

T.C.
İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ
TİCARET VE FİNANS ENSTİTÜSÜ
FİNANS ANABİLİM DALI
ULUSLARARASI BANKACILIK VE FİNANS YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

SOSYAL FİNANS VE YEŞİL FİNANS BAĞLAMINDA EMİSYON
TİCARETİ MODELİ ÖNERİSİ VE TÜRKİYE’NİN SÜRDÜRÜLEBİLİR
GELECEĞİ

Yüksek Lisans Tezi

Mustafa ABİDİNOĞLU

İSTANBUL, 2025

T.C.
İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ
TİCARET VE FİNANS ENSTİTÜSÜ
FİNANS ANABİLİM DALI
ULUSLARARASI BANKACILIK VE FİNANS YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

SOSYAL FİNANS VE YEŞİL FİNANS BAĞLAMINDA EMİSYON
TİCARETİ MODELİ ÖNERİSİ VE TÜRKİYE’NİN SÜRDÜRÜLEBİLİR
GELECEĞİ

Yüksek Lisans Tezi

Mustafa ABİDİNOĞLU
200032770

Danışman: Prof. Dr. Hicabi ERSOY

İSTANBUL, 2025

ETİK BEYAN SAYFASI

Hazırlamış olduğum tez özgün bir çalışma olup YÖK ve İstanbul Ticaret Üniversitesi Lisansüstü Yönetmeliklerine uygun olarak hazırlanmıştır. Ayrıca, bu çalışmayı yaparken bilimsel etik kurallarına tamamiyla uyduğumu; yararlandığım tüm kaynakları gösterdiğimi ve hiçbir kaynaktan yaptığım ayrıntılı alıntı olmadığını beyan ederim. Bu tezin ihtiva ettiği tüm hususlar şahsi görüşüm olup İstanbul Ticaret Üniversitesi'nin resmi görüşünü yansıtmamaktadır.

Mustafa ABİDİNOĞLU

ÖZET

Bu çalışma, Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda etkili bir emisyon ticareti sistemi (ETS) modeli önerisi sunmayı amaçlamaktadır. Araştırma, sosyal finans ve yeşil finans perspektiflerini bütünleştirerek, ülkenin kendine özgü koşullarını dikkate alan kapsamlı bir model geliştirmeyi hedeflemektedir. Çalışma kapsamında, uluslararası ETS uygulamaları incelenmiş, benzer ekonomik yapıya sahip ülkelerle karşılaştırmalı analizler gerçekleştirilmiş ve Türkiye için optimal sistem parametreleri belirlenmiştir.

Gerçekleştirilen analizler, Türkiye'nin emisyon profilinde enerji sektörünün %75.4 ve endüstriyel süreçlerin %23.3'lük pay ile öne çıktığını göstermektedir. Bu doğrultuda geliştirilen model önerisi, başlangıç fiyatı 0.54 USD/tCO₂e ve 0.44-0.65 USD/tCO₂e fiyat bandı ile toplam emisyonların %98.7'sini kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Kümeleme analizi sonucunda Türkiye ile benzer karakteristikler gösteren Endonezya ve Meksika'nın deneyimleri, sistem tasarımında yol gösterici olmuştur.

Çalışma, kısa vadede yasal ve kurumsal altyapının güçlendirilmesini, orta vadede sistemin tam ölçekli uygulamaya geçirilmesini ve uzun vadede piyasa derinliğinin artırılmasını öngören kademeli bir geçiş stratejisi önermektedir. Önerilen model, karbon piyasası araçlarının yeşil finans ekosistemiyle entegrasyonunu vurgulamakta ve sürdürülebilir finans stratejileriyle uyumlu bir yapı sunmaktadır. Çalışmanın bulguları, başarılı bir ETS uygulaması için kamu ve özel sektör paydaşları arasında etkin koordinasyon ve işbirliğinin önemini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Emisyon Ticareti Sistemi, Sosyal Finans, Yeşil Finans, Sürdürülebilir Kalkınma, Karbon Fiyatlandırma.

ABSTRACT

This study aims to propose an effective emissions trading system (ETS) model for Turkey in line with its sustainable development goals. The research focuses on developing a comprehensive model that integrates social finance and green finance perspectives while considering the country's unique conditions. Within the scope of the study, international ETS implementations were examined, comparative analyses were conducted with countries having similar economic structures, and optimal system parameters for Turkey were determined. The analyses reveal that the energy sector accounts for 75.4% and industrial processes for 23.3% of Turkey's emission profile. Accordingly, the proposed model is designed with an initial price of 0.54 USD/tCO_{2e} and a price band of 0.44-0.65 USD/tCO_{2e}, covering 98.7% of total emissions. The experiences of Indonesia and Mexico, which showed similar characteristics to Turkey in the cluster analysis, have provided guidance in system design.

The study proposes a gradual transition strategy that envisions strengthening the legal and institutional infrastructure in the short term, implementing the system at full scale in the medium term, and increasing market depth in the long term. The proposed model emphasizes the integration of carbon market instruments with the green finance ecosystem and presents a structure aligned with sustainable finance strategies. The findings of the study highlight the importance of effective coordination and cooperation between public and private sector stakeholders for successful ETS implementation.

Keywords: *Emissions Trading System, Social Finance, Green Finance, Sustainable Development, Carbon Pricing.*

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, yol gösteren kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Hicabi Ersoy'a en derin saygı, sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Teze yaptıkları değerli katkılar ve ufuk açıcı değerlendirmeleri için saygıdeğer jüri üyelerim Prof. Dr. Arif Orçun Söylemez ve Doç. Dr. Sıtkı Sönmezer hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu yüksek lisans tezinin hazırlanmasında manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, hayatım boyunca yanımda olan, sevgileriyle bana güç veren değerli annem ve babama en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Varlıklarıyla bana güven aşılayan, her zaman en iyisini yapmam için beni teşvik eden, fedakârlıklarıyla bugünlere gelmemi sağlayan kıymetli aileme minnettarım.

Bu çalışmayı; sevgilerine, dualarına ve emeklerine karşı küçük bir teşekkür niyetiyle sevgili annem ve babama ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

ETİK BEYAN SAYFASI	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	iv
TABLolar LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
KISALTMALAR	viii
GİRİŞ	1
1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	4
1.1. Sosyal Finans: Tanımı ve Kapsamı	4
1.2. Yeşil Finans: Tanımı ve Stratejik Önemi	5
1.3. Karbon Ticareti ve Emisyon Ticaret Sistemi (ETS)	7
1.3.1. Kavramlar ve Modeller	7
1.4. Türkiye'nin Sürdürülebilir Finansman Stratejileri	8
2. LİTERATÜR TARAMASI	10
2.1. Sosyal Finans Literatürü.....	10
2.2. ETS'nin Uluslararası Deneyimleri ve Başarı Kriterleri.....	11
2.3. Türkiye'deki Uygulamalar ve Karşılaşılan Zorluklar	12
2.4. Karbon Ticareti ve Sürdürülebilir Kalkınma İlişkisi.....	13
3. TÜRKİYE İÇİN EMİSYON TİCARETİ MODELİ ÖNERİSİ	15
3.1. Türkiye'nin Mevcut Durumu ve İhtiyaç Analizi	16
3.1.1. Emisyon Trendleri	16
3.1.2. Mevcut Karbon Emisyon Payları ve Yıllara Göre Gelişim	17
3.1.3. Türkiye İçin Emisyon Tahmini.....	20
3.1.4. Türkiye Dışı Karbon Piyasası Trendleri	21
3.2. ETS Model Önerisi.....	26
3.2.1. Model Önerisi Kapsamında Karşılaştırma Analizi	27
3.2.2. Kümeleme Analizi	28
3.2.3. Parametre Analizi	35
3.2.4. Türkiye ETS Modeli Bulguları	38
SONUÇ VE ÖNERİLER	40
KAYNAKLAR	43
EKLER	51

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No.

Tablo 1. Önerilen ETS Parametreleri	39
--	----



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No.
Şekil 1. Türkiye Emisyon Trendleri.....	17
Şekil 2. Sektörel Emisyon Payları	18
Şekil 3. Toplam Emisyonların Yıllara Göre Analizi	18
Şekil 4. Yıllık Emisyon Büyüme Oranı	20
Şekil 5. Emisyon Tahmini	21
Şekil 6. Karbon Fiyatlandırma Trendleri	22
Şekil 7. Emisyon Kapsam Oranları.....	22
Şekil 8. Karbon Vergisi Parametreleri Korelasyon Matrisi	24
Şekil 9. Fiyat ve Kapsam İlişkisi	26
Şekil 10. Dirsek Metodu	30
Şekil 11. Dirsek Metodu ile Optimum Küme Sayısı	30
Şekil 12. Silhouette Analizi Sonuçları	32
Şekil 13. Ülkelerin Emisyon Profillerine Göre Kümelenmesi.....	34
Şekil 14. Toplam Emisyon Trendleri.....	36
Şekil 15. Sektörel Emisyon Payları	37
Şekil 16. Karbon Fiyat Trendleri ve Emisyon Kapsam Oranı	38

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
BDDK	: Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu
CBAM	: Karbon Sınır Düzenleme Mekanizması (Carbon Border Adjustment Mechanism)
CO₂e	: Karbondioksit Eşdeğeri
ESG	: Çevresel, Sosyal ve Yönetişim (Environmental, Social and Governance)
ETS	: Emisyon Ticaret Sistemi (Emissions Trading System)
MRV	: �l�me, Raporlama ve Doğrulama (Monitoring, Reporting and Verification)
SPK	: Sermaye Piyasası Kurulu
tCO₂e	: Ton Karbondioksit Eşdeğeri
Y�K	: Yükseköğretim Kurulu

GİRİŞ

Küresel iklim krizi ve ekolojik sistemlerdeki bozulmalar, insanlığın karşı karşıya kaldığı en büyük tehditlerden biri haline gelmiştir. Bu bağlamda, sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilmesinde sosyal ve yeşil finansman araçlarının önemi, her geçen gün daha da belirgin hale gelmektedir. Özellikle gelişmekte olan ekonomilerde, çevresel sürdürülebilirlik ile ekonomik büyüme arasındaki hassas dengenin korunması, yenilikçi finansal mekanizmaların geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Emisyon ticareti sistemlerinin sürdürülebilir finansman alanındaki rolü, özellikle gelişmekte olan ekonomiler için kritik bir öneme sahiptir. Türkiye gibi ekonomik büyüme ile çevresel sürdürülebilirlik arasında denge kurmaya çalışan ülkeler için, bu sistemlerin etkin tasarımı ve uygulanması, yeşil dönüşümün finansmanında önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır.

Bu çalışma, Türkiye'nin sürdürülebilir finans stratejilerinde emisyon ticaret sistemlerinin (ETS) potansiyel rolünü çok boyutlu bir yaklaşımla incelemeyi ve özgün bir model önerisiyle literatürdeki mevcut boşlukları gidermeyi hedeflemektedir. Düşük karbon ekonomisine geçiş sürecinde ETS'nin sunduğu fırsatlar ve yeşil yatırımları teşvik etme potansiyeli, sürdürülebilir kalkınmanın finansmanında kritik bir araç olarak öne çıkmaktadır (Ada, 2022; European Commission [EU], 2019; Zengin, 2020).

Türkiye'nin karbon salınımını azaltmaya yönelik mevcut politika çerçevesi, uluslararası standartlarla uyumlu bir ETS mekanizmasının yokluğunda önemli kısıtlamalarla karşı karşıyadır. Bu yapısal eksiklik, hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirlik açısından çok yönlü riskler barındırmaktadır (Kuzucu, 2015; Resources for the Future [RFF], 2023). Bunun yanı sıra, sosyal ve yeşil finans enstrümanlarının yeterli düzeyde kullanılmaması ve mevcut finansal sistemle entegrasyonundaki zorluklar, söz konusu politikaların etkinliğini önemli ölçüde sınırlandırmaktadır (Şimşek ve Tunalı, 2022).

Mevcut durumda, karbon emisyonlarının fiyatlandırılması ve ticaretine yönelik sistematik bir mekanizmanın bulunmaması, işletmelerin çevresel etkilerini

içselleştirmelerini engellemekte ve yeşil teknolojilere yönelik yatırımların finansmanını zorlaştırmaktadır. Bu durum, Türkiye'nin uluslararası sürdürülebilirlik taahhütlerini yerine getirmesini güçleştirmekte ve rekabet gücünü olumsuz etkilemektedir.

Çalışma, aşağıdaki temel araştırma sorularına kapsamlı yanıtlar aramaktadır:

- Türkiye'nin sosyoekonomik yapısı, endüstriyel kompozisyonu ve çevresel koşulları göz önüne alındığında, nasıl bir ETS modeli en etkili sonuçları üretebilir?
- ETS'nin Türkiye'nin mevcut ve geliştirilmekte olan sosyal ve yeşil finans stratejileriyle entegrasyonu hangi kurumsal ve operasyonel mekanizmalarla sağlanabilir?
- Önerilen model, Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşma sürecini nasıl hızlandırabilir ve bu süreçte karşılaşılabilecek potansiyel engeller nelerdir?

Bu araştırma, sistematik bir metodoloji çerçevesinde yapılandırılmıştır. İlk aşamada, kapsamlı bir literatür analizi yoluyla ETS'nin teorik altyapısı, uluslararası uygulama örnekleri ve başarı faktörleri incelenmektedir. Türkiye özelinde bir model geliştirmek için çoklu doğrusal regresyon gibi analitik yöntemlerden faydalanılmakta ve farklı senaryolar altında modelin etkinliği test edilmektedir.

Tez çalışması, sistematik ve bütüncül bir yaklaşımla organize edilmiştir. Giriş bölümünde problem tanımı, araştırmanın amacı ve önemi detaylı şekilde ortaya konmaktadır. Kavramsal çerçeve bölümünde sosyal finans, yeşil finans, ETS ve sürdürülebilirlik kavramları tarihsel gelişimleri, teorik temelleri ve pratik uygulamalarıyla birlikte derinlemesine ele alınmaktadır.

Literatür taraması bölümünde, konu ile ilgili mevcut akademik çalışmalar, uluslararası raporlar ve politika belgeleri sistematik bir şekilde analiz edilmektedir. Metodoloji bölümünde araştırma tasarımı, veri toplama yöntemleri ve analiz teknikleri detaylandırılmaktadır. Bulgular ve tartışma bölümünde, araştırma sonuçları kapsamlı bir şekilde değerlendirilmekte ve önerilen modelin potansiyel etkileri tartışılmaktadır.

Çalışma, Türkiye'nin kendine özgü koşullarını dikkate alan, uygulanabilir ve etkili bir ETS model önerisiyle sonuçlandırılmakta, politika yapıcılar ve uygulayıcılar için somut öneriler sunulmaktadır.



1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

1.1. Sosyal Finans: Tanımı ve Kapsamı

Sosyal finans, geleneksel finansal yaklaşımların ötesine geçerek, finansal getirilerle sosyal faydayı dengeleyen yenilikçi bir finansman modelini temsil etmektedir. Bu model, salt kâr maksimizasyonundan ziyade, toplumsal sorunlara sürdürülebilir çözümler üretmeyi hedefleyen projelere kaynak sağlamayı amaçlamaktadır (Ada, 2022; EU, 2019; Kuzucu, 2015; Zengin, 2020). Sosyal finansın temel felsefesi, finansal araçların toplumsal refahı artırmak için sistematik bir şekilde kullanılmasına dayanmaktadır.

Sosyal finans, geleneksel finans sistemlerinin ötesine geçerek toplumsal ve çevresel etkileri ön planda tutan yatırım stratejilerini kapsamaktadır. Bu yaklaşım, finansal getiri ile sosyal etki arasında optimum denge kurarak, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada önemli bir araç sunmaktadır.

Sosyal finans kapsamında geliştirilen araçlar, çok çeşitli toplumsal ihtiyaçlara cevap verebilecek şekilde tasarlanmıştır. Mikrofinans programları, bu araçların en yaygın örneklerinden biridir. Bu programlar, geleneksel bankacılık sisteminden yararlanamayan düşük gelirli bireylere ve küçük işletmelere finansal kaynak sağlayarak ekonomik kalkınmaya katkıda bulunmaktadır (International Finance Corporation [IFC], 2020). Sosyal etki tahvilleri ise, kamu sektörü ve özel sektör işbirliğiyle toplumsal sorunlara yenilikçi çözümler getiren bir diğer önemli araçtır.

Sosyal finansın ayırt edici özelliklerinden biri, finansal sürdürülebilirlik ile sosyal etki arasında optimum denge kurma çabasıdır. Bu yaklaşım, yatırımcıların finansal getiri beklentilerini karşılarken, toplumsal fayda yaratmayı da garanti altına almaktadır. Örneğin, sürdürülebilir yatırım fonları, çevresel ve sosyal kriterleri göz önünde bulundurarak yatırım kararları almakta, böylece hem finansal getiri sağlamak hem de sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunmaktadır.

Sosyal finansın toplumsal refah üzerindeki etkisi, özellikle dezavantajlı grupların ekonomik sisteme entegrasyonu açısından kritik öneme sahiptir. Bu model, finansal kaynaklara erişimde yaşanan eşitsizlikleri azaltarak, toplumsal kalkınmanın daha

kapsayıcı ve adil bir zeminde gerçekleşmesini sağlamaktadır. Ayrıca, sosyal finans mekanizmaları, işletmelerin çevresel ve sosyal sorumluluklarını yerine getirmelerini teşvik ederek, sürdürülebilir iş modellerinin yaygınlaşmasına katkıda bulunmaktadır (Şimşek ve Tunalı, 2022).

Günümüzde sosyal finans, küresel sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada stratejik bir araç haline gelmiştir. Bu model, özellikle:

- Yoksulluğun azaltılması
- Eğitim ve sağlık hizmetlerine erişimin artırılması
- Cinsiyet eşitliğinin sağlanması
- Çevresel sürdürülebilirliğin desteklenmesi
- İstihdam olanaklarının geliştirilmesi

gibi alanlarda somut çözümler sunmaktadır.

1.2. Yeşil Finans: Tanımı ve Stratejik Önemi

Yeşil finans, çevresel sürdürülebilirliği merkeze alan ve finansal kaynakların sistematik bir şekilde yeşil projelere yönlendirilmesini sağlayan kapsamlı bir finansman çerçevesidir (EU, 2019). Bu yaklaşım, geleneksel finansal sistemin çevresel etkileri göz ardı eden yapısını dönüştürerek, sürdürülebilir bir ekonomik modele geçişi hızlandırmayı hedeflemektedir.

Yeşil finansın stratejik önemi, özellikle küresel iklim krizi bağlamında giderek artmaktadır. Bu finansman modeli, aşağıdaki temel amaçlara hizmet etmektedir:

- İklim Değişikliğiyle Mücadele:
 - Sera gazı emisyonlarının azaltılması
 - Yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişin finansmanı
 - Enerji verimliliği projelerinin desteklenmesi
- Çevresel Risklerin Yönetimi:
 - Doğal afet risklerinin finansal etkilerinin azaltılması
 - Ekolojik sistemlerin korunması

- Biyoçeşitliliğin sürdürülmesi
- Sürdürülebilir Ekonomik Büyüme:
 - Yeşil teknolojilerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması
 - Döngüsel ekonomi modellerinin desteklenmesi
 - Sürdürülebilir altyapı yatırımlarının finansmanı (Zengin, 2020).

Yeşil finans araçları, bu amaçları gerçekleştirmek için çeşitli mekanizmalar sunmaktadır:

Yeşil Tahviller:

- Çevresel projelerin finansmanı için ihraç edilen özel amaçlı borçlanma araçları
- Standartlaştırılmış kriterlere göre değerlendirilen proje portföyleri
- Şeffaf raporlama ve izleme mekanizmaları

Yeşil Krediler:

- Çevresel sürdürülebilirlik kriterlerine bağlı kredi mekanizmaları
- Performansa dayalı faiz oranı ayarlamaları
- Sektörel dönüşümü destekleyen özel kredi programları

Yeşil Sigortalar:

- Çevresel risklere karşı koruma sağlayan sigorta ürünleri
- İklim değişikliğine adaptasyon maliyetlerinin finansmanı
- Sürdürülebilir iş modellerini teşvik eden risk değerlendirme yaklaşımları

Avrupa Yeşil Mutabakatı kapsamında yeşil finans, stratejik bir politika aracı olarak konumlandırılmaktadır (RFF, 2023). Bu çerçevede:

- 2050'ye kadar karbon nötrlüğü hedefine ulaşmak
- Enerji sistemlerinin dönüşümünü finanse etmek
- Sürdürülebilir ulaşım altyapısını geliştirmek
- Döngüsel ekonomiye geçişi desteklemek gibi hedefler için yeşil finans araçları kritik rol oynamaktadır.

Yeşil finansın sosyal boyutu da önemli bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Bu model:

- Adil geçiş süreçlerinin finansmanını sağlayarak
- İstihdam olanaklarını geliştirerek
- Toplumsal eşitsizlikleri azaltarak
- Yaşam kalitesini yükselterek sürdürülebilir kalkınmanın sosyal hedeflerine de katkıda bulunmaktadır.

Yeşil finans araçlarının çeşitlendirilmesi ve derinleştirilmesi, emisyon ticaret sistemlerinin etkinliğini artıran tamamlayıcı bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, ETS'nin yeşil finans ekosistemi ile entegrasyonu, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada sinerjik bir etki yaratmaktadır.

1.3. Karbon Ticareti ve Emisyon Ticaret Sistemi (ETS)

1.3.1. Kavramlar ve Modeller

Karbon ticareti, küresel iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir piyasa mekanizması olarak ortaya çıkmıştır. Bu sistem, sera gazı emisyonlarını ekonomik bir değer haline getirerek işletmelerin ve ülkelerin çevresel etkilerini içselleştirmelerini sağlayan yenilikçi bir yaklaşımı temsil etmektedir (World Bank, 2021). Sistemin temelinde, belirli bir coğrafi bölge veya sektör için toplam emisyon üst sınırının belirlenmesi ve bu sınır dahilinde emisyon kotalarının katılımcılar arasında dağıtılması yatmaktadır. Bu yaklaşım, işletmelere emisyonlarını azaltma veya diğer katılımcılardan kredi satın alma esnekliği sağlayarak, en maliyet etkin çözümlerin hayata geçirilmesini teşvik etmektedir.

Emisyon Ticaret Sistemi (ETS), karbon ticaretinin en yaygın ve sistematik uygulaması olarak öne çıkmaktadır (Abdurrahim, 2023). Bu sistem, enerji üretimi, ağır sanayi ve havacılık gibi yüksek emisyon üreten sektörleri kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. ETS'nin etkinliği, güçlü bir kurumsal yapı, şeffaf tahsisat mekanizmaları ve istikrarlı bir piyasa işleyişi ile doğrudan ilişkilidir. Sistem içerisinde emisyon tahsisatları, ücretsiz dağıtım ve açık artırma gibi farklı mekanizmalarla katılımcılara aktarılmakta, bu süreçte sektörel özellikler ve rekabet koşulları göz önünde bulundurulmaktadır.

Avrupa Birliği ETS modeli, dünyanın en gelişmiş karbon piyasası örneğini teşkil etmektedir. Bu model, merkezi bir kayıt sistemi, harmonize edilmiş kurallar ve g   l  g  zetim mekanizmalarıyla desteklenen kapsamlı bir kurumsal yapıya sahiptir (European Environment Agency [EEA], 2022). AB ETS, karbon kaçağı risklerini g  zetken tahsisat yönetimi ve piyasa istikrarını korumaya yönelik mekanizmalarla, sürdürülebilir bir karbon fiyatlandırma sistemi oluşturmayı başarmıştır. Sistem, düşük karbonlu teknolojilere yatırımı teşvik eden fiyat sinyalleri üreterek, yeşil dönüşümün finansmanında kritik bir rol oynamaktadır (Hotunluoğlu ve  z ağ, 2015).

ETS'nin yeşil finans ekosistemiyle entegrasyonu, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada stratejik öneme sahiptir. Bu entegrasyon, karbon fiyatlandırmasının yarattığı ekonomik sinyaller aracılığıyla temiz teknoloji yatırımlarını teşvik etmekte ve yeşil projelerin finansmanı için kaynak yaratmaktadır. Ayrıca, sistem içerisinde geliştirilen risk yönetimi araçları, işletmelerin karbon fiyat risklerini etkin bir şekilde yönetmelerine ve dönüşüm süreçlerini optimize etmelerine olanak sağlamaktadır.

1.4. Türkiye'nin Sürdürülebilir Finansman Stratejileri

Türkiye'nin sürdürülebilir finansman alanındaki çabaları, küresel sürdürülebilirlik gündeminin ivme kazanmasıyla birlikte son yıllarda önemli bir gelişim göstermiştir. Ancak, bu alandaki uygulamaların uluslararası standartlarla tam uyumu henüz sağlanamamış olup, özellikle karbon fiyatlandırma ve ETS mekanizmalarının eksikliği, ülkenin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasında önemli bir engel teşkil etmektedir (IFC, 2020). Merkez Bankası, BDDK ve SPK gibi düzenleyici kurumların sürdürülebilir finans alanında geliştirdikleri politikalar ve düzenlemeler, sistemik bir dönüşümün başlangıç aşamasını oluşturmaktadır.

Türkiye'de sürdürülebilir finansman stratejilerinin gelişimi, finansal sistemin yapısal özellikleriyle yakından ilişkilidir. Mevcut durumda, yeşil tahvil ve sukuk ihraçları, sürdürülebilirlik bağlantılı krediler ve ESG odaklı yatırım fonları gibi araçlar piyasada yer almakta, ancak bu araçların derinliği ve çeşitliliği henüz istenilen düzeye ulaşmamaktadır (Narman, 2015). Finansal kuruluşların sürdürülebilirlik kriterlerini kredi süreçlerine entegre etme çabaları devam ederken, risk değerlendirme modellerinin geliştirilmesi ve veri standardizasyonu konularında önemli eksiklikler bulunmaktadır.

Ülkenin yenilenebilir enerji potansiyeli, genç ve dinamik nüfus yapısı ile coğrafi konumu, sürdürülebilir finansman alanında önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu potansiyelin etkin bir şekilde değerlendirilmesi, finansal piyasaların derinleştirilmesi ve kurumsal kapasitenin güçlendirilmesiyle mümkün olabilecektir. Özellikle yeşil finans araçlarının çeşitlendirilmesi ve likiditenin artırılması, piyasanın gelişimi için kritik öneme sahiptir.

Türkiye'nin sürdürülebilir finansman stratejilerinin geleceği, kısa, orta ve uzun vadeli hedeflerin sistematik bir şekilde hayata geçirilmesine bağlıdır. Yasal çerçevenin güçlendirilmesi ve pilot uygulamaların başlatılması kısa vadede öncelik taşırken, ETS'nin tam ölçekli uygulamaya geçirilmesi ve yeşil finans piyasasının derinleştirilmesi orta vadeli hedefler arasında yer almaktadır (Hotunluoğlu ve Özçağ, 2015). Uzun vadede ise karbon nötrlüğüne geçiş ve sürdürülebilir finansmanın ana akım haline gelmesi hedeflenmektedir.

Bu hedeflere ulaşılmasında, taksonomi sisteminin geliştirilmesi, raporlama standartlarının belirlenmesi ve teşvik mekanizmalarının tasarlanması gibi düzenleyici araçların yanı sıra, karbon piyasasının oluşturulması ve yeşil tahvil piyasasının geliştirilmesi gibi piyasa mekanizmalarının etkin bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Ayrıca, kurumsal koordinasyon mekanizmalarının güçlendirilmesi ve uluslararası işbirliklerinin artırılması, stratejik hedeflere ulaşılmasında kritik başarı faktörleri olarak öne çıkmaktadır.

Bu kapsamlı dönüşüm süreci, kamu ve özel sektör işbirliğinin artırılmasını gerektirmektedir. Özellikle yeşil tahviller ve yeşil krediler gibi finansman araçlarının teşvik edilmesi, enerji verimliliği projelerinin hayata geçirilmesine önemli katkılar sağlayabilir (Hotunluoğlu ve Özçağ, 2015). Türkiye'nin sürdürülebilir finansman alanındaki başarısı, bu stratejik yaklaşımın tutarlı ve kararlı bir şekilde uygulanmasına bağlı olacaktır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Sosyal Finans Literatürü

Sosyal finansın teorik ve uygulamalı temelleri üzerine yapılan akademik çalışmalar, bu alanın toplumsal kalkınmaya etkisini, sosyal girişimlerin finansmanındaki rolünü ve uluslararası uygulamaları kapsamlı bir şekilde ele almaktadır. Sosyal finans, özünde finansal kaynakların sosyal fayda sağlayacak şekilde yeniden dağıtılmasını amaçlayan yenilikçi bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır. Biancone ve Radwan (2019), sosyal finans araçlarının sosyal girişimlerin finansmanını kolaylaştırdığını ve sosyal refahın artırılmasında etkili olduğunu ortaya koymuştur.

Lehner ve Nicholls (2017) tarafından yapılan araştırma, sosyal finansın toplumsal girişimlerde güven oluşturma, finansman sağlama ve yatırımcılarla iletişim kurma bağlamındaki rolünü derinlemesine incelemiştir. Bu çalışmayı tamamlayıcı nitelikte, Tahiri Jouti (2019), sosyal finans ekosistemlerinin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada oynadığı rolü analiz etmiş ve bu ekosistemlerin kaynakların etkin dağılımı ve sosyal etki yaratma kapasitesi üzerindeki önemli etkisini vurgulamıştır.

Sosyal finans araçları arasında öne çıkan mikrofinans, sosyal tahviller ve etki yatırımları, modern portföy teorisi ile entegrasyon açısından da incelenmiştir. Cooper, Evnine ve Finkelman (2016), bu araçların portföy yönetiminde sosyal etkiler yaratma potansiyelini değerlendirirken, Geobey, Westley ve Weber (2012) sosyal finansın sosyal inovasyonu teşvik etme ve ekonomik kalkınmayı desteklemedeki kritik rolünü ortaya koymuştur.

Uluslararası düzeyde yapılan araştırmalar, sosyal finansın çevresel ve sosyal projelere destek sağlamak için nasıl yapılandırıldığını detaylı şekilde ele almaktadır. Rizzi, Pellegrini ve Battaglia (2018), sosyal finansman yöntemlerinin finansal ve sosyal etkiyi birleştiren inovasyonlarla nasıl güçlendirilebileceğini gösterirken, Moore, Westley ve Nicholls (2012) sosyal finansın sosyal inovasyon ile olan bağlantısını analiz ederek bu iki kavramın birbirini desteklediği bir model önermiştir.

Sosyal finansın gelecekteki yönelimleri konusunda yapılan çalışmalar arasında öne çıkan Rosenman (2019), bu alanın neoliberal politikalar bağlamında yoksullukla

mücadelede ve piyasa temelli çözümler üretmedeki potansiyelini kapsamlı bir şekilde tartışmıştır.

2.2. ETS'nin Uluslararası Deneyimleri ve Başarı Kriterleri

Emisyon Ticaret Sistemleri (ETS) üzerine yapılan akademik çalışmalar, uluslararası deneyimleri ve başarı kriterlerini kapsamlı bir şekilde incelemektedir. Ellerman ve Joskow (2008), dünya çapındaki en kapsamlı karbon piyasalarından biri olan Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi'nin (EU ETS) karbon fiyatlandırmasını sera gazı emisyonlarını azaltmada etkili bir araç olarak kullandığını belirtmiştir. Bu analizi destekler nitelikte, Wettestad ve Christiansen (2008), EU ETS'nin ilk aşamalarında yaşanan zorluklara rağmen, düzenleyici uyumun sağlanmasının başarıyı getirdiğini ortaya koymuştur.

Asya Pasifik bölgesindeki deneyimler, özellikle Çin ve Güney Kore örnekleri üzerinden detaylı olarak incelenmiştir. Cao (2020), Çin'deki karbon ticaret sistemlerinin pilot uygulamalardan ulusal bir yapıya dönüşüm sürecini ve sektörel farklılıkları dikkate alan tasarımını analiz etmiştir. Narassimhan, Gallagher, Koester, ve Alejo (2018), Güney Kore'nin ETS uygulamalarında AB ile işbirliğinin politika geliştirme süreçlerindeki önemli rolünü vurgulamıştır.

Küresel perspektiften bakıldığında, Tuerk (2009) uluslararası ETS'lerin bağlantı kurma kapasitesinin karbon fiyatlarını dengeleme ve ticaret hacimlerini büyütmedeki rolünü incelemiştir. Skjærseth ve Wettestad (2008) ise ETS'nin ulusal bağlamlarda farklılaşan sonuçlarını değerlendirirken, genel olarak karbon azaltımında başarılı bir araç olduğunu tespit etmiştir.

Sistemin başarı kriterleri konusunda yapılan çalışmalarda, Michaelowa ve Butzengeiger (2004) ETS'nin etkinliği için ulusal tahsis planlarının şeffaflığı ve adillığının önemini vurgularken, Betz ve Sato (2001) ekonomik maliyetleri minimize etme ve düşük maliyetli karbon azaltım çözümleri sunma kapasitesine dikkat çekmiştir. Deane, Hamman ve Pei (2017), sistemin başarısında şeffaflığın ve tüm paydaşların süreçlere dahil edilmesinin kritik rolünü ortaya koymuştur.

Uluslararası bağlantılar ve öğrenme süreçleri konusunda, Howie, Gupta ve Akmetov (2020), Kore ve Kazakistan gibi ülkelerdeki ETS deneyimlerinin, uluslararası işbirliği

ve karşılıklı öğrenme yoluyla nasıl geliştiğini detaylı bir şekilde analiz etmiştir. Bu çalışmalar, ETS'nin başarısında uluslararası işbirliği ve deneyim paylaşımının önemini vurgulamaktadır.

2.3. Türkiye'deki Uygulamalar ve Karşılaşılan Zorluklar

Türkiye'nin emisyon ticaret sistemleri ve karbon azaltım politikaları alanındaki akademik literatür, ülkenin kendine özgü koşullarını ve karşılaştığı zorlukları kapsamlı bir şekilde ele almaktadır. Hepburn (2007), Türkiye'nin Kyoto Protokolü kapsamındaki konumunu değerlendirerek, karbon ticaretinin uluslararası bağlamda nasıl şekillendiğini analiz etmiştir. Bu temel çalışmayı tamamlar nitelikte, Acar, Aşıcı ve Yeldan (2022), Avrupa Birliği'nin Karbon Sınır Düzenleme Mekanizması'nın (CBAM) Türkiye ekonomisi üzerindeki potansiyel etkilerini incelemiş ve ETS'nin benimsenmesinin bu düzenlemelere uyum sürecindeki kritik rolünü ortaya koymuştur.

Enerji ve sanayi politikaları bağlamında yapılan araştırmalar, sektörel dönüşümün karmaşıklığını gözler önüne sermektedir. Voyvoda ve Yeldan (2008), Türkiye'nin enerji sektöründeki karbon azaltım politikalarını değerlendirmiş ve sektör bazlı ETS uygulamalarının ekonomik etkilerini modelleyerek önemli bulgular ortaya koymuştur. Turhan, Cerit Mazlum ve Şahin (2016) ise Türkiye'nin iklim politikalarının uluslararası standartlarla uyum sürecinde karşılaştığı düzenleyici boşlukları ve finansal kısıtlamaları derinlemesine incelemiştir.

Türkiye'de ETS uygulamalarının önündeki engeller ve başarı kriterleri konusunda yapılan çalışmalar, özellikle kurumsal ve düzenleyici çerçevedeki eksikliklere odaklanmaktadır. Cin ve Onaygil (2024), Türkiye'nin enerji verimliliği düzenlemelerindeki eksiklikleri analiz ederek, ETS'nin etkin uygulanabilmesi için bu alandaki yapısal sorunların çözülmesi gerektiğini vurgulamıştır. Saysel ve Hekimoğlu (2013) ise Türk elektrik sektöründe karbon azaltımı için farklı politika alternatiflerini modelleyerek, ETS'nin ekonomik ve çevresel etkilerini kapsamlı bir şekilde değerlendirmiştir.

Uluslararası işbirlikleri konusunda literatür, Türkiye'nin AB ile ilişkilerinin önemine dikkat çekmektedir. Kayakuş ve Terzioğlu (2023), Türkiye'nin karbon ticareti bağlamında AB ile işbirliğinin artırılmasının sağlayabileceği ekonomik ve çevresel

faidaları detaylı bir şekilde analiz etmiştir. Bu perspektifi tamamlayıcı nitelikte, Sirin ve Ege (2012), Türkiye'nin yenilenebilir enerji politikalarının AB ETS standartları ile uyum sürecini inceleyerek, bu süreçte karşılaşılan teknik ve finansal engelleri sistematik bir şekilde ortaya koymuştur.

2.4. Karbon Ticareti ve Sürdürülebilir Kalkınma İlişkisi

Karbon ticareti ve sürdürülebilir kalkınma arasındaki ilişkiyi inceleyen akademik literatür, bu mekanizmanın çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarını kapsamlı bir şekilde ele almaktadır. Kyoto Protokolü'nün önemli bir bileşeni olan Temiz Kalkınma Mekanizması (CDM) üzerine yapılan araştırmalarda, Seres (2008), karbon ticareti mekanizmalarının sera gazı emisyonlarını azaltırken düşük karbon teknolojilerinin yaygınlaşmasını nasıl teşvik ettiğini ortaya koymuştur. Bu analizi destekler nitelikte, Castle (2012), karbon ticaretinin gelişmiş ülkelere düşük maliyetli emisyon azaltım fırsatları sunarken, gelişmekte olan ülkelerde sürdürülebilir projeleri teşvik etmedeki rolünü vurgulamıştır.

Ekonomik sürdürülebilirlik perspektifinden yapılan çalışmalarda, Chakravarty, Chikkatur ve Sagar (2009), karbon ticaretinin ekonomik maliyetleri azaltma kapasitesini ve piyasa temelli yaklaşımların etkinliğini detaylı bir şekilde analiz etmiştir. Bu çalışmayı tamamlayıcı nitelikte, Pizer ve Zhang (2020), karbon ticaretinin ekonomik kalkınmayı destekleyecek şekilde yeniden yapılandırılması gerektiğini savunmuş ve karbon piyasalarının finansal kaynakların mobilizasyonundaki kritik rolünü vurgulamıştır.

Sosyal sürdürülebilirlik boyutunda yapılan araştırmalar, karbon ticaretinin toplumsal etkilerine odaklanmaktadır. Bumpus ve Cole (2010), karbon ticareti projelerinin yerel topluluklar üzerindeki etkisini incelemiş ve bazı projelerin sosyal eşitsizlikleri derinleştirebileceği konusunda önemli tespitlerde bulunmuştur. Araştırmacılar, sosyal sürdürülebilirliğin sağlanması için projelerin daha adil bir şekilde tasarlanması gerektiğini vurgulamıştır. Benzer şekilde, Sutter ve Parreno (2007), karbon ticareti projelerinin toplumsal faydalarını değerlendirmiş ve bu projelerin sürdürülebilir kalkınma kriterlerine uygunluğunu kapsamlı bir şekilde analiz etmiştir.

Literatürde başarı kriterleri ve zorluklar konusunda yapılan çalışmalar, özellikle teknoloji transferi ve sosyal-çevresel denge üzerinde durmaktadır. Forsyth (2007), karbon ticaretinin düşük karbon teknolojilerinin gelişmekte olan ülkelere transferindeki kolaylaştırıcı rolünü incelerken, Boyd, Hultman ve Roberts (2009), ekonomik büyüme ile çevresel koruma arasında denge kurma konusundaki başarısını değerlendirmiştir. Bu çalışmalar, karbon ticaretinin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada karşılaştığı zorlukları ve bu zorlukların aşılmasında uluslararası koordinasyonun önemini vurgulamaktadır.



3. TÜRKİYE İÇİN EMİSYON TİCARETİ MODELİ ÖNERİSİ

Bu bölümde kullanılan veriler üç temel kaynaktan derlenmiştir: Dünya Bankası'nın açık veri portalı (World Bank, t.y.), Türkiye İstatistik Kurumu'nun resmi istatistik verileri (TÜİK, t.y.) ve Dünya Bankası Karbon Fiyatlandırma Paneli (World Bank, 2022). Ham veriler kapsamlı bir ön işleme sürecinden geçirilmiş ve analize uygun iki temel veri setine dönüştürülmüştür.

Bu verilerin seçiminde Dünya Bankası'nın küresel ekonomik göstergeleri sistematik olarak takip etmesi ve uluslararası karşılaştırmalara olanak sağlayan standart metodolojiler kullanması etkili olmuştur. Dünya Bankası, ülkelerin ekonomik ve çevresel performanslarını tutarlı kriterlere göre değerlendirerek, güvenilir ve karşılaştırılabilir veri setleri sunmaktadır. Bu nedenle, çalışmada kullanılan ülke örneklemini, Dünya Bankası'nın kapsamlı veri toplama ve raporlama sistemine dahil olan ve düzenli veri akışı sağlayan ülkelere oluşturulmuştur. Bu yaklaşım, analiz sonuçlarının güvenilirliğini ve uluslararası karşılaştırılabilirliğini güvence altına almaktadır.

İlk veri seti olan emisyon dosyası (Carbon_Emissions.csv), ülkelerin sektörel bazda emisyon verilerini içermektedir. Bu dosyada 'Country' sütunu ülke isimlerini, 'Year' sütunu 2000-2022 yılları arasındaki zaman periyodunu göstermektedir. Sektörel emisyonlar 'Agriculture' (tarım), 'Waste' (atık), 'Energy' (enerji) ve 'Industrial Processes' (endüstriyel süreçler) sütunlarında milyon ton CO₂ eşdeğeri cinsinden kaydedilmiştir. Eksik veriler ve aykırı değerler veri ön işleme aşamasında temizlenmiş, tutarsız ölçü birimleri standardize edilmiştir.

İkinci veri seti olan fiyat dosyası (Carbon_Taxes.csv), karbon fiyatlandırma mekanizmalarına ilişkin bilgileri içermektedir. Bu dosyada 'Name of the initiative' sütunu karbon vergisi uygulamalarının isimlerini, 'Year' sütunu uygulama yılını, 'Price' sütunu USD/tCO₂e cinsinden karbon fiyatını, 'Share of emissions' sütunu fiyatlandırma mekanizmasının kapsadığı emisyon oranını ve 'Revenue' sütunu elde edilen geliri göstermektedir. Veriler yıllık bazda düzenlenmiş ve karşılaştırılabilir para birimine dönüştürülmüştür.

Her iki veri seti de zaman serisi analizine ve karşılaştırmalı değerlendirmeye uygun şekilde yapılandırılmış olup, kümeleme analizi ve ekonometrik modelleme için gerekli olan veri kalitesi standartlarını karşılamaktadır. Veri setlerinin detaylı yapısı, çalışmanın metodoloji bölümünde sunulan analizlerin güvenilir bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır.

3.1. Türkiye'nin Mevcut Durumu ve İhtiyaç Analizi

3.1.1. Emisyon Trendleri

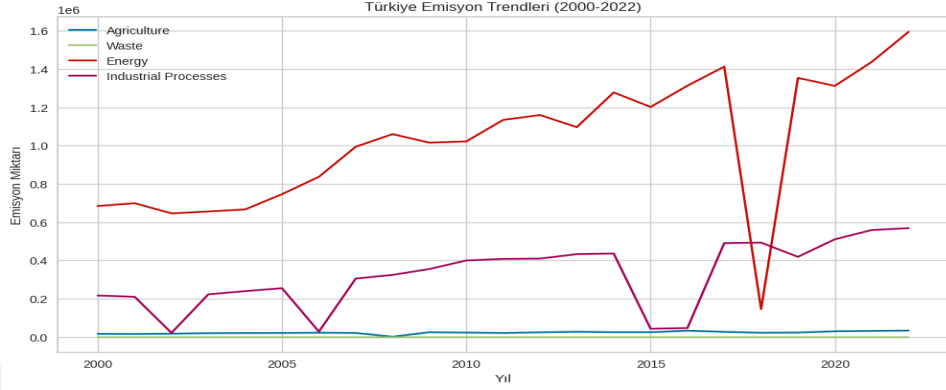
Türkiye'nin 2000-2022 yılları arasındaki emisyon trendleri, enerji, endüstriyel prosesler, tarım ve atık sektörleri üzerinden değerlendirildiğinde, enerji sektörünün açık ara en büyük emisyon kaynağı olduğu görülmektedir. 2000 yılında yaklaşık 0.7 milyon birim olan enerji kaynaklı emisyonlar, 2022'de 1.6 milyon birime yaklaşmıştır. Bu artış, Türkiye'nin ekonomik büyüme ve enerji talebi ile doğrudan ilişkilidir (Akyol, 2022). 2019 yılında yaşanan ani düşüş, COVID-19 pandemisi nedeniyle enerji talebindeki küresel düşüşle bağlantılıdır (Akgül, 2021). Ancak, pandemiden sonraki hızlı toparlanma, yapısal emisyon azaltıcı önlemlerin eksikliğine işaret etmektedir (Süel, Koroğlu ve Sabuncu, 2012).

Endüstriyel proseslerden kaynaklanan emisyonlar, 2000-2015 yılları arasında 0.2-0.4 milyon birim arasında dalgalanmış, 2015-2017 döneminde ise keskin bir düşüş göstermiştir. Bu durum, sanayi üretimindeki dalgalanmalar ve sektörel modernizasyon süreçleriyle ilişkilendirilebilir (Kırbaşı ve Avunduk, 2022). 2018'den itibaren endüstriyel emisyonlar yeniden yükselerek 0.6 milyon birim seviyesine ulaşmıştır.

Tarım ve atık sektörlerinden kaynaklanan emisyonlar ise görece düşük düzeylerde seyretmiş, 2000-2022 döneminde genellikle 0.1 milyon birimin altında kalmıştır. Her iki sektörde de belirgin bir artış veya azalma trendi gözlemlenmemiştir (Şen, 2022). Bununla birlikte, tarım sektörü özellikle metan ve azot oksit salınımı açısından önemli bir paya sahiptir (Besen ve Olhan, 2021). Atık sektöründeki emisyonlar ise daha çok kentsel nüfus artışı ve atık yönetimi politikalarıyla ilişkilendirilmiştir (Çiçek, Ata ve Övez, 2022).

Genel olarak Türkiye'nin emisyon profili, enerji ve endüstriyel proseslerin baskınlığını ortaya koymaktadır. Bu durum, emisyonların azaltılması için enerji

verimliliği ve temiz enerjiye geçiş gibi yapısal reformların aciliyetine işaret etmektedir (Sümer, 2022). Ayrıca, endüstriyel üretimdeki karbon yoğunluğunun azaltılması ve tarım ile atık yönetimindeki iyileştirmelerin de sürdürülebilir kalkınma hedefleri açısından kritik olduğu ifade edilmektedir (Türk, Erkan ve Erdoğan, 2022).



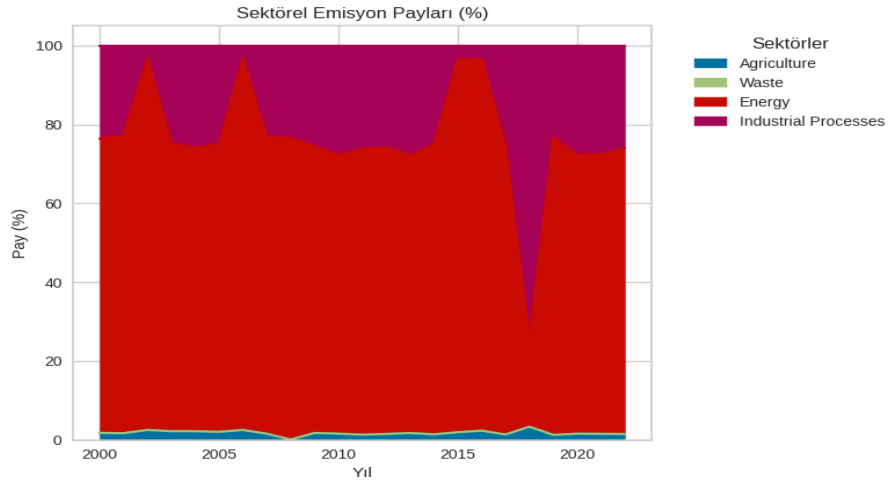
Şekil 1. Türkiye Emisyon Trendleri (Yazar Tarafından Hazırlanmıştır)

3.1.2. Mevcut Karbon Emisyon Payları ve Yıllara Göre Gelişim

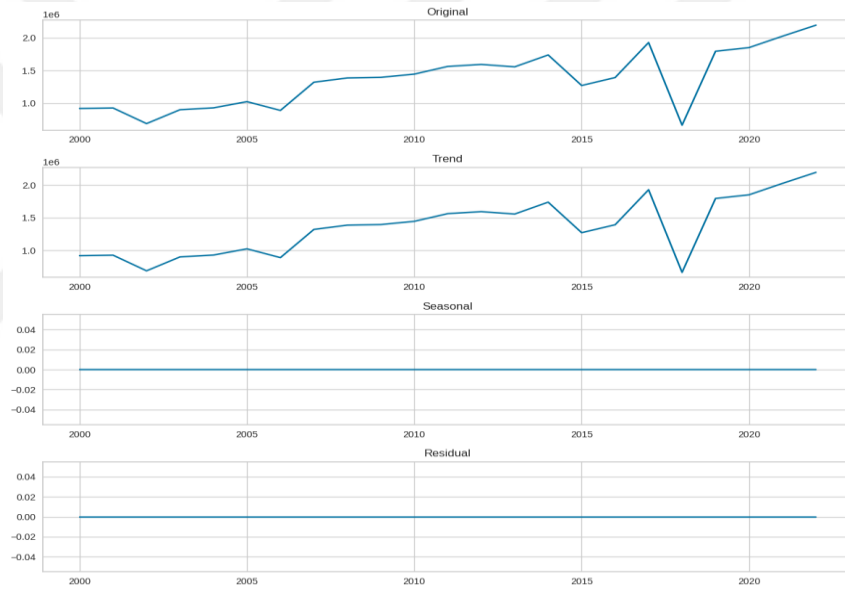
Türkiye'nin sektörel emisyon paylarına ilişkin dağılımını gösteren grafik, enerji sektörünün toplam emisyonların %70-80'ini oluşturduğunu ve baskın rolünü koruduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Bu oran, 2000-2022 yılları boyunca bazı dalgalanmalar göstermesine rağmen genel olarak sabit kalmıştır (Akyol, 2022).

Endüstriyel proseslerin toplam emisyonlardaki payı %15-25 arasında değişim göstermektedir. Özellikle 2019 yılında, enerji sektörünün payındaki azalma ile birlikte endüstriyel proseslerin payı artış göstererek %60'lara ulaşmıştır. Ancak bu durum kısa süreli olmuş, pandemi sonrası enerji sektörü toparlanmış ve endüstriyel süreçlerin payı yeniden eski seviyelerine gerilemiştir (Akgül, 2021).

Tarım ve atık sektörlerinin payı ise oldukça düşük olup incelenen dönemde %5'in altında kalmıştır. Bu iki sektörün düşük katkısı, Türkiye'nin emisyon profilinin enerji ve endüstriyel süreçler tarafından yönlendirildiğini göstermektedir (Şen, 2022). 2019 yılındaki ani değişim, enerji sektöründeki faaliyetlerin pandemi nedeniyle azalması ve bu durumun endüstriyel proseslerin göreceli payını artırması ile açıklanabilir (Besen ve Olhan, 2021).



Şekil 2. Sektörel Emisyon Payları (Yazar Tarafından Hazırlanmıştır)



Şekil 3. Toplam Emisyonların Yıllara Göre Analizi (Yazar Tarafından Hazırlanmıştır)

Şekil 3'te Türkiye'nin toplam emisyonlarının zaman serisi analizi, 2000-2022 yılları arasında genel bir artış trendini ortaya koymaktadır. Başlangıçta 1 milyon birim civarında olan emisyonlar, 2022'ye kadar 2 milyon birime yükselmiştir. Bu artış, Türkiye'nin enerji ve sanayiye dayalı ekonomik büyümesiyle ilişkilidir (Özkan, 2022).

Trend analizine göre, 2005-2010 döneminde keskin bir yükseliş, 2015-2020 yılları arasında ise belirgin dalgalanmalar gözlemlenmiştir. Özellikle 2019'daki keskin düşüş ve ardından gelen hızlı toparlanma dikkat çekmektedir (Süel vd., 2012). Bu durum, pandemi kaynaklı ekonomik yavaşlama ve hemen ardından gelen hızlı ekonomik toparlanma ile ilişkilidir (Sümer, 2022).

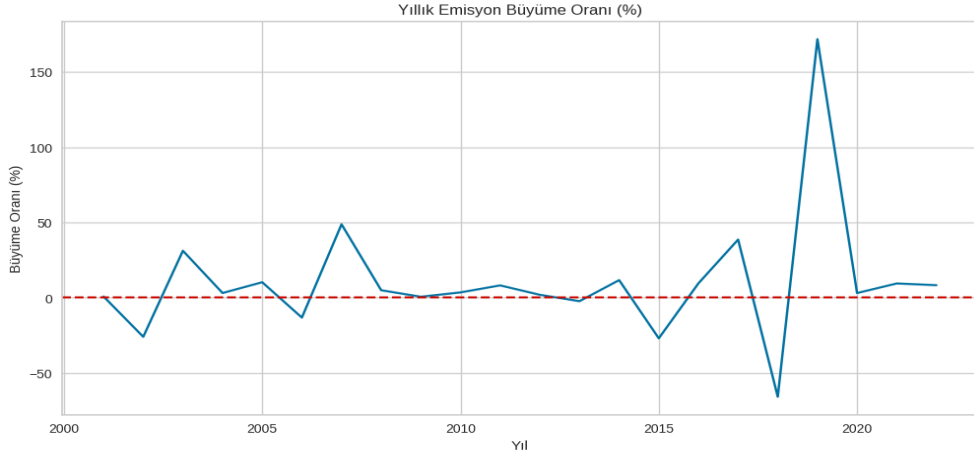
Mevsimsel bileşen ve artık değerlerin sifıra yakın seyretmesi, Türkiye'deki emisyon değişimlerinin yapısal faktörlerden kaynaklandığını ve mevsimsel etkilerin minimal olduğunu göstermektedir. Bu durum, emisyon artışının ekonomik büyüme ve endüstriyel gelişmeyle doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır (Temel, 2022).

Yıllık emisyon büyüme oranlarının analiz edildiği grafik (Şekil 4), dalgalanmaların belirgin olduğunu göstermektedir. 2000-2020 döneminde büyüme oranları genellikle %0-%20 arasında seyretmiş, ancak belirli yıllarda dramatik değişimler gözlenmiştir (Kaya, 2020).

2007'de %50'lik artış, sanayi üretimi ve enerji tüketimindeki büyümeyle ilişkilendirilmiştir (Öztürk İdik, 2022). 2019 yılı ise COVID-19 pandemisinin ekonomik etkisiyle emisyon büyüme oranlarında -%60'a varan bir düşüş yaşanmıştır. Pandemi sürecindeki durgunluk, özellikle enerji sektörü ve sanayi faaliyetlerindeki azalmayla açıklanabilir (Karakoç ve Yılmaz, 2021).

2020 yılında ekonomik toparlanma sürecine girilmiş ve emisyon büyüme oranı %170'e ulaşmıştır. Bu, pandemi sonrası ekonomik hareketliliğin ve enerji talebindeki sıçramanın bir yansımasıdır (Aslan ve Kılıç, 2020).

2015-2020 döneminde büyüme oranlarındaki oynaklık önceki dönemlere göre daha belirgin hale gelmiştir. Bu, Türkiye'nin emisyon artışlarının ekonomik dalgalanmalara ve dış şoklara duyarlılığını göstermektedir (Yıldırım, 2019). 2020 sonrası dönemde ise büyüme oranları %0-5 bandına dönerek daha istikrarlı bir seyir izlemiştir (Demirbaş ve Şahin, 2022).



Şekil 4. Yıllık Emisyon Büyüme Oranı (Yazar Tarafından Hazırlanmıştır)

3.1.3. Türkiye İçin Emisyon Tahmini

Türkiye'nin emisyon değerlerinin gelecek projeksiyonu için ARIMA modeli, zaman serisi analizi ve tahmininde oldukça etkili bir yöntem olarak kullanılmıştır. ARIMA, geçmiş değerler, durağanlaştırma süreçleri ve hata terimlerini bir araya getirerek gelecek öngörülerini sağlam bir temel üzerine inşa eder (Gürler ve Ayyıldız, 2017).

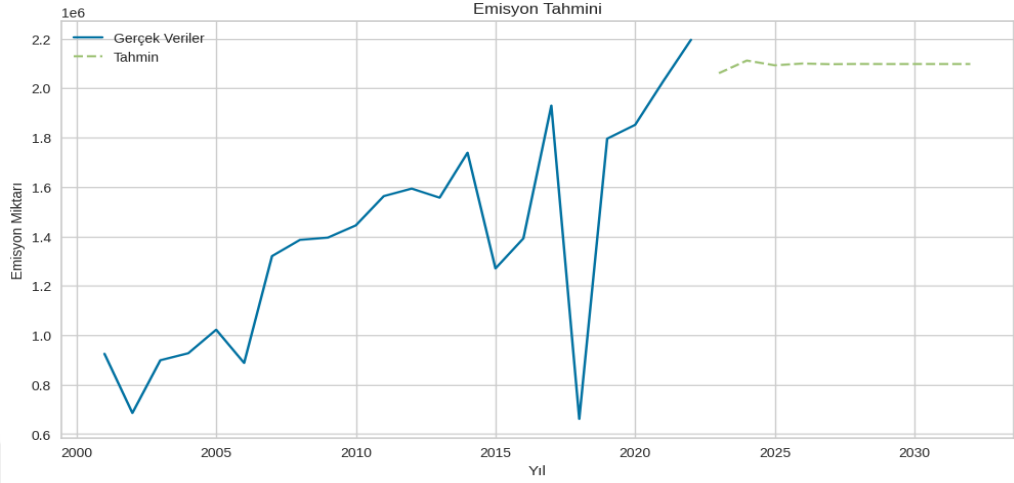
Modelleme sonuçlarına göre 2025-2030 dönemi için emisyon değerlerinin yıllık bazda istikrar kazanacağı ve yaklaşık olarak şu seviyelerde seyredeceği tahmin edilmektedir:

- 2025: 2.100 milyon birim
- 2026: 2.097 milyon birim
- 2027: 2.098 milyon birim
- 2028: 2.098 milyon birim
- 2029: 2.098 milyon birim
- 2030: 2.098 milyon birim

Şekil 5'te görülen tahmin grafiği, emisyon artış hızının yavaşlayacağını ve belirli bir platoya ulaşılacağını göstermektedir. Pandemi döneminde gözlemlenen keskin düşüş ve toparlanma evresinin ardından, sistemin daha stabil bir yapı kazandığı gözlemlenmiştir (Çetintaş ve Türköz, 2017).

ARIMA modelinin doğruluğu, geçmiş veri yapısındaki trendler ve döngüsel ilişkilerin dikkate alınmasından kaynaklanmaktadır. Ancak bu öngörülerde dış şoklar, yenilikçi

teknolojiler ve sürdürülebilir enerji politikaları gibi faktörlerin etkisi dikkate alınmalıdır (Karacan ve Gökçe, 2023).



Şekil 5. Emisyon Tahmini (Yazar Tarafından Hazırlanmıştır)

3.1.4. Türkiye Dışı Karbon Piyasası Trendleri

Şekil 6 ve Şekil 7’deki iki grafik, karbon fiyatlandırma ve emisyon kapsam oranlarının 1990-2023 dönemindeki gelişimini göstermektedir.

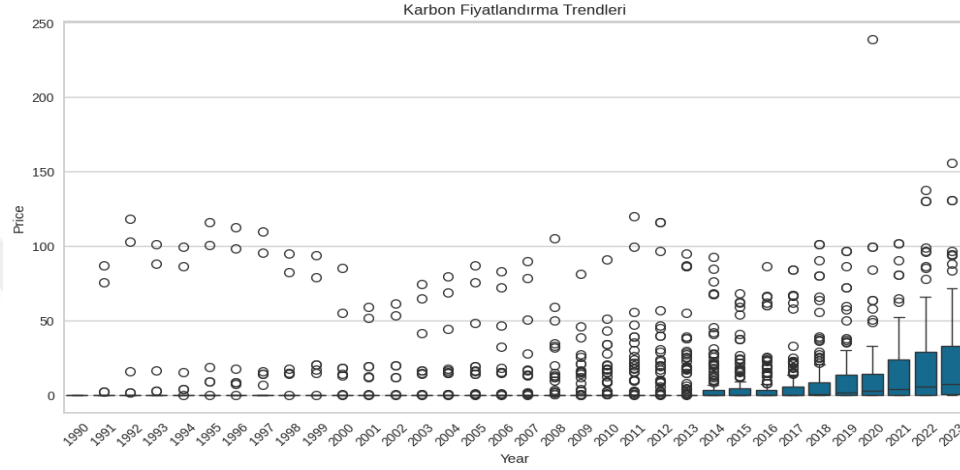
Karbon Fiyatlandırma Trendleri:

- 1990-2000 döneminde karbon fiyatları genellikle 100 birim seviyesinin altında seyretmiştir
- 2000-2015 arasında fiyatlar kademeli olarak artış göstermiş, ancak volatilité de yükselmiştir
- 2015 sonrası dönemde bazı bölgelerde/ülkelerde 150-250 birim arasında değişen yüksek fiyat seviyeleri görülmeye başlanmıştır
- Mavi sütunlarla gösterilen ortalama değerler, son yıllarda belirgin bir artış trendine işaret etmektedir

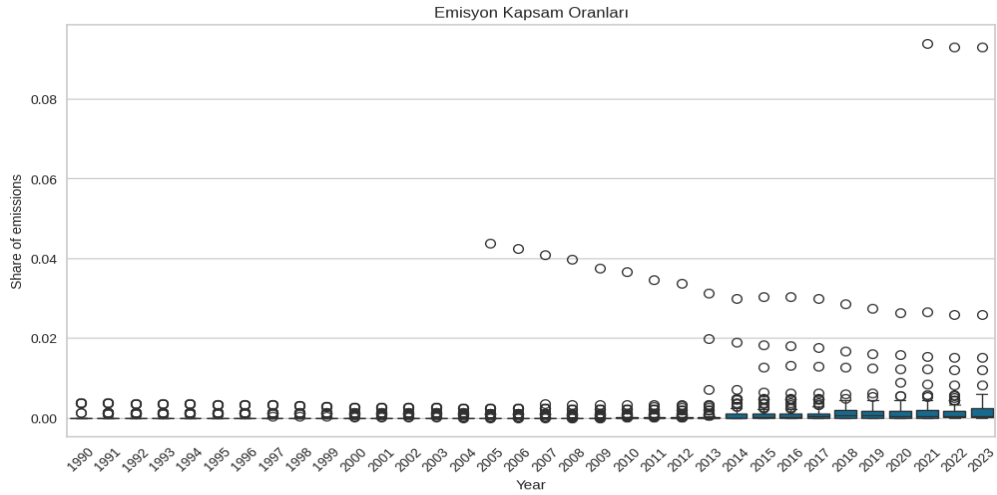
Emisyon Kapsam Oranları:

- 1990’larda çok düşük seviyelerde seyreden kapsam oranları, 2000’li yıllarla birlikte artış göstermeye başlamıştır

- 2005-2010 döneminde yaklaşık %4 seviyelerine ulaşan maksimum kapsam oranları görülmüştür
- Son yıllarda bazı bölgelerde/ülkelerde %8-9 seviyelerine ulaşan kapsam oranları dikkat çekmektedir
- Genel trend, emisyon kapsam oranlarının yaygınlaştığını ve derinleştiğini göstermektedir



Şekil 6. Karbon Fiyatlandırma Trendleri (Yazar Tarafından Hazırlanmıştır)



Şekil 7. Emisyon Kapsam Oranları (Yazar Tarafından Hazırlanmıştır)

Şekil 8'deki korelasyon matrisi analizi, karbon vergisi sistemindeki üç temel parametre olan fiyat, emisyon payı ve gelir arasındaki ilişkileri ortaya koymaktadır. Korelasyon analizi, iki değişken arasındaki ilişkinin yönünü ve gücünü belirlemek için kullanılan temel bir istatistiksel yöntemdir. Bu analiz, değişkenlerin birlikte nasıl değiştiğini anlamaya olanak sağlar, ancak nedensellik ilişkisi hakkında bilgi vermez.

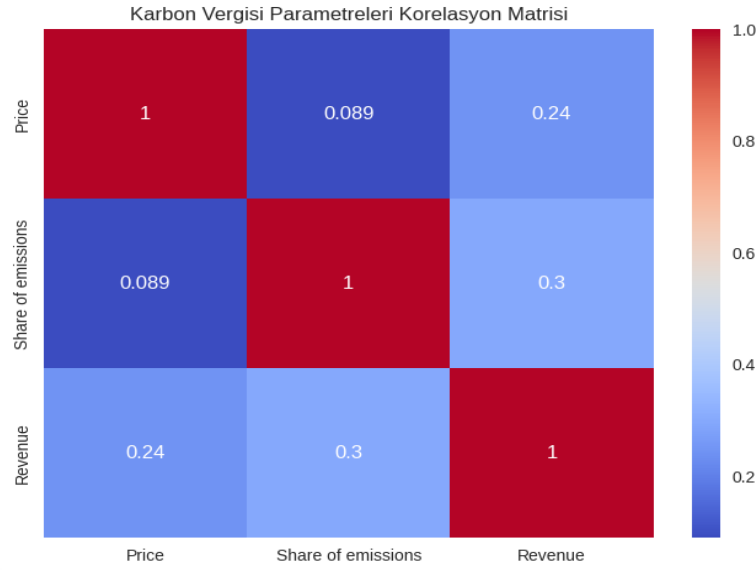
Korelasyon katsayısı (r), ilişkinin pozitif ya da negatif olduğunu ve bu ilişkinin ne kadar güçlü olduğunu ifade eder; $|r|$ değeri 1'e yaklaştıkça ilişki daha güçlüdür. Ancak, korelasyonun doğası gereği yalnızca ilişkisel bir bağ olduğunu ve nedenselliğin ek analizlerle desteklenmesi gerektiğini hatırlamak önemlidir (Field, 2018). Bu analiz sonucunda şu temel bulgulara ulaşılmıştır.

Fiyat ve emisyon payı arasındaki ilişki 0.089'luk korelasyon katsayısı ile oldukça zayıftır. Bu durum, karbon fiyatlandırmasındaki değişimlerin emisyon payları üzerinde çok sınırlı bir etkisi olduğunu göstermektedir. Politika yapıcılarının sadece fiyat artışlarına güvenerek emisyon kapsamını genişletmeyi hedeflememeleri gerektiği anlaşılmaktadır.

Fiyat ve gelir arasında 0.24 düzeyinde zayıf-orta seviyede bir korelasyon gözlemlenmektedir. Bu bulgu, karbon fiyatlarındaki artışların vergi gelirlerini bir miktar artırdığını, ancak bu etkinin sınırlı olduğunu göstermektedir. Gelir artışı hedeflenirken fiyat dışı faktörlerin de dikkate alınması önem taşımaktadır.

Emisyon payı ve gelir arasındaki 0.30'luk korelasyon, incelenen parametreler arasındaki en güçlü ilişkiyi temsil etmektedir. Bu sonuç, karbon vergisi kapsamının genişlemesinin vergi gelirleri üzerinde daha belirgin bir pozitif etkisi olduğunu ortaya koymaktadır.

Parametreler arasındaki korelasyonların genel olarak zayıf olması, karbon vergisi sisteminin tasarımında her bir parametrenin bağımsız olarak ele alınması ve politika araçlarının bu doğrultuda çeşitlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.



Şekil 8. Karbon Vergisi Parametreleri Korelasyon Matrisi (Yazar Tarafından Hazırlanmıştır)

Küresel karbon fiyatlandırma mekanizmalarının fiyat ve kapsam ilişkisini inceleyen Şekil 9'daki analiz, sistemlerin yapısal özelliklerini ve çeşitliliğini ortaya koymaktadır. Dünya genelinde uygulanan karbon fiyatlandırma mekanizmaları, karbon vergileri ve emisyon ticaret sistemleri olmak üzere iki ana kategoride incelenmiştir.

Fiyatlandırma açısından bakıldığında, sistemler arasında önemli farklılıklar göze çarpmaktadır. Fiyatlar 0 ile 250 birim arasında değişmekte olup, çoğunluk 50 birimin altında yoğunlaşmıştır. Yüksek fiyat uygulayan sistemler genellikle gelişmiş ekonomilerde görülmektedir. Bu durum, ekonomik gelişmişlik düzeyi ile karbon fiyatlandırma politikalarının sıklığı arasında bir ilişki olduğunu göstermektedir.

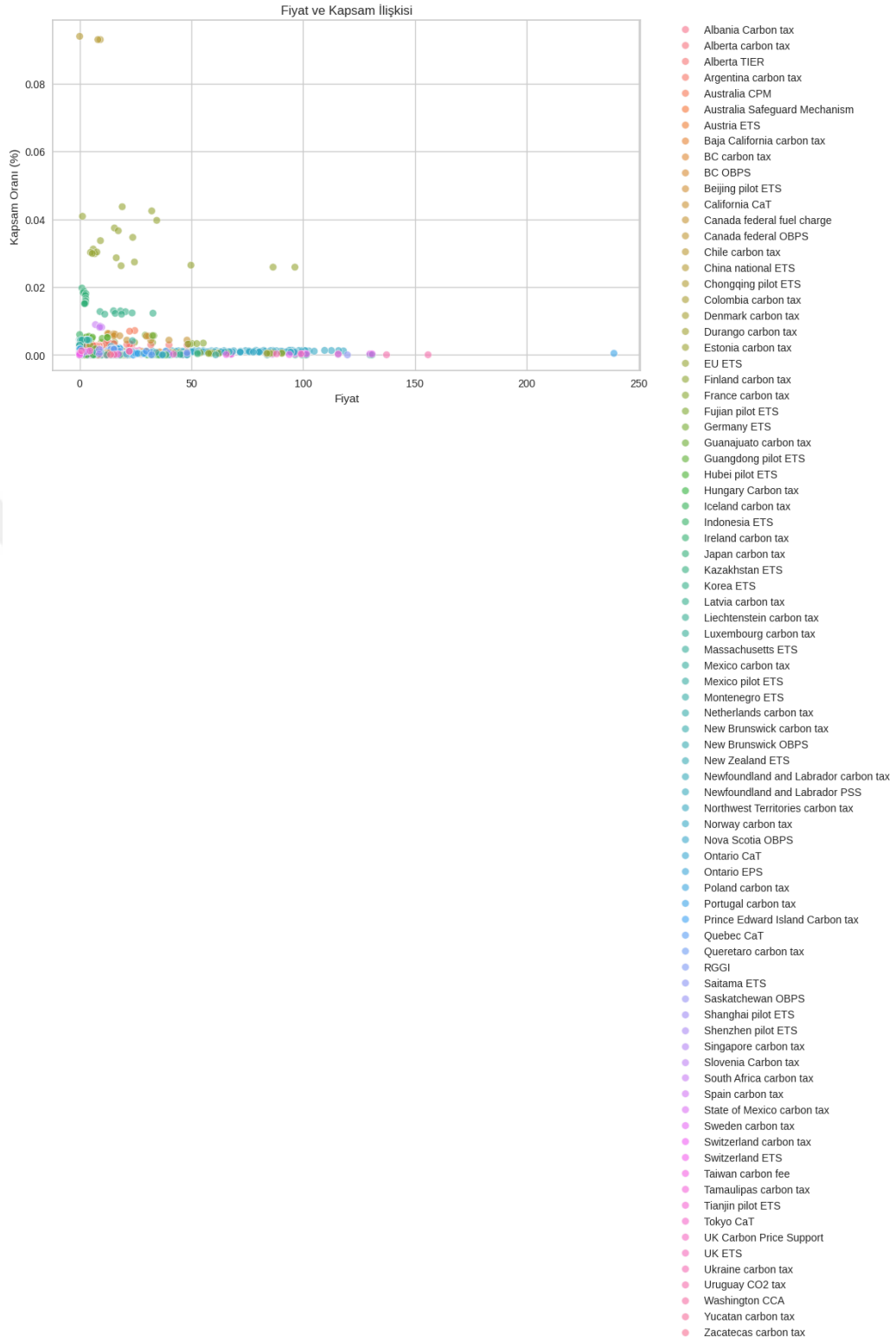
Kapsam açısından incelendiğinde, sistemlerin çoğunluğu %0-4 aralığında bir kapsam oranına sahiptir. Ancak bazı sistemlerde bu oran %8-9 seviyelerine kadar çıkabilmektedir. Düşük kapsam oranları, sistemlerin genellikle belirli sektörler veya emisyon kaynakları ile sınırlı olduğunu göstermektedir.

Sistemler arasındaki çeşitlilik, farklı ülke ve bölgelerin kendi ekonomik ve çevresel önceliklerine göre mekanizmalar geliştirdiğini ortaya koymaktadır. Örneğin, AB ETS gibi bölgesel sistemler, Çin'in pilot uygulamaları ve Kuzey Amerika'daki eyalet düzeyindeki programlar, farklı yaklaşımları temsil etmektedir.

Fiyat ve kapsam arasındaki ilişkinin zayıf olması, bu iki parametrenin genellikle birbirinden bağımsız olarak belirlendiğini göstermektedir. Bu durum, politika

yapıcıların yerel koşullar ve hedefler doğrultusunda esnek bir yaklaşım benimsediklerine işaret etmektedir.

Bu analiz, karbon fiyatlandırma mekanizmalarının küresel ölçekte henüz standartlaşmadığını ve ülkelerin kendi koşullarına uygun sistemler geliştirmeye devam ettiğini göstermektedir. Gelecekte, özellikle Paris Anlaşması hedefleri doğrultusunda, bu sistemlerin daha da yaygınlaşması ve derinleşmesi beklenebilir. Karbon fiyatlandırması, sera gazı emisyonlarını azaltmada önemli bir araç olarak kabul edilse de, ülkeler arasında uygulama kapsamı ve yöntemleri oldukça çeşitlidir. Bu çeşitlilik, Paris Anlaşması'nın piyasa mekanizmalarına ilişkin düzenlemelerinin esnek yapısından kaynaklanmaktadır. Örneğin, farklı sektörlerle ve gazlara yönelik fiyatlandırma kapsamı ile politika tasarımları, etkili karbon fiyatlandırma sistemlerinin uygulanabilirliğini ve sonuçlarını etkileyen temel unsurlardır (Shaik vd., 2023).



Şekil 9. Fiyat ve Kapsam İlişkisi (Yazar Tarafından Hazırlanmıştır)

3.2. ETS Model Önerisi

Bu bölümde önerilen emisyon ticaret sistemi modeli, Türkiye'nin kendine özgü ekonomik yapısı, sektörel emisyon profili ve uluslararası yükümlülükleri göz önünde

bulundurularak tasarlanmıştır. Model, kademeli geçiş stratejisi ve esnek fiyatlandırma mekanizması ile piyasa aktörlerinin adaptasyonunu kolaylaştırmayı hedeflemektedir.

3.2.1. Model Önerisi Kapsamında Karşılaştırma Analizi

Türkiye'nin Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) modeli için yapılan karşılaştırmalı analiz kapsamında seçilen ülkeler, benzer ekonomik gelişmişlik düzeyleri, bölgesel temsiliyet ve enerji tüketim yapıları göz önünde bulundurularak dört ana kategoride gruplandırılabilir:

- Avrupa'dan Gelişmekte Olan Ekonomiler:
 - Polonya, Romanya, Yunanistan, Bulgaristan ve Ukrayna
 - AB ETS deneyimi olan veya geçiş sürecindeki ekonomiler
 - Türkiye ile benzer endüstriyel yapı ve enerji yoğunluğu
- Asya'nın Dinamik Ekonomileri:
 - Güney Kore, Malezya, Endonezya, Vietnam ve Tayland
 - Hızlı endüstrileşme sürecinde olan
 - Enerji tüketimi ve emisyon profilleri açısından benzer trendler gösteren ülkeler
- Latin Amerika Ülkeleri:
 - Meksika, Brezilya, Arjantin, Şili ve Kolombiya
 - Gelişmekte olan piyasa ekonomileri
 - Karbon fiyatlandırma mekanizmalarında çeşitli deneyimlere sahip ülkeler
- Afrika ve MENA Bölgesi:
 - Güney Afrika, Mısır, Fas, Cezayir ve Nijerya
 - Enerji yoğun endüstrilere sahip
 - İklim politikalarını geliştirme sürecinde olan ekonomiler

Bu ülkeler, Türkiye ile:

- Kişi başına düşen GSYİH seviyeleri

- Enerji yoğunluğu
- Emisyon profilleri
- Endüstriyel yapı
- Ekonomik gelişmişlik düzeyi
- Bölgesel ve küresel ticaret ilişkileri

açısından benzerlikler göstermektedir. Bu karşılaştırmalı analiz, Türkiye için tasarlanacak ETS modeline kapsamında parametrelerin belirlenmesine yönelik daha kapsamlı değerlendirilmeye olanak sağlayacaktır.

3.2.2. Kümeleme Analizi

Türkiye ile benzer özellikteki ülkelerin belirlenebilmesi için kümeleme analizi kullanılmıştır. Kümeleme analizi, benzer özelliklere sahip veri noktalarını gruplandırarak veri setindeki örüntüleri ve yapı taşlarını keşfetmeyi amaçlayan bir veri madenciliği yöntemidir. Bu yöntem, denetimsiz öğrenme algoritmaları kapsamında yer alır ve etiketlenmemiş verilerde gruplar oluşturarak analiz sürecini kolaylaştırır. Kümeleme algoritmaları, genellikle iki ana kategoriye ayrılır: k-ortalamlar gibi bölütleme tabanlı algoritmalar ve hiyerarşik veya yoğunluk tabanlı algoritmalar (DBSCAN gibi). Algoritma seçimi, veri setinin yapısı, boyutu ve analizin amacı gibi faktörlere bağlıdır. Örneğin, K-ortalamlar algoritması, verileri önceden belirlenmiş bir küme sayısına göre gruplandırırken, yoğunluk tabanlı yöntemler, küme şekilleri ve yoğunluk farklılıkları konusunda daha esnektir. Bu yöntemler, pazarlama, biyoinformatik ve ağ analizi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Crane ve Thennadil, 2022; Shutaywi ve Kachouie, 2021).

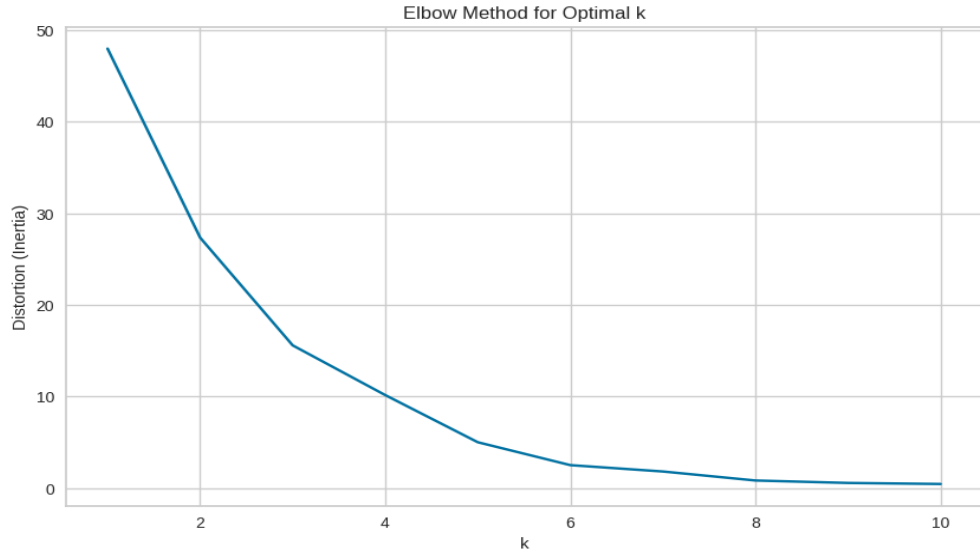
Bu çalışmada, Türkiye için önerilecek Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) modelinin tasarımında yol gösterici olması amacıyla k-means kümeleme yöntemi kullanılmıştır. Analizin temelinde, ülkelerin emisyon profilleri, enerji kullanım karakteristikleri gibi çeşitli değişkenler yer almaktadır.

Optimal küme sayısının belirlenmesi için elbow yöntemi kullanılmış ve k=4 olarak tespit edilmiştir. Elbow metodu (Dirsek yöntemi), kümeleme analizinde optimal küme sayısını (k) belirlemek için kullanılan yaygın ve etkili bir yöntemdir.

Elbow metodu, kümeleme analizinde ideal küme sayısını belirlemek için kullanılan görsel bir yöntemdir. Bu yaklaşım, kümeleme algoritmasının her bir küme sayısı için hesapladığı *within-cluster sum of squares* (WCSS) değerlerini bir grafik üzerinde görüntüler. Grafik, WCSS'in küme sayısına bağlı olarak hızla azaldığı ve daha sonra yavaşladığı bir "dirsek" (elbow) noktasını gösterir. Bu dirsek noktası, kümeler arasında bilgi kaybı yaşanmadan optimal ayrım yapılabileceği küme sayısını temsil eder. Dirsekten sonra ek kümelerin, veri modelleme performansına önemli bir katkı sağlamadığı kabul edilir. Bu yöntem, özellikle K-ortalamlar gibi bölütleme tabanlı algoritmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Setvawan, 2024; Shutaywi ve Kachouie, 2021).

Bu yöntemi kullanmamızın temel nedenleri:

- Objektif Değerlendirme:
 - Küme içi varyansın (within-cluster variance) küme sayısına göre değişimini görsel olarak değerlendirebilmemizi sağlar
 - Subjektif kararlardan ziyade veri odaklı bir yaklaşım sunar
- Verimlilik-Karmaşıklık Dengesi:
 - Her küme eklemenin marjinal faydasını gösterir
 - Gereksiz karmaşıklığı önleyerek optimal küme sayısını belirlememize yardımcı olur
 -



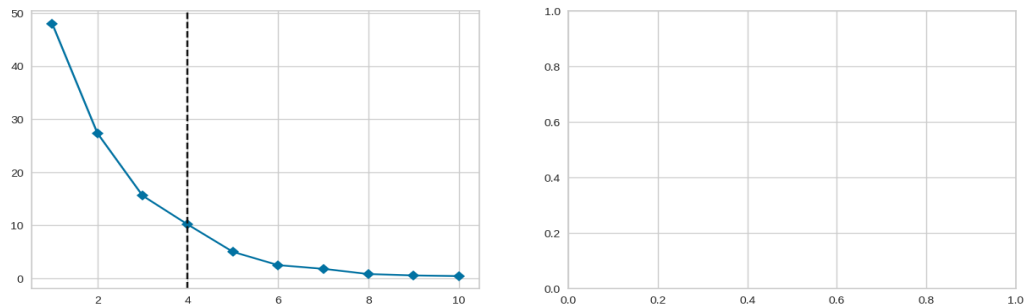
Şekil 10. Dirsek Metodu (Yazar Tarafından Hazırlanmıştır)

Şekil 10'da dirsek metodunun uygulanması sonrasında elde edilen grafik görülmektedir. Bu grafikte;

- Y eksenini distortion (bozulma) değerini göstermektedir ki bu küme içi varyansın bir ölçüsüdür
- X eksenini ise k değerini (küme sayısını) göstermektedir

Grafikten görüleceği üzere:

- k=1'den k=2'ye geçişte çok keskin bir düşüş görülmektedir
- k=2'den k=4'e kadar olan bölgede hala belirgin bir azalma trendi vardır
- k=4'ten sonra azalma hızı önemli ölçüde yavaşlamaktadır
- Özellikle k=4 noktasında bir "dirsek" (elbow) oluşumu gözlemlenmektedir



Şekil 11. Dirsek Metodu ile Optimum Küme Sayısı (Yazar Tarafından Hazırlanmıştır)

Bu grafiğe göre optimal küme sayısı Şekil 11’de görüldüğü üzere $k=4$ olarak değerlendirilebilir çünkü:

- Bu noktadan sonra distortion değerindeki azalma önemli ölçüde yavaşlamaktadır
- Daha fazla küme eklemenin getireceği marjinal fayda görece düşüktür
- 4 küme, seçilen ülkelerin karakteristiklerini anlamlı bir şekilde gruplandırmak için yeterli görünmektedir

Bu sonuç, silhouette analizi ile de desteklenebilir niteliktedir. Silhouette analizi, kümeleme analizinin kalitesini ve oluşturulan kümelerin ne kadar iyi ayrıştığını değerlendirmek için kullanılan önemli bir doğrulama (validation) tekniğidir. Bu analiz, her bir veri noktasının kendi kümesine ne kadar iyi uyum sağladığını ve diğer kümelerden ne kadar farklılaştığını ölçer.

Silhouette değeri -1 ile +1 arasında değişir. Yüksek pozitif değerler (1’e yakın) veri noktasının doğru kümeye atandığını gösterirken, negatif değerler (-1’e yakın) veri noktasının yanlış kümelenmiş olabileceğini işaret eder. Sıfıra yakın değerler ise veri noktasının kümeler arasındaki sınırda yer aldığını gösterir. Ortalama Silhouette skoru, kümeleme algoritmasının genel performansını değerlendirirken, küme sayısı gibi parametrelerin optimizasyonunda da rehberlik edebilir. Bu yöntem, hem verisetindeki küme yapısını anlamayı hem de algoritmalar arasında karşılaştırma yapmayı kolaylaştırır (Crase ve Thennadil, 2022; Shutaywi ve Kachouie, 2021).

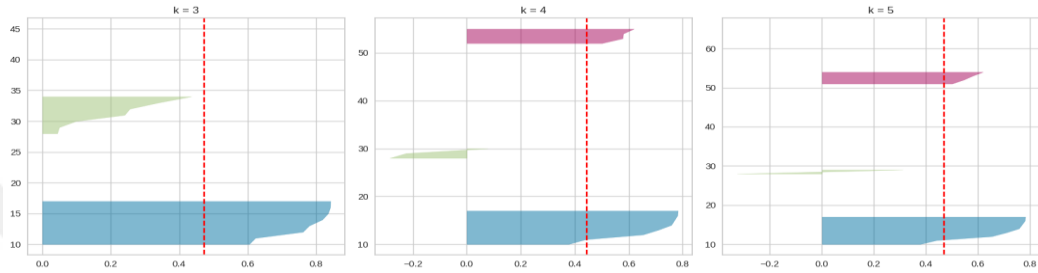
Her bir veri noktası (bu çalışmada her bir ülke) için Silhouette değeri şu şekilde hesaplanır:

- $a(i)$: Veri noktasının kendi kümesindeki diğer noktalarla ortalama mesafesi hesaplanır
- $b(i)$: Veri noktasının diğer en yakın kümedeki noktalara olan ortalama mesafesi hesaplanır
- Silhouette değeri: $s(i) = (b(i) - a(i)) / \max(a(i), b(i))$ formülü ile bulunur

ETS modeli için yapılan kümeleme analizinde Silhouette değerlerinin yüksek çıkması, ülkelerin benzer karakteristiklerine göre doğru bir şekilde gruplandığını gösterecektir. Bu da her küme için önerilecek ETS tasarım özelliklerinin daha isabetli olmasını

sağlayacaktır. Örneğin, Türkiye'nin yer aldığı kümedeki ülkelerin yüksek Silhouette değerleri, bu ülkelerin ETS deneyimlerinin Türkiye için daha anlamlı referans noktaları oluşturacağını gösterir.

Şekil 12'deki Silhouette grafiklerinde $k=3$, $k=4$ ve $k=5$ için kümeleme sonuçlarının kalitesi karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Her bir grafikteki çubuklar, farklı kümelerdeki veri noktalarının (ülkelerin) Silhouette değerlerini göstermektedir.



Şekil 12. Silhouette Analizi Sonuçları (Yazar Tarafından Hazırlanmıştır)

$k=3$ analizinde Silhouette değerleri çoğunlukla pozitif olmakla birlikte, bazı veri noktalarının küme uyumunun diğerlerine göre daha düşük olduğu gözlemlenmektedir.

$k=4$ analizinde Silhouette değerleri genel olarak daha dengeli bir dağılım göstermektedir. Özellikle pembe renkle gösterilen kümedeki ülkelerin yüksek Silhouette değerleri (0.4-0.8 arası), bu kümenin oldukça iyi ayrıştığını göstermektedir. Ayrıca diğer kümelerdeki ülkelerin de çoğunlukla pozitif ve kabul edilebilir Silhouette değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

$k=5$ analizinde ise küme sayısının artmasıyla birlikte bazı kümelerdeki Silhouette değerlerinin düştüğü gözlemlenmektedir. Bu durum, beş kümeye ayırmanın veri setimiz için optimal olmayabileceğini göstermektedir.

Bu üç grafiği karşılaştırdığımızda, $k=4$ seçeneğinin en uygun küme sayısı olduğu sonucunu doğrulayabiliriz çünkü:

- Silhouette değerleri genel olarak daha yüksek ve dengeli
- Negatif Silhouette değerleri minimal düzeyde
- Kümeler arası ayırım daha belirgin
- Elbow yöntemiyle elde ettiğimiz sonucu ($k=4$) destekliyor

Bu analiz, dört kümeye ayırmanın hem istatistiksel olarak anlamlı hem de ETS model önerisi için pratik açıdan kullanışlı olduğunu göstermektedir. Özellikle Türkiye'nin içinde bulunduğu kümenin yüksek Silhouette değerleri, bu kümedeki ülkelerin ETS deneyimlerinin Türkiye için iyi bir referans olabileceğini işaret etmektedir.

K-means algoritması uygulanırken, rastgele başlangıç noktaları belirlenmiş ve iterasyonlar yoluyla küme merkezleri güncellenmiştir.

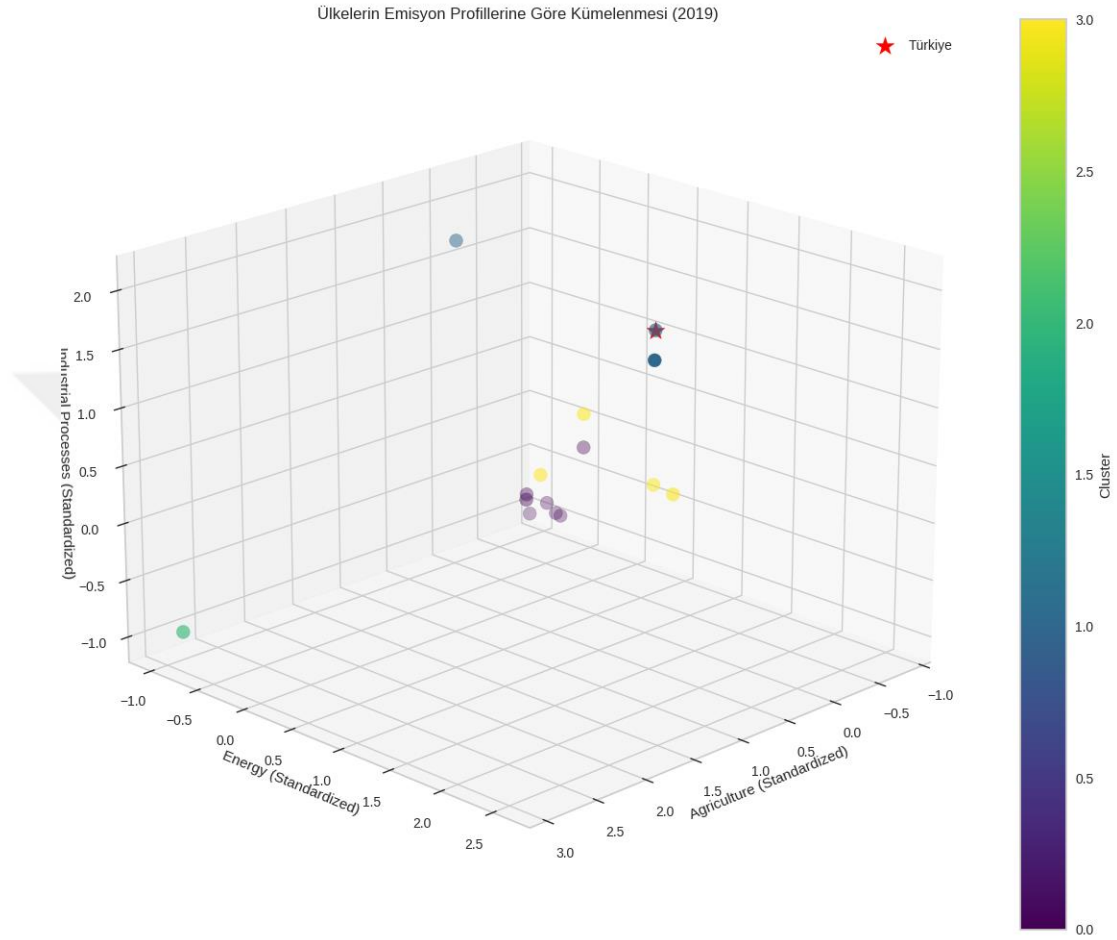
Şekil 13'teki grafik, 2019 yılında farklı ülkelerin emisyon profillerine göre nasıl kümelendiğini göstermektedir. Analiz sonucunda ülkeler dört farklı kümeye ayrılmıştır. Grafikte Tarım, Enerji ve Endüstriyel Süreçler olmak üzere üç temel emisyon kaynağı değerlendirilmiş ve bu değerler standardize edilerek karşılaştırılabilir hale getirilmiştir.

En kalabalık grup olan ve yedi ülkeyi içeren birinci kümede Cezayir, Arjantin, Bulgaristan, Şili, Kolombiya, Yunanistan ve Romanya yer almaktadır. Bu ülkeler genel olarak düşük emisyon değerlerine sahiptir. İkinci kümede ise Türkiye, Endonezya ve Meksika bulunmaktadır. Bu üç ülke yüksek emisyon değerleriyle karakterize edilmektedir ve özellikle enerji ve endüstriyel süreçlerde yüksek emisyon seviyeleri göstermektedir.

Grafikte dikkat çeken önemli bir nokta, Brezilya'nın tek başına üçüncü kümeyi oluşturmasıdır. Bu durum, Brezilya'nın diğer ülkelere farklı bir emisyon profiline sahip olduğunu göstermektedir. Dördüncü kümede ise Malezya, Polonya, Tayland ve Ukrayna yer almakta olup, bu ülkeler orta-yüksek emisyon seviyelerine sahiptir.

Emisyon değerleri arasındaki büyük farklılıklar, ülkelerin ekonomik yapılarındaki ve gelişmişlik düzeylerindeki çeşitliliği yansıtmaktadır. Gelişmekte olan ülkeler genellikle enerji yoğun sektörlerle bağımlı bir ekonomik yapıya sahipken, gelişmiş ülkelerde daha az karbon yoğun sektörlerin ağırlıkta olduğu bir sanayi yapısı görülmektedir. Bu durum, Paris Anlaşması'nda benimsenen "ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar" ilkesiyle de örtüşmektedir. Bu ilkeye göre, ülkeler kendi ekonomik koşullarını ve kapasitelerini göz önünde bulundurarak farklı stratejiler geliştirmektedir. Örneğin, daha düşük gelirli ülkelerin daha sınırlı çevresel düzenlemelere tabi tutulması, gelişmiş ülkelere ise finansal destek sağlaması

beklenmektedir. Böyle bir yaklaşım, hem ekonomik adaleti hem de küresel iklim hedeflerine katkıyı artırmayı hedeflemektedir (Cifci ve Oliver, 2018; Flagg ve Rudel, 2021).



Şekil 13. Ülkelerin Emisyon Profillerine Göre Kümelenmesi (Yazar Tarafından Hazırlanmıştır)

Çalışmada 2019 yılının referans alınmasının temel nedeni, bu yılın COVID-19 pandemisi öncesindeki son "normal" yıl olmasıdır. 2020 ve sonrasındaki yıllarda pandemi nedeniyle yaşanan kapanmalar, üretim düşüşleri ve ekonomik yavaşlama, emisyon değerlerinde olağandışı değişimlere neden olmuştur. Bu nedenle, ülkelerin gerçek emisyon profillerini ve ekonomik faaliyetlerini daha doğru yansıtmaları açısından 2019 yılı verileri kullanılmıştır.

3.2.3. Parametre Analizi

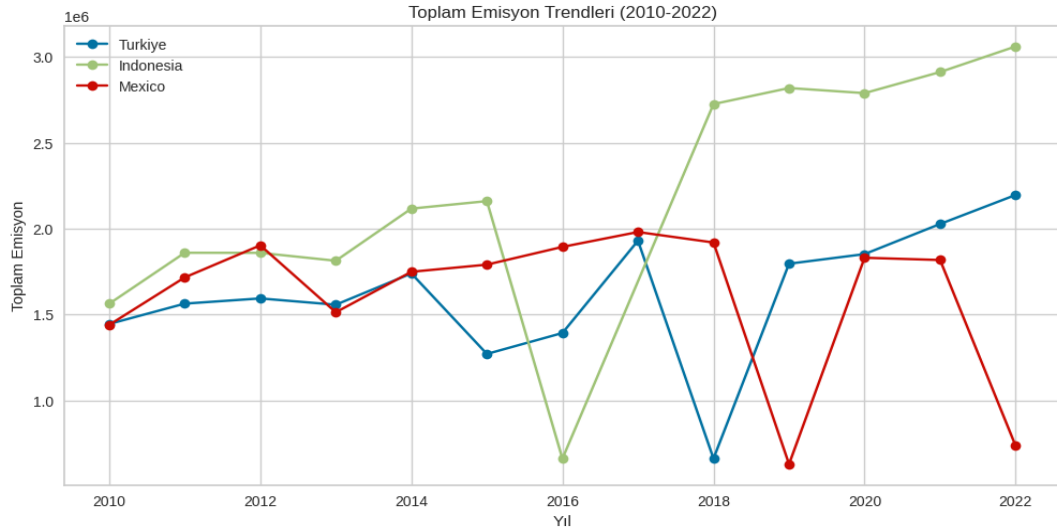
Şekil 14'teki grafik, 2010-2022 yılları arasında Türkiye, Endonezya ve Meksika'nın toplam emisyon trendlerini görselleştirmektedir. Veriler incelendiğinde, her ülkenin kendine özgü emisyon karakteristikleri sergilediği görülmektedir.

Endonezya'nın emisyon trendi en dikkat çekici dalgalanmaları göstermektedir. Özellikle 2016 yılında keskin bir düşüş yaşayan ülke, 2018'den sonra belirgin bir yükseliş trendine girmiş ve 2022'de gözlemlenen periyottaki en yüksek emisyon değerine ulaşmıştır. Bu artış trendi, Endonezya'yı karşılaştırılan ülkeler arasında en yüksek emisyon değerlerine sahip ülke konumuna getirmiştir.

Türkiye'nin emisyon trendi ise görece daha istikrarlı bir seyir izlemiştir. 2018 yılında yaşanan bir düşüş dışında, genel olarak yukarı yönlü bir eğilim gözlemlenmiştir. 2022 yılı itibarıyla Türkiye, incelenen ülkeler arasında ikinci en yüksek emisyon değerlerine sahip ülke konumundadır.

Meksika'nın emisyon trendi ise özellikle son yıllarda dikkat çekici bir değişim göstermiştir. 2020 yılına kadar orta seviyede dalgalanmalar gösteren emisyon değerleri, 2020'den sonra keskin bir düşüş yaşamış ve 2022'de gözlemlenen en düşük seviyeye gerilemiştir.

Bu üç ülkenin seçimi, kümeleme analiziniz için oldukça uygun görünmektedir çünkü her biri farklı emisyon davranışları sergilemektedir. Bu farklılıklar, karşılaştırmalı analiz için zengin bir veri seti sunmakta ve ülkelerin çevresel politikalarındaki farklılıkların emisyon trendlerine nasıl yansıdığını incelemek için değerli bir temel oluşturmaktadır.



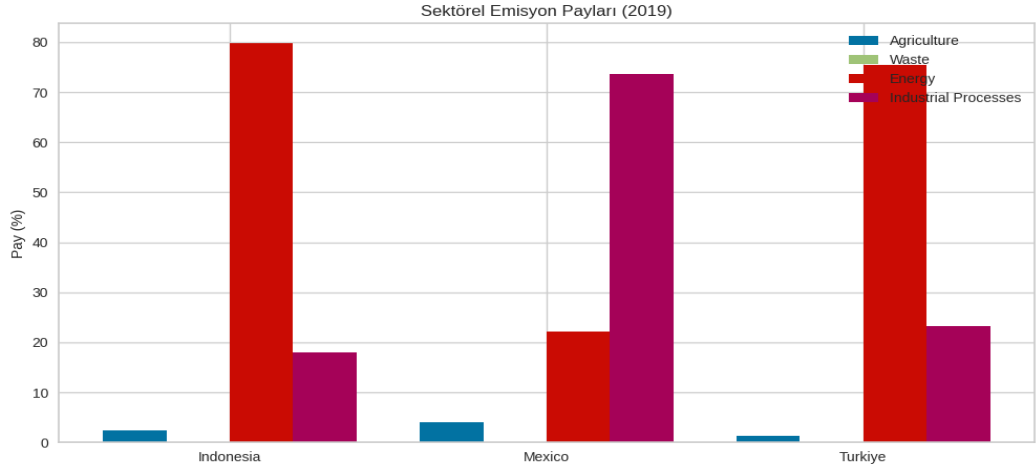
Şekil 14. Toplam Emisyon Trendleri (Yazar Tarafından Hazırlanmıştır)

Şekil 15'teki grafik ise, 2019 yılında Endonezya, Meksika ve Türkiye'nin sektörel emisyon paylarını karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Ülkelerin emisyon profillerinde dikkat çekici farklılıklar bulunmaktadır.

Türkiye'nin emisyon profili incelendiğinde, enerji sektörünün yaklaşık %80 ile en büyük paya sahip olduğu görülmektedir. Bunu yaklaşık %23 ile endüstriyel süreçler takip etmektedir. Tarım sektörünün payı ise oldukça düşük seviyededir.

Meksika'nın emisyon dağılımında en dikkat çekici nokta, endüstriyel süreçlerin yaklaşık %73 ile dominant bir paya sahip olmasıdır. Enerji sektörü yaklaşık %22'lik bir paya sahipken, tarım sektörü %5 civarında bir katkı yapmaktadır.

Endonezya'da ise Türkiye'ye benzer şekilde enerji sektörü yaklaşık %80 ile en yüksek paya sahiptir. Endüstriyel süreçler yaklaşık %18'lik bir paya sahipken, tarım sektörünün katkısı %2 civarındadır.

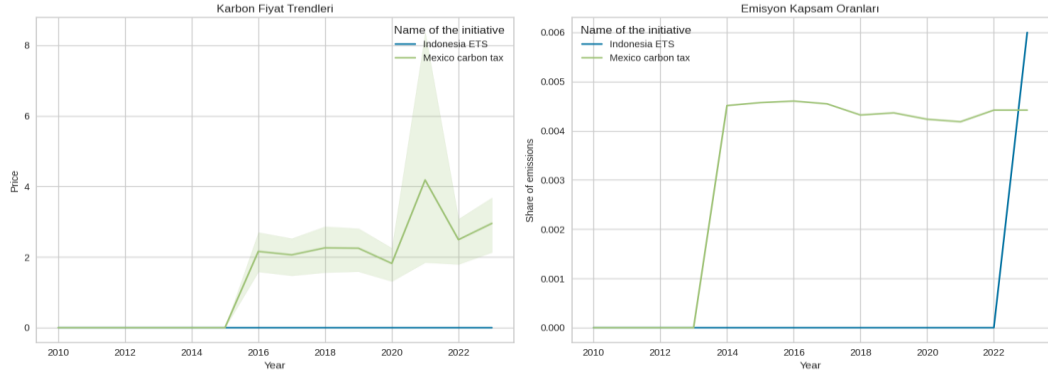


Şekil 15. Sektörel Emisyon Payları (Yazar Tarafından Hazırlanmıştır)

Bu veriler, ülkelerin ekonomik yapılarındaki ve endüstriyel gelişmişlik düzeylerindeki farklılıkları yansıtmaktadır. Özellikle Meksika'nın endüstriyel süreçlerden kaynaklanan yüksek emisyon oranı, ülkenin güçlü bir endüstriyel üretim altyapısına sahip olduğunu göstermektedir. Türkiye ve Endonezya'nın enerji sektöründen kaynaklanan yüksek emisyon oranları ise, bu ülkelerin enerji üretiminde fosil yakıtlara olan bağımlılığına işaret etmektedir.

Şekil 16 ise, Endonezya ve Meksika'nın karbon fiyatlandırma politikalarını ve emisyon kapsam oranlarını 2010-2022 yılları arasında karşılaştırmalı olarak göstermektedir.

Sol taraftaki grafik karbon fiyat trendlerini göstermektedir. Meksika (yeşil çizgi), 2014'ten sonra karbon vergisi uygulamaya başlamış ve fiyatları kademeli olarak artırmıştır. 2020 yılında yaklaşık 4 birime kadar çıkan keskin bir artış görülmüş, ardından bu artış bir miktar düşüş göstererek 2022'de yaklaşık 3 birim seviyesinde seyretnmiştir. Endonezya'nın (mavi çizgi) Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) fiyatları ise grafikte görüldüğü üzere 2022'ye kadar neredeyse sabit kalmıştır.



Şekil 16. Karbon Fiyat Trendleri ve Emisyon Kapsam Oranı (Yazar Tarafından Hazırlanmıştır)

Sağ taraftaki grafik emisyon kapsam oranlarını göstermektedir. Meksika'nın karbon vergisi kapsamı 2014 yılında keskin bir artış göstermiş ve yaklaşık 0.0045 seviyesine ulaşmıştır. Bu seviye 2022'ye kadar nispeten stabil kalmıştır. Endonezya'nın ETS kapsamı ise 2022'ye kadar çok düşük seviyelerde seyretmiş, ancak 2022'de keskin bir artış göstererek yaklaşık 0.006 seviyesine ulaşmıştır.

Bu veriler, iki ülkenin karbon fiyatlandırma politikalarında farklı yaklaşımlar benimsediğini göstermektedir. Meksika daha erken bir dönemde karbon vergisi uygulamasına geçmiş ve kademeli bir artış stratejisi izlemiştir. Endonezya ise ETS uygulamasında daha temkinli bir yaklaşım sergilemiş, ancak 2022'de kapsamını önemli ölçüde genişletmiştir. Bu farklılıklar, ülkelerin ekonomik yapılarındaki ve çevre politikalarındaki önceliklerindeki farklılıkları yansıtmaktadır.

3.2.4. Türkiye ETS Modeli Bulguları

Yukarıdaki bulgular bağlamında analiz sonuçları, Türkiye için önerilen Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) parametrelerini göstermektedir. Detaylı olarak inceleyecek olursak:

- **Kapsam Önerisi:** İlk faz için önerilen toplam kapsam oranı %98.7 gibi oldukça yüksek bir orandır. Bu oran, sistemin kapsamlı ve etkili bir şekilde uygulanmasını hedeflediğini göstermektedir. Kapsam iki ana sektöre odaklanmaktadır:
 - **Enerji Sektörü (%75.4):** Bu yüksek oran, önceki grafiklerde gördüğümüz üzere Türkiye'nin emisyon profilinde enerji sektörünün dominant rolünü

yansıtmaktadır. Enerji sektörünün bu denli yüksek bir oranla kapsama alınması, Türkiye'nin enerji kaynaklı emisyonlarını kontrol altına alma hedefini göstermektedir.

- Endüstriyel Süreçler (%23.3): Bu oran, Türkiye'nin endüstriyel emisyonlarının önemli bir kısmını kapsayarak, sanayi sektörünün de karbon azaltım çabalarına dahil edilmesini sağlamaktadır.

- Fiyat Önerisi:

- Başlangıç fiyatı 0.54 USD/tCO₂e olarak önerilmiştir. Bu fiyat, sistemin ilk aşaması için makul bir başlangıç noktası olarak değerlendirilebilir. Önceki grafikte gördüğümüz Meksika ve Endonezya örnekleriyle karşılaştırıldığında, bu fiyat nispeten düşük görünmektedir. Ancak bu, sistemin kademeli olarak uygulanması ve piyasanın adapte olması için bilinçli bir tercih olabilir.
- Fiyat Bandı: 0.44 - 0.65 USD/tCO₂e aralığı belirlenmiştir. Bu bant:
 - Alt Limit (0.44 USD): Fiyatların aşırı düşmesini engelleyerek sistemin etkinliğini korumayı amaçlar
 - Üst Limit (0.65 USD): Ekonomik aktörler üzerindeki mali yükün kontrollü kalmasını sağlar
 - Bant Genişliği: Yaklaşık 0.21 USD'lik bir manevra alanı sunarak piyasa dinamiklerinin işlemesine olanak tanır

Bu parametreler, Türkiye'nin emisyon azaltım hedeflerine ulaşmasında önemli bir araç olabilecek ETS'nin temel çerçevesini oluşturmaktadır. Özellikle yüksek kapsam oranı, sistemin etkili olma potansiyelini artırırken, makul fiyat bandı da ekonomik aktörlerin sisteme adaptasyonunu kolaylaştırmayı hedeflemektedir.

Tablo 1. Önerilen ETS Parametreleri (Yazar Tarafından Hazırlanmıştır)

Parametre Kategorisi	Parametre	Değer
Kapsam	İlk faz kapsam oranı	98.7%
Kapsam	Enerji sektörü	75.4%
Kapsam	Endüstriyel Süreçler	23.3%
Kapsam	Tarım Sektörü	1.3%
Kapsam	Atık Süreçleri	0%
Fiyat	Başlangıç fiyatı	0.54 USD/tCO ₂ e
Fiyat	Fiyat bandı	0.44 - 0.65 USD/tCO ₂ e

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma hedeflerini destekleyecek bir emisyon ticaret sistemi modelinin tasarlanması ve uygulanmasına yönelik kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Araştırma bulguları ve analizler ışığında, aşağıdaki temel sonuçlara ulaşılmıştır.

Çalışmanın Özet Bulguları

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizler, Türkiye'nin emisyon profilinde enerji sektörünün %75.4 ve endüstriyel süreçlerin %23.3'lük pay ile öne çıktığını göstermektedir. 2010-2022 dönemini kapsayan trend analizi, ülkenin emisyon yoğunluğunda belirgin bir artış eğilimi olduğunu ortaya koymaktadır. Mevcut durumda karbon fiyatlandırma mekanizmalarının eksikliği, emisyon azaltım hedeflerine ulaşılmasını güçleştiren önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır.

Çalışmada önerilen ETS modeli, kademeli bir geçiş stratejisi benimsemektedir. Model kapsamında başlangıç fiyatı 0.54 USD/tCO₂e olarak belirlenmiş olup, 0.44-0.65 USD/tCO₂e bandında esneklik öngörülmüştür. Sistemin kapsam alanı, ilk fazda toplam emisyonların %98.7'sini içerecek şekilde tasarlanmıştır. Bu geniş kapsam, karbon sızıntısı riskini minimize edecek sektörel stratejilerle desteklenmektedir.

Gerçekleştirilen uluslararası karşılaştırmalı analiz, benzer ekonomik yapıya sahip ülkelerin deneyimlerinden önemli dersler sunmaktadır. Özellikle kümeleme analizi sonucu Türkiye ile aynı grupta yer alan Endonezya ve Meksika'nın ETS deneyimleri, sistem tasarımıyla yol gösterici olmuştur. Uluslararası entegrasyon potansiyelinin, sistem etkinliğini artıracak kritik bir faktör olduğu tespit edilmiştir.

Türkiye İçin Politika Önerileri

Çalışmanın bulgularından hareketle, Türkiye için kısa, orta ve uzun vadeli politika önerileri geliştirilmiştir. Kısa vadede, ETS'nin yasal ve kurumsal altyapısının güçlendirilmesi öncelik taşımaktadır. Bu kapsamda, ETS'ye yönelik yasal çerçevenin oluşturulması, kurumsal kapasitenin geliştirilmesi ve MRV sisteminin kurulması kritik önem taşımaktadır. Ayrıca, seçili sektörlerde pilot uygulamaların başlatılması,

sistemin işleyişinin test edilmesi ve paydaş geri bildirimlerinin toplanması açısından önemlidir.

Orta vadeli perspektifte, sistemin tam ölçekli uygulamaya geçirilmesi hedeflenmelidir. Bu dönemde, kapsam genişletme stratejisinin uygulanması, fiyat istikrar mekanizmalarının devreye alınması ve uluslararası bağlantıların kurulması önem taşımaktadır. Finansal altyapının güçlendirilmesi kapsamında, karbon piyasası araçlarının çeşitlendirilmesi ve yeşil finans enstrümanlarıyla entegrasyonun sağlanması önceliklendirilmelidir.

Uzun vadede ise sistemin optimizasyonu ve derinleşmesi hedeflenmelidir. Bu kapsamda piyasa likiditesinin artırılması, uluslararası bağlantıların genişletilmesi ve inovatif karbon finansman araçlarının geliştirilmesi önem taşımaktadır. Ayrıca bu dönemde, düşük karbonlu teknolojilere geçişin hızlandırılması ve sektörel dönüşüm programlarının güçlendirilmesi yoluyla sürdürülebilir dönüşümün desteklenmesi gerekmektedir.

Gelecekteki Çalışmalara Yönelik Öneriler

Gelecekte yapılacak çalışmaların metodolojik açıdan daha kapsamlı analizler içermesi önem taşımaktadır. Bu bağlamda sektörel etki analizlerinin derinleştirilmesi, makroekonomik modelleme çalışmalarının genişletilmesi ve karbon fiyatlandırma senaryolarının çeşitlendirilmesi önerilmektedir. Araştırma konuları açısından, ETS'nin sosyal etki boyutunun incelenmesi, teknolojik inovasyon üzerindeki etkilerinin analizi ve uluslararası rekabet gücüne etkilerinin değerlendirilmesi öncelikli alanlar olarak öne çıkmaktadır. Örneğin, ETS'nin teknolojik inovasyonu teşvik ederek yeşil toplam faktör verimliliğini (GTFP) artırdığı, enerji verimliliğini geliştirdiği ve endüstriyel yapıları optimize ettiği belirtilmiştir. Bu tür etkiler, hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ekonomilerde farklı şekillerde ortaya çıkmakta ve bölgesel heterojenlikler göstermektedir. Ayrıca, ETS'nin ekonomik büyümeye ve çevresel sürdürülebilirliğe olan etkilerinin, rekabet gücünü artırma potansiyelini de içerdiği ifade edilmektedir. Bununla birlikte, ETS'nin uluslararası karbon pazarındaki rolü, ekonomik ve çevresel politikalar arasında bir denge kurmak için önemli bir faktör olarak görülmektedir (Han, Zhu ve Chen, 2023; Wang, Chen ve Han, 2021; Zhu, Long ve Gong, 2021).

Veri ve analiz kapasitesinin geliştirilmesi açısından, sektörel emisyon verilerinin granüleritesinin artırılması, firma düzeyinde etki analizlerinin yapılması ve karbon piyasası simülasyonlarının geliştirilmesi önem taşımaktadır. Bu alanlarda yapılacak çalışmalar, sistemin etkinliğinin artırılmasına ve sürdürülebilir dönüşümün hızlandırılmasına katkı sağlayacaktır (Liu, Wang ve Zhang, 2022; Wang ve Li, 2023; Zhang, Chen ve Huang, 2021).

Bu çalışma, Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasında kritik rol oynayacak bir ETS modelinin temel çerçevesini sunmaktadır. Önerilen model, ülkenin kendine özgü koşullarını dikkate alarak, kademeli ve esnek bir geçiş stratejisi önermektedir. Sistemin başarılı bir şekilde uygulanması, kamu ve özel sektör paydaşlarının etkin işbirliği ve koordinasyonunu gerektirmektedir. Gelecek çalışmaların, bu çalışmada belirlenen araştırma alanlarına odaklanması, sürdürülebilir dönüşüm sürecinin etkinliğini artıracaktır.

KAYNAKLAR

- Abdurrahim, G. (2023). *Türkiye'de İklim Değişikliği Politikaları ve Sürdürülebilir Finans Uygulamalarının Önemi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik.
- Acar, S., Aşıcı, A. A. ve Yeldan, A. E. (2022). *Potential effects of the EU's carbon border adjustment mechanism on the Turkish economy*. Springer.
- Ada, S. (2022). *Sürdürülebilir Finans Yaklaşımı Çerçevesinde Yeşil Bankacılık ve Yeşil Finansman Araçları* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Trakya Üniversitesi, Edirne.
- Akgül, O. (2021). Türkiye'nin sera gazı emisyon envanteri değerlendirmesi.
- Akyol, M. (2022). *Karbon Ayak İzinin Zaman Serisi Veri Madenciliği Yöntemleri ile Tahmini: Türkiye Örneği*. İskenderun Teknik Üniversitesi.
- Aslan, B. ve Kılıç, M. (2020). Enerji sektörü ve emisyon artış trendlerinin ekonomik analizi. *Türk Ekonomi Araştırmaları Dergisi*.
- Besen, T. ve Olhan, E. (2021). *Tarımsal Çevre Göstergeleri Değerlendirmesi*. CAB International.
- Betz, R. ve Sato, M. (2006). *Emissions Trading: Lessons from Economic Literature and International Experiences*. Elsevier.
- Biancone, P. ve Radwan, M. (2019). Social finance and financing social enterprises: An Islamic finance prospective. *European Journal of Islamic Finance*. <https://iris.unito.it> adresinden alındı.
- Boyd, E., Hultman, N. ve Roberts, J. T. (2009). *The Clean Development Mechanism: Market or Transformation?* Development and Change.
- Braun, M. (2009). *The Evolution of Emissions Trading in the European Union—The Role of Policy Networks, Knowledge, and Policy Entrepreneurs*. Elsevier.

- Bumpus, A. ve Cole, J. (2010). Social implications of carbon trading for local communities. *Sustainability Science*.
- Cao, M. (2020). A case study on China's carbon emission trading system: experiences and recommendations. *Asia Pacific Journal of Environmental Law*.
- Castle, B. (2012). Low-carbon technology transfer and sustainable development. *Research Gate*.
- Chakravarty, S., Chikkatur, A. ve Sagar, A. (2009). *Carbon Trading and Implications for Developing Countries*. Climate Policy.
- Cifci, E. ve Oliver, M. E. (2018). Reassessing the links between GHG emissions, economic growth, and the UNFCCC: A difference-in-differences approach. *Sustainability*, 10(2), 334.
- Cin, R. ve Onaygil, S. (2024). *Reviewing the Implementations and Studies of Energy Efficiency Obligation Schemes Towards Establishing a Scheme in Turkey*. Springer.
- Cooper, L., Evnine, J. ve Finkelman, J. (2016). Social finance and the postmodern portfolio: Theory and practice. *The Journal of Portfolio Management*.
- Cruse, S., & Thennadil, S. N. (2022). An analysis framework for clustering algorithm selection with applications to spectroscopy. *Plos One*, 17(3), e0266369.
- Çetintaş, H. ve Türköz, K. (2017). Türkiye’de enerji üretiminde fosil yakıt kullanımı ve CO2 emisyonu ilişkisi: Bir senaryo analizi. *Academia*.
- Çiçek, F., Ata, A. ve Övez, B. (2022). *Atık yönetiminde emisyon etkileri*. Advances in Engineering and Environmental Sciences.
- Deane, F., Hamman, E. ve Pei, Y. (2017). *Principles of Transparency in Emissions Trading Schemes: The Chinese Experience*. Transnational Environmental Law.
- Demirbaş, M. ve Şahin, Ö. (2022). COVID-19 sonrası emisyon artışlarının iktisadi analizi. *Çevre ve Ekonomi Dergisi*.

- Ellerman, A. D. ve Joskow, P. L. (2008). *The European Union's Emissions Trading System in Perspective*.
- European Commission (2019). *The European Green Deal*. 12 Eylül 2024 tarihinde <https://ec.europa.eu> adresinden alındı.
- European Environment Agency (2022). *EU Emission Trading System: Success and Challenges*. 10 Haziran 2024 tarihinde <https://www.eea.europa.eu> adresinden alındı.
- Field, A. (2018). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. Sage Publications.
- Flagg, J. A. ve Rudel, T. K. (2021). Uneven ambitions: Explaining national differences in proposed emissions reductions. *Human Ecology Review*, 27(1), 28–29.
- Forsyth, T. (2007). Technology transfer and climate change mitigation. *Climatic Change*.
- Geobey, S., Westley, F. R. ve Weber, O. (2012). Enabling social innovation through developmental social finance. *Journal of Social Entrepreneurship*.
- Gürler, A. Z. ve Ayyıldız, B. (2017). Ekolojik ekonomi perspektifinden sürdürülebilirliğin ARIMA yaklaşımı ile projeksiyonu: BRIC ülkeleri ve Türkiye. *Research Gate*.
- Han, J., Zhu, W., & Chen, C. (2023). Identifying emissions reduction opportunities in international bilateral emissions trading systems to achieve China's energy sector NDCs. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.
- Hepburn, C. (2007). Carbon trading: A review of the Kyoto mechanisms. *Annual Review of Environment and Resources*. Annual Reviews.
- Hotunluoğlu, H. ve Özçağ, M. (2015). *Yeşil Ekonomi ve Sürdürülebilir Kalkınma*. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Yayınları.

- Howie, P., Gupta, S. ve Akmetov, D. (2020). *Evaluating Policy Success of Emissions Trading Schemes in Emerging Economies: Comparing the Experiences of Korea and Kazakhstan*. Climate Policy.
- International Finance Corporation (IFC) (2020). *Social Bonds: Financing a Sustainable Future*. 13 Eylül 2024 tarihinde <https://www.ifc.org> adresinden alındı.
- Karacan, G. ve Gökçe, D. (2023). *İklim değişikliği ile yerel mücadele: İklim eylem planları ile mekânsal planların bütünleştirilmesi*. DergiPark.
- Karakoç, H. ve Yılmaz, İ. (2021). *Türkiye'de Sanayi ve Enerji Tüketimi Üzerine Çevresel Etkiler*. Trakya Üniversitesi Yayınları.
- Kaya, D. G. (2020). Koronavirüs pandemisinin küresel ekonomideki izleri: Kamu finansal dengesi ve emisyonlar. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*.
- Kayakuş, M. ve Terzioğlu, M. (2023). *European Union 2030 Carbon Emission Target: The Case of Turkey*. MDPI.
- Kirbaşlı, M. ve Avunduk, Z. B. (2022). *Endüstriyel Emisyonların Ekonomik Etkileri*. ÇOMÜ Yayınları.
- Kuzucu, N. (2015). *Corporate Dividend Payout Policy: Empirical Evidence from Borsa Istanbul and a Survey of Managerial Perspective*. (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Lehner, O. M. ve Nicholls, A. (2017). *Social Finance and Crowdfunding for Social Enterprises: A Public-private Case Study Providing Legitimacy and Leverage*. Routledge.
- Liu, Z., Wang, H. ve Zhang, X. (2022). Corporate-level analysis of carbon emissions trading schemes: challenges and opportunities for policy effectiveness. *Climate Policy*, 22(4), 489–507. doi:10.1080/14693062.2022.2038497

- Michaelowa, A. ve Butzengeiger, S. (2004). *The EU Emissions Trading Scheme—Issues and Challenges*. Intereconomics.
- Moore, M. L., Westley, F. R. ve Nicholls, A. (2012). The social finance and social innovation nexus. *Journal of Social Entrepreneurship*.
- Narassimhan, E., Gallagher, K.S., Koester, S. ve Alejo, JR. (2018). *Carbon Pricing in Practice: A Review of Existing Emissions Trading Systems*. Climate Policy.
- Narman, K. (2015). *Social Responsible Investments: A Review of Global Trends and Applications in Emerging Economies* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Newell, P. ve Bumpus, A. (2012). *The Global Political Ecology of Carbon Markets*. Wiley.
- Olsen, K. (2007). *The Clean Development Mechanism's Contribution to Sustainable Development: A Review of the Literature*. Climatic Change.
- Özkan, R. (2022). *Sürdürülebilir Çevre Politikalarının Geliştirilmesi Bakımından Sıfır Atık Projesi*. ÇOMÜ.
- Öztürk İdik, R. (2022). *Eğitim, İşsizlik ve Enflasyonun Gelir Dağılımı Adaletsizliğine Etkisi: Türkiye İçin Model Analizi*. ÇOMÜ.
- Pizer, W. A. ve Zhang, B. (2020). Economic impacts of emissions trading schemes. *Journal of Environmental Economics*.
- Resources for the Future (2023). *World Carbon Pricing Database*. 10 Eylül 2024 tarihinde <https://www.rff.org> adresinden alındı.
- Rizzi, F., Pellegrini, C. ve Battaglia, M. (2018). The structuring of social finance: Emerging approaches for supporting environmentally and socially impactful projects. *Journal of Cleaner Production*.
- Rosenman, E. (2019). *The Geographies of Social Finance: Poverty Regulation Through the 'Invisible Heart' of Markets*. Progress in Human Geography.

- Saysel, A. K. ve Hekimoğlu, M. (2013). *Exploring the Options for Carbon Dioxide Mitigation in Turkish Electric Power Industry: System Dynamics Approach*. Elsevier.
- Seres, S. (2008). *Analysis of Technology Transfer in CDM Projects*. UNFCCC.
- Setyawan, D. A. (2024). A Comparative analysis between k-means and agglomerative clustering. *Compiler*, 13(1), 48–49.
- Shaik, M., Fabian, A., vd. (2023). Assessing the role of carbon pricing in global climate change mitigation strategies. *Magna Scientia Advanced Research and Reviews*, 10(2), 022–031.
- Shutaywi, M., & Kachouie, N. N. (2021). Silhouette analysis for performance evaluation in machine learning with applications to clustering. *Entropy*, 23(8), 759.
- Sirin, S. M. ve Ege, A. (2012). *Overcoming Problems in Turkey's Renewable Energy Policy: How can EU Contribute?* Elsevier.
- Skjærseth, J. B. ve Wettstad, J. (2008). *Implementing EU Emissions Trading: Lessons from the Pilot Phase*. Springer.
- Sutter, C. ve Parreno, J. (2007). Does the current Clean Development Mechanism (CDM) deliver its sustainable development claim? *Climatic Change*.
- Süel, E., Köroğlu, M. S. ve Sabuncu, T. B. (2012). *CDP Türkiye - En iyi Uygulamalar Kitapçığı*. Sabancı Üniversitesi.
- Sümer, G. Ç. (2022). Karbon ticareti ve yenilenebilir enerji politikaları. *KSÜ Sosyal Bilimler Dergisi*.
- Şen, Z. (2022). İklim değişikliği ve Türkiye. *Çevre Şehir ve İklim Dergisi*.
- Şimşek, O. ve Tunalı, H. (2022). Yeşil finansman uygulamalarının sürdürülebilir kalkınma üzerindeki rolü: Türkiye projeksiyonu. *Ekonomi ve Finansal Araştırmalar Dergisi*, 4(1), 16-45.

- Tahiri Jouti, A. (2019). An integrated approach for building sustainable Islamic social finance ecosystems. *ISRA International Journal of Islamic Finance*.
- Temel, N. Ü. (2022). *Türkiye'nin Sivil Havacılık Politikalarının Küresel Sürdürülebilir Havacılık Kapsamında Değerlendirilmesi*. ProQuest.
- Tuerk, A. (2009). *Linking Emissions Trading Schemes*. Taylor & Francis.
- Turhan, E., Cerit Mazlum, S. ve Şahin, Ü. (2016). *Beyond Special Circumstances: Climate Change Policy in Turkey 1992–2015*. Wiley Online Library.
- TÜİK (t.y.). *Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2022*. 10 Mayıs 2024 tarihinde <https://data.tuik.gov.tr/> adresinden alındı.
- Türk, E., Erkan, G. ve Erdoğan, A. (2022). *Bölgesel Düzeyde Mekansal Planların Çevresel Etkileri*. KTÜ Yayınları.
- Voyvoda, E. ve Yeldan, E. (2008). Economics of environmental policy in Turkey: A general equilibrium investigation of the economic evaluation of sectoral emission reduction policies for climate change. *Journal of Policy Modeling*.
- Wang, Q. ve Li, R. (2023). Simulation-based evaluations of carbon market dynamics: firm-level impacts and policy implications. *Journal of Environmental Economics and Policy*, 12(3), 345–365. doi:10.1080/21606544.2023.2178459
- Wang, S., Chen, G., & Han, X. (2021). An analysis of the impact of the emissions trading system on the green total factor productivity based on the spatial difference-in-differences approach: The case of China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.
- Wettestad, J. ve Christiansen, AC. (2008). *Implementing EU Emissions Trading: Success or Failure?* Springer.
- World Bank (2021). *State and Trends of Carbon Pricing 2021*. 5 Eylül 2024 tarihinde <https://www.worldbank.org> adresinden alındı.
- World Bank (t.y.). *State and Trends of Carbon Pricing Dashboard*. 12 Eylül 2024 tarihinde <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org> adresinden alındı.

World Bank (2022). *World Bank Open Data*. 12 Eylül 2024 tarihinde <https://data.worldbank.org> adresinden alındı.

Yıldırım, S. (2019). Türkiye'nin karbon emisyonları ve büyüme dinamikleri üzerine bir inceleme. *Ankara Çevre ve Şehircilik Dergisi*.

Zengin, B. (2020). *Kamu Yatırım Kararlarının Finansal Açıdan Değerlendirilmesi ve Türkiye İçin Bir Model Önerisi* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Ankara.

Zhang, C., Chen, W. ve Huang, G. (2021). Enhancing the precision of emission inventories through granular data: implications for emission trading schemes. *Energy Policy*, 150, 112122. doi:10.1016/j.enpol.2021.112122

Zhu, R., Long, L. ve Gong, Y. (2022). Emission trading system, carbon market efficiency, and corporate innovations (2022). *International Journal of Environmental Research and Public Health*.

EKLER

Ek 1. Kaynak Kodlar

"""

Sosyal Finans Ve Yeşil Finans Bağlamında Emisyon Ticareti Modeli Önerisi Ve Türkiye'nin Sürdürülebilir Geleceği

Kütüphaneler

"""

```
import re
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import pandas as pd
import seaborn as sns
import warnings

from sklearn.preprocessing import StandardScaler
from sklearn.cluster import KMeans
from statsmodels.tsa.arima.model import ARIMA
from statsmodels.tsa.stattools import adfuller
from statsmodels.tsa.seasonal import seasonal_decompose

warnings.filterwarnings('ignore')

"""Klasör Bağlantısı"""

from google.colab import drive

drive.mount('/content/drive')

"""Verilerin Yüklenmesi"""

# Veri okuma
emissions_df = pd.read_csv('/content/drive/My Drive/Tez/Carbon_Emissions.csv',
decimal=',')

# Define the regex pattern for the datetime format
datetime_pattern = r"^\d{4}-\d{2}-\d{2} \d{2}:\d{2}:\d{2}$"
```

```

# Specify the columns to check
columns_to_check = ["Agriculture", "Waste", "Energy", "Industrial Processes"]

# Create a boolean mask to identify rows to keep
rows_to_keep = ~emissions_df[columns_to_check].apply(
    lambda col: col.str.match(datetime_pattern, na=False)
).any(axis=1)

# Filter the DataFrame to keep only rows that don't match the pattern
emissions_df = emissions_df[rows_to_keep]
emissions_df = emissions_df.astype({'Agriculture': float,
                                     'Waste': float,
                                     'Energy': float,
                                     'Industrial Processes': float,
                                     'Year': int,
                                     'Country': str})

tax_df = pd.read_csv("/content/drive/My Drive/Tez/Carbon_Taxes.csv")

"""## Mevcut Durum Analizi"""

# Türkiye verilerini filtreleme
tr_emissions = emissions_df[emissions_df['Country'] == 'Türkiye'].copy()
tr_emissions = tr_emissions.drop_duplicates(subset=['Year'], keep='first')
tr_emissions = tr_emissions[tr_emissions['Year'] >= 2000]
tr_emissions['Total_Emissions'] = tr_emissions[['Agriculture', 'Waste', 'Energy',
'Industrial Processes']].sum(axis=1)

# 1. Emisyon Trendleri Analizi
plt.figure(figsize=(12, 6))
for column in ['Agriculture', 'Waste', 'Energy', 'Industrial Processes']:
    plt.plot(tr_emissions['Year'], tr_emissions[column], label=column)
plt.title('Türkiye Emisyon Trendleri (2000-2022)')
plt.xlabel('Yıl')
plt.ylabel('Emisyon Miktarı')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()

def calculate_sector_shares(df):
    # Year sütununu index olarak ayarla
    df = df.set_index('Year')

    sectors = ['Agriculture', 'Waste', 'Energy', 'Industrial Processes']
    shares_df = pd.DataFrame()

    for sector in sectors:

```

```

    shares_df[sector] = df[sector] / df['Total_Emissions'] * 100

    return shares_df

sector_shares = calculate_sector_shares(tr_emissions)

plt.figure(figsize=(12, 6))
sector_shares.plot(kind='area', stacked=True)
plt.title('Sektörel Emisyon Payları (%)')
plt.xlabel('Yıl')
plt.ylabel('Pay (%)')
plt.legend(title='Sektörler', bbox_to_anchor=(1.05, 1))
plt.tight_layout()
plt.show()

def analyze_trends(series):
    decomposition = seasonal_decompose(series, period=1)

    plt.figure(figsize=(12, 10))
    plt.subplot(411)
    plt.plot(series)
    plt.title('Original')
    plt.subplot(412)
    plt.plot(decomposition.trend)
    plt.title('Trend')
    plt.subplot(413)
    plt.plot(decomposition.seasonal)
    plt.title('Seasonal')
    plt.subplot(414)
    plt.plot(decomposition.resid)
    plt.title('Residual')
    plt.tight_layout()
    plt.show()

analyze_trends(tr_emissions.set_index('Year')['Total_Emissions'])

# Büyüme oranı hesaplama
tr_emissions['Total_Growth'] = tr_emissions['Total_Emissions'].pct_change() * 100
tr_emissions = tr_emissions.dropna()

plt.figure(figsize=(12, 6))
plt.plot(tr_emissions['Year'], tr_emissions['Total_Growth'])
plt.axhline(y=0, color='r', linestyle='--')
plt.title('Yıllık Emisyon Büyüme Oranı (%)')
plt.xlabel('Yıl')
plt.ylabel('Büyüme Oranı (%)')
plt.grid(True)

```

```

plt.show()

def forecast_emissions(series, periods=10):
    model = ARIMA(series, order=(1,1,1))
    results = model.fit()
    forecast = results.forecast(steps=periods)

    plt.figure(figsize=(12, 6))
    plt.plot(series.index, series, label='Gerçek Veriler')
    plt.plot(range(series.index[-1]+1, series.index[-1]+periods+1),
              forecast, label='Tahmin', linestyle='--')
    plt.title('Emisyon Tahmini')
    plt.xlabel('Yıl')
    plt.ylabel('Emisyon Miktarı')
    plt.legend()
    plt.grid(True)
    plt.show()

    return forecast

forecast = forecast_emissions(tr_emissions.set_index('Year')['Total_Emissions'])
print("Gelecek Tahminleri:")
print(forecast)

# 5. Özet İstatistikler
summary_stats = tr_emissions[['Agriculture', 'Waste', 'Energy', 'Industrial Processes',
'Total_Emissions']].describe()
print("Özet İstatistikler:")
print(summary_stats)

def analyze_carbon_tax(df):
    # Yıllara göre ortalama değerler
    yearly_stats = df.groupby('Year').agg({
        'Price': ['mean', 'median'],
        'Share of emissions': 'mean',
        'Revenue': 'sum'
    }).round(2)

    # Fiyat trendleri
    plt.figure(figsize=(12, 6))
    sns.boxplot(x='Year', y='Price', data=df)
    plt.title('Karbon Fiyatlandırma Trendleri')
    plt.xticks(rotation=45)
    plt.show()

    # Kapsam analizi
    plt.figure(figsize=(12, 6))

```

```

sns.boxplot(x='Year', y='Share of emissions', data=df)
plt.title('Emisyon Kapsam Oranları')
plt.xticks(rotation=45)
plt.show()

# Bölgesel karşılaştırma
regional_comparison = df.groupby('Name of the initiative').agg({
    'Price': 'mean',
    'Share of emissions': 'mean',
    'Revenue': 'sum'
}).round(2).sort_values('Price', ascending=False)

return yearly_stats, regional_comparison

yearly_stats, regional_comparison = analyze_carbon_tax(tax_df)

# Korelasyon Analizi
corr_matrix = tax_df[['Price', 'Share of emissions', 'Revenue']].corr()

plt.figure(figsize=(8, 6))
sns.heatmap(corr_matrix, annot=True, cmap='coolwarm')
plt.title('Karbon Vergisi Parametreleri Korelasyon Matrisi')
plt.show()

# Fiyat-Kapsam İlişkisi
plt.figure(figsize=(10, 6))
sns.scatterplot(data=tax_df, x='Price', y='Share of emissions',
                hue='Name of the initiative', alpha=0.6)
plt.title('Fiyat ve Kapsam İlişkisi')
plt.xlabel('Fiyat')
plt.ylabel('Kapsam Oranı (%)')
plt.legend(bbox_to_anchor=(1.05, 1), borderaxespad=0)
plt.tight_layout()
plt.show()

"""Benchmark Analizi"""

benchmark_countries = [
    'Poland',
    'Romania',
    'Greece',
    'Bulgaria',
    'Ukraine',
    'Turkiye',
    'South Korea',
    'Malaysia',
    'Indonesia',

```

```

'Vietnam',
'Thailand',
'Mexico',
'Brazil',
'Argentina',
'Chile',
'Colombia',
'South Africa',
'Egypt',
'Morocco',
'Algeria',
'Nigeria'
]
recent_data = emissions_df[emissions_df['Country'].isin(benchmark_countries)]
recent_data = recent_data[recent_data['Year'] ==
2019].copy().reset_index(drop=True)

# Özellikler
features = ['Agriculture', 'Energy', 'Industrial Processes']
X = recent_data[features]

# Eksik değerleri temizle
X = X.dropna()
recent_data = recent_data.dropna(subset=features)

# Normalizasyon
scaler = StandardScaler()
X_scaled = scaler.fit_transform(X)

# Klasik Elbow Metodu
inertias = []
K = range(1, 11)

for k in K:
    kmeans = KMeans(n_clusters=k, random_state=42)
    kmeans.fit(X_scaled)
    inertias.append(kmeans.inertia_)

# Elbow grafiği
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(K, inertias, 'bx-')
plt.xlabel('k')
plt.ylabel('Distortion (Inertia)')
plt.title('Elbow Method for Optimal k')
plt.grid(True)
plt.show()

```

```

from yellowbrick.cluster import KElbowVisualizer

fig, (ax1, ax2) = plt.subplots(1, 2, figsize=(15, 5))

# Distortion Score
visualizer1 = KElbowVisualizer(
    KMeans(random_state=42),
    k=(1,11),
    metric='distortion',
    timings=False,
    ax=ax1
)
visualizer1.fit(X_scaled)

# Calinski Harabasz Score
visualizer2 = KElbowVisualizer(
    KMeans(random_state=42),
    k=(1,11),
    metric='calinski_harabasz',
    timings=False,
    ax=ax2
)
visualizer2.fit(X_scaled)

plt.tight_layout()
plt.show()

from yellowbrick.cluster import SilhouetteVisualizer

# En iyi 3 k değeri için Silhouette analizi
best_k = [3, 4, 5] # Elbow metodundan elde edilen en iyi k değerleri

fig, axes = plt.subplots(1, len(best_k), figsize=(15, 5))
for i, k in enumerate(best_k):
    kmeans = KMeans(n_clusters=k, random_state=42)
    q = SilhouetteVisualizer(kmeans, colors='yellowbrick', ax=axes[i])
    q.fit(X_scaled)
    axes[i].set_title(f'k = {k}')

plt.tight_layout()
plt.show()

benchmark_countries = [
    # Avrupa
    'Poland',
    'Romania',
    'Greece',

```

```

'Bulgaria',
'Ukraine',
'Turkiye',

# Asya
'South Korea',
'Malaysia',
'Indonesia',
'Vietnam',
'Thailand',

# Latin Amerika
'Mexico',
'Brazil',
'Argentina',
'Chile',
'Colombia',

# Afrika
'South Africa',
'Egypt',
'Morocco',
'Algeria',
'Nigeria'
]
recent_data = emissions_df[emissions_df['Country'].isin(benchmark_countries)]
recent_data = recent_data[recent_data['Year'] ==
2019].copy().reset_index(drop=True)
recent_data = recent_data.drop_duplicates(subset=['Year', 'Country'], keep='first')

# Analiz edilecek özellikler
features = ['Agriculture', 'Energy', 'Industrial Processes']
X = recent_data[features]

# Eksik değerleri kontrol et ve temizle
X = X.dropna()
recent_data = recent_data.dropna(subset=features)

# Normalizasyon
scaler = StandardScaler()
X_scaled = scaler.fit_transform(X)

# Kümeleme
kmeans = KMeans(n_clusters=4, random_state=42)
clusters = kmeans.fit_predict(X_scaled)

# 3D görselleştirme

```

```

fig = plt.figure(figsize=(12, 10))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')

# Veri noktalarını çiz
scatter = ax.scatter(X_scaled[:, 0], # Agriculture
                    X_scaled[:, 1], # Energy
                    X_scaled[:, 2], # Industrial Processes
                    c=clusters,
                    cmap='viridis',
                    s=100)

# Türkiye'nin konumunu bul ve belirt
turkey_mask = recent_data['Country'] == 'Türkiye'
if any(turkey_mask):
    turkey_index = turkey_mask[turkey_mask].index[0]
    ax.scatter(X_scaled[turkey_index, 0],
              X_scaled[turkey_index, 1],
              X_scaled[turkey_index, 2],
              c='red',
              s=200,
              marker='*',
              label='Türkiye')

# Eksenleri etiketle
ax.set_xlabel('Agriculture (Standardized)')
ax.set_ylabel('Energy (Standardized)')
ax.set_zlabel('Industrial Processes (Standardized)')

# Başlık
plt.title('Ülkelerin Emisyon Profillerine Göre Kümelenmesi (2019)')

# Renk çubuğu
fig.colorbar(scatter, label='Cluster')

# Lejant
plt.legend()

# Grafiği döndür
ax.view_init(elev=20, azim=45)

plt.tight_layout()
plt.show()

if any(turkey_mask):
    turkey_cluster = clusters[turkey_index]
    similar_countries = recent_data[clusters == turkey_cluster]['Country'].tolist()

```

```

print("\nTürkiye ile Aynı Kümede Yer Alan Ülkeler:")
for country in similar_countries:
    if country != 'Türkiye':
        print(f"- {country}")

# Küme istatistiklerini göster
print("\nKüme İstatistikleri:")
for cluster in range(kmeans.n_clusters):
    cluster_data = recent_data[clusters == cluster]
    print(f"\nKüme {cluster}:")
    print(f"Ülke Sayısı: {len(cluster_data)}")
    print("\nOrtalama Değerler:")
    print(cluster_data[features].mean())
    print(cluster_data['Country'].values)

# Veri setinin genel yapısını kontrol et
print("\nVeri Seti Boyutu:", recent_data.shape)
print("\nEksik Değer Sayısı:")
print(recent_data[features].isnull().sum())

"""### Parametre Analizi"""

# Karşılaştırma yapılacak ülkeler
comparison_countries = ['Türkiye', 'Indonesia', 'Mexico']

def analyze_emission_intensity():
    """Emisyon yoğunluğu analizi"""
    recent_data = emissions_df[
        (emissions_df['Country'].isin(comparison_countries)) &
        (emissions_df['Year'] >= 2010)
    ].copy()

    recent_data = recent_data.drop_duplicates(subset=['Year', 'Country'], keep='first')

    # Toplam emisyonları hesapla
    recent_data['Total_Emissions'] = recent_data[['Agriculture', 'Waste',
                                                    'Energy', 'Industrial Processes']].sum(axis=1)

    # Görselleştirme
    plt.figure(figsize=(12, 6))
    for country in comparison_countries:
        country_data = recent_data[recent_data['Country'] == country]
        plt.plot(country_data['Year'], country_data['Total_Emissions'],
                 marker='o', label=country)

    plt.title('Toplam Emisyon Trendleri (2010-2022)')
    plt.xlabel('Yıl')

```

```

plt.ylabel('Toplam Emisyon')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()

analyze_emission_intensity()

def analyze_sectoral_coverage():
    recent_data = emissions_df[
        (emissions_df['Country'].isin(comparison_countries)) &
        (emissions_df['Year'] == 2019)
    ].copy()

    recent_data = recent_data.drop_duplicates(subset=['Year', 'Country'], keep='first')

    # Veri setini kontrol edin
    print("Ülkeler:", recent_data['Country'].values)
    print("Satır sayısı:", len(recent_data))

    sectors = ['Agriculture', 'Waste', 'Energy', 'Industrial Processes']

    # Sektörel payları hesapla
    for sector in sectors:
        recent_data[f'{sector}_Share'] = recent_data[sector] / \
            recent_data[sectors].sum(axis=1) * 100

    # Görselleştirme
    fig, ax = plt.subplots(figsize=(12, 6))
    x = np.arange(len(recent_data)) # recent_data uzunluğunu kullan
    width = 0.2

    for i, sector in enumerate(sectors):
        shares = recent_data[f'{sector}_Share'].values # .values ekleyin
        ax.bar(x + i*width, shares, width, label=sector)

    ax.set_title('Sektörel Emisyon Payları (2019)')
    ax.set_xticks(x + width*1.5)
    ax.set_xticklabels(recent_data['Country']) # recent_data'dan ülke isimlerini al
    ax.set_ylabel('Pay (%)')
    ax.legend()
    plt.show()

analyze_sectoral_coverage()

price_comparison_instruments = ['Indonesia ETS', 'Mexico carbon tax']

def analyze_carbon_pricing():

```

```

"""Karbon fiyatlandırma analizi"""
pricing_data = tax_df[tax_df['Name of the
initiative'].isin(price_comparison_instruments)]
pricing_data = pricing_data[pricing_data['Year'] >= 2010]

if not pricing_data.empty:
    fig, (ax1, ax2) = plt.subplots(1, 2, figsize=(15, 6))

    # Fiyat trendi
    sns.lineplot(data=pricing_data, x='Year', y='Price',
                  hue='Name of the initiative', ax=ax1)
    ax1.set_title('Karbon Fiyat Trendleri')

    # Kapsam karşılaştırması
    sns.lineplot(data=pricing_data, x='Year', y='Share of emissions',
                  hue='Name of the initiative', ax=ax2)
    ax2.set_title('Emisyon Kapsam Oranları')

    plt.tight_layout()
    plt.show()

analyze_carbon_pricing()

def calculate_optimal_parameters():
    """Optimal parametre tahminleri"""
    recent_data = emissions_df[
        (emissions_df['Country'].isin(comparison_countries)) &
        (emissions_df['Year'] == 2019)
    ].copy()

    # Toplam emisyonları hesapla
    recent_data['Total_Emissions'] = recent_data[['Agriculture', 'Waste',
                                                    'Energy', 'Industrial Processes']].sum(axis=1)

    # Endüstriyel ve enerji sektörlerinin payı
    recent_data['ETS_Coverage'] = (recent_data['Energy'] +
                                    recent_data['Industrial Processes']) / \
                                    recent_data['Total_Emissions'] * 100

    print("\nÖnerilen ETS Parametreleri:")
    print("-" * 50)

    # Türkiye için önerilen parametreler
    tr_data = recent_data[recent_data['Country'] == 'Türkiye'].iloc[0]

    print(f"1. Kapsam Önerisi:")

```

```

print(f" - İlk Faz Kapsam Oranı: {tr_data['ETS_Coverage']:.1f}%")
print(f" - Enerji Sektörü: {tr_data['Energy']/tr_data['Total_Emissions']*100:.1f}%")
print(f" - Endüstriyel Süreçler: {tr_data['Industrial
Processes']/tr_data['Total_Emissions']*100:.1f}%")
print(f" - Tarım Sektörü:
{tr_data['Agriculture']/tr_data['Total_Emissions']*100:.1f}%")
print(f" - Atık Süreçleri: {tr_data['Waste']/tr_data['Total_Emissions']*100:.1f}%")

# Diğer ülkelerin ortalama değerleri
other_countries = recent_data[recent_data['Country'] != 'Türkiye']
avg_price = tax_df[tax_df['Name of the initiative'].isin(['Indonesia ETS', 'Mexico
carbon tax'])]['Price'].mean()

print(f"\n2. Fiyat Önerisi:")
print(f" - Başlangıç Fiyatı: {avg_price:.2f} USD/tCO2e")
print(f" - Fiyat Bandı: {avg_price*0.8:.2f} - {avg_price*1.2:.2f} USD/tCO2e")

calculate_optimal_parameters()

```