Seyhan N. (2023). AB ülkelerinin çevre ve atık yönetimi performanslarının değerlendirilmesi: veri zarflama analizi ve yapay sinir ağlarının birlikte uygulanması. Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 14(1), 343-355.

AB Ülkelerinin Çevre ve Atık Yönetimi Performanslarının Değerlendirilmesi: Veri Zarflama Analizi ve Yapay Sinir Ağlarının Birlikte Uygulanması[1]

Evaluation of Environmental and Waste Management Performances of EU Countries: A Co-Application of Data Envelopment Analysis and Artificial Neural Networks

Nazlı Seyhan[2]

Öz

Sanayinin gelişmesiyle insan ihtiyaçlarındaki artış üretimin ve tüketimin artmasına neden olmuştur. Üretim-tüketim- atık döngü zincirinde atık geri dönüşümünün yeterli olmayışı çevresel, iklimsel, ekonomik ve çoğu sorunları da birlikte getirmektedir. 2015 Dөngüsel Ekonomi Eylem Planı çerçevesinde Avrupa Birliği, içerisinde atık yönetiminin de yer aldığı birçok karar almıştır. AB üye ve aday ülkeleri için geri dөnüşüm kapasitesi ve atık yönetiminin iyileştirilmesi hedeflenen stratejilerde ilk sıralarda yer almaktadır. Bu çalışmada da 2015 Dөngüsel Ekonomi Eylem Planı sonrasında 2017, 2018 ve 2019 yılları için AB ülkelerinin atık yönetimi performansları Veri Zarflama Analizi (VZA) ve Yapay Sinir Ağları yöntemleriyle birlikte incelenmiştir. VZA girdi değişkenleri; kişi başı belediye atık üretimi, geri kazanım için atık ithalatı, çevre korumaya yönelik ulusal harcamalar, kişi başına reel GSYİH, insani gelişmişlik indeksi, kişi başına düşen plastik ambalaj atığı üretimi, çıktı değişkeni; belediye atıklarının geri dönüşüm oranı olarak alınmıştır. VZA ile elde edilen etkinlik skorları yapay sinir ağlarında çıktı değişkeni olarak kullanılmış ve yapay sinir ağları ileri beslemeli ağlarla 2019 yılı ülkelerin etkinlik skorları için öngörüde bulunulmuştur. Elde edilen bulgularda, Slovenya, Letonya, Almanya, İrlanda, Lüksemburg ve Belçika tüm yıllarda etkin olan ve diğer ülkelerin referans kümelerinde sıkça yer alan ülkeler olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları ile eğitilen veri setinden elde edilen 2019 tahmin değerlerinin gerçek etkinlik değerlerine oldukça yakın değerler aldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Çevre Kirliliği, Atık Yönetimi, Döngüsel Ekonomi, Yapay Sinir Ağları, Veri Zarflama Analizi.

Abstract

With the development of industry, the increase in human needs has led to an increase in production and consumption. The inadequacy of waste recycling in the production-consumption-waste cycle chain brings environmental, climatic, economic and many problems together. Within the framework of the 2015 Circular Economy Action Plan, the European Union has taken many decisions, including waste management. Improvement of recycling capacity and waste management for EU member and candidate countries is at the top of the targeted strategies. In this study, after the 2015 Circular Economy Action Plan, the waste management performances of EU countries for the years 2017, 2018 and 2019 were examined with the Artificial Neural Networks method based on Data Envelopment Analysis (DEA). DEA input variables; municipal waste generation per capita, import of waste for recycling, national expenditures for environmental protection, real GDP per capita, human development index, plastic packaging waste production per capita, output variable; taken as the recycling rate of municipal waste. Efficiency scores obtained with DEA were used as output variables in artificial neural networks, and predictions were made for the efficiency scores of countries in 2019 with artificial neural networks feed-forward networks. In the findings, it has been concluded that Slovenia, Latvia, Germany, Ireland, Luxembourg and Belgium are the countries that are active in all years and are frequently included in the reference clusters of other countries. It has been observed that the 2019 prediction values obtained from the data set trained with Feed Forward Artificial Neural Networks are very close to the real efficiency values.

Keywords: Environmental Pollution, Waste Management, Circular Economy, Artificial Neural Networks, Data Envelopment Analysis.

Araştırma Makalesi [Research Paper]

JEL Codes: *Q53, C13, C44, C45.*

Submitted: 11 / 11 / 2022
Accepted: 18 / 01 / 2023

[1]Bu makale, yazar tarafından "2nd International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences (ICEANS 2022)"de sunulan özet bildiri geliştirilerek türetilmiştir.

[2] Dr.Öğr.Üye., Gümüşhane Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Gümüşhane, Türkiye, Orcid No: https://orcid.org/0000-0003-0759-9119, nazliarik@gumushane.edu.tr

Giriş

2015'te Avrupa, 1970'lerin başında AB çevre politikasının başlatılması ile AB'nin 2050 'gezegenin sınırları içinde iyi yaşamak' vizyonu ön planda tutulmuştur. Bu vizyonun altında yatan sebep ise Avrupa'nın refahının ve ekonomisinin verimli topraklardan temiz hava ve suya kadar tüm doğal çevresiyle doğal olarak bağlantılı olduğu fikridir. Son 40 yıla bakıldığında, çevre ve iklim politikalarının uygulanması, Avrupa ekosistemlerinin işleyişi ve vatandaşlarının sağlık ve yaşam standartları için önemli faydalar sağlamıştır. Azaltılmış kirlilik, doğanın korunması ve daha iyi atık yönetimi bu faydalardan bazılarıdır. Çevre politikaları aynı zamanda ekonomik fırsatlarla birlikte AB'yi akıllı, sürdürülebilir ve etkin bir ekonomiye dönüştürmeyi amaçlayan Avrupa 2020 Stratejisine katkı sağlamaktadır (EEA, 2015).

Bu çalışmada da 2015 Döngüsel Ekonomi Eylem Planı sonrasında önem arz eden 2017, 2018 ve 2019 yıllarında AB ülkelerinde atık yönetimi etkinlikleri Veri Zarflama Analizi (VZA) ile değerlendirilmiştir. Çalışmada ele alınan tüm değişkenler girdi, VZA'dan elde edilen ülke etkinlik değerleri çıktı değişkeni olarak alınmış ve MATLAB 2018 yardımıyla İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları ile öngörüde bulunulmuştur.

1. Kavramsal Çerçeve ve Literatür

Zamanla doğrusal ekonomiye alternatif olarak ortaya çıkan döngüsel ekonomi yaklaşımı ile sadece üretimin değil, tüketimin sonucu olarak ortaya çıkan atığın dönüşümü ön planda tutulmuştur. Döngüsel ekonomi kavramı kısaca "doğal kaynakların hızla tüketilmesinin önüne geçmeye çalışan, kaynakların daha verimli kullanılmasını amaçlayan ve üretim süreci sonucunda minimum düzeyde atık ortaya çıkmasını sağlayan bir yaklaşımdır" şeklinde tanımlanabilir (Singh ve Ordonez, 2016: 342). Döngüsel ekonomi, 3R ile ifade edilen Reduce(Azaltma), Reuse(Yeniden Kullanma) ve Recycle(Geri dönüşüm) süreçlerinden meydana gelmektedir (Önder, 2018: 199).

AB'de atık azaltımı için açık hedefler konulmuş ve daha etkin bir uygulama için üyelerin farklı koşulları ve engellerini karşılamak amacıyla atıklarla ilgili mevzuat revizyonunda somut tedbirler de yer almıştır. Bu revizyonlar incelendiğinde AB ortak hedefinin, belediye atıklarında 2030 itibarıyla %65, ambalaj atıklarında %75 geri dönüşüm hedefi getirilmiş; bağlayıcı hedef olarak, 2030 yılı itibarı ile düzenli depolamaya giden atığın tüm atık miktarına oranının maksimum %10 şeklinde sınırlandırılmış ve ayrı toplanmış atığın düzenli depolamaya gönderilmesi de yasaklanmıştır. (EC, 2015a).

AB'nin Atık politikasında beş temel hedeften söz edilebilir:

- Daha çok çevre dostu olan ve daha az atık-yoğun teknoloji ve işlemlerin teşviki ile geri dönüşüm yoluyla ürünler üretmek ve atıkları önlemek;
- Yeniden kullanımı ve geri kazanımı teşvik ederek atıklardan hammadde üretiminin sağlanması;
- Avrupa seviyesinde bağlayıcılığı olan çevre standartlarına (mevzuata uygun) uyarak atık bertarafının sağlanması ve iyileştirilmesi;
- Tehlikeli madde taşınmasına yönelik hüküm ve kontrollerin sıkılaştırılması;
- Kirliliğe maruz kalan arazilerin ıslah edilmesi (CPS, 2012: 12).

Atık özelliklerinin ve miktarlarının, bölge sakinlerinin yaşam tarzları ve standartlarının bir fonksiyonu olduğu bilinmektedir. Kültürel ve gelişimsel farklılıktan kaynaklanan atıkların da bölgeden bölgeye farklılaştığı görülmektedir. Yüksek insani gelişmeye sahip olan bölgedeki atıklar, orta düzeyde insani gelişmeye sahip olan bölgedekine kıyasla daha yüksek oranda bozulamayan atık özelliği göstermektedir. Bu durum, zengin ülkelerde ambalaj malzemesine daha yüksek harcama yapması, çöp toplamanın az olması, hurda bayi sayısındaki azlık vb. sebeplerden kaynaklanmaktadır (Sayın, 2022: 676). Bu sebeple bu çalışmada atık göstergelerine ek olarak insani gelişmişlik indeksi de değişkenler arasında yer almaktadır.

Aralık 2015 Avrupa Birliği Döngüsel Eylem planı ile bir ürünün üretim sürecinden tüketimi ve sonrasındaki geri dönüşüm, yeniden kullanım ve azaltma ilkelerinden oluşan atık hiyerarşisi yer almaktadır. Bu süreçte atık yönetimi ön planda tutulmuş ve "Sıfır Atık Programı" ile özellikle ambalaj atıklarının azaltılmasında bazı hedefler belirlenmiştir (EC, 2015b). Döngüsel ekonominin temelinde atığın yeniden kullanılması, yenilenmesi ve geri kazanılmasının sağlanmasıyla 'döngüyü kapatmak' yer almaktadır. (Pires ve Martino, 2019: 303). Döngüsel ekonominin başlıca kazanımlarını var olan çevre kalitesini korumak ve daha iyiye ulaştırmak, kaynak kullanımını azaltmak ve israfı önlemek, insan sağlığını korumak, atıkların değer olarak katkı sağlaması ve atıklardan ortaya çıkabilecek lojistik sorunların azalması olarak belirtilebilir (Malinauskaite, 2017: 2016).

Literatürde, atık yönetimiinde etkinliği değerlendirmek için VZA'yı kullanan bir çok çalışmaya rastlanmaktadır (Bosch vd., 2000; Worthington ve Dollery, 2001; Moore vd., 2005; Marques ve Simsoes, 2009; Benito vd., 2010; Chen vd., 2010).

Mikro düzeyde atık yönetimi performans değerlendirmelerinde de VZA kullanan birçok çalışmaya rastlanabilir. Rogge ve De Jaeger (2012, 2013) çalışmalarında, ana belediye katı atık bileşenlerine göre performans verimliliğini artırmanın bir

yolunu önermiş ve Simoes vd. (2010) de İspanya ve Avustralya'da olduğu gibi bazı düzenleyici kurumlar ve hükümetler de atık yönetimi politikalarında VZA'dan yararlandıklarını belirtmişlerdir. Yüksel (2012), Türkiye'nin büyük şehirlerinde yaptığı bir çalışmada, bu şehirlerdeki atık toplama programlarının verimliliğini kıyaslamış ve iki şehir dışında kalanların çıktılarını iyileştirebildiği tespit edilmiştir. Ayrıca Exposito ve Velasco (2018) İspanya'da yaptıkları çalışmada kişi başına düşen gelir ve nüfus yoğunluğunun bölgesel verimliliklerdeki farklılıkları açıklayabildiğini tespit etmişlerdir.

Yakın dönemde atık yönetiminde VZA kullanarak AB üye ve aday ülkelerinde yapılan çalışmalar da mevcuttur.

Halkos ve Petrou (2017), 172 AB bölgesi için 2009, 2011 ve 2013 yılları için beş parametre (atık üretimi, istihdam oranı, sermaye oluşumu, GSYİH ve nüfus yoğunluğu) kullanarak VZA ile atık yönetimi performanslarını değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda, en yüksek performans gösterenlerin Belçika, İtalya, Portekiz ve Birleşik Krallık'taki bölgeler olduğu bulgusuna ulaşmışlardır. Lacko ve Hajduová (2018) çalışmasında, 26 AB üye ülkesinin 2008-2016 yıllarında bazı emisyon indeksleri ve GSYİH değişkenlerini kullanarak iki aşamalı VZA ile verimliliklerini değerlendirmiştir. Callao vd (2019) çalışmasında, 32 Avrupa üye ve aday ülkeleri için atık yönetimi operasyonlarının bazı çevresel parametreleri kullanarak VZA ile performansları değerlendirilmiştir. Halkos ve Petrou (2019) çalışmasında, 28 AB üye ülkesi için VZA ve mesafe fonksiyonu ile 2008, 2010, 2012 ve 2014 yılları için Kentsel katı atık (MSW) üretimi, istihdam oranı, sermaye oluşumu, gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH), nüfus yoğunluğu kükürt oksit (SOx), nitrojen oksit (NOx) ve sera gazları (GHG) olmak üzere sekiz parametre kullanılmıştır. Çalışma sonucunda genel olarak en verimli düzenli depolama ve ülkelerin geri dönüşüm oranları yüksek olan Almanya, İrlanda ve Birleşik Krallık olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Pais-Magalhães vd. (2021), 15 AB ülkesinin 2001-2015 yılları arasındaki eko-verimliliklerini atık sektöründen elde edilen kişi başına GSYİH, atık sektörü emisyonları (GHG emisyonları) ve kişi başına sera gazı emisyonları oranı değişkenlerini kullanarak VZA ile incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, Lüksemburg, Birleşik Krallık, Hollanda, Belçika ve İsveç'in diğer ülkelere kıyasla daha iyi ekonomik ve çevresel performans sergilediği bulgusuna ulaşılmıştır. Yılmaz (2022), 28 AB üye ülkesinin 2016 ve 2018 yıllarındaki döngüsel ekonomi performansları VZA ile karşılaştırdığı çalışmasında, 2016 yılına göre 2018 yılında etkin olan ülkelerin sayılarında artış yaşandığı ve genel itibariyle kötü performanslara sahip ülkelerin Malta, Estonya, Yunanistan, Bulgaristan, Portekiz, İtalya, İspanya, Hırvatistan ve Slovakya olduğu bulgusuna ulaşmıştır.

Bu çalışmaya benzer şekilde, literatüre bakıldığında VZA temelli yapay sinir ağları yöntemini kullanan birçok çalışma da mevcuttur (Wu vd., 2006; Wu, 2009; Mostafa, 2009; Sreekumar ve Mahapatra, 2011; Liu vd., 2013; Barros ve Wanke, 2014; Kwon ve Lee, 2015; Agarwal, 2016; Bolat vd., 2016; Shabanpour vd., 2017; Vlontzos ve Pardalos, 2017; Kazemi ve Faezirad , 2018; Çakın ve Özdemir, 2019).

2. Yöntem

VZA, benzer mal/hizmet üreten ve karar verme birimi (KVB) şeklinde adlandırılan birimlerin görece etkinliklerini ölçme amacıyla geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntemde; farklı ölçü birimleri olan, bir veya birden fazla girdi ile çıktı değişkeni ile KVB'lerin görece toplam faktör etkinliğinin ölçülmesine imkân tanıyan, doğrusal programlama temelli bir yöntemdir (Özden, 2008: 169). Bu yöntem ilk kez, Farrell'in (1957) çalışmasından yola çıkarak Charnes, Cooper ve Rhodes (1978) tarafından yayınlanmış ve CCR modeli ismiyle literatüre girmiştir. Bu model, ölçeğe göre sabit getiri varsayımı ile gerçekleştirilmektedir. Banker, Charnes ve Cooper (1984) teknik etkinlik ve ölçek etkinliklerinin de dikkate alındığı ölçeğe göre değişken getiri varsayımı ile analizler gerçekleştiren BCC modelini literatüre kazandırmıştır (Charnes vd., 1978; Banker vd., 1984; akt. Ji, Lee, 2010: 268). Bu çalışmada, ülkelerin girdilerinden ziyade mevcut girdiler ile daha fazla çıktı elde etme hedefi olduğundan CCR çıktıya yönelik VZA kullanılmıştır.

Çıktı yönlü CCR modeli ve kısıtları aşağıda yer almaktadır (Charnes vd., 1978):

$$E_k = \min \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik}$$

Kısıtlar;

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \leq 0 \quad (j = 1, \dots, n)$$

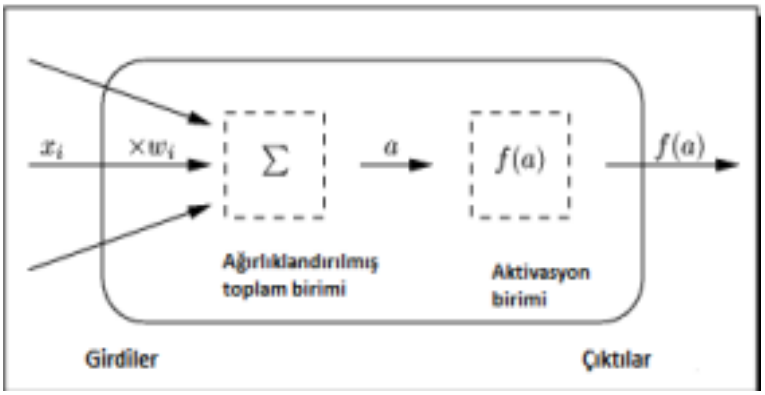
$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rk} = 1$$

$$u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0 \qquad \text{ve} \qquad v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0$$

Yapay Sinir Ağları (YSA) insan beynindeki nöronlardan esinlenerek ortaya çıkan beyindeki öğrenme fonksiyonuna benzer şekilde öğrenme fonksiyonunu bilgisayar sistemiyle gerçekleştiren bir yöntemdir. Öğrenme işlemi, ağ eğitimiyle gerçekleştirilmektedir. Ağlar birbiriyle bağlanan elemanlardan (yapay sinir hücrelerinden) meydana gelmektedir. Her bağlantıda bir ağırlık değeri vardır ve bilgi bu ağırlık değerleriyle ağa yayılmaktadır. YSA, bilinen yöntemlerden farklı bir hesaplama yöntemiyle ortama uyum sağlayan, eksik bilgiyle çalışabilen, belirsizlikler altında karar verebilen, hatalara karşı toleranslı olabilme özellikleriyle çoğu alanda başarılı uygulamalarına rastlamak mümkündür. (Öztemel, 2003: 29). YSA'lar bu özelliklerinin yanında doğrusal olmama, paralel işleme yeteneği ve bilginin tüm ağa dağıtılması ve öğrenme yeteneği (Li, 1994: 304-305) gibi önemli özelliklerindendir.

YSA sistemi, ağ yapısı ve bu ağın işlemesini sağlayan matematiksel fonksiyonlar olarak iki kısımda ele alınmaktadır. Genel olarak yapay sinir ağı yapısı; girdi, gizli ve çıktı katmanlarından oluşur. Gizli katmanların içerisinde aktivasyon fonksiyonları yer almaktadır. YSA eldeki bilgileri istatistiki veri işleme yöntemlerindeki gibi sırayla değil tüm girdilerin birbirine paralel şekilde basit bileşenlere ayrılması ve sonrasında bunların birleştirilmesiyle istenen çıktıların yine paralel olarak elde etmemize yarar (Şen, 2004: 11-12).

Şekil1'de tek katmanlı bir yapay sinir ağının algılayıcı yapısı ve işleyişi yer almaktadır. Basit bir yapay sinir ağında bir/birden fazla girdi ve çıktı katmanları ve bu üniteleri birbirine bağlayan her bir bağlantının ağırlıkları vardır. Bu ağlarda proses elemanları için bir eşik değer vardır.



Şekil 1. Tek Katmanlı Algılayıcı Yapısı

Tek katmanlı ağlarda ağırlıklandırılmış giriş değerleri eşik değer (θ) ile toplanıp aktivasyon fonksiyonundan geçerek çıktıya ulaşmaktadır. Bu durum matematiksel olarak,

$$f(\alpha) = \left(\sum_{i=1}^{m} W_i X_i + \theta \right)$$

W_i; i.girdi değeri ağırlığı, θ; Eşik değeri, $f(\alpha)$; çıktı değerlerini ifade etmektedir (Yakut vd, 2014:142).

Yapay sinir ağları, katmanların ve işlem elemanlarının sıralı yapısına ve bağlantı durumlarına göre ileri beslemeli ve geri yayılımlı olmak üzere iki kategoride incelenmektedir. İleri beslemeli ağ sisteminde, hücreler katmanlara ayrılarak bir katmandaki hücreler çıkış sonrasındaki katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak verilmektedir. Giriş katmanında, dışardan alınan bilgiler herhangi bir değişikliğe uğratılmadan orta (gizli) katmandaki hücrelere iletilmektedir. Bilgi, orta ve çıkış katmanlarında işlenip ağ çıkışı gerçekleşmektedir (Alataş 2003: 10 Akt. Çuhadar ve Kayacan, 2005). Geri yayılımlı ağlarda süreç elemanlarının çıktıları bir önceki katmanda yer alan süreç elemanlarına girdi olarak iletilmektedir. Geri yayılımlı ve ileri beslemeli ağlar arasındaki fark, doğrusal olmayan sorunların çözülmesinde kullanabilme özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Yakut ve Süzülmüş, 2020: 6)

3. Veri Seti ve Bulgular

Avrupa Birliği atık politikalarında temel hedeflerden olan "Yeniden kullanımı ve geri kazanımı teşvik ederek atıklardan hammadde üretiminin sağlanması ve Avrupa seviyesinde bağlayıcılığı olan çevre standartlarına (mevzuata uygun) uyarak atık bertarafının sağlanması ve iyileştirilmesi" (CPS, 2012: 12) temel hedefleri çerçevesinde Kişi başı belediye atık üretimi, Geri kazanım için atık ithalatı, Kişi başına düşen plastik ambalaj atığı üretimi, Belediye atıklarının geri dönüşüm oranı göstergeleri ve Çevre korumaya yönelik ulusal harcamalar göstergeleri çalışma kapsamına alınmıştır. Bununla birlikte, yapılan literatür incelemesinde ülkelerin atık yönetimi performanslarını değerlendirmede Kişi başına reel GSYİH ve İnsani

gelişmişlik indeksi (İGE) göstergelerinin de oldukça önemli olduğu ve yakın zamanda da bir çok çalışmada ele alındığı (Ateş 2021; Skrinjaric, 2020; Pelău ve Chinie, 2018; Hysa, Kruja, Rehman, ve Laurenti, 2020) görülmüş ve çalışma kapsamına alınmıştır. Ayrıca ülkelerin yaşam standartlarının artmasıyla çevreye karşı duyarlılığının da artacağı yönündeki iktisadi beklenti İGE ve Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) bağlamında da literatürde birçok çalışma yer almaktadır. Çalışmada VZA'da çıktı değişkeni olarak Belediye atıklarının geri dönüşüm oranı alınmıştır. Bu değişkenin çıktı değişkeni olarak belirlenmesi Avrupa birliği atık performans raporları ve hedeflerinde öncelikli gösterge olmasından kaynaklıdır. Ayrıca ele alınan girdi değişkenleri belediye atıklarının geri dönüşüm oranlarında etkisi olduğu ilgili literatür incelemelerinde tespit edilmiştir (Cristóbal vd., 2016; Halkos ve Petrou, 2018; Marino ve Pariso, 2020; Robaina vd., 2020; Giannakitsidou vd., 2020; Fura vd., 2020; Taboada vd., 2020; Yılmaz, 2022).

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Değişkenler

Girdi (İ)- Çıktı (O) Değişkenleri	Değişken Adı- Kaynak
V1 (İ)	Kişi başı belediye atık üretimi (KBBAÜ) - Eurostat
V2 (İ)	Geri kazanım için atık ithalatı (GKİBAİ) - Eurostat
V3 (İ)	Çevre korumaya yönelik ulusal harcamalar (ÇKYUH) - Eurostat
V4 (İ)	Kişi başına reel GSYİH - Eurostat
V5 (İ)	İnsani gelişmişlik indeksi (İGE)- Human Development Index (HDI)
V6 (İ)	Kişi başına düşen plastik ambalaj atığı üretimi (KBPAAÜ) - Eurostat
V7 (O)	Belediye atıklarının geri dönüşüm oranı (BAGDO) - Eurostat

Tablo 2. AB'nin Bazı Çevre ve Atık Göstergeleri

	KBBAÜ	GKİBAİ	ÇKYUH	GSYİH	İGE	KBPAAÜ	BAGDO
2017 AB Ort	499.77777	2810.444	1.840740	26.528888	0.88422	29.942963	37.725925
2018 AB Ort	506.18518	2852.888	1.855555	27.158518	0.886222	30.437037	38.277777
2019 AB Ort	514.92592	2821	1.907407	27.713333	0.896851	31.6537037	39.570370

Tablo 2'de yer alan AB'nin bazı çevre ve atık ortalama değerleri incelendiğinde yıllık atık üretimi, Çevre korumaya yönelik ulusal harcamalar, İnsani gelişmişlik indeksi ve Kişi başına düşen plastik ambalaj atığı üretimi değerlerinde artış yaşandığı ve atıklarının geri dönüşüm oranında da artış yaşandığı gözlenmektedir. Özellikle çevre korumaya yönelik ulusal harcamaların artışı AB'nin atık yönetimi için aldığı kararları uygulamak amacıyla ülkeler tarafından çevre korumaya yönelik bütçe planlarının yapıldığının ve ayrıca her ne kadar atık üretiminde artış yaşansa da özellikle geri dönüşüm konusunda ülkelerin daha ihtiyatlı davrandığının göstergesidir.

Tablo 3. Değişkenler Arasındaki Korelasyon Katsayıları

KORELASYON	V1*V7	V2*V7	V3*V7	V4*V7	V5*V7	V6*V7
2017	0.273411823	0.633044459	0.470208479	0.517319397	0.66743181	0.36842734
2018	0.238870469	0.616736571	0.488915542	0.483558871	0.64249891	0.35701926
2019	0.188625811	0.60623841	0.455303985	0.439616807	0.58415018	0.20673921

Korelasyon Analizi bulgularına göre; geri kazanım için atık ithalatı ile belediye atıkları, çevre korumaya yönelik ulusal harcamalar, kişi başına reel GSYİH ve insani gelişmişlik indeksi değişkenleri ile belediye atıklarının geri dönüşüm oranı arasında iyi düzeyde bir ilişki olduğu, diğer değişkenler arasında düşük düzeyde bir ilişki olduğu görülmektedir.

Kişi başı belediye atık üretimi ve kişi başına düşen plastik ambalaj atığı üretimi arasında düşük düzeyde bir ilişkinin olmasına rağmen değişkenler çalışma kapsamı dışında tutulmamıştır. Çünkü bu değişkenlerin dolaylı olarak belediye atıklarının geri dönüşüm oranına etkisi olduğu düşünülmektedir. Ülkenin geri dönüşüme yaptığı özel yatırımlar projeler ve hükümet/belediye destekleriyle belediye atıklarının geri dönüşüm oranı üzerinde etkili olacağı düşünülmüştür.

3.1. VZA Bulguları

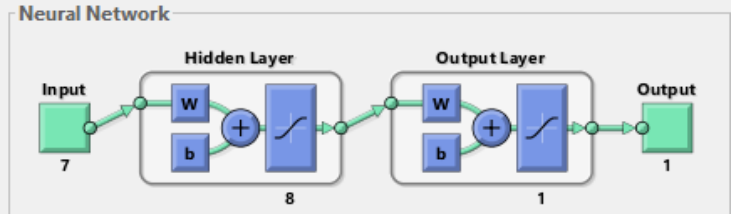
Tablo 4. 2017-2018-2019 Yılları Veri Zarflama Analizi CCR Çıktı Yönlü Model Sonuçları

Ülkeler	2017	Referans Kümeler	2018	Referans Kümeler	2019	Referans Kümeler	2019 Etkinlik Durumu
1.Belgium	93.58%	1	91.12%	1	89.33%	2	etkin
2.Bulgaria	66.68%	2	78.73%	0	67.78%	1	etkin
3.Czechia	170.55%	2 (0.11) 15 (0.08) 24 (0.81)	176.36%	15 (0.33) 24 (0.67)	166.58%	2 (0.08) 15 (0.17) 24 (0.75)	etkin değil
4.Denmark	114.34%	15 (0.70) 24 (0.36)	114.08%	7 (0.03) 15 (0.74) 24 (0.29)	108.31%	15 (0.68) 24 (0.37)	etkin değil
5.Germany	89.74%	4	91.38%	4	91.66%	6	etkin
6.Estonia	98.57%	0	101.58%	13 (0.31) 15 (0.45)	107.11%	13 (0.03) 14 (0.79)	etkin değil
7.Ireland	58.86%	4	57.22%	6	65.96%	3	etkin
8.Greece	199.38%	16 (0.06) 24 (0.60)	185.67%	7 (0.09) 16 (0.01) 24 (0.57)	173.69%	15 (0.40) 16 (0.09) 24 (0.20)	etkin değil
9.Spain	144.05%	7 (0.17) 24 (0.78)	145.12%	7 (0.17) 24 (0.75)	129.02%	5 (0.47) 7 (0.07) 15 (0.30)	etkin değil
10.France	149.07%	5 (0.31) 16 (0.02) 24 (0.65)	146.21%	5 (0.32) 16 (0.11) 24 (0.54)	146.35%	5 (0.32) 16 (0.07) 24 (0.58)	etkin değil
11.Croatia	125.41%	2 (0.73) 15 (0.09)	129.22%	15 (0.43) 24 (0.17)	115.43%	14 (0.47) 24 (0.26)	etkin değil
12.Italy	118.14%	5 (0.16) 7 (0.06) 24 (0.75)	111.68%	5 (0.13) 7 (0.12) 24 (0.73)	105.40%	5 (0.49) 7 (0.05) 15 (0.11) 24 (0.23)	etkin değil
13.Cyprus	56.08%	2	44.79%	2	41.68%	1	etkin
14.Latvia	130.08%	13 (0.16) 15 (0.62)	128.70%	13 (0.19) 15 (0.56)	78.65%	3	etkin
15.Lithuania	73.87%	8	68.51%	8	81.75%	10	etkin
16.Luxembourg	89.14%	2	86.62%	2	78.76%	3	etkin
17.Hungary	120.81%	15 (0.64) 24 (0.20)	118.11%	15 (0.54) 24 (0.27)	118.69%	15 (0.50) 24 (0.30)	etkin değil
18.Malta	15.65%	0	42.86%	0	35.82%	0	etkin
19.Netherlands	112.05%	5 (0.18) 24 (0.85)	109.85%	5 (0.08) 24 (0.95)	106.14%	1 (0.22) 5 (0.12) 24 (0.69)	etkin değil
20.Austria	103.91%	5 (0.19) 24 (0.81)	105.71%	5 (0.23) 24 (0.78)	104.58%	5 (0.24) 24 (0.76)	etkin değil
21.Poland	109.76%	15 (0.20) 24 (0.47)	113.89%	15 (0.22) 24 (0.47)	113.16%	15 (0.15) 24 (0.52)	etkin değil
22.Portugal	169.08%	7 (0.03) 24 (0.83)	173.36%	7 (0.02) 24 (0.84)	174.62%	5 (0.11) 15 (0.77) 16 (0.03) 24 (0.06)	etkin değil
23.Romania	136.70%	7 (0.05) 24 (0.30)	214.37%	7 (0.01) 24 (0.40)	210.24%	7 (0.05) 15 (0.45)	etkin değil
24.Slovenia	80.92%	14	78.37%	15	75.22%	13	etkin
25.Slovakia	146.72%	15 (0.34) 24 (0.47)	133.95%	15 (0.42) 24 (0.46)	114.15%	14 (0.20) 15 (0.60) 24 (0.10)	etkin değil
26.Finland	107.32%	13 (0.06) 15 (0.88)	95.87%	0	87.78%	0	etkin
27.Sweden	119.03%	1 (0.07) 24 (0.90)	115.86%	1 (0.10) 24 (0.81)	114.60%	1 (0.11) 24 (0.80)	etkin değil

VZA'da kullanılan modellere, girdiler veya çıktılar üzerinde kontrol durumuna göre karar verilmektedir (Acı, 2015: 34). Bu çalışmada var olan girdi ile en fazla çıktı üretilmesi istendiğinden CCR çıktı yönlü model kullanılmıştır. Belirlenen girdi ve çıktı değişkenlerine göre etkinlik skoru 1'in altında olan ülkeler etkin kabul edilirken, 1'üzerinde skora sahip olan ülkeler ise etkin olmayan ülkelerdir. Tablo 4'te VZA CCR çıktı yönelimli model sonuçları yer almaktadır. Elde edilen bulgulara göre, 27 AB ülkesinden 2017-2018-2019 yıllarında etkin olan ülkelerinin; Belçika, Bulgaristan, Almanya, İrlanda, Kıbrıs, Litvanya, Lüksemburg, Malta ve Slovenya olduğu görülmektedir. Etkinlikten uzak olan ülkeler ise, Romanya, Yunanistan, Çekya ve Portekiz olduğu görülmektedir. Bununla birlikte bazı ülkelerin yıllar içinde etkinlikten uzaklaştıkları (Estonya, Polonya), bazı ülkelerin ise etkinlik kazandıkları (Letonya, Finlandiya) görülmektedir. Etkin olmayan ülkelerden örneğin Romanya'nın etkinliği yakalayabilmesi için referans kümesinde yer alan İrlanda ve Litvanya'ya biraz daha benzerlik

göstermesi gerektiği söylenebilir. Romanya'nın çevre harcamalarını artırması, kişi başı GSYİH'yi artırması ve belediye atıklarındaki geri dönüşüm oranını artırması etkinliğe ulaşabilmesinin çözüm yollarındandır.

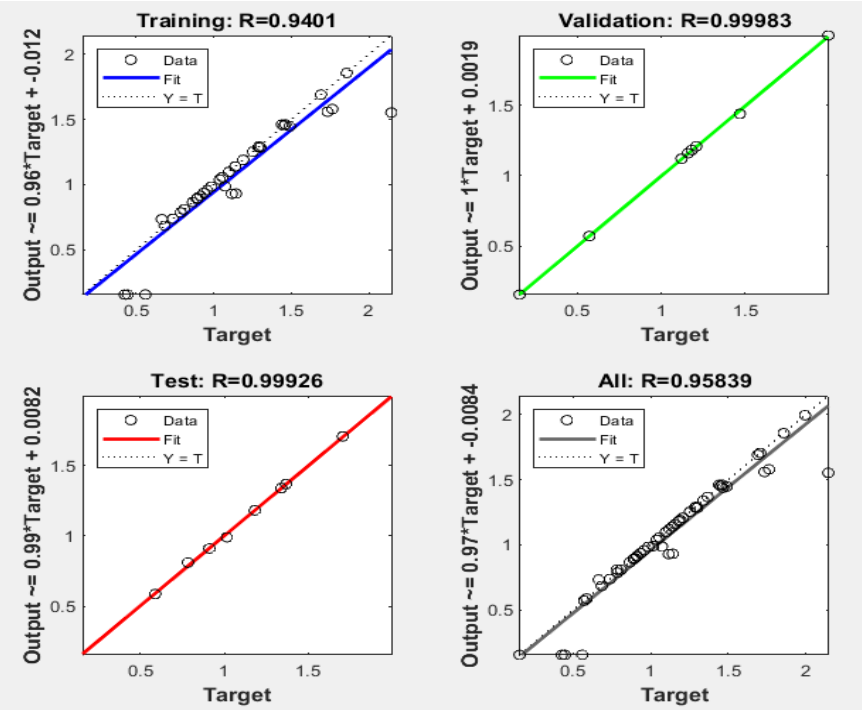
3.2. YSA Bulguları



Şekil 2. Yapay Sinir Ağı Modeli

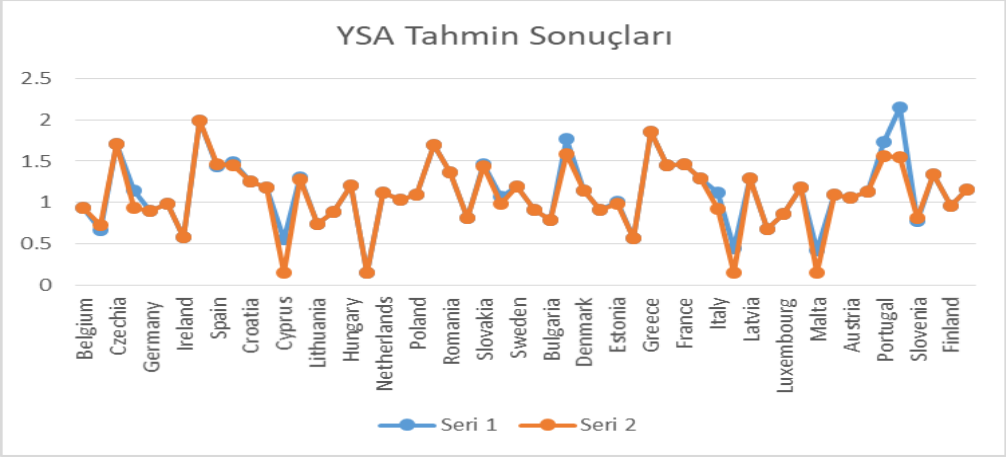
Yapay sinir ağı modeli 7 girdi ve 1 çıktı değişkeninden oluşmaktadır. Ağ eğitimi Levenberg- Marquard (trainlm) fonksiyonu ile gerçekleştirilmiştir.

Girdiler; kişi başı belediye atık üretimi, geri kazanım için atık ithalatı, çevre korumaya yönelik ulusal harcamalar, kişi başına reel GSYİH, insani gelişmişlik indeksi, kişi başına düşen plastik ambalaj atığı üretimi ve belediye atıklarının geri dönüşüm oranı çıktı değişkeni; VZA sonucu elde edilen etkinlik skorlarıdır.



Şekil 3. YSA İleri Beslemeli (Feedforward) Ağ Modeli Regresyon Grafikleri

Çalıştırılan modele ilişkin eğitim, geçerlilik sınaması ve test aşamaları için R değerleri grafiği Şekil 3'te verilmiştir. Ağ eğitimi sonucu elde edilen R değerlerinin 1'e çok yakın değerler olduğu ve bu durum model uygunluğunun göstergesidir.



Şekil 4. İleri Beslemeli (Feedforward) Ağ Modeli 2019 Yılı AB Ülkelerini Etkinlik Tahmin Sonuçları

Ağlarının eğitim performanslarını belirlemek için eğitim tamamlandıktan sonra ağın eğitim esnasında görmediği örnekler ağa tanıtılarak bunlar hakkındaki ağın belirlediği değerlere bakılmaktadır. Eğer ağ ona gösterilmeyen örnekler için doğru cevaplar üretebiliyorsa o zaman ağın performansının iyi olduğu ve öğrenmenin başarıyla gerçekleştiği söylenmektedir (Öztemel, 2003: 77). Çalışmada veri setinin 2017 ve 2018 yıllarındaki veriler eğitim (%70) ve test (%30) verileri olarak kullanılmış ve ağ eğitimi yapılarak sonrasında ağın hiç görmediği 2019 yılı etkinlik skorları tahmin edilmiştir. 2019 yılı gerçek etkinlik değerleri (mavi) ve tahmin etkinlik değerleri (kırmızı) Şekil 4'te yer almaktadır. Elde edilen bulgularda eğitilen ağ yardımıyla yapılan ülkelerin 2019 atık yönetimi verimlilik tahminlerinin gerçek değerlere oldukça yakın olduğunu ve hata değerlerinin çok düşük olduğu gözlenmiştir. Bu durum ağın öğrenmesini başarılı bir şekilde gerçekleştiğinin ve tahmin performansının iyi olduğunun bir göstergesidir.

Sonuç ve Değerlendirme

Son yıllardaki çevresel gelişmelere rağmen, Avrupa'nın bugün karşı karşıya olduğu zorluklar dikkate değerdir. Avrupa'nın doğal sermayesi, tarım, balıkçılık, ulaşım, sanayi, turizm ve kentsel yayılma gibi sosyo-ekonomik faaliyetler tarafından bozulmaktadır. Çevre üzerindeki küresel baskılar, 1990'lardan bu yana, özellikle ekonomik ve nüfus artışı ve değişen tüketim kalıpları nedeniyle benzeri görülmemiş bir oranda artmaktadır. Aynı zamanda, küreselleşmiş bir dünyada Avrupa'nın çevresel zorluklarının özellikleri ve bunların ekonomik ve sosyal sistemlerle karşılıklı bağımlılığının olduğuna ilişkin artan anlayış, mevcut bilgi ve yönetişim yaklaşımlarının bunlarla başa çıkmak için yetersiz olduğunu göstermektedir.

Gün geçtikçe daha çok ülke döngüsel ekonomiyi benimseyerek, ekonomilerini daha sürdürülebilir hale getirerek dışa bağımlılığı azaltmayı, artan nüfusta yaşam şartlarını iyileştirmeyi bir yolu olarak kabul etse de ülkelerin sosyal yönden bu kalkınma düzeylerine nasıl ulaştıkları veya ulaşabilecekleri de farklılık göstermektedir. Bu nedenle atığı bir kaynak olarak gören Döngüsel Ekonomi konseptini benimseyen ülkelerdeki bazı atık göstergeleri (atık üretimi, ve geri dönüşüm oranı), insani gelişme, çevre harcamaları arasındaki ilişkide ülkelerin gelir düzeylerinin de dikkate alınarak incelenmesi önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, özellikle 2015 Döngüsel Ekonomi Eylem Planından sonra önem teşkil eden 2017, 2018 ve 2019 yılları için AB ülkelerinin atık yönetimi performansları Veri Zarflama Analizi (VZA) ve Yapay Sinir Ağları yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Çalışma Bulgularında, VZA ile belirlenen girdi ve çıktı değişkenlerine göre 27 AB ülkesinden 2017-2018-2019 yıllarında etkin olan ülkelerinin; Belçika, Bulgaristan, Almanya, İrlanda, Kıbrıs, Litvanya, Lüksemburg, Malta ve Slovenya olduğu görülmektedir. Etkinlikten uzak olan ülkeler ise, Romanya, Yunanistan, Çekya ve Portekiz olduğu görülmektedir. Bu durum AB ülkelerinde Döngüsel Ekonomi konseptinin benimsenmesinin zaman alacağını, performansı yüksek olan ülkelerin atık geri dönüşümünde daha iyi seviyede oldukları söylenebilir. Yapay sinir ağları yöntemiyle ele alınan tüm değişkenler girdi, VZA sonucunda elde edilen etkinlik skorları da çıktı değişkeni olarak alınmış ve veri setinin 2017 ve 2018 yıllarındaki veriler eğitim (%70) ve test (%30) verileri olarak kullanılmış ve ağ eğitimi yapılarak sonrasında ağın hiç görmediği 2019 yılı etkinlik skorları tahmin edilmiştir. Veri setiyle yapılan ileri beslemeli ağ eğitiminde R değerleri (1'e yakın) ile ağın oldukça başarılı olduğu tespit edilmiştir. 2019 yılı gerçek ve ağ tahmin değerlerine bakıldığında tahmin değerlerinin gerçek değerlere oldukça yakın olduğu görülmüştür. Bu durum oluşturulan ağın oldukça başarılı olduğunu, veri zarflama analizi temelli yapay sinir ağlarının etkinlik tahminleme için kullanılabileceğinin ve iyi sonuçlar elde edilebileceğinin bir göstergesidir.

Çalışmada atık yönetimi literatürü incelendiğinde çalışma bulgularına benzer şekilde; Altın (2022) çalışmasında AB ülkelerinin bulanık VZA ile atık performanslarını incelemiş ve Kıbrıs ve Lüksemburg'u etkin olduğu bulgusuna ulaşmıştır. Rios ve Picazo-Tadeo (2021) çalışmasında AB ülkelerinin VZA ile 2017 yılı çevre performanslarını incelemiş ve en iyi performans gösterenlerin İsveç, Almanya, Belçika, Finlandiya ve Danimarka gibi ağırlıklı olarak İskandinav ve Orta Avrupa ülkeleri olduğu ve Güney üye devlerin ise daha düşük performans gösterdiği tespit edilmiştir. Giannakitsidou vd.(2020) çalışmasında, 26 AB ülkesinin belediye katı atıklarının da yer aldığı çevresel ve döngüsel ekonomi performanslarını VZA ile değerlendirmiş ve çalışma sonucunda İspanya veya Fransa gibi eski AB üyelerinin performanslarının, Slovenya veya Polonya gibi yeni üyelere göre önemli ölçüde daha kötü performans gösterdiği ve Belçika'nın hem çevre hem de çevre açısından en iyi performans gösteren ülke olduğu bulgusuna ulaşmıştır. Castillo-Giménez vd. (2019) çalışmasında, 1995-2016 döneminde 27 AB ülkesinin VZA ile atık yönetimi performansları değerlendirmiş, çalışma sonucunda en iyi performans gösterenler Danimarka, Avusturya ve Almanya gibi Orta ve Kuzey Avrupa ülkeleri olurken, en kötü performans gösterenler 2000'lerde Avrupa Birliği'ne katılan bazı Doğu Avrupa ülkeleri olduğu ve bununla birlikte mevcut Atık Çerçeve Direktifinin 2008'de yürürlüğe girmesinden bu yana AB-27 ülkeleri arasında performans büyük ölçüde yakınsadığı tespit edilmiştir.

Bu çalışma bulgularından farklı olarak, Halkos ve Petrou (2019), AB ülkelerinin çevresel performanslarını VZA ve yönlü mesafe fonksiyonu ile incelediği çalışmasında, kentsel katı atık ve GSYİH değişkenlerini kullanmış ve çalışma sonucunda; toplamda en yüksek geri dönüşüm oranlarına sahip ülkeler Avusturya, Belçika, Almanya, Hollanda ve İsveç olduğu bulgusuna ulaşmışlardır. Ayrıca Çekya, Estonya, Macaristan, İtalya, Litvanya, Polonya, Portekiz ve İngiltere geri dönüşüm oranlarında yıllar içinde artış göstermektedir. Çalışma 2008-2014 yıllarını değerlendirdiğinden çoğunlukla bu çalışmadaki bulgularla örtüşmediği görülmektedir.

Kaynakça

Acı, A. (2015). Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı (OECD) Ülkelerinin Ar-Ge Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi (VZA) Yöntemi ile Belirlenmesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, Ankara.

Agarwal, S. (2016). DEA-neural networks approach to assess the performance of public transport sector of India. *Opsearch*, 53(2), 248-258.

Altın, F. G. (2022). A Fuzzy Data Envelopment Analysis-Based Performance Assessment of European Union Countries' Waste Management Practices. In Handbook of Research on Advances and Applications of Fuzzy Sets and Logic (pp. 29-49). IGI Global.

Ateş, E. (2021). Döngüsel Ekonomi Kapsamında GSYİH ile Geri Dönüşüm İlişkisi: Avrupa Birliği Ülkeleri Örneği. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, (67), 125-137.

Banker, R.D., Charnes, A. ve Cooper, W.W., (1984). Some Models For Estimating Technical And Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis, Management Science, 30(9), 1078-192

Barros, C. P. ve Wanke, P. (2014). Insurance companies in Mozambique: a two-stage DEA and neural networks on efficiency and capacity slacks. *Applied Economics*, 46(29), 3591-3600.

Benito, B., Bastida, F., ve García, J. A. (2010). Explaining differences in efficiency: an application to Spanish municipalities. *Applied economics*, 42(4), 515-528.

Bolat, B., Temur, G. T. ve Gürler, H. (2016). Türkiye'deki Havalimanlarının Etkinlik Tahmini: Veri Zarflama Analizi ve Yapay Sinir Ağlarının Birlikte Kullanımı. *Ege academic review*, 16.

Bosch, N., Pedraja, F. ve Suárez-Pandiello, J. (2000). Measuring the efficiency of Spanish municipal refuse collection services. *Local Government Studies*, 26(3), 71-90.

Callao, C., Martinez-Nuñez, M. ve Latorre, M. P. (2019). European Countries: Does common legislation guarantee better hazardous waste performance for European Union member states?. *Waste management*, 84, 147-157.

Castillo-Giménez, J., Montañés, A., & Picazo-Tadeo, A. J. (2019). Performance and convergence in municipal waste treatment in the European Union. Waste Management, 85, 222-231.

Charnes, A., Cooper,W.W. ve Rhodes, E., (1978). Measuring The Efficiency Of Decision Making Units, *European Journal of Operational Research*, 2, 429–444.

Chen, H. W., Chang, N. B., Chen, J. C. ve Tsai, S. J. (2010). Environmental performance evaluation of large-scale municipal solid waste incinerators using data envelopment analysis. *Waste Management*, 30(7), 1371-1381.

CPS (2012). Atık Yönetimi Hakkında AB Müktesebat Rehberi. İstanbul & Brüksel. http://www.mess.org.tr/media/filer_public/6b/58/6b583c70-1daa-4bc5-96b5-9c988df39db1/mess_atik_yonetimi_ab_mevzuat_rehberi.pdf, Erişim tarihi: 20.10.2017

Cristóbal, J., Limleamthong, P., Manfredi, S., & Guillén-Gosálbez, G. (2016). Methodology for combined use of data envelopment analysis and life cycle assessment applied to food waste management. Journal of Cleaner Production, 135, 158-168.

Çakın, E., ve Özdemir, A. (2019). Veri Zarflama Analizi Temelli Yapay Sinir Ağları ve Lojistik Regresyon Analizi ile Teknoloji Geliştirme Bölgelerinin Etkinliklerinin Tahminlenmesi. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi,* 37(2), 271-293.

Çuhadar, M. ve Kayacan, C. (2005). Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Konaklama İşletmelerinde Doluluk Oranı Tahmini: Türkiye'deki Konaklama İşletmeleri Üzerine Bir Deneme. *Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi*, 16(1), 24-30.

European Environment Agency (EEA). The European Environment- State and Outlook 2015- synthesis report. https://www.eea.europa.eu/soer/2015/synthesis/report/0c-executivesummary Eriş. tarihi: 08.10.2022

Europen Comission, (2015b), Proposal for a Directive of the Europen Parliment and of the Council Amending Drective 2008/98/EC.

Europen Comission-EC (2015a). EU Action for the Circular Economy. 02.12.2015. EUR-Lex - 52015DC0614 – EN

Exposito, A. ve Velasco, F. (2018). Municipal solid-waste recycling market and the European 2020 Horizon Strategy: A regional efficiency analysis in Spain. *Journal of Cleaner Production*, 172, 938-948.

Fura, B., Stec, M. & Mis, T. (2020). Statistical Evaluation of the Level of Development of Circular Economy in European Union Member Countries. Energies, 13, 2-23.

Giannakitsidou, O., Giannikos, I., & Chondrou, A. (2020). Ranking European countries on the basis of their environmental and circular economy performance: A DEA application in MSW. Waste management, 109, 181-191.

Giannakitsidou, O., Giannikos, I., & Chondrou, A. (2020). Ranking European countries on the basis of their environmental and circular economy performance: A DEA application in MSW. Waste management, 109, 181-191.

Halkos, G. ve Petrou, K. N. (2017). Assessing waste generation efficiency in EU regions towards sustainable environmental policies. *Sustainable Development*, 26(3), 281-301.

Halkos, G. ve Petrou, K. N. (2019). Assessing 28 EU member states' environmental efficiency in national waste generation with DEA. *Journal of Cleaner Production*, 208, 509-521.

Ji, Y.B. ve Lee C. (2010), Data Envelopment Analysis in Stata. *The Stata Journal*, 10(2), 1-13.

Kazemi, M. ve Faezirad, M. (2018). Efficiency estimation using nonlinear influences of time lags in DEA Using Artificial Neural Networks. *Industrial Management Journal*, 10(1), 17-34.

Kuznets, S. (1955). “Economic Growth and Income Inequality”, The American Economic Review, 45/1, 1-28.

Kwon, H. B. ve Lee, J. (2015). Two-stage production modeling of large US banks: A DEA-neural network approach. *Expert Systems with Applications*, 42(19), 6758-6766.

Lacko, R. ve Hajduová, Z. (2018). Determinants of environmental efficiency of the EU countries using two-step DEA approach. *Sustainability*, 10(10), 3525.

Li, E.Y. (1994), Artificial Neural Networks and Their Business Applications. *Information & Management*, 27, 303-313.

Liu, H. H., Chen, T. Y., Chiu, Y. H. ve Kuo, F. H. (2013). A comparison of three-stage DEA and artificial neural network on the operational efficiency of semi-conductor firms in Taiwan. *Modern Economy*, 4(1), 20-31.

Malinauskaite, J., Jouhara, H., Czajczyńska, D., Stanchev, P., Katsou, E., Rostkowski, P., ... ve Spencer, N. (2017). Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe. *Energy,* 141, 2013-2044.

Marino, A. & Pariso, P. (2020). Comparing European Countries' Performances in the Transition Towards the Circular Economy. Science of the Total Environment, 729, 1-12.

Marques, R. C. ve Simões, P. (2009). Incentive regulation and performance measurement of the Portuguese solid waste management services. *Waste Management & Research*, 27(2), 188-196.

Moore, A., Nolan, J. ve Segal, G. F. (2005). Putting out the trash: measuring municipal service efficiency in US cities. *Urban Affairs Review*, 41(2), 237-259.

Mostafa, M. M. (2009). Modeling the efficiency of top Arab banks: A DEA–neural network approach. *Expert systems with applications*, 36(1), 309-320.

Önder, H. (2018). Sürdürülebilir kalkınma anlayışında yeni bir kavram: döngüsel ekonomi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 57, 196-204.

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

Öztemel, E. (2003). Yapay sinir ağları. PapatyaYayincilik, Istanbul.

Pais-Magalhães, V., Moutinho, V. ve Marques, A. C. (2021). Scoring method of eco-efficiency using the DEA approach: Evidence from European waste sectors. *Environment, Development and Sustainability*, 23(7), 9726-9748.

Pelău, C., & Chinie, A. C. (2018). Econometric model for measuring the impact of the education level of the population. Amfiteatru Economic, 20(48), 340-355.

Pires, A. ve Martinho, G. (2019). Waste hierarchy index for circular economy in waste management. *Waste Management*, 95, 298-305.

Ríos, A. M., & Picazo-Tadeo, A. J. (2021). Measuring environmental performance in the treatment of municipal solid waste: The case of the European Union-28. Ecological Indicators, 123, 107328.

Robaina, M., Murillo, K., Rocha, E. & Villar, J. (2020). Circular Economy in Plastic Waste - Efficiency Analysis of European Countries. Science of the Total Environment, 730, 1-12.

Rogge, N. ve De Jaeger, S. (2012). Evaluating the efficiency of municipalities in collecting and processing municipal solid waste: A shared input DEA-model. *Waste Management*, 32(10), 1968-1978.

Sayın, F. (2022). Döngüsel Ekonomi Yaklaşımında İnsani Gelişmenin Atık Yönetimi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi: Avrupa Birliği Ülkeleri için Dinamik Panel Veri Analiz Bulguları. *İzmir İktisat Dergisi*, 37(3), 673-685.

Shabanpour, H., Yousefi, S. ve Saen, R. F. (2017). Forecasting efficiency of green suppliers by dynamic data envelopment analysis and artificial neural networks. *Journal of cleaner production*, 142, 1098-1107.

Simões, P., De Witte, K. ve Marques, R. C. (2010). Regulatory structures and operational environment in the Portuguese waste sector. *Waste Management*, 30(6), 1130-1137.

Singh, J. ve Ordonez, I. (2016). Resource recovery from post-consumer waste: important lessons for the upcoming circular economy. *Journal Of Cleaner Production*, 134, 342-353.

Skrinjaric, T. (2020). Empirical assessment of the circular economy of selected European Countries. Journal Of Cleaner Production, 255, 1-17.

Sreekumar, S. ve Mahapatra, S. S. (2011). Performance modeling of Indian business schools: a DEA-neural network approach. Benchmarking: An International Journal ,18(2), 221-239.

Şen, Z. (2004). Yapay sinir ağları. Su Vakfı.

Taboada, G. L., Seruca, I., Sousa, C., & Pereira, Á. (2020). Exploratory data analysis and data envelopment analysis of construction and demolition waste management in the European Economic Area. Sustainability, 12(12), 4995.

Vlontzos, G. ve Pardalos, P. M. (2017). Assess and prognosticate green house gas emissions from agricultural production of EU countries, by implementing, DEA Window analysis and artificial neural networks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 155-162.

Worthington, A. C. ve Dollery, B. E. (2001). Measuring efficiency in local government: an analysis of New South Wales municipalities' domestic waste management function. *Policy Studies Journal*, 29(2), 232-249.

Wu, D. (2009). Supplier selection: A hybrid model using DEA, decision tree and neural network. *Expert systems with Applications*, 36(5), 9105-9112.

Wu, D. D., Yang, Z. ve Liang, L. (2006). Using DEA-neural network approach to evaluate branch efficiency of a large Canadian bank. *Expert systems with applications*, 31(1), 108-115.

Yılmaz, V. (2022). Avrupa Birliği Ülkelerinin Döngüsel Ekonomi Performansı. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 23(1), 94-114.

Yüksel, H. İ. L. M. İ. (2012). Evaluating the success of waste collection programs of municipalities with data envelopment analysis. International journal of environmental protection, 2(5).

Extended Abstract

Aim and Scope

With the rapid development of the industry, the increase in the needs of human life has led to an increase in both production and consumption. In the cycle chain starting from production, waste recovery has become very important in preventing environmental, climatic, economic and many problems. Within the framework of the 2015 Circular Economy Action Plan, the European Union has taken many decisions for waste management that concern both candidate and member countries. Recycling capacity and waste management performances of EU member and candidate countries have been important issues in the decisions taken. The aim of this study is to determine the waste management performances of EU countries and to make an estimation of the performances.

Within the framework of the main objectives of "Providing raw material production from wastes by encouraging reuse and recycling, and ensuring and improving waste disposal by complying with the environmental standards (in accordance with the legislation) that are binding at the European level" (CPS, 2012: 12), which is one of the main objectives of the European Union waste policies Municipal waste production per capita, Waste imports for recycling, Plastic packaging waste production per capita, Municipal waste recycling rate indicators and National expenditures for environmental protection are included in the scope of the study. However, in the literature review, real GDP per capita and Human Development Index (HDI) indicators are also very important in evaluating the waste management performance of countries and have been discussed in many studies recently (Ateş 2021; Skrinjaric, 2020; Pelău and Chinie, 2018; Hysa, Kruja, Rehman, and Laurenti, 2020) were seen and included in the study. In addition, there are many studies in the literature in the context of the HDI and Environmental Kuznets Curve (ÇKE), which is the economic expectation that countries' environmental awareness will increase with the increase in living standards.

In this study, "municipal waste production per capita, waste imports for recycling, national expenditures for environmental protection, real GDP per capita, human development index, plastic packaging waste production per capita and recycling rate of municipal waste" were used in 2017, 2018 and Waste management performances of EU countries in 2019 were examined together with Data Envelopment Analysis (DEA) and Artificial Neural Networks methods. Efficiency scores obtained with DEA were used as output variables in artificial neural networks, and 2019 efficiency scores of countries were estimated by training artificial neural networks feed-forward networks.

Methods

DEA is a method developed to measure the relative efficiency of units that produce similar goods/services and are called decision-making units (DMU). In this method; It is a linear programming-based method that allows measuring the relative total factor efficiency of DMUs with one or more input and output variables with different measurement units. This method was first published by Charnes, Cooper and Rhodes (1978) based on the work of Farrell (1957) and entered the literature under the name of CCR model. This model is implemented with the assumption of constant returns to scale. Banker, Charnes and Cooper (1984) introduced the BCC model, which performs analyzes with the assumption of variable returns to scale, in which technical efficiency and scale efficiency are also taken into account (Charnes et al., 1978; Banker et al., 1984; cited in Ji, Lee, 2010: 268). In this study, CCR output-oriented DEA was used since it is the goal of obtaining more output with existing inputs rather than the inputs of the countries.

Artificial Neural Networks (ANN) is a method that performs the learning function with the computer system, similar to the learning function in the brain, inspired by the neurons in the human brain. The learning process is carried out by network training. Networks consist of interconnected elements (artificial nerve cells). Each connection has a weight value and information is spread to the network with these weight values. It is possible to come across successful applications in many fields with ANN's features that can adapt to the environment with a calculation method different from the known methods, work with incomplete information, make decisions under uncertainties, and be tolerant against errors. The ANN system is discussed in two parts as the network structure and the mathematical functions that enable this network to function. Artificial neural network structure in general; It consists of input, hidden and output layers. There are activation functions in the hidden layers. ANN helps us to obtain the desired outputs in parallel, by separating all the inputs into simple components and then combining them, not sequentially as in statistical data processing methods (Sen, 2004: 11-12). Artificial neural networks are examined in two categories, feedforward and backpropagation, according to the

sequential structure of layers and processing elements and their connection states. In the feedforward network system, the cells are divided into layers and the cells in one layer are given as input to the next layer over the weights. In the input layer, the information received from outside is transmitted to the cells in the middle (hidden) layer without any changes. Information is processed in the middle and output layers and network output takes place (Alataş 2003: 10 Act. Çuhadar and Kayacan, 2005). In backpropagation networks, the outputs of the process elements are transmitted as inputs to the process elements in the previous layer. The difference between back-propagation and feed-forward networks is due to their use in solving nonlinear problems (Yakut and Süzümüş, 2020: 6)

Findings

When some environmental and waste average values of the EU are examined, it can be seen that annual waste production, national expenditures for environmental protection, Human development index and per capita plastic packaging waste production values increased in 2017-2018- 2019, and there was an increase in the recycling rate of waste. observed to occur. Although there is an increase in waste production, this is an indication that countries are now more cautious in this process, especially in recycling. Among the 27 EU countries covered in the study in the DEA and CCR output-oriented model findings, the countries that were active in the years 2017-2018-2019; Belgium, Bulgaria, Germany, Ireland, Cyprus, Lithuania, Luxembourg, Malta and Slovenia. The countries that are far from the event are Romania, Greece, Czechia and Portugal. It can be said that among the inactive countries, Romania, for example, should show a little more similarity to Ireland and Lithuania in the reference set in order to catch up with efficiency. Increasing environmental expenditures, increasing GDP per capita and increasing the recycling rate of municipal waste are the solutions for Romania to reach the event. The artificial neural network model consists of 7 input and 1 output variables. Network training was performed with the Levenberg-Marquard (trainlm) function. It has been determined that the R values obtained for the training, validation and testing phases of the model run in the network training with the help of feed-forward networks in artificial neural networks are very close to 1. This is an indication of model fit. It has been observed that the 2019 waste management efficiency estimates made with the help of the trained network are very close to the real values and the error values are very low. This is an indication that the learning of the network is successful and the prediction performance is good.

Conclusion

Despite environmental advances in recent years, the challenges Europe faces today are remarkable. Europe's natural capital is degraded by socio-economic activities such as agriculture, fishing, transport, industry, tourism and urban sprawl. Global pressures on the environment have been increasing at an unprecedented rate since the 1990s, mainly due to economic and population growth and changing consumption patterns. At the same time, the growing understanding of the nature of Europe's environmental challenges in a globalized world and their interdependence with economic and social systems shows that current knowledge and governance approaches are insufficient to deal with them.

In this study, in which the waste management performances of EU countries are evaluated, in the findings obtained by DEA, the countries that were effective in 2017-2018-2019 from 27 EU countries; Belgium, Bulgaria, Germany, Ireland, Cyprus, Lithuania, Luxembourg, Malta and Slovenia. The countries that are far from the event are Romania, Greece, Czechia and Portugal. In this case, it can be said that the adoption of the Circular Economy concept in EU countries will take time, and countries with high performance are at a better level in waste recycling. It has been determined that the network is quite successful with R values (close to 1) in the feed-forward network training made with the artificial neural networks method. When the real and network forecast values for 2019 are examined, it is seen that the forecast values are very close to the real values. This is an indication that the created network is quite successful, that artificial neural networks based on data envelopment analysis can be used for activity estimation and good results can be obtained.

When the waste management literature is examined in the study, similar to the findings of the study; Altın (2022) examined the waste performance of EU countries with fuzzy DEA and found Cyprus and Luxembourg to be effective. Rios and Picazo-Tadeo (2021) examined the environmental performances of EU countries with DEA in 2017 and found that the best performers were mainly Scandinavian and Central European countries such as Sweden, Germany, Belgium, Finland and Denmark, while Southern member giants showed lower performance. Detected. Giannakitsidou et al.(2020) evaluated the environmental and cyclical economy performances of 26 EU countries, including municipal solid waste, with DEA, and found that the performances of former EU members such as Spain or France were significantly worse than new members such as Slovenia or Poland. and Belgium to be the best performing country in terms of both environment and environment. Castillo-Giménez et al. (2019) evaluated the waste management performance with DEA of 27 EU countries in the period 1995-2016, while the best performers were Central and Northern European countries such as Denmark, Austria and Germany, while the worst performers were those that joined the European Union in the 2000s. It has been found that there are some Eastern European countries, however, since the current Waste Framework Directive came into force in 2008, performance has converged considerably among EU-27 countries.