

ERGÜLEN & BAŞTAN TÖKE, *Atıkların Değerlendirilmesi Kapsamında Biyogaz Tesislerinde Veri Zarflama Analizi İle Etkinlik Ölçümü - Efficiency Measurement By Data Envelopment Analysis In Biogas Plants Within The Scope Of Waste Assessment*, 178-195

DOI: 10.55775/ijemi.1149562

Entrepreneurship & Management Inquiries

**EMI**  
journal

Cilt (Vol) 6 – Sayı (Number) 11  
Yıl (Year) 2022

Başvuru Tarihi/Received Date : 27.07.2022

Kabul Tarihi/Accepted Date : 10.10.2022

TEZ ÖZETİ

## EFFICIENCY MEASUREMENT BY DATA ENVELOPMENT ANALYSIS IN BIOGAS PLANTS WITHIN THE SCOPE OF WASTE ASSESSMENT

*Prof. Dr. Ahmet Ergülen, ORCID:0000-0002-6306-5261, Balıkesir Üniversitesi, Türkiye;*  
*ahmet.ergulen@balikesir.edu.tr*

*Arş. Gör. Leyla Baştan Töke, ORCID: 0000-0002-2377-0249, KTO Karatay Üniversitesi, Türkiye;*  
*leyla.toke@karatay.edu.tr*

### Abstract

The entire ecosystem has been threatened by the continued development of societies and the continued increase in consumption. Because of this reason, various approaches that protect both the level of prosperity and the environment have come to the world agenda 20th toward the end of the century. As a problem that threatens the environment with increased industrialization, the increase in the amount of waste matter has brought up new approaches. The aim of evaluating waste as an energy source is to ensure waste minimization and to achieve economic and environmental benefits. In this study, in which biogas plants where energy needs are met by evaluating organic wastes are examined, it is aimed to show that it is possible to make the plants effective even if they are not effective. The data for the facilities were obtained from the Environmental Impact Assessment (EIA) reports. The Office program was used for the amount of biogas production not included in the report. As it is not possible to reveal the efficiency status of the facilities only with their own numerical input and output, data envelopment analysis, which is a parameter-free technique, was used in order to give an internal view of the managerial mechanisms within the scope of the study. The data of the facilities consisting of two inputs and one output were decoded according to the CCR and BCC models. As a result of the analysis, it was concluded that two facilities were active and four facilities were inactive among the six facilities, and the increments or Decommissioning required for the effective use of inputs in inactive facilities were calculated.

**Keywords:** Globalization, Efficiency Measurement, Biogas Plant, Renewable Energy, Data Envelopment Analysis, Linear Programming

**Jel Classification:** Q4, Q5, O13

## ATIKLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ KAPSAMINDA BİYOGAZ TESİSLERİNDE VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE ETKİNLİK ÖLÇÜMÜ

### Özet

Toplumların kalkınma çabaları ve tüketimin sürekli artmasından dolayı bütün ekosistemin tehdit altına girmesi sebebiyle yirminci yüzyılın sonlarına doğru refah seviyesini yükseltirken çevreyi korumaya yönelik olarak çeşitli yaklaşımlar dünya gündemine gelmiştir. Artan sanayileşme ile çevreyi tehdit eden bir sorun olarak atık madde miktarında da artış yaşanması, yeni yaklaşımların ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Atıkların değerlendirilmesi kapsamında enerji kaynağı olarak kullanılması ile hem atık minimizasyonunun sağlanması hem de ekonomik ve çevresel avantajların elde edilmesi hedeflenmektedir. Organik atıkların değerlendirilerek enerji ihtiyacının karşılandığı biyogaz tesislerinin incelendiği bu çalışmada, tesislerin etkin olmasa dahi etkin hale getirilmesinin mümkün olduğunu göstermek amaçlanmıştır. Tesislere ait veriler Çevre Etki Değerlendirme (ÇED) raporlarından

elde edilmiştir. Raporda yer almayan biyogaz üretim miktarı için Office programı kullanılmıştır. Tesislerin etkinlik durumunun yalnızca kendilerine ait sayısal girdi ve çıktı ile ortaya koymak mümkün olmadığı için çalışma kapsamında yönetsel mekanizmalara iç görünüm kazandırılması amacı içinde parametresiz bir teknik olan veri zarflama analizi kullanılmıştır. Tesislerin iki girdi ve bir çıktıdan oluşan verileri CCR ve BCC modellerine göre çözülmüştür. Analiz sonucunda altı tesis arasından iki tesisin etkin olup dört tesisin etkin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır ve etkin olmayan tesislerde girdilerin etkin kullanılabilmesi için gereken artırma ve azaltmalar hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Küreselleşme, Etkinlik Ölçümü, Biyogaz Tesisi, Yenilenebilir Enerji, Veri Zarflama Analizi, Doğrusal Programlama

**Jel Sınıflandırması:** Q4, Q5, O13

## 1. Giriş

Sınırsız talebe sahip olan günümüz dünyasında nüfusun ve ihtiyaçların artması, daha fazla kaynak ve enerji tüketimini gerektirdiğinden, atık oluşumunda da artışa sebep olmuştur. Bu süreçte atık sorununda da artış yaşanması hem ekonomi hem de çevre adına daha verimli yöntemlerin geliştirilmesini önemli bir konu haline getirmiştir. Çevrenin korunup refah seviyesinin yükseltilmesinin eş güdüm ile sağlanması amacıyla “Sürdürülebilir Kalkınma” anlayışı ortaya çıkmıştır. Sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması amacıyla, ilk olarak 1972 yılında Stockholm Konferansı düzenlenmiştir. Devam eden yıllarda Rio Konferansı, Çevre ve Ekonomi Konferansı, Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi ve Ulusal Fakirliği Azaltma Stratejilerinin Sürdürülebilir Kalkınma Stratejilerine Bağlanması Toplantısı düzenlenmiştir. Günümüze yaklaştıkça çevre bilinci ve gelişmişlik düzeyinin artması ile birlikte yeşil büyüme yaklaşımları gündemde yer almaya başlamıştır.

Teorik ve ampirik kısımların yer aldığı bu çalışmada küreselleşme süreciyle çevreye verilen zararın önüne geçilmesinin hedeflendiği çalışmalar üzerinde durularak atık problemini çözmeye yönelik olarak biyogaz tesisleri incelenmiştir. Biyogaz tesislerinin etkinlik durumlarının incelenmesi amacıyla Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemi kullanılmıştır. Tesislere ait veriler LINDO paket programı ile çözümlenerek değerlendirilmiştir. Girdi odaklı yapılan bu analiz sonucunda, girdi değerlerinde yapılacak bir artışın çıktı değerlerini etkileme durumunun ölçüğe göre azalan getiri, sabit getiri veya artan getiri durumlarından hangisinin etkili olacağı ortaya koyulacaktır. Bu çalışmanın tamamlanması ile organik atıkların değerlendirildiği biyogaz tesislerinin verimli çalışmasına yönelik yeni bir bakış açısının sunulması planlanmaktadır.

## 2. Kavramsal Çerçeve

### 2.1. Küreselleşmenin Çevreye Etkileri ve Çevresel Aksiyonlar

The Economist Dergisi tarafından 4 Nisan 1959 tarihinde günümüzdeki anlamıyla ilk kez kullanılan küreselleşme ile birlikte sınırların ortadan kalkmasıyla toplumlar arası bir bütünleşme oluşmuştur ve ekonomi, siyaset, bilim, teknoloji, çevre gibi pek çok alanda birbirini etkileyen toplumlar meydana gelmiştir (Kaypak, 2011: 19). Buna karşılık toplumlar birbirine bağlanırken, hızla artan nüfus, artan üretim/tüketim isteği ve rekabet üstünlüğü elde etme çabası gibi faktörler çevrede sınırsız kaynak olmadığı için beraberinde olumsuzlukları da getirmiştir.

Kendi düzeni içinde dengesini koruması beklenen çevreye insan faaliyetleri ile dışarıdan müdahale edilmesi, doğal kaynakların azalmasına, çevre kirliliğinin artmasına ve atmosferin dengesinin sarsılmasına neden

olmaktadır. Ülkeden ülkeye farklılık göstermekte olan sanayileşme ve teknolojik ilerlemeler her ne kadar kalkınmanın önemli bir göstergesi olsa da altyapı ve kirlilik kontrolünün olmadığı yerlerde nesilleri olumsuz etkileyerek çok ciddi çevre felaketlerine zemin hazırlamaktadır. Bu olumsuzlukların, önlem alınmadığı takdirde geçmişte tanık olunmamış boyutlarda şiddetlenmesi ve küresel bir nitelik kazanması beklenmektedir. Küreselleşmenin negatif sonucu olarak iklim değişikliğinin yaşandığı, çevre kalitesinin düştüğü bir ortam ile karşılaşmaktadır.

Atmosferde sıcaklık tutma kapasitesini yükselten gazlara sera gazı adı verilmektedir. Dünya yüzeyi, güneş ışınları ile gelen enerjiyi emerek ısınmakta ve kızılötesi radyasyonu ile bu enerjinin bir kısmını geri vererek soğumaktadır. Fakat kızılötesi radyasyonun bir miktarı uzaya ulaşmadan atmosferdeki sera gazları tarafından emilmektedir. Atmosferin ve dünya yüzeyinin ısınmasına neden olan ve sera etkisi adı verilen bu olay küresel iklim değişikliğinin temel sebebi kabul edilmektedir. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), diazot monoksit (N<sub>2</sub>O), klorofloro karbonlar (CFC) ve florlu gazlar sera etkisine sebep olan gazlardır (Dulkadiroğlu, 2018: 68). Sera gazlarının %10'u doğal bir şekilde %90'ı ise insan faaliyetleri sonucunda oluşmaktadır. Fosil yakıt kullanımı, atık madde miktarının artması, ormanların tahrip edilmesi ve tarımsal faaliyetler sonucunda oluşan sera gazlarının atmosfere salınımı “sera gazı emisyonu” olarak tanımlanmaktadır (Erdoğan, 2020: 287; Engin, 2010: 72). Sera etkisine sebep olan gazların atmosferdeki miktarının artmasıyla dünya normalden daha fazla ısınmaktadır (Kozanoğlu, 2020: 2). Küresel ısınma olarak adlandırılan bu olay sonucunda kutuplarda buzulların erimesi, olağandışı hava olaylarının görülmesi, kasırgaların yaşanması, kuraklık, sel ve don gibi iklim örüntülerinin farklılaşması sorunları ile karşılaşmaktadır (Goldstein ve Pevehouse, 2015: 498-499).

Çevresel problemler, 2. Dünya Savaşı'ndan (1 Eylül 1939) sonraki dönemde toplumlarda yalnızca kalkınmaya odaklanılmasından dolayı oluşmaya başlamıştır. Bu süreçte ekolojik tahribat bütün dünyayı etkilemeye başlamıştır ve yirminci yüzyılın sonlarına doğru önemli bir sorun olarak toplumların önem verdiği bir konu haline gelmiştir. Küreselleşme durumu da problemler için uluslararası boyutta ortak çözüme gidilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Kalkınmanın devam etmesi ve çevrenin korunarak kalkınma ile çevre arasında dengenin kurulması amacı “Sürdürülebilir Kalkınma” kavramını gündeme getirmiştir. Ekonomiden politikaya kadar bütün alanlar üzerinde uygulanmaya çalışılan ve sonraki nesillerin geleceğini korumayı hedefleyen sürdürülebilir kalkınma, “iktisadi gelişme sürecinin, çevre kirliliği, doğal kaynakların tüketilmesi gibi sorunlara yol açtığı fark edilmesi üzerine, bugünün iktisadi büyüme ve kalkınması gerçekleştirilirken, gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılayabilmelerine olanak tanınması için özellikle yenilenemez kaynakların kötü kullanımından kaçınılması gereği üzerine odaklanan kalkınma anlayışı” olarak tanımlanmaktadır (TDK, BSTS/İktisat Terimleri Sözlüğü, 2004).

Sürdürülebilir kalkınma odaklı olarak çevreye verilen zararın önlenmesi amacıyla Birleşmiş Milletler (BM), 1970'li yıllarda “çevre odaklı” anlayışlara geçmiştir. Bu anlayışa OECD (Ekonomik İş Birliği ve Kalkınma Örgütü), AB (Avrupa Birliği) ve diğer gönüllü kuruluşlar da öncülük etmişlerdir (Özdemir, 2009: 3). Bu süreçte 1 Ocak 1970 tarihinde ABD'de Ulusal Çevre Politikası Kanunu ile ÇED federal projeler için bir zorunluluk haline gelmiştir. Ayrıca “Temiz Hava Kanunu, Temiz Su Kanunu, Toksik Maddeleri Kontrol Kanunu” ile ABD'de çevre sorunlarının çözümü için ilerleme kaydedilmesi amaçlanmıştır.

1971 yılında İsviçre'de kalkınma ve çevre konularının birlikte ele alınmasına odaklanan Founeks Raporu yayınlanmıştır. Aynı zaman diliminde OECD Konseyi “kirlenen öder” prensibinden yola çıkarak Uluslararası Çevre ve Kalkınma Enstitüsü'nü Britanya'da kurmuştur (Duygu, 2005: 591).

Birleşmiş Milletler (BM) tarafından uluslararası anlamda çevre ve kalkınma konularının ele alındığı ilk kapsamlı girişim olarak düzenlenen Stockholm Konferansı 1972 yılında pek çok ülkenin temsilcilerinin katılımı ile gerçekleşmiştir. Konferansın düzenlenmesi düşüncesi gelişmiş ülkelerden geldiğinden için esas alınan konu endüstrileşmenin getirdiği çevre problemleri olmuştur. Konferansın başlangıç tarihi 5 Haziran, “Dünya Çevre Günü” olarak kabul edilmiştir (Alada, Gürpınar & Budak, 2012: 93).

1970’li yıllar çevresel kirliliğe karşı kuralların belirlendiği bir dönem olurken 1980’li yıllara gelindiğinde Rio Konferansı ile çevre kirliliğinin engellenebilmesi için “maliyet karşılayıcı kullanıcı harçları ve teşvik uygulamaları” yerine “yeşil vergi” yaklaşımının gerekliliği vurgulanmıştır (Özdemir, 2009: 7). Bu dönemde hukuki düzenlemeler ile kirliliğin önlenmesi hedeflenmiştir.

1984 yılında OECD Uluslararası Çevre ve Ekonomi Konferansı, 1985 yılında Avusturya’da İklim Değişikliği Konferansı düzenlenerek ozon tabakasının durumu incelenmiştir. 1987 yılında sürdürülebilir kalkınma anlayışının temel alındığı “Ortak Geleceğimiz” başlıklı rapor yayınlanmıştır. Aynı yıl ozon tabakasının incelenmesi sorununun incelenerek kimyasal kullanımının azaltılmasının hedeflendiği “Montreal Protokolü” imzalanmıştır (Duygu, 2005: 593).

1992 yılında Rio Yeryüzü Zirvesi’nde Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ile atmosferdeki sera gazı yoğunluğunun iklim sistemine insan kökenli müdahalenin önüne geçecek bir düzeyde sabitlenmesi amaçlanmıştır (Eckersley, 2016: 302). Rio Konferansı’nın ardından ortaya çıkan sonuçların takibi ve ilgili paydaşların Binyıl Kalkınma Hedefleri’ne ulaşma çabalarının uyumlu hale getirilebilmesi için 26 Ağustos-4 Eylül 2002 tarihleri arasında Johannesburg’da Rio+10 sloganıyla “Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi” gerçekleştirilmiştir. Yapılan değerlendirmede gıda güvenliği, yoksulluğun önüne geçilmesi, enerji kaynaklarına ve temiz suya erişim, afetlere karşı dayanıklılık ve hazırlıklı olma konularında yaşanan zorluklar ele alınmıştır ve sürdürülebilirliğin ekonomik, sosyal ve ekolojik boyutlarında Stockholm Konferansı’nda hedeflenen başarıya ulaşamadığı belirtilmiştir (İzci & Cerit Mazlum, 2015: 2).

Sürdürülebilir kalkınma anlayışı çerçevesinde çevresel tahribatın önlenmesi için çevre yönetim sistemlerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur ve 146 ülkenin üyeliğinden oluşan Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (ISO) kurulmuştur (Yontar, 2008: 479). 1996 yılında oluşturulan bu topluluk tarafından ISO 14001 ve ISO 14000 standartları ile başlangıç yapılmıştır ve standartlarda çevresel etkinin yönetilebilmesi için sahip olunması gereken özellikler belirtilmiştir. Bu standartlar ile çevrenin korunmasına yönelik olarak kirlenici salınımların önüne geçilmesinin önemi vurgulanmıştır (Aydın ve Bedük, 2010: 405).

1997 yılında Kyoto’da UNFCCC Üçüncü Taraflar Konferansı düzenlenmiştir. Konferansın sonunda iklim değişikliği ile ilk ve halihazırda tek bağlayıcı uluslararası anlaşma olan Kyoto Protokolü kabul edilmiştir. Bu protokolün uygulanmasına yönelik detaylar 2001 yılında Marakeş’de yapılan Yedinci Taraflar Konferansı’nda, “Marakeş Mutabakatı” ile hükme bağlanmıştır. 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto Protokolü’nde protokolü kabul eden ülkelerin sera gazı emisyonlarını 2008-2012 yılları arasında 1990 yılındaki sera gazı emisyonu seviyesinin %5 altına düşürmesi hedeflenmiştir. Bu protokolün diğer çevre anlaşmalarından farkı 37 sanayileşmiş ülke ve Avrupa Birliği’nde sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik bağlayıcı hedefler içermesinden kaynaklanmaktadır (Engin, 2010: 75).

2005 yılında Birleşmiş Milletler’in (BM) UNDP ve UNEP örgütleri tarafından “Ulusal Fakirliği Azaltma Stratejilerinin Sürdürülebilir Kalkınma Stratejilerine Bağlanması” toplantısı düzenlenerek fakirliğin önüne geçilmesi amacıyla sivil toplum kuruluşları, planlama, maliye ve çevre bakanlıkları uzmanları ile çevreye

zarar vermeden kalkınmanın sağlanması için çözüm aranmıştır (Duygu, 2005: 590).

2012 yılında Rio de Janeiro kentinde Rio+20 Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı düzenlenmiştir. Konferansta 1992 yılında düzenlenen Rio Konferansı temel alınarak Rio+20’de yapılan değerlendirmeler sonucunda ülkelerin daha yaşanabilir bir dünyaya ulaşmak için verdikleri kararlar doğrultusunda “İstedığımız Gelecek” adlı sonuç belgesi kabul edilmiştir. Belgede ortak vizyon, politik kararlılığın yenilenmesi, sürdürülebilir kalkınma ve yoksulluğun ortadan kaldırılması bağlamında yeşil ekonomi, sürdürülebilir kalkınmanın kurumsal çerçevesi/uygulama çerçevesi/sonraki adımları ve uygulama yöntemleri konularına değinilmiştir (The Future We Want, 2012).

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS)’ni onaylayan devletler 12 Aralık 2015’te Paris İklim Anlaşması’nı kabul etmişlerdir. 2016 yılında yürürlüğe giren bu anlaşma kapsamında iklim değişikliği sorunun azaltılması, adaptasyonu ve finansmanına yönelik kararlar alınmıştır. Anlaşmada sıcaklık dalgalanmalarının rekor seviyeye yükselmesinin önüne geçilmesi için “küresel ısınmanın 2 derecenin altında tutulması” en temel amaç olarak belirlenmiştir. Anlaşmada sera gazı emisyonlarının azaltılması için gelişmiş ülkelerin öncülük edeceği ve gelişmekte olan ülkelere de bu hedefe ulaşabilmeleri için maddi destek sağlayacakları vurgulanmıştır. Küresel nitelikte olan Paris İklim Anlaşması’yla fosil yakıt kullanımının azaltılması ve yenilenebilir enerji payının artırılması gerekliliği benimsenmiştir (Kaya, 2020: 182-183). 191 ülke tarafından onaylanmış olan Paris İklim Anlaşması, 6 Ekim 2021 tarihinde Türkiye tarafından da onaylanarak 10 Kasım 2021 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Anlaşma kapsamında 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarının %50 oranında azaltılarak 2050 yılında emisyonu sıfıra indirmek hedeflenmektedir.

Avrupa Birliği 2019 yılında Kyoto Protokolü ve Paris İklim Anlaşması’nı yeşil ekonomik düzen üzerine destekleme amacıyla Yeşil Mutabakat’ını tanıtmıştır. Mutabakatta 2050 yılına kadar karbon nötr bir duruma gelme hedefi içinde ekonomik büyümenin kaynak kullanımından ayrılması ve bütün bölgelerin bu politikalarla geri bırakılmaması amaçlanmaktadır. Mutabakatın iklim, çevre, enerji, ulaşım, tarım, finans ve bölgesel gelişme, endüstri ve ar-ge olmak üzere sekiz eylem alanı bulunmakta olup bu alanlar için geliştirilen hedefler “temiz hava, su, sağlıklı toprak ve biyoçeşitlilik, yenilenmiş enerji açısından etkin binalar, sağlıklı ve uygun fiyatlı gıda, toplu taşıma, temiz enerji, inovasyon, tamir edilebilir uzun ömürlü ürünlerin geri dönüşüm ve yeniden kullanımı, yeni düzene geçiş için uzmanlık ve becerilerin geliştirilmesi ve küresel çapta rekabet ve dirençli endüstri sistemlerinin oluşturulabilmesi” olarak belirlenmiştir (Ersoy Mirici ve Berberoğlu, 2022: 157-158).

Küreselleşme ile toplumların birbirine her açıdan bağlanması, ekonomik gelişim sürecinde çevreye verilen zarardan da global anlamda etkilenilmesine sebep olduğundan dolayı önlemler bütün dünyayı kapsayacak şekilde alınmalıdır. Çevreyi korumak için imzalanan anlaşmalarda kalkınmanın sürdürülebilirliği için yeni yeşil düzene giden yolda yenilenebilir enerjiye yönelim özellikle vurgulanan bir alandır. Bu sebeple çevrenin korunması, yeşil ekonomi, etkin ve verimli üretim için atıkların değerlendirilmesi ve bu alanda yürütülen çalışmaların desteklenmesi gerekmektedir.

## 2.2. Atıklar

Her faaliyet alanında sürekli olarak artış gösteren atık sorunu, ilk olarak 1983 yılında çıkarılan 2972 sayılı Çevre Kanunu ile mevzuata dahil edilmiştir. İlgili mevzuatta atık, “çeşitli faaliyetler neticesinde oluşan, doğal çevreye terk edilmiş her türlü madde” olarak tanımlanmıştır (Güleç Solak ve Pekküçükşen, 2018: 656). Atıklar; katı atıklar, sıvı atıklar, gaz atıklar ve ambalaj atıkları olmak üzere dört grupta incelenmektedir:



Katı atıklar, “tüketici veya üretici kaynaklı olarak ticari ve endüstriyel faaliyetlerin sonucunda açığa çıkan, toplumlar tarafından istenmeyen maddelerdir” (Güleç Solak ve Pekküçükşen, 2018: 656). Katı atıklar; kentsel katı atıklar, endüstriyel katı atıklar, tarımsal ve hayvansal atıklar, tehlikeli katı atıklar, hastane atıkları olmak üzere beş grupta incelenmektedir (Aktepe Genç, 2015: 4-7). “Katı atıklardan kaynaklanan kirlilik”, etkin toplama sistemlerinin uygulanmaması, çöplerin dağınık şekilde çevreye bilinçsizce bırakılması, düzenli toplama sisteminin mevcut olmaması, çöp kutusu ve konteynır eksikliği belediyelerin şehir temizliğine özen göstermemesinden dolayı oluşmaktadır (Bay, 2018: 770).

Atıkların ağırlık olarak %30’u ve hacimsel olarak %50’si ambalaj atıklarından kaynaklanmaktadır. Ambalaj atıkları ticari bakımdan ve malzeme cinsi bakımından iki gruba ayrılmaktadır. Ticari ambalaj atıkları; satış ambalajı, dış ambalaj ve nakliye ambalajı olmak üzere üç grupta ayrılırken malzeme cinsi bakımından ambalaj atıkları “kağıt, plastik, kompozit, metal, cam, ahşap ambalaj” olmak üzere altı altı ayrıma tabi tutulmaktadır (Gündüzalp ve Güven, 2016: 4). Gelişmişlik düzeyi arttıkça ve teknoloji geliştikçe tüketicilerin talep ettiği pek çok üründe ambalajlama ve paketlenme çalışması arttığı için ambalaj atıklarının miktarı da artmaktadır.

Sıvı atıklar, “hastane vb. kurumlarda yürütülen faaliyetlerden açığa çıkan kan, dişçilik faaliyetlerinden kaynaklı yıkama suları, diyaliz makinesi suyu, evlerde temizlik işlerinden çıkan kirli sular ve kanalizasyon suları” gibi atıklardır. Sıvı atıklar fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan ekolojiyi ve ekosistemi tehdit etmektedir (Karasu, 2013: 4-5). Sıvı atıkların ortadan kaldırılması için genellikle direkt olarak denize boşaltma yolu tercih edilmektedir. Fakat zararları indirgenmeden tekrar doğaya bırakılan bu atıklar oksijen oranını düşürerek bütün çevreyi olumsuz etkilemektedir.

Gaz atıklar, havanın doğal bileşimini değiştiren, sis ve toz gibi flora ve faunayı olumsuz yönde etkileyip doğal dengeyi bozan atıklardır (Özel, 2018: 34). Nükleer enerji santrallerinden, sanayi tesis bacalarından, yakma tesislerinden, enerji kazanımı için fosil kaynak kullanımının yapıldığı alanlardan, çöp depolama ve kompostlaştırma alanlarından çıkan tehlikeli gazlar gaz atıkların kaynağı olarak kabul edilmektedir. Bu atıklar sera gazı salınımına, asit yağmurlarına, kötü koku oluşumuna, canlı türlerinin ve toprağın zarar görmesine, hava kalitesinin bozulmasına ve küresel ısınmaya neden olmaktadır (Karasu, 2013: 5).

Atıkların temel olarak 4’e ayrıldığı sınıflandırmaya ek olarak kaynak olarak kullanılabilirlik potansiyeli yüksek organik atıklar üzerine odaklanılmaktadır. Organik atıklar, bitkisel ve hayvansal kaynaklı olan atıklardır (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2011: 3-4). Hayvansal atıklar azot, bitkisel atıklar ise karbon bakımından güçlü içeriğe sahip olan atıklardır (Yaldız ve Külcü, 2018: 9). Organik atıkların değerlendirilmesiyle atık miktarının minimize edilerek çevre tahribatının önlenmesine ek olarak temiz enerjinin elde edilmesiyle yerli ve yenilenebilir enerji kaynağı kullanımı sayesinde yeşil ekonomiye de destek sağlanması beklenmektedir.

### 3. Gereç ve Yöntem

#### 3.1. Biyogaz Tesisleri için Veri Zarflama Analizi ile Etkinlik Analizi

Enerji, günümüzde büyük yatırımların yapıldığı ve ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin göstergesi olan bir sektördür. Artan rekabet ortamında enerji ihtiyacının iç kaynaklardan sağlanması amacıyla atıkları enerji kaynağı olarak kullanan tesislerin çıktılarının verimli bir şekilde elde edebilmeleri, verimliliklerini yükseltebilmeleri, etkin bir biçimde çalışmalarını sürdürülebilmeleri için etkinlik analizlerinin yapılmasına ve etkin olmayan tesislerin etkin hale getirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Etkinlik, “işletmenin faaliyetleri ile bağlantılı olarak planladığı programı gerçekleştirebilme derecesi olup belirlenen hedeflere ulaşılabilmesi için tüketilmesi beklenen kaynaklar ile hedefe ulaşıldığı anda tüketilmiş olan kaynaklar arasındaki ilişki” olarak tanımlanmaktadır (Özdin Oflu, 2019: 1). Bu kapsamda 1978 yılında Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından tanıtılan Veri Zarflama Analizi, işlevsel açıdan ortak özelliklere sahip olmasına karşılık yönetim tarzı gibi içsel farklılıklara sahip olan organizasyonların göreceli etkinliklerini ölçmek için kullanılmaktadır. Bu yöntemde analize dahil edilen her türlü kuruluş “karar birimi” adını taşımaktadır (Mahgary ve Lahdelma, 1995: 700). VZA, veri dağıtımında herhangi bir varsayım olmadan birden fazla girdi ve çıktının aynı anda dikkate alınmasını sağlamaktadır (Ji ve Lee, 2010: 268).

Bu yöntemde, performans, karar verme birimi ve etkinlik olmak üzere üç temel kavrama odaklanılmaktadır;

- Performans; belli bir sürenin sonunda işi yapmak ile görevli olan birey, grup veya ülkelerin ulaşmak istedikleri hedeflere göre ortaya çıkan ürün, hizmet ya da sonuçların incelendiği süreçtir (Dursun, 2013: 21-22).
- Karar verme birimi; benzer girdiler ile yine benzer çıktılardan ortaya koyulması sorumluluğunu taşıyan her türlü kurum, hastane, tesis, şirket gibi etkinliği incelenen birimlerdir (Dursun, 2013: 22).
- Etkinlik; sistem girdilerinin ne kadar iyi kullanılarak çıktılardan elde edildiğini ifade eden kavramdır. En fazla çıktının elde edilmesi sürecinde aynı ya da daha az girdinin kullanılması amaçlanmaktadır (Oktay, 2019: 9).

Veri zarflama analizi ile değerlendirilen birimler her türlü girdiyi çıktıya dönüştüren okullar, işletmeler, kuruluşlar ve ülkeler olabilmektedir (Depren, 2008: 17). Önemli olan husus girdinin çıktıya dönüşmesi olup bu kurumlarda yürütülen faaliyetlerin iyileştirilmesi, performansların yükseltilmesi ve sürekli yenilenmesi gerekmektedir. Bu sebeple kantitatif ve kalitatif araştırma tekniklerinin kullanımı ile teknolojinin geliştiği ortamda bilgisayar programlarına ihtiyaç duyulmaktadır (Harmankaya, 2019: 36).

Bilgisayar ortamında veri zarflama analizi sayesinde:

- Kıyaslama yapılan birimler arasında girdi ya da çıktılarda etkin durumda olmayan kaynaklar ile bu kaynakların miktarları tespit edilebilmektedir.
- Birimlerin etkinlik durumuna göre sınıflandırma yapılabilmektedir.
- Karşılaştırma yapılan birimlerin yönetim durumu değerlendirilebilmektedir.
- Girdi ve çıktı ilişkilerinin standartlara göre performansı değerlendirilebilmektedir.
- Birimler arası yapılan kıyaslama ile birbiriyle ilişkisi olmayan amaçlar için etkin girdi-çıkıtı ilişkileri incelenebilmektedir (Sarı, 2015: 15).

Veri zarflama analizinin sistematik yapısı girdilerden ve bu girdilerin kullanılması ile elde edilen çıktılardan oluşmaktadır. Yöntem;

- Tek girdi-tek çıktılı sistem,
- İki girdi-tek çıktılı sistem,
- Tek girdili-iki çıktılı sistem,
- Çok girdili-çok çıktılı sistem olmak üzere dört sisteme dayanmaktadır (Baştan Töke, 2020: 74).

Etkin durumda olmayan karar verme birimlerinin etkinliklerinin iyileştirilmesi için ne yapılması gerektiğinin tespitini sağlayan veri zarflama analizi yöntemi Charnes-Cooper Rhodes (CCR) Modelleri, Banker-Charnes-Cooper Modelleri olmak üzere iki temel modele ayrılmaktadır (Özden, 2008: 170-173).

Analiz için incelemesi yapılan karar verme birimlerinin ölçüğe göre sabit getiriye sahip olması halinde birimlerin toplam etkinliklerinin tespit edilmesi hedefleniyorsa CCR modeli kullanılmaktadır. Karar verme birimleri ölçüğe göre değişken getiriye sahipse ve birimlerin teknik etkinliklerinin tespit edilmesi hedefleniyorsa BCC modeli kullanılmaktadır. Karar verme birimleri hakkında daha ayrıntılı bilgi edinilecek şekilde etkinsizlik nedeninin karar verme birimlerinin teknik etkinlik ya da ölçekten mi kaynaklandığının tespit edilmesi hedefleniyorsa hem teknik hem de ölçek etkinliklerinin hesaplanması gerekliliği için BCC ve CCR modelleri birlikte kullanılmaktadır (Taşköprü, 2014: 36-37). “Teknik etkinlik, mevcut teknoloji ile belli sayıda girdinin kullanılmasıyla en fazla çıktıya ulaşma boyutu olarak tanımlanırken ölçek etkinlik, belli bir üretim ölçüğü çerçevesinde belli miktarda girdi ile en fazla çıktıya ulaşma boyutu” olarak tanımlanmaktadır (Taşköprü, 2014:23; Göktolga ve Artut, 2011: 66).

CCR Modeli (Charnes, Cooper ve Rhodes) Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından etkinlik durumunun incelenmesi için geliştirilen en temel model olup girdi ve çıktıya yönelik olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Aynı zamanda bu modeller kesirli programlama, doğrusal programlama ve zarflama modelleri olmak üzere üç grupta incelenebilmektedir (Karaemir, 2013: 36). Model, girdi ve çıktıların skaler değerleri ile birlikte fiziksel olmayan ağırlıklarla birbirlerinden ayrı birimlerin aynı anda değerlendirilerek karşılaştırma yapılmasını sağlamaktadır (Özgür, 2011: 18). CCR modelinin formülasyonu aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} \max h_k &= \sum_{r=1}^s \text{Urk} \cdot \text{Yrk} \\ \sum_{r=1}^s \text{Urk} \cdot \text{Yrk} - \sum_{i=1}^m \text{Vik} \cdot \text{Xij} &\leq 0 \quad j = 1, \dots, n \\ \sum_{i=1}^m \text{Vik} \cdot \text{Xik} &= 1 \\ \text{Urk} &\geq 0 \quad r = 1, \dots, s \\ \text{Vik} &\geq 0 \quad j = 1, \dots, m \end{aligned}$$

Bu kümede;

Urk=k’inci karar biriminin r’inci çıktısının ağırlığını,

Vik= k’inci karar biriminin i’inci çıktısının ağırlığını,

Yrk= k’inci karar biriminin r’inci çıktı miktarını,

Xik= k’inci karar biriminin i’inci girdi miktarını,

Yrj= diğer (j’inci) karar birimlerinin çıktı miktarlarını,

Xij= diğer (j’inci) karar birimlerinin girdi miktarlarını,

m= girdi sayısını,

s= çıktı sayısını ifade etmektedir (Harmankaya, 2019: 42).



Dual modelde, CCR-VZA modelinde etkin durumda olmayan karar verme birimlerinin primal modelden dual model formuna dönüştürülmesiyle referans setleri elde edilmektedir. Bu sayede etkin durumda olmayan karar verme birimlerinin girdilerinde nasıl bir değişiklik yapılması gerektiği ortaya koyulmaktadır (Harmankaya, 2019: 43). Primal ve dual model aynı bilgiyi verirken primal bir problemin amaç fonksiyonu maksimize olduğunda duali minimizasyon olurken, amaç fonksiyonunda en aza indirmek amaçlandığında (minimizasyon) dual maksimizasyon yönlü olmaktadır (Çakır, 2011: 30-31).

Banker-Charnes-Cooper (BCC) modeli, ölçüğe göre değişiklik gösteren getiri varsayımında karar verme birimlerinin etkinliğini ölçen bir model olarak karar verme birimlerinin artan, azalan veya sabit getiri ölçüğünde çalışma durumunu ortaya koymaktadır (Sarı, 2015: 27, Karaemir, 2013: 48). Modelin formülasyonu aşağıda gösterilmektedir:

$$\begin{aligned} \max h_k &= \sum_{r=1}^s \text{Urk} \cdot \text{Yrk} \\ \sum_{r=1}^s \text{Urk} \cdot \text{Yrk} - \sum_{j=1}^m \text{Vik} \cdot \text{Xij} &\leq 0 \quad j = 1, \dots, n \\ \sum_{i=1}^m \text{Vik} \cdot \text{Xik} &= 1 \\ \text{Urk} &\geq 0 \quad r = 1, \dots, s \\ \text{Vik} &\geq 0 \quad j = 1, \dots, m \quad (\text{Harmankaya, 2019: 44}). \end{aligned}$$

BCC modelinin CCR modelinden farkı zarflama modeline konvekslik eklenmesinden kaynaklanmaktadır. Etkinlik skoru  $\theta^*$  olmak üzere,  $\theta^*=1$  ise ve artıklar sıfır ise bu karar verme birimi etkindir.  $\theta^*<1$  ise karar verme birimi etkin değildir. Burada model girdi yönlüdür. Model çıktı yönlü olduğunda  $\theta^*=1$  ise ve artıklar sıfır ise bu karar verme birimi etkindir.  $\theta^*>1$  ise karar verme birimi etkin değildir (Sarı, 2015: 27).

### 3.2. Çalışmanın Kapsamı ve Veriler

Bu çalışma kapsamında, organik nitelikteki atıkların değerlendirilmesine yönelik olarak çevreye bırakılan kaynakların kullanılması ile enerji çıktısının elde edildiği, çevrenin korunduğu ve ekonomik kazanımların elde edildiği veya elde edilmesinin hedeflendiği biyogaz tesislerinin etkinlik durumu veri zarflama analizi yöntemi ile incelenmiştir.

Tesislerin etkinlik analizi için girdi değeri olarak kullanılan tesisin kurulduğu alan ve personel sayısı ÇED (Çevre Etki Değerlendirme) raporlarından elde edilmiştir. ÇED raporlarına Çevrim İçi ÇED Yönetim Yazılım web sayfasından ulaşılmıştır (Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, Erişim Tarihi: 06.11.2019). Yıllık biyogaz üretim miktarları her tesisin raporunda bulunmadığından dolayı Office programı ile hesaplamalar yapılarak yıllık üretilebilecek biyogaz miktarı tespit edilmiştir. Tesis elektriksel gücü ve tesis elektriksel güç verimi (%30) değerleri ile tesis toplam gücü (MWt) elde edilmiştir. Biyogaz metan içeriğinin %50, biyogaz alt ısıl değerinin 4300 kcal/m<sup>3</sup> olduğu kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Analiz için iki girdi ve bir çıktı değerinin kullanıldığı altı adet karar verme birimi belirlenmiştir. Rastgele sıralama ile yapılan kodlamalar ile altı adet tesisin incelendiği karar verme birimine ait iki girdi ve bir çıktıdan oluşan veri seti elde edilmiştir. Tablo 1'de altı adet karar biriminin kodlaması gösterilmektedir:

DOI: 10.55775/ijemi.1149562

**Tablo 1.** Karar Birimlerinin Kodlanması

Karar Birim Adı	Kodu
Çumra Biyogaz Enerji Santrali	A1
Körpınar Biyogaz Enerji Üretim San. ve Tic. A.Ş.	A2
EK-TA Et ve Süt Ürünleri Hayvan Yem Gübre Enerji Gıda Tic. San. A.Ş.	A3
Burhaniye Biyogaz Tesisi	A4
Bioden Afyon Başmakçı Biyogaz Tesisi	A5
Ege Biyogaz Tesisi	A6

Çalışma için veri setinin oluşturulacağı karar verme birimlerinin kullanılacağı verilere verilen girdi ve çıktı kodları Tablo 2’de gösterilmektedir:

**Tablo 2.** Girdi ve Çıktı Setinin Kodlanması

Girdi İsmi	Girdi Kodu	Çıktı İsmi	Çıktı Kodu
Çalışma Alanı (m <sup>2</sup> )	X1	Biyogaz Üretim Miktarı (m <sup>3</sup> )	Y1
Personel Sayısı	X2		

Karar birimlerinin girdi ve çıktıları ile oluşturulan veri seti Tablo 3’te yer almaktadır:

**Tablo 3.** Veri Seti

KARAR BİRİMLERİ	GİRDİLER		ÇIKTILAR
	X1 (Tesisin Kurulduğu Alan)	X2 (Personel Sayısı)	Y1 (Yıllık Biyogaz Üretim Miktarı (m <sup>3</sup> ))
A1	200.000	60	70.342
A2	18.949	25	18.220
A3	16.661	14	5.869
A4	50.895	15	14.016
A5	121.660	15	46.690
A6	34.360	30	18.220

Oluşturulan veri setine göre:

- A1 karar biriminde 200.000 m<sup>2</sup> alanda 60 adet personel ile yılda 70.342 m<sup>3</sup> biyogaz üretimi yapılmakta,
- A2 karar biriminde 18.949 m<sup>2</sup> alanda 25 adet personel yılda 18.220 m<sup>3</sup> biyogaz üretimi yapılmakta,
- A3 karar biriminde 16.661 m<sup>2</sup> alanda 14 adet personel ile yılda 5.869 m<sup>3</sup> biyogaz üretimi yapılmakta,
- A4 karar biriminde 50.895 m<sup>2</sup> alanda 15 adet personel ile yılda 14.016 m<sup>3</sup> biyogaz üretimi yapılmakta,
- A5 karar biriminde 121.660 m<sup>2</sup> alanda 15 adet personel ile yılda 46.690 m<sup>3</sup> biyogaz üretimi yapılmakta,
- A6 karar biriminde 34.360 m<sup>2</sup> alanda 30 adet personel yılda 18.220 m<sup>3</sup> biyogaz üretimi yapılmaktadır.

### 3.3. Bulgular

6 adet karar birimine ait verilerin kullanılması ile oluşturulan model, LINDO paket programı kullanılarak çözümlenmiştir. Yapılan çözümleme ile elde edilen etkinlik değerleri CCR-VZA ayrıntılı sonuç tablosunda ve CCR-VZA sonuç tablosunda gösterilmektedir:

**Tablo 4.** CCR-VZA Ayrıntılı Sonuç Tablosu

Birimler	X1 (Tesisin Kurulduğu Alan)	X2 (Personel Sayısı)	Y1 (Yıllık Biyogaz Üretim Miktarı)	Etkinlik
A1	0.000003	0.005148	0.000011	0,7497016
A2	0.000000	0.000053	0.000055	1
A3	0.000027	0.039710	0.000082	0,4824669
A4	0.000014	0.020342	0.000042	0,5902259
A5	0.000007	0.010346	0.000021	1
A6	0.000013	0.018846	0.000039	0,7108363

Karar birimlerinin etkinlik durumları CCR-VZA sonuç tablosunda gösterilmektedir:

**Tablo 5.** CCR-VZA Sonuç Tablosu

Karar Birimi	Etkinlik	
A1	Çumra Biyogaz Enerji Santrali	0,7497016
A2	Körpınar Biyogaz Enerji Üretim San. ve Tic. A.Ş.	1
A3	EK-TA Et ve Süt Ürünleri Hayvan Yem Gübre Enerji Gıda Tic. San. A.Ş.	0,4824669
A4	Burhaniye Biyogaz Tesisi	0,5902259
A5	Bioden Afyon Başmakçı Biyogaz Tesisi	1
A6	Ege Biyogaz Tesisi	0,7108363

Yapılan analiz sonucunda etkinliği ölçümlenen 6 tesis arasında 2 tesisin etkin (A2 ve A5), 4 tesisin etkin durumda olmadığı görülmektedir. A1, A3, A4 ve A6 tesislerinin etkin hale getirilebilmesi için dual model ile çözümlene yapılarak referans setleri ve gölge fiyatları belirlenebilmektedir. Bu veriler, etkin birimler ile etkin olmayan birimler için referans setinin elde edilmesiyle girdi ve çıktı değerlerinin yeniden oluşturulması için kullanılacaktır. Etkin durumda olmayan tesislerin referans setlerinin elde edilmesi ve etkin hale getirilebilmesi için Dual CCR-VZA modeli kurulmuştur.

Kurulmuş olan model LINDO programında çözümlenmiş ve Tablo 6'da yer alan "Dual CCR-VZA Modelindeki Karar Birimleri için Etkinlik Değeri ve Referans Seti" tablosu elde edilmiştir:

**Tablo 6.** Dual CCR-VZA Modelindeki Karar Birimleri için Etkinlik Değeri ve Referans Seti

Karar Birimi	Etkinlik	Referans Seti	Karar Değişkeni
A1	0,7497016	K2, K5	1.169063-1.050368
A2	1	-	-
A3	0,4824669	K2, K5	0.254303-0.026464
A4	0,5902259	K2, K5	0.227222-0.211523
A5	1	-	-
A6	0,7108363	K2, K5	0.808064-0.074900

Etkinliğe ulaşamamış karar verme birimlerinin etkin duruma getirilebilmesi için referans setleri ve karar değişkenleri kullanılmaktadır. Bu aşamada karar verme birimlerine ait girdiler ile karar değişkenlerinin çarpımının toplamı ile elde edilen değer, etkin durumda olmayan karar verme biriminin etkin hale gelmesi için girdi miktarının olması gereken miktarı vermektedir. Etkin olmayan her karar biriminin etkin duruma getirilebilmesi için kendisine ait referans seti ve karar değişkenlerinin kullanımı ile tekrar edilerek etkin hale gelebilmesi için ihtiyaç duyulan girdi miktarı tespit edilmektedir. Bu işlemler için Dual CCR-VZA

modelinde karar birimleri için Etkinlik Değeri ve Referans Seti tablosundaki referans setleri kullanılarak Tablo 7’de gösterilen değişim oranları elde edilmiştir:

**Tablo 7.** Etkin Olmayan Karar Birimleri için Yeni Girdi Değişim Oranları

Birim Kodu	Karar Birimi Adı	X1 (%) (Tesisin Kurulduğu Alan)	X2 (%) (Personel Sayısı)
A1	Çumra Biyogaz Tesisi	25,03	25,03
A3	EK-TA Biyogaz Tesisi	51,75	51,75
A4	Burhaniye Biyogaz Tesisi	40,98	40,98
A6	Ege Biyogaz Tesisi	28,92	28,92

Analizde kullanılan tesisler arasında etkin durumda olmayan birimlerin etkin hale gelmesi için daha önce referans seti olarak belirlenen A2 ve A5 karar birimlerinin girdileri kullanılmıştır. Analizde ortaya çıkan değerlere göre karar birimlerinin girdilerinin belirlenmiş oranlarda artırılması veya atıl olarak kalmış olan girdilerin de azaltılması gerekmektedir.

Çalışmamızda etkin hale getirilmesi hedeflenen tesislerin yeni girdi değişim oranlarının tamamının pozitif değerde olduğu görülmektedir. Negatif olması durumu etkin hale getirilmesi için girdi miktarının artırılması anlamına gelmektedir. Pozitif değerlerin elde edilmesi tesislerde atıl kapasitenin olduğunu göstermektedir.

Tablo 8’de analizi yapılan karar birimlerinin tamamı için BCC-VZA etkinlik analizinin sonuçları gösterilmektedir:

**Tablo 8.** Tüm Karar Birimleri için BCC-VZA Etkinlik Sonuçları

Karar Birimi	Karar Birimi Adı	Etkinlik BCC	U0
A1	Çumra Biyogaz Tesisi	0,7497016	0
A2	Körpınar Biyogaz Tesisi	1	0
A3	EK-TA Biyogaz Tesisi	0,4824669	0
A4	Burhaniye Biyogaz Tesisi	0,5902259	0
A5	Afyon Biyogaz Tesisi	1	0
A6	Ege Biyogaz Tesisi	0,7108363	0

CCR-VZA modelinde karar birimlerinin sabit getirili ölçüğe sahip oldukları varsayılırken BCC-VZA modelinde etkinlik sınırları daha esnek olduğundan dolayı azalan, artan getirili ölçek durumu olduğu için değerlerin farklı çıkma ihtimali vardır. Ancak çalışmada ele aldığımız verilere göre CCR-VZA ve BCC-



VZA modellerinin sonuçlarının aynı çıktığı görülmektedir. U0 değerleri analizlerde 0, 1'den küçük veya 1'den büyük olabilmektedir. U0 değerinin her analizde 0 (sıfır) çıkması mümkün değildir. Eğer değer 1'den fazla ise ölçeğe göre artan getiri, 1'den az ise ölçeğe göre azalan getiri söz konusudur. BCC-VZA modelinde yapılan analiz sonucunda karar birimlerinin tamamında U0 değeri 0 (sıfır) çıkmıştır. Bu durumda karar birimlerinin tamamı için ölçeğe göre sabit getirinin söz konusu olduğu görülmektedir. Ölçeğe göre sabit getiri, karar birimlerinin girdilerinde oluşacak değişikliğin çıktılarını aynı oranda etkileyeceğini göstermektedir.

#### 4. Sonuç

Küreselleşme süreciyle yaşanan hızlı sanayileşme faaliyetleri bütün dünyayı etkisi altına almıştır. Bu süreçte nüfusta, üretimde, tüketimde ve çevre kirliliğinde de hızlı bir artış yaşanmıştır. Kalkınma faaliyetleri için sanayileşmenin hız kazanması iklim değişikliğine, atık miktarının artmasına, fosil yakıt kullanımının ve sera gazı emisyonlarının artmasına sebep olmuştur.

1970'li yıllarda çevreye verilen zararın önüne geçilmesi gerekliliği üzerine çalışmalar başlamıştır. Bu süreçte ekonomik gelişmenin temel girdisi enerji olduğundan dolayı gelişim sürecinde enerji politikalarında dönüşüme gidilerek sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için enerji ihtiyacının karşılanmasında yenilenebilir kaynak kullanımının artırılması önem arz eden bir konu haline gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak atıkların değerlendirilmesi düşüncesi ile fosil kaynakların kullanımında azalma sağlandığı takdirde çevresel kirliliğin azaltılması, ekonomik açıdan avantajların elde edilmesi, atık minimizasyonunun sağlanması, sera gazı emisyonu ve ekolojik dengeyi bozacak diğer gazların salınımında da azalma sağlanması beklenmektedir.

Sözer, Kabaş ve Ünal (2016) çalışmasında çevreye verilen zararı minimum seviyeye indirirken enerji üretiminin sağlanmasının, organik atıkların parçalanmasıyla elde edilen biyogaz teknoloji ile mümkün olduğunu vurgulamıştır. Çalışmada biyogaz üretiminde kullanılan metotlar incelenerek ön işleme tabi tutulan yapılan materyallerde daha fazla enerji elde edildiği görülmüştür. En uygun maliyetle enerji üretiminin artırılmasına yönelik olarak etkinliğin sağlanması için organik atıkların değerlendirilmesinde ön işleme gerek duyulduğu belirtilmiştir.

Türkmenler (2019), Seyhan Atıksu Arıtma Tesisi'nde üretilen biyogazın verimliliğini Ocak-Haziran 2017 verilerini baz alarak incelemiştir. Çalışmada en fazla mart ayında çürütücüye beslenen ortalama çamur miktarının 1.051,7 m<sup>3</sup>/gün, üretilen ortalama biyogaz miktarının 14.219 m<sup>3</sup>/gün olduğu ve en az haziran ayında çürütücüye beslenen ortalama çamur miktarının 1.026,4 m<sup>3</sup>/gün ve ortalama biyogaz miktarının 8.699,7 m<sup>3</sup>/gün olduğu tespit edilmiştir. Tesiste üretilen elektriğin bir kısmının tesiste kullanıldığı, artan kısmının da TEDAŞ'a satılarak kar elde edildiği belirtilerek çamurun ekonomik, çevresel ve enerji açısından değerli olduğu belirtilmiştir.

Türkiye'de il (Elazığ) özelinde biyogaz potansiyelinin maliyet analizinin incelendiği bir çalışmada Akbulut ve Dikici (2004), ilde yer alan hayvan sayılarının yıllara göre değişimlerini ve biyogaz üretiminde kullanılacak bitki potansiyelini inceleyerek günde 74 milyar elektrik enerjisi gelirin elde edilmesine ek olarak biyogaz üretiminde kullanılan gübrenin daha sonra tarımda kullanılması ile yılda 1,5 trilyon gelirin elde edileceği sonucuna ulaşmıştır.

Uçar, Özer ve Sarıbyık (2021) tarafından yürütülen, biyogaz üretimi için kullanılan reaktörlerin verimliliğe etkisinin incelendiği çalışmada reaktör tasarımının, reaksiyon şartlarının ve bakterilerin beslenme

şekillerinin değiştirilmesiyle biyogaz üretiminin artırılacağı sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen verilere göre, biyogaz üretiminin farklı atık türlerine göre değişiklik gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Küresel ısınmanın önüne geçilmesi için küçük ölçekli tesislerin sayısının ve verimliliğinin artırılması gerektiği vurgulanmıştır.

Derse (2018), GAMS yazılımında hedef programlama yaklaşımını kullanarak biyogaz tesislerinin yer seçimi problemini çözmeye yönelik öneride bulunmuştur. Çalışmada 30 farklı şehirde bulunan büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanların gübreleri (h) ile tarımsal ve evsel atık (b) maddeler, hayvansal atıklardan üretilen biyogaz enerjisi miktarı, evsel atıkların miktarları ve evsel atıklardan elde edilen biyogaz enerji miktarları gibi kalemler ele alınmıştır. Çalışmanın sonucunda hangi illerde (Hatay, Malatya, Ordu, Tekirdağ, Trabzon) tesis açılması gerektiği ortaya konulmuştur.

Andlar vd. (2021) fosil yakıt kullanımının etkin hale getirilmesi ve sürdürülebilir atık yönetiminin sağlanmasına yönelik olarak biyogaz teknolojisinin kullanılmasını umut verici bir yaklaşım olarak nitelendirerek biyogaz üretim sistemlerini incelemiştir. Biyogazın ısı ve elektrik üretimi ile fosil yakıt yerine, evsel ve endüstriyel kullanımda ise doğal gaz yerine kullanılabilmesi belirtilirken kurulum, işletme ve bakım maliyetlerinin biyogaz ekonomisini etkileyen faktörler olduğu belirtilmiştir. Ekonomik açıdan avantaj elde edilmesi için biyoreaktör tipinin seçimine, hammaddenin yapısına ve gücüne, işletme ve inşaat maliyetlerine dikkate edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Ekonomik, sosyal ve çevresel faydaları eş zamanlı sağlaması beklenen biyogaz teknolojisinin incelendiği literatür değerlendirildiğinde VZA tekniğinin kullanıldığı çalışmaya rastlanmamıştır. Ek olarak alanda yapılan çalışmaların da desteklenmesi gerektiği düşünülmektedir. Bu çalışmada, enerji kaynağı olarak atıkları değerlendiren biyogaz tesislerinin etkinlik durumları VZA tekniği ile analiz edilmiştir. Çalışmada biyogaz teknolojisinin sağlayacağı faydaların artırılabilmesi ve bu sayede daha önceki çalışmalarda belirtilen maliyetlerin azaltılabileceğini ortaya koymak hedeflenmiştir. Analiz için tesislerin iki girdi ve bir çıktıdan oluşan verileri CCR ve BCC modellerine göre çözülmüştür. Yapılan çözümleme ile altı tesis arasından iki tesisin etkin olup dört tesisin etkin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Etkin olmayan tesislerde girdilerin etkin kullanılabilmesi için gereken artırma veya azaltmalar hesaplanmıştır. Etkin olmayan karar birimleri için yeni girdi değişim oranlarının gösterildiği tabloda etkin olmayan tesislerin çözümlenen pozitif değerler kadar atıl kapasitelerinin olduğu tespit edilmiştir. Tesislerin etkin duruma gelebilmesi için girdi miktarını azaltmaları gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Kullanılan girdi miktarı düşürüldüğü takdirde etkinlik değerinin 1 (bir) olacağı ortaya konulmuştur. Ancak bunun için tesislerin birbirleri ile ilişki halinde olmaları gerekmektedir. Bir sonraki adımda tesislerin artan, azalan veya sabit getiride olma durumları BCC-VZA modelleri oluşturularak incelenmiştir. Oluşturulan modelde tesislerin tamamında  $U_0=0$  değerine ulaşılmıştır. Bütün tesislerin ölçeğe göre sabit getiri durumunda oldukları ve girdilerde yapılacak değişikliklerin çıktıları aynı oranda etkileyeceği tespit edilmiştir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar göreceli etkinlik durumunda olduğundan dolayı bir tesisin tek başına etkin olduğu söylenememekle birlikte girdilerin daha verimli kullanılması gerektiği ortaya konulmuştur. Fizibilite raporlarına temel olabilecek nitelikte olan bu analiz ile atıkların değerlendirildiği biyogaz tesislerinde sürdürülebilir kalkınma, sürdürülebilir çevre ve sürdürülebilir ekonomi anlayışına hizmet edilmesine yönelik olarak kullanılan veri zarflama analizi yöntemi sayesinde tesislerin etkinlik durumunun ortaya çıkarılmasıyla hem ekonomik hem de ekolojik hedeflere birlikte ulaşılabileceği beklenmektedir.

## Kaynakça

- Akbulut, A. ve Dikici, A. (2004). Elazığ ilinin biyogaz potansiyeli ve maliyet analizi. *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 36-41.
- Aktepe Genç, T. (2015). *Kayseri ili katı atık yönetimi ve çözüm önerileri*. Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Alada, A., Gürpınar, E. ve Budak, S. (2012). Rio Konferansı üzerine düşünceler. *İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, 0(3-4-5), 0-0.
- Andlar, M., Belskaya, H., Morzak, G., Santek, M. I., Rezic, T., Tominac, V. P., et.al. (2021). Biogas production systems and upgrading technologies: a review. *Food Technology & Biotechnology*, 59(4) 387-412.
- Aydın, M. E. ve Bedük, F. (2010). İşletmelerde çevre yönetimi ve Karaman ili için bir örnek uygulama, *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 10(19), 403-414.
- Baştan Töke, L. (2020). *Kompost ve biyogaz tesislerinde veri zarflama analizi ile etkinlik ölçümü*. Yüksek lisans tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Bay, M. (2018). Belediyelerde atık yönetimi ve politikaları: Karaman örneği. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 11(61), 769-781.
- Çakır, S. (2011). *Kamu şeker fabrikalarında etkinlik ölçümü: vza-malmquist tfv uygulaması*. Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Trabzon.
- Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü. <http://eced.csb.gov.tr/ced/jsp/ek1/12001#>, Erişim Tarihi: 06/11/2019.
- Depren, Ö. (2008). *Veri zarflama analizi ve bir uygulama*. Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Derse, O. (2018). Biyogaz enerji tesisi için hedef programlama ile yer seçimi problemi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(Özel), 121-126.
- Dulkadiroğlu, H. (2018). Türkiye’de elektrik üretiminin sera gazı emisyonları açısından incelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 67-74.
- Dursun, F. (2013). *Veri zarflama analizi ve çağrı merkezleri etkinlik kıyaslama*. Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Duygu, A. E. (2005). Küreselleşme ve çevresel etkileri. *TMMOB Türkiye V. Enerji Sempozyumu Bildirileri*, 589-605.
- Eckersley, R. (Editörler: Tim Dunne, Mılja Kurki & Steve Smith). *Uluslararası ilişkiler teorileri disiplin ve çeşitlilik*. (2016). Sakarya: Sakarya Üniversitesi Kültür Yayınları.
- Engin, B. (2010). İklim değişikliği ile mücadelede uluslararası iş birliğinin önemi. *Sosyal Bilimler Dergisi* 0(2), 71-82.

Erdoğan, S. (2020). Enerji, çevre ve sera gazları. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(1), 277-303.

Ersoy Mirici, M. ve Berberoğlu, S. (2022). Türkiye perspektifinde yeşil mutabakat ve karbon ayak izi: tehdit mi? fırsat mı?. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8(1), 156-164.

Goldstein, J. & Pevehouse, J. (2015). *Uluslararası ilişkiler*, Çeviren: Haluk Özdemir, BB101, Ankara.

Göktolga, Z.G. ve Artut, A. (2011). Sivas ilinde liselerin veri zarflama analizi ile değerlendirilmesi. *Cumhuriyet Üniversitesi İ.B.B. Dergisi*, 12(2), 63-78.

Güleç Solak, S. ve Pekküçükşen, Ş. (2018). Türkiye’de kentsel katı atık yönetimi: karşılaştırmalı bir analiz. *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 7(3), 653-683.

Gündüzalp, A. A. ve Güven, S. (2016). Atık, çeşitleri, atık yönetimi, geri dönüşüm ve tüketici: Çankaya Belediyesi ve semt tüketicileri örneği. *Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar E-Dergisi*, 1304-2823, [Çevrim-içi: <http://www.sdergi.hacettepe.edu.tr/>], Erişim tarihi: 16.10.2019.

Harmankaya, İ. (2019). *Türkiye’de 1992’de kurulan devlet üniversitelerinin performanslarının veri zarflama analizi yöntemiyle değerlendirilmesi*. Yüksek lisans tezi, Gaziantep Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gaziantep.

İzci, R. ve Cerit Mazlum, S. (2015). Rio+ 20 arifesinde çevre rejimleri ve söylemleri. *Marmara Üniversitesi Avrupa Topluluğu Enstitüsü Avrupa Araştırmaları Dergisi*, 20(1), 1-5.

Ji, Y. B. & Lee, C. (2010). Data envelopment analysis. *The Stata Journal*, 10(2), 267-280.

Karaemir, Ç. (2013). *Eğitim merkezlerinde etkinlik analizleri: veri zarflama analizi kullanarak performans analizi*. Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

Karasu, A. (2013). *Çevresel atıklar, nedenleri, çevresel atıkların geri dönüştürülmesi ve yenilenebilir enerji olanaklarının araştırılması*. Yüksek lisans tezi, Anadolu Üniversitesi-Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.

Kaya, H. E. (2020). Kyoto’dan Paris’e küresel iklim politikaları. *Meriç Uluslararası Sosyal ve Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 4(10), 165-191.

Kaypak, Ş. (2011). Küreselleşme sürecinde sürdürülebilir bir kalkınma için sürdürülebilir bir çevre. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 13(20), 19-33.

Kozanoğlu, H. (2020). *50 soruda küresel iklim değişikliği ve insanlar*. Altınbaş Üniversitesi Yayınları, Ankara.

Mahgary, S.M. & Lahdelma, R. (1995). Data envelopment analysis: visualizing the results. *European Journal of Operational Research* 85 (1995), 700-710.

Oktay, E. (2019). *Benzetim modellemesi temelli veri zarflama analizi yaklaşımıyla bir spor merkezinde etkinlik ölçümü*, Yüksek lisans tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

Özden, Ü. H. (2008). Veri zarflama analizi (vza) ile Türkiye’deki vakıf üniversitelerinin etkinliğinin ölçülmesi, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 37(2), 167-185.

Özdemir, B. (2009). Küresel kirlenme sürdürülebilir ekonomik büyüme ve çevre vergileri. *Maliye Dergisi*, 0 (156), 1-36.

- Özdin Oflu, Y. (2019). *Geri dönüşüm şirketinde veri zarflama analizi ve Promethee yöntemlerinin uygulanması*, Yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Özel, S. (2018). Türkiye’de deponi alanlarının sürdürülebilir çevre koruma ve çevresel etkilerine ilişkin bir değerlendirme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 13, 31-38.
- Özgür, M. (2011). *Enerji etkinliğinin ölçümünde veri zarflama analizi modellerinin kullanımı*. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Sarı, Z. (2015). *Veri zarflama analizi ve bir uygulama*. Yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Sözer, S., Kabaş, Ö. ve Ünal, İ. (2016). Biyogaz üretimini arttırmada kullanılan ön işlemlere bir bakış. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 12 (3), 171-176.
- T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Aile ve Tüketici Hizmetleri. (2011). *Organik atıklar*. [Çevrim-içi: [http://megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Organik%20At%C4%B1klar.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Organik%20At%C4%B1klar.pdf)], Erişim tarihi: 20.07.2019.
- Taşköprü, V. (2014). *Klasik veri zarflama analizi ile kategorik veri zarflama analizi modellerinin enerji verimliliği üzerinde karşılaştırmalı incelenmesi*. Yüksek lisans tezi. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- TDK Türk Dil Kurumu BSTS/İktisat Terimleri Sözlüğü, (2004). [Çevrim-içi: <https://sozluk.gov.tr/>], Erişim tarihi: 19.08.2019.
- Türkmenler, H. (2019). Seyhan Atıksu Arıtma Tesisi’nde biyogaz üretim verimliliğinin araştırılması. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(11), 95-101.
- Uçar, İ. R., Özer, Z. ve Sarıbyık, O. Y. (2021). Biyogaz üretiminde atıkların verim üzerine etkilerinin araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(3), 581-589.
- United Nations. (2012). The future we want. Çevrim-içi: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/733FutureWeWant.pdf>], Erişim tarihi: 10.05.2019.
- Yaldız, O. ve Külcü, R. (2018). Türkiye’de kompost üretim teknolojileri ve yasal düzenlemeler. *Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2(4), 8-25.
- Yontar, İ. G. (2008). Sürdürülebilir çevre ve ekonomi için bir araç: Türkiye’de ISO 14001 çevre yönetim standardı. *Review of Social Economic & Business Studies*, 9(10), 477-500.