 8'de vurgulanan kavramlar ise yapay zekâ tekniklerinin (örneğin makine öğrenmesi, derin öğrenme) enerjiyle ilişkili uygulamalarda nasıl konumlandığını ortaya koymuştur.

Bu iki şeklin bütüncül analizi, enerji alanındaki yapay zekâ uygulamalarının hem kavramsal çeşitliliğe hem de uygulama derinliğine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, ağ yapılarında gözlemlenen çok renkli alt kümelenmeler, bu alandaki literatürün disiplinler arası bir yapıya sahip olduğunu ve araştırmaların belirgin tematik alanlar etrafında yoğunlaştığını göstermiştir. Bu bağlamda, Şekil 7 ve Şekil 8 birlikte değerlendirildiğinde, enerjide yapay zekâ uygulamalarının genişleyen ve giderek daha fazla bütünleşen bir araştırma sahası oluşturduğu sonucuna ulaşılmıştır.

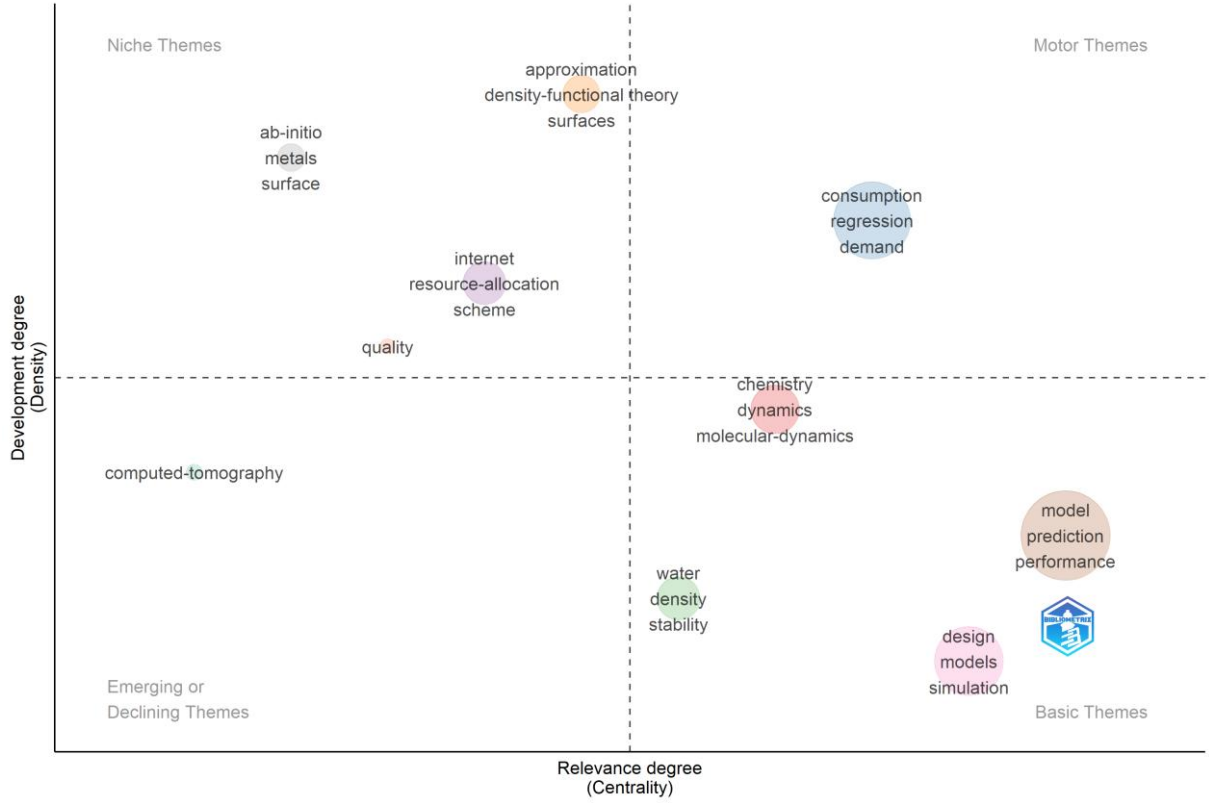
Bu çalışmada, enerji alanındaki yapay zekâ uygulamalarının kavramsal temelleri ve araştırma eğilimleri, *Keywords Plus* ve *Author's Keywords* verilerine dayalı olarak tematik haritalarla analiz edilmiştir. Söz konusu tematik yapılar, ilgili anahtar kelimelerin literatürdeki konumlarını “merkezlilik” (*relevance degree*) ve “yoğunluk” (*density*) eksenleri çerçevesinde dört ana grupta sınıflandırmıştır.

Şekil 9’da sunulan tematik harita, *Keywords Plus* verilerine göre oluşturulmuş olup, enerji alanındaki yapay zekâ araştırmalarının içeriksel yapısını ortaya koymuştur. Haritanın sağ üst bölümünde yer alan “Motor Temalar” arasında *consumption*, *regression* ve *demand* gibi kavramlar dikkat çekmiştir. Bu kavramlar, yüksek merkezlilik ve yoğunluk değerleriyle alanın gelişmiş ve etkili konularını temsil etmiştir. Bu bağlamda, enerji sistemlerinde yapay zekâ destekli tüketim tahmini ve talep yönetimi gibi konuların merkezi bir konumda olduğu belirlenmiştir. Sol üst bölgede konumlanan “Niş Temalar” kapsamında ise *density-functional theory*, *approximation* ve *surfaces* gibi daha spesifik ve teknik alt alanları temsil eden terimlere yer verilmiştir. Bu temaların kendi içlerinde güçlü bağlantılar barındırdığı ancak genel literatürle sınırlı ilişkilere sahip olduğu görülmüştür; bu durum, söz konusu araştırmaların daha dar kapsamlı ve uzmanlaşmış çalışmaları yansıttığını göstermiştir. Sağ alt çeyrekte yer alan “Temel Temalar” ise *model*, *prediction*, *performance*, *design* ve *simulation* gibi yapay zekâ uygulamalarının temel kavramlarını içermiştir. Bu anahtar terimlerin yüksek merkezlilik değerleri, farklı tematik alanlarla ilişkili olduklarını ortaya koymuş ve enerji alanındaki yapay zekâ araştırmalarının omurgasını oluşturmuştur. Öte yandan, sol alt köşede bulunan *computed tomography* gibi kavramlar “Gelişmekte Olan veya Kaybolan Temalar” başlığı altında sınıflandırılmıştır. Bu temaların düşük merkezlilik ve yoğunluk değerleri, söz konusu kavramların ya henüz gelişim aşamasında olduğunu ya da literatürdeki önemini yitirmekte olduğunu göstermiştir.

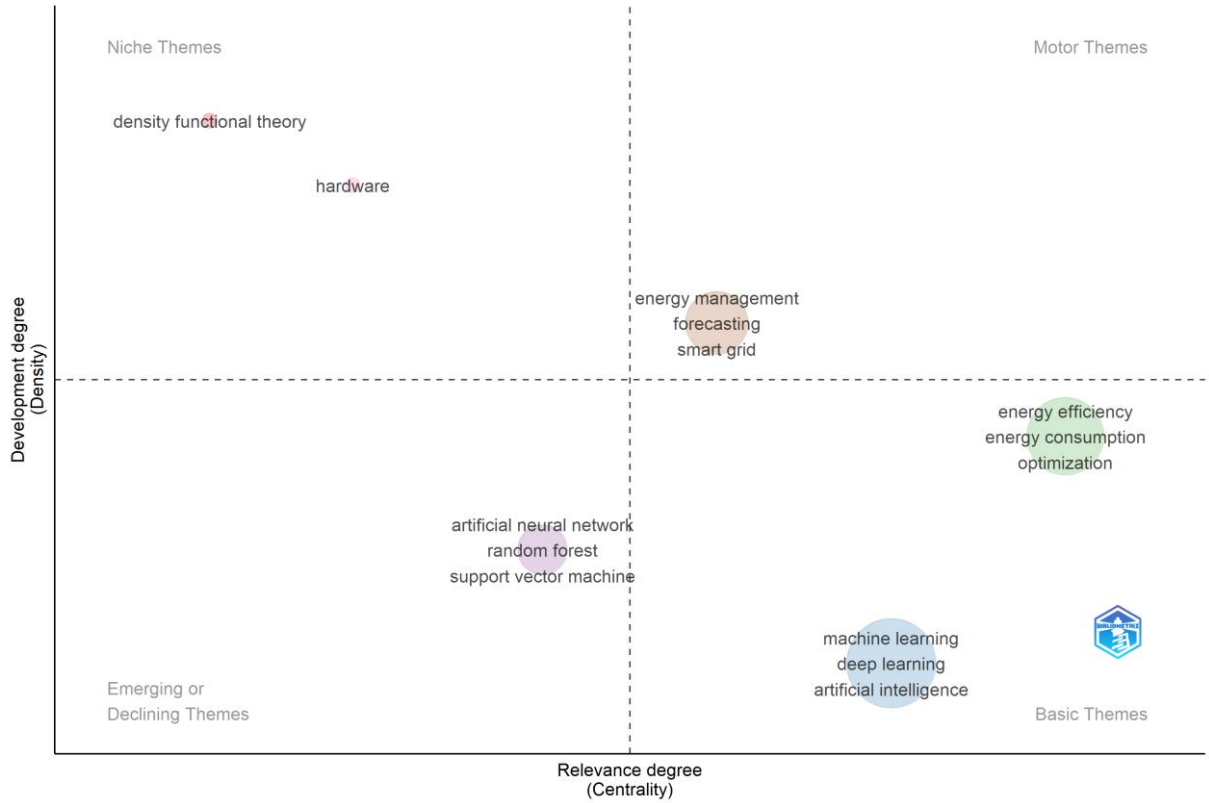
Şekil 10’da, çalışmada kullanılan *Author's Keywords* temel alınarak oluşturulan tematik harita sunulmuştur.

Sağ üst çeyrekte yer alan “Motor Temalar” bölümünde *energy management*, *forecasting* ve *smart grid* terimlerine yer verilmiştir. Bu anahtar kelimelerin hem yüksek merkezlilik hem de yüksek tematik yoğunluk değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, söz konusu temaların alanyazında güçlü bir yapısal gelişim sergilediğini ve enerji sistemlerinde yapay zekâ uygulamalarının pratik ve çözüm odaklı yönlerini temsil ettiğini ortaya koymuştur. Sağ alt çeyrekte yer alan “Temel Temalar” kategorisinde *machine learning*, *deep learning* ve *artificial intelligence* gibi yapay zekâyı ilişkin temel kavramların bulunduğu gözlemlenmiştir. Bu terimlerin yüksek merkezlilik fakat görece düşük yoğunluk değerlerine sahip olmaları, bu konuların literatürde geniş çapta kullanıldığını ancak henüz belirli bir odak çerçevesinde derinlemesine ele alınmadığını düşündürmektedir. Sol alt çeyrekte konumlanan “Gelişmekte Olan veya Kaybolan Temalar” alanında *artificial neural network*, *random forest* ve *support vector machine* gibi yöntemlerin yer aldığı belirlenmiştir. Bu anahtar kelimelerin hem merkezlilik hem de yoğunluk düzeylerinin düşük olması, bu kavramların ya yeni gelişmekte olan başlıklar ya da literatürdeki önemini zamanla yitirmekte olan konular arasında değerlendirilebileceğini göstermiştir. Sol üst çeyrekte yer alan “Niş Temalar” kısmında ise *density functional theory* ve *hardware* gibi daha teknik ve özgül terimlerin bulunduğu saptanmıştır. Bu anahtar kelimelerin yüksek tematik yoğunluk ancak düşük merkezlilik değerlerine sahip olmaları, bu konuların daha sınırlı bir literatürle ilişkili olduğu; buna karşın derinlemesine ve uzmanlaşmış araştırmaların sürdürüldüğünü göstermiştir (Şekil 10).

Şekil 9 ve Şekil 10 birlikte değerlendirildiğinde, enerji alanında yapay zekâ uygulamalarının büyük ölçüde verimlilik, enerji tüketimi analizi ve optimizasyon temaları etrafında şekillendiği ortaya konmuştur. Temel yapay zekâ yaklaşımlarının, özellikle *machine learning* (ML) ve *deep learning* (DL) tekniklerinin literatürde yaygın biçimde kullanıldığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, bazı özgül algoritmaların – örneğin *random forest*, *support vector machine* ve *artificial neural network* gibi yöntemlerin – henüz tematik olgunluk düzeyine ulaşmadığı ya da önceki dönemlere kıyasla ilgi kaybı yaşadığı gözlemlenmiştir. Öte yandan, literatürde yer alan *density functional theory* ve *hardware* gibi daha teorik ve özgün konuların ise sınırlı merkezlilik düzeyine rağmen yüksek tematik yoğunluk sergileyerek belirli araştırmacı grupları tarafından sürdürülen uzmanlaşmış çalışmaların bir yansıması olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, enerji alanında yapay zekâ uygulamalarının hem uygulamalı hem de metodolojik çeşitliliğe sahip bir yapı içerisinde geliştiğini ortaya koymuştur.



Şekil 9. Keywords Plus tematik haritası.



Şekil 10. Author's Keywords tematik haritası.

Şekil 11'de sunulan uluslararası iş birliği ağı aracılığıyla, enerji alanındaki yapay zekâ uygulamaları konusunda ülkeler arasında yürütülen akademik iş birliklerinin yapısı analiz edilmiştir. Ağ yapısında yer alan düğüm büyüklüklerinin ülkelerin bilimsel üretkenliğini,

kenarların ise iki ülke arasındaki ortak yayın sayısını temsil ettiği belirlenmiştir. Görselde en büyük düğüm olarak öne çıkan Çin'in, hem yayın sayısı hem de bağlantı yoğunluğu açısından merkezi bir konumda yer aldığı tespit edilmiştir. Çin'in özellikle Amerika Birleşik



Şekil 12. Yayınların WoS kategorilerine göre dağılımı.

Tablo 9. WoS atf konularına göre yayınların dağılımı.

Atf Konusu (Citation Topic Meso)	Kayıt Sayısı	Yüzde (%)
Power Systems & Electric Vehicles	879	19,217
Sustainability Science	589	12,877
Physical Chemistry	272	5,947
Telecommunications	271	5,925
Thermodynamics	158	3,454
Computer Vision & Graphics	110	2,405
Protein Structure, Folding & Modelling	88	1,924
Cardiology - Circulation	75	1,640
Distributed & Real Time Computing	73	1,596
Nanofibers, Scaffolds & Fabrication	62	1,355
Verisi olmayan kayıt sayısı	180	3,935

Tablo 10. WoS mikro atf konularına göre yayınların dağılımı

Mikro Atf Konusu (Citation Topic Micro)	Kayıt Sayısı	Yüzde (%)
Building Energy Efficiency	427	9,335
Energy Forecasting	357	7,805
Smart Grid Optimization	214	4,679
Electronic Structures	191	4,176
Photovoltaic Systems	133	2,908
Carbon Mitigation	97	2,121
IoT and Edge Computing	90	1,968
Electric Vehicles	89	1,946
Deep Visual Recognition	87	1,902
Coronary CT Angiography	75	1,640
Verisi olmayan kayıt sayısı	180	3,935

Tartışma

Bu çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda, 2016–2025 yılları arasında enerjide yapay zekâ (YZ) uygulamaları alanında bilimsel üretimin hızlı bir ivme

kazandığı tespit edilmiştir. Özellikle yıllık ortalama büyüme oranının %29,39 olarak belirlenmesi, bu alana yönelik artan akademik ve teknolojik ilginin bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Söz konusu eğilim, Jiao vd, (2025) ve Silva vd, (2024) tarafından yürütülen çalışmalarda da benzer şekilde raporlanmış; enerji politikaları, yenilenebilir enerji kaynakları ve sistem optimizasyonu gibi konular bağlamında YZ tekniklerinin yükselişte olduğu vurgulanmıştır.

Ülke temelli üretkenlik analizinde, Çin'in açık ara lider konumunda olduğu ortaya konmuştur (n=3499). Bu bulgu, Hou ve Wang (2023) tarafından gerçekleştirilen incelemelerle uyumlu bulunmuş ve Çin'in ulusal yapay zekâ stratejileri ile devlet destekli Ar-Ge yatırımları sayesinde enerji alanında öncü bir rol üstlendiği sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde, ABD ve Hindistan gibi ülkelerin de yüksek yayın üretkenliği sergilediği görülmüş; bu durum, söz konusu ülkelerin enerji dönüşümünde dijitalleşmeye verdikleri önemin bir yansıması olarak değerlendirilmiştir.

En üretken kurumlar arasında Çin Bilimler Akademisi ve ABD Enerji Bakanlığı'nın yer aldığı belirlenmiştir. Bu sonuç, Kalogirou (2001) gibi önceki çalışmalarda öne çıkan kurumların bugünkü liderliklerini sürdürdüklerini göstermiştir. Yazar düzeyinde ise Liu Y., Wang Y. ve Zhang H. gibi isimlerin en üretken araştırmacılar olduğu saptanmıştır. Bu durumun, Zhang vd, (2022) ve Entezari vd, (2023) gibi çalışmalarda da ortaya konduğu ve söz konusu yazarların özellikle makine öğrenmesi ve derin öğrenme tekniklerinin enerji sistemlerine entegrasyonu üzerine yoğunlaştıkları ifade edilmiştir.

Anahtar kelime analizlerinde “machine learning”, “deep learning”, “prediction”, “optimization” ve “energy efficiency” gibi kavramların öne çıktığı görülmüştür. Bu sonuçların, Shahverdi vd, (2025) ve Ying vd, (2023) gibi çalışmalarda da benzer şekilde raporlandığı; enerji tüketimi öngörüsü, yenilenebilir kaynak yönetimi ve

enerji performans tahmini gibi alanlarda YZ tekniklerinin temel araçlar olarak kullanıldığı anlaşılmıştır.

Tematik harita analizlerinde “machine learning”, “deep learning” ve “prediction” gibi konuların merkezi ve gelişmiş temalar arasında yer aldığı tespit edilmiştir. Bu durum, Callon vd, (1991) ve Aria ve Cuccurullo (2017) tarafından ortaya konan bilimsel ağ içindeki motor temalar kavramıyla örtüşmektedir. Bununla birlikte, “fuzzy logic” ve “ensemble learning” gibi bazı temaların yalnızca belirli alt alanlarda geliştiği; ancak genel alanda marjinal konumda kaldığı gözlemlenmiştir. Bu bulgu, ilgili temalarda gelecekte daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğuna işaret etmektedir.

Çalışmada kullanılan WoS sorgusunun, enerji alanındaki YZ uygulamalarını başlık düzeyinde hedeflemesi bakımından literatürle uyumlu ve yerinde bir strateji sunduğu belirlenmiştir. WoS kategori analizleri (Şekil 12) ile meso ve mikro düzeydeki atf konularının (Tablo 9 ve 10), sorguda yer alan “machine learning”, “deep learning”, “neural networks” ve “energy” gibi terimlerle yüksek düzeyde örtüştüğü saptanmıştır. Kalogirou (2001) ve Entezari vd, (2023) gibi çalışmalar da benzer şekilde, yapay zekânın özellikle enerji verimliliği, öngörü ve optimizasyon alanlarındaki uygulamalarına dikkat çekmişlerdir. Bu bulgu, kullanılan arama stratejisinin alanın entelektüel yapısını temsil etme gücünü teyit etmiştir.

Sonuç olarak, çalışmada elde edilen bulgular; enerjide yapay zekâ uygulamalarının hızla gelişen, disiplinlerarası nitelik taşıyan ve stratejik öneme sahip bir araştırma alanı olduğunu ortaya koymuştur. Literatürdeki mevcut eğilimlerle yüksek düzeyde uyum gösteren bu sonuçların, aynı zamanda alandaki mevcut araştırma boşluklarının belirlenmesine de katkı sunması öngörülmüştür.

SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, enerji alanında yapay zekâ (YZ) uygulamaları üzerine gerçekleştirilen bilimsel yayımlar bibliyometrik analiz ile incelenmiştir. 2016–2025 yılları arasında Web of Science (WoS) veri tabanında yayımlanan 4396 makaleye dayalı olarak yapılan değerlendirmeler sonucunda, ilgili alanda son yıllarda kayda değer bir artış yaşandığı ve küresel düzeyde iş birliğiyle desteklenen etkili çalışmaların üretildiği ortaya konmuştur.

Gerçekleştirilen betimsel analizler ve bilimsel iş birliği ağları aracılığıyla, Çin'in alandaki lider üretici konumunda olduğu ve “machine learning”, “deep learning” ile “energy optimization” gibi anahtar kavramların literatürde ön plana çıktığı belirlenmiştir. Tematik haritalar ve eş-oluşum analizleri yoluyla, enerjide YZ uygulamalarının hem kuramsal hem de uygulamalı boyutlarda gelişim gösterdiği ve bu gelişimin gelecekteki araştırmalar için çeşitli fırsatlar sunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Elde edilen bulgular doğrultusunda, enerji alanında yapay zekâ uygulamalarının son yıllarda ivme kazandığı, bu alanda etkili yayınların yapıldığı ve disiplinlerarası araştırma çabalarının arttığı tespit edilmiştir. Söz konusu analiz, mevcut literatürün genel çerçevesini ortaya koymuş; temel eğilimlerin, araştırma boşluklarının ve öncelikli temaların belirlenmesine olanak sağlamıştır.

Gelecek araştırmalar için, bu tür bibliyometrik analizlerin farklı veri tabanlarıyla karşılaştırmalı biçimde gerçekleştirilmesi ve alt alanlara özgü daha derinlemesine içerik analizleriyle desteklenmesi önerilmiştir.

KAYNAKLAR

Alvarez D. I., González-Ladrón-de-Guevara F., Rojas Espinoza J., Borge-Diez D., Pulla Galindo S. and Flores-Vázquez C., 2025, The evolution of AI applications in the energy system transition: A bibliometric analysis of research development, the current state and future challenges, *Energies*, 18(6), 1523.

Anastasiadou C., Santos M. Y. and Dias M. S., 2022, A machine learning approach to forecast electricity consumption in public buildings, *Energy Reports*, 8, 1756–1767.

Aria M. and Cuccurullo C., 2017, bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis, *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975.

Atabay E. and Guzeller C. O., 2021, A bibliometric study on eye-tracking research in tourism, *Tourism*, 69(4), 595–610.

Callon M., Courtial J. P. and Laville F., 1991, Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research: The case of polymer chemistry, *Scientometrics*, 22(1), 155–205.

Entezari M., Shafiee M., Nikkhah M. and Liu X., 2023, Hybrid deep learning models for short-term electricity load forecasting, *Applied Energy*, 335, 120693.

Gao Y., Cai W. and Wu J., 2025, Mapping the landscape of AI in energy: A bibliometric and thematic analysis, *Energy AI*, 12, 100272.

Hou C. and Wang Z., 2023, The evolution of artificial intelligence in smart energy systems: A bibliometric study, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 179, 113201.

Huang Y., Zhu D., Lv Q., Porter A. L., Robinson D. K. R. and Wang X., 2017, Early insights on the Emerging Sources Citation Index (ESCI): An overlay map-based bibliometric study, *Scientometrics*, 111(3), 2041–2057.

- Ji J., Yu H., Wang X. and Xu X., 2025, Machine learning application in building energy consumption prediction: A comprehensive review, *Journal of Building Engineering*, 108, 112839.
- Jiao Y., Zhang H. and Li Z., 2025, AI in energy economics: A scientometric and content analysis, *Energy Economics*, 120, 107211.
- Kalogirou S. A., 2001, Artificial neural networks in renewable energy systems applications: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5(4), 373–401.
- Liu J. and Chen J., 2025, Applications and trends of machine learning in building energy optimization: A bibliometric analysis, *Buildings*, 15(7), 994.
- Mehraj M. B., Mateu D. and Cabeza L. F., 2024, A bibliometric review of thermal energy storage technologies in smart grids, *Journal of Energy Storage*, 74, 108991.
- Mohd Nashruddin S. N. A., Mohamed Salleh F. H., Sulaiman R., Bin Mohd Zaiddy M. I., Ramasamy A. and Yahya A. A., 2025, AI-driven optimization of air-conditioning systems in legacy buildings: Evaluating machine learning models for enhanced energy efficiency, *Journal of Building Engineering*, 108, 112839.
- Shahverdi B., Saffari M. and Amiri M., 2025, Explainable AI in energy systems: Opportunities and challenges, *Energy Reports*, 11, 2031–2045.
- Silva L. D., Braz R. and Tabak B. M., 2024, Artificial intelligence in energy markets: A survey of applications and methods, *Energy Economics*, 117, 106520.
- Wang Q., Li Y. and Li R., 2025, Integrating artificial intelligence in energy transition: A comprehensive review, *Energy Strategy Reviews*, 57, 101600.
- Wei X., Zhang Q. and Tang S., 2023, Hybrid renewable energy systems and artificial intelligence: A systematic bibliometric analysis, *Renewable Energy*, 205, 1225–1240.
- Ying Y., Liu H. and Chen Y., 2023, Review on artificial intelligence applications in renewable energy systems, *Energy Reports*, 9, 5517–5534.
- Zavadskas E. K., Skibniewski M. J. and Antucheviciene J., 2014, Performance analysis of Civil Engineering Journals based on the Web of Science® database, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 14(4), 519–527.
- Zhang H., Ling X. and Lin W., 2022, Deep learning models for energy consumption forecasting: A comprehensive review, *Applied Energy*, 306, 118060.