

-ARAŞTIRMA MAKALESİ-

**ÇEVRESEL PERFORMANS ENDEKSİ VERİLERİ KULLANILARAK
ÇEVRE PERFORMANSININ ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME
TEKNİKLERİ İLE İNCELENMESİ**

Gonca YÜZBAŞI¹

Öz

Artan farklı çevre sorunları nedeniyle dünyanın geldiği noktada ülkelerin çevre performansı daha da önemli hale gelmiştir. Çevresel sorunların yol açtığı problemler farklı göstergelerle ölçülmektedir. Son yüzyılda birçok kurum, çevreye verilen zararların azaltılması amacıyla farklı çevresel göstergeler ile farklı endeksler meydana getirerek, ülkelerin çevre korumaya yönelik tutumlarını belirlemeye çalışmıştır. Bu kapsamda ülkelerin çevre performansları ile ilgili olarak geliştirilen çevre performans endeksi göstergeleri ile Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri kullanılarak ülkeler sıralanmıştır. Bu çalışma da ülkelerin çevre performanslarını temsil eden göstergeleri bir arada inceleyen Çevresel Performans Endeksi'nin (ÇPE) verilerinden yararlanılmıştır. Çalışmaya konu olan göstergelerin önem düzeyleri CRITIC ve Entropi yöntemleri ile belirlenmiştir. CRITIC yöntemine göre çevresel performansı en çok Bio Çeşitlilik ve Habitat göstergesi etkilerken, Ekosistem Hizmetleri göstergesi en az etkileyen kriter olmuştur. Entropi 'ye göre çevre performansını en fazla etkileyen gösterge Ekosistem Hizmetleri, en az etkileyen değişken Asit Yağmurlarıdır. Çevresel performans seviyeleri PROMETHEE yöntemi ile belirlenmiştir. Çalışmada üç farklı sıralama yapılmıştır. Bunlar Entropi ağırlıklı PROMETHEE, CRITIC ağırlıklı PROMETHEE ve ÇPE ağırlıklı PROMETHEE sıralamalarıdır. Elde edilen sıralamalar orijinal ÇPE sıralamaları ile karşılaştırılmıştır. Sıralamaların hem kendi aralarında hem de orijinal ÇPE sıralaması ile arasındaki hata kareleri oranları (HKO) hesaplanmıştır. ÇPE sıralaması ile ÇPE ağırlıklı PROMETHEE sıralaması arasında en düşük HKO değeri elde edilmiştir. ÇPE sıralaması ile Entropi ağırlıklı PROMETHEE sıralaması arasında en yüksek HKO değeri elde edilmiştir. Danimarka her sıralamada çevresel performansı en iyi ülke olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel Performans Endeksi, ÇKKV Yöntemleri, PROMETHEE, CRITIC, Entropi.

JEL Kodları: Q54,C44, Q56

Başvuru: 12.11.2024

Kabul: 12.06.2026

¹Dr.Öğr.Üyesi, Adıyaman Üniversitesi, İİBF, İşletme Bölümü, Adıyaman, Türkiye.
gyuzbasi@adiyaman.edu.tr, 0000-0003-0213-7310

EVALUATING ENVIRONMENT PERFORMANCE WITH MULTI-CRITERIA DECISION MAKING TECHNIQUES USING ENVIRONMENTAL PERFORMANCE INDEX DATA

Abstract

Environmental problems are measured by different indicators. Problems , that are caused by environmental issues, are measured with different indicators. In the last century, many institutions have developed different environmental indicators and different indexes in order to reduce the damage given to the environment.. In this context, countries are ranked using environmental performance index indicators and Multi-Criteria Decision Making methods. In this study, Environmental Performance Index data was used. The importance levels of the indicators used in the study were determined by CRITIC and Entropy methods. According to the CRITIC method, the Biodiversity and Habitat indicator affects environmental performance the most, while the Ecosystem Services indicator affects it the least. According to Entropy, the indicator that affects environmental performance the most is Ecosystem Services, and the variable that affects the least is Acid Rain. Environmental performance levels were determined by the PROMETHEE method. Denmark is the country with the best environmental performance. Three different rankings were made in the study. These are Entropy-weighted PROMETHEE, CRITIC-weighted PROMETHEE and ÇPE-weighted PROMETHEE rankings. The obtained rankings were compared with the original EPI rankings. The error squared ratios (ERRs) between rankings were calculated. The lowest ERRs value was obtained between the EPI ranking and the ÇPE-weighted PROMETHEE ranking. The highest ERRs value was obtained between the EPI ranking and the Entropy-weighted PROMETHEE ranking. Denmark was determined as the country with the best environmental performance in each ranking.

Keywords: *Environmental Performance Index, MCDM Techniques, PROMETHEE, CRITIC, Entropy.*

JEL Codes: *Q54,C44, Q56*

“Bu çalışma Araştırma ve Yayın Etiğine uygun olarak hazırlanmıştır.”

1. GİRİŞ

Çevresel, ekonomik ve sosyal sonuçlar dikkate alınmadan geliştirilen politikaların uygulanması sonucunda ortaya çıkan tahribatlar, sürdürülebilirlik kavramının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Sürdürülebilirlik, çok boyutlu yapıya sahip ve etki alanı oldukça geniş bir kavramdır (Turner, 2008). Çevresel açıdan sürdürülebilirlik, ekolojik süreçleri ve doğanın dengesini koruyarak, doğal sistemlerin fonksiyonlarını bozmadan gelecek nesillere aktarabilme kapasitesini ifade etmektedir (Chaplin vd., 1996). Sosyal sürdürülebilirlik ise günümüz insanların istek ve ihtiyaçları karşılanırken, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama olanaklarının zarar görmemesini ifade etmektedir. Ekonomik açıdan sürdürülebilirlik kavramı, ihtiyaçların karşılanması amacıyla üretim sürecinde kullanılan kaynakların yenilenebilir olması ve üretim faaliyetlerinin olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Sürdürülebilirlik anlayışı yalnızca bu alanlarla sınırlı olmayıp, yaşamın temel faaliyetleri içinde yer aldığı için birçok farklı konu ile yakından ilişkilidir (Yavuz, 2010).

Bu çok boyutlu yapıya sahip kavramın etkin bir şekilde değerlendirilebilmesi ve ülkeler düzeyinde karşılaştırılabilmesi için sürdürülebilirliğin ölçülmesine yönelik göstergelere ve endekslere ihtiyaç duyulmaktadır.

Son yüzyılda birçok kurum, çevreye verilen zararların azaltılması amacıyla farklı çevresel göstergeler ve endeksler geliştirerek ülkelerin çevre korumaya yönelik tutumlarını belirlemeye çalışmıştır. Bu çabaların bir sonucu olarak, Çevresel Performans Endeksi (ÇPE), Yale Üniversitesi tarafından söz konusu amaçla geliştirilmiştir. Çevresel Performans Endeksi, sunduğu göstergeler aracılığıyla ülkelere uyguladıkları çevre politikaları açısından bulundukları konumu göstermektedir. Bu yönüyle ÇPE, çevresel sürdürülebilirliğin ölçülmesinde kullanılan önemli araçlardan biri olarak öne çıkmaktadır.

Çevresel Sağlık, İklim Değişikliği ve Ekosistem Canlılığı olmak üzere üç politika hedefinden oluşan endeks; çevresel sağlığa %20, ekosistem canlılığına %42 ve iklim değişikliğine %38 ağırlık vermektedir. Bu üç hedef kapsamında 11 sorun kategorisi ve toplam 40 gösterge yer almaktadır (Wendling et al., 2022). Endeksin bu yapısı, çevresel performansın çok boyutlu bir bakış açısıyla değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada, Çevresel Performans Endeksi (ÇPE) verileri, gösterge açısından zengin bir içeriğe sahip olması nedeniyle tercih edilmiştir. Çalışmanın amacı; farklı ağırlıklara sahip 11 temel göstergenin önem düzeylerinin CRITIC ve Entropi yöntemleri ile belirlenmesi ve bu ağırlıklandırma yaklaşımlarının sonuçlara etkisinin incelenmesi amacıyla PROMETHEE yöntemi kullanılarak ülkelerin Çevresel Performans Endeksi seviyelerine göre sıralanmasıdır. Bu çalışma, ÇPE tarafından sunulan ülke sıralamalarını doğrudan tekrar etmek yerine, kullanılan ağırlıklandırma yaklaşımının ve karar verme yönteminin sıralama sonuçları üzerindeki etkisini inceleyerek, ÇPE sıralamalarının metodolojik sağlamlığını test etmeyi amaçlamaktadır. Literatürde, söz konusu ağırlıklandırma yöntemleri ile PROMETHEE yönteminin birlikte kullanıldığı sınırlı sayıda çalışma bulunması, bu çalışmanın özgünlüğünü ortaya koymaktadır. Çevresel Performans Endeksi verileri kullanılarak ülkelerin sıralanması ve bu verilerin literatürde görece az sayıda

çalışmada ele alınmış olması, çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşüncesini güçlendirmektedir.

1.1.Çevresel Sorunlar

Sürdürülebilirlik ile ilgili bilimsel incelemeler, etkin doğal kaynak kullanımı ve bu kaynakların yaşam kalitesi üzerindeki etkilerine odaklanmıştır (Keiner, 2005; Bassiogo, 1999). Daha sonra, gelecekte yaşayacak olan insanlar hedef kitle olarak belirlenmiş ve bu kitle ile ekonomik, çevresel ve sosyal bağlar sürdürülebilirlik kapsamına dâhil edilmiştir. Sürdürülebilirlik yalnızca bu konular arasındaki etkileşimi kapsamaz; aynı zamanda bir şeyi korumak ve onu sürdürmekle ilgili bir kavramdır (Gedik, 2020).

Bu kavramsal çerçeve, sürdürülebilirlik düşüncesinin tarihsel süreç içerisinde nasıl şekillendiğinin incelenmesini gerekli kılmaktadır. Evelyn (1729), Sylvia adlı makalesinde doğal kaynak yıkımını engellemek için tohum ve ağaç dikmenin ulusal bir görev olarak görülmesi gerektiğinden bahsetmiştir. 1960'lara kadar ormanların korunması üzerinden devam eden çevresel hareket, 1962 yılında ilk kez ekonomik ilerleme ile çevresel dezenformasyon arasındaki ilişkiyi gündeme getirmiştir (Carson, 1962). Boulding (1966) çalışmasında, ekonomik aktivitelerin ekolojik açıdan çevre ile uyumlu olması gerektiğini belirtmiştir. Bu sayede birçok çalışmada sürdürülebilirlik kavramı üzerinde durulmuştur. Bu kavram daha da geliştirilerek Roma Kulübü ve MIT'deki farklı faaliyetlerde ele alınmıştır. 1980 yılında Birleşmiş Milletler'in "Doğanın Korunması İçin Uluslararası Birlik" stratejisi yayımlanmıştır. Birleşmiş Milletler, bu stratejiyi izleyen farklı zamanlarda yayımladığı raporlarla konuya daha fazla dikkat çekmiştir. Günümüzde de kullanılan geniş anlamdaki sürdürülebilirlik kavramı, ilk olarak Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun Brundtland Raporu olarak bilinen Ortak Geleceğimiz adlı raporunda tanımlanmıştır.

Sürdürülebilirliğin tarihsel ve kuramsal gelişimi, bu kavramın ölçülmesine ve analiz edilmesine yönelik yöntemlerin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır. Çevre bilimlerinde, on yıllık çok kriterli karar analizi uygulamaları ve trendleri kapsamında 2000–2009 yılları arasındaki çalışmalar incelenmiştir. Bu kapsamda 312 çalışma sınıflandırılmış ve çevre bilimleri açısından üç ana başlık altında ele alınmıştır. İlk başlık, doğal kaynak kalitesine odaklanan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) çalışmalarını kapsayan çevre sorunlarıdır (atık yönetimi, su kalitesi, hava kalitesi, enerji ve doğal kaynaklar). İkinci başlık, sürdürülebilir üretim ve mühendislik teknolojilerine, iyileştirme ve restorasyon girişimlerine veya yaşam döngüsü değerlendirmesi gibi stratejilere odaklanan nüfuz türüdür (paydaşlar, strateji, sürdürülebilir üretim, restorasyon). Üçüncü başlık ise çevresel etki değerlendirmesi gibi ÇKKV yöntemlerine doğrudan odaklanmayan tamamlayıcı araçları kapsamaktadır (uzamsal çalışmalar, çevresel etki değerlendirmesi). Çalışmalar toplam 11 değişken başlığı altında toplanmıştır. Bu alanlarda en fazla kullanılan ÇKKV yöntemlerinin AHP ve ANP olduğu tespit edilmiştir. Bunları sırasıyla Çok Nitelikli Fayda Teorisi, PROMETHEE, ELECTRE ve TOPSIS yöntemleri izlemiştir (Huang vd., 2011).

Bu yöntemsel çerçeve doğrultusunda, literatürde çevresel performans kavramına odaklanan çalışmalar da artış göstermiştir. Literatürde çevresel performansı tek bir konu olarak ya da sürdürülebilirliğin bir boyutu olarak inceleyen çalışmalar mevcuttur. Ülke, proje, şehir gibi birimlerin çevresel performansları tespit edilirken birçok gösterge göz önünde bulundurulmuştur. Bu kapsamda çevresel sorun değişkenleri ile Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri ele alınmıştır.

Çevresel performans değerlendirmeleri, yalnızca genel göstergelerle sınırlı kalmamış, uygulamaya yönelik sistemler üzerinden de ele alınmıştır. Sürdürülebilirliğin bir boyutu olan çevresel performansın incelendiği birçok çalışma mevcuttur. Bu kapsamda, sürdürülebilir yönetim sistemi tasarımıyla kirliliğin engellenmesi ve temiz üretim projelerinin stratejik olarak konumlandırılması incelenmiştir. Çevre yönetim sistemi, endüstri kültürü ve iş yapısıyla ilgili düzenleyici gerekliliklere yanıt veren bir sistemdir. Sürdürülebilir çevre yönetim sistemi çerçevesi, Rio+20 sürdürülebilir gelişim hedefleri ve kılavuzu ile uyumludur. SEMS'nin (Sustainable Environment Management System) nasıl tasarlanıp uygulanabileceğini göstermek amacıyla, bir enerji içeceği ve diyet bari üreticisindeki atık akışlarının yönetimini ele alan bir vaka çalışması sunulmuş ve ELECTRE 3 yöntemi uygulanarak üç proje sıralanmıştır. Performans kriteri olarak şirket maliyetini ifade eden ekonomik kriter, saha dışına yönlendirilen atık miktarını ifade eden çevresel kriter ve iş tatmini potansiyelini ifade eden sosyal kriter kullanılmıştır. Endüstriyel atık akımlarından ağır metallerin uzaklaştırılması için yeni bir biyosorpsiyon katalizörünün geliştirilmesinde atığın kullanılması Proje 1'i, atıkların kompostlaştırılması Proje 2'yi ve atıkların hayvan yemi üretiminde katkı maddesi olarak kullanılması Proje 3'ü oluşturmaktadır. Proje 1 birinci sırada, Proje 2 ikinci sırada ve Proje 3 ise son sırada yer almıştır (Khalili ve Duecker, 2012).

Yönetim sistemlerine dayalı bu çalışmaların yanı sıra, sürdürülebilirlik değerlendirmeleri enerji üretim teknolojileri üzerinden de ele alınmıştır. Bu çalışmalardan birinde, elektrik üretim teknolojilerinin sürdürülebilirlikleri çok kriterli karar alma yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Bitkilerin yaşam döngüsü analiz ihtiyacını karşılayan on sürdürülebilirlik göstergesi kullanılmıştır. Değişken ağırlıkları, enerji ve çevre bilimleri alanlarından 62 akademisyenle yapılan görüşmelerden elde edilen sonuçlara dayalı olarak uyarlanmış bir SWING ağırlıklandırma yöntemi ile belirlenmiştir. Ağırlıklı toplam yöntemi kullanılarak incelenen 14 farklı projeden büyük hidroelektrik projelerinin en sürdürülebilir teknoloji türü olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Maxim, 2014).

Enerji teknolojilerine yönelik bu değerlendirmeler, şehir ölçeğinde sürdürülebilirlik analizlerine de uyarlanmıştır. Benzer bir sürdürülebilirlik çalışmasında, büyükşehirlerin sürdürülebilirlikleri ÇKKV teknikleri ile incelenmiştir. AHP yönteminin kullanıldığı çalışmada, enerji, su ve çevre sistemlerine ait Sürdürülebilir Gelişim Endeksi çerçevesinde 35 gösterge ele alınmıştır. İtalya'nın Bari kentindeki Bari, Bitonto, Mola ve Molfetta bölgelerinde sürdürülebilir kalkınma stratejilerinin nasıl formüle edileceğine ilişkin karar göstergelerinin belirlenmesi amacıyla yerel yönetimlere öneriler sunulmuştur. Otuz beş değişken; enerji tüketimi, enerji tasarrufu, yenilenebilir enerji, su ve çevresel kalite, CO₂ emisyonları, şehir planlama ve sosyal refah ile Ar-Ge ve inovasyon başlıkları altında incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, enerji, çevre ve su sistemlerinin uluslararası sürdürülebilir gelişimini inceleyen

SWEDES indeksi ile karşılaştırılmış ve sıralamaların aynı olduğu görülmüştür (Carli vd., 2018).

Sürdürülebilirlik literatüründe önemli bir diğer uygulama alanı ise tedarik zincirleridir. Tedarik zincirlerinin çevresel performanslarının ÇKKV teknikleri ile ölçümünü sağlayan ve sıralanmasını yapan birçok çalışma literatürde bulunmaktadır. Tedarikçilerin çevresel performansının tespitinde bulanık analitik ağ süreci ve bulanık PROMETHEE yöntemi uygulanmıştır. Yeşil süreç yönetimi, kirlilik kontrolü, çevresel maliyetler, yeşil imaj, yeşil ürün ve çevresel yasal düzenlemeler kriterleri ile önem derecesi sırasıyla yeşil süreç yönetimi, kirlilik kontrolü, yeşil ürün, çevresel maliyetler, çevresel yasal düzenlemeler ve yeşil imaj olarak elde edilmiştir (Tuzkaya vd., 2009).

Tedarik zinciri odaklı bu çalışmalar, farklı sektörler ve karar verme yaklaşımları kullanılarak çeşitlenmiştir. Üç aşamada tedarikçilerin çevresel performanslarının tanımlandığı bir çalışmada; çevre dostu teknoloji kullanımı, çevre dostu materyal kullanımı, yeşil pazar payı, yeşil örgüt ortaklığı, çevresel yönetim, çevresel politikalara bağlılık, yeşil Ar-Ge projeleri, personel eğitimi, çevresel süreç planlama, çevre için tasarım, çevresel onay ve kirlilik kontrol girişimleri değişkenleri ile bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Kriter ağırlıkları için linguistik değerlendirme yapılmıştır. Kriter ağırlıklarının karar verme sürecindeki etkisini belirlemek amacıyla duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu kapsamda dört tedarikçi değerlendirilmiştir (Awasthi vd., 2010).

Tedarik zinciri performansının değerlendirilmesi, hizmet sektöründe de ele alınmıştır. VIKOR ve ELECTRE yöntemleri uygulanarak, sekiz çevresel kriter ile hizmet sektörü tedarik zinciri çevresel performansları incelenmiştir. Bu değişkenler; paydaşların katılımı ve taahhüdü, yeşil teknoloji ve uygulamalara uyum, çevre dostu materyal tercihi, yeşil ortaklık, yasal uygunluk, personel eğitimi ve katılımı, tekrar kullanım ve atık, geri dönüşüm ve son olarak yeşil imajdır. Söz konusu kriter ağırlıkları için linguistik değerlendirme yapılmıştır. Dört hizmet sektörü tedarik zinciri firması incelenmiştir. Hastanelere tıbbi destek sağlayan dört firma ile eğitim kurumlarına yemek hizmeti sağlayan dört firma kendi içlerinde sıralanmış olup, tıbbi hizmet sağlayıcıları en fazla yeşil ortaklık değişkenine önem vermiştir. Yemek hizmeti sunan firmalar için karar vericiler; yönetim taahhüdü, yeşil materyal kullanımı, yasal uygunluk ve geri dönüşüm kriterlerine çok iyi dereceler vermiştir (Chithambaranathan vd., 2015).

Bu çalışmalar, yeşil tedarik zinciri yönetiminin bütüncül olarak ele alınmasının önemini ortaya koymuştur. Yeşil tedarik zinciri yönetiminin performans değerlendirmesi ile bulanık çok kriterli karar alma teknikleri birlikte araştırılmıştır. Şirketlerin yeşil tasarım, yeşil satın alma, yeşil dönüşüm, yeşil lojistik ve tersine lojistik açısından yeşil tedarik zinciri yönetimi performansını değerlendirmek için entegre bulanık çok amaçlı karar alma yöntemlerine dayalı bir model kullanılmıştır. Yeşil tasarım, yeşil satın alma, yeşil dönüşüm, yeşil lojistik ve tersine lojistik değişkenleri kullanılmıştır. Yeşil tedarik zinciri yönetiminin boyutları arasındaki neden-sonuç ilişkisi bulanık DEMATEL yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Daha sonra bu ilişkiden yola çıkarak ilgili kriterlerin ağırlıklarını hesaplamak amacıyla bulanık ANP yöntemi uygulanmıştır. Son olarak alternatif firmaların performanslarını

değerlendirmek ve sıralamak için, bulanık ANP yönteminden elde edilen ağırlıklar kullanılarak bulanık TOPSIS yöntemi uygulanmıştır (Uygun ve Dede, 2016).

Tedarik zinciri çalışmalarına ek olarak, çevresel performans analizleri proje ve tesis ölçeğinde de ele alınmıştır. Malzeme, tesis, tarım, üretim zincirleri ve projelerin çevresel performanslarını ölçen ve ÇKKV tekniklerinin bir arada kullanıldığı birçok çalışmaya rastlanmıştır.

Ürdün'deki çevresel projelerin sıralanması PROMETHEE yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan kriterler, çevresel etki değerlendirmesini temsil etme özelliği taşımaktadır. Su arzı, çevresel faaliyetlerin hızlılığı, geri dönüşüm etkinliği, insan sağlığı etkileri, su kalitesi etkileri, çıktı kesinliği, ekonomik uygunluk, kültürel uygunluk, teknik uygunluk, kurumsal ve yasal uygunluk, esneklik ve fırsat kriterleri çalışmada kullanılmıştır. Bu kapsamda on iki çevresel proje sıralanmıştır (Al-Rashdan vd., 1999).

Proje bazlı değerlendirmelerin yanı sıra, çevresel etki değerlendirme süreçlerinde kullanılan yöntemler de incelenmiştir. Çevresel etki değerlendirmesinde çok kriterli AHP yönteminin kullanımı incelenmiştir. Birden çok kriteri ve birden çok faktörü içeren, doğası gereği karmaşık ve çok boyutlu bir süreç olan çevresel etki değerlendirmesinde AHP tekniğinin kullanılması önerilmiştir. AHP, nicel ve nitel faktörleri birleştirme, farklı aktör gruplarını ele alma ve birçok uzman tarafından ifade edilen görüşleri birleştirme esnekliğine sahip olma gibi avantajları nedeniyle kullanılmıştır. AHP kullanımına ait ölçek, öncelik tahmin yöntemleri, sıralamaların değiştirilmesi ve karşılaştırma sayıları açısından bazı iyileştirmeler sunulmuştur. Etki değerlendirmesini içeren bir vaka çalışması için AHP'nin kullanımı örneklenmiştir. Yöntem, yetkililerin farklı sosyoekonomik etkilerin göreceli ciddiyetine ilişkin algılarını belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Bu durumun, yetkililerin çevre yönetim planlarına öncelik vermelerine yardımcı olacağı ifade edilmiştir (Ramanathan, 2001). Mikro ve mezo ölçekteki bu uygulamalara ek olarak, çevresel performansın makro düzeyde ele alındığı çalışmalar da bulunmaktadır. Küreselleşmenin toplam çevre performansı üzerindeki etkileri panel veri analizi ile araştırılmıştır. 2001 ve 2018 yıllarına ait çevre performans endeksi ile politik, ekonomik ve sosyal küreselleşmeyi temsil eden KOF endeksi Gauss Karışım Modeli (GMM) ile incelenmiştir. Küreselleşmenin artmasının çevresel performans açısından da faydalı olacağı, hatta ekonomik, sosyal ve politik küreselleşmenin daha iyi çevresel performans sağlayacağı ortaya çıkarılmıştır (Wang vd., 2009).

Çevresel performans değerlendirmelerinde yaşam döngüsü yaklaşımı da önemli bir yer tutmaktadır. Biyokütle üretim zincirlerinin çevresel etkileri, yaşam döngüsü analizi ve çok amaçlı karar alma yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Yaşam döngüsü analizinde kullanılmak üzere tercihleri oran ölçeği ile değerlendiren SMART yöntemi uygulanmıştır. Çok amaçlı karar alma tekniklerinin, yaşam döngüsü analizi sürecinde kriter ağırlıklarının ve etki kategorilerinin belirlenmesinde kullanılmasının faydalı olduğu gösterilmiştir (Myllyviita vd., 2012).

Yaşam döngüsü analizinin uygulamalı örnekleri endüstriyel tesisler üzerinden de ele alınmıştır. İtalya'da bir rulman tesisinde yaşam döngü analizi ve çok amaçlı karar alma analizi ile ekonomik ve çevresel değerlendirme yapılmıştır. Yaşam döngü analizi ile göstergeler belirlenmiş olup Analitik Ağ Süreci kullanılarak tesisin içerisindeki beş teknik sistem değerlendirilmiştir. Envanter, model tanımlama ve zararların

hesaplanması ile yaşam döngüsü değerlendirmesi yapıldıktan sonra, ekonomik ve çevresel anlamda temel performans göstergeleri çerçevesinde enerji tüketimi optimizasyonu yapılmıştır. Daha sonra hem teknik hem de ekonomik ve çevresel değerlendirmelerle çok kriterli karar analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda çevresel kriterler; birincil enerji, yeşil enerji, su tüketimi, CO₂ emisyonu, bölgesel karbon emisyonu, partikül madde kirleticisi emisyonu ve bölgesel partikül madde kirleticisi emisyonu göstergelerinden oluşmaktadır. Ekonomik kriterler ise ekonomik faydalar, birincil enerji yatırımı, su tüketimi yatırımı, karbondioksit yatırımı, bakım ve gelişim maliyetleri göstergeleridir. Bütünleşik modelin uygulanabilir olduğu ortaya çıkarılmıştır (De Felice vd., 2013).

Endüstriyel tesislere yönelik bu değerlendirmeler, yapı sektörü gibi farklı uygulama alanlarına da uyarlanmıştır. Hibrit çok kriterli karar alma teknikleri kullanılarak yeşil yapı malzemesi kriterleriyle bir sıralama çalışması da yapılmıştır. Yeşil yapı malzemesi kriterlerinin sıralanması için bulanık analitik ağ süreci kullanılmıştır. Ayrıca bu kriterlerin etkinliğini ve aralarındaki ilişkiyi analiz edebilmek için DEMATEL yöntemi uygulanmıştır. Kaynak etkinliği, hava kalitesi, enerji etkinliği, su etkinliği ve satın alınabilirlik kriterleri kullanılarak yapılan çalışmada, yeşil yapı malzemesi seçiminde en önemli birinci kriter olarak satın alınabilirlik belirlenmiştir. Kaynak verimliliği en önemli ikinci kriter olarak öne çıkmıştır. Sonuçlar, doğal, yenilenebilir ve geri dönüştürülmüş içeriğin, GBM seçimi için kaynakları verimli kullanan kriterler olduğunu göstermiştir. Enerji etkinliği üçüncü sırada yer alırken, daha sonra sırasıyla hava ve su kalitesi kriterleri gelmektedir (Khoshnava vd., 2018). Yapı ve malzeme odaklı bu çalışmaların yanı sıra, çevresel performans değerlendirmeleri bölgesel ve endüstriyel kümelenmeler üzerinden de ele alınmıştır. Çok kriterli karar verme yaklaşımı kullanılarak eko-endüstriyel parkların döngüsel ekonomi açısından faydaları değerlendirilmiştir. Ekonomik fayda kriterleri, sosyal fayda kriterleri, çevresel fayda kriterleri ve eko-endüstri inşaat kriterleri gibi alanlara ilişkin uzman görüşleri doğrultusunda Grey-Delphi yöntemi kullanılarak eko-endüstriyel parklar için bir değerlendirme indeks sistemi oluşturulmuştur. Bu kapsamda on yedi nicel kriter ve dokuz nitel alt kriter oluşturulmuş olup, kriter ağırlıkları Entropi yöntemi ve linguistik oranlama ile belirlenmiştir. Seçenekler bulanık VIKOR yöntemi ile sıralanmıştır. Altı eko-endüstriyel park arasından A1 ve A2'nin en uygun alternatifler olduğu, A4'ün A1 ve A2'den daha düşük performans gösterdiği, ancak birbirine yakın olan A3 ve A5'ten daha üstün olduğu ve A6'nın en zayıf seçenek olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Zhao vd., 2018).

Enerji sektörüne yönelik uygulamalar da çevresel performans literatüründe önemli bir yer tutmaktadır. Termik santrallerin çevresel performanslarının değerlendirilmesinde veri zarflama analizi ve gri tahmin yöntemi kullanılmıştır. Gelecekteki çevresel performansları tahmin etmek amacıyla Doğu Çin'deki on altı farklı kojenerasyon ünitesinin yirmi yedi farklı dönemine ait panel veri seti kullanılmıştır. Kaynak kullanımının optimize edilmesi, yönetim düzeyinin ve işletme koşullarının iyileştirilmesi, teknolojik yeniliğin güçlendirilmesi ve üretim faktörü tahsisinin artırılması da dâhil olmak üzere, bir enerji piyasası krizi sırasında termik santrallerin çevresel performanslarını iyileştirmelerine yönelik öneriler sunulmuştur (Pan vd., 2024).

Uygulamaya dayalı bu çalışmaların yanında, çevresel performansın makro düzeyde ölçülmesine odaklanan endeks temelli çalışmalar da literatürde yer almaktadır. Çevresel Performans Endeksi ile ilgili çalışmalarda hem ekonometrik hem de çok değişkenli istatistik yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Ayrıca literatürde Çevresel Performans Endeksi verileri ile farklı ÇKKV yöntemlerinin birlikte kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır.

Bu bağlamda, çevresel performans ile ekonomik göstergeler arasındaki ilişki de araştırılmıştır. Gelişmekte olan ülkeler için Çevresel Performans Endeksi ile ekonomik gelişim arasındaki ilişki araştırılmıştır. Çevre kalitesindeki iyileştirmelerin ekonomik gelişim üzerindeki etkisine dikkat çekilmiştir. En Küçük Kareler (WLS) ekonometrik yöntemine dayalı bulgular, Çevresel Performans Endeksi'nin incelenen ülkelerde ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin pozitif ve anlamlı olduğunu göstermiştir. Yatırımın ve emeğin artması sonucunda ekonominin dışa açıklık derecesinin artacağı ve ekonominin büyüyeceği sonucuna varılmıştır. Gelişmekte olan ülkelerin büyük çoğunluğunun, daha yüksek çevre kalitesini sağlamak amacıyla hedefe ulaşabilmek için Çevre Sağlığı, Hava Kalitesi, Su Kaynakları, Biyoçeşitlilik ve Habitat ile Sürdürülebilir Enerji kategorilerinde performanslarını iyileştirmeleri gerektiği görülmüştür (Samimi vd., 2001).

Çevresel Performans Endeksi'nin zaman içerisindeki değişimini ortaya koymaya yönelik çalışmalar da yapılmıştır. 2012 yılına ait EPI değerleri ve trendi incelenmiştir. 1992 yılında gerçekleştirilen Rio Dünya Zirvesi ve ülkelerin çevresel sürdürülebilirlik becerilerini inceleyen Milenyum Gelişim Hedefleri'ne ne kadar yaklaşıldığı sorusu, EPI trendi incelenerek cevaplanmıştır. Üst düzey liderler tarafından belirlenen çevresel konularda ne gibi ilerlemeler kaydedildiği ve bu konulardaki performans farklılıklarını açıklamaya yardımcı olabilecek faktörler ortaya çıkarılmıştır. O dönemde incelenen su (insan sağlığı üzerindeki etkiler), biyoçeşitlilik ve habitat, ormancılık, balıkçılık ile iklim değişikliği ve enerji konuları EPI çerçevesinde ele alınmıştır.

Bu genel değerlendirmeleri tamamlayıcı biçimde, ülke ve ülke grupları özelinde yapılan analizler de literatürde yer almaktadır. Ormancılık kategorisinde Avrupa ile Doğu Avrupa ve Orta Asya ülkeleri $86,5 \pm 4,3$ puan aralığında en iyi performansı sergilemiştir. Performans puanlarındaki bölgesel farklılıklar, özellikle su, iklim değişikliği ve enerji kategorilerinde görülmüştür. Su kategorisinde Avrupa'da $92,2 \pm 3$ ve Kuzey Amerika'da 96 ± 4 puan aralığındaki gelişmiş ülkeler en yüksek performansı gösterirken, Güney Asya'da $29,9 \pm 4,6$ ve Sahra Altı Afrika'da $16,8 \pm 2,1$ puan aralığındaki ülkeler en düşük performansa sahip olmuştur. Biyoçeşitlilik ve habitat kategorisindeki sonuçlar, diğer politika kategorileriyle karşılaştırıldığında genel ortalama bir performans ortaya koymuştur. Bu kategoride Doğu Avrupa ve Orta Asya'da $32,0 \pm 4,7$ ile Orta Doğu ve Kuzey Afrika'da $35,6 \pm 6,4$ puan aralığındaki ülkeler en düşük performansı gösterirken, Avrupa'da $73,8 \pm 3,8$ ve Kuzey Amerika'da $62,7 \pm 9,1$ puan aralığındaki ülkeler en iyi performansı sergilemiştir. Rio ve Rio Trend Endekslerinin, son on yılda çevresel ilerlemenin değerlendirilmesini sağlayan tutarlı bir çerçeve sunduğu ve politika hedeflerini desteklediği sonucuna ulaşılmıştır (Hsu vd., 2013).

Çin Halk Cumhuriyeti'nin ÇPE ile ilgili bir çalışması da literatürde yer almaktadır. Çin'in 2006, 2008, 2010 ve 2012 yıllarındaki ÇPE sıralamalarının sırasıyla 94, 105,

121 ve 116 olması nedeniyle, çevresel performans endeksi göstergeleri kısmi olarak kullanılarak Çin Halk Cumhuriyeti bölgeleri için bir çevresel performans endeksi ortaya çıkarılmıştır. Çevresel sağlık (3), çevresel koruma (2), sürdürülebilir kentleşme (2) ve çevresel yönetim (3) başlıklarına ait ve eşit ağırlıklara sahip 10 gösterge ile bölgeler için normalizasyon yapılmıştır. Daha sonra 30 bölge, 2006–2011 yılları arasındaki dönem için kümeleme analizi kullanılarak üç gruba ayrılmıştır. 2006’dan 2011’e kadar, 30 bölgenin EPI puanlarının kötüden iyiye 44,12 ile 80,87 arasında değiştiği görülmüştür (Zuo vd., 2017).

ÇPE metodolojisinin yapısına odaklanan çalışmalar da bulunmaktadır. Bu çalışmalar da Çevresel Performans Endeksi metodolojisi ele alınmış olup, endeks çevre politikasını analiz etmek için bir temel olarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda çevresel performans endeksinin temel özellikleri, yapısı ve göstergeleri analiz edilmiştir. Lider ülkelerin yüksek düzeyde CO₂ emisyon oranlarına sahip olduğu ve çevre politikalarını düzenlemeleri gerektiği gösterilmiştir. Ayrıca ekolojik, sosyal ve ekonomik refah arasındaki ilişkiyi analiz etmek amacıyla sürdürülebilir kalkınma hedef endeksi, sosyal ilerleme endeksi ve kişi başına gayri safi yurtiçi hasıla göstergeleri ele alınarak incelenmiştir. Karşılaştırmalı grafik analiz sonuçları, çevresel performans endeksinde iyi konumda olan ülkelerin sürdürülebilir kalkınma hedef endeksi ve sosyal ilerleme endeksinde de güçlü bir konuma sahip olduğunu ortaya koymuştur (Pinomenenko vd., 2018).

ÇPE verilerinin etkinlik analizleri ile birlikte kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur. OECD ülkelerinin 2016 yılı ÇPE verileri kullanılarak Veri Zarflama Analizi ile etkinlik hesaplamaları yapılmıştır. Veri Zarflama Analizi modellerinden Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR) modeli kullanılmış ve çıktı değişkenleri olarak ÇPE verileri ele alınmıştır. Meksika, Türkiye, Güney Kore, Şili, Polonya, Kanada, ABD, İrlanda ve Letonya’dan oluşan dokuz OECD ülkesi, çevre performansı bakımından etkin olmayan ülkeler olarak belirlenmiştir. Etkinlik sıralamaları ile ÇPE sıralamaları arasındaki sıra korelasyonları incelenmiş ve sıralamalar arasında kuvvetli bir ilişki olduğu ortaya çıkmıştır (Aksu ve Gencer, 2018).

Bölgesel karşılaştırmalar farklı ülke grupları için de gerçekleştirilmiştir. Güney Asya ülkelerinin enerji verimliliği ve çevresel performansları Veri Zarflama Analizi ile incelenmiştir. Enerjide kendi kendine yeterlilik oranı, enerji üretiminin tüketime oranı, enerji ithalatı, enerji ithalatı çeşitlilik endeksi, enerji rezervi oranı, GSYİH verimliliği, enerji yoğunluğu, kişi başına enerji tüketimi endeksi ve karbon emisyon endeksi göstergeleri kullanılmış olup, enerji etkinliği ve çevresel performans endeksleri geliştirilmiştir. Butan ve Pakistan düşük seviyelerde yer alırken, Sri Lanka ve Hindistan daha tatmin edici seviyelerde yer almıştır (Hou vd., 2019).

Çevresel performans değerlendirmelerinde farklı ÇKKV yaklaşımlarının birlikte kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır. Çevresel performans göstergeleri kullanılarak bulanık mantık tabanlı bir yaklaşımla birden çok ÇKKV yöntemi kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Entropi, Gri İlişkisel Analiz ve Oransal Analize Dayalı Çok Amaçlı Optimizasyon (MOORA) yöntemleri ile ülkelerin çevresel performans düzeyleri incelenmiştir. Bulanık mantığın da dâhil edildiği çalışmada, önem derecesi en yüksek kriterlerin ormanlar, tarım ve su kaynakları olduğu belirlenmiş ve Avusturya, Danimarka ve Fransa’nın en iyi performansa sahip ülkeler olduğu ortaya çıkarılmıştır (Ayçin ve Çakın, 2019).

Kuşak ve Yol ülkelerinin çevresel ve lojistik performansı, Lojistik Performans Endeksi (LPI) ve Çevresel Performans Endeksi (EPI) alt kriterleri kapsamında bütünlük Entropi–TOPSIS yöntemi ile araştırılmıştır. 2014, 2016 ve 2018 yılları için yapılan incelemede; 2014 yılında hava kalitesi, 2016 yılında su ve sanitasyon, 2018 yılında ise su kaynakları yüksek önem derecesine sahip özellikler olarak belirlenmiş, 2014, 2016 ve 2018 yıllarının tamamında gümrük kontrol işlemlerinin verimliliği ise önem derecesi en düşük özellik olarak elde edilmiştir (Akandere, 2021).

G20 ülkelerinin çevresel performansı ÇPE verileri kullanılarak Entropi tabanlı ROV, ARAS ve COPRAS yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Su kaynakları göstergesi en önemli değişken olarak belirlenirken, Almanya, Japonya, İngiltere, Fransa ve Japonya'nın en yüksek performansa sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca ÇPE sıralamaları ile söz konusu yöntemler arasında pozitif bir ilişki bulunduğu ifade edilmiştir (Altıntaş, 2021).

G7 ülkelerinin çevresel performans göstergeleri CODAS ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak sıralanmıştır. 2018 yılı ÇPE verileri ile yapılan ülke sıralamalarında her iki yöntemin de ÇPE sıralamasıyla uyumlu olduğu gösterilmiştir. TOPSIS yöntemiyle yapılan sıralamanın ÇPE sıralamasıyla daha yüksek düzeyde uyumlu olduğu sonucu ortaya çıkarılmıştır. CODAS yöntemi ile ülkelerin çevresel performans sıralaması İngiltere, Fransa, Japonya, Almanya, Kanada, İtalya ve ABD olarak belirlenmiş olup, TOPSIS yöntemine göre ise bu sıralama İngiltere, Fransa, Almanya, Japonya, Kanada, İtalya ve ABD şeklinde tespit edilmiştir (Altıntaş, 2021).

2015 yılına ait Yeşil Endeks verileri kullanılarak İsrail, İran, Japonya, Türkiye ve Kore'nin TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmesi yapılmıştır. İran'ın yeşil büyüme endeksi, Asya kıtasındaki seçilmiş dört OECD ülkesi olan Türkiye, Japonya, Kore ve İsrail ile karşılaştırılmıştır. İran, seçilen ülkeler arasında dördüncü sırada yer alırken, sürdürülebilirlik ve yeşil ekonomi endekslerinin geliştirilmesi açısından Türkiye, Japonya ve Kore ile karşılaştırıldığında geride kaldığı görülmüştür (Ajripour ve Alamian, 2021).

Doğu Avrupa ülkelerinin çevresel ve ekonomik performansları bütünlük CRITIC ve TOPSIS yöntemleri ile araştırılmıştır. ÇPE verileri ile ÇKKV tekniklerinin bir arada kullanılmasıyla, ekosistem hizmetleri önem derecesi en yüksek değişken olurken, ekosistem canlılığı önem derecesi en düşük değişken olarak belirlenmiştir (Akandere ve Zerenler, 2022).

Bu kapsamlı literatür birikimi doğrultusunda, bu çalışma, Çevresel Performans Endeksi tarafından sunulan ülke sıralamalarını tekrar etmekten ziyade, farklı veri temelli ağırlıklandırma ve çok kriterli karar verme yöntemleri altında bu sıralamaların ne ölçüde değiştiğini analiz ederek, endeksin metodolojik sağlamlığını nicel olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada, çevresel performansı ölçen 11 göstergeye ait veriler kullanılarak 180 ülke analiz edilmiştir. Söz konusu göstergeler; iklim değişikliği, hava kalitesi, atık yönetimi, su ve sağlık önlemleri, ağır metaller, ekosistem çeşitliliği, biyoçeşitlilik ve habitat, ekosistem hizmetleri, balıkçılık, tarım, asit yağmurları ve su kaynakları başlıklarını kapsamaktadır. Veriler, 2022 yılına ait olup Yale Üniversitesi tarafından

geliştirilen Çevresel Performans Endeksi (Environmental Performance Index – EPI) raporundan elde edilmiştir. Göstergelerin ağırlıklandırılmasında CRITIC ve Entropi yöntemleri Excel programı kullanılarak uygulanmış, ülkelerin sıralanmasında ise PROMETHEE yöntemi için Visual PROMETHEE yazılımından yararlanılmıştır.

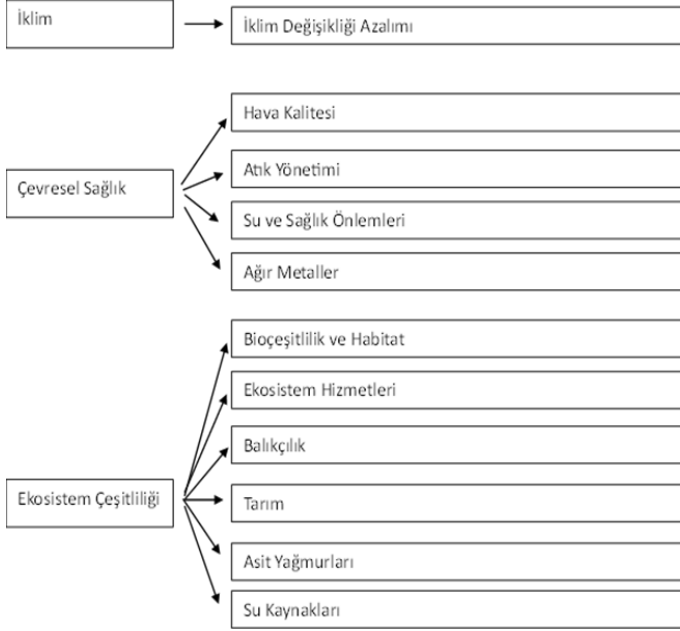
2.1. Çevresel Performans Endeksi

Çevresel Performans Endeksi, Yale Üniversitesi tarafından ilk kez 2006 yılında geliştirilmiş, birçok çevresel değişkeni kapsayan ve iki yılda bir yayımlanan bir endekstir. Endeks, ilk olarak insan sağlığı üzerindeki çevresel baskıların azaltılması ve ekosistem canlılığının teşvik edilmesi amacıyla hazırlanmıştır. Bu iki temel hedef doğrultusunda, ilk aşamada yalnızca 6 temel politika kategorisine ait toplam 16 gösterge kullanılarak endeks oluşturulmuştur. Bu politika kategorileri; Çevre Sağlığı, Hava Kalitesi, Su Kaynakları, Üretken Doğal Kaynaklar, Biyoçeşitlilik ve Habitat ile Sürdürülebilir Enerji başlıklarından oluşmaktadır. Yaklaşık 17 yıl boyunca, iki yılda bir geliştirilerek yayımlanan endeks, son olarak 2022 yılında, 3 politika hedefi doğrultusunda, 11 temel kategoriye ait 40 değişken kullanılarak değerlendirme yapmıştır. İklim değişikliğinin etkilerinin artmasıyla birlikte, bu politika hedeflerinin ilki iklim politikası, diğer ikisi ise çevresel sağlık ve ekosistem çeşitliliği olarak belirlenmiştir. Endekste yer alan değişkenler, endeks oluşturulurken farklı ağırlıklarla değerlendirilmiştir

(<https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/collection/eipi/sets/browse>).

Çevresel Performans Endeksi, İklim, Çevresel Sağlık ve Ekosistem Çeşitliliği olarak üç boyutta incelemiştir. Boyutların isimleri aşağıda Şekil 1.'de yer almaktadır.

Şekil.1.ÇPE 2022 Raporunda Kullanılan Göstergeler



a. İklim: İklim performansı, ülkelerin sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik faaliyetlerini ve bu doğrultuda üstlendikleri taahhütleri kapsayan politikaları ifade etmektedir. Çevresel Performans Endeksi (ÇPE), iklim değişikliğinin diğer politika hedefleriyle doğrudan ilişkili olduğunu, halk sağlığını olumsuz etkilediğini, biyolojik çeşitlilik kaybına, tarımsal verimsizliğe ve diğer birçok çevresel soruna yol açtığını vurgulamaktadır.

a1. İklim Değişikliğinin Azaltımı: Ülkelerin farklı sera gazı ve karbon emisyon düzeylerini ölçen bir değişkendir.

b. Çevresel Sağlık: Çevresel sağlık; hava kalitesindeki değişimler, atık miktarlarının yönetilme etkinliği, su kullanımı ve bu kullanıma ilişkin sağlık önlemleri ile ağır metal maruziyetini kapsamaktadır. Bu politika alanı, ülkelerin hava, kara ve su ortamlarında insan sağlığını ve çevresel kaliteyi ne ölçüde koruyabildiğini değerlendirmektedir.

b1. Hava Kalitesi: Halk sağlığını etkileyen ve hava kalitesini belirleyen kirletici gazların ölçüm oranlarını tespit etmektedir.

b2. Atık Yönetimi: Ekosistemleri ve halk sağlığını tehdit eden katı atık miktarlarının kontrol düzeyini, geri dönüşüm oranlarını ve okyanuslardaki plastik atık miktarlarını kapsayan ölçümleri içermektedir.

b3. Su ve Sağlık Önlemleri: İnsanların kullandığı içme sularının uygunluğu, kanalizasyon ve atıksu altyapısına ilişkin ölçümleri sunmaktadır.

b4. Ağır Metaller: Ağır metal maruziyetine bağlı sağlık sorunlarının ortaya çıkması nedeniyle yakıt, boya ve benzeri ürünlerdeki kurşun kullanım düzeyini ölçmektedir.

c. Ekosistem Çeşitliliği: Ekosistem çeşitliliği, toprak, su ve hava dengesinin yanı sıra ekosistemi oluşturan diğer bileşenlerin ve habitatların ne ölçüde korunduğunu gösteren politika alanıdır. Bu kapsamda politika hedefi, balıkçılık, su kaynakları ve tarımsal faaliyetleri de içeren altı alt başlıktan oluşmaktadır.

c1. Biyoçeşitlilik ve Habitat: Biyoçeşitliliğin ve habitatların korunması amacıyla korunan alanların ve kıyı şeritlerinin korunma oranlarını ölçmektedir.

c2. Ekosistem Hizmetleri: Ekosisteme hizmet eden tarım arazileri, orman örtüsü ve sulak alanlardaki kayıp oranlarını göstermektedir.

c3. Balıkçılık: Kaçak avlanma ve tarama faaliyetleri ile balık stoklarının aşırı sömürülmesini önlemeye yönelik olarak, balık stok seviyeleri ve deniz yaşamının besleyicilik değerlerine ilişkin ölçümleri kapsamaktadır.

c4. Tarım: Tarım arazilerinde kullanılan pestisit ve gübreler, mahsul verimini artırıp hasare istilasını azaltabilmekle birlikte ekosistem üzerinde olumsuz etkilere yol açabilmektedir. Bu nedenle bu gösterge, sürdürülebilir pestisit ve azot (nitrojen) kullanım oranlarının ölçümünü ifade etmektedir.

c5. Asit Yağmurları: Ekosistem üzerindeki asit yağmurlarının etkisini azaltmaya yönelik olarak kükürt dioksit (SO₂) ve azot oksit (NO_x) emisyon oranlarının ölçümünü ifade etmektedir.

c6. Su Kaynakları: Atıksu arıtma oranlarını ölçmektedir (Wolf et al., 2022).

2.2.Entropi Yöntemi

Belirsizliğin bir ölçüsü olarak tanımlanan entropi kavramı, karar verme süreçlerinde değerlerin dağılımını ölçen ve yaygın olarak kullanılan bir ağırlıklandırma yöntemidir (Zhu vd., 2020). Diğer ağırlıklandırma yöntemleriyle karşılaştırıldığında, entropi yönteminin nesnel yapısı ön plana çıkmaktadır (Bao vd., 2020). Entropi ağırlıklandırma yöntemi, kriter değerlerinin alternatifler arasındaki farklılaşma derecesini ölçerek değerlendirme yapmaktadır. Alternatifler arasındaki farklılaşmanın yüksek olması, belirsizliği azaltarak daha fazla bilgi sağlarken, farkın düşük olması ise belirsizliğin yüksek olduğunu göstermektedir (Lu vd., 2010).

Adımları aşağıdaki gibidir.

1)Veri matrisi: Alternatif ve kriterler değerlerinin oluşturduğu matristir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad (1)$$

2)Normalizasyon (P_{ij}):

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (2)$$

3)Entropi Ölçüsü (e_j):

$$e_j = -K \sum_{i=1}^m (P_{ij} \ln(p_{ij})), \quad K = \frac{1}{\ln(m)} \quad (3)$$

4)Kritere ait bilgi (d_j): Bu değer kriter için ne kadar yüksek olursa öneminin de yüksek olduğunu gösterir.

$$d_j = 1 - e_j \quad (4)$$

Entropi ağırlıkları (w_j):

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (5)$$

2.3.CRITIC Yöntemi

CRITIC yöntemi, değişkenlerin standart sapmalarının yanı sıra kriterler arasındaki korelasyonları da dikkate almaktadır. CRITIC yöntemi ile elde edilen ağırlıklar, karar probleminin yapısında yer alan kontrast yoğunluğunu ve kriterler arasındaki çatışma düzeyini birlikte yansıtmaktadır. Geliştirilen bu yöntem, değerlendirme kriterlerinde yer alan tüm bilginin elde edilmesi amacıyla değerlendirme matrisini kullanmaktadır. Bu matris, analitik bir yaklaşımla ağırlıklandırılırken, yöntem kriterler arasındaki korelasyonlardan yararlanmaktadır. CRITIC yöntemi, kriterlerin istatistiksel özelliklerinin incelenmesine dayanmaktadır (Diakoulaki vd., 1995; Diakoulaki ve Karangelis, 2007).

Adımları aşağıdaki gibidir.

1)Karar matris ve normalizasyon: Matrisi hazırlandıktan sonra kriterler fayda maliyet özelliklerine göre yarılmaktadır. Bu nedenle normalizasyon kriterlerin maksimum veya minimum değerlerine göre hesaplanmaktadır (Akçakanat vd. 2018).

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad (6)$$

$x_j^{\min}$: j. kriterin maksimum değeri

$x_j^{\max}$: j. kriterin minimum değeri

$$r = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad (7)$$

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (8)$$

$$r_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (9)$$

2)Kriterler arası korelasyon:

$$P_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j) / (\bar{r}_{ik} - \bar{r}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2 \sum_{i=1}^m (r_{ik} - \bar{r}_k)^2}} \quad (10)$$

3)Standart Sapmaların hesaplanması:

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2}{m}} \quad (11)$$

$$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n (1 - P_{jk}) \quad (12)$$

4)Ağırlıkların belirlenmesi:

$$w_j = \frac{c_j}{\sum_{k=1}^n c_k} \quad j, k = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

2.4.PROMETHEE Yöntemi

Çok amaçlı karar alma tekniklerinden biri olan PROMETHEE yöntemi, seçim ve sıralama problemlerinde karar vericiye en uygun (optimum) seçeneği sunmayı amaçlamaktadır. PROMETHEE yöntemi, kendinden önce geliştirilen yöntemlerin uygulamada karşılaşılan zorlukları dikkate alınarak geliştirilmiştir. PROMETHEE yöntemi, problemde yer alan seçenekleri tercih fonksiyonları yardımıyla incelemekte ve ikili karşılaştırmalar yoluyla kısmi ve tam sıralama sağlamaktadır. Seçeneklere ait kriter ağırlıkları ve tercih fonksiyonlarına ilişkin bilgilerin karar verici tarafından belirlenmesi gerekmektedir (Dağdeviren, 2008). Tercih fonksiyonları, tercih indeksleri, zayıf ve güçlü global tercih değerleri, üstünlük akımları ve GAIA düzlemi, yöntemin uygulama adımlarında yer almakta olup aşağıda açıklanmaktadır (Mousavi vd., 2013; Avikal vd., 2014; Abdullah vd., 2019).

Adım.1.Alternatifleri ve kriterleri belirlemek:

İncelenen probleme ait karar seçeneklerinin ve bu seçeneklere ilişkin kriterlerin tanımlanmasıdır. Bu aşamada, seçeneklere ait kriterlerin ağırlıkları da belirlenmelidir. Kriter ağırlıklarının toplamı 1'e eşit olmalıdır. Ağırlıkların belirlenmesinde AHP, Entropi gibi çok kriterli karar verme yöntemlerinden yararlanılabilmektedir.

Adım.2.Tercih fonksiyonlarını belirlemek:

Alternatifler ve kriterler belirlendikten sonra, her bir kriter için uygun bir tercih fonksiyonu tanımlanmalıdır. Tercih fonksiyonu, seçeneklerin karşılaştırılmasında ve ikili kıyaslamalar yoluyla en iyi alternatifin belirlenmesinde kullanılan bir fonksiyondur. Her kriter için seçilecek tercih fonksiyonu, o kritere ait verilerin dağılımı dikkate alınarak belirlenmektedir. PROMETHEE yönteminde, altı farklı tercih fonksiyonu türü bulunmakta olup, problemde yer alan veri yapısına uygun olan fonksiyon seçilerek kullanılmaktadır. Seçilen tercih fonksiyonu P, 0 ile 1 arasında değer almakta ve incelenen kriter açısından iki alternatif arasındaki tercih derecesini ifade etmektedir. Tercih fonksiyonu türlerine ilişkin grafiksel gösterimler ve notasyonlar Şekil.2.'de sunulmaktadır.

Şekil.2.Tercih Fonksiyonları

Fonksiyon Tipleri	Tercih Fonksiyonu P(d)	Tercih Fonksiyonu Özelliği
Olağan Tip: $P(d) = \begin{cases} 0 & d = 0 \\ 1 & d = 1 \end{cases}$		Belli bir kriter için herhangi bir tercih söz konusu değilse seçilen fonksiyondur.
U Tipi: $P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$		Söz konusu kriter için belirlenen bir değerden daha fazla değere sahip olan seçeneklerden tercih yapılmak istendiğinde kullanılır.
V Tipi: $P(d) = \begin{cases} d /p & d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$		Söz konusu kriter için belirlenen bir değerden daha fazla değere sahip olan seçeneklerden tercih yapılmak istendiğinde ancak belirlenen değer altındakileri de ele almak istiyorsa kullanılır.
Seviyeli Tip: $P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$		Belli bir kriter için değer aralığı belirlenmesi durumunda kullanılır.
Doğrusal tip: $P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{ d - q}{p - q} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$		Belli bir kriter için ortalama değer üstünde değere sahip seçenekler tercih edildiğinde kullanılır.
Gaussian Tip: $P(d) = 1 - e^{(-d^2/2\sigma^2)}$		Belli bir kriter için ortalama değerden sapmalara bakarak tercih yapılacaksa kullanılır.

Kaynak: Brans & Mareschal (2005)'ten yararlanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

3.Adım. Ortak tercih fonksiyonlarının ve tercih indekslerinin belirlenmesi:

PROMETHEE yöntemi ikili karşılaştırmalarla ilerlediğinden kriterler için belirlenen tercih fonksiyonlarından ilerleyerek seçenek çiftleri için ortak tercih fonksiyonları belirlenmelidir. Kriter değerlendirmesi en büyükleme ise seçenek değerlerinin sapmaları birbirlerine göre tercih edilme durumlarını gösterir. Sapmalar negatifse ortak tercih fonksiyonu sıfırı gösterecektir. Kriter değerlendirmesi en küçükleme ise ortak tercih fonksiyonu tam tersi olmaktadır. Tercih indeksleri tüm kriterler açısından belli iki alternatifin birbirine tercih edilme derecesini göstermektedir.

$$\pi(a, b) = \sum_j^k P_j(a, b) \cdot w_j \quad (a \text{ seçeneğinin } b \text{ seçeneğine tercih edilme derecesi}) \quad (14)$$

$$\pi(b, a) = \sum_j^k P_j(b, a) \cdot w_j \quad (b \text{ seçeneğinin } a \text{ seçeneğine tercih edilme derecesi}) \quad (15)$$

4.Adım.Pozitif ve negatif üstünlük değerlerinin tespit edilmesi:

Bu adım tercih indekslerinin belirlenmesiyle seçenekler arasındaki sıralamayı yapmak amacıyla hesaplanmaktadır. Bu doğrultuda her seçenek için pozitif ve negatif üstünlük değerleri belirlenmektedir. Seçim yapabilmek için pozitif üstünlük değerlerinin yüksek, negatif üstünlük değerlerinin düşük olması beklenir.

a alternatifi için pozitif üstünlük:

$$\emptyset^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x) \quad (16)$$

a alternatifi için negatif üstünlük:

$$\emptyset^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a) \quad (17)$$

n: alternatiflerin sayısı

x: a alternatifi dışındaki her bir alternatif (b,c,d,...,n)

5.Adım. PROMETHEE 1 ile alternatiflerin kısmi sıralanması:

Bu aşamada negatif ve pozitif üstünlüklere göre ikili karşılaştırmalarla sıralama yapılır.

$\emptyset^+(a) > \emptyset^+(b)$ ve $\emptyset^-(a) < \emptyset^-(b)$ ise a üstündür b

$\emptyset^+(a) > \emptyset^+(b)$ ve $\emptyset^-(a) = \emptyset^-(b)$ ise a üstündür b

$\emptyset^+(a) = \emptyset^+(b)$ ve $\emptyset^-(a) < \emptyset^-(b)$ ise a üstündür b'dir.

$$\emptyset^-(a) = \emptyset^-(b) \text{ ve } \emptyset^+(a) = \emptyset^+(b) \text{ ise a b'ye eşittir.} \quad (18)$$

Bu durumlar dışında ise a ile b kıyaslanamaz şeklindedir.

6.Adım: Net öncelik Değerleri:

PROMETHEE 1 ile sadece kısmi sıralama yapılabildiğinden PROMETHEE 2 ile tam sıralama yapılabilmesi için seçeneklerin pozitif ve negatif akım değerlerinin farkları sonucu elde edilen net öncelik değerlerinin hesaplanması gerekmektedir.

$$\emptyset^{\text{net}}(a) = \emptyset^+(a) - \emptyset^- \quad (19)$$

7.Adım: PROMETHEE II ile alternatiflerin tam olarak sıralanması:

Elde edilen net öncelik değerleri kıyaslanarak tam sıralama sağlanmış olur.

Eğer $\emptyset^{\text{net}}(a) > \emptyset^{\text{net}}(b)$ ise a üstündür b,

Eğer $\emptyset^{\text{net}}(a) = \emptyset^{\text{net}}(b)$ ise a ve b farksızdır. (20)

3. BULGULAR

Çevresel Performans Endeksi'ne ait 11 göstergenin önem derecelerini belirleyen ağırlıklar, Entropi ve CRITIC yöntemleri kullanılarak tespit edilmiştir. Buna ek olarak, Çevresel Performans Endeksi'nin kendi bünyesinde tanımlanmış önem ağırlıkları da çalışmaya dâhil edilmiştir. Her iki yöntemle elde edilen ağırlıklar ile

endeksin kendi ağırlıkları ayrı ayrı kullanılarak, PROMETHEE yöntemi aracılığıyla üç farklı sıralama gerçekleştirilmiştir.

3.1. Entropi ve CRITIC yöntemleriyle Değişkenlerin Önem Ağırlıklarına ait Bulgular

Entropi yöntemi ile belirlenen ağırlık değerleri Tablo 1’de sunulmaktadır. Tablo 1’e göre, çevresel performansı en fazla etkileyen ilk üç değişken Atık Yönetimi, Ekosistem Hizmetleri ve Tarım olarak belirlenmiştir. En düşük önem ağırlığına sahip değişkenin ise Asit Yağmurları olduğu görülmektedir.

Tablo.1.Entropi Yöntemi ile Elde Edilen Ağırlıklar

		Değişkenler	Entropi Ağırlıkları	Sıralama
İklim	a1	İklim Değişikliği Azalımı	0,005510701	11
Çevresel Sağlık	b2	Hava Kalitesi	0,009418218	6
	b3	Atık Yönetimi	0,283968959	2
	b4	Su ve Sağlık Önlemleri	0,014087984	5
	b5	Ağır Metaller	0,006652525	8
Ekosistem Çeşitliliği	c6	Bio Çeşitlilik ve Habitat	0,008312837	7
	c7	Ekosistem Hizmetleri	0,286165531	1
	c8	Balıkçılık	0,033121113	4
	c9	Tarım	0,28253058	3
	c10	Asit Yağmurları	0,005766009	9
	c11	Su Kaynakları	0,064465542	10

CRITIC yöntemi ile belirlenen ağırlık değerleri Tablo 2’de yer almaktadır. Tablo 2’ye göre, çevresel performansı en fazla etkileyen ilk üç değişken Biyoçeşitlilik ve Habitat, Su Kaynakları ile Su ve Sağlık Önlemleri olarak belirlenmiştir. En düşük önem ağırlığına sahip değişkenin ise Ekosistem Hizmetleri olduğu görülmektedir.

Tablo.2.CRITIC Yöntemi ile Elde Edilen Ağırlıklar

		Değişkenler	CRITIC Ağırlıkları	Sıralama
İklim	a1	İklim Değişikliği Azalımı	0,083070122	7
Çevresel Sağlık	b2	Hava Kalitesi	0,088250644	5
	b3	Atık Yönetimi	0,066544889	10

	b4	Su ve Sağlık Önlemleri	0,109924893	3
	b5	Ağır Metaller	0,083534743	6
	c6	Bio Çeşitlilik ve Habitat	0,139344882	1
	c7	Ekosistem Hizmetleri	0,057188254	11
Ekosistem Çeşitliliği	c8	Balıkçılık	0,10328448	4
	c9	Tarım	0,067577637	9
	c10	Asit Yağmurları	0,070028113	8
	c11	Su Kaynakları	0,131251343	2

Tablo 3'te, Çevresel Performans Endeksi hesaplamalarında kullanılan değişkenlere ait önem ağırlıkları sunulmaktadır. Tablo 3'e göre, endeks hesaplamasında en yüksek ağırlığa sahip değişkenler sırasıyla İklim Değişikliğinin Azaltımı, Biyoçeşitlilik ve Habitat ile Hava Kalitesidir. En düşük önem ağırlığına ise Atık Yönetimi ve Ağır Metaller değişkenlerinin sahip olduğu görülmektedir.

Tablo.3.ÇPE Sıralaması Değişken Ağırlıkları

		Değişkenler	ÇPE Ağırlıkları	Sıralama
İklim	a1	İklim Değişikliği Azalımı	0,38	1
	b2	Hava Kalitesi	0,11	3
Çevresel	b3	Atık Yönetimi	0,02	11
Sağlık	b4	Su ve Sağlık Önlemleri	0,05	6
	b5	Ağır Metaller	0,02	10
	c6	Bio Çeşitlilik ve Habitat	0,18	2
	c7	Ekosistem Hizmetleri	0,08	4
Ekosistem	c8	Balıkçılık	0,05	5
Çeşitliliği	c9	Tarım	0,04	7
	c10	Asit Yağmurları	0,04	8
	c11	Su Kaynakları	0,03	9

3.2.PROMETHEE Yöntemiyle Ülkelerin Çevresel Performansa Göre Sıralaması

Çevresel Performans Endeksi göstergeleriyle PROMETHEE yöntemi kullanılarak yapılan sıralamalarda, değişkenlerin önem ağırlıklarının ve tercih fonksiyonlarının belirlenmesi gerekmektedir. Uygulamada kullanılan önem ağırlıkları CRITIC ve Entropi yöntemleri ile elde edilmiştir. Buna ek olarak, Çevresel Performans Endeksi'nin kendi bünyesinde yer alan önem ağırlıkları kullanılarak da sıralama yapılmıştır. Uygulamada, objektif sonuçlar elde edebilmek amacıyla, her bir değişken için olağan tip tercih fonksiyonu kullanılmıştır. Bu tercih fonksiyonu kapsamında, değişkenler için herhangi bir eşik değer ya da ortalama tanımlanmamaktadır.

Gerçekleştirilen üç farklı sıralamanın tamamında PROMETHEE yöntemi uygulanmıştır. Sıralamalarda ilk 10'da yer alan ülkeler Tablo 4'te gösterilmiştir.

Entropi ve CRITIC ağırlıklarıyla yapılan sıralamalarda 3 ülkenin (Belarus, Danimarka ve Yeni Zelanda) aynı sıralamada yer aldığı görülmüştür. Entropi ve ÇPE ağırlıklarıyla yapılan PROMETHEE sıralamasında ise 6 ülkenin (Fransa, Avusturya, Danimarka, İsrail, Pakistan ve İsveç) aynı sırada yer aldığı tespit edilmiştir. CRITIC ve ÇPE ağırlıklarıyla gerçekleştirilen PROMETHEE sıralamasında da 6 ülkenin (Çek Cumhuriyeti, Danimarka, İzlanda, Romanya, Sudan ve Togo) aynı sıralamaya sahip olduğu belirlenmiştir.

Çevresel Performans Endeksi'nin kendi sıralaması ile, ÇPE ağırlıkları kullanılarak yapılan PROMETHEE sıralamasında 12 ülkenin aynı sırada yer aldığı görülmüştür. ÇPE'nin kendi sıralaması ile CRITIC ağırlıklı PROMETHEE sıralaması karşılaştırıldığında 5 ülkenin (Danimarka, İrlanda, Karadağ (Montenegro), Sırbistan ve Ukrayna) aynı sırada yer aldığı belirlenmiştir. ÇPE'nin kendi sıralaması ile Entropi ağırlıklı PROMETHEE sıralaması karşılaştırıldığında ise 5 ülkenin (Avusturya, Danimarka, Fransa, İsveç ve Tonga) aynı sıralamaya sahip olduğu tespit edilmiştir.

Sıralamalar farklı ağırlıklandırma yöntemleri kullanılarak gerçekleştirildiğinden, sıralamalar arasındaki hata oranlarının incelenmesi önem arz etmektedir. Bu nedenle sıralamalar arasındaki ikili karşılaştırmalar için hata kareleri ortalaması (HKO) değerleri hesaplanmıştır. Entropi ve CRITIC sıralamaları arasındaki HKO değeri 985, Entropi ve ÇPE ağırlıklı PROMETHEE sıralamaları arasındaki HKO değeri 1075, CRITIC ve ÇPE ağırlıklı PROMETHEE sıralamaları arasındaki HKO değeri ise 1025 olarak bulunmuştur. Entropi ve ÇPE'nin orijinal sıralaması arasındaki HKO değeri 2915, ÇPE ağırlıklı PROMETHEE sıralaması ile ÇPE orijinal sıralaması arasındaki HKO değeri 1107, CRITIC ağırlıklı PROMETHEE sıralaması ile ÇPE orijinal sıralaması arasındaki HKO değeri ise 1449 olarak hesaplanmıştır.

Tablo.4. PROMETHEE Yöntemiyle Ülkelerin Çevresel Performans Sıralaması

Sıra	ÇPE sıralama	ENTROPI- PROMETHEE	CRITIC- PROMETHEE	ÇPE Ağırlıklı PROMETHEE
1	Danimarka	Danimarka	Danimarka	Danimarka
2	İngiltere	Finlandiya	Lüksemburg	İngiltere
3	Finlandiya	Germany	Avusturya	Finlandiya
4	Malta	Avustralya	Almanya	Lüksemburg
5	İsveç	İsveç	Avustralya	İsveç
6	Lüksemburg	Letonya	Fransa	Hollanda
7	Slovenya	Lüksemburg	İsveç	Slovenya
8	Avusturya	Avusturya	İspanya	Avusturya
9	İsviçre	Estonya	Polonya	Almanya
10	İzlanda	İrlanda	Hollanda	Letonya
	Türkiye (172)	Türkiye (43)	Türkiye (74)	Türkiye (95)

Tablo 4'te, farklı sıralamalarda yer alan ülkeler sunulmaktadır. Tabloya göre, her bir sıralamanın birinci sırasında Danimarka yer almaktadır. İlk 10'a giren ülkeler arasında yer alan Danimarka, İsveç, Lüksemburg ve Avusturya, tüm sıralama türlerinde ortak olarak bulunmaktadır. Çevresel Performans Endeksi'nin orijinal sıralaması ile, ÇPE ağırlıkları kullanılarak yapılan PROMETHEE sıralamasında, 6 ülkenin (Danimarka, İngiltere, Finlandiya, İsveç, Slovenya ve Avusturya) aynı sıralamada yer aldığı görülmektedir. Polonya ve İspanya, CRITIC ağırlıklı sıralamada ilk 10 içerisinde yer alırken, İrlanda ve Estonya ise Entropi ağırlıklı sıralamada ilk 10'a girmiştir. Türkiye, Entropi ağırlıklı sıralamada 43., CRITIC ağırlıklı sıralamada 74., ÇPE ağırlıklı PROMETHEE sıralamasında 95. ve ÇPE'nin orijinal sıralamasında ise 172. sırada yer almaktadır.

4. TARTIŞMA

Artan ve çeşitlenen çevre sorunları nedeniyle dünyanın geldiği noktada ülkelerin çevresel performansı daha da önemli hâle gelmiştir. Bu bağlamda, ülkelerin çevre performanslarının ölçülmesi ve karşılaştırılması amacıyla geliştirilen Çevresel Performans Endeksi (ÇPE) göstergeleri kullanılarak PROMETHEE yöntemi ile ülkeler sıralanmıştır. Yapılan bu sıralamalarda, gösterge ağırlıklarının belirlenmesinde CRITIC ve Entropi yöntemleri ile birlikte endeksin kendi önem ağırlıklarından yararlanılmıştır.

Literatürde benzer yaklaşımlar incelendiğinde, Şener (2021), çalışmasında Entropi ve CRITIC yöntemleri ile Legatum Refah Endeksi göstergelerini ağırlıklandırmış ve ELECTRE yöntemi ile bu farklı ağırlıklandırmalar doğrultusunda ülkeleri sıralamıştır. Bu çalışmada ise, çevresel performans göstergeleri aynı ağırlıklandırma yaklaşımlarıyla ele alınmış, ancak ülkelerin sıralanmasında PROMETHEE yöntemi tercih edilmiştir.

Ağırlıkların belirlenmesinde kullanılan CRITIC yönteminde, en fazla önem verilen değişken grubu “Ekosistem Çeşitliliği” olarak tespit edilmiştir. Yöntem, bu gruptaki değişkenlere toplam ağırlığın yaklaşık %57'sini vermiştir. Toplam ağırlığın %35'ini “Çevresel Sağlık” kategorisindeki değişkenler temsil ederken, en düşük ağırlığa sahip grup tek değişkenden oluşan “İklim” grubu olmuştur. Bu yöntemde en fazla ağırlık “Biyçeşitlilik ve Habitat” değişkenine verilirken, ikinci sırada “Su Kaynakları”, üçüncü sırada ise “Su ve Sağlık Önlemleri” değişkeni yer almaktadır. En az önem değerine ise “Ekosistem Hizmetleri” değişkeni sahiptir.

Benzer şekilde, Entropi yönteminde de en fazla önem verilen değişken grubu “Ekosistem Çeşitliliği” olarak tespit edilmiştir. Ancak bu yöntemde, söz konusu gruba verilen toplam ağırlık yaklaşık %68 ile CRITIC yöntemine kıyasla daha yüksektir. Toplam ağırlığın %31'ini “Çevresel Sağlık” kategorisindeki değişkenler temsil ederken, en düşük ağırlığa sahip grup yine tek değişkenden oluşan “İklim” grubu olmuştur. Bu yöntemde en fazla ağırlık “Ekosistem Hizmetleri” değişkenine verilirken, ikinci değişken “Atık Yönetimi”, üçüncü değişken ise “Tarım” olmuştur. En az önem değerine sahip değişken ise “İklim Değişikliği” dir.

Bu sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, “Ekosistem Hizmetleri” değişkeninin yöntemlere göre oldukça farklı ağırlıklandığı görülmektedir. Söz konusu değişken Entropi yönteminde birinci sırada yer alırken, CRITIC yönteminde son sırada yer almaktadır. Çalışma, sıralamalar ve ağırlıklandırmalar açısından Şener (2021)'in

çalışması ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Şener (2021)’de Entropi ağırlıkları arasındaki farkların yüksek olduğu, CRITIC yönteminde ise ağırlık farklarının daha düşük olduğu belirtilmiştir.

Her iki yöntemde de “İklim” değişkeninin düşük ağırlıklandırıldığı, buna karşılık Çevresel Performans Endeksi’nde (ÇPE) en fazla önem verilen değişkenin “İklim” olduğu görülmektedir. ÇPE’de sırasıyla “İklim”, “Ekosistem Çeşitliliği” ve “Çevresel Sağlık” grupları ağırlıklandırılmıştır. Bu ağırlıklandırma farklılıklarının ülke sıralamalarına nasıl yansıdığı incelendiğinde, farklı ağırlıklarla yapılan PROMETHEE sıralamalarına göre çevre performansı en iyi olan ve tüm sıralamalarda 1. sırada yer alan ülkenin Danimarka olduğu görülmektedir.

Bu noktada Almanya’nın farklı sıralamalarda ilk 10 içerisinde yer alması dikkat çekmektedir. Almanya’nın göstergelere ait değerleri incelendiğinde, farklı karbon emisyon oranlarını ölçen iklim değişikliği göstergesinin %47 olduğu görülmektedir. Bu gösterge, ÇPE’de en yüksek ağırlığa sahip gösterge konumundadır. Buna karşın, Entropi ve CRITIC yöntemlerinde bu gösterge sırasıyla 11. ve 7. sırada yer almaktadır. Bu durum, söz konusu yöntemlerin, küresel ölçekte önemli giderek artan iklim göstergesine görece daha düşük ağırlık verdiğini göstermektedir.

ÇPE ile ekonomik gelişim arasındaki ilişkiyi inceleyen Samimi vd. (2010), gelişmekte olan ülkelerin çevresel performans açısından da geride kaldıkları sonucuna ulaşmıştır. Bu çalışmada elde edilen sıralamalar da bu bulguyu desteklemektedir. Benzer şekilde, Şener (2020) refah açısından ülke sıralamalarını incelemiş; Danimarka bu sıralamada birinci ülke olurken, bu çalışmada yapılan sıralamalarda da birinci sırada yer almıştır. Bu sonuçlar, yalnızca ekonomik açıdan gelişmiş ülkelerin değil, aynı zamanda sosyal refah düzeyi yüksek ülkelerin de çevresel performanslarının güçlü olduğunu göstermektedir.

Çevresel performansın yöntem ve ağırlık tercihlerine duyarlı olduğu göz önüne alındığında, politika yapıcıların performans değerlendirmelerinde kullanılan göstergelerin önem düzeylerini bilinçli ve stratejik biçimde belirlemesi gerekmektedir. Çok kriterli karar verme literatüründe kriter ağırlıklarının sonuçları doğrudan etkilediği vurgulanmaktadır (Belton & Stewart, 2002). Elde edilen bulgular, özellikle iklim değişikliği göstergesinin ülke sıralamalarında belirleyici rol oynadığını göstermektedir. İklim değişikliğinin ekosistemler, halk sağlığı ve ekonomik sürdürülebilirlik üzerindeki sistemik etkileri dikkate alındığında (IPCC, 2021), çevre politikalarının iklim ve biyoçeşitlilik alanlarına uzun vadeli ve bütüncül bir öncelik çerçevesinde yapılandırılması ülkelerin çevresel performansını artırmada kritik önem taşımaktadır. Türkiye özelinde elde edilen bulgular, çevre politikalarının özellikle iklim değişikliği, biyoçeşitlilik ve balıkçılık alanlarında güçlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu alanlara yönelik uzun vadeli ve bütüncül politikaların geliştirilmesi, ülkenin çevresel performansını artırmada kritik rol oynayacaktır.

Son olarak, PROMETHEE sıralamalarının kendi aralarında HKO değerleri incelendiğinde, en küçük değerin Entropi ve CRITIC sıralamaları arasında, en büyük değerin ise Entropi ağırlıklı ve ÇPE ağırlıklı sıralamalar arasında olduğu görülmektedir. Ancak hata değerlerinin birbirine yakın olması, sıralamalar arasında çok büyük sıra farklılıklarının bulunmadığını göstermektedir. Ayrıca tüm sıralamalarda ilk ve son sırada yer alan ülkelerin aynı olduğu tespit edilmiştir. Şener (2021) çalışmasında da benzer şekilde, ilk ve son ülkelerin aynı sonuçlarla elde

edildiği görülmüştür. Bu durum, farklı endekslere dayalı olarak uygulanan PROMETHEE ve ELECTRE yöntemlerinin, genel sıralama eğilimleri açısından benzer sonuçlar üretebildiğini göstermektedir.

Çok kriterli karar verme literatüründe ağırlıklandırma yaklaşımları genel olarak normatif (subjektif) ve objektif (veri temelli) yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır (Belton & Stewart, 2002). Normatif yöntemler karar vericilerin tercih ve stratejik önceliklerini modele dahil ederken (Saaty, 1980), objektif yöntemler kriterlerin istatistiksel dağılımına, bilgi içeriğine ve korelasyon yapısına dayalı olarak ağırlık belirlemektedir (Shannon, 1948; Diakoulaki vd., 1995). Bu ayrım, çevresel performans gibi politika boyutu güçlü alanlarda kritik önem taşımaktadır. Zira yüksek varyansa sahip kriterlerin istatistiksel olarak öncelik kazanması, küresel ölçekte stratejik öneme sahip bazı göstergelerin görece geri planda kalmasına yol açabilmektedir. Dolayısıyla ağırlıklandırma tercihi yalnızca teknik bir hesaplama süreci değil, aynı zamanda normatif bir konumlanmayı da yansıtmaktadır. Bu bağlamda literatürde, normatif ve objektif yaklaşımların birlikte kullanıldığı hibrit modellerin daha dengeli sonuçlar üretebileceği ileri sürülmektedir (Wang & Lee, 2009).

Objektif ağırlıklandırma yöntemlerinde iklim değişikliği göstergesinin görece düşük ağırlık alması, bu kriterin ülkeler arasındaki istatistiksel varyansının sınırlı olmasından ve diğer göstergelerle olan ilişkisel yapısından kaynaklanmaktadır. Ancak düşük varyans, düşük stratejik önem anlamına gelmemektedir. İklim değişikliği küresel ölçekte sistemik risk üreten ve uzun vadeli etkileri yüksek olan bir alandır. Bu nedenle yalnızca dağılım temelli objektif yaklaşımlar, küresel öncelik boyutunu tam olarak yansıtmayabilir. Buna karşılık Çevresel Performans Endeksi'nin iklim göstergesine yüksek ağırlık vermesi, normatif ve politika yönlendirici bir tercih olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle çevresel performans ölçümlerinde ağırlıklandırma tercihi yalnızca teknik bir modelleme kararı değil, aynı zamanda politika yönelimi ve normatif önceliklerin açık bir ifadesidir.

Bu çalışma, çevresel performans ölçümlerinde kullanılan ağırlıklandırma tercihlerinin kamu politikası önceliklerini doğrudan etkileyebileceğini göstermektedir. Dolayısıyla politika yapıcılarının endeks sonuçlarını değerlendirirken yalnızca sıralama sonuçlarına değil, kullanılan metodolojik çerçeveye de dikkat etmeleri gerekmektedir. Özellikle iklim değişikliği ve biyoçeşitlilik gibi sistemik risk alanlarında stratejik önceliklerin veri temelli yaklaşımlarla dengelenmesi, daha sağlıklı politika tasarımı açısından önem taşımaktadır.

Gelecek çalışmalarda, çevresel performans değerlendirmelerinde normatif ve objektif ağırlıklandırma yöntemlerinin birlikte kullanıldığı hibrit modeller geliştirilerek sonuçların duyarlılık analizleriyle test edilmesi önerilmektedir. Ayrıca farklı yıllara ait panel veriler kullanılarak çevresel performansın zamansal değişimi incelenebilir ve ağırlıklandırma tercihlerinin uzun dönemli sıralama istikrarı üzerindeki etkisi analiz edilebilir. Bunun yanında, çevresel performans ile ekonomik büyüme, yönetim kalitesi ve kurumsal kapasite gibi değişkenler arasındaki nedensel ilişkilerin çok değişkenli modellerle araştırılması, literatüre daha kapsamlı ve açıklayıcı katkılar sağlayacaktır.

SONUÇ

Yapılan sıralamalar sonucunda çevre performansı en iyi olan ülkelerin çoğunlukla Avrupa'da konumlanan ülkeler olduğu görülmektedir. Çevre performansı en düşük olan ülkeler ise genellikle Afrika ve Orta Doğu'da konumlanan ülkeler olarak elde edilmiştir. Sosyoekonomik açıdan belirli bir refah seviyesine ulaşmış Avrupa ülkelerinin, zararlı çevre göstergelerini daha etkin biçimde kontrol altına aldıkları görülmektedir. Bu durum, sosyoekonomik gelişmişlik ve eğitim düzeyinin çevresel performansla ilişkili olabileceğine işaret etmektedir. Gelişmekte olan ülkelerin ise çevre performanslarının oldukça düşük olması, bu ülkelerde ekonomik kaygıların, güvenlik problemlerinin ve temel yaşam koşullarının ön planda olmasıyla açıklanabilir. Bu koşullar altında, çevresel problemler söz konusu ülkeler için ikincil bir öncelik hâline gelmektedir.

Türkiye, Çevresel Performans Endeksi sıralamasında Su Kaynakları, Hava Kalitesi ve Ağır Metaller değişkenleri açısından ilk 60 içerisinde yer alırken, İklim Değişikliği, Biyoçeşitlilik ve Balıkçılık değişkenleri açısından son 60 içerisinde yer almaktadır. Türkiye, Entropi ağırlıklı sıralamada 43. sırada yer alarak diğer yöntemlere göre daha yüksek bir konumda bulunmuştur. Diğer sıralamalarda ise Türkiye'nin oldukça gerilerde yer aldığı görülmektedir.

İklim göstergesi, Türkiye için en düşük değere sahip değişkenlerden biri olduğundan, Entropi yönteminde daha üst sıralarda yer almasına neden olmuştur. Çünkü İklim ve Biyoçeşitlilik göstergeleri, Entropi yönteminde en düşük ağırlığa sahip değişkenler iken, Çevresel Performans Endeksi'nde en yüksek ağırlığa sahip iki değişken konumundadır. Türkiye'de çevre politikaları her ne kadar geçmişe kıyasla iyileştirilmeye çalışılsa da, henüz yeterli ve kalıcı ilerlemelerin kaydedilemediği görülmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde görülen ekonomik, sosyal ve yapısal problemler ülkemizde de mevcut olduğundan, çevresel sorunlar çoğu zaman geri planda kalmaktadır.

Bu çalışmada birden fazla ağırlıklandırma yaklaşımının kullanılmasının temel amacı, çevresel performans sıralamalarının yöntem tercihlerine duyarlılığını ortaya koymaktır. Elde edilen farklılıklar, yöntemsel bir tutarsızlıktan ziyade, kriter ağırlıklandırma yaklaşımlarının dayandığı teorik ve istatistiksel varsayımlardan kaynaklanmaktadır. Çalışma kapsamında herhangi bir yöntemin diğerine mutlak üstünlüğü olduğu iddia edilmemektedir. Objektif yöntemler veri dağılımını esas alırken, ÇPE normatif politika önceliklerini yansıtmaktadır. Bu nedenle hangi yöntemin daha anlamlı olduğu, performans ölçümünün amacına bağlı olarak değişmektedir.

Çalışmada kullanılan Entropi ve CRITIC ağırlıklandırma yöntemlerinde, iklim değişkenine görece daha düşük ağırlık verildiği görülmektedir. Ancak Çevresel Performans Endeksi'nde (ÇPE) en fazla önem ağırlığına sahip değişkenin İklim değişkeni olduğu dikkat çekmektedir. Ülkeler ÇPE'de, iklim değişikliği göstergesine öncelik verilerek sıralanırken, diğer yöntemlerde daha objektif bir ağırlıklandırma yaklaşımı benimsenmiştir. Ülkelerin bulunduğu coğrafi konum, bitki örtüsü, nüfus, göç gibi kontrol edilemeyen faktörler, iklim değişikliği göstergesini etkileyebilmektedir. Bu nedenle ülke sıralamalarının farklılaşması mümkün olabilmektedir. Farklı ağırlıklandırma yaklaşımlarının ülke sıralamaları üzerinde belirleyici olduğu görülmüştür.

Bu çalışma, normatif ve objektif ağırlıklandırma yaklaşımlarının çevresel performans sıralamaları üzerindeki etkisini karşılaştırmalı ve nicel biçimde ortaya koyarak, çevresel performans ölçümlerinde yöntem tercihlerinin sonuçları nasıl şekillendirdiğini göstermektedir. Bulgular, çevresel performans değerlendirmelerinin yalnızca teknik bir sıralama aracı değil, aynı zamanda politika önceliklerini yansıtan bir karar destek mekanizması olduğunu ortaya koymaktadır. Bu yönüyle çalışma, hem çok kriterli karar verme literatürüne hem de çevre politikası analizlerine metodolojik bir katkı sunmaktadır.

EVALUATING ENVIRONMENT PERFORMANCE WITH MULTI-CRITERIA DECISION MAKING TECHNIQUES USING ENVIRONMENTAL PERFORMANCE INDEX DATA

1. INTRODUCTION

With the effect of globalization, continuous consumption has increased the scale of environmental degradation worldwide. Environmental performance has become one of the most important policy issues for countries. Many institutions and organizations measure environmental performance using different indicators, emphasizing sustainability. Yale University, one of these institutions, publishes the Environmental Performance Index (EPI) report, which includes data for 180 countries every two years. This index was first established in 2006, and its aim is to reduce environmental pressures on human health and to promote ecosystem vitality. The index was initially created with a total of 16 indicators under 6 basic policy categories in line with these objectives: Environmental Health, Air Quality, Water Resources, Productive Natural Resources, Biodiversity and Habitat, and Sustainable Energy. The index, which has been continuously developed and updated every two years, was last evaluated in 2022 using 40 variables grouped under 11 issue categories aligned with three main policy objectives.

Studies on the Environmental Performance Index have been conducted using the least squares method (Azizi and Sangachin, 2022; Samimi and Ahmadvour, 2001), econometric models (Duit et al., 2012), structural equation models (Pujiati et al., 2023), MCDA techniques (Ajripour and Alamian, 2021; Altıntaş, 2021; Ayçin and Çakın, 2019), and regression-correlation analysis. Many different indices are used to rank countries in terms of sustainability and environmental performance. Some of these include the Food Sustainability Index (Food Loss and Waste Rate, Sustainable Agriculture, Nutrition Problems), the Sustainable Development Report (Development Index, Ecological Impact Index), the Eco-Innovation Index (Eco-innovation Inputs, Eco-innovation Activities, Eco-innovation Outputs, Resource Efficiency, Socioeconomic Impact), and the Environmental Performance Index (Climate, Ecosystem Diversity, Environmental Health).

Since numerous indicators are considered when assessing the environmental performance of institutions, firms, countries, and cities, multi-criteria decision-making (MCDM) methods are widely preferred in the literature for environmental problems. Uygun and Dede (2016) used DEMATEL, ANP, and TOPSIS methods to examine the environmental performance of green supply chains. Carli et al. (2018) applied the AHP method to evaluate the environmental sustainability performance of metropolitan municipalities. Awasthi et al. (2010) used the TOPSIS method to analyze the environmental performance of suppliers. Khoshnava et al. (2018) ranked green building materials using the DEMATEL method. Tuzkaya et al. (2009) evaluated the environmental performance of suppliers by applying fuzzy ANP and the PROMETHEE method.

Although numerous studies have applied MCDM techniques to environmental and sustainability assessments, limited research has comparatively examined how different weighting approaches influence country rankings based on EPI indicators. In particular, the integrated use of CRITIC, Entropy, and PROMETHEE methods within the same analytical framework remains underexplored in the literature.

Therefore, this study aims to analyze the environmental performance of 180 countries using the 2022 EPI dataset by integrating CRITIC and Entropy weighting methods with the PROMETHEE ranking approach. The study contributes to the literature by examining how objective weighting methods may lead to different ranking outcomes compared to the original EPI weighting structure, thereby highlighting the sensitivity of environmental performance rankings to methodological preferences.

2. METHODS

In this study, 11 indicators measuring the environmental performance of 180 countries were used. These indicators are climate change, air quality, waste management, water and health measures, heavy metals, ecosystem diversity, biodiversity and habitat, ecosystem services, fisheries, agriculture, acid rain, and water resources, based on 2022 data. The aim of this study is to examine the weights of 11 EPI indicators using two different methods. Two objective weighting methods were employed to determine the importance of the indicators: CRITIC and Entropy. The data used in the study were taken from the Environmental Performance Index 2022 report developed by Yale University.

In the literature, no study has been identified that integrates CRITIC, Entropy, and PROMETHEE methods simultaneously in assessing the environmental performance of countries. Furthermore, no previous research has combined the Environmental Performance Index with CRITIC, Entropy, and PROMETHEE methods within the same analytical framework.

3. RESULTS

The rankings and weightings obtained in this study show many similarities with Şener (2021). Three different rankings were constructed: Entropy-weighted PROMETHEE, CRITIC-weighted PROMETHEE, and EPI-weighted PROMETHEE. These rankings were compared with the original EPI rankings. For this purpose, the squared error mean (SEM) values between the rankings were calculated.

It is observed that European countries with high levels of socioeconomic development have generally taken harmful environmental indicators under control. This finding suggests that higher levels of socioeconomic development and education may be associated with stronger environmental performance.

Similar to Şener (2021), the lowest SEM value was obtained between the EPI-weighted PROMETHEE ranking and the original EPI ranking. The highest SEM value was obtained between the Entropy-weighted PROMETHEE ranking and the original EPI ranking, as Entropy weights are concentrated on a limited number of variables, leading to greater deviations from the original weighting structure.

CONCLUSION

The most important variables in the CRITIC method are “Biodiversity and Habitat,” “Water Resources,” and “Water and Health Measures.” The most important variables in the Entropy method are “Ecosystem Services,” “Waste Management,” and “Agriculture.” While the “Ecosystem Services” variable ranks first in the Entropy method, it ranks last in the CRITIC method, indicating that weighting approaches may produce significantly different importance structures.

Multi-objective decision-making methods employ different calculation techniques and weighting structures. Therefore, the performance of different MCDM methods can be examined in future studies by applying alternative weighting schemes using the EPI or other composite indices. Comparative analyses may provide deeper insights into the robustness and consistency of environmental performance rankings.

As a result of the rankings, it is observed that European countries generally exhibit the highest environmental performance, whereas many African and Middle Eastern countries appear at the lower end of the rankings. Denmark has been identified as the best-performing country across rankings obtained using different weighting approaches.

KAYNAKÇA

- A Abdullah, L., Chan, W., and Afshari, A. (2019). Application of PROMETHEE method for green supplier selection: a comparative result based on preference functions. *Journal of Industrial Engineering* , 15, 271-285.
- Ajripour, I., and Alamian, R. (2021). Comparing Green Economy in Iran with OECD Asian Countries by Applying TOPSIS and GI Method. *Theory, Methodology, Practice-Review of Business and Management*, 17(01), 15-26.
- Akandere, G. (2021). Kuşak Yol Ülkelerinin Lojistik ve Çevresel Performansının Analizi. *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 20(4), 1893-1915.
- Akandere, G., and Zerenler, M. (2022). Doğu Avrupa Ülkelerinin Çevresel ve Ekonomik Performansının Bütünleşik CRITIC-TOPSIS Yöntemiyle Değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 25(Özel Sayı), 524-535.
- Akçakanat, Ö., Aksoy, E., ve Teker, T. (2018). CRITIC ve MDL Temelli EDAS yöntemi ile Tr-61 bölgesi bankalarının performans değerlendirmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(32), 1-24.
- Aksu, E. Ö., ve Gencer, C. T. (2018). Veri Zarflama Analizi ile Oecd Ülkelerinin Çevre Performansının İncelenmesi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 191-206.
- Al-Rashdan, D., Al-Kloub, B., Dean, A., and Al-Shemmeri, T. (1999). Environmental impact assessment and ranking the environmental projects in Jordan. *European Journal of Operational Research*, 118(1), 30-45.
- Altıntaş, F. (2021). Çevre Performanslarının Entropi Tabanlı ROV, ARAS ve COPRAS Yöntemleri ile Ölçülmesi: G20 Grubu Ülkeleri Örneği. *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 10(1), 55-78.
- Altintas, F. F. (2021). Ülkelerin Çevre Performanslarının CODAS ve TOPSIS Yöntemleri ile Ölçülmesi: G7 Grubu Ülkeleri Örneği. *Ulakbilge Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(59), 544-559.
- Avikal, S., Mishra, P. K., and Jain, R. (2014). A Fuzzy AHP and PROMETHEE method-based heuristic for disassembly line balancing problems. *International Journal of Production Research*, 52(5), 1306-1317.
- Awasthi, A., Chauhan, S. S., and Goyal, S. K. (2010). A fuzzy multicriteria approach for evaluating environmental performance of suppliers. *International journal of Production Economics*, 126(2), 370-378.2.
- Ayçin, E., ve Çakin, E. (2019). Ülkelerin Çevresel Performanslarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Bulanık Mantık Tabanlı Bir Yaklaşım ile Bütünleşik Olarak Değerlendirilmesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 14(3), 631-656.

- Basiago, A. (1999). Economic, Social And Environmental Sustainability In Development Theory and Urban Planning Practice, *The Environmentalist* 19(2), 145-161.
- Bao, Q., Yuxin, Z., Yuxiao, W., and Feng, Y. (2020). Can entropy weight method correctly reflect the distinction of water quality indices?. *Water Resources Management*, 34, 3667-3674.
- Belton, V., & Stewart, T. J. (2002). *Multiple criteria decision analysis: An integrated approach*. Springer.
- Boulding, K. E. (2013). *The Economics of the Coming Spaceship Earth*, In H. Jarrett (ed.) Environmental Quality in a Growing Economy, (pp. 3-14). Baltimore, MD: Resources for the Future/Johns Hopkins University Press.
- Carli, R., Dotoli, M., and Pellegrino, R. (2018). Multi-criteria decision-making for sustainable metropolitan cities assessment. *Journal of Environmental Management*, 226, 46-61.
- Carson, R. (2009). *Silent spring*. Reynolds, M., Blackmore, C., & Smith, M. J. (Eds.). (Page: 11-21) The environmental responsibility reader. Zed Books Ltd..
- Chapin III, F.S., Torn, M.S. ve Tateno, M. (1996). "Principles of Ecosystem Sustainability". *American Naturalist*, 148(6), 1016-1037.
- Chithambaranathan, P., Subramanian, N., Gunasekaran, A., and Palaniappan, P. K. (2015). Service supply chain environmental performance evaluation using grey based hybrid MCDM approach. *International Journal Of Production Economics*, 166, 163-176.
- Dağdeviren, M. (2008). Decision making in equipment selection: an integrated approach with AHP and PROMETHEE. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19, 397-406.
- De Felice, F., Campagiorni, F., and Petrillo, A. (2013). Economic and environmental evaluation via an integrated method based on LCA and MCDA. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 99, 1-10.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G., and Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: The CRITIC method. *Computers and Operations Research*, 22(7), 763-770.
- Diakoulaki, D., and Karangelis, F. (2007). Multi-criteria decision analysis and cost-benefit analysis of alternative scenarios for the power generation sector in Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(4), 716-727.
- Evelyn, J. (1729). *Silva: or, a discourse of forest-trees, and the propagation of timber in his Majesty's dominions*, The Library of Princeton University, London.
- Gedik, Y. (2020). Sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlarla sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma. *Uluslararası Ekonomi Siyaset İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi*, 3(3), 196-215.

- Hou, Y., Iqbal, W., Muhammad Shaikh, G., Iqbal, N., Ahmad Solangi, Y., and Fatima, A. (2019). Measuring Energy Efficiency and Environmental Performance: A Case of South Asia. *Processes*, 7(6), 325.
- Hsu, A., Lloyd, A., and Emerson, J. W. (2013). What progress have we made since Rio? Results from the 2012 Environmental Performance Index (EPI) and Pilot Trend EPI. *Environmental Science and Policy*, 33, 171-185.
- Huang, I. B., Keisler, J., and Linkov, I. (2011). Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. *Science of The Total Environment*, 409(19), 3578-3594.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). Climate change 2021: The physical science basis. Cambridge University Press.
- Keiner, M. (2005). History, Definition(s) and Models of Sustainable Development, ETH Zurich, 1-8.
- Khalili, N. R., and Duecker, S. (2013). Application of multi-criteria decision analysis in design of sustainable environmental management system framework. *Journal of Cleaner Production*, 47, 188-198.
- Khoshnava, S. M., Rostami, R., Valipour, A., Ismail, M., and Rahmat, A. R. (2018). Rank of green building material criteria based on the three pillars of sustainability using the hybrid multi criteria decision making method. *Journal of cleaner production*, 173, 82-99.
- Lu, X., Wang, L., Li, L. Y., Lei, K., Huang, L., and Kang, D. (2010). Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji, NW China. *Journal of hazardous materials*, 173(1-3), 744-749.
- Maxim, A. (2014). Sustainability assessment of electricity generation technologies using weighted multi-criteria decision analysis. *Energy Policy*, 65, 284-297.
- Myllyviita, T., Holma, A., Antikainen, R., Lähtinen, K., and Leskinen, P. (2012). Assessing environmental impacts of biomass production chains—application of life cycle assessment (LCA) and multi-criteria decision analysis (MCDA). *Journal of cleaner production*, 29, 238-245.
- Mousavi, S. M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Heydar, M., and Ebrahimnejad, S. (2013). Multi-criteria decision making for plant location selection: an integrated Delphi–AHP–PROMETHEE methodology. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 38, 1255-1268.
- Pan, Y., Zhang, C. C., Lee, C. C., and Lv, S. (2024). Environmental performance evaluation of electric enterprises during a power crisis: Evidence from DEA methods and AI prediction algorithms. *Energy Economics*, 130, 107285.
- Pimonenko, T., Lyulyov, O., Chygryn, O., and Palienko, M. (2018). Environmental Performance Index: relation between social and economic welfare of the countries. *Environmental Economics*, 9(3), 1.

- Ramanathan, R. (2001). A note on the use of the analytic hierarchy process for environmental impact assessment. *Journal of Environmental Management*, 63(1), 27-35.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill.
- Samimi, A. J., Ghaderi, S., and Ahmadvpour, M. (2011). Environmental sustainability and economic growth: evidence from some developing countries. *Advances in Environmental Biology*, 5(5), 961-966.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379-423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- Smallenbroek, O., Caperna, G., and Papadimitriou, E. (2023). *JRC audit of the Environmental Performance Index 2022*. JRC Publishing.
- Şener, S. (2022). Legatum Refah Endeksi göstergeleri ve verileri kullanılarak refahın çok kriterli karar verme yöntemleri ile değerlendirilmesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 17(1), 46-70.
- Turner, G.M. (2008). "A Comparison of the Limits to Growth With 30 Years of Reality". *Global Environmental Change*, 18, 397-411.
- Tuzkaya, G., Ozgen, A., Ozgen, D., and Tuzkaya, U. R. (2009). Environmental performance evaluation of suppliers: A hybrid fuzzy multi-criteria decision approach. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 6, 477-490.
- Uygun, Ö., ve Dede, A. (2016). Performance evaluation of green supply chain management using integrated fuzzy multi-criteria decision making techniques. *Computers and Industrial Engineering*, 102, 502-511.
- Wang, J. J., Jing, Y. Y., Zhang, C. F., and Zhao, J. H. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13(9), 2263-2278.
- Wendling, Z. A., Emerson, J. W., de Sherbinin, A., & Esty, D. C. (2022). *2022 Environmental Performance Index*. Yale Center for Environmental Law & Policy.
- Wolf, M. J., Emerson, J. W., Esty, D. C., de Sherbinin, A., Wendling, Z. A., et al. (2022). *2022 Environmental Performance Index Results*. New Haven, CT: Yale Center for Environmental Law & Policy. Disponible en.
- Yavuz, V. A. (2010). Sürdürülebilirlik Kavramı ve İşletmeler Açısından Sürdürülebilir Üretim Stratejileri/Concept of Sustainability and Sustainable Production Strategies for Business Practices. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(14), 63-86.

- Zhao, H., Zhao, H., and Guo, S. (2017). Evaluating the comprehensive benefit of eco-industrial parks by employing multi-criteria decision making approach for circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2262-2276.
- Zhu, Y., Tian, D., and Yan, F. (2020). Effectiveness of entropy weight method in decision-making. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, 1-5.
- Zuo, X., Hua, H., Dong, Z., and Hao, C. (2017). Environmental performance index at the provincial level for China 2006–2011. *Ecological Indicators*, 75, 48-56.
- <https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/collection/epi/sets/browse>

KATKI ORANI / CONTRIBUTION RATE	AÇIKLAMA / EXPLANATION	KATKIDA BULUNANLAR / CONTRIBUTORS
Fikir veya Kavram / <i>Idea or Notion</i>	Araştırma hipotezini veya fikrini oluşturmak / <i>Form the research hypothesis or idea</i>	Gonca YÜZBAŞI
Tasarım / <i>Design</i>	Yöntemi, ölçeği ve deseni tasarlamak / <i>Designing method, scale and pattern</i>	Gonca YÜZBAŞI
Veri Toplama ve İşleme / <i>Data Collecting and Processing</i>	Verileri toplamak, düzenlenmek ve raporlamak / <i>Collecting, organizing and reporting data</i>	Gonca YÜZBAŞI
Tartışma ve Yorum / <i>Discussion and Interpretation</i>	Bulguların değerlendirilmesinde ve sonuçlandırılmasında sorumluluk almak / <i>Taking responsibility in evaluating and finalizing the findings</i>	Gonca YÜZBAŞI
Literatür Taraması / <i>Literature Review</i>	Çalışma için gerekli literatürü taramak / <i>Review the literature required for the study</i>	Gonca YÜZBAŞI