

T.C.  
MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
İŞLETME ANABİLİM DALI  
SÜRDÜRÜLEBİLİR BÜYÜME VE KALİTE YÖNETİMİ BİLİM DALI

**HAVAYOLU TAŞIMACILIĞININ EKO-ETKİNLİĞİNİN ÖLÇÜLMESİNDE BİR  
MODEL ÖNERİSİ: ÖZDÜZENLEYİCİ HARİTALAR**

Yüksek Lisans

Yılmaz ÖZDEMİR

İSTANBUL, 2023

T.C.  
MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
İŞLETME ANABİLİM DALI  
SÜRDÜRÜLEBİLİR BÜYÜME VE KALİTE YÖNETİMİ BİLİM DALI

**HAVAYOLU TAŞIMACILIĞININ EKO-ETKİNLİĞİNİN ÖLÇÜLMESİNDE BİR  
MODEL ÖNERİSİ: ÖZDÜZENLEYİCİ HARİTALAR**

Yüksek Lisans

Yılmaz ÖZDEMİR

DANIŞMAN: PROF. DR. REFİKA BAKOĞLU

İSTANBUL, 2023

## ÖZET

### HAVAYOLU TAŞIMACILIĞININ EKO-ETKİNLİĞİNİN ÖLÇÜLMESİNDE BİR MODEL ÖNERİSİ: ÖZDÜZENLEYİCİ HARİTALAR

Havayolu Taşımacılığı; 1950 yılından itibaren karşılaştığı tüm krizlere rağmen her yıl büyüme gösteren bir sektör olmuştur. Taşımacılık türleri arasında en küçük karbon emisyonu oranına sahip olmasına rağmen, küresel ısınmaya direk etkisi olması nedeniyle havayolu taşımacılığında eko-etkinlik önemli bir yere sahiptir. Literatürde eko-etkinliğin ölçülmesine yönelik çalışmaların azlığının yanı sıra yaygın kullanılan yöntemler, ilgili çevresel ölçütlerin ağırlıklı toplamına dayalıdır. Bu durum yöneticiler için eko-etkinliğin iyileştirilmesi için olası yolları sağlamada etkisiz kalmaktadır. Bu çalışmada ise havayolu taşıyıcılarının eko-etkinliklerini değerlendirmek ve iyileştirmeler için ihtiyaç duyulan boşlukları dolduracak denetimsiz öğrenme yöntemlerinden öz düzenleyici haritalar (SOM) modeli önerilmektedir.

Araştırmanın verileri, Lufthansa Grup şirketlerinin 2005 ile 2021 yılları arasında yayınlamış olduğu yıllık faaliyet raporlarında ve çevresel faaliyet raporlarından elde edilmiş, eko-etkinlik performansının derinlemesine ve ayrıntılı olarak incelenmiştir. Eko-etkinliğin ölçülmesinde kullanılan 8 gösterge (Gelirler, üretilen koltuk kilometre, üretilen ton kilometre, yakıt, karbondioksit, azot oksit, karbon monoksit, hidroflorokarbon) olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak havayolu işletmesinin; 1) Arz Edilen Ton Kilometre ile Hidroflorokarbon emisyonları arasında pozitif yönlü korelasyon, Net Satış geliri arasında negatif yönlü korelasyon gözlemlenmiştir.2) Arz Edilen Koltuk Kilometre ile Net Satış geliri arasında pozitif yönlü korelasyon, Hidroflorokarbon arasında negatif yönlü korelasyon gözlemlenmiştir. 3) Sürdürülebilir Havacılık Yakıtları kullanımı ile yeni teknolojiler ile üretilen uçakların havayolu işletmesinin CO, NO<sub>x</sub>, CH emisyonlarının salınımını önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir. 4) Havayolu işletmesinin eko-etkinlik performansının en düşük olduğu yıllar 2005 ve 2006 iken, en yüksek olduğu yıllar ise 2017,2018,2019,2020 ile 2021 olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Eko-etkinlik, Eko-etkinlik ölçüm modeli, Çevresel performans, Sürdürülebilirlik, Kurumsal Sürdürülebilirlik, Öz Düzenleyici Haritalar

## ABSTRACT

### A MODEL PROPOSAL FOR MEASURING THE ECO-EFFICIENCY OF AIR TRANSPORT: SELF-ORGANIZING MAP

Airway transportation; Despite all the crises it has faced since 1950, it has been a growing sector every year. Although it has the smallest carbon emission rate among the transportation types, eco-efficiency has an important role in air transportation due to its direct effect on global warming. In addition to the scarcity of studies in the literature to measure eco-efficiency, the commonly used methods are based on the weighted sum of the relevant environmental criteria. This is ineffective in providing possible ways for managers to improve eco-efficiency. In this study, Self-Organising Maps (SOM) model, one of the unsupervised learning methods, is proposed to evaluate the eco-efficiency of air carriers and fill the gaps needed for improvements.

The data of the research were obtained from the annual reports and environmental activity reports published by Lufthansa Group companies between 2005 and 2021, and the eco-efficiency performance was examined in depth and in detail. Eight indicators (Revenues, seat kilometers produced, ton kilometers produced, fuel, carbon dioxide, nitrous oxide, carbon monoxide, hydrofluorocarbon) used to measure eco-efficiency were determined. In conclusion airline operator; 1) A positive correlation between the Available Ton Kilometers and Hydrofluorocarbon emissions, a negative correlation between Net Sales Revenue was observed. 2) A positive correlation between the Available Seat Kilometers and Net Sales revenue, a negative correlation between Hydrofluorocarbons was observed. 3) It has been observed that the airline company significantly reduces the emissions of CO, NO<sub>x</sub>, CH emissions of aircraft produced with new technologies by using Sustainable Aviation Fuels. 4) It has been determined that while the eco-efficiency performance of the airline is the lowest in 2005 and 2006, the highest years are 2017,2018,2019,2020 and 2021.

**Keywords:** Eco-efficiency, Eco-efficiency measurement model, Environment Performance, Sustainability, Corporate sustainability, Self-Organizing Maps

## ÖNSÖZ

Tez yazım süreci uzun ve meşakkatli bir yoldur. Bu yolda yürümemde bana rehber olan danışmanım Prof. Dr. Refika BAKOĞLUNA teşekkür ederim. Bana her zaman destek olan eşim Kübra ÖZDEMİR ve stres katsayımın arttığı zamanlarda keyfimi yerine getiren minik kızım Sümeyye iyi ki varlar. Bana verdiği desteklerinden dolayı Gülaçtı ŞEN'e teşekkür ederim.

Yılmaz ÖZDEMİR

İstanbul, 2023



## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>İ</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>İİ</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>V</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>V</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAVRAMLAR</b> .....	<b>3</b>
2.1. Eko-etkinliğin Tarihsel Süreci.....	3
2.2. Eko-Etkinlik.....	9
2.2.1. Eko-etkinlik (Eco-efficiency) ve Eko-etkililik (Eco-Effectiveness) Arasındaki Fark.....	9
2.2.2. Kavramsal Olarak Eko-Etkinlik .....	10
2.2.3. Eko-etkinlik Ölçüm Modelleri .....	12
2.3. Kohonen Öz-düzenleyici Haritalar .....	15
<b>3. HAVAYOLU TAŞIMACILIĞINDA EKO-ETKİNLİK</b> .....	<b>19</b>
3.1. Havayolu Taşımacılığında Eko-etkinliğin Önemi .....	21
3.2. Havayolu Taşımacılığında Eko-etkinlik .....	21
3.3. Havayolu Taşımacılığının Eko-etkinliğinin Ölçümü .....	24
<b>4. ARAŞTIRMA</b> .....	<b>27</b>
4.1. Araştırmanın Amacı .....	27
4.2. Araştırmanın Önemi .....	27
4.3. Araştırma Kısıtları .....	27
4.4. Araştırmanın Yöntemi .....	27
4.5. Modelin Uygulanması .....	28
4.6. Bulgular ve Değerlendirme .....	31
<b>5. SONUÇ</b> .....	<b>37</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Etkinlik, Etkililik ve Verimlilik Kavramları .....	9
Şekil 2: 10 yıllık periyotlara göre Eko-etkinlik kavramı ile ilgili yapılan çalışmalar .....	13
Şekil 3: Altıgenimsi ve Dikdörtgenimsi örgülerin 3X3 Boyutlarında Gösterimi.....	17
Şekil 4: 3X3 Nöron Üzerinden BMU Temsili Gösterimi .....	17
Şekil 5: Araştırma Tasarımı .....	28
Şekil 6: Küme Elamanları Etiketleri ve Komşuluk Haritası .....	31
Şekil 7: Değişkenlerin Birbirleri ile olan ilişkisi haritası.....	31

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 1: Sürdürülebilirliğin Temelleri ve Tanımlarının Bir Özeti .....	5
Tablo 2 : Eko-Etkinlik Ölçümü Yapılmış Akademik Çalışmalar .....	13
Tablo 3: IATA Tarafından Oluşturulmuş Üç Senaryo .....	22
Tablo 4: Eko-etkinlik Analizi İçin Alınan Göstergeler .....	28
Tablo 5: Lufthansa Grup İşletmesinin 2005 ile 2021 Yılı Verileri.....	29
Tablo 6: VZA analizi sonuçları .....	29
Tablo 7: Kümeleme Analizi Sonuçları .....	31

# 1. GİRİŞ

Hızla artan nüfus, mobilite ve kaynakların bilinçsizce tüketilmesinin neden olduğu çevre kirliliği nedeni ile eko-etkinlik kavramı 21. yüzyılda önemi giderek artmaktadır. Küresel ısınma ve iklim değişikliği küresel bir sorun olmakla beraber insan sağlığını ve yaşam kalitesini doğrudan etkilemektedir. Özellikle işletmelerin alacağı aksiyonlar ile küresel çevre sorunları azaltılabilir. WBCSD'nin ortaya atmış olduğu eko-etkinlik kavramı ve ölçülmesi için tüm alanlarda elde edilebilir ortak parametreler için *El Kitabı* 2005 yılında yayınlamıştır.

WBCSD'nin yayınladığı rehber mahiyetindeki el kitabının ardından eko-etkinliğin ölçülmesine yönelik çalışmaların sayısı giderek artmaktadır. Ancak kurumsal düzeyde yapılan eko-etkinlik analizleri ve model önerilerinin azlığı dikkat çekicidir. Eko-etkinliğin ölçülmesi ile ilgili çalışmaların çoğunlukla makro düzeyde olduğu görülebilir. Ülke, şehir, bölge, sektör, ürün ve üretim bazında yapılan çalışmaların sayısı oldukça fazladır.

Küresel ısınmaya direk etkisi olması, jet yakıtlarının yakılması sonucu ortaya çıkan emisyonlarının neden olduğu sağlık problemleri nedeniyle büyük tehlike oluşturmasına rağmen havayolu taşımacılığı sektörüne yönelik çalışmalar çok azdır. Bu nedenle, havayolu şirketlerinin çevreye duyarlı ve sürdürülebilir uçuş faaliyetleri yürütmeleri büyük bir önem taşımaktadır. Bu çalışmada, havayolu taşıyıcılarının eko-etkinlik performanslarını incelemek ve gelecekte alınacak kararların emisyonlara olan ilişkilerini göstermek amacıyla bir model önerilecektir.

Model olarak, Kohonen Öz-düzenleyici Haritalar (SOM-Self-Organizing Map) kullanılacaktır. SOM, veri madenciliğinde sıklıkla kullanılan bir yapay sinir ağı türüdür ve çok boyutlu verilerin görselleştirilmesi ve analiz edilmesi için kullanılan bir tekniktir. Bu model, havayolu şirketlerinin eko-etkinlik performanslarını ölçmek için kullanılacak ve şirketlerin çevresel etkileri konusunda daha iyi bir fikir edinmelerine yardımcı olacaktır.

Modelde, belirlenen havayolu şirketinin WBCSD'nin yayınlamış olduğu el kitabında belirlenen göstergeler dikkate alınacak ve bu göstergelere göre şirketin eko-etkinlik performansı hesaplanacaktır. SOM modeli, şirketlerin performanslarını farklı renk tonları ile göstererek, daha iyi bir görselleştirme sağlayacaktır.

Ayrıca, model üzerinden yapılan analizler ile havayolu şirketinin gelecekte alacakları kararların emisyonlara olan etkileri de tahmin edilebilecektir. Bu sayede, şirketler çevreye duyarlı kararlar alarak emisyonları azaltabileceklerdir. Böylece, havayolu taşımacılığı sektöründe çevresel etkiler azaltılarak, sürdürülebilir bir gelecek için adımlar atılabilecektir.



Literatürdeki eksiklikten yola çıkılarak bu çalışmada önerilen modelin belirlenen havayolu işletmesinin gerçek verileri kullanılarak eko-etkinliği Kohonen Öz-Düzenleyici Haritalar kullanılarak görselleştirilecek ve görseller tartışılacaktır. Sonuç bölümünde ise modelin uygulaması ve önerilere yer verilecektir.



## 2. KAVRAMLAR

Eko-etkinlik daha az çevresel etki ile daha fazla ekonomik değer yaratmakla ilgilidir ve sürdürülebilirliğin ekonomik ve çevresel boyutları ile ilgilidir. Dolayısı ile eko-etkinliğin sürdürülebilirlik kavramı içerisinde bir kavram olduğu söylenebilir. Tarihsel süreç içerisinde bakıldığında sürdürülebilirlik tartışmalarının yoğun yaşandığı ve bu yönde düzenlemelerin yoğun yaşandığı 90'lı yıllarda WBCSD eko-etkinliği ortaya atmıştır. Bu nedenle eko-etkinlik kavramının tanımının ortaya konulabilmesi için sürdürülebilirlik ile ilgili tartışmalar bu bölümde ele alınmıştır. Birbirine oldukça karıştırılan “Eko-etkinlik” ve “Eko-etkililik” kavramları arasındaki fark ortaya konulacaktır. Son bölümde, kavramsal olarak eko-etkinlik kavramı literatür ışığında açıklanacak ve kavramın ortaya çıktığı yıldan itibaren günümüze kadar kurumsal düzeyde yapılan çalışmalar ortaya konulacaktır.

### 2.1. Eko-etkinliğin Tarihsel Süreci

Sürdürülebilirlik 21. Yüzyılda bir mantra haline gelmiştir(Dyllick & Hockerts, 2002b). Artan Nüfus, kentleşme ve iç göç gibi birçok nedenden ötürü ihtiyaçlar yalnızca çeşitlenmekle kalmamış aynı zamanda giderek artmıştır. Buna karşılık kaynakların giderek azalmaya yüz tuttuğu, kirlendiği ve hatta yok olmaya başladığı günümüz dünyasında “Sürdürülebilirlik” kavramı birçok alanda çokça anıldığı söylenebilir(Şen vd., 2018). Günümüzde, 844 milyon insan temiz suya erişememekte, 2,3 milyon insan sağlık hizmetlerine ulaşmamakta, dünya genelinde her 10 kişiden 9'u kirli hava solumaktadır. İnsanların basit yaşam kalitesinin artırılmasının bir yolu sürdürülebilir gelişimin ve çevresel performansın geliştirilmesi ile mümkündür(Paulvannan Kanmani vd., 2020).

Sürdürülebilir kalkınmanın evrensel bir tanımı bulunmamaktadır(Thiele, 2016). İlk kez, 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'na hazırlanan Brundtland Raporu'nda "Bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılama yeteneğinden ödün vermeden karşılayan kalkınma" olarak tanımlanmıştır (WCED, 1987). Bu tanım soyut olan bu kavramın geniş bir şekilde anlaşılması için uygun bir hareket noktası sağladığı söylenebilir(Portney, 2015). J. Coomer (1981) göre Sürdürülebilir toplum, çevrenin kendi kendini sürdürebilen sınırları dahilinde yaşayan toplumdur. Böyle bir toplum büyümeyen bir toplum değildir. Bu toplum daha çok ekonomik büyümenin sınırlarının farkına varan bir toplumdur(Bakoğlu, 2010; Faber vd., 2005)

1992'de “Rio Zirvesi” olarak da bilinen Rio de Janeiro'da toplanan ve Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda sürdürülebilirlikte sosyal, ekonomik ve çevresel unsurların birbiriyle etkileşim içinde olduğu kabul edilerek, uzun dönemde sürdürülebilir sonuçların elde edilebilmesi için, bu unsurlar arasındaki dengenin gözetilmesi gerektiği üzerinde durulmuştur. Birleşmiş Milletler Çevre ve

Kalkınma Komisyonu ise Sürdürülebilir kalkınmanın tanımını; Bütün insanlığın belirli düzeyde yaşam kalitesine sahip olması gerektiğinin üzerinde durmaktadır.

İlk olarak tanımlandığı ve bütün toplumlar için bir hedef olarak ortaya konduğu 1980 yılı zamanlarında sürdürülebilirlik, yalnızca çevre açısından ele alındığını, 1990'lı yıllarda insan ile doğa arasında denge kurularak doğal kaynaklar tüketilmeden gelecek kuşakların ihtiyaçlarının karşılanmasına imkan verecek şekilde bugünün ve geleceğin yaşamını ve kalkınmasını programlama anlamını taşımış, günümüzde ise sosyal, çevresel, ekonomik, mekânsal ve kültürel boyutları kapsayan bir kavram olarak algılanmaya ve uygulanmaya başlandığı söylenebilir(Bakoğlu, 2010). Bu noktadan hareketle sürdürülebilir kalkınma, farklı yazarlar tarafından çeşitli şekillerde tanımlanmıştır ve terimin ilk yaygın olarak bilinmesinden bu yana geçen süre içinde, bazılarının, kalkınmayı ilk kez popülerleştirenlerin fikirlerinden oldukça uzak bir dizi farklı anlamlar kazanmıştır (Schaefer, 2004).

Sürdürülebilirlik; balıkçılık ve ormancılık gibi biyolojik kaynakların sürekli yenilenebilir bir stoğun korunması ile tutarlı olarak maksimum devam eden üretim için kaynağın yönetimi olarak tanımlanmıştır. Sürdürülebilir tarım çerçevesinde; bir sistemin büyük bir bozulmaya rağmen üretkenliği sürdürme yeteneği olarak tanımlanmış, maksimum üretim ile sürdürülebilir üretim arasında bir karar verme durumu vurgulanmıştır. Diğer bir tanım ise doğanın sürekli olarak destekleyebileceği maksimum nüfus miktarı olarak tanımlanmıştır. Enerji alanı ise; tükenbilir fosil yakıtların tüketilmesine dayalı küresel bir enerji sisteminden, tükenmez yakıtlara dayalı sürdürülebilir bir sisteme geçiş üzerinde durmaktadır. Bir diğer tanım ise sürdürülebilir gelişim ile ilgilidir ve sürdürülebilir kalkınmayı zenginliği ve refahı artırmak için tüm varlıkları (doğal ve insan kaynakları ile finansal ve fiziksel varlıklar) yöneten bir kalkınma stratejisi olarak görür (Brown vd., 1987).

Sürdürülebilirlik kavramının farklı anlamları ve entelektüel kökleri bulunduğu ifade edilebilir. Sürdürülebilirlik tanımlamaları; sürdürülmesi gereken şeyin tam olarak ne olması gerektiğini ve her bir tanımda sürdürülmesi gereken belirli bir yön ve sonuçlar grubunu vurgularken, çevresel önceliklerin birçok farklı ifadesini iletmek için kullanıldığı görülebilir. Sürdürülebilir biyolojik kaynak kullanımı, sürdürülebilir tarım, taşıma kapasitesi, sürdürülebilir enerji gibi konulara odaklanarak ekolojiyi vurgulayanlar ile sürdürülebilir toplum ve sürdürülebilir ekonomi, sürdürülebilir gelişim konularına odaklanarak ekonomik sürdürülebilirliği vurgulayan iki farklı grubun olduğu görülmektedir (Portney, 2015). Tablo1'de yapılan tanımların temelleri ve özeti görülmektedir.

Hükümet düzenlemeleri ve kamu baskılarının sonucu olarak çevre sorunları bir dereceye kadar yönetilmesi gereken sorunlar olarak değerlendirildiği görülebilir. Ancak gereken önemin verilmemesi nedeni ile çok zarar getireceğini fark eden uluslararası firmalar, çevre sorunlarının kendi sorumlulukları olduğunu kabul etmeye başladığı ve üst yönetim desteği sağlanmaya başlanmıştır. Firmaların, politika

beyanlarında açıklanan hükümet düzenlemelerinin ötesine geçmek istediği söylenebilir(Schott, 1993). Sürdürülebilirlik ile ilgili farklı dallarda yapılan tanımlamaların arasında küresel ölçekte faaliyet gösteren işletmelerin yöneticilerinden oluşan WBCSD'nin 1992 yılında eko-etkinlik kavramını ortaya atmasıyla birlikte Kurumsal Sürdürülebilirlik kavramı ortaya çıktığı söylenebilir

**Tablo 1: Sürdürülebilirliğin Temelleri ve Tanımlarının Bir Özeti**

<b>Sürdürülebilirliğin Altı Kökü</b>	<b>Vurgu Noktaları</b>	<b>Sürdürülebilirliğin Altı Tanımı</b>	<b>Vurguladığı Noktalar</b>
Ekolojik/Taşıma kapasitesi	Doğal sistemler korunsun ki insanların refahı ve yaşamını desteklesin	Taşıma kapasitesi	Dünya sisteminin İnsan yaşamını ve refahını destekleyen İdeal ve maximum yeteneği
Kaynak/çevre	Ekonomik büyümeyi yalnızca doğal sistemin bozulmasına neden olmayacak ölçüde ve şekillerde teşvik etmek	Biyolojik kaynakların sürdürülebilir kullanımını	Orman ve balıkçılık gibi doğal sistemlerden en iyi sürdürülebilir üretim
Biyosfer	Dünyanın sağlığı ve nüfus destekleme kapasitesine insanın etkilerine karşı endişelenir.	Sürdürülebilir Tarım	Sel ve kuraklık gibi aksaklıklardan önce ve sonra tarım üretiminin devamlılığı
Teknoloji eleştirisi	Bilim ve teknolojinin dünyayı koruyacağı inancını reddeder.	Sürdürülebilir Enerji	Fosil yakıtı dayalı üretilen ısı enerjisi yerine yenilenebilir alternatifler
Büyüme Yok-Yavaş Büyüme	Artan her nüfusun sağlığını ve refahını destekleyen dünyanın yeteneği için limitler koyar.	Sürdürülebilir toplum ve ekonomi	Ekonomiyi ve insan refahını destekleyerek toplum düzeninin devamlılığı
Eko-kalkınma	İş dünyasının ve ekonomik gelişmelerin faaliyetlerini, çevresel limitler ve doğal kaynakların gerçekte var oluşuna uyarlar	Sürdürülebilir gelişim	Sadece doğal sistemlerin bozulmasına sebebiyet vermeyecek şekilde ve ölçüde ekonomik büyümeye teşvik edilmeli

(Portney, 2015, s. 9)

Kurumsal sürdürülebilirlik konseptinin kökeni sürdürülebilirlik kavramının genişlemesine dayanan zaman içinde sayısı artan politik, kamusal ve akademik etkiler ile şekillenmiştir. WCED'nin yaptığı tanıma ve ayrıca strateji ve yönetim literatüründen gelen etkilere dayanarak, kurumsal sürdürülebilirlik olarak adlandırılan kuruluşlar ile ilgili olarak sürdürülebilirliğin çeşitli sonraki tanımları ortaya çıktığı söylenebilir (Linnenluecke & Griffiths, 2010). Yapılan birçok sürdürülebilirlik tanımı kurumsal sürdürülebilirliğin tanımının şekillenmesinde rol almıştır (Schaefer, 2004).

Tüm organizasyonel değişim ve karar süreçlerinde kişisel ve politik faktörler önemli rol oynar. Sürdürülebilirlik için çevresel yönetim, kurumsal sorumluluk, yönetim ilişkileri ile organizasyonel kültürde politika kararlarını kişilerin değerleri, öncelikleri ve özellikle üst yönetim kararları güçlü etkilenmektedir (Schaefer, 2004). Kurumsal kuruluşlar hükümetler tarafından belirlenen ulusal sürdürülebilirlik hedeflerine nasıl katkıda bulduklarını göstermek için oldukça fazla baskı altına girmektedir (Atkinson, 2000). Öte yandan çevresel ve sürdürülebilirlik konularında raporlama yapan şirket sayılarındaki artış sürdürülebilirlik raporlamalarının faydaları hakkında soru işerleri oluşturmaktadır. Herzigh ve Shelteger (2006) Raporlamaların faydaları arasında en önemlileri şu şekilde sıralanabilir;

- Çevresel ve sosyal etki yaratan kurumsal aktiviteleri ürün ve hizmetleri meşrulaştırma
- Kurumsal itibarı ve marka değerini artırır rekabet avantajı kazandırır
- Genel performans için bir vekil gösterge olarak sürdürülebilirlik raporlama faaliyetleri ile Üstün rekabet gücüne işaret etmek
- Rakiplere karşı karşılaştırma ve kıyaslama
- Şirket içinde şeffaflık ve hesap verilebilirliği artırır
- Kurum içinde bilgi ve kontrol süreçleri kadar çalışan motivasyonu kurar ve destekler.

Yukarıda verilen bilgilerin ışında Kurumsal Sürdürülebilirlik; bir firmanın doğrudan ve dolaylı paydaşlarının (hissedarlar, çalışanlar, müşteriler, baskı grupları, topluluklar vb.) ihtiyaçlarını karşılarken gelecekteki paydaşların da ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden karşılanması olarak tanımlanabilir(Dyllick & Hockerts, 2002c). Piyasa aktörleri olan müşteri, tedarikçi ve rakiplerin yanı sıra piyasa dışında yer alan vatandaşlar, kamu kurumları, iş örgütleri, sivil toplum kuruluşları ve medya gibi aktörlerin şirketlerin finansal performansını doğrudan etkilediği artık birçok araştırma ile kanıtlanmış durumda (Spindler, 2013). Günümüzde şirketler inovasyon, üretim ve istihdamın lokomotifleri olarak görülmekte, şirketlerde ise hissedar yönetiminden paydaş yönetimine geçildiği, yani sadece hissedarlar değil; müşteriler, çalışanlar, tedarikçiler ve toplumda şirketin en temel paydaşlarıdır(Emre Doğru, t.y.).

Kurumsal sürdürülebilirliği klasik akılcı yönetimden ayıran en önemli noktası ise işletmenin hayatta kalabilmesi için ekonomik sürdürülebilir tek başına yeterli değildir ve işletmeler sadece ekonomik sürdürülebilirliğe odaklanarak kısa vadede başarı yakalayabilir, ancak, uzun vadede üç boyutun da

aynı anda yerine getirilmesini gerektirir (Dyllick & Hockerts, 2002a). Kurumsal sürdürülebilirlik hedefini gerçekleştirebilmek için kurumların ekonomik, sosyal ve çevresel sermaye temellerini korumaları ve güçlendirmeleri gerekmektedir. Bu sorunlar ilk defa Elkinton tarafından 1994 yılında (Triple Bottom Line) olarak isimlendirilirken yaklaşımın yine 1995'te Elkinton tarafından geliştirilen 3P(People-Planet-Profit) formülasyonunun temel unsurlarıdır. Dolayısıyla kurumsal sürdürülebilirlik bir kurumun ekonomik, sosyal ve çevresel konularını üç boyutlu bir sistem içinde Entegre etmektedir (Dyllick & Hockerts, 2002a)

**Ekonomik Sürdürülebilirlik:** bir ekonomik sistemin veya işletmenin gelecekte de varlığını sürdürmesini sağlamak için ekonomik faaliyetlerin çevresel ve sosyal sermayelere dikkat ederek yürütülmesini ifade eder. İşletmelerin ve toplumun gelecekte de ekonomik refahını korumayı hedefler. Ekonomik sürdürülebilirliğin temel amacı, sadece bugünün değil, gelecek nesillerin de ihtiyaçlarını karşılamak için ekonomik faaliyetlerin yürütülmesidir. Bunun için, işletmelerin kâr elde etmek kadar, uzun vadeli ve sürdürülebilir bir iş modeli geliştirmeleri gerekmektedir.

Ekonomik sermayenin sürdürülebilirlik kavramı ile birlikte yeni bir olgu olarak ortaya çıkmadığı Hicks'in 1946 yılında, insanların kendilerini yoksullaştırmadan tüketebilecekleri miktarın bir göstergesi olarak gelir hesaplamalarının kullanımını açıklaması gösterilebilir. Buradan yola çıkarak sürdürülebilirliğin ekonomik boyutunun ekonomik refahı da ifade ettiği söylenebilir. Ayrıca ekonomik sürdürülebilirlik, finansal ve yönetsel hesaplamaların ötesinde finansal sermaye, varlıklar ve soyut varlıkların yönetilmesini gerektirir. Ekonomik olarak sürdürülebilir şirketler, hissedarlarına ortalamanın üzerinde kalıcı bir kar sağlarken, likiditeyi sağlamaya yeterli nakit akışını her zaman garanti eder (Dyllick & Hockerts, 2002b).

Üretim ve tüketim sonucu oluşan atıklar çevreye geri dönüşü olmayan zararlar verebilir. Bu durumda çevreye zarar verebilecek ekonomik faaliyetler ekonomik sürdürülebilirliği tehlikeye atacaktır. Bu nedenle sürdürülebilirliğin ekonomik boyutu, çevresel ve sosyal açıdan sürdürülebilirlikle ayrılamaz bir şekilde bütündür ve ekonomik büyümenin sınırlarını da göstermektedir (Bilgili, 2017).

İşletmeler, ekonomik sürdürülebilirlik için çevresel ve sosyal etkileri göz önünde bulundurarak faaliyetlerini sürdürülebilir hale getirmelidirler. Doğal kaynakların verimli kullanımı, atık azaltımı, çevreye duyarlı üretim modelleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ekonomik sürdürülebilirliğin sağlanmasında önemli rol oynamaktadır.

**Sosyal Sürdürülebilirlik:** Sürdürülebilirliğin sosyal boyutu bireylerin ve toplumların daha iyi bir yaşam standardına ulaşabilmesi adına çeşitli ilkeler ve düşünceleri ortaya koymakta, karşılaşılan toplumsal krizlerin çözümünde derinlemesine analizlerin yapılmasını gündeme getirmekte ve gelecek kuşakların en azından bugünkü kuşaklar kadar sosyal imkânlardan yararlanabilmesini amaçlamaktadır.

İnsan hakları, çalışma hakları ve kurumsal yönetişimi kapsamakta ve gelecek kuşakların mevcut kuşaklar kadar veya onlardan daha fazla sosyal kaynaklara erişiminin sağlanması/engellenmemesi olarak düşünülebilir (Bilgili, 2017). Yetenekler, motivasyon ve bağlılık bireysel sermaye ile ilgiliyken, iyi bir eğitim sistemi, altyapı, girişimcilik kültürünü destekleyen kamu hizmetleri toplumsal sermaye ile ilgilidir ve iki çeşittir(Dyllick & Hockerts, 2002b).

Sürdürülebilir kalkınmanın sosyal boyutunun gerçekleştirilebilmesi için hükümetler, çeşitli desteklerde bulunacak/bulunmaya hazır başlıklar (Küresel Çevre Fonu vb.), sivil toplum kuruluşları ve özel sektörün beraber çalışması gerektiği söylenebilir. Sosyal açıdan sürdürülebilir bir toplum oluşturulabilmesi için beş temel ilkedен söz edilebilir:

- Eşitlik; topluluğun tüm üyeleri için, özellikle de maddi açıdan güçsüz ve en savunmasız olanlar için eşit imkanlar sağlanmalıdır,
- Çeşitlilik; topluluk çeşitliliği sevk etmelidir,
- Bağlılık; topluluğun içinde ve dışında, resmi, gayri resmi ve kurumsal düzeyde birbirine bağlantılı olmaya imkân tanıyacak sistemler ve yapılara sevk edilmeli ve gerçekleştirilmeli,
- Yaşam kalitesi; şahıs, grup ve toplum düzeyinde tüm azalar için temel ihtiyaçların karşılandığı garanti edilmeli ve iyi bir yaşam kalitesi tesis edilmelidir,
- Demokrasi ve yönetişim; toplum için demokratik süreçler, şeffaf ve hesap verebilir yönetim yapıları sağlamalıdır(Bilgili, 2017).

Sosyal sürdürülebilir şirketler, bireysel ortakların insan sermayesini artırarak ve toplulukların toplumsal sermayesini ilerleterek faaliyet gösterdikleri topluluklara değer katar. Sosyal sermayeyi, paydaşların sosyal sermayenin motivasyonlarını anlayabilecekleri ve şirketin değer sistemiyle geniş çapta anlaşabilecekleri şekilde yönetirler (Dyllick & Hockerts, 2002b).

**Çevresel Sürdürülebilirlik:** dünya üzerinde yaşamın sürdüğü, canlıların hayatları boyunca ilişkilerini sürdürdüğü bir dış ortamdır çevre. Bize bir miras değil; korunması, geliştirilmesi ve gelecek nesillere en güzel şekilde devredilmesi gereken bir emanettir. Bu nedenle insanların ihtiyaçlarını tatmin etmesini sağlayan ekosistemlerin dayanıklılık, esneklik ve bağlantılı olma ilkelerini göz önünde bulundurarak, ekosistemlerin kendilerini yeniden yaratma özelliklerine dikkat eden ve biyo-çeşitliliği azaltmayan eylemlerin gerçekleştirilmesi çevrenin korunmasında önemlidir ve çevresel sürdürülebilirlik ile ilgilidir (Bilgili, 2017). Sonlu bir Dünya'da 'doğal sermayenin' amortismanının sonsuza kadar devam edemeyeceği gerçeğine dayanmaktadır(Dyllick & Hockerts, 2002c).

Sürdürülebilirliğin çevresel boyutu, ekonomik ve sosyal boyutun dayanak noktasıdır. Doğal kaynakların bilinçsizce tüketilmesi, insanların su ve hava kirliliği gibi temel ihtiyaçlarını karşılamadaki eksiklik sosyal sürdürülebilirliğin bir parçası olan toplumun kötü etkilenmesine sebep olacaktır. Aynı şekilde ekonomik sürdürülebilirlik üretim süreci için hammaddeye, enerjiye ve çevresel kaynaklara bağlıdır, yetersizlik durumunda ise ekonomik sürdürülebilirlik mümkün olmayacaktır(Tunç, 2021).

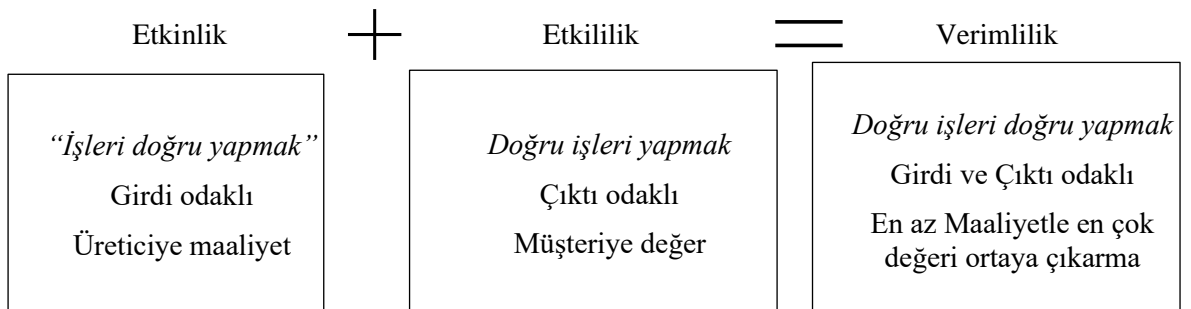
19. yüzyılın ortalarında Sanayi Devrimi ve ona paralel gelişen teknoloji ile insanlık doğayı kontrolü altına alması sonucu sanayileşme, kentleşme ve hızlı nüfus artışı çevre sorunlarına neden olan önemli etkenler olmaya başladığı söylenebilir. Ayrıca doğal ekosistem üzerinde oluşan çevresel tahribatın asıl sorumlularından birisi aşırı tüketimdir. Tüketicilik günümüz dünyasının tamamına yayılmış ve insanlar ihtiyacından fazlasını doğadan almaya yani doğanın kendini yenileyebilme hızından fazlasını almaya ve tüketmeye eğilimli bir yaşam tarzı sürdürmeye meyilli olduğu sürece çevre üzerinde tahribatın büyük boyutlara ulaşması kaçınılmaz olabilir (Menteşe, 2017).

## 2.2. Eko-Etkinlik

Eko-etkinlik ve eko-verimlilik kavramları İngilizceden Türkçeye çeviri yapan uygulamalar kullanılarak anlamlarına bakıldığında birbirine karıştırılabilir. Çeviri siteleri ve uygulamaları “*effectiveness, efficiency ve productivity*” kavramlarını verimlilik olarak çevirmektedir. İki kavramı açıklayabilmek için öncelikle etkililik, etkinlik ve verimlilik kavramları hakkında bilgi verilecek ardından eko-etkinlik ve eko-verimlilik arasındaki fark ortaya konulacaktır.

### 2.2.1. Eko-etkinlik (Eco-efficiency) ve Eko-etkililik (Eco-Effectiveness) Arasındaki Fark

Etkililik (Effectiveness); sonucun ne ölçüde başarılı karşılandığı ile ilgilidir. Yani, girdilerin faaliyet süreci sonunda oluşturduğu çıktılarının beklentileri karşılama derecesi olarak ifade edilebilir. Etkinlik (Efficiency) ise; minimum çaba ve masraf ile maksimum sonuç elde etmek olarak ifade edilebilir. Bu durumda etkinlik, sonucu elde etmek için kaynakların ne kadar iyi kullanıldığını göstermektedir. Verimlilik (Productivity) bakıldığında, etkinlik ve etkililiğin toplamı verimliliği vermektedir. Etkinlik, etkililik ve verimlilik arasındaki ilişkiyi Şekil 1’de görülebilir (Cavlak, 2021).



Şekil 1: Etkinlik, Etkililik ve Verimlilik Kavramları



“Eco-Efficiency” kavramı “Eko-etkinlik” olarak, “Eco-effectiveness” ise “Eko-etkililik” olarak Türkçe’ye çevrilebilir. Eko-etkinlik; daha az çevresel etkiyle daha fazla değer yaratmakla ilgilidir. Süreçler içerisinde beşikten-mezara doğrusal bir akış söz konusudur. Bu durumda süreç ne kadar iyileştirilirse iyileştirilsin her zaman çevreye bir zarar verme durumu olduğu söylenebilir. Eko-etkililik’e bakıldığında, beşikten beşiğe tasarımın kullanılmasıyla ekolojik ve ekonomik sistemler arasındaki döngüsel bir ilişki teşvik edilir. Sıfır atığı hedeflemek yerine, çoklu kullanım döngüleri yoluyla kaynak kalitesini ve üretkenliği korumaya çalışır (Newton vd., 2014).

## **2.2.2. Kavramsal Olarak Eko-Etkinlik**

Dünya Çevre Kalkınma Konseyi (WICE) ile ve Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi (BCSD)’nin 1 Ocak 1995 yılında birleşmesi ile kurulan Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi (WBCSD): hükümetler ve sivil toplum kuruluşlarıyla iş birliği yaparak global sorunlara çözüm önerileri sunarak izlenmesi gereken politikalar konusunda fikir vermeyi amaç edinmiş bir uluslararası kuruluştur. Enerji sorunu, iklim değişimi, yoksulluk ve açlık ekosistemlerin bozulması gibi sorunlara çözüm önerileri geliştirerek üye şirketlere örnek uygulamalarını paylaşabilecekleri bir platform olma özelliğini taşımaktadır (Bakoğlu, 2010). Eko-etkinlik kavramını ortaya atan WCBSD, insan ihtiyaçlarını karşılayan ve yaşam kalitesini getiren rekabetçi fiyatlı mal ve hizmetlerin sunulmasıyla sağlanırken, yaşam döngüsü boyunca ekolojik etkileri ve kaynak yoğunluğunu aşamalı olarak en azından Dünya’nın tahmini taşıma kapasitesine uygun bir düzeye indirilmesi olarak tanımlamaktadır. Kısacası “daha az çevresel etkiyle daha fazla değer yaratmak” anlamına geldiği söylenebilir. (WBCSD, 2005).

İş gruplarında ve atölyelerde aktif bir şekilde yürütülmeye başlamış olan eko-etkinlik, Birleşmiş milletler acentaları, OECD, Avrupa birliği komisyonu ve hükümetler tüm kıtalarda farkındalığının oluşması ve teşvikini sağlamaktadır. WBCSD gelişmekte olan ülkelere ve ekonomilere geçişlerde öneriler sunmakta, daha da önemlisi ihtiyaç duyulan talimatları ve yönetsel tavsiyeleri yayınlamakta olduğunu söylenebilir (DeSimone & Popoff, 1997).

Eko-etkin iş stratejisini benimseyen ve bunun sonucunda düşük maliyetler ve artan karlar elde eden firmaların eko-etkin iş stratejilerini benimsemeyen firmalara göre daha fazla değer gördüğü söylenebilir (Sinkin vd., 2008). Dünyanın en büyük ticari zemin kaplama şirketi olan Interface, 200 milyon dolar, Kaliforniya da bulunan HP 1998’de atık salınımını %95 azaltarak 870,564 dolar, Unite Teknoloji Şirketi test hücrelerini, yer altı depolarını ve canlı yayım sistemleri gibi temel sistemlerde yaptığı basit değişiklikler ile atık su salınımını yıllık 40.000 galon azaltarak 50.000 Amerikan doları tasarruf etmeleri eko-etkinlik için bazı örnekler oldu söylenebilir (WBCSD, 2005).

Verfaillie ve Bidwell (2000), tüketicilere bir ürünün ne kadar çevreci olduğu konusunda fikir veren eko-etkinlik göstergelerinin oranı, bir tek üründe ya da market bölümünde bulunan ürünlerin tüketiciler tarafından daha anlamlı olacağını belirtmektedir. Bu konuda birçok firma eko-etkinlik oranının ürünün çevreci performansını göstermek için kullanmaktadır. Eko-etkinlik göstergeleri yöneticilere bir ürünün veya iş portföyüne karar alırken yardımcı olur. Konseptin uygulanması ve performansın ölçülmesinde çok sayıda yaklaşımlar bulunsa da WBCSD ekonomik ve çevresel etkilerin ölçme sürecine bir çerçeve oluşturmak ve tüm iş alanlarında uygulanmak üzere talimat yayınlamıştır. Bu talimatın oluşturulmasında 10 farklı sektörden 22 şirket üzerinde 1 yıl boyunca pilot programda test edilmiştir. Göstergelerin temelinde tüm iş türleri için çevresel ilişki, isabetli ve kullanışlı olduğu söylenebilir (Verfaillie & Bidwell, 2000). WBCSD'nin belirlediği göstergeler;

**Üretilen ürün/servis miktarı:** fiziksel bir ölçümdür ve en kullanışlısıdır. Hacim, ağırlık ya da sayı olarak ölçülebilir. Birçok durumda iç raporlarda mevcut bulunan ve kolayca elde edilebilen bir bilgi olduğu söylenebilir.

**Net satışlar:** toplam kayıtlı satıştan, satış indirimleri, iadeler ve ödeneklerin çıkarılmış halidir. Net satışlar tüm iş dünyası için en kolay ölçülen değer göstergesi olduğu söylenebilir. Satışların bir değer göstergesi olarak satışlar, üretilen birim genellikle satış rakamlarıyla bağlantılı olmadığından, bir işletmenin performans ölçümünde kullanılması uygun olmadığı söylenebilir.

**Enerji Tüketimi:** Küresel ve tüm iş alanları ile ilgili bir göstergedir. Satın alınan ya da üretilen enerjiden dışarıya satılan enerji çıkartıldıktan sonra elde edilir. Üretilen veya aktarılırken kaybolan enerji toplam tüketilen enerji miktarına dahil edilmelidir.

**Su Tüketimi:** Satın alınan ya da yüzey veya yer altı su kaynaklarından elde edilen tüm tatlı suyun toplamıdır. Süreç malzemelerine temas olmasa dahi tatlı su soğutma amaçlı kullanılabilir ve deniz suyu bur miktardan hariç tutulur.

**Malzeme Tüketimi:** Tüm malzemelerin, ön veya yarı mamul mallar, parçalar modüllerin ağırlığının toplamıdır. Bu göstergeye dahil edilen malzeme miktarı için genel göstergelerden su ve yakıt dahil edilmez. Özellikle tüketici endüstrilerinde önemli olan ambalaj malzemeleri işletmeye özgü gösterge olup bu göstergeye dahil edilmez. Malzeme tüketimi kullanılan tüm malzemelerin toplam ağırlığını ifade ettiği söylenebilir.

**GHG Emisyonları:** Süreç için kullanılan yakıtın ve tepkimelerin sonucunda ortaya çıkan Karbondioksit (CO<sub>2</sub>), Metan (CH<sub>4</sub>), Azot oksit (N<sub>2</sub>O) Hidro ve perflorokarbonlar (HFCs, PFCs), Sülfür heksaflorid (SF<sub>6</sub>) emisyonlarıdır. Küresel bir problem olan iklim değişikliği konusu GHG emisyonları konsantrasyonu ile ilişkilidir ki bu da tüm iş dünyasını ilgilendirir.

**Ozon İnceltici Gazlar:** Küresel bir problem olmakla birlikte Motreal Protokolünde tanımlanan ozon tabakasının incelmesinde etkisi bulunan gaz gruplarının listesidir.

**Finansal Değer Göstergeleri:** Karlılık ve katma değer gibi göstergeler işletmeler arasında farklı anlamlar ifade ettiği söylenebilir. Bazı bölgelerde karlılık; vergilerden önceki kazanç, brüt kar oranı şeklinde hesaplandığı görülebilir. Bu nedenle özellikle sektörler arası veya farklı bölgelerde bulunan aynı sektörlerdeki işletmelerin kıyaslamasında aynı finansal değerlerin kullanıldığından emin olunmalıdır.

**Havayı Asitleştiren Emisyonlar:** Süreç reaksiyonlarından Ammonia, hidroloric asit, hidrojen florid asit, nitrojen oksit, sülfürdioksit gibi havayı asitleştiren asidik gazlar ve dumanları içerdiği söylenebilir. Havayı asitleştiren emisyonların ölçülmesi ve etkilerinin tanımı mevcut olmadığı söylenebilir.

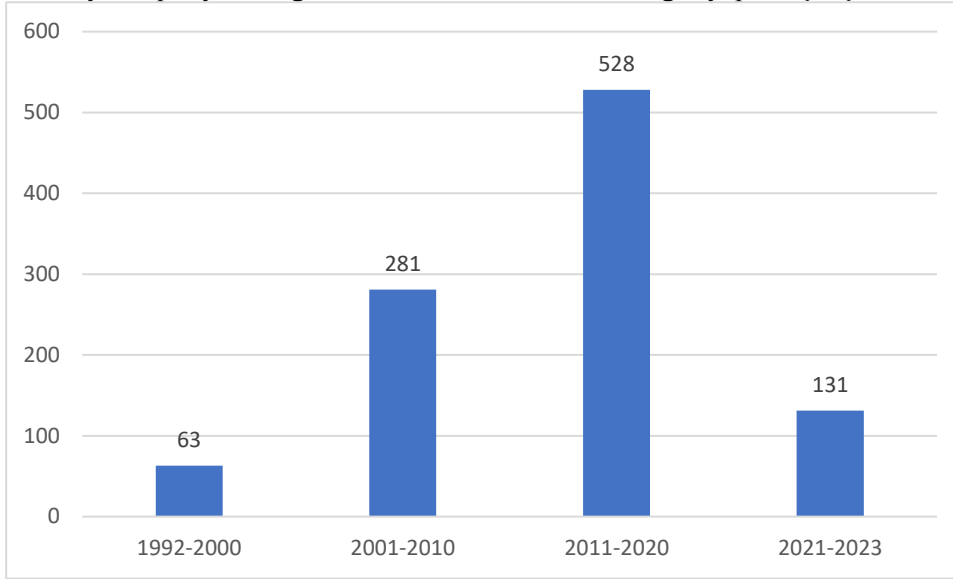
**Toplam Atık:** Toplam atık imha edilmek üzere yönlendirilen nesnelere veya maddelerin toplam miktarıdır. Küresel endişede mutlak bir problem haline dönüşen atık terimi ülkelere ve sektörler arasında farklılık göstermektedir. Basel konvansiyonunun da belirlenen yaklaşımda uzlaşmaya varılmadığı sürece işletmeler atık yönetim miktarının yönetimini takip etmede ve raporlamada kullandıkları ölçme metodlarını ve tanımları özelleştirmesi gerekir.

### 2.2.3. Eko-etkinlik Ölçüm Modelleri

WBCSD kurulduktan sonra 13 dilde Ders Değişirme: Küresel Perspektif İş Geliştirme Ve Çevre adlı ilk yayını (Bakoğlu, 2010) sonrasında; Ülke (Paulvannan Kanmani vd., 2020), bölge (Wang vd., 2022) veya şehir bazında (Wu vd., 2021), üretim (Ruberti, 2023), tarım (Gołaś vd., 2020), yiyecek (Pagan & Prasad, 2007), madencilik (Li vd., 2021) gibi sektörler dahil olmak üzere eko-etkinliğin macro düzeyde ölçüldüğü söylenebilir.

Eko-etkinlik kavramının önemi son yıllarda giderek artmıştır. EBSCO-Bussines Source Ultimate arama motoru kullanılarak “eco-efficiency” kavramı kullanılarak yapılan araştırmada 1992 yılında WBCSD tarafından yapılan tanımlamanın ardından kurumsal düzeyde ilk ölçümlemenin 2003 yılında yapıldığı söylenebilir (Holland, 2003). Bununla birlikte 2003 yılına kadar eko-etkinlik ile ilgili yapılan çalışmalar filtrelendiğinde ise 107 sonuca ulaşılmaktadır. EBSCO arama motorunda yıl filtrelemesi yapılarak elde edilen sonuçlar grafik 1’de görülebilir. Geçtiğimiz on yıllık zaman diliminde 528 adet sonuç görüntülenmiş ve son 3 yıl içerisinde 131 çalışma listelenmiştir.

**Şekil 2:** 10 yıllık periyotlara göre Eko-etkinlik kavramı ile ilgili yapılan çalışmalar



EBSCO Bussines Source Ultimate arama motoruna “Eco-efficient” ve “Measure” kelimeleri kullanılarak yapılan araştırma sonucunda ise 183 sonuç filtrelenmiş ve her sonuç konu ile ilişkisine göre incelenerek Tablo2 oluşturulmuştur. Macro düzeyde yapılan çalışmalar listeye dahil edilmemişken, ürün bazında eko-etkinliğin artırılması (La Rosa vd., 2013) amacıyla yapılan ölçümler de listeye dahil edilmemiştir. Kurumsal düzeyde yapılan çalışmalar ise aşağıda listelenmiştir

**Tablo 2 :** Eko-Etkinlik Ölçümü Yapılmış Akademik Çalışmalar

Yazarlar	Başlık	Model
(Bang vd., 2019)	Analysis of corporate CO2 and energy cost efficiency: The role of performance indicators and effective environmental reporting.	DEA- Data Envelop Analysis VZA-Veri Zarflama Analizi
(Holland, 2003)	Can the Principle of the Ecological Footprint Be Applied to Measure the Environmental Sustainability of Business?	Ekolojik ayak izi
(Lahouel, 2016)	Eco-efficiency analysis of French firms: a data envelopment analysis approach	DEA- Data Envelop Analysis VZA-Veri Zarflama Analizi
(Suh vd., 2014)	Eco-efficiency Based on Social Performance and its Relationship with Financial Performance.	DEA- Data Envelop Analysis VZA-Veri Zarflama Analizi

(Lu vd., 2023)	How Does Stakeholder Engagement Through Environmental, Social, And Governance Affect Eco-Efficiency And Profitability Efficiency? Zooming Into Apple Inc.'S Counterparts.	Directional Distance Function DEA- Data Envelop Analysis VZA-Veri Zarflama Analizi
(Bremberger vd., 2015)	Regulatory impact of environmental standards on the eco-efficiency of firms.	DEA- Data Envelop Analysis VZA-Veri Zarflama Analizi
(Mahdilo vd., 2015)	Technical, environmental and eco-efficiency measurement for supplier selection: An extension and application of data envelopment analysis.	Multiple Objective Linear Programming (MOLP) (VZA-Veri Zarflama Analizi Uzantısı) DEA- Data Envelopent Analysis Extentions
(Möller & Schaltegger, 2005)	The Sustainability Balanced Scorecard as a Framework for Eco-efficiency Analysis	Sustainability Balance Score Card
(Torres-Ruiz & Ravindran, 2019)	Use of interval data envelopment analysis, goal programming and dynamic eco-efficiency assessment for sustainable supplier management	DEA- Data Envelop Analysis VZA-Veri Zarflama Analizi ve Malmquist Pruductivity İndex (VZA temelli)

Kurumsal düzeyde yapılan ölçümlerinin sayısının 9 olduğu Tablo 2’de görülebilir. Bu çalışmaların 7 sinin Veri Zarflama Analizi (VZA) modelini kullandığı görülebilir. VZA; etkinliğin ölçülmesi amacıyla kullanıldığı söylenebilir. Girdilerin Çıktılara oranlanmasıyla 0 ve 1 arasında bir sonuç elde edilmesi olarak özetlenebilir. Sonuç 1’e ne kadar yakınsa eko-etkinlik o kadar yüksek düzeydedir. 0’a yaklaştıkça eko-etkinlik düzeyinin o kadar az olacaktır. VZA modelinin farklı uzantıları olduğu da söylenebilir (Ray, 2004).

Araştırmalardan birinde Karbon ayak izi modelinin kullanıldığı görülmektedir. Uluslararası ticaretin, bireysel uygulamaların, şehir ve enstitülerin etkilerinin hesaplanmasında kullanılan Karbon

Ayak İzi modeli, salınan emisyonların bir habitat için ekolojik taşıma kapasitesi için hesaplanan, ekosistem tarafından desteklenen bir türün popülasyonu tarafından verilecek zarara neden olmaması ile ilişkilidir. Ancak araştırmacı, Karbon Ayak İzi oluşturmanın mutlak çözümler oluşturmak yerine, işletmenin politika sorunlarını çerçeveselendirilmesine yardımcı olması ihtimalini vurgulamaktadır (Holland, 2003).

Bu çalışmada önerilen Kohonen SOM modelinde elde edilen sonuçlar 0 ile 1 arasında bir değer almayacağı için işletmeler için daha uygundur ve sürekli olarak gelişmeyi desteklemektedir. Karbon ayak izi modelinde salınan emisyonların hesaplamada kullanılması nedeni ile işletmelerin eko-etkinlikleri hakkında kapsamlı bir bilgi vermemektedir. Ancak Kohonen SOM modelinde diğer çevresel etkiler de dikkate alınabilir.

### **2.3. Kohonen Öz-düzenleyici Haritalar**

İnsan beyninin üstün özellikleri, beynin nörofiziksel yapısından esinlenerek matematiksel bir model oluşturmaya yönlendirdiği belirtilmektedir. Beynin davranışlarının tam olarak modellenmesi için fiziksel bileşenlerinin doğru olarak modellenmesi gerektiği fikrinden yola çıkarak, çeşitli yapay hücre ve ağ modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller, Yapay Sinir Ağları (YSA) olarak adlandırılan yeni bir bilim dalının ortaya çıkmasına neden olmuştur (Ataseven, 2013).

YSA, birçok hücreden oluşan ve karmaşık işlemleri eş zamanlı olarak gerçekleştiren sistemlerdir. Bu ağlar öğrenme kabiliyetine sahiptir ve farklı öğrenme algoritmaları kullanarak yeni bilgiler öğrenebilirler. Gözetimsiz öğrenim sayesinde görülmemiş verilerden de sonuç üretebilirler. Ayrıca örüntü tanıma ve sınıflandırma yapabilir, eksik bilgileri tamamlayabilirler. Hata toleransları yüksektir ve belirsiz veya eksik verilerle çalışabilirler. Hatalı durumlarda bile parçalı bir şekilde çalışarak performanslarını düşürmezler. YSA, paralel çalışma özellikleri sayesinde gerçek zamanlı bilgi işleyebildiği söylenebilir (veribilimokulu.com, 2020).

Açıklanması ve yorumlanması gereken verilerin çok olması durumun, sembol dinamikleriyle özet bilgiye ihtiyaç duyulduğunda, büyük paralel hesaplamalarda, kolektif etkilerin belirlenmesi durumlarında YSA kullanılabilir (Kohonen vd., 2012). Hesaplamalı Finans, Algoritmik Ticaret, Görüntü işleme ve bilgisayarla görü (Yüz tanıma, hareket tanıma, nesne tanıma), hesaplamalı biyoloji (İlaç keşfi, DNA dizilimi), Enerji Fiyat ve yük tahmini, Otomotiv, havacılık ve üretim Öngörücü bakım, Doğal dil işleme alanlarında YSA kullanıldığı görülebilir (veribilimokulu.com, 2020).

YSA'da verilerin analizinde kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Kohonen Öz-düzenleyici Haritalar (SOM), Temel Bileşen Analizi (PCA), Çok Boyutlu Ölçekleme (MDS) en yaygın kullanılan mesafe görselleştirme yöntemleridir.

Temel Bileşen Analizinde (PCA) yöntemi verilerin nasıl karşılaştırılacağı hakkında bilgi vermez. PCA analizi standart Öklid mesafe ölçüsüne göre çalışmaktadır. Standart Öklid mesafesi her zaman en uygun farklılık ölçüsü olmayabilir. Bu açıdan mesafe ya da benzerlik matrislerinden başlayan yöntemler daha yararlı olabilir.

Bir diğer yöntem ise Çok Boyutlu Ölçekleme (MDS) yöntemi ve birçok çeşidi ise, yüksek boyutlu verilerden hesaplanan mesafe matrisi orijinal mesafe matrisinde bir anlamda yaklaşan iki boyutlu uzayda bir yapı bulmayı amaçladığı söylenebilir. Prosedür birkaç kez tekrarlandığında ve her bir veri için sıkıcı olabilir. Ayrıca yeni nesneleri yeni bir alana yansıtmanın basit bir yolu yoktur.

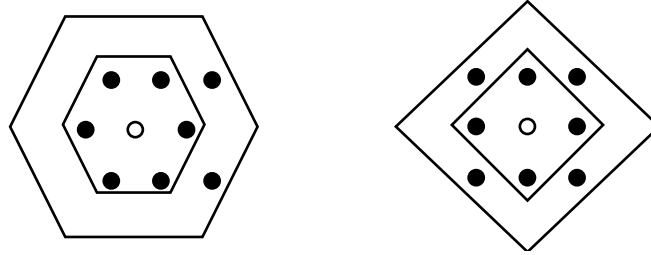
Öz düzenleyici haritalar (SOM) sorunu MDS yöntemine benzer şekilde ele alır. Ancak, mesafeyi tekrar üretmeye çalışmak yerine topolojiyi yeniden üretmeyi, yani aynı komşuları korumaya çalışır. İki yüksek boyutlu nesne çok benzerse o zaman iki boyutlu bir düzlemdeki konumları da çok benzer olmalıdır. SOM'lar nesneleri sürekli bir alanda eşlemek yerine, üzerinde bir nesnelerin eşlendiği bir birimler ızgarası kullanır. MDS yöntemi farklılıklara odaklanırken SOM yöntemi benzerliklere odaklanmaktadır şeklinde kısaca ifade edilebilir (Wehrens & Kruisselbrink, 2018).

Korkmaz (2011), Öz düzenleyici haritalar, yüksek-boyutlu datada bulunan doğrusal olmayan istatistiksel ilişkileri, düşük-boyutlu (genellikle 2-boyutlu ve dikkörtgenimsi) örgüsel sisteme aktarır. Daha yüksek boyutlu (3-boyutlu ya da daha fazla) örgüsel sistemler de kullanılabilen fakat bunların görselleştirilmesi problemlidir olduğundan dolayı çoğu zaman tercih edilmemişlerdir. Yüksek-boyuttaki topolojik ilişkilerin düşük-boyuta geçişte korunması son derece önemlidir.

SOM modeli K-Ortalama kümeleme modeline ve Korelasyon analizine benzerlik göstermektedir (Kohonen vd., 2012). Çok büyük veri kümeleri ile çalışılabilmesi, örneklerin dağılımı ile ilgili varsayımlara ihtiyaç duymamasının yanı sıra hızlı ve kaliteli çözümler üretmesi bakımından geleneksel veri azaltma ve kümeleme tekniklerinden daha iyi olabilir (Ince vd., 2014).

Denetimsiz öğrenme yöntemleriyle veri kümesinin yapısını keşfetmek için kullanılan Öz-düzenleyici Haritalar, veri kümesindeki her örnek bir nokta olarak düşünülür ve bu noktalar, özelliklerine göre bir harita üzerinde konumlandırılır. Bu harita genellikle düşük boyutlu olur ve veri kümesindeki örneklerin birbirleriyle olan benzerlikleri ve farklılıkları yansıtır. Öz-düzenleyici Haritalar genellikle altıngensel veya dikkörtgensel olmak üzere Şekil3'te olduğu gibi iki farklı şekilde oluşturulabilir. Al-

tingensel haritalar, bir arı kovani gibi altigen şekillerden oluşur ve veri kümesindeki örnekleri bu altigenlerin içinde konumlandırır. Dikdörtgensel örgü haritalarında ise örnekler, dikdörtgen şekillerin içine yerleştirilir(Korkmaz, 2011).

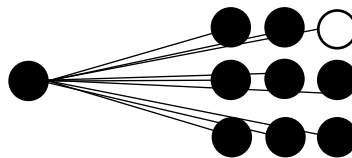


**Şekil 3:**Altıgenimsi ve Dikdörtgenimsi örgülerin 3X3 Boyutlarında Gösterimi

Her iki harita tipi de veri kümesinin yapısını görselleştirmek için kullanılabilir. Altıgenimsi haritalar daha organik ve doğal bir görünüme sahipken, dikdörtgensel örgü haritalar daha düzenli bir yapı sergiler. Hangi harita tipinin kullanılacağı, veri kümesinin özelliklerine ve analiz amacına bağlıdır.

SOM modelinde benzer vektörler ızgarada daha yakın olan nöronlara ilişkilendirilirken daha az benzer olanlar ızgarada kademeli olarak daha uzağa yerleşmektedir. Her giriş verisi ögesi girdi ögesiyle en iyi eşleşen modeli seçmektedir ve bu model ile ızgaradaki uzamsal komşuların bir alt kümesi daha iyi eşleşme için değiştirilmektedir. Değişiklik kazanan modeli içeren seçili bir düğüm üzerinde yoğunlaşmıştır. Öte yandan, kazananın etrafındaki ızgaradaki bütün uzamsal komşuluk bir anda değişmektedir. (Kohonen vd., 2012).

Best Matching Unit (BMU), Kohonen SOM algoritmasında kullanılan önemli bir terimdir. BMU, bir verinin hangi ağ düğümüne (nörona) en yakın olduğunu ve kazanan düğümü belirlemek için kullanılır. Bu, ağdaki her bir düğümün verilere olan benzerliğini hesaplar ve en yakın düğümü belirler. BMU, aynı zamanda ağdaki en iyi eşleşme olarak da bilinir. BMU, bir verinin ağda hangi bölümdeki benzer verilere en yakın olduğunu belirlemek için kullanılır. BMU, ağdaki bir düğüm veya nöron olarak ifade edilir. Veriler, BMU tarafından seçilen nöronun etrafındaki komşu düğümlere de etki edebilir ve bu da SOM algoritmasının ağda birbirine yakın olan verileri gruplandırmasına yardımcı olur (Korkmaz, 2011). Şekilde 4'te girdi vektörünün BMU nöronu temsili gösterilişi görülebilir.



**Şekil 4:** 3X3 Nöron Üzerinden BMU Temsili Gösterimi

SOM algoritmasında öğrenme ağırlıkları başlangıçta her bir düğüm için rastgele atanır. Her düğüm için,  $x$ , düğümlerin set edilmesinde,  $X$ , en yakın düğüm,  $I(x)$ , ise öklidyen mesafesine göre bulunur.



Aşağıda verilen formüle göre, en yakın düğüme bağlı olarak,  $i$ 'inci düğüme karşılık gelen ağırlıklar aşağıdaki denkleme göre güncellenir.

$$\Delta w_{j,i} = \eta(t) \times T_{j,I(x)}(t) \times (x_i - w_{j,i})$$

$\Delta w_{j,i}$  → ağırlıklarda ki değişimi

$\eta(t)$  → öğrenme oranını

$T_{j,I(x)}(t)$  → Topolojik komşuluk fonksiyonunu

$x_i$  → soruda ki düğümü ifade eder

Öğrenme oranı, yinelenmeye bağlı olarak ağırlıkların miktarının güncellenmesi aşağıda formüle edilmiştir.

$$\eta(t) = \eta_0 \exp(-t/\tau_n)$$

$t$  → yinelenme sayısı

Topolojik komşu fonksiyonu ise;

$$T_{j,I(x)}(t) = \exp(-S_{j,I}^2 / 2\sigma(t)^2)$$

$I(x)$  → kazanan nöron

$S_{j,I}$  → nöronlar arasında ki lateral mesafeyi

$\sigma(t)$  → komşuluk boyutunu ifade eder. (Paulvannan Kanmani vd., 2020)

Bu çalışmada Windows için kullanılan “R” programı kullanılarak analizler gerçekleştirilecektir. Wehrens ve Buyden (2007), Kohonen R paketi, SOM için fonksiyonların kolay kullanımını amaçlamış ve görselleştirmeye ağırlıklı olarak önem vermektedir.

Sonuç olarak Kohonen SOM modeli; yüksek boyutlu verileri 2 boyuta azaltması ve veri satırlarındaki değişkenler arasındaki ilişkiyi 2 boyutlu haritalarda görselleştirmesi, öğrenme yeteneği sayesinde eksik verilerle dahi düzgün bir şekilde çalışması eko-etkinliğin ölçülmesinde kullanılabilir.

### 3. HAVAYOLU TAŞIMACILIĞINDA EKO-ETKİNLİK

Bu bölümde havayolu taşımacılığı hakkında verilen genel bilgiler ışığında tarihsel sürecin olumsuz etkilerine rağmen gelişimin devam ettiği ve günümüzde sosyal toplumların vazgeçilemez bir unsuru konumuna gelişi yer almaktadır. Havayolu taşımacılığında kullanılan jet yakıtlarının çevreye ve insan sağlığına olan zararları hakkında bilgilerin verilmesi ile eko-etkinliğin önemi ortaya konulacaktır. Çevresel zararların azaltılmasında önemli rol oynayan uluslararası kuruluşların belirlediği 2050 sıfır karbon emisyonu hedefine ulaşmada ihtiyaç duyulan yol haritası için belirlenen teşvik ve tavsiyeler konusunda bilgiler verilecektir. Son bölümde havayolu taşımacılığında eko-etkinlik çalışmaları hakkında bilgi verilecektir.

Havayolları, havaalanları ve hava trafik yönetimi birimlerinin organizasyonel bağlantısıyla büyük şehirleri ve küçük toplulukları her geçen gün gelişen uçaklar ile bağlayan havayolu taşımacılığı, modern dünyanın gelişimini yönlendiren bir sektördür (ATAG, 2022). 1903 yılında Wright kardeşlerin uçağı keşfetmesinden sonra 1950’li yıllarda jet motorların ticari uçaklarda kullanılmaya başlanması ve 1970’li yıllarda geniş gövdeli “jumbojet” uçakların üretilmeye başlaması havacılık sektörünün hızla büyümesini etkilediği söylenebilir. Teknolojik gelişmelerin yanı sıra havacılık sektöründe yoğun düzenlemelerin yapılması ve hükümetlerin politikaları nedeniyle oluşan ortamda havayolu taşımacılığı karlılık ve rekabetten yoksun kaldığı söylenebilir (Belobaba vd., 2009).

Ekonomik ya da ekonomik olmayan ulusal, ikili veya uluslararası kural ve düzenlemelerle havayolu taşımacılığına ciddi kısıtlamalar getiren düzenlemeler yapılmıştır. Dolayısıyla havayolu taşımacılığı endüstrisi, endüstriler arasında en sıkı düzenlerin olduğu endüstri oldu söylenebilir (Doganis, 2009). 1944 yılında yapılan Şikago konvansiyonunda kendi iç hat havayolu taşımacılığı pazarına zarar verebileceği düşüncesi nedeni ile Avrupa ülkeleri havayolu taşımacılığının serbest bir şekilde düzenlenmesini desteklememiştir ve havayolu pazarında sıkı düzenlemelerin olmasını talep etmişlerdir (Rigas Doganis, 2002).

Şikago’da uluslararası havayolu pazarlarındaki ekonomik düzenlemelere ilişkin çok taraflı bir anlaşmaya varılamaması ülkeleri kendi aralarında ikili olarak (bilateral) görüşmek zorunda bırakmıştır. 1919’daki Paris Konvansiyonunda ülkeler arasında havayolu taşımacılığı yapılabilmesini karşılıklı izinlere bağladığından taraflar arasında bir çeşit ticaret anlaşması gerekliliği doğmuştur. İkili Havayolu Taşımacılığı (İHT) Anlaşmaları (Bilateral Air Services Agreements-BASAs) adı verilen iki ülke arasında havayolu taşımacılığının gerçekleştirilmesini sağlayan ve iki ülke arasında oluşan havayolu pazarını

düzenleyen karşılığın esas olduğu ve hakların genellikle eşit bir biçimde paylaşıldığı anlaşmalar ile Havayolu taşımacılığı faaliyetlerini sürdürüldüğü söylenebilir (Gerede, 2011).

1970'li yıllarda ABD'de serbest piyasa ekonomisi tartışmalarının başlamasının hemen ardından 1972 yılında ABD havayolu iç hat pazarı serbestleştirilmiştir. İkili havayolu taşımacılığı anlaşmalarının neden olduğu pazara giriş, pazara erişim, fiyat kısıtlamaları ve kapasite kısıtlamaları ile birlikte havayolu taşımacılığının bir kamu hizmeti olduğu görüşünün neden olduğu monopol pazar yapısı kırılmış olduğu söylenebilir. Serbest piyasa ekonomisinin sağladığı piyasada havayolu taşıyıcıları stratejilerine uygun pazarlara erişme ve girmeye olanak bulmaları, bilet fiyatlarını ve kapasiteyi belirlemede özgür olmaları rekabet ortamı oluşturduğu söylenebilir. Oluşan rekabet ortamında düşük fiyatlı ve daha sık aralıklarda uçuşların olması insanların hareketliliğini arttırdığını ve ABD'de havayolu taşımacılığının oluşturduğu ekonomik ve sosyal etkilerin havayolu taşımacılığının önemi ortaya çıkardığı söylenebilir. Liberal pazarın oluşturduğu ekonomik etkilerin ardından ABD, AB ile arasında pazarda liberalleşmeye zorlaması ile havayolu taşımacılığında serbestleşme dünyaya yayılmaya başladığı söylenebilir(Gerede, 2015).

Havayolu taşımacılığında ABD ve Avrupa'da yaşanan liberalleşmelerin Türkiye'deki ilk etkisinin 1983 yılında yürürlüğe giren 2920 Türk Sivil Havacılık Kanunu olduğu söylenebilir. Bu kanun ile ilk terminal işletmeciliği hakkı tanınmış ve Türk sivil havacılık sektörünün önü açılmıştır. 2003 yılında iç hat pazarının özel havayolu şirketlerine açılmasıyla sektöre hareketlilik geldiğini ve uçuş sayılarında 2003-2004 yılları arasında %58, 2004-2005 yılları arasında %38 artış gerçekleştiğini söylenebilir (Battal vd., 2006). SHGM (2021), 2003 yılında 34.443 yolcu taşınmasına karşılık 2021 yılında 128.565.706 yolcu taşınmıştır.

Havayolu taşımacılığı insan yaşamı ve ekonomik gelişim açısından oldukça önemli bir yere sahip olduğunu, ulaştırma sistemlerinin gelişmediği bölgelerde ekonomik gelişiminde sınırlı olması olarak gösterilebilir. Havayolu taşımacılığı; turizmi destekleme, ticareti destekleme, ekonomik büyümeyi destekleme, iş imkanları sunma, yaşam standartlarını geliştirme, yoksulluğu azaltma, uzak topluluklar arasında bağlantı sağlama, bir felaketin oluşması durumunda hızlı aksiyon alınmasını mümkün kılma gibi önemli ekonomik ve sosyal faydalar sağladığı söylenebilir(ATAG, 2022).

Günümüzde havayolu taşımacılığı dünya genelinde 87,7 milyon işi desteklemesi ve 113 milyon direk iş imkânı sunmasıyla küresel bir işveren konumunda olduğu söylenebilir. Dünya GSMH'sinin 3,5 trilyon dolarını etkilemesiyle havayolu taşımacılığı bir ülke olması durumunda dünyanın en büyük 17. ekonomisi olabileceği söylenebilir(ATAG, 2022). Buna ilave olarak GSYİH ile iç hat havayolu taşımacılığı arasında doğru orantı bulunduğu söylenebilir(Battal vd., 2006).

### **3.1. Havayolu Taşımacılığında Eko-etkinliğin Önemi**

Havayolu taşımacılığı, yarattığı ekonomik ve sosyal etkilere rağmen uçakların neden olduğu su, toprak ve hava kirliliği nedeni ile doğal kaynaklara zarar verdiği ve insan sağlığını tehdit ederek kamu refahını düşürdüğü söylenebilir. Havayolu taşımacılığının çevre kirliliği üzerindeki etkisinin en önemli nedeni kullanılan jet yakıtlarıdır.

Shell (2022); günümüzde de havayolu taşımacılığında kullanılan jet yakıtları, ilk zamanlarda kullanılan aydınlatıcı gazyağı geliştirilerek gaz türbinli motorlarda kullanılır hale getirildiğini belirtmiştir. Günümüzde donma ve parlama sıcaklıklarının yüksek olması nedeni ile sivil havacılıkta kullanılan gazyağı tipi yakıtlar başlıca JET A-1 ve Jet A'dır. Jet A-1, çoğu türbin motorlu uçak için uygun kerosin dereceli bir yakıttır. Parlama noktası minimum 38 derece C (100°F) ve donma noktası maksimum -47°C derecedir. Özellikleri nedeni ile havayolu taşımacılığında jet yakıtları kullanılmaktadır. Ancak ICAO (2022b); iniş ve kalkış döngüsünde uçakların yer hizmetleri sırasında ortaya çıkan çeşitli gazlar ve partiküller nedeni ile insan sağlığı üzerinde etkileri olduğu bilinmekle birlikte insan ömrünü kısalttığı belirtilmektedir. Jet yakıtlarının yakılması sonucunda ortaya çıkan (%90'nın üzerinde emisyon miktarı 3000 feet'ten sonra ortaya çıkmaktadır) Nitrojen oksitler (NO<sub>x</sub>) Özellikle yüksek irtifalarda Ozon(O<sub>3</sub>) tabakasını inceltmesi nedeni ile de küresel iklim krizinde kilit rol oynamaktadır. ICAO tarafından yeni NO<sub>x</sub> standartları belirlendikçe motor teknolojilerinde yeni gelişmeler yaşansa da Karbonmonoksit (CO<sub>2</sub>) gazlarının salınımı artmaktadır. Bir değiş tokuş durumu söz konusu olsa da daha çevreci yeni teknolojiler üzerinde çalışmalar devam ettiği söylenebilir. 1940-2018 yılları arasında Küresel ısınmaya havacılık sektörü kaynaklı emisyonların direkt etkili olduğu belirtilmektedir(ICAO, 2022b).

### **3.2. Havayolu Taşımacılığında Eko-etkinlik**

Havayolu taşımacılığında çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik teşvikler ve hedeflerin belirlenmesinde uluslararası kural belirleyicilerin rolü önemlidir. Belirlenen hedefler ve teşvikler ile havayolu taşıyıcılarının filolarını teknolojik ve çevre dostu uçaklar ile modernize etmeleri için yönlendirilebilir, ayrıca havayolu taşıyıcılarının uçuş rotalamalarını optimize ederek yakıt israfını önlemenin sağladığı tasarruf ile salınan emisyon miktarını azaltmaları teşvik edilebilir. Havayolu taşımacılığında uluslararası düzeyde kural ve düzenlemelerde rol alan örgütler; Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO), Uluslararası Havayolu Taşımacılığı Birliği (IATA), Uluslararası Havaalanları Birliği (ACI) ve Uluslararası Hava Kargo Taşımacılığı Birliği (TIACA) tarafından belirlenen hedefler bu başlıkta altında yer almaktadır.

ICAO(2022a), uluslararası havayolu taşımacılığında çevre korumasında işbirliği için çok uluslu bir platform olma özelliği taşıyan Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu (ICAO-İnternational Civil

Aviation Organization); uçak gürültüsü, bölgesel hava kalitesi, iklim değişikliği ve havacılık emisyonlarında odaklanma konusunda üye devletler ile ortaklaşa çalışmaktadır. ICAO(2022a), ülkeler yeni küresel havacılık standartlarının takip edilmesi ve kendi gelişimlerini bir kenara bırakarak;

- İnovasyonlar ile daha hafif uçaklar üretmeli,
- Uçuş süreçlerini yakıt sarfiyatını azaltacak şekilde optimize etmeli,
- Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı (SAF) ile temiz enerji üretimini arttırmalı,
- Uluslararası havacılık için Karbondioksit denkleştirme ve azaltma programı (CORSIA- Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation)'nı öncelikli uygulamalı,
- CORSIA programının izlenmesi ve raporlanması konusunda havayolu taşıyıcıları için ücretsiz Karbondioksit Hesaplama ve Raporlama Aracı (CERT- CO<sub>2</sub> Estimation and Reporting Tool) yayınlamış,
- Karbon yakalama teknolojilerinin geliştirilmesi planlanmıştır.

Havayolu taşımacılığında uçuş faaliyetlerinin emniyetli, düzenli ve etkin bir şekilde yürütülmesi için kurallar ve düzenlemeler yapan IATA (2022), 2050 yılında havayolu taşımacılığı kaynaklı emisyonların net sıfır olmasının hedeflemektedir. IATA, 2050 net sıfır karbon emisyonu hedefine ulaşmada üç senaryo oluşturmuştur.

**Tablo 3: IATA Tarafından Oluşturulmuş Üç Senaryo**

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Teknolojik Gelişmeler ve İnovasyonlar ile (%)	22	12	34
Operasyonel süreçler ve uçak yapı malzemelerinin geliştirilmesi ile (%)	10	9	7
Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı İle (%)	61	71	53
Pazar Bazlı Ölçüm (%)	7	8	6

Senaryo 1'e göre uçaklarda kullanılan teknolojilerin ve operasyonel altyapının geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu senaryoda geleneksel olmayan uçak gövdelerinin ortaya çıkması ve filonun 2035'ten

2040'a kadar hibrit veya elektrikli hava taşıtlarına geçişi beklentisiyle teknolojik gelişmelere öncelik verilir. Operasyonlara ve altyapı iyileştirmelerine yapılan önemli yatırımlar, önemli iyileştirmeler ve CO<sub>2</sub> azaltımları sağlar. Teknoloji ve operasyonlar ile altyapı iyileştirmeleri sonrası CO<sub>2</sub> emisyonları ile 2050 karbon hedefi arasındaki fark, sürdürülebilir havacılık yakıtlarının kullanımı ile karşılanmaktadır.

Senaryo 2 ise, yoğunluklu olarak sürdürülebilir havacılık yakıtlarına ağırlık verilmektedir. Bu senaryoya göre, harmanlanmış kanat gövdesi seçenekleri gibi yeni uçak konfigürasyonları ile teknoloji geliştirmeleri söz konusudur, ancak bunlar mevcut motor ve teknolojilere dayanmaktadır (sektörün sürdürülebilir yakıtlara yatırıma öncelik vermesi nedeniyle elektrik veya hibrite önemli bir geçiş planlanmamaktadır). Orta trafik büyümesine rağmen, operasyonlara ve altyapıya yapılan yatırımlar bazı net iyileştirmeler ve CO<sub>2</sub> azaltımları sağlayacak. Teknoloji ve operasyonlar ile altyapı iyileştirmelerinden sonraki CO<sub>2</sub> emisyonları ile 2050 karbon hedefi arasındaki fark, sürdürülebilir havacılık yakıtları ile karşılanmaktadır.

Senaryo 3'te; uçak teknolojilerinde yoğun bir gelişim planlanmaktadır. Bu senaryoda 100 koltuklu elektrikli uçaklar, 100-200 koltuk arası hibrit motorlu uçakların geliştirilmesi hedeflenmektedir. 2050 hedefi ile arada kalan fark sürdürülebilir havacılık yakıtı ile kapatılması planlanmaktadır.

Havalimanlarının ve hizmet ettikleri toplulukların ortak çıkarlarını ilerleterek ve havalimanı yönetimi ve operasyonlarında mükemmelliği teşvik ederek küresel havacılık endüstrisinin emniyetine ve sürdürülebilirliğine katkıda bulunma amacı olan ACI (2021), uzun dönem kapasite yatırımları yapılırken üyelerini temiz teknolojilere uygunluğa, yeni market fırsatlarını gözlemlemeye, sera gazları ve karbon emisyonlarını azalmaya teşvik etmektedir. ACI (2021);

- 2050 yılında net sıfır karbon emisyonu hedefine ulaşmak ve hükümetlerin bu çaba için gerekli desteklerini sağlaması için teşvik etmektedir.
- Ücretsiz olarak ulaşılabilen havaalanlarında karbon yönetimi için bir standart oluşturan Havaalanlarında Karbondioksit ve Emisyon Azaltma Aracı (ACERT-Airport Carbon and Emission Reduction Tool) yayınlamıştır.
- Bilgi işlem çözümü sunmak için ücretsiz olarak sunulan Uçak Yer Enerji Sistemi- Simülâtörü (AGES-S- Airacraf Ground Energy System-Simulatör), uçağın yerde hizmet aldığı süre zarfında ihtiyaç duyduğu enerjiden, kendi motor ile yer hizmetleri kapsamında verilen yer enerji ünitesinden, hangisinin daha çevreci ve ekonomik olduğunu analiz etmektedir.
- Havalimanlarında çevre yönetimin nasıl geliştirileceğine odaklanan sektör uzmanlarından APEX (Peer Assesment in Environment) takımı oluşturulmuştur.

Nakliyeciler, nakliye komisyoncuları, yer hizmetlileri, havaalanları, havayolları, üreticiler ve çözüm sağlayıcılar dahil olmak üzere hava kargo endüstrisinin tüm bölümlerini temsil eden ve birleştiren uluslararası kar amacı gütmeyen kuruluş olan TIACA(2022) ise ;

- SAF ya da diğer fosil olmayan yakıtlara yatırımı,
- Uçuşları, hava ve yer araçlarını çevreci teknolojilerle geliştirmeyi,
- Yeşil binalara geçmeyi,
- Etkili denkleştirme mekanizmalarının kullanılmasını,
- Karbon yakalama teknolojilerinin araştırılmasını ve adaptasyonunu,
- Kendi operasyonlarında enerji tüketimini azaltılmasını,
- Araç kullanımının optimize edilmesini,
- Araçların ve ekipmanların ağırlığının azaltılmasına teşvik etmektedir.

Havacılık sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin eko-etkinlik performansının ölçülmesi Uluslararası havacılık kuruluşlarının belirlediği hedeflerin gerçekleştirilebilmesi için önemli olduğu belirtilir.

### **3.3. Havayolu Taşımacılığının Eko-etkinliğinin Ölçümü**

Uluslararası sivil havacılık kuruluşların belirlemiş olduğu hedeflerin gerçekleştirilebilmesi için havayolu taşımacılığı sektöründe faaliyet gösteren işletmelere önemli sorumluluklar düşmektedir. Özellikle 2050 sıfır karbon emisyonu hedefine ulaşmak için havayolu işletmelerinin eko-etkinlik performansının ölçülmesi ve gelişiminin takip edilmesi önemli olduğu söylenebilir.

Havayolu taşımacılığı sektöründe eko-etkinlikle ilgili yapılan çalışmaların sayısı oldukça azdır. Çalışmalar hava trafik yönetiminde (Weiss vd., 2011) ve hava trafik yönetiminde önerilen projeler arasında karşılaştırma(Grewe & Linke, 2017) üzerine yapılmıştır. Havayolu taşımacılığında yapılan çalışmalardan bir diğer alan ise havacılık yakıtların eko-etkinliği (Cruz vd., 2019) üzerinedir.

Havayolu yolcu ve\veya kargo taşımacılığının eko-etkinliği üzerinde yapılan çalışmalar ise Pérez-Calderón ve arkadaşları tarafından (2021) yılında Avrupa da faaliyet gösteren en büyük 10(on) havayolu işletmesinin 2012-2019 yılları arasında ki eko-etkinlik performanslarını K-ortalama yöntemiyle analizleri yapılmış ve Markov modeliyle gelecek yıllarda ki durum tahmin edilmeye çalışılmışlardır. Büyük havayolu işletmeleri en eko-etkin iken düşük maliyetli taşıyıcılar uçuş ağını ve uçuş sayısını arttırmasına rağmen en kötü performans sergilediği sonucuna ulaşmışlardır. Araştırmacılar yıllık toplam gelir, yolcu kilometre geliri, arz edilen koltuk kilometre, yolcu kilometre geliri başına operasyonel maliyet, yolcu kilometre geliri başına CO<sub>2</sub> ve doluluk oranı değişkenleri üzerinden eko-etkinlik analizlerini yapmışlardır.

Elhmod ve arkadaşları (2021); yapay sinir ağı temelli Temel Bileşenler Analizi (PCA-Principal Component Analysis) modeli ile Asya bölgesinde faaliyet gösteren havayolu işletmelerinin eko-etkinlik performanslarını değerlendirmişlerdir. Karbon emisyonları, enerji tüketimi, jet yakıtı tüketimi, su tüketimi ve toplam atık girdileri ile gelir, taşınan yolcu miktarı, taşınan kargo miktarı ve çalışan sayısı çıktıları kullanılarak yaptıkları analiz sonuçlarına göre All Nippon havayolları en eko-etkin havayolu işletmesi iken Cathay Pasifik havayolları en düşük eko-etkinlik performansına sahip havayolu işletmesi olmuştur.

Havayolu taşımacılığı sektöründe yapılan eko-etkinlik çalışmalarında kullanılan değişkenler WBCSD tarafından belirlenen tüm alanlarda uygulanabilir değişkenler ile örtüşmemektedir. WBCSD tarafından belirlenen genel göstergeler ve havacılık sektöründeki karşılıkları;

**Üretilen Hizmet/ürün miktarı:** havayolu taşımacılığında hizmet miktarı sunulan kargo ton miktarı ve sunulun koltuk kilometre cinsinden ifade edilmektedir.

**Net satışlar:** Havayolu taşıyıcıları net satışları gelir olarak raporlamaktadır

**Enerji:** Havayolu taşıyıcılarının ana faaliyet konusu yolcu ve yük taşımak olduğu için elektrik tüketimi miktarını paylaşmadıkları gibi ana enerji kaynakları olan jet yakıtları kullanım miktarını raporlanabilir.

**Su Tüketimi:** Uçakların yıkanması, ofis alanlarında kullanılan su ve uçuşlarda oluşan atık su miktarını ifade eder. Ancak araştırmada kullanılan havayolu işletmesi su tüketim miktarını ana faaliyeti dışında kaldığı için raporlamamıştır.

**Malzeme tüketimi:** Hizmet sektöründen çok üretim sektörü için kullanılan bir parametredir.

**GHG emisyonları:** Salınan CO<sub>2</sub> miktarını ifade etmektedir.

**Havayı asitleştiren emisyonlar:** Jet yakıtlarının yakılması sonucu ortaya çıkan NO<sub>x</sub> emisyonları bu kategoride değerlendirilebilir.

**Toplam atık:** Araştırmaya konu olan havayolu işletmesi Toplam atık miktarını raporlamamıştır. Ancak raporlarında belirtilenlere göre uçuşta kullanılan tüm malzemeler geri dönüştürülebilir malzemelerden üretilmektedir.

Metodolojik perspektiften bakıldığında eko-etkinliğin analizinde yapay sinir ağlarının kullanımı giderek artmaktadır. Paulvannan Kanmani ve arkadaşları (2020) tarafından, Yale Üniversitesinin her yıl yayınladığı ülkelerin Çevresel Performans İndeksi (ÇPİ) sonuçlarının adil olmadığı ve yapay sinir ağı temelli denetimsiz öğrenme yöntemlerinden Kohonen Öz-Düzenleyici Haritalar kullanılarak ülkerin çevresel performansları aynı veriler kullanılarak tekrar analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. ÇPİ indeksini oluşturan araştırmacı\araştırmacıların belirlemiş olduğu ağırlıklandırma objektif olarak sonuçlara



ulaşmada yetersiz kaldığı sonucuna ulaşmak ile birlikte Kohonen Öz-Düzenleyici haritalar ham veriler ile analizleri yapması ve denetimsiz öğrenme özelliği ile objektif sonuçlar sunduğu sonucuna ulaşılmıştır.



## 4. ARAŞTIRMA

### 4.1. Araştırmanın Amacı

Literatürde eko-etkinliğin ölçülmesinde yaygın kullanılan yöntemler, ilgili çevresel ölçütlerin ağırlıklı toplamına dayalıdır. Bu durum yöneticiler için eko-etkinliğin iyileştirilmesi için olası yolları sağlamada etkisiz kalmaktadır. Bu çalışmada ise bir havayolu taşıyıcısının eko-etkinliğini ölçmek ve iyileştirmeler için ihtiyaç duyulan boşlukları dolduracak bir model önermektir.

### 4.2. Araştırmanın Önemi

Kurumsal düzeyde işletmelerin eko-etkinlik performansını ölçmeye yönelik yapılan çalışmaların sayısının az olmasıyla birlikte havayolu taşımacılığı sektöründe veya havayolu işletmesi özelinde bir araştırma bulunmamaktadır. Ayrıca kurumsal düzeyde eko-etkinliğin ölçülmesine yönelik uygulanan ölçümleme yöntemleri çözüm yolları üretmekte yetersiz kalmaktadır. Bir diğer önemli problem ise belirli bir havayolu taşıyıcısı verileri kullanılarak eko-etkinlik analizi yapılarak detaylı bir şekilde incelenip anlaşılmasına çalışılmamıştır. Bu çalışmada literatürdeki eksiklikleri gidermesi çalışmanın önemini ortaya koymaktadır.

### 4.3. Araştırma Kısıtları

Araştırma verileri web sitesi üzerinde yayınlanan faaliyet raporları; Yıllık raporlar ve Sürdürülebilirlik raporları gibi ikincil kaynaklar incelenerek toplandı. Raporlardan toplanan veriler gerçekte olan veriler ile uygulamaya uygun olduğunu varsayarak analizler yapıldı. Araştırma Lufthansa Grup'un verileri üzerinden yapıldığı için tüm havayolu işletmelerine genellenemez.

### 4.4. Araştırmanın Yöntemi

Tekli örnek olay analizi; güncel bir olguyu gerçek hayatındaki bağlamında, özellikle de olgu ile bağlamın iç içe geçtiği ve aralarındaki sınırın tam olarak belirgin olmadığı durumları inceleyen ampirik bir araştırma şeklinde tanımlanmıştır (Taş vd., 2019). Tekli örnek olay analizi, nitel araştırma yöntemlerinden biridir ve bir olayın ayrıntılı bir şekilde incelenmesi ve anlaşılması için kullanılır. Bu yöntemde, bir örnek olay ayrıntılı olarak incelenir ve verileri toplanır. Bu veriler, gözlemler, röportajlar, dokümanlar, arşivler ve kayıtlar gibi farklı kaynaklardan elde edilebilir. Toplanan veriler, analiz edilir ve yorumlanır, sonuçlar çıkarılır (Baxter & Jack, 2015). Lufthansa Grup şirketinin 17 yıllık faaliyetlerinin, eko-etkinliği üzerindeki etkilerine odaklanması nedeni ile araştırma tekli olay analizinin uygun bir tasarım olduğu değerlendirilmiştir.

Türkiye’de faaliyet gösteren havayolu taşıyıcılarının raporlamaları kılavuzlara tam uyum sağlamaması (Battal, 2018) nedeni ile Lufthansa AG grup şirketlerine ait veriler işletmenin web sayfasında yayınlamış olduğu 2005 ile 2021 dönemini kapsayan yıllık faaliyet raporları ve sürdürülebilirlik raporlarından toplandı, Kohonen Öz-düzenleyici haritalar kullanılarak analizler yapıldı. Aynı zamanda aynı veriler kullanılarak literatürde en yaygın kullanılan yöntem olan Veri Zarflama Analizi (VZA) yapılarak Kohonen Öz-düzenleyici Haritalar karşılaştırılıp önerilen modelin güvenilirliği ortaya konulmuştur.



**Şekil 5:** Araştırma Tasarımı

Tekli örnek olay analizinde tasarımın oluşturulması, araştırmacının örnek olayın özelliklerine, araştırma sorusuna ve veri toplama yöntemlerine bağlıdır. Bu nedenle, tasarım her örnek olay için farklı olabilir (Baxter & Jack, 2015).

#### 4.5. Modelin Uygulanması

Veriler örnek olarak alınan havayolu taşıyıcısının web sayfasında yayınladığı sürdürülebilirlik raporlarından toplanmıştır. Havayolu taşımacılığı için WBCSD’nin eko-etkinliğin ölçülmesi için belirlediği değişkenlere karşılık gelen birimler açıklanmıştır. Bunlar;

**Tablo 4:** Eko-etkinlik Analizi İçin Alınan Göstergeler

Girdiler	Çıktılar
Tüketilen Yakıt	Gelirler
Karbon Emisyonu (CO <sub>2</sub> )	Üretilen Koltuk Kilometre (ASK)
Havayı Asitleştiren Emisyonlar (NO <sub>x</sub> )	Arz Edilen Ton Kilometre (ATK)
Karbon Monoksit (CO)	
Hidro Floro Karbon(CH)	

**Tablo 5: Lufthansa Grup İşletmesinin 2005 ile 2021 Yılı Verileri**

Yıllar	Net Satışlar milyon ABD do- ları	Üretilen Hizmet Miktarı (Yolcu) milyon km	Üretilen Hizmet Miktarı (Kargo) (ATK) - Ton	Enerji Tü- ketimi/Ya- kıt Tüke- timi (Ton)	Karbon Emisyonları (Ton)	Havayı Asitleşti- ren Emis- yonlar (NOx) (Ton)	Karbon Monoksit (CO) (Ton)	Hydro Carbon (CxHy)
2005	18.065	187.284	11.217	6.751.355	21.293.772	97.281	15.303	1.871
2006	19.849	191.115	11.717	6.940.587	21.890.614	99.808	15.658	1.902
2007	22.420	195.431	15.141	6.781.412	21.361.449	98.584	15.313	1.901
2008	24.870	194.039	14.974	7.673.141	24.170.394	112.820	17.095	2.066
2009	22.283	235.837	15430	7.680.708	24.194.229	112.645	17.376	2.109
2010	27.324	228.615	14.193	8.459.255	26.646.655	134.744	19.640	1.982
2011	28.734	259.861	15.249	9.023.671	28.424.568	133.903	20.152	2.252,8
2012	30.135	256.536	14.468	8.878.926	27.968.627	136.805	19.416	2.096,0
2013	30.027	268.105	14.659	8.764.774	27.609.039	131.091	18.976	1.990,8
2014	30.011	266.397	14.310	8.825.774	27.801.092	132.257	19.251	1.952,5
2015	32.056	286.555	15.117	8.947.766	28.185.463	135.447	19.137	1.858,8
2016	31.660	322.821	15.619	9.055.550	28.524.981	139.008	19.320	1.880,4
2017	35.579	349.489	16.431	9.618.095	30.296.998	151.402	21.922	2.226,1
2018	35.844	359.567	17.378	10.254.365	32.301.249	161.427	23.197	2.310,9
2019	36.424	343.873	16.389	10.435.324	32.871.272	165.668	23.925	2.326,5
2020	13.589	109.828	10.591	3.507.461	11.048.504	54.873	8.342	805,4
2021	16.811	145.139	11.867	4.324.746	13.622.950	65.001	11.031	1006,6

Veriler öncelikle Microsoft Excel'in Solver çözümleri kullanılarak VZA fonksiyonu ile etkinlik analizi yapılmış ve Tablo 5'te paylaşılmıştır. 2015,2016,2017,2020 ve 2021 yıllarının Etkinliklerinin 100% olduğu görülebilir. %90 ve üzerinde etkinlik değerine sahip yıllar büyükten küçüğe sırasıyla 2018, 2013, 2019, 2014, 2012, 2009, 2007, 2008 olduğu görülebilir. Araştırmanın örneklemini oluşturan havayolu işletmesinin en düşük etkinlik değerine sahip olduğu yıllar ise büyükten bu yıllarda etkinliklerinin 100% olmasında ya da diğer yıllarda bulunan oranlarda hangi girdi hangi çıktılarla nasıl bir ilişki içinde olduğu bilgisine ulaşamamaktadır.

**Tablo 6: VZA analizi sonuçları**

Yıllar	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>Etkinlik Değeri</b>	0,840	0,837	0,919	0,899	0,922	0,850	0,884	0,932	0,958	0,945
<b>Etkinlik Oranı</b>	84%	84%	92%	90%	92%	85%	88%	93%	96%	95%
	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>			
	<b>1,000</b>	1,000	1,000	0,972	0,946	1,000	1,000			
	<b>100%</b>	100%	100%	97%	95%	100%	100%			

Araştırmada önerilen model incelendiğinde ise verilerde benzerliklere göre sınıflandırma oluşturulmuş girdiler ile çıktılar arasında ortaya çıkan performans analizleri yorumlanabilmektedir.

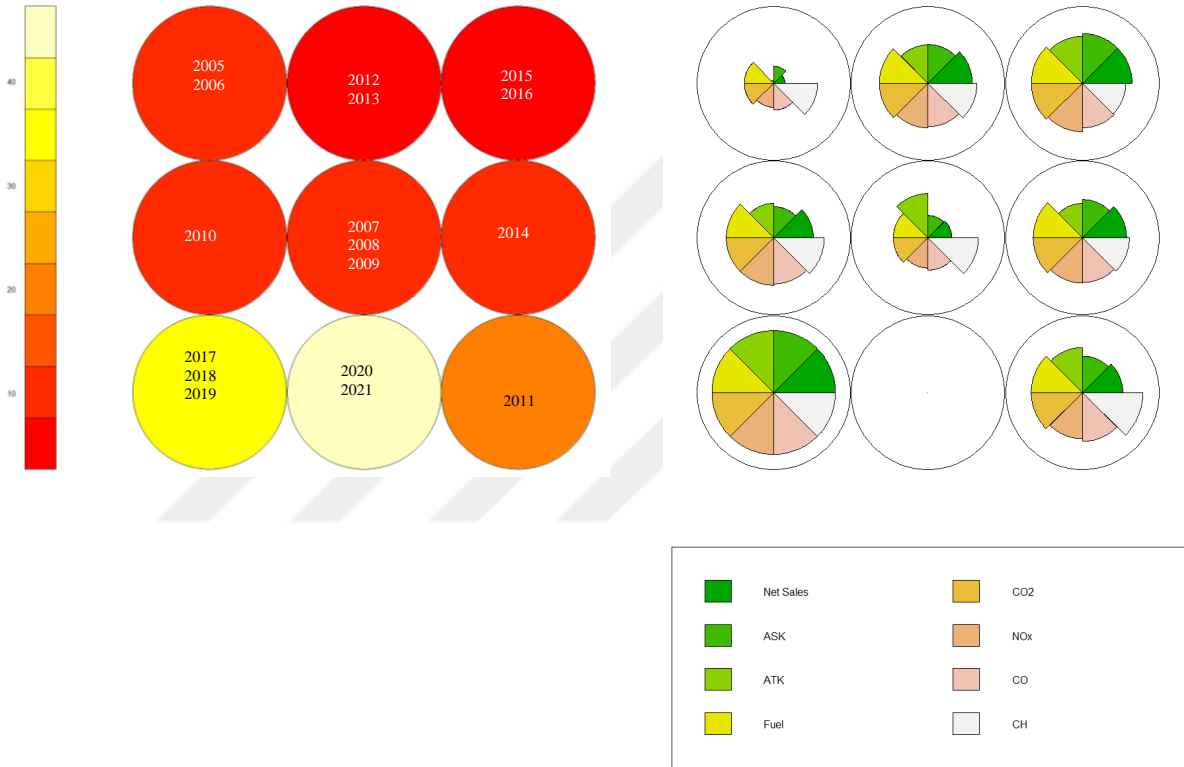
Kohonen SOM algoritmasında ise; Girdi uzayındaki her vektör, diğer vektörlere olan mesafesine dayalı olarak sinir ağındaki kazanan düğüme atanır. Sinir ağındaki düğümlerin ağırlıkları o belirli düğümlerle ilişkili girdi uzayındaki tüm öğeler arasındaki göreceli mesafelere dayalı olarak sürekli olarak güncellenir. Her yıl için ham veriler ağıdaki her bir düğüm arasındaki bağıl mesafe, yılların çevresel performansları arasındaki mesafeye yaklaşacak şekilde bir sinir ağına eşlenir. Bu nedenle yılların çevresel profillerinde ortaya çıkan benzerlikleri arayabilir ve küme üyeliklerine göre yılların çevresel performansındaki değişiklikleri belirlememize yardımcı olabilir. Denetimli öğrenmeden farklı olarak denimsiz SOM modeli çıktısının doğruluğu bir kayıp fonksiyonu kullanarak ölçülemez. Çünkü amaç tahmin değil, verilerdeki kalıpları açıklamaktır (Paulvannan Kanmani vd., 2020).

Girdir ve çıktı verilerinin işlenmesi için belirli ön işlem adımları uygulanabilir. Bu ön işlem adımları, verilerin ağa daha verimli bir şekilde sunulmasına ve ağın kullanımını geliştirmeye yardımcı olabilir. Normalizasyon işlemi, verilerin eğitim için uygun hale getirilmesinde önemli bir rol oynar. Normalizasyon işlemi, ham veriler üzerinde belirli bir işlem yaparak verilerin dağılımını standartlaştırır. Bu işlem yapılmadan önce yapay sinir ağlarının eğitimi çok yavaş olabilir. Normalizasyon işlemi için birçok farklı teknik kullanılabilir. Bunlar arasında Min-Max normalizasyonu, Medyan normalizasyonu, Sigmoid normalizasyonu ve Z-Skor normalizasyonu gibi teknikler yer alır. Bu teknikler, verilerin farklı özelliklerine ve dağılımlarına bağlı olarak kullanılabilir. Örneğin, Min-Max normalizasyonu, verilerin minimum ve maksimum değerleri arasında bir skalada yeniden ölçeklendirilmesi işlemidir. Medyan normalizasyonu, verilerin ortanca değerine göre yeniden ölçeklendirilir. Sigmoid normalizasyonu, verilerin sınırlandırılmış bir aralığa sıkıştırılması işlemidir. Z-Skor normalizasyonu ise verilerin ortalama ve standart sapmalarına göre ölçeklendirilmesi işlemidir. Bu tekniklerin her biri, verilerin özelliklerine ve dağılımına bağlı olarak farklı sonuçlar verebilir. Dolayısıyla, normalizasyon işleminde kullanılacak teknik, verilerin özellikleri ve amaçlarına göre seçilmelidir (Yavuz & Deveci, 2015).

Çalışmada kullanılan her bir veri setinin birimleri farklıdır. Normalizasyon işlemleri bir nevi veri setini aynı birimlere dönüştürmek için uygulanıp, ağ üzerindeki eğitim ve test setinin sistem performansını iyileştirebilir (Yavuz & Deveci, 2015). Z-Skor normalizasyonu en yaygın kullanılan normalizasyon olmasına karşılık verilerin aynı dağılımda karşılaştırılmasında tercih edilir. Birbirinden farklı değerler içeren veri setimiz için Z-Skor normalizasyonunun kullanılması uygun değildir. Bu çalışmada veriler ölçeklendirilmesi Medyan normalizasyonu kullanılarak analizler yapılmasının nedeni farklı büyüklükte bulunan verilerin kendi sütununda bulunan değerler ile normalize edilmesi büyük farkların olduğu veri setimize daha uygun olmasıdır. Kümeleme analizi sonuçları Tablo 6'da görülebilir. Şekil 5 ve Şekil 6'da verilerin görselleştirilmiş haritaları görülebilir.

**Tablo 7: Kümeleme Analizi Sonuçları**

Nöron	Net Sales	ASK	ATK	Fuel	CO2	NOx	CO	CH
V1	1,3025659	1,4489465	1,2082992	1,0937791	1,0936202	1,2188074	1,2429516	0,8965637
V2	-1,6483298	-1,6490799	-1,6183773	-2,1481418	-2,1494297	-1,9901844	-2,0477041	-2,4362765
V3	0,2745749	0,1764104	0,4377099	0,5433447	0,5430000	0,4078839	0,5512049	0,8229728
V4	0,2478227	-0,0894041	-0,0442533	0,3415455	0,3411251	0,4655048	0,4001412	0,2850240
V5	-0,5161357	-0,5318024	0,4049857	-0,3217367	-0,3223903	-0,4280685	-0,3317384	0,2742504
V6	0,4576286	0,2675243	-0,0461893	0,4389659	0,4385662	0,3546839	0,3262507	0,0935535
V7	-1,1168302	-0,8033855	-1,4922014	-0,6080678	-0,6042628	-0,7413341	-0,6159530	-0,0653554
V8	0,4621242	0,2831588	0,1297164	0,4109759	0,4105786	0,3281695	0,2644507	0,2012497
V9	0,7193353	0,8366443	0,5198252	0,5371090	0,5367554	0,5257902	0,3246902	-0,1042344

**Şekil 6:** Küme Elamanları Etiketleri ve Komşuluk Haritası**Şekil 7:** Değişkenlerin Birbirleri ile olan ilişkisi haritası

#### 4.6. Bulgular ve Değerlendirme

BMU, bir verinin hangi ağ düğümüne (nörona) en yakın olduğunu ve kazanan düğümü belirlemek için kullanılır. Bu, ağdaki her bir düğümün verilere olan benzerliğini hesaplar ve en yakın düğümü belirler. Aynı zamanda ağdaki en iyi eşleşme olarak da bilinir. Bu durumda aynı nöronlarda bulunan yılların birbirine en çok benzeyen yılları olduğu söylenebilir. Örneğin Şekil5'te 9. nöron (sağ üst) nöronunda bulunan 2015 ve 2016 yıllarının birbirine en benzer özellikler gösterdiği söylenebilir. BMU, bir verinin ağda hangi bölümdeki benzer verilere en yakın olduğunu belirlemek için de kullanılır. Veriler,

seçilen nöronun etrafındaki komşu düğümlere de etki edebilir ve bu da SOM algoritmasının ağda birbirine yakın olan verileri gruplandırmasına yardımcı olur. Şekil 5'te 9. nörona en yakın diğer komşu nöronlar sorasıyla 8,7,6,5,4 ve 3. nöronlardır.

Nöronların bir bölgede kümelenmesi o kümede bulunan verilerde benzerlikler olduğunu göstermektedir. Şekil 6'ya bakıldığında Çevresel etkiler benzer özellikler göstermektedir. Kümedeki her nöronda yakıt miktarı, karbondioksit, karbonmonoksit ve nitrojen oksit miktarları benzer şekilde dağılım gösterdiği belirtilebilir. Bununla birlikte yaratılan ekonomik etki miktarlarında farklılıklar göstermesi nedeniyle farklı nöronlarda BMU olarak eşleştiği ifade edilebilir.

Şekil 6 ise değişkenlerin ilişkilerini ortaya koymaktadır. Nöronlarda bulunan kamaların büyüklüğü Tablo 6'da bulunan değerlerin büyüklüğüne göre değişkeni temsil eder. Yani, kamalar verilerin büyüklüklerine göre boyutlandırılmaktadır. Bir değişkeni temsil eden en büyük kama en büyük değeri temsil ederken en küçük kamada en küçük değeri ifade etmektedir. Örneğin Şekil 5'te birbirine en yakın nöronlar 8. ve 9. nöronlardır. Şekil 6'ya bakıldığında 8. ve 9. nöronlarda bulunan verilerin birbirine oldukça benzediği söylenebilir. Şekil 6'ya göre Yakıt, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO verilerinin benzerlik gösterdiği söylenebilir. Ancak çevresel değişkenlerin benzerliğine karşılık 9. nöronda bulunan 2015 ve 2016 yıllarının Net satış, Arz Edilen Koltuk km ve Arz Edilen Ton km değerlerinin 8. nörona göre daha fazla olduğunu söyleyebiliriz. İşletme 2015 ve 2016 yıllarında 2012 ve 2013 yıllarına göre eko-etkinlik seviyelerini arttırdığı söylenebilir.

Şekil 6'da yıl bazında nöronlar incelendiğinde çevresel etki kamalarının oranla ekonomik etki kamalarının en küçük olduğu nöron 7. nörondur. BMU olarak eşleşen 2005 ve 2006 yıllarının faaliyet raporları incelendiğinde havayolu taşıyıcısının filo yapısı eski uçaklardan oluşmakta ve çevreye yönelik çalışması bulunmadığı söylenebilir. 7. nöronda hidroflorokarbon en büyük kamaya sahipken taşınan kargo miktarı en küçük kamaya sahiptir. 2005 ve 2006 yılları işletmenin çevreye verdiği zarara göre yarattığı ekonomik değer çok düşük olduğu ifade edilebilir.

2007,2008 ve 2009 yıllarının BMU olarak eşleştiği 5. nöron çevresel salınan emisyonlar bakımından benzer özellik gösterdiği görülebilir. Havayolu taşıyıcısının bu yıllarda kokpitte bulunan kağıtların (uçuş çartları, yaklaşma çartları, acil durum prosedürleri) yerine elektronik uçuş çantasının kullanılmaya başlanması ile her uçuşta yaklaşık 15 kg tasarruf ettiği söylenebilir. Yük ve denge hesaplamaları, yük dağılımı gibi operasyonel faaliyetler geliştirilen yazılım ile yapılmaya başlanması uçuş performansını arttırdığı yakıt sarfiyatını azalttığı söylenebilir. 2008 yılında ise uçak motorlarının daha az su ile daha hızlı yıkanmasına yönelik teknik geliştirilmiş ve yakıtın yakılması sonucu motor parçalarına yapışan partiküllerin motor performansını düşürmesi engellenerek yakıt sarfiyatının azaltıldığı ve salı-

nan emisyon miktarının azaltıldığı ifade edilebilir. Ayrıca filoda uçaklara takılı halde bulunan eski teknoloji motorların performansını arttırmaya yönelik fan ve kompresörlerin palleri daha aerodinamik olacak şekilde tekrar şekillendirilmeye başlanması motorların ömrünü ve performansını arttırmıştır. 2008 yılında ayrıca uçağın aerodinamik yapısını olumsuz etkileyen parçaların bakımı veya değiştirilmesi ile yakıt tasarrufu edildiği söylenebilir. Aynı yıl içerisinde yolcu koltuklarının 2 kiloya kadar daha hafifleri ile değiştirilmeye başlandığı görülebilir. Havayolu taşımacılığında yapılan iyileştirme ve geliştirmelerin tüm filoya uygulanması zaman bakımında uzun yıllar alırken maliyet bakımından oldukça fazla olması inovasyonların ve yeniliklerin uzun zamana yayılmasına neden olmaktadır. 2009 yılı bina ve tesislere yönelik inovasyon ve yenilikler ile geçen bir yıl olmasının yanı sıra önceki yıllarda hayata geçirilen inovasyonların icra edilmeye devam ettiği görülebilir. 5. nörona bakıldığında Arz Edilen Ton Kilometre en büyük kamaya sahipken Arz Edilen Yolcu Kilometre en küçük kamaya sahiptir. Kargo uçakları tarafında geliştirmelerin az olmasına karşılık bu yıllarda üretilen kargo ton miktarı çok daha fazla olduğu görülebilir. Bununla birlikte hidroflorokarbon kaması taşınan kargo miktarından sonra 2. en büyük kama olmuştur. Kargo taşımacılığında artan hizmet sunumuna karşılık yarattığı ekonomik değer eko-etkinliğin sağlanmasında yetersiz kaldığı ifade edilebilir.

2010 yılının Şekil 5'te 4. nörona BMU olduğu görülebilir. 2010 yılında devam eden değişim ve yenilemelerin yanı sıra havayolu işletmesi uçaklarda ikram malzemelerinin konulduğu trolleyleri %40 daha hafif malzemeden üretilenler ile değiştirmeye başlamıştır. Bununla birlikte biyo-yakıt üretilmesine yönelik çalışmalara başlamış, Hamburg Frankfurt arasında kullanılan yakıtın %50'si geleneksel Jet-A1 yakıtı iken %50'si biyo-yakıtlardan oluşturulmuştur. Planlama ve kontrol alanındaki yazılım geliştirmeleri ile yüksek doluluk oranı faktörü ile uçuşlarda maksimum etkinlik sağlanırken, uçuş planlamalarında geliştirilen yazılımlar sayesinde uçuş rotalarının optimize edilmesi ile ihtiyaç duyulan gerçek yakıt miktarının daha isabetli olması ile fazla yakıt almanın neden olduğu fazla ağırlık önlenerek yakıttan tasarruf edilirken çevreye salınan emisyonlarda azaltılmıştır. 2010 yılından ATK miktarı, ASK miktarından fazla olmasıyla birlikte Net Satış kamasının üretilen hizmet miktarından daha büyük olduğu görülebilir. Gelişmeler neticesinde havayolu taşıyıcısının ekonomik etkileri bakımından performansının arttığı söylenebilir. Bununla birlikte 5. nörona NOx emisyonları kamasının ise en büyük kama iken Arz edilen Kotuk Kilometre kamasının en küçük olduğu görülebilir. NOx emisyonları kamasının büyük kama olması 2010 yılı için yaratılan ekonomik değeri anlamsız kıldığı söylenebilir.

2011 yılı kümelenmede en uzak nöron olduğu söylenebilir. 2011 yılı havayolu taşıyıcısının yük ve kargo taşımak için kullanılan konteyner birimlerini 14 kilo daha hafifleri ile değiştirmeye başlamıştır. A340-300 modeli uçaklarında bulunan, ihtiyaç duyulduğunda uçağın dengelenmek amacıyla kullanılan yakıt tankların çıkartılması, 230 kg uçak ağırlığının azaltılması yakıt tüketimini dolayısı ile çevresel etkileri azaltmıştır. Ayrıca Boeing 737 tipi uçaklarda uçağın geri itilmesi amacıyla kullanılan towbar



takma birimleri sökülmüş uçak başına 1 kg ağırlık azaltılmıştır. Airbus 340-60 tipi uzun menzilli uçaklarda eğlence sistemleri yerine yolcuların kişisel cihazlarının kullanılmasını uçuşlarda 900 kg ağırlığın azaltılmasını sağlamıştır. Uçaklara yeni winglet teknolojilerinin takılması, sürekli alçalma ile motorun optimum kullanılması gibi inovasyonlar yapılmıştır. Havayolu taşıyıcısı 2011 yılında üretilen kargo ton miktarının fazla olduğu buna karşılık çevresel etkiler bakımından diğer nörönlara benzer özellikler gösterdiği görülebilir. 2011 yılı hidroflorokarbon bakımından 3. nöronda en büyük, 17 yıllık süreç içerisinde ise en büyük ikinci değerine ulaştığı söylenebilir. Bununla birlikte ASK kamasının en küçük kama olması ve ATK kamasının bu yıl daha büyük olması hidroflorokarbon miktarının büyük olmasına neden olmuştur.

2012 ve 2013 yılında işletme kısa ve orta menzilli uçakların park pozisyonundan pist başına kadar yaptığı taksi operasyonlarının elektrikli towbarless araçları ile yaparak, uçakların havaalanlarında neden olacağı emisyonların azaltılmasıyla birlikte yakıt tüketimini azaltmıştır. Filoda bulunan Airbus 320 tipi uçakların kanatlarına sürüklenmeyi azaltacak “sharklet” ekipmanı takıldığı görülebilir. Kuzey Atlantik üzerinde yapılan uçuşlarda pilotların uygun uçuş seviyelerinde uçmalarını sağlamak amacıyla Air Traffic Situational Awareness (ATSAW) teçhizatı tüm planlı uçuşlarda kullanılmış. 2 adet Boeing 777F yeni uçak filoya dahil olmuştur. Elektronik uçuş çantası, birim yükleme gereçlerinin daha hafifleriyle değiştirilmesi ve kargo uçaklarının uydu temelli yön belirlemesi ile uçuş performansı arttırılmış, bu sayede yakıt tüketimi azaltılarak çevreye olan etkiler azaltılmıştır. 2012-2013 yıllarının BMU olarak eşleştiği 8. nöronda bakıldığında gerçekleştirilen inovasyonlar işletmenin ekonomik performansını arttırırken yakıt tüketimi, CO<sub>2</sub> azaltmıştır. Ancak yapılan gelişmelere rağmen yakıt tüketimi miktarına oranla CO ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının oranı değişmemiştir. 8. nöronda Net satışlar en büyük değere sahipken ATK en küçük değere sahiptir. ATK miktarında ki azalış Net Satışlarda artışa neden olduğu söylenebilir.

2014 yılı raporu incelendiğinde Londra Heatrow havaalanının yoğun saatlerinden kaçınarak havada bekleme süresini kısaltmış, Münich havaalanına ise sürekli alçalma ile motor performansının optimum kullanımı sağlanmıştır. Uçak kabininde kullanılmakta olan çöp trolleyleri ve zemin döşemeleri daha hafifleri ile değiştirilmiştir. 1000 feet hızlanma (1000 feet acceleration) ile 1000 feet yüksekliğe ulaşıldıktan sonra sürüklenmeyi azaltmak amacıyla flaplar kapalı olarak tırmanma işlemine devam edilmiştir. 2014 yılında yapılan inovasyonlarla işletme 2012 ve 2013 yılından farklı nöronda eşleşmiştir. 6. nöronda BMU olarak eşleşen 2014 yılına Şekil 7’ye ve Tablo 6’ya bakıldığında işletmenin NO<sub>x</sub>, CO, CH emisyonlarını azalttığı söylenebilir. 6. nöronda ASK kamasının büyüklüğü Net Satışlarda önemli artışa neden olmaktadır.

2015 yılında Oslo havalimanından yapılan her kalkış için yakıtın %5’lik kısmının biyo-yakıtın oluşması ve sürekli sağlanması konusunda anlaşma yapılmıştır. Frankfurt ve Washinton DC havalimanları arasında yapılan uçuşlarda kullanılan Boeing 747 tipi uçaklarda yakıtın 12 tonunu biyo-yakıtlar

oluşturmuştur. Daha hafif trolleyler ve konteynerlerin değişimi devam ederken, elektronik uçuş çantalarının tüm iştirak şirketlerde kullanımı yaygınlaştırılmıştır. Gerçek yakıt tüketimi, yükleme kombinasyonları ve uçuş rotalarının çevre üzerinde etkili olan faktörleri daha iyi edebilen OMEGA yazılımı faaliyete geçirilmiştir. Oslo ve Gardermoen havaalanlarında sürekli biyo-yakıt tedariği konusunda anlaşmaya varılmıştır. 2016 yılı içerisinde 5000 adet uçuş biyo-yakıt karışımı Jet yakıtı kullanılarak gerçekleştirildiği belirtilmiştir. Şekil 7 ve Tablo 6 incelendiğinden bu döneme kadar ki en eko-etkin yılların 2015 ve 2016 yılları olduğu görülebilir. ASK değeri 9. nöronda ki en büyük kamaya sahipken, 17 yıllık süreç içerisinde en yüksek ikinci değerine ulaştığı görülebilir. Bununla birlikte hidroflorokarbon miktarı 9. nöronda en küçük kamaya sahiptir. Biyo-yakıt kullanımının artması hidroflorokarbon ve karbonmonoksit salınımı azaltmıştır. Havayolu işletmesinin Net Satış gelirinin ve Üretilen Koltuk Kilometre miktarı çevresel etkilere göre daha yüksek oranda gerçekleşmiştir.

2017 ve 2018 yıllarında 29 yeni uçak filoya dahil edilmiştir. Pre-flight Analytics and Demands (PLATO) yazılımı ile pilotların eski uçuşlar hakkında gecikmeler, yakıt vb. birçok bilgiyi incelleme ve karar verme süreçlerinde kullanmaya başlanmıştır. Tüm konteynerlerin %75'i daha hafifleri ile değiştirilmiş, su tankları optimizasyonu ile fazla temiz su alımı önlenmiş ve premium ekonomi sınıfı koltuklar daha hafifleri ile değiştirilmiştir. 2019 yılı çevresel faaliyet açısından inovatif bir çözüm geliştirilmediği görülmüştür. Ancak geliştirilen konteyner, palet, trolleyler ve filoya katılan yeni uçaklar sayesinde havayolu taşıyıcısının çevresel performans bakımından en eko-etkin yıllar olduğu söylenebilir. BMU olarak eşlenen 1. nörona Şekil 5'te bakıldığında kümenin dışında kalmıştır. Kümenin dışında olmasının sebebini yakıt, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, ve CH kamalarının birbirine eşit seviyede olmasından kaynaklı olduğu söylenebilir. Arz Edilen Koltuk Kilometre oranının en yüksek seviyede olduğu, Hidroflorokarbon seviyesinin ise en düşük seviyelerde olduğu görülebilir. Yeni uçakların çevresel performansa etkisinin oldukça büyük olduğu söylenebilir.

2020 ve 2021 yıllarına bakıldığında küresel düzeyde ortaya çıkan COVID19 salgını nedeni ile tüm uluslararası ve ulusal uçuşlar nerdeyse tamamen durdurulmuştur. IATA (2022) verilerine göre 2020 yılında dünya genelinde Arz Edilen Koltuk Kilometre(ASK) %63,8 azaldığı, Arz Edilen Ton Kilometre (ATK) %12,4 azalmış ve sektörün 137,7 milyar dolar zarar ettiği raporlanmıştır. 2020 ve 2021 yıllarının kümelendiği 2. nöronun boş gibi gözükmesinin nedeni ise COVID-19 döneminin en yoğun yaşandığı ve uluslararası yolcu taşımacılığının neredeyse tamamen durmasından kaynaklanmaktadır. COVID-19 döneminde diğer yıllara göre yapılan uçuş sayısının azlığı ve emisyon salınımının azlığı nedeni ile görselleştirmede nokta olarak gözüktüğü söylenebilir. Tablo 6; 2. nörona ait küme verileri incelendiğinde ise işletmenin yarattığı ekonomik değer değişkenlerinin değerleri çevresel etkilerin değişkenlerinin değerlerinden büyük olduğu görülebilir. ATK değeri 2. nöronda ve 17 yıllık süreçte en yüksek miktarda

gerçekleştirdiği söylenebilir. Hava kargo taşımacılığı kısmında inovasyonun az olması ile birlikte kullanılan uçakların daha eski uçaklardan oluşması yaratılan Net satış gelirini olumsuz etkilemiştir. 2020 ve 2021 yılları işletmenin neden olduğu çevresel etkilere nazaran çok daha fazla ekonomik etki yarattığı söylenebilir.



## 5. SONUÇ

İçinde bulunduğumuz 21. yüzyılda eko-etkinliğin önemi giderek artmaktadır. İklim değişikliği ve küresel ısınma nedeni ile tüm dünyada ortak hedefler belirlenmiştir. Uçakların en önemli enerji kaynağı olan Jet yakıtlarının yakılması sonucu ortaya çıkan emisyonların küresel ısınmaya direk etki etmesi nedeniyle küresel hedeflere ulaşmada havayolu taşımacılığı sektörüne önemli görevler düşmektedir. Havacılık sektörü çevresel etkilerini azaltmadığı takdirde daha az çevresel etkileri olan ulaşım türlerinin tercih edilmesi ile havayolu taşımacılığına olan talep azalabilir ve diğer ulaştırma sistemleri içerisindeki rekabet avantajını, dolayısıyla önemini kaybedebilir.

Havayolu taşımacılığı tarihsel süreç içerisinde bakıldığında karşılaştığı bütün olumsuzluklara rağmen her zaman ders çıkarıp büyümeye ve gelişmeye devam ettiği görülebilir. Havacılık sektörünün çevresel etkileri nedeni ile sürdürülebilirlik ve eko-etkinlik aşılması gereken bir engel olduğu ifade edilebilir. Bu nedenle havacılık sektörünün karşılaştığı engelin aşılması için uluslararası kural koyucu kuruluşların belirlediği 2050 net sıfır karbon emisyonu hedefine ulaşmada ise havayolu taşımacılığı hizmeti veren işletmelerin rolü önemli olduğu söylenebilir. Ekonomik sürdürülebilirliğini sağlamak isteyen havayolu işletmelerinin çevresel etkilerini azaltmaya yönelik inovasyonlar ve yenilikler gerçekleştirmeleri gerekecektir. Bununla birlikte havayolu taşıyıcıları strateji belirleme ve hedefler ulaşmak için uygun operasyonel kararlar verebilmek adına eko-etkinlik performansını düzenli olarak ölçmeleri gerektiği vurgulanabilir.

Mevcut literatür incelendiğinde kurumsal düzeyde işletmelerin eko-etkinliğinin ölçüldüğü akademik çalışmalarda en yaygın kullanılan yöntemin Veri Zarflama Analizi olduğu görülebilir. Veri zarflama analiziyle bir işletmenin Eko-etkinlik analizi yapıldığında sonuçlar sıfır ile bir arasında bir değer vermektedir. Bununla birlikte literatürde gerçekleştirilen çalışmalarda eko-etkinlik göstergelerinin işletmenin performansını nasıl etkilediği konusunda yeterince bilgi sağlamadığı söylenebilir. Bu nedenle bu çalışmada tekli örnek olay analizi yöntemi kullanılarak literatürde mevcut eksiklikleri giderecek bir model olan Kohonen SOM algoritması kullanılarak gerçek bir havayolu taşıyıcısı üzerinde uygulanmıştır.

Önerilen modelde örnek alınan işletmenin verilerinde benzerlik gösteren yıllar düzgün bir şekilde kümelenmiş ve SOM haritalandırma ile başarılı bir şekilde görselleştirilmiştir. Havayolu işletmesinin eko-etkinlik performansının en kötü olduğu yıllar 2005 ile 2006 yılları olmuştur. 2007,2008,2009 yıllarında ise Arz Edilen Ton Kilometre (ATK) göstergeler arasında en yüksek kamaya sahipken Net Satış geliri en küçük kamaya sahip olmuştur. Bununla birlikte hidroflorokarbon (CH) kaması da oldukça büyük olduğu söylenebilir. Bu durum tüm nöronlarda açıkça görülebilir. Konforun ve daha teknolojik

uçakların önemli olmadığı yük taşımacılığında havayolu işletmesinin eski uçakları kullanması ve kargo taşımacılığı alanında inovasyon veya yenilik yapmamasından kaynaklandığı söylenebilir.

2015 ile 2016 yıllarında 5000 uçuşta kullanılan sürdürülebilir havacılık yakıtları ve kargo taşıma miktarının daha düşük olması nedeni ile işletmenin CH emisyonu salınımı azalmıştır. 2017,2018,2019 yıllarında ise 29 yeni uçağın filoya katılması CO, NOx ve CH salınımını en çok azaltan faktör olduğu söylenebilir. Bununla birlikte ASK kaması en büyük, hidroflorokarbon kamasının en küçük olduğu yıllar olmuştur. 2020 ve 2021 yılları ise COVID-19 dönemine denk gelmesi nedeniyle yolcu taşımacılığı nerdeyse durma noktasına gelmiş, kargo taşımacılığının önemi artmıştır. Yolcu uçaklarının koltuklarında kargo taşımacılığı yapılması ile daha çok kargo taşınması ve özellikle yeni uçakların yolcu taşımacılığında kullanılması salınan CH emisyonunu azalttığı söylenebilir.

Uçaklarda daha hafif malzemelerin kullanılması, biyo-yakıt kullanımı, uçuş rotalarının optimizasyonu, motorun düzenli yıkanması, aerodinamik iyileştirmeler gibi inovasyonların havayolu taşıyıcısının eko-etkinliğini arttırdığı görülmüştür. Bununla birlikte sürdürülebilir havacılık yakıtlarının kullanımının artması, yeni teknolojiler ile üretilen uçakların işletmenin yakıt tüketimini ve CO<sub>2</sub> emisyonu salınımı azaltmakla birlikte CO, NOx, CH salınımını da azaltmıştır.

Sonuç olarak; ATK ile CH arasında pozitif yönlü bir korelasyon; ATK ve Net satış geliri arasında negatif yönlü bir korelasyon olduğu söylenebilir. ASK ile CH arasında negatif yönlü bir korelasyon varken; ASK ve Net Satış geliri arasında pozitif yönlü bir korelasyon olduğuna ulaşılabilir. Sürdürülebilir Havacılık Yakıtları kullanımı ile yeni teknolojiler ile üretilen uçakların havayolu işletmesinin CO, NOx, CH emisyonlarının salınımını önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir. Lufthansa Grubun, 2005 ve 2006 yıllarının eko-etkinlik bakımından en zayıf kaldığı yıllar, 2017,2018,2019,2020 ile 2021 yıllarının ise eko-etkinlik bakımından en başarılı olduğu yıllar olduğu söylenebilir.

Lufthansa Grup, kargo taşımacılığı alanında filo yapısını modernize edebilir veya kargo alanında inovasyonlar yapabilir. NOx, CO ve CH emisyonlarının azalmanın bir diğer yolu sürdürülebilir havacılık yakıtlarının kullanımının arttırılmasıdır.

Bu çalışmada havayolu işletmesinin maliyet, karlılık, tesislerde kullanılan enerji ve su miktarı, toplam atık miktarları hakkında bilgi verilmemiştir. Gelecek araştırmalar için önerilen model farklı bir havayolu işletmesi üzerinde daha fazla veri ve gösterge ile uygulanabilir. Buna ilave olarak farklı sektörlerde, ülkelerde veya bölgelerde uygulanabilir.

## KAYNAKÇA

- ACI. (2021, Nisan 7). *Environment—ACI World*. <https://aci.aero/advocacy/environment/>
- ATAG. (2022, Kasım 3). *Social and Economic Benefits of Aviation*. <https://www.atag.org/our-activities/social-and-economic-benefits-of-aviation.html>
- Ataseven, B. (2013). Yapay Sinir Ağları İle Öngörü Modellemesi. *Öneri Dergisi*, 10(39), Article 39. <https://doi.org/10.14783/od.v10i39.1012000311>
- Atkinson, G. (2000). Measuring Corporate Sustainability. *Journal of Environmental Planning and Management*, 43(2), 235-252. <https://doi.org/10.1080/09640560010694>
- Bakoğlu, R. (2010). *Çağdaş Stratejik Yönetim* (Prof. Dr. Orhan Oğuz Kütüphanesi HD30.28). Beta; Marmara University Library Catalog. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat03925a&AN=marmara.M0096064&lang=tr&site=eds-live&scope=site&authtype=ip,uid>
- Bang, Y.-Y., Lee, D. S., & Lim, S.-R. (2019). Analysis of corporate CO2 and energy cost efficiency: The role of performance indicators and effective environmental reporting. *Energy Policy*, 133, N.PAG-N.PAG. Business Source Ultimate.
- Battal, Ü. (2018). Sürdürülebilirlik Raporlaması Ve Entegre Raporlama: Türk Hava Yolları Ve Güney Afrika Hava Yolları İncelemesi. *Muhasebe ve Vergi Uygulamaları Dergisi*, 11(3), 393-424. <https://doi.org/10.29067/muvu.409532>
- Battal, Ü., Yılmaz, H., & Ateş, S. (2006, Mayıs 12). *Türkiye'de İç Hatlarda Serbestleşme Ve Geleceği*.
- Baxter, P., & Jack, S. (2015). Qualitative Case Study Methodology: Study Design and Implementation for Novice Researchers. *The Qualitative Report*. <https://doi.org/10.46743/2160-3715/2008.1573>
- Belobaba, P., Odoni, A. R., & Barnhart, C. (Ed.). (2009). *The global airline industry*. Wiley.

- Bilgili, M. Y. (2017). Ekonomik, Ekolojik Ve Sosyal Boyutlariyla Sürdürülebilir Kalkınma. *Economic, Ecological and Social Dimensions of Sustainable Development.*, 10(49), 559-569. The Belt and Road Initiative Reference Source.
- Bremberger, C., Bremberger, F., Luptacik, M., & Schmitt, S. (2015). Regulatory impact of environmental standards on the eco-efficiency of firms. *Journal of the Operational Research Society*, 66(3), 421-433. Business Source Ultimate.
- Brown, B. J., Hanson, M. E., Liverman, D. M., & Merideth, R. W. (1987). Global Sustainability: Toward Definition. *Environmental Management*, 11(6), 713-719. <https://doi.org/10.1007/BF01867238>
- Cavlak, H. (2021). Etkinlik, Etkililik, Verimlilik, Kârlilik, Performans: Kavramsal Bir Çerçeve Ve Karşılaştırma. *Journal of Research in Business*, 6(1), 99-126. <https://doi.org/10.29228/JRB.6>
- Coomer, J. C. (1981). Introduction: The Nature of the Quest for a Sustainable Society. İçinde *Quest for a Sustainable Society* (ss. 1-9). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-027168-2.50006-4>
- Cruz, P. L., Iribarren, D., & Dufour, J. (2019). Life Cycle Costing and Eco-Efficiency Assessment of Fuel Production by Coprocessing Biomass in Crude Oil Refineries. *Energies*, 12(24), 4664. <https://doi.org/10.3390/en12244664>
- DeSimone, L. D., & Popoff, F. (1997). *Eco-efficiency: The business link to sustainable development*. MIT Press.
- Doganis, R. (2009). *Flying Off Course* (0 bs). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203863992>
- Dyllick, T., & Hockerts, K. (2002a). Beyond the Business Case for Corporate Sustainability. *Business Strategy and the Environment*, 11(2), 130-141. <https://doi.org/10.1002/bse.323>
- Dyllick, T., & Hockerts, K. (2002b). Beyond the business case for corporate sustainability. *Business Strategy & the Environment (John Wiley & Sons, Inc)*, 11(2), 130-141. Business Source Ultimate.

- Dyllick, T., & Hockerts, K. (2002c). Beyond the Business Case for Corporate Sustainability. *Business Strategy & the Environment (John Wiley & Sons, Inc)*, 11(2), 130-141. Business Source Ultimate.
- Elhmod, E. R., Kutty, A. A., Abdalla, G. M., Kucukvar, M., Bulak, M. E., & Elkharaz, J. M. (2021). *Eco-Efficiency Performance of Airlines in Eastern Asia: A Principal Component Analysis Based Sustainability Assessment*. 15.
- Emre Doğru. (t.y.). *Şirketiniz Kime Ait? Şirketiniz Kime Ait? Geliş tarihi 26 Şubat 2022, gönderen* <https://hbrturkiye.com/blog/sirketiniz-kime-ait>
- Faber, N., Jorna, R., & Van Engelen, J. (2005). The Sustainability of “Sustainability”—A Study into the Conceptual Foundations of the Notion of “Sustainability”. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 07(01), 1-33. <https://doi.org/10.1142/S1464333205001955>
- Gerede, E. (2011). *Türkiye'nin İkili Havayolu Taşımacılığı Anlaşmalarının Havayolu Yönetimine Etkileri Açısından Değerlendirilmesine Yönelik Bir Ölçek Önerisi*. <https://earsiv.ana-dolu.edu.tr/xmlui/handle/11421/204>
- Gerede, E. (2015). Havayolu taşımacılığı ve ekonomik düzenlemeler teori ve Türkiye uygulaması. *Ankara: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Yayınları*.
- Gołaś, M., Sulewski, P., Waś, A., Kłoczko-Gajewska, A., & Pogodzińska, K. (2020). On the Way to Sustainable Agriculture—Eco-Efficiency of Polish Commercial Farms. *Agriculture*, 10(10), 438. <https://doi.org/10.3390/agriculture10100438>
- Grewe, V., & Linke, F. (2017). Eco-efficiency in aviation. *Meteorologische Zeitschrift*, 26(6), 689-696. <https://doi.org/10.1127/metz/2017/0762>
- Herzig, C., & Schaltegger, S. (2006). Corporate Sustainability Reporting. An Overview. İçinde S. Schaltegger, M. Bennett, & R. Burritt (Ed.), *Sustainability Accounting and Reporting* (ss. 301-324). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4974-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4974-3_13)



- Holland, L. (2003). Can the Principle of the Ecological Footprint Be Applied to Measure the Environmental Sustainability of Business? *Corporate Social Responsibility & Environmental Management*, 10(4), 224-232. Business Source Ultimate.
- IATA. (2022). *IATA Yıllık Faaliyet Raporu* (Yıllık Rapor Sy 78). International Air Transport Association.
- ICAO. (2022a). ICAO. ICAO and Environmental Protection. <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/default.aspx>
- ICAO. (2022b). *ICAO Enviromental Report* [Çevresel Rapor]. International Civil Aviation Organization.
- Ince, H., Imamoglu, S., & Keskin, H. (2014). Öz-Düzenlemeli Harita Ağları İle K-Ortalama Kümeleme Analizinin Karşılaştırılması: Tüketici Profillemeye Örneği. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(4), Article 4.
- Kohonen, T., Huang, T. S., & Schroeder, M. R. (2012). *Self-Organizing Maps* (3rd ed). Springer Berlin / Heidelberg.
- Korkmaz, E. Ö. (2011). *Özdüzenleyici Haritaların Görselleştirilmesi* [Yıldız Teknik Üniversitesi]. <http://dspace.yildiz.edu.tr/xmlui/handle/1/7350>
- Lahouel, B. (2016). Eco-efficiency analysis of French firms: A data envelopment analysis approach. *Environmental Economics & Policy Studies*, 18(3), 395-416. Business Source Ultimate.
- Li, Y., Zuo, Z., Xu, D., & Wei, Y. (2021). Mining Eco-Efficiency Measurement and Driving Factors Identification Based on Meta-US-SBM in Guangxi Province, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10), 5397. <https://doi.org/10.3390/ijerph18105397>
- Linnenluecke, M. K., & Griffiths, A. (2010). Corporate Sustainability and Organizational Culture. *Journal of World Business*, 45(4), 357-366. <https://doi.org/10.1016/j.jwb.2009.08.006>

- Lu, W., Kweh, Q. L., Ting, I. W. K., & Ren, C. (2023). How does stakeholder engagement through environmental, social, and governance affect eco-efficiency and profitability efficiency? Zooming into Apple Inc.'s counterparts. *Business Strategy & the Environment (John Wiley & Sons, Inc)*, 32(1), 587-601. Business Source Ultimate.
- Mahdiloo, M., Saen, R. F., & Lee, K.-H. (2015). Technical, environmental and eco-efficiency measurement for supplier selection: An extension and application of data envelopment analysis. *International Journal of Production Economics*, 168, 279-289. Business Source Ultimate.
- Menteşe, S. (2017). Çevresel Sürdürülebilirlik Açısından Toprak, Su Ve Hava Kirliliği: Teorik Bir İnceleme. *Journal of International Social Research*, 10(53), 381-389. <https://doi.org/10.17719/jisr.20175334127>
- Möller, A., & Schaltegger, S. (2005). The Sustainability Balanced Scorecard as a Framework for Eco-efficiency Analysis. *Journal of Industrial Ecology*, 9(4), 73-83. Business Source Ultimate.
- Newton, C., Charnley, F., Rowe, Z., Tymms, L., & Mills, D. (2014, Nisan 3). *Eco-Efficiency versus Eco-Effectiveness: A Case Study from the UK Exhibitions Industry*.
- Pagan, B., & Prasad, P. (2007). The Queensland food eco-efficiency project: Reducing risk and improving competitiveness. *Journal of Cleaner Production*, 15(8-9), 764-771. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.06.014>
- Paulvannan Kanmani, A., Obringer, R., Rachunok, B., & Nateghi, R. (2020). Assessing Global Environmental Sustainability Via an Unsupervised Clustering Framework. *Sustainability*, 12(2), 563. <https://doi.org/10.3390/su12020563>
- Pérez-Calderón, E., Milanés-Montero, P., & Gutiérrez-Pérez, C. (2021). Climate Change, Where Do We Come from and Where Are We Going? European Aviation Sector Behaviour. *Transport Policy*, 114, 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.09.003>
- Portney, K. E. (2015). *Sustainability*. London, England : The MIT Press.
- Ray, S. C. (2004). *Data Envelopment Analysis: Theory and Techniques for Economics and Operations Research*. Cambridge University Press.

- Rigas Doganis. (2002). The impact of liberalization on European airline strategies and operations. *Journal of Air Transport Management*, 1, 15-25. OpenAIRE.
- Ruberti, M. (2023). The chip manufacturing industry: Environmental impacts and eco-efficiency analysis. *Science of The Total Environment*, 858, 159873. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159873>
- Schaefer, A. (2004). Corporate Sustainability—Integrating Environmental and Social Concerns? *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 11(4), 179-187. <https://doi.org/10.1002/csr.70>
- Schott, J. (1993). Changing course: A global business perspective on development and the environment. Stephen Schmidheiny, Business Council for Sustainable Development Cambridge: MIT Press. *Business Strategy and the Environment*, 2(1), 51-52. <https://doi.org/10.1002/bse.3280020108>
- Shell. (2022). *Civil Aviation Fuel Jet Fuel Specifications Shell Global*. <https://www.shell.com/business-customers/aviation/aviation-fuel/civil-jet-fuel-grades.html>
- Sinkin, C., Wright, C. J., & Burnett, R. D. (2008). Eco-Efficiency and Firm Value. *Journal of Accounting and Public Policy*, 27(2), 167-176. <https://doi.org/10.1016/j.jaccpubpol.2008.01.003>
- Spindler, E. A. (2013). The History of Sustainability The Origins and Effects of a Popular Concept. İçinde I. Jenkins & R. Schröder (Ed.), *Sustainability in Tourism* (ss. 9-31). Springer Fachmedien Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-8349-7043-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-8349-7043-5_1)
- Suh, Y., Seol, H., Bae, H., & Park, Y. (2014). Eco-efficiency Based on Social Performance and its Relationship with Financial Performance. *Journal of Industrial Ecology*, 18(6), 909-919. Business Source Ultimate.
- Şen, H., Kaya, A., & Alpaslan, B. (2018). *Sürdürülebilirlik Üzerine Tarihsel ve Güncel Bir Perspektif*. 29, 1-47. <https://doi.org/10.5455/ey.39101>
- Taş, A., Öztürk, O., & Arslan, Ş. (2019). Stratejik Yönetim Çalışmalarının Örgüt İçi Güç Örüntüsünü Şekillendirmedeki Rolü: Kamu Kurumları Üzerinden Çoklu Örnek Olay İncelemesi. *İşletme Bilimi Dergisi*, 7(1), 1-32. <https://doi.org/10.22139/jobs.510799>

- Thiele, L. P. (2016). *Sustainability* (Second edition). Polity Press.
- TIACA. (2022). *BlueSky Program – The International Air Cargo Association*. <https://tiaca.org/bluesky-program/>
- Torres-Ruiz, A., & Ravindran, A. R. (2019). Use of interval data envelopment analysis, goal programming and dynamic eco-efficiency assessment for sustainable supplier management. *Computers & Industrial Engineering*, *131*, 211-226. Business Source Ultimate.
- Tunç, A. (2021). *Sürdürülebilirlik Performansinin Finansal Performansa Etkisi: Bist Sürdürülebilirlik Endeksindeki Bankalar İle Endeks-Dışı Bankalar Arasında Bir Karşılaştırma* [Yüksek Lisans Tezi]. Akdeniz Üniversitesi.
- Verfaillie, H. A., & Bidwell, R. (2000). *Measuring Eco-Efficiency: A Guide to Reporting Company Performance*. World Business Council for Sustainable Development.
- veribilimokulu.com. (2020, Mayıs 2). *Yapay Sinir Ağı Nedir?* <https://www.veribilimiokulu.com/yapay-sinir-agiartificial-neural-network-nedir/>
- Wang, R., Zhao, X., & Zhang, L. (2022). Research on the impact of green finance and abundance of natural resources on China's regional eco-efficiency. *Resources Policy*, *76*, 102579. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102579>
- WBCSD (Ed.). (2005). *Eco-efficiency: Learning module*. WBCSD.
- Wehrens, R., & Buydens, L. M. C. (2007). Self- and Super-organizing Maps in R: The **kohonen** Package. *Journal of Statistical Software*, *21*(5). <https://doi.org/10.18637/jss.v021.i05>
- Wehrens, R., & Kruisselbrink, J. (2018). Flexible Self-Organizing Maps in **kohonen** 3.0. *Journal of Statistical Software*, *87*(7). <https://doi.org/10.18637/jss.v087.i07>
- Wu, Y., Zhen, H., Delang, C. O., Hu, Z., Qian, J., & Li, Y. (2021). How to build an eco-efficient city? Cases studies in Chinese urbanization over the past 20 years. *Sustainable Cities and Society*, *75*, 103387. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103387>

Yavuz, S., & Deveci, M. (2015). İstatiksel Normalizasyon Tekniklerinin Yapay Sinir Ağın Performansına Etkisi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakóltesi Dergisi*, 40, Article 40.

