

Küresel Sıfır Atık Literatürünün Bilgi Yapısı: Kavramsal, Operasyonel ve Teknolojik Boyutlar

Veri Kaynağı
**ScienceDirect
/ VOSviewer**

Örneklem
**1.370
Akademik Yayın**

Analiz Yılı
**2025-2026
Projeksiyonu**

1. GİRİŞ

Son yıllarda artan nüfus, hızlı kentleşme, tüketim alışkanlıklarının değişmesi ve üretim süreçlerinin yoğunlaşması, küresel ölçekte atık oluşumunun hızla artmasına yol açmıştır. Birleşmiş Milletler ve uluslararası çevre kuruluşlarının raporlarına göre dünya genelinde her yıl milyarlarca ton katı atık üretilmekte ve mevcut doğrusal üretim-tüketim modeli ("al-kullan-at") doğal kaynaklar üzerinde giderek artan bir baskı oluşturmaktadır. Bu durum, yalnızca çevresel sürdürülebilirlik açısından değil, aynı zamanda ekonomik verimlilik ve toplumsal refah açısından da önemli bir sorun alanı yaratmaktadır. Bu bağlamda, atık oluşumunu en aza indirmeyi, kaynakların yeniden kullanımını ve döngüsel üretim modellerini teşvik etmeyi amaçlayan "sıfır atık (zero waste)" yaklaşımı, son yıllarda hem politika yapımcılar hem de akademik araştırmalar açısından giderek daha fazla önem kazanan bir kavram haline gelmiştir.

Sıfır atık yaklaşımı, geleneksel atık yönetimi anlayışının ötesine geçerek atığın oluşmadan önce önlenmesini, ürün ve malzemelerin mümkün olan en uzun süre ekonomik sistem içinde tutulmasını ve doğal kaynakların daha verimli kullanılmasını hedefleyen bütüncül bir paradigma sunmaktadır. Bu yaklaşım çoğu zaman döngüsel ekonomi (circular economy) modeli ile birlikte ele alınmakta ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile doğru- dan ilişkilendirilmektedir.

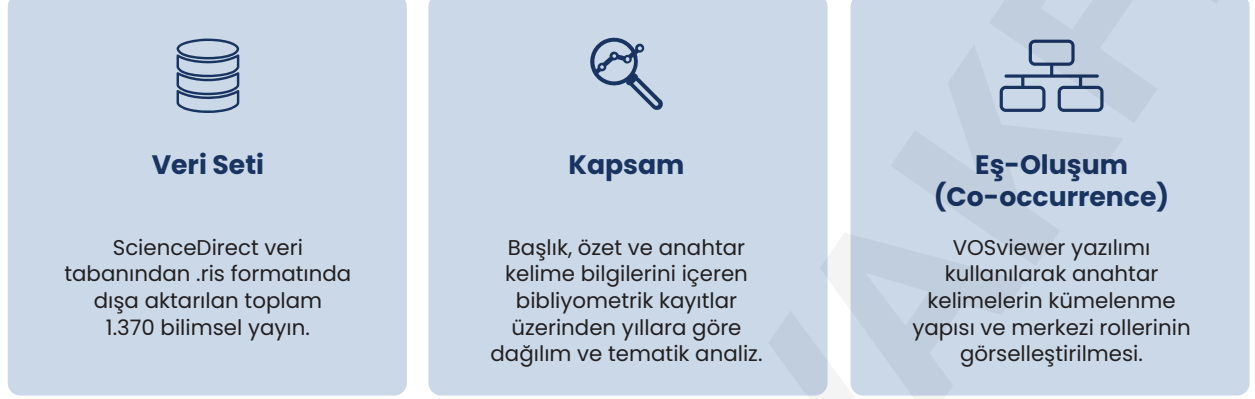
Dolayısıyla sıfır atık yalnızca atık miktarının azaltılması değil; üretim sistemlerinin, tedarik zincirlerinin, tüketim alışkanlıklarının ve politika araçlarının yeniden tasarlanmasını gerektiren sistemsel bir dönüşüm olarak değerlendirilmektedir.

Bu dönüşüm sürecinin bilimsel temellerini ortaya koymak ve literatürdeki araştırma eğilimlerini analiz etmek amacıyla kapsamlı literatür incelemeleri önemli bir rol oynamaktadır. Akademik literatürün sistematik biçimde incelenmesi, araştırma alanındaki bilgi birikiminin haritalandırılmasına, öne çıkan temaların belirlenmesine ve gelecekteki araştırma yönelimlerinin ortaya konmasına katkı sağlamaktadır. Bu tür analizler aynı zamanda politika geliştirme süreçleri için de önemli bir bilgi altyapısı sunmaktadır.

Bu raporda, sıfır atık alanındaki akademik çalışmaların genel eğilimlerini ortaya koymak, literatürde öne çıkan temaları ve araştırma odaklarını belirlemek ve bu alandaki bilgi birikiminin sistematik bir değerlendirmesini sunmak amacıyla gerçekleştirilen bibliyometrik ve ağ analiziyle, sıfır atık literatürünün gelişim dinamiklerinin anlaşılması ve gelecekteki araştırma yönelimlerine ışık tutulmasına katkı sağlanması hedeflenmektedir.

2. Metod – Yöntem

Rapor kapsamında, sıfır atık ve ilişkili kavramlara odaklanan bilimsel çalışmaların genel eğilimlerini ortaya koymak amacıyla bibliyometrik ve ağ analizi yöntemlerinden yararlanılmıştır.

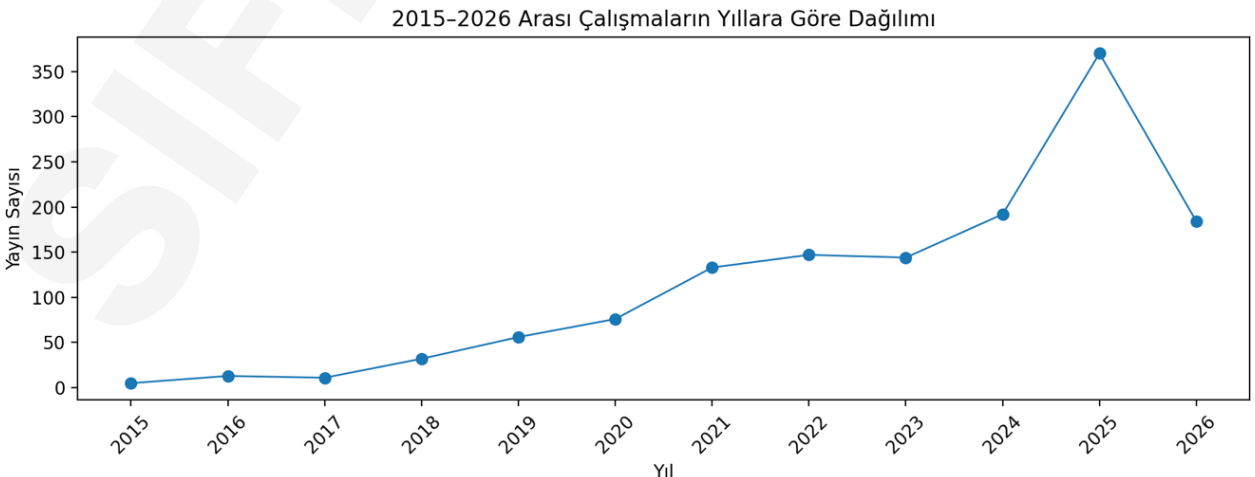


Literatür taraması sonucunda elde edilen çalışmalar, ScienceDirect veri tabanından .ris formatında dışa aktarılmış ve bibliyografik veri seti oluşturulmuştur. Toplam 1.370 bilimsel yayını içeren bu veri seti, başlık, özet ve anahtar kelime bilgilerini içeren bibliyometrik kayıtlar üzerinden analiz edilmiştir. Bu kapsamda çalışmaların yıllara göre dağılımı, öne çıkan araştırma temaları ve anahtar kelime ağ yapıları incelenmiştir.

Anahtar kelimeler arasındaki ilişkileri ortaya koymak amacıyla gerçekleştirilen eş-oluşum (co-occurrence) analizi, VOSviewer yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sayesinde literatürde sık kullanılan kavramların birbirleriyle olan ilişkileri görselleştirilmiş ve araştırma alanının tematik yapısı belirlenmiştir. Anahtar kelimelerin kümelenme yapısı, sıfır atık literatürünün hangi alt araştırma alanlarında yoğunlaştığını ve hangi kavramların literatür içinde merkezi rol oynadığını ortaya koymaktadır.

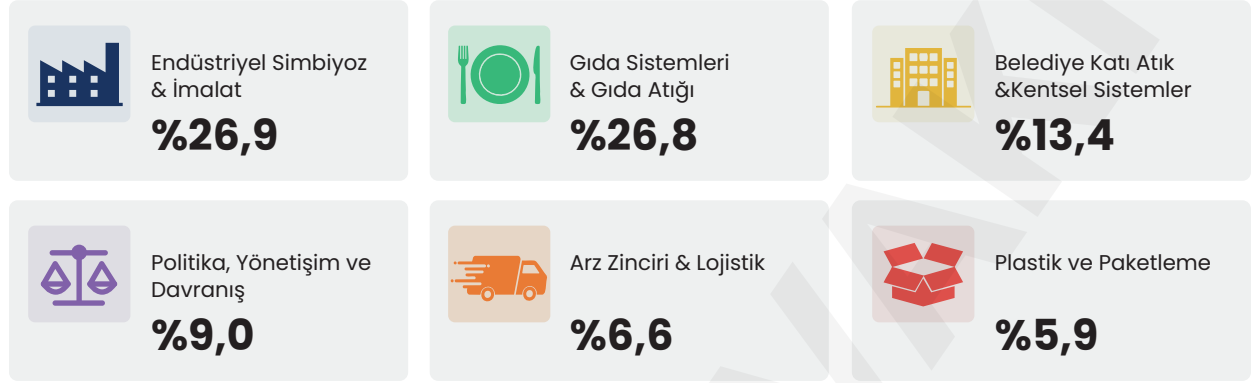
3. Bulgular

Sıfır atık literatüründe gerçekleştirilen bilimsel çalışmaların yıllara göre dağılımı incelendiğinde, 2015 sonrası dönemde düzenli ve istikrarlı bir artış gözlenmektedir. 2018 sonrası dönemde ivmelenme belirginleşmekte olup, 2024-2025 yıllarında literatür hacmi en yüksek seviyeye ulaşmıştır.



Bu artışın küresel ölçekte, döngüsel ekonomi politikalarının yaygınlaşması, Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'nin uygulama aşamasına geçmesi ve karbon azaltımı ve atık yönetimi regülasyonlarının güçlenmesi konuları ile paralel ilerlediği değerlendirilmektedir.

Gerçekleştirilen Tematik Küme Analiziyle, çalışmaların başlık, anahtar kelime ve özet metinleri kullanılarak yapılan kural-tabanlı sınıflamada ise en baskın temalar şu şekilde tespit edilmiştir:



Bu dağılım, literatürün üç ana ekseninde yoğunlaştığını göstermektedir: "Endüstriyel üretim ve simbiyoz uygulamaları", "Gıda sistemleri ve gıda atıkları", "Kentsel ve belediye atık yönetim sistemleri".

Dolayısıyla sıfır atık yaklaşımı, ağırlıklı olarak sistemsel ve üretim temelli uygulamalar üzerinden ele alınmaktadır.

2015-2026 dönemi incelendiğinde ise:



Bu sonuçlar, sıfır atık literatürünün giderek daha sistematik ve politika destekli bir yapıya dönüştüğünü göstermektedir. Tema-yıl yoğunluk analizi, 2015 sonrası dönemde özellikle, "endüstriyel simbiyoz", "gıda atığı", "belediye atığı" başlıklarında paralel artış olduğunu göstermektedir.

Bu eğilim, küresel üretim ve kentleşme politikaları ile uyumludur ve sıfır atık yaklaşımının uygulama boyutunun güçlendiğini işaret etmektedir.

Bu yapı, sıfır atık kavramının literatürde çoğunlukla sistem dönüşümü, kaynak verimliliği ve endüstriyel entegrasyon bağlamında ele alındığına da işaret etmektedir.

Analizimizde ortaya çıkan tematik kümelere ilişkin olarak öne çıkan en önemli anahtar kelimeler ise şu şekilde sınıflandırılabilir:

Küme 1: "Döngüsel Ekonomi Çekirdeği ve Uygulama Engelleri"

Öne çıkan anahtar kelimeler:

- Circular economy (döngüsel ekonomi)
- Built environment (yapılı çevre)
- Barriers (engeller)
- Transition (geçiş süreci)
- Implementation (uygulama)
- Framework (çerçeve)

Yorum: Bu küme, sıfır atık literatürünün ana kavramsal omurgasını oluşturmaktadır. Döngüsel ekonomiye geçiş, uygulama engelleri ve kurumsal çerçeveler bu ekseninde yoğunlaşmaktadır.

Küme 2: "Sürdürülebilirlik ve Dijital Dönüşüm"

Öne çıkan anahtar kelimeler:

- Sustainability (sürdürülebilirlik)
- Industry 4.0 (endüstri 4.0)
- Artificial intelligence (yapay zekâ)
- Digitalization (dijitalleşme)
- Climate change (iklim değişikliği)
- Smart systems (akıllı sistemler)

Yorum: Bu küme, sıfır atık yaklaşımının dijital araçlar ve akıllı üretim sistemleri ile bütünleştiğini göstermektedir. Sürdürülebilirlik hedefleri ile teknolojik dönüşüm aynı ağ içinde yer almaktadır.

Küme 2: "Sürdürülebilirlik ve Dijital Dönüşüm"

Öne çıkan anahtar kelimeler:

- Sustainability (sürdürülebilirlik)
- Industry 4.0 (endüstri 4.0)
- Artificial intelligence (yapay zekâ)
- Digitalization (dijitalleşme)
- Climate change (iklim değişikliği)
- Smart systems (akıllı sistemler)

Yorum: Bu küme, sıfır atık yaklaşımının dijital araçlar ve akıllı üretim sistemleri ile bütünleştiğini göstermektedir. Sürdürülebilirlik hedefleri ile teknolojik dönüşüm aynı ağ içinde yer almaktadır.

4. Sıfır Atık'da Köprü Terimler

Ağ analizinde bazı terimler yalnızca sık tekrar edilmekle kalmayıp, çok sayıda farklı küme ile güçlü bağlantı kurmaktadır. Bu terimler literatürün bütünleştirici çekirdek kavramlarını temsil etmektedir.

Çalışmamızda en güçlü köprü terimler şu şekilde tespit edilmiştir:

- Circular economy (döngüsel ekonomi)
- Sustainability (sürdürülebilirlik)
- Waste management (atık yönetimi)
- Life cycle assessment (yaşam döngüsü değerlendirmesi)
- Industry 4.0 (endüstri 4.0)
- Recycling (geri dönüşüm)

Bu terimler:

- Kavramsal (sustainability),
- Operasyonel (waste management, recycling),
- Analitik (life cycle assessment),
- Teknolojik (industry 4.0),
- Sistemsel (circular economy)

boyutları aynı ağ içinde birleştirmektedir. Dolayısıyla sıfır atık literatürü, yalnızca atık azaltımı değil; dijital dönüşüm + sistem tasarımı + çevresel ölçüm + politika uyum ekseninde bütünleşik bir yapı sergilemektedir.

5. Sonuç ve Değerlendirme

Sıfır atık bilimsel literatürüne ilişkin gerçekleştirilen ağ analizi sonucunda, araştırmaların üç ana teknik ekseninde yoğunlaştığı ve alanın disiplinler arası bir karakter kazandığı tespit edilmiştir:

- 1 Kavramsal Çerçeve:** Döngüsel ekonomi, sürdürülebilirlik, sürdürülebilir kalkınma ve Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SKH) bu eksenin teorik zeminini oluşturmaktadır.
- 2 Uygulama Mekanikliği ve Sistem Tasarımı:** Atık yönetimi, geri dönüşüm, kaynak geri kazanımı, belediye katı atıkları, endüstriyel simbiyoz ve biyorafineri gibi operasyonel süreçleri kapsamaktadır.
- 3 Ölçme, Değerlendirme ve Optimizasyon:** Yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA), karbon ayak izi, kaynak verimliliği, Endüstri 4.0, yapay zekâ, dijitalleşme ve akıllı şehirler gibi teknolojik bileşenlerden oluşmaktadır.

Anahtar Kelime Dinamikleri ve Köprü Terimler

Ağda en yüksek tekrar sayısına sahip anahtar kelime "circular economy (döngüsel ekonomi)" olup hem tekrar sıklığı hem de toplam bağ gücü açısından belirgin bir merkezî konuma sahiptir. İkinci düzeyde öne çıkan; sürdürülebilirlik, atık yönetimi, Endüstri 4.0, gıda atığı, endüstriyel simbiyoz, LCA ve geri dönüşüm gibi kavramların birlikte yüksek bağ gücüne sahip olması, alanın kavramsal, operasyonel ve teknolojik boyutlarının entegre biçimde geliştiğini kanıtlamaktadır.

Analizde bazı kavramlar farklı tematik kümeler arasında "köprü terim" rolü üstlenmektedir:

- **Döngüsel Ekonomi:** Endüstriyel simbiyoz, atık yönetimi ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri arasında sistemsel bir bağ kurmaktadır.
- **Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA):** Çevresel etki analizi, karbon ayak izi ve kaynak verimliliği çalışmalarını bir araya getiren analitik bir köprü işlevi görmektedir.

Tematik Küme ve Sınıflama Bulguları

Kümeler içinde gıda sistemleri ve enerji geri kazanımı temaları (gıda atığı, anaerobik çürütme ve yenilenebilir enerji) belirgin bir yer tutmaktadır. Tematik sınıflama bulguları, literatürün ağırlıklı olarak şu dört ekseninde toplandığını teyit etmektedir:

- **Endüstriyel üretim ve endüstriyel simbiyoz.**
- **Gıda sistemleri ve gıda atıkları.**
- **Belediye katı atıkları ve kentsel sistemler.**
- **Politika, yönetim ve davranış odaklı çalışmalar.**

Genel Sonuçlar

Bibliyometrik ve tematik analiz, aşağıdaki temel sonuçları ortaya koymaktadır:

- **Büyüme İvmesi:** Literatür özellikle son 10 yılda, 2018 sonrası belirginleşen bir ivmeyle güçlü büyüme göstermiştir.
- **Sistemsel Dönüşüm:** Sıfır atık kavramı, bağımsız bir dar başlık yerine döngüsel ekonomi literatürünün stratejik bir alt bileşeni ve sistemsel bir dönüşüm paradigması olarak ele alınmaktadır.
- **Disiplinler Arası Karakter:** Alan; çevre mühendisliği sınırlarını aşarak dijitalleşme, karbon azaltımı ve politika tasarımı gibi çok boyutlu başlıklarla bütünleşmiştir.
- **Gelecek Öngörüsü:** Dijital dönüşüm ve Endüstri 4.0 bileşenlerinin ağ içindeki güçlü varlığı, alanın gelecekte veri temelli ve akıllı sistemlere daha fazla entegre olacağına işaret etmektedir.

6. Politika ve Strateji Önerileri

Analiz edilen literatür örüntüsü, "sıfır atık" hedeflerinin tek bir teknik müdahale ile değil; önleme-yeniden kullanım-geri dönüşüm-geri kazanım zincirinin bütünleşik biçimde yönetilmesiyle başarıya ulaşabildiğini göstermektedir. AB atık politikalarının temelini oluşturan atık hiyerarşisi yaklaşımı, uygulama önceliklerinin (önleme ve yeniden kullanım) netleştirilmesi açısından referans çerçeve sunmaktadır.

Bu bağlamda politika/strateji önerilerimiz aşağıdaki başlıklarda sınıflandırılmıştır:

- 1 Atık önleme ve yeniden kullanımın teşviki:** Tek kullanımlık ürünler, paketlenme azaltımı ve yeniden kullanım altyapısı (depozito, yeniden dolun sistemleri) ile önleme basamağının güçlendirilmesi.
- 2 Belediye ölçeğinde ayrıştırma ve toplama performansı:** Kentsel sistemlerde ayrı toplama verimliliği, kaçak/karışık atık oranı ve hane düzeyi uyum göstergelerinin rutin izlenmesi.
- 3 Endüstriyel simbiyoz ve üretim dönüşümü:** Sanayide yan ürünlerin ikincil hammaddeye dönüştürüldüğü simbiyoz ağlarının teşviki; kaynak verimliliği hedefleriyle uyumlu ekonomik araçların (teşvik/vergisel düzenlemeler) geliştirilmesi.
- 4 Göstergesi ve izleme-raporlama altyapısı:** OECD'nin de vurguladığı şekilde, döngüsel ekonomi ilerlemesini izlemeye dönük uyumlu veri, göstergesi ve raporlama altyapısının kurulması (malzeme akış hesapları, sektör-bazlı göstergeler, yerel yönetim göstergeleri).
- 5 Davranış değişikliği ve paydaş yönetimi:** Politika tasarımında tüketici davranışı, farkındalık ve paydaş katılımını içeren araçların (etiketleme, bilinçlendirme, kamu-özel iş birliği) entegre edilmesi.

7. Türkiye Perspektifi ile Değerlendirme

Türkiye'de "Sıfır Atık" yaklaşımı, 2017'de başlatılan ulusal girişim çerçevesinde kamuoyunda görünürlük kazanmıştır ve uluslararası kurumlar tarafından da "Sorumlu üretim ve tüketim" hedefiyle ilişkilendirilerek ödüllendirilmiştir. Bu durum, Türkiye'nin "sıfır atık" kavramını politika ve toplumsal farkındalık düzeyinde sahiplenmesi açısından güçlü bir çerçeve sunduğunu göstermektedir.

Bununla birlikte literatür bulguları, "sıfır atık" hedeflerinin uygulamadaki başarısı için üç kritik unsurun birlikte ilerlemesi gerekliliğini göstermektedir:

- 1 Atık önleme ve yeniden kullanım altyapısı,**
- 2 Belediye düzeyinde ayrıştırma/toplama kapasitesi ve veri kalitesi,**
- 3 Sanayi ölçeğinde kaynak verimliliği ve simbiyoz ağları.**

OECD'nin izleme çerçevesi vurgusu bu gereklilikleri destekler niteliktedir. Türkiye perspektifinde ise, raporun uygulamaya dönük değerini artırmak için "sıfır atık" bileşenlerinin aşağıdaki şekilde ölçülebilir hedeflerle ilişkilendirilmesi önerilebilir:

- 1 Belediye bazında ayrı toplama oranları ve kirlenme (contamination) oranları,**
- 2 Sektör bazında ikincil hammadde kullanımı,**
- 3 Depozito/yeniden kullanım sistem kapsamı,**
- 4 Malzeme akış hesaplarıyla uyumlu ulusal göstergesi.**

