TARIM, ORMAN VE SU BİLİMLERİNDE YENİ YAKLAŞIMLAR:

KURAM, YÖNTEM, UYGULAMA

Editörler
Prof. Dr. Gökhan AYDIN
Prof. Dr. Vecdi DEMİRCAN

DUVAR



TARIM, ORMAN VE SU BİLİMLERİNDE YENİ YAKLAŞIMLAR: KURAM, YÖNTEM, UYGULAMA
Editörler: Prof. Dr. Gökhan AYDIN, Prof. Dr. Vecdi DEMİRCAN

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek
Kapak ve SayfaTasarımı: Duvar Design
Baskı: Aralık 2025
Yayıncı Sertifika No: 49837
ISBN: 978-625-8698-50-3

© Duvar Yayınları
853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir
Tel: 0 232 484 88 68

www.duvaryayinlari.com
duvarkitabevi@gmail.com

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir. Yayınevi ve editörler sorumlu tutulamaz.

8. Bölüm 118
Avcı Akarların Sıcaklık Stresi Altında Biyolojik Performansı: Gelişim, Üreme ve Av Tüketimi
Nihal KILIÇ

9. Bölüm 139
Pleurotus ostreatus Mantar Türünde Görülen Mikrobiyal Hastalıklar
Nurhan ÖZTÜRK

10. Bölüm 153
Tarımsal Atıkların Geri Dönüşüme Kazandırılma Yolları
Sancar BULUT

11. Bölüm 166
Balıkçılıkta Su Kalite Kriterleri
Serap SALER

12. Bölüm 208
Karayemiş *(Prunus laurocerasus L.)* Yaprak Metanol Ekstraktlarının Gıda Patojeni Bakterilere Karşı Antibakteriyel Potansiyelinin Belirlenmesi
Tülay DURAN

10. Bölüm

Tarımsal Atıkların Geri Dönüşüme Kazandırılma Yolları

Sancar BULUT[1]

Özet

Tarımsal üretim süreçleri sonucunda ortaya çıkan atıklar, çevresel sürdürülebilirlik ve kaynak verimliliği açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Bitkisel ve hayvansal üretim faaliyetleri sırasında oluşan bu atıkların uygun yöntemlerle geri dönüşüme kazandırılması, hem çevresel etkilerin azaltılmasına hem de ekonomik katma değer yaratılmasına katkı sağlamaktadır. Bu çalışmada tarımsal atıklar türlerine göre sınıflandırılmış; kompostlama, biyogaz üretimi, biyochar uygulamaları ve endüstriyel kullanım gibi geri dönüşüm yöntemleri bilimsel literatür ışığında değerlendirilmiştir. Ayrıca tarımsal atık geri dönüşümünün çevresel ve ekonomik etkileri ele alınmış, dünyada ve Türkiye'de uygulanan örnekler incelenmiş ve karşılaşılan sorunlara yönelik çözüm önerileri sunulmuştur. Çalışmanın bulguları, tarımsal atıkların etkin yönetiminin sürdürülebilir tarım ve döngüsel ekonomi hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tarımsal atıklar, geri dönüşüm, sürdürülebilir tarım, biyogaz, döngüsel ekonomi

RECYCLING PATHWAYS FOR AGRICULTURAL WASTES

Abstract

Agricultural production processes generate significant amounts of waste, which possess considerable potential in terms of environmental sustainability and resource efficiency. The proper recycling and recovery of agricultural wastes arising from plant and animal production activities contribute to both the reduction of environmental impacts and the creation of economic value. In this study, agricultural wastes are classified according to their types, and recycling

[1] Kayseri Üniversitesi, Safiye Çıkrıkçıoğlu Meslek Yüksekokulu Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, sancarbulut@kayseri.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-6261-0256

methods such as composting, biogas production through anaerobic digestion, biochar applications, and industrial utilization are evaluated based on scientific literature. In addition, the environmental and economic impacts of agricultural waste recycling are examined, global and Türkiye-based practices are reviewed, and solutions to the challenges encountered in implementation are proposed. The findings of the study demonstrate that effective agricultural waste management plays a critical role in achieving sustainable agriculture and circular economy objectives.

Keywords: Agricultural waste, Recycling, Sustainable agriculture, Biogas, Circular economy

1. GİRİŞ

Dünya genelinde nüfus artışı, kentleşme ve değişen tüketim alışkanlıkları, tarımsal üretimin yoğunlaşmasına ve buna bağlı olarak büyük miktarda tarımsal atığın ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), tarım ve gıda tedarik zinciri boyunca önemli miktarda biyokütle kaybı ve atık oluştuğunu rapor etmektedir (FAO, 2019). Bu atıkların uygun şekilde yönetilememesi; toprak, su ve hava kirliliği gibi çevresel sorunlara yol açmakta ve doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı artırmaktadır.

Tarımsal atıkların geri dönüşüme kazandırılması, sürdürülebilir tarım uygulamalarının temel bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Döngüsel ekonomi yaklaşımı, tarımsal atıkların birer "atık" değil, yeniden kullanılabilir birer kaynak olarak değerlendirilmesini öngörmektedir (EC., 2020). Bu yaklaşım, hem çevresel etkilerin azaltılmasını hem de tarımsal üretimde kaynak verimliliğinin artırılmasını hedeflemektedir.

Literatürde tarımsal atıkların geri dönüşümü; kompostlama, anaerobik sindirim yoluyla biyogaz üretimi, biyochar uygulamaları ve endüstriyel hammaddeye dönüştürme gibi yöntemlerle ele alınmaktadır. Bu yöntemlerin her biri, atığın türüne ve fiziksel–kimyasal özelliklerine bağlı olarak farklı çevresel ve ekonomik faydalar sunmaktadır (Bernal vd.2017; Lehmann & Joseph, 2015).

Bu çalışmanın amacı, tarımsal atıkların geri dönüşüme kazandırılma yollarını bilimsel kaynaklar ışığında incelemek, mevcut uygulamaları değerlendirmek ve sürdürülebilir tarım politikalarına yönelik öneriler geliştirmektir. Bu kapsamda çalışma, tarımsal atık yönetiminin çevresel, ekonomik ve politik boyutlarını bütüncül bir yaklaşımla ele almaktadır.

2. TARIMSAL ATIK KAVRAMI VE TÜRLERİ

Tarımsal atıklar, tarımsal üretim faaliyetleri sırasında veya sonrasında ortaya çıkan, doğrudan gıda ya da ürün olarak değerlendirilemeyen organik ve inorganik materyaller olarak tanımlanmaktadır (Singh vd.2020). Bu atıklar, bitkisel üretim, hayvansal üretim ve tarımsal ürünlerin işlenmesi süreçlerinde farklı miktar ve özelliklerde oluşmaktadır. FAO'ya göre tarımsal atıkların etkin şekilde yönetilmesi, gıda güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından temel bir gerekliliktir (FAO, 2019).

Tarımsal atıkların geri dönüşüm potansiyelinin doğru şekilde değerlendirilmesi için bu atıkların türlerine göre sınıflandırılması büyük önem taşımaktadır. Bilimsel literatürde tarımsal atıklar genel olarak **bitkisel üretim atıkları**, **hayvansal üretim atıkları** ve **tarımsal sanayi atıkları** olmak üzere üç ana grupta ele alınmaktadır (Singh vd.2020).

Tarımsal atıklar, tarımsal üretim faaliyetleri sırasında ortaya çıkan ve doğrudan tüketilemeyen organik ve inorganik materyaller olarak tanımlanmaktadır (Singh vd.2020).

2.1 Bitkisel Üretim Atıkları

Bitkisel üretim atıkları, tarla ve bahçe bitkilerinin ekim, yetiştirme, hasat ve budama aşamalarında ortaya çıkan organik materyallerdir. Bu atıklar çoğunlukla sap, saman, anız, yaprak, dal ve meyve–sebze artıklarından oluşmaktadır. Lal (2015), bitkisel üretim atıklarının yüksek oranda lignoselülozik yapı içerdiğini ve bu nedenle toprak iyileştirme ve enerji üretimi açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu belirtmektedir.

Bitkisel üretim atıklarının kontrolsüz şekilde yakılması veya tarlada bırakılması, hava kirliliği ve toprak organik madde kaybı gibi olumsuz çevresel etkilere yol açmaktadır. Buna karşılık bu atıkların kompostlama, biyochar üretimi ve biyokütle enerjisi uygulamalarıyla değerlendirilmesi, sürdürülebilir tarım uygulamalarını desteklemektedir (Zhang vd.2018).

2.2 Hayvansal Üretim Atıkları

Hayvansal üretim atıkları, büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanları yetiştiriciliği sonucunda ortaya çıkan organik atıklardır. Bu gruba hayvan gübresi, idrar, altlık materyalleri ve kesimhane atıkları dâhil edilmektedir. Hayvansal atıkların uygun şekilde yönetilmemesi; yeraltı sularında nitrat kirliliği, koku problemleri ve sera gazı emisyonlarının artmasına neden olmaktadır (IPCC, 2019).

Bilimsel çalışmalar, hayvansal atıkların anaerobik sindirim yoluyla biyogaz üretiminde yüksek verim sağladığını göstermektedir. Bu süreç sonucunda elde

edilen digestatın (kalıntı, atık) tarımsal alanlarda organik gübre olarak kullanılması, besin döngüsünün sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır (Ward vd.2018).

2.3 Tarımsal Sanayi Atıkları

Tarımsal sanayi atıkları, tarımsal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan yan ürünler ve artık maddelerden oluşmaktadır. Zeytin posası, şeker pancarı küspesi, pirinç kabuğu, meyve suyu üretim artıkları ve kabuklu yemiş atıkları bu gruba örnek olarak verilebilir.

Mirabella et al. (2014), tarımsal sanayi atıklarının yüksek organik madde içeriği sayesinde biyogaz üretimi, hayvan yemi katkısı ve biyobazlı (hayvan ya da bitkilerden elde edilen biyokütleden oluşan ürün ya da madde) ürünlerin üretiminde değerlendirilebileceğini vurgulamaktadır. Bu atıkların geri dönüşümü, tarım ve sanayi sektörleri arasında döngüsel bir kaynak akışı oluşturulmasına olanak tanımaktadır.

2.4 Tarımsal Atıkların Sınıflandırılmasının Önemi

Tarımsal atıkların türlerine göre sınıflandırılması, geri dönüşüm ve yeniden kullanım yöntemlerinin doğru seçilmesini sağlamaktadır. Atıkların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin dikkate alınmaması, geri dönüşüm süreçlerinde verim kaybına neden olabilmektedir. Bu nedenle entegre tarımsal atık yönetimi yaklaşımları, sürdürülebilir tarım politikalarının önemli bir bileşeni olarak değerlendirilmektedir (Singh vd.2020).

3. TARIMSAL ATIKLARIN GERİ DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİ

Tarımsal atıkların geri dönüşümü, çevresel zararların azaltılması ve tarımsal üretimde kaynak verimliliğinin artırılması açısından kritik bir öneme sahiptir. Geleneksel bertaraf yöntemleri (yakma, düzensiz depolama), sera gazı emisyonlarını artırmakta ve ekosistemler üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Buna karşılık, modern geri dönüşüm yöntemleri tarımsal atıkları katma değeri yüksek ürünlere dönüştürmektedir (Singh vd.2020).

3.1 Kompostlama

Kompostlama, organik atıkların aerobik koşullar altında mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılarak stabil bir toprak düzenleyiciye dönüştürülmesi sürecidir. Tarımsal üretimde ortaya çıkan bitkisel atıklar ve hayvansal gübreler, kompostlama için en uygun hammaddeler arasında yer almaktadır.

Bernal et al. (2017), kompostlamanın tarımsal atık hacmini azaltmasının yanı sıra toprağın organik madde içeriğini artırarak toprak verimliliğini iyileştirdiğini

belirtmektedir. Kompost uygulamaları, toprağın su tutma kapasitesini artırmakta ve kimyasal gübre kullanımını azaltmaktadır.

Ayrıca kompostlama, açıkta çürümeye bağlı metan emisyonlarını azaltarak iklim değişikliğiyle mücadeleye katkı sağlamaktadır (Awasthi vd.2019).

3.2 Anaerobik Sindirim ve Biyogaz Üretimi

Anaerobik sindirim, organik atıkların oksijensiz ortamda mikroorganizmalar tarafından parçalanması sürecidir. Bu süreç sonucunda biyogaz (çoğunlukla metan ve karbondioksit) ve yan ürün olarak digestat elde edilmektedir. Hayvansal üretim atıkları, yüksek biyogaz verimi nedeniyle bu yöntemde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) göre biyogaz, tarımsal atıkların enerjiye dönüştürülmesinde en etkili yenilenebilir enerji teknolojilerinden biridir (IEA, 2020). Anaerobik sindirim, aynı zamanda hayvansal atıklardan kaynaklanan metan emisyonlarının atmosfere doğrudan salınımını önlemektedir.

Ward et al. (2018), sindirim sonrası oluşan digestatın tarımsal alanlarda organik gübre olarak güvenle kullanılabildiğini ve besin maddelerinin döngüselliğini desteklediğini ortaya koymuştur.

3.3 Biyochar (Biyokömür) Üretimi

Biyochar, tarımsal atıkların oksijensiz veya sınırlı oksijenli ortamda piroliz işlemine tabi tutulmasıyla elde edilen karbon açısından zengin bir materyaldir. Bitkisel üretim atıkları ve tarımsal sanayi yan ürünleri, biyochar üretimi için uygun hammaddelerdir.

Lehmann ve Joseph (2015), biyochar uygulamalarının toprakta karbon tutulumu sağlayarak iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir rol oynadığını belirtmektedir. Biyochar, toprağın besin tutma kapasitesini artırmakta ve toprak pH'ının dengelenmesine katkı sağlamaktadır.

Biyochar uygulamalarının uzun vadede toprak verimliliğini artırdığı ve tarımsal üretimde sürdürülebilirliği desteklediği bilimsel çalışmalarla ortaya konmuştur (Woolf vd.2010; Gökalp & Bulut, 2022).

3.4 Tarımsal Atıkların Endüstriyel ve Enerjik Kullanımı

Tarımsal atıklar, yalnızca tarımsal üretimde değil, sanayi sektöründe de önemli bir ham madde kaynağıdır. Lignoselülozik yapıya sahip tarımsal atıklar; biyoyakıt, biyoplastik, kağıt ve yapı malzemeleri üretiminde değerlendirilmektedir.

Avrupa Birliği tarafından oluşturuKomisyonu 2020 yılındaki raporda, tarımsal atıkların sanayiye entegre edilmesinin döngüsel ekonomi hedeflerinin

gerçekleştirilmesi açısından önemli olduğunu vurgulamaktadır. Bu uygulamalar, fosil kaynaklara olan bağımlılığı azaltmakta ve sürdürülebilir üretim modellerini desteklemektedir (EC., 2020).

3.5 Entegre Geri Dönüşüm Yaklaşımları

Literatürde, tarımsal atık yönetiminde tek bir yöntemin yeterli olmadığı, entegre sistemlerin daha yüksek çevresel ve ekonomik fayda sağladığı belirtilmektedir. Kompostlama, biyogaz ve biyochar uygulamalarının birlikte kullanılması, tarımsal atıkların maksimum verimle değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır (Singh vd.2020).

4. TARIMSAL ATIKLARIN ÇEVRESEL VE EKONOMİK ETKİLERİ

Tarımsal atıkların geri dönüşüme kazandırılması, çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik kalkınma açısından önemli faydalar sağlamaktadır. Tarımsal üretim faaliyetleri sırasında ortaya çıkan atıkların kontrolsüz biçimde çevreye bırakılması; toprak, su ve hava kirliliğine neden olmakta ve ekosistem dengesini olumsuz yönde etkilemektedir. Buna karşılık, geri dönüşüm uygulamaları çevresel riskleri azaltmakta ve tarımsal üretimde kaynak verimliliğini artırmaktadır (FAO, 2019).

4.1 Çevresel Etkiler

Tarımsal atıkların uygun olmayan yöntemlerle bertaraf edilmesi, özellikle su ve toprak kirliliği açısından ciddi sorunlara yol açmaktadır. Hayvansal üretim atıklarından kaynaklanan nitrat ve fosfat kirliliği, yeraltı ve yüzey sularında ötrofikasyona (göl gibi herhangi bir büyük su ekosisteminde, başta karalardan gelenler olmak üzere, çeşitli nedenlerle besin maddelerinin büyük oranda artması sonucu, plankton ve alg varlığının aşırı şekilde çoğalması) neden olmaktadır (EPA, 2019). Ayrıca, organik atıkların açıkta çürümeye bırakılması metan gibi güçlü sera gazlarının atmosfere salınmasına yol açmaktadır.

Biyogaz üretimi ve kompostlama gibi geri dönüşüm yöntemleri, tarımsal atıklardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltmaktadır. IPCC (2022), organik atıkların kontrollü şekilde yönetilmesinin tarım sektöründeki sera gazı azaltım potansiyelini artırdığını vurgulamaktadır.

Biyochar uygulamaları ise toprakta uzun süreli karbon depolanmasını destekleyerek karbon döngüsünün dengelenmesine katkı sağlamaktadır (Woolf vd.2010; Gökalp & Bulut, 2022). Bu yönüyle tarımsal atık geri dönüşümü, iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir.

4.2 Ekonomik Etkiler

Tarımsal atıkların geri dönüşümü, ekonomik açıdan da önemli avantajlar sunmaktadır. Organik gübre ve kompost kullanımı, kimyasal gübre ihtiyacını azaltarak üretim maliyetlerini düşürmektedir. Ayrıca biyogaz tesisleri, tarımsal işletmeler için alternatif bir gelir kaynağı oluşturmaktadır (IEA, 2020).

World Bank (2021), tarımsal atık geri dönüşüm projelerinin kırsal bölgelerde istihdam yaratma potansiyeline sahip olduğunu ve yerel ekonomilerin güçlendirilmesine katkı sağladığını belirtmektedir. Bu durum, tarımsal atık yönetiminin yalnızca çevresel değil, aynı zamanda sosyoekonomik bir araç olduğunu göstermektedir.

4.3 Sürdürülebilir Tarım Açısından Değerlendirme

Sürdürülebilir tarım, doğal kaynakların korunması, ekonomik verimlilik ve sosyal refahın birlikte sağlanmasını hedeflemektedir. Tarımsal atıkların geri dönüşüme kazandırılması, bu hedeflerin tamamına doğrudan katkı sunmaktadır.

Pretty et al. (2018), tarımsal sistemlerin yeniden tasarlanmasında atıkların kaynak olarak değerlendirilmesinin sürdürülebilir yoğunlaştırma yaklaşımının temel bileşenlerinden biri olduğunu ifade etmektedir. Bu bağlamda tarımsal atık yönetimi, sürdürülebilir tarım politikalarının ayrılmaz bir parçası olarak ele alınmalıdır.

4.4 İklim Değişikliği ile İlişkisi

Tarım sektörü, küresel sera gazı emisyonlarının önemli bir bölümünden sorumludur. Tarımsal atıkların geri dönüşümü, özellikle metan ve azot oksit emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlamaktadır. IPCC (2022), atık yönetimi iyileştirmelerinin tarım sektöründe iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir azaltım potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu kapsamda tarımsal atık geri dönüşüm uygulamaları, iklim değişikliğiyle mücadelede uygulanabilir ve etkili bir çözüm olarak değerlendirilmektedir.

5. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE TARIMSAL ATIK GERİ DÖNÜŞÜM UYGULAMALARI

Tarımsal atıkların geri dönüşümüne yönelik uygulamalar, ülkelerin tarımsal yapıları, enerji politikaları ve çevresel önceliklerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Gelişmiş ülkelerde tarımsal atık yönetimi, sürdürülebilir tarım ve döngüsel ekonomi politikalarının temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir (EC., 2020).

5.1 Dünyada Tarımsal Atık Geri Dönüşüm Uygulamaları

Avrupa Birliği ülkeleri, tarımsal atıkların geri dönüşümü konusunda öncü uygulamalara sahiptir. Özellikle Almanya ve Danimarka, hayvansal üretim atıklarını biyogaz tesislerinde değerlendirerek yenilenebilir enerji üretimini artırmaktadır. Avrupa Biyogaz Birliği verilerine göre, Avrupa'da biyogaz üretiminin önemli bir bölümü tarımsal atıklara dayanmaktadır (EBA, 2021).

Amerika Birleşik Devletleri'nde ise büyük ölçekli hayvancılık işletmelerinde anaerobik sindirim sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. ABD Tarım Bakanlığı, bu sistemlerin sera gazı emisyonlarının azaltılmasına ve çiftliklerin enerji maliyetlerinin düşürülmesine katkı sağladığını belirtmektedir (USDA, 2020).

Asya ülkelerinde, özellikle Çin ve Hindistan'da, tarımsal atıkların enerjiye dönüştürülmesi kırsal kalkınma stratejilerinin önemli bir parçasıdır. Çin'de uygulanan küçük ölçekli biyogaz sistemleri, kırsal nüfusun enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında etkili olmaktadır (Zhang vd.2019).

5.2 Türkiye'de Tarımsal Atık Geri Dönüşüm Uygulamaları

Türkiye, geniş tarımsal üretim alanları ve yüksek hayvansal üretim kapasitesi nedeniyle önemli bir tarımsal atık potansiyeline sahiptir. Türkiye'de tarımsal atık geri dönüşüm uygulamaları ağırlıklı olarak biyogaz üretimi ve kompostlama üzerine yoğunlaşmaktadır.

Enerji sektörüne ilişkin resmi istatistikler, Türkiye'de biyokütle ve biyogaz kaynaklı elektrik üretiminin son yıllarda artış gösterdiğini ortaya koymaktadır (Anonim, (2022). Özellikle hayvansal atıkların yoğun olduğu bölgelerde kurulan biyogaz tesisleri, hem enerji üretimi hem de çevresel koruma açısından önemli katkılar sağlamaktadır.

Bunun yanı sıra zeytin posası, şeker pancarı küspesi ve meyve–sebze işleme atıkları gibi tarımsal sanayi atıkları, hayvan yemi ve enerji üretiminde değerlendirilmektedir. Ancak mevcut uygulamaların, Türkiye'nin toplam tarımsal atık potansiyelini değerlendirmede yeterli olmadığı belirtilmektedir (OECD, 2021).

5.3 Uygulamaların Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi

Dünya genelindeki başarılı tarımsal atık geri dönüşüm uygulamaları incelendiğinde, devlet teşvikleri, mevzuat desteği ve teknik altyapının belirleyici olduğu görülmektedir. Avrupa Birliği'nde uygulanan destek mekanizmaları, tarımsal atık geri dönüşüm projelerinin yaygınlaşmasını sağlamaktadır (EC., 2020).

Türkiye'de ise mevzuat ve teşvik mekanizmalarının geliştirilmesi, çiftçilere yönelik eğitim programlarının artırılması ve teknolojik altyapının güçlendirilmesi gerekmektedir.

6. TARIMSAL ATIKLARIN GERİ DÖNÜŞÜMÜNDE KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Tarımsal atıkların geri dönüşümü çevresel ve ekonomik açıdan önemli avantajlar sunmasına rağmen, uygulama sürecinde çeşitli teknik, ekonomik, kurumsal ve sosyal sorunlarla karşılaşılmaktadır. Bu sorunların giderilmesi, tarımsal atık yönetim sistemlerinin yaygınlaştırılması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir (Singh vd.2020).

6.1 Teknik Sorunlar

Tarımsal atıkların geri dönüşümünde karşılaşılan temel teknik sorunlardan biri, atıkların fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişkenliktir. Farklı nem oranları, karbon/azot (C/N) dengesi ve organik madde içeriği, özellikle kompostlama ve anaerobik sindirim süreçlerinin verimliliğini doğrudan etkilemektedir (Ward vd 2018).

Bunun yanında:

- Uygun teknoloji seçiminin yapılmaması,
- İşletme ve bakım eksiklikleri,
- Nitelikli teknik personel yetersizliği

geri dönüşüm tesislerinin etkin çalışmasını sınırlandırmaktadır (IEA, 2020).

6.2 Ekonomik Sorunlar

Tarımsal atık geri dönüşüm projelerinin yaygınlaşmasındaki en önemli engellerden biri yüksek ilk yatırım maliyetleridir. Özellikle biyogaz tesisleri ve ileri seviye kompostlama sistemleri, küçük ve orta ölçekli tarımsal işletmeler için ekonomik açıdan erişilebilir olmayabilmektedir.

Ayrıca:

- Geri dönüştürülmüş ürünlerin pazarlanmasında yaşanan zorluklar,
- Enerji alım fiyatlarının yetersizliği,
- Finansman ve kredi mekanizmalarına erişimde yaşanan güçlükler projelerin ekonomik sürdürülebilirliğini olumsuz etkilemektedir (World Bank, 2021).

6.3 Yasal ve Kurumsal Sorunlar

Tarımsal atık yönetimine ilişkin mevzuatın açık ve bütüncül olmaması, uygulamada belirsizliklere yol açmaktadır. Birçok ülkede tarımsal atıklar, genel

atık yönetimi mevzuatı kapsamında ele alınmakta; bu durum sektöre özgü düzenlemelerin yetersiz kalmasına neden olmaktadır (OECD, 2021).

Kurumsal koordinasyon eksikliği ve yetki paylaşımındaki belirsizlikler de tarımsal atık geri dönüşüm projelerinin uygulanmasını zorlaştırmaktadır.

6.4 Bilinç Düzeyi ile İlgili Sorunlar

Çiftçilerin ve tarımsal üreticilerin tarımsal atıkların geri dönüşümü konusundaki bilgi ve farkındalık düzeyi, uygulamaların başarısında belirleyici bir rol oynamaktadır. Eğitim ve yayım faaliyetlerinin yetersiz olması, geri dönüşüm teknolojilerinin benimsenmesini sınırlamaktadır (FAO, 2019).

6.5 Çözüm Önerileri

Tarımsal atıkların geri dönüşümünde karşılaşılan sorunların aşılabilmesi için aşağıdaki çözüm önerileri geliştirilebilir:

- Tarımsal atık türlerine uygun teknolojilerin seçilmesi ve yerel koşullara göre uyarlanması
- Devlet teşvikleri ve finansal destek mekanizmalarının güçlendirilmesi
- Çiftçilere yönelik eğitim, yayım ve teknik danışmanlık hizmetlerinin artırılması
- Tarımsal atık yönetimine özgü açık ve uygulanabilir mevzuat düzenlemelerinin geliştirilmesi
- Kamu–özel sektör iş birliklerinin teşvik edilmesi

Bu önerilerin hayata geçirilmesi, tarımsal atık geri dönüşüm uygulamalarının yaygınlaşmasına ve sürdürülebilir tarım hedeflerine ulaşılmasına katkı sağlayacaktır.

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, tarımsal üretim faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan atıkların geri dönüşüme kazandırılma yolları bütüncül bir yaklaşımla ele alınmıştır. Tarımsal atıkların türleri, geri dönüşüm yöntemleri, çevresel ve ekonomik etkileri, dünyada ve Türkiye'deki uygulama örnekleri ile karşılaşılan sorunlar bilimsel literatüre dayalı olarak değerlendirilmiştir.

Elde edilen bulgular, tarımsal atıkların kompostlama, anaerobik sindirim yoluyla biyogaz üretimi, biyochar uygulamaları ve endüstriyel kullanım gibi yöntemlerle değerlendirilebileceğini ve bu yöntemlerin çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli katkılar sağladığını ortaya koymaktadır. Özellikle biyogaz ve kompostlama uygulamaları, sera gazı emisyonlarının azaltılması, toprak verimliliğinin artırılması ve yenilenebilir enerji üretimi açısından öne çıkmaktadır (Bernal vd.2017; IEA, 2020).

Dünya genelindeki uygulamalar incelendiğinde, tarımsal atık geri dönüşümünün başarısında devlet destekleri, uygun mevzuat düzenlemeleri ve teknik altyapının belirleyici olduğu görülmektedir. Avrupa Birliği ülkelerinde tarımsal atıkların döngüsel ekonomi yaklaşımı çerçevesinde etkin biçimde değerlendirildiği; buna karşılık Türkiye'de mevcut potansiyelin henüz yeterince kullanılamadığı sonucuna ulaşılmıştır (EC., 2020; OECD, 2021).

Tarımsal atık geri dönüşümünde karşılaşılan teknik, ekonomik ve kurumsal sorunların aşılması için entegre bir yönetim yaklaşımının benimsenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, tarımsal atık yönetimine özgü mevzuatın geliştirilmesi, çiftçilere yönelik eğitim ve yayım faaliyetlerinin artırılması ve kamu–özel sektör iş birliklerinin güçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, tarımsal atıkların geri dönüşüme kazandırılması; sürdürülebilir tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması, iklim değişikliğiyle mücadele ve kırsal kalkınmanın desteklenmesi açısından stratejik bir araçtır. Bu alanda geliştirilecek politikalar ve uygulanacak bilimsel temelli yaklaşımlar, hem çevresel hem de ekonomik açıdan uzun vadeli faydalar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Anonim, (2022). Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı Raporları (2022 Yılı Biyokütle raporu). https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=20932

Awasthi, M. K., Pandey, A. K., Khan, J., Bundela, P. S., Wong, J. W. C., & Selvam, A. (2019). Evaluation of thermophilic fungal consortium for organic waste composting. *Bioresource Technology, 271*, 28–35. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.107

Bernal, M. P., Sommer, S. G., Chadwick, D., Qing, C., Guoxue, L., & Michel, F. C. (2017). Current approaches and future trends in composting. *Waste Management, 64*, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.014

EBA. (2021). *Statistical report of the European biogas sector*. European Biogas Association. https://www.europeanbiogas.eu

EPA. (2019). *Nutrient pollution: Sources and solutions*. U.S. Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/nutrientpollution

EC. (2020). European Commission Report. *A new circular economy action plan*. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0098

FAO. (2019). *The state of food and agriculture 2019: Moving forward on food loss and waste reduction*. https://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf

Gökalp, Z.; Bulut, S. (2022). Potential use of biochar in wastewater treatment operations and soil improvement. Curr. Trends Nat. Sci., 11, 161–169.

IEA. (2020). *Outlook for biogas and biomethane*. International Energy Agency. https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane

IPCC. (2022). *Climate change 2022: Mitigation of climate change*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/

Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). *Biochar for environmental management: Science, technology and implementation*. Routledge.

Mirabella, N., Castellani, V., & Sala, S. (2014). Current options for the valorization of food manufacturing waste. *Journal of Cleaner Production, 65*, 28–41. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.051

OECD. (2021). Organisation for Economic Co-operation and Development Agency Reports. *Towards sustainable agriculture*. https://www.oecd.org

Pretty, J., Benton, T. G., Bharucha, Z. P., Dicks, L. V., Flora, C. B., Godfray, H. C. J., & Meyer, S. (2018). Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability, 1*(8), 441–446. https://doi.org/10.1038/s41893-018-0114-0

Singh, R., Srivastava, M., & Shukla, A. (2020). Environmental sustainability of agricultural waste management. *Environmental Development, 34*, 100506. https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100506

Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman, P. J., & Jones, D. L. (2018). Optimisation of anaerobic digestion. *Bioresource Technology, 251*, 147–157. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.12.052

Woolf, D., Amonette, J. E., Street-Perrott, F. A., Lehmann, J., & Joseph, S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications, 1*, 56. https://doi.org/10.1038/ncomms1053

Zhang, Y., Ghaly, A. E., Li, B., & Liu, C. (2019). Agricultural waste management in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 109*, 427–440. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.017