

## 5. SENTETİK KONTROL METODU İLE AB ETS' NİN ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Sentetik Kontrol Metodu, genellikle ekonomik ve sosyal bilimlerde kullanılan bir istatistiksel tekniktir. Bu yöntem, özellikle bir olayın veya müdahalenin etkilerini analiz etmek için kullanılır.

Sosyal olay ve/veya müdahalelerin etkilerini incelemek, müdahale olmasaydı çıktıların ne olacağını tahmin etmek amacı ile geliştirilen sentetik kontrol metodu yöntemi, ekonomik ve çevresel etkilerin de analiz edilmesinde kullanılmıştır.

Klasik regresyon analiz tekniklerinde karşılaştırma yapılan konular özelinde, önemli örnekler ve müdahalenin pek çok gözlemlenmiş örneği gerektiğinden genellikle politika müdahaleleri gibi seyrek olayların toplam birimler üzerindeki etkisini tahmin etmek kolay değildir [Abadie, 2021]. Toplu bir birimin, belli bir zaman serisi boyunca maruz kaldığı politika müdahalesinin etkilerinin tahmin edilebilmesi için sentetik kontrol metodu tercih edilebilmektedir.

İki veya daha fazla vaka çalışması ile bunların karşılaştırılması karşılaştırmalı vaka analiz çalışmasıdır. Bir birime yapılan politik müdahalenin, müdahaleden etkilenmemiş birimlerden oluşan kontrol grubu için toplan sonuçlarının değişimini tahmin etmek karşılaştırmalı vaka analizi ile yapılmaktadır [Dolu, 2018].

### 5.1. Karşılaştırmalı Vaka Analizi

Belirli bir konu veya olay etrafında, farklı vakaların (örneklerin) detaylı bir şekilde karşılaştırıldığı bir araştırma yöntemidir. Bu analiz ile, farklı vakaların benzerliklerini ve farklılıklarını incelenebileceği gibi, müdahaleye maruz kalan birimin müdahaleye uğramayan bir kontrol grubu ile karşılaştırılmasını da sağlamaktadır. Sosyal bilimler, ekonomi, siyaset bilimi, eğitim ve sağlık gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu analiz yöntemi, birden fazla vaka üzerinden yapılan karşılaştırmalara dayanmaktadır. Her bir vaka kendi bağlamında derinlemesine incelenirken, farklı vakalar arasında benzerlikler ve farklılıklar analiz edilebilmektedir. Bu benzerlikler ve farklılıklar genelleme yapmayı ve daha geniş teorik çıkarımlar elde edilmesini sağlamaktadır.

Karşılaştırmalı vaka analizi, sosyal bilimler, eğitim, politika çalışmaları, sağlık alanındaki çalışmalar gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır.

## 5.2. Farkların Farkı Yöntemi

Farkların farkı (difference in difference) yöntemi ampirik bir analiz yöntemidir. Bu yöntem ile tahmin, iki farklı grubun çıktılarını iki ayrı zaman döneminde karşılaştırarak yapılmaktadır. Bir grup ikinci zaman diliminde müdahaleye maruz kalırken, ikinci grup her iki zaman diliminde de müdahaleye maruz kalmaktadır [Dolu, 2018].

Bu analiz yönteminde, müdahalenin etkisi, müdahale grubundaki ortalama kazançtan kontrol grubundaki ortalama kazancın çıkarılması ile tahmin edilebilmektedir [Dolu, 2018].

Müdahale öncesi ve müdahale sonrası dönemde her iki grubun performansı ölçülmektedir. Her grup için öncesi ve sonrasında fark hesaplanmaktadır. Tedavi ve kontrol gruplarındaki zaman farkları arasındaki fark hesaplanarak müdahalenin veya politika değişikliğinin etkisi belirlenebilmektedir.

## 5.3. Karşı Olgusal (Counterfactual) Yaklaşım

Karşı olgusal yaklaşım, bir olayın ya da müdahalenin etkilerini anlamak için "ne olursa" sorusunu sormaktadır. Diğer bir deyişle, bir müdahale veya değişikliğin sonucunu değerlendirebilmek için müdahale olmasaydı ne olacağını tahmin etmeye yönelik bir yaklaşımdır.

Geçmişte kalan bir durumun değiştirilemeyeceği aşikar olup, doğrudan karşı olgusal durumu gözlemlemek genellikle mümkün olmamaktadır. Bu yaklaşımda karşı olgusal durumlar modelleme, doğal deneyler ve istatistiksel yöntemler aracılığı ile tahmin edilebilmektedir. Bu tahminler, genellikle zaman serisi veya karşılaştırmalı gruplar kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

## 5.4. Sentetik Kontrol Metodu

Sentetik kontrol metodu, bir tedavi veya müdahale sonucunu değerlendirmek için kullanılan bir karşılaştırmalı analiz tekniğidir. Özellikle bir politikanın veya programın etkisini değerlendirmek için, belirli bir birim (örneğin bir ülke, bölge) üzerinde uygulanan bir müdahalenin etkilerini incelemek amacıyla kullanılır.

Bu yöntemin temel adımları şunlardır:

**Tedavi Grubunun Belirlenmesi:** Müdahalenin uygulandığı birim, tedavi grubu olarak tanımlanır.

**Kontrol Grubunun Oluşturulması:** Tedavi grubuna benzer özelliklere sahip bir "sentetik kontrol grubu" oluşturulur. Bu grup, gözlemlenen diğer birimlerin ağırlıklandırılmasıyla elde edilir. Amaç, tedavi grubunun özelliklerini yansıtan bir kontrol grubudur.

**Eğilimlerin Karşılaştırılması:** Tedavi öncesi ve sonrası dönemlerde, tedavi grubunun sonuçları ile sentetik kontrol grubunun sonuçları karşılaştırılır. Bu sayede, müdahalenin etkisi belirlenir.

**Sonuçların Değerlendirilmesi:** Tedavi grubunun sonuçları ile sentetik kontrol grubunun sonuçları arasındaki fark, müdahalenin etkisini yansıtır.

Sentetik kontrol metodu yaklaşımı kullanılarak elde edilecek kıyaslama verileri daha doğruya yakın sonuç elde edilmesini sağlamaktadır.

Bu yöntem ilk olarak, **Abadie ve Gardeazabal (2003)** tarafından, 1970' li yıllarda İspanya' da gerçekleşen terör olaylarının etkisini değerlendirmek için önerilen ve kullanılan bir yöntemdir. **Abadie vd. (2011)** tarafından, 1988 yılında Kaliforniya' da uygulanmaya başlanan tütün kontrol programının kişi başı sigara kullanımı üzerine etkilerini inceleyen çalışma ile geliştirilmiştir [**Dolu, 2018**].

**Almer ve Winkler (2012)** tarafından Kyoto Protokolünün karbon dioksit emisyonları üzerine etkilerini incelemek için kullanılan sentetik kontrol metodu yaklaşımı ayrıca, göçmenlik yasalarının etkilerini **Bohn vd. (2013)**, AB entegrasyonunun gayri safi yurt içi hasıla üzerindeki ortalama etkisini **Cambos vd. (2019)** incelemek üzere kullanılmıştır.

Sentetik kontrol metodunun matematiksel formülasyonu değerlendirildiğinde; karşılaştırmalı analize konu olan müdahaleye uğramış birim  $j$  ( $j = 1$ ), herhangi bir müdahaleye maruz kalmayan birim ise  $j+1 = J$  kontrol grubu (donör havuzu) olarak varsayılmaktadır. Bununla beraber tüm inceleme dönemi toplam zaman aralığını  $T$  olarak varsaydığımızda, müdahaleden önceki zaman periyodunu  $T_0$ , olarak değerlendirilmekte ve  $1 < T_0 < T$  dir. Burada  $j$  birimi için  $t$  zamanındaki çıktı  $Y_{jt}$  olarak kabul edilmektedir. Her bir birim  $j$  için, ayrıca, müdahaleden önceki  $Y_{jt}$  değerlerini içerebilen ve kendileri müdahaleden etkilenmeyen, sonucun  $k$  tane bağımsız değişken kümesini,  $X_{1j}, \dots, X_{kj}$ , gözlemliyoruz.  $X_1, \dots, X_{J+1}$  olan  $k \times 1$  vektörleri,  $j = 1, \dots, J+1$  birimlerinin sırasıyla bağımsız değişken değerlerini içermektedir.  $k \times J$  matrisi,  $X_0 = [X_2 \dots X_{J+1}]$ , müdahaleye maruz kalmayan üniteler için bağımsız değişkenlerin değerlerini göstermektedir.  $t$  zaman periyodunda (müdahale sonrası periyot) her bir  $j$  birim için müdahale olmaksızın çıktı  $Y_{1t}^N$  ile; müdahaleden etkilenen ünite ( $j=1$ ) için müdahale sonrası dönemde ( $t > T_0$ ) müdahale altındaki muhtemel çıktısı  $Y_{1t}^I$  olarak kabul edilmektedir. Bu doğrultuda,  $t$  zaman periyodunda müdahaleden etkilenen birim için müdahalenin etkisi aşağıdaki formül ile gösterilebilir;

$$\tau_{1t} = Y_{1t}^I - Y_{1t}^N \quad (5.1)$$

Müdahale uygulanan birim  $T_0$  periyodundan sonra müdahaleye maruz kaldığı için,  $t > T_0$  için  $Y_{1t} = Y_{1t}^I$  olmaktadır. Kısaca, müdahaleden etkilenen birim ve müdahale sonrası periyot için müdahale altındaki olası sonuç gözlemlenebilmektedir. Politika değerlendirme zorluğu, söz konusu birim üzerinde müdahalenin olmaması durumundaki çıktının,  $t > T_0$  için  $Y_{1t}^N$ , hesaplanmasıdır [Abadie, 2021]. Burada iki olası sonuç tanımlanmaktadır;  $Y_{1t}^N$ , bir “birim” için  $t$  zamanında müdahaleye maruz kalmadığında gözlemlenecek sonucu ifade eder.  $Y_{1t}^I$  ise bir “birim” için  $t$  zamanında müdahaleye maruz kalması durumundaki gözlemlenecek sonucu ifade eder. Amaç, müdahaleye uğrayan birim için müdahalenin etkisini tahmin etmektedir (Abadie et al., 2011b). Bu etki,  $T_{0+1}, T_{0+2}, \dots, T$  periyotları için potansiyel sonuçların farkı,  $\tau_{1t} = Y_{1t}^I - Y_{1t}^N$ , ile formüle edilebilir.

Sentetik kontrol yönteminin temel amacı, işlenen birim için sentetik bir kontrol üretmektir. Sentetik kontrol, donör havuzundaki karşılaştırma birimlerinin ağırlıklı ortalamasıdır. Donör havuzundaki her birimin ağırlıkları  $W = \{w_2, \dots, w_{j+1}\}$  olarak

gösterilir.  $W$  değerleri verildiğinde, sentetik kontrol için tahmin edici ( $\hat{Y}_{1t}^N$ ) ve  $t$  zamanında tedavi edilen birimdeki çıktıdaki değişim aşağıda formüle edilmiştir.

$$\hat{Y}_{1t}^N = w_2 Y_{2t} + \dots + w_{j+1} Y_{j+1t} \text{ ve } \hat{\tau}_{1t} = Y_{1t} - \hat{Y}_{1t}^N \quad (5.2)$$

Ekstrapolasyonu önlemek için ağırlıklar negatif olmamak üzere, ağırlıkların toplamı 1' e eşit olmalıdır. Sentetik kontrol, donör havuzundaki birimlerin ağırlıklı ortalamasıdır. Ağırlıkların  $[0; 1]$  arasında olması kısıtlanmadığı takdirde regresyon ekstrapolasyona izin verir [Abadie, 2021].

Sentetik kontrol, donör havuzundaki tüm birimlerin basit ortalamasıdır. Karşılaştırma birimi olan donör havuzunun sentetik bir kontrol olarak ifade edilmesi, ağırlıkların nasıl seçilmesi gerektiği sorusunu akla getirir. Abadie ve Gardeazabal (2003) ve Abadie vd. (2011a), sonuç değişkeninin tahmin edicilerinin tedavi edilen birimi için müdahale öncesi değerlere en iyi şekilde benzeyen sentetik kontrolün elde edilmesi için  $w_2, \dots, w_{j+1}$ 'in seçilmesini; negatif olmayan sabitler kümesi  $v_1, \dots, v_k$  verildiğinde,  $w_2, \dots, w_{j+1}$ ' in negatif olmayan ve toplamı 1 kısıtlamasına uyan  $W^* = (w_2^*, \dots, w_{j+1}^*)'$  seçmeyi önermektedirler.

$$\|X_1 - X_0 W\| = \left( \sum_{h=1}^k v_h (X_{h1} - w_2 X_{h2} - \dots - w_{j+1} X_{hj+1})^2 \right)^{1/2} \quad (5.3)$$

$t = T_0 + 1, \dots, T$  zamanında müdahaleye uğrayan birim için müdahalenin tahmini etkisi;

$$\hat{\tau}_{1t} = Y_{1t} - \sum_{j=2}^{J+1} w_j^* Y_{jt} \quad (5.4)$$

$V = (v_1, \dots, v_k)$  için her potansiyel seçim,  $W(V) = (w_2(V), \dots, w_{j+1}(V))'$  ile ifade edilen sentetik kontrol üretir. Bu değer,  $W(V)$ ' deki ağırlıkların pozitif ve toplamının 1' e eşit olması kısıtlamasına bağlı olarak denklem (3) ile belirlenebilir.

Abadie ve Gardeazabal (2003) ve Abadie vd. (2011a)  $V$  değerini, sentetik kontrol  $W(V)$ ' nin  $Y_{1t}^N$ , aşağıdaki denklem (5)' e göre ortalama kare tahmin hatasını müdahale öncesi  $\tau_0 \subseteq \{1, 2, \dots, T_0\}$  kümesi için en aza indireceği şekilde seçmeyi önermektedirler.

$$\sum_{t \in \tau_0} (Y_{1t} - w_2(V) Y_{2t} - \dots - w_{j+1}(V) Y_{j+1t})^2 \quad (5.5)$$

Abadie (2011), sentetik kontrol yönteminin uygulanabilmesi için bazı gereklilikler olduğunu belirtmiştir. Özellikle, donör havuzunda (oluşturulan sentetik grup) bulunan birimlerin söz konusu müdahaleye maruz kalmamış olması gerekmektedir. Bununla beraber, müdahalenin etkisini ölçmekte etki gösterebilecek benzer müdahalelerin de olmaması gerekmektedir [Beydemir, 2016]. Bu çalışmada da emisyon azaltım tekniği olarak kullanılan emisyon ticaret sisteminin etkinliğinin tahmini üzerine analiz yapıldığı için donör havuzunda, emisyon ticaret sistemi uygulaması olmayan ülkeler seçilmiştir. Aynı zamanda donör havuzunda yer alan bu ülkelerde emisyon azaltıcı başka uygulamaların da (karbon vergisi vb.) olmamasına dikkat edilmiştir. Bir diğer dikkat edilmesi gereken önemli husus, müdahaleye maruz kalan birim ile kontrol birimlerinin müdahale öncesi bağımsız değişken değerlerinin arasındaki farktır. Bu farkın yüksek olması durumunda sentetik kontrol metodu uygun olmayabilir [Beydemir, 2016].

Bu çalışmada, 2005 yılında Avrupa Birliği üye ülkelerinde uygulanmaya başlayan Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sisteminin karbondioksit azaltımındaki etkisini belirlemek üzere, AB üyesi olan 15 ülke (Avusturya, Belçika, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, İrlanda, İtalya, Lüksemburg, Hollanda, Portekiz, İspanya, İsveç, Birleşik Krallık) tedavi grubu olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu 15 ülke, Avrupa Birliği' nin kurucu üyeleri ve AB' nin dördüncü büyüme dönemi olan 1995 yılı dahil bu döneme kadar üye olan ülkeleri içermektedir. AB Emisyon Ticaret Sistemi uygulamasının 2005 yılında başlaması ve yeni üyelerin AB dahilinde ETS sistemi öncesi süreçleri olmadığı göz önünde bulundurulmuş ve 2004 yılında Birliğe katılan üye ülkeler çalışmaya dahil edilmemiştir. Birleşik Krallık ise 2020 yılı sonu itibari ile Avrupa Birliği'nden ayrılmış, çalışma 2020 yılına kadar olan periyot için yapıldığından, çalışmaya dahil edilmiştir.

Sentetik kontrol metodunda politika müdahalesine maruz kalan ülkelere oluşan birimin sentetik bir kontrol grubunu oluşturmak temel esastır. AB üye ülkelere emisyon ticaret sistemi uygulaması dahilinde olan ülkelere sentetik birim olarak, ekonomik ve gelişmişlik seviyelerinin benzer olduğu OECD (Organization for Economic Co-operation and Development – Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü) üye ülkeler arasından ülkeler (Arjantin, Brezilya, Kanada, Şili, İsrail, Meksika, Türkiye, Amerika Birleşik Devletleri) seçilmiştir. Bu ülkeler seçilirken, herhangi zorunlu emisyon azaltıcı uygulama olmaması kriteri ele alınmıştır.

## 5.5. Araştırmanın Dizayn Edilmesi

Bu çalışmada AB-15 ülkeleri ve AB-15 ülkelerine benzer özelliklerdeki OECD ülkelerinden seçilen, herhangi bir zorunlu emisyon azaltım uygulaması yürürlükte olmayan ülkelerden bir donör havuzu oluşturulmuştur. Donör olarak belirlenen ülkeler **Tablo 5.1'** de verilmektedir.

**Tablo 5.1:** Donör havuzu ülkeleri.

Arjantin	İsrail
Brezilya	Meksika
Kanada	Türkiye
Şili	Amerika Birleşik Devletleri

Sentetik kontrol metodu ile hesaplama R Studio adlı program kullanılarak yapılmıştır. Bu programın “Synth” uygulama paketi ile analiz yapılmış ve çalışma müdahale öncesi dönemde ortalama kare tahmin hatasını (Mean Squared Prediction Error-MSPE) en aza indirerek katsayıları belirlemektedir.

Sentetik kontrol ünitesi için müdahale sonrası sonuçlar daha sonra müdahalenin olmadığı durumda, müdahaleye maruz kalan ünite için olası sonuçları tahmin etmek için kullanılmaktadır. “Synth” paketi politika müdahalelerinin ve benzer olayların nedensel etkilerini tahmin etmek için tasarlanmış karşılaştırmalı vaka çalışmaları için sentetik kontrol yöntemi uygular [Abadie vd., 2011]; [Abadie ve Gardeazabal, 2003].

CO<sub>2</sub> (Karbondiyoksit) emisyonları başta olmak üzere, sera gazı emisyon salınımlarının, nüfus yoğunluğunun artışı, enerji ihtiyacı ve kullanımı, endüstriyelleşme, ekonomik büyüme ile ilişkili olduğu birçok araştırmacı tarafından kabul edilmektedir. Bu doğrultuda, enerji üretim ve kullanım, karbon emisyon miktarları vb. parametreler bağımsız değişken olarak alınmıştır. Bu veriler, AB-15 ülkeleri ve donör havuzu ülkeleri için “World Bank” açık datasından elde edilmiştir.

Bu çalışmada sentetik kontrol metodu analizi ile 2005-2020 yılları arasında uygulamada olan Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sisteminin etkisinin tahmin edilebilmesi için “R Studio” programı ile hesaplama yapılmıştır. Bu hesaplama için

**Tablo 5.2'** de verilen bağımsız değişkenler (öngörücüler) parametre olarak ele alınmıştır.

**Tablo 5.2:** Bağımsız değişkenler.

Alternatif ve Nükleer Enerji Kullanımı (Toplam enerji kullanımına oranı)
Kişi başına düşen CO <sub>2</sub> emisyon miktarları
Elektrik ve ısı üretiminden kaynaklanan CO <sub>2</sub> emisyonları (Toplam enerji kullanımına oranı)
CO <sub>2</sub> yoğunluğu (kg/kg.toplam eşdeğer petrol)
Kişi başına düşen elektrik enerjisi kullanımı (kWh)
Gayrisafi yurtiçi hasıla (2015 Amerikan Doları karşılığı)
Nüfus büyümesi (Yıllık %)

Bağımsız değişkenler olan bu öngörücülerin müdahale öncesi dönem için ortalama değerleri **Tablo 5.3'** de verilmektedir.

**Tablo 5.3:** Öngörücülerin ortalama değerleri (müdahale öncesi dönem için).

	AB-15	Donör Havuzu	Donör Ülkelerinin Ortalaması
Alternatif ve Nükleer Enerji	13.308	12.321	8.184
Elektrik ve ısı üretiminden kaynaklanan CO <sub>2</sub> emisyonları	36.747	33.019	39.051
CO <sub>2</sub> yoğunluğu	2.358	2.086	2.337
Elektrik enerjisi tüketimi (kWh/kişi)	7860.588	9151.117	5681.073
Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (kişi başına düşen)	37081.543	22970.160	19016.064
Nüfus Artışı (yıllık %)	0.499	1.058	1.401
CO <sub>2</sub> emisyonları (ton/kişi) 1997	9.463	9.522	7.562
CO <sub>2</sub> emisyonları (ton/kişi) 2000	9.447	9.939	7.772
CO <sub>2</sub> emisyonları (ton/kişi) 2003	10.086	10.037	7.694

Hesaplamalar neticesinde belirlenen, emisyon ticaret sisteminin uygulanmaya başlamadan önce olan periyot için öngörücülerin (bağımsız değişkenlerin) değerleri, AB-15, donör havuzu ve donör havuzunu oluşturan 8 ülkenin ortalaması olacak şekilde **Tablo 5.3'** de verilmektedir. Alternatif ve nükleer enerji kullanımı, donör havuzundaki ülkelerde AB-15' e göre oldukça düşük iken donör havuzu ortalaması AB-15 yakındır.

Elektrik ve ısı üretiminden kaynaklanan karbondioksit emisyon miktarlarındaki fark, AB-15 ortalaması ve donör havuzu ortalaması göz önüne alındığında, alternatif ve nükleer enerji kullanımındaki değişim oranı kadardır. Ancak; AB-15 ülkelerindeki salınım daha yüksektir. Elektrik enerjisi tüketimi donör havuzu ortalamasında oldukça düşük olmasında rağmen, sentetik gruptaki (donör havuzu) ortalama kişi başına düşen kullanım miktarı AB-15 ortalamasından yaklaşık 1.291 kWh/kişi kadar yüksektir. Nüfus artışı ele alındığında, sentetik kontrol grubunun tahmini nüfus artış oranı AB-15 ortalamasının iki katından biraz fazladır. Diğer yandan, karbondioksit yoğunluğu bakımından benzer veriler oluşmuştur. Kişi başına düşen karbondioksit emisyon miktarları ise özellikle 1997 ve 2003 yılları için aynı şekilde temsil edildiği görülmektedir.

“Synth” paketi ile yapılan çalışmada, öngörücülerin katsayılarını seçmek için ortalama kare tahmin hatasını en aza indirecek şekilde hesaplama yapılmaktadır. Çalışmada kişi başına düşen karbondioksit emisyonları özel değişken olarak ele alınmıştır. Program, müdahale öncesi dönemde kişi başına düşen karbondioksit emisyon değerini en aza indirerek katsayıları belirlemektedir. Bu doğrultuda tahmin edilen katsayılar **Tablo 5.4’** de verilmektedir.

**Tablo 5.4:** Öngörü katsayıları.

<b>Değişkenler</b>	<b>Katsayılar</b>
Alternatif ve Nükleer Enerji	0,1619
Elektrik ve ısı üretiminden kaynaklanan CO <sub>2</sub> emisyonları	0,0237
CO <sub>2</sub> yoğunluğu	0,0062
Elektrik enerjisi tüketimi (kWh/kişi)	0,2066
Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (kişi başına düşen)	0,0008
Nüfus Artışı (yıllık %)	0,1567
CO <sub>2</sub> emisyonları (ton/kişi) 1997	0,2140
CO <sub>2</sub> emisyonları (ton/kişi) 2000	0,0374
CO <sub>2</sub> emisyonları (ton/kişi) 2003	0,1926

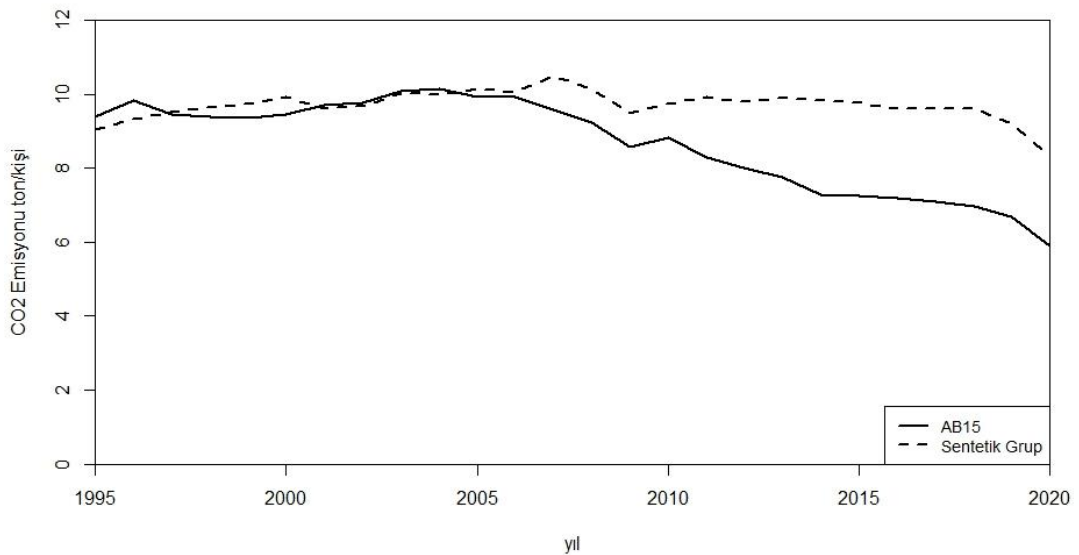
Synth tarafından tahmin edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, özellikle 1997 ve 2003 yıllarındaki kişi başına düşen CO<sub>2</sub> emisyonları ile kişi başına düşen elektrik enerjisi

tüketimi önemli öngörücü özelliğe sahiptir. Bununla beraber nüfus artış oranı da güçlü bir öngörücü olarak değerlendirilebilir.

**Tablo 5.5:** Sentetik (donör havuzu) kontrol birimlerinin ağırlıkları.

Ülke	Ağırlık
Arjantin	0,5169
Brezilya	0
Kanada	0,4831
Şili	0
İsrail	0
Meksika	0
Türkiye	0
Amerika Birleşik Devletleri	0

Sentetik kontrol metodu ile analiz hesabında önemli bir değer olan sentetik kontrol birimlerinin ağırlıkları (w) **Tablo 5.5'** de verilmektedir. Tahminler doğrultusunda sentetik kontrol birimi Arjantin ve Kanada ülkelerinin ağırlıklı ortalamasından oluşmaktadır. Sıfıra yakın çıkan değerler dikkate alındığında, diğer ülkelerin sentetik kontrol birimde etkisi bulunmamaktadır.

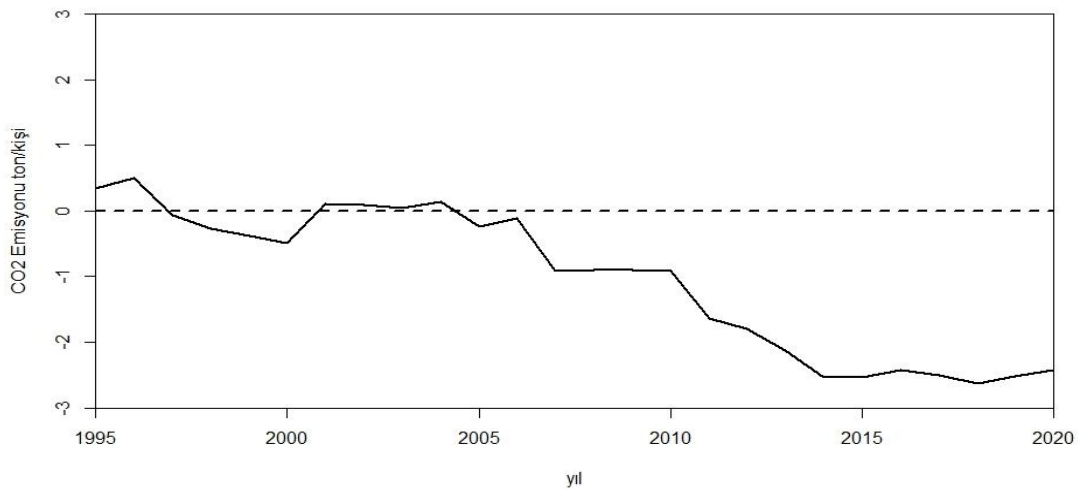


**Şekil 5.1:** Kişi başına düşen CO<sub>2</sub> emisyonlarının yıla bağlı değişimi: AB-15 ve sentetik grup karşılaştırması.

AB-15 ve sentetik grubun kişi başına düşen karbondioksit emisyonlarının yıllara bağlı değişimi **Şekil 5.1'** de görülmektedir. Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi (AB ETS) uygulamasının başladığı 2005 yılından önce değişimin benzer seviyelerde olduğu görülmektedir. 2005 yılından sonra AB-15 ülkelerindeki karbondioksit emisyonu azaltımı sentetik gruba göre daha fazla olduğu görülmektedir. AB ETS 2005 yılında uygulanmaya başlaması ile 1. Aşaması olan 2007 yılı sonuna kadar CO<sub>2</sub> emisyonlarında azalma görülmektedir. 1. Aşama da fazla tahsisat dağılımından kaynaklı karbon fiyatı 2007 yılı sonunda sıfıra yakın seviyelere düşmüştür. Karbon fiyatlandırmasındaki karşılaşılan sorunlar ve 2008 yılındaki ekonomik krizin etkisiyle, 2008 yılı itibari ile emisyon artışı gözlemlenmektedir. Tahsisat fiyatlarının ciddi olarak düşmesi piyasa dengesizliğini oluşturmuş ve ekonomik krizin etkisi ile üretim ve tüketim alışkanlıklarındaki değişimlerin de karbondioksit emisyon salınımının artmasına neden olabileceği düşünülmektedir. 2010 yılı itibari ile CO<sub>2</sub> emisyonlarında başlayan düşüş, AB ETS' nin 3. döneminin başladığı 2012 yılı itibari ile de sürmüştür.

Özetle; **Şekil 5.1'** deki grafik değerlendirildiğinde, kesik çizgi ile gösterilen sentetik gruba ait kişi başına düşen CO<sub>2</sub> emisyon seviyesi, AB-15 ülkelerinde AB ETS uygulaması olmasaydı, AB-15 ülkelerinin kişi başına düşen CO<sub>2</sub> emisyon seviyesinin ne olacağını tahmin etmemize yardımcı olmaktadır.

**Şekil 5.2'** de ise AB-15 ile sentetik grup arasındaki kişi başına düşen CO<sub>2</sub> emisyonu farkı gösterilmektedir. Bu grafik AB ETS' nin başladığı 2005 yılı itibari ile iki grup arasındaki kişi başına düşen CO<sub>2</sub> emisyonu farkının artarak açıldığını göstermektedir.



**Şekil 5.2:** AB-15 ile sentetik grup arasındaki kişi başına düşen CO<sub>2</sub> emisyonu farkı.

## 6. SONUÇ

Emisyon (Karbon) ticaretinin, sera gazları emisyonunun azaltılması kapsamında uygulanmasının ve etkisinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan literatür araştırmaları ve veriler değerlendirildiğinde, emisyon ticaret sistemi, sera gazı emisyonlarının salınımlarının azaltılması için uygulanan azaltım mekanizmalarından en çok tercih edilen olduğunu göstermektedir.

Diğer bir azaltım amaçlı kullanılan uygulama olan karbon vergisi uygulaması ile kıyaslanma yapıldığında, iki uygulamanın da avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. İki uygulamada piyasa temellidir. Ancak vergi uygulamalarında, kullanılan yakıta, emisyon salınımına ve farklı kaynaklara bağlı olarak çeşitli vergilendirme türleri oluşturulabilmektedir. Karbon vergisi genellikle enerji tüketiminden kaynaklı oluşan vergi olup hane halklarını doğrudan etkileyebilmektedir. Bu durumun sosyal adaletsizliğe de sebep olması muhtemeldir.

Sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik en yaygın kullanılan iki uygulama olan emisyon ticaret sistemi ve zorunlu karbon vergisi uygulamasının yürürlükte olduğu bölgelerin 2020 yılı yaklaşık nüfus miktarına göre değerlendirme yapıldığında, toplamda 2,5 milyar nüfusa karşılık ülke ve şehir/eyalette emisyon ticaret sistemi, toplam 770 milyon nüfusa karşılık ülke ve şehir/eyalette ise zorunlu karbon vergisi uygulamaları yürütülmektedir. Emisyon ticaret sistemine karşılık gelen nüfus miktarının yüksek olmasında, yaklaşık 1,5 milyar nüfusa sahip olan Çin Halk Cumhuriyeti' nin etkisi büyüktür. Çin Ulusal Emisyon Ticaret Sistemi, 2021 yılında, geçmiş iki yılı da kapsayacak şekilde uygulamaya başlanmıştır.

Emisyon ticaret sisteminde belirli bir emisyon salınım üst limiti belirlenerek ücretsiz tahsisatlar dağıtılmakta, bu tahsisatlar mülkiyeti bulunduran tarafından satışa çıkarılabilmektedir. Üst limit belirleme ve tahsisat ticaretine (cap and trade) dayanan bu yöntem Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sisteminde uygulanan yöntemdir. Emisyon ticaret sisteminde üst limitlerin aşılması durumunda tahsisat satın alımı yapılabilmektedir. Emisyon üst sınırı doğrultusunda şirketlere ücretsiz tahsisat dağıtılmakta veya şirketler AB ETS piyasasında tahsisat satın alabilmektedir. Bu sistemde, her yıl azaltım hedeflerine göre ücretsiz tahsisat miktarı azaltılmaktadır. Bu

durum, tahsisatların kıtlığına yol açmakta ve bu durum, tahsisatların piyasa değerini arz ve talep dengesi doğrultusunda dengelenmesini sağlamaktadır.

Etkin bir piyasa fiyat aracının oluşabilmesi için, emisyon azaltım maliyetlerinin emisyon tahsisat fiyatından düşük olması beklenir. Bu durumda, kirleticiler azaltım yapmak için tahsisatlar almak yerine farklı azaltım yöntemlerini tercih edeceklerdir. Ancak, emisyon tahsisat fiyatı azaltım maliyetinden düşükse, kirleticiler tahsisatları satın alarak kirletmeye devam edebilmektedirler [Uludağ, 2016].

Sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik emisyon ticaret sistemlerinin etkinliğini kontrol etmek için sistem verilerine ilave olarak küresel emisyonlar, kişi başına düşen emisyon verileri, gayri safi yurtiçi hasıla başına düşen emisyon verilerinin de değerlendirilmesi daha sağlıklı sonuç vermektedir. Örneğin; Avrupa Birliği' nde toplam gayri safi yurtiçi hasıla miktarı yıllar içinde artış gösterirken toplam sera gazı emisyonları azalmış, Yeni Zelanda' da ise toplam gayri safi yurtiçi hasıla miktarı yıllar içinde artış gösterirken toplam sera gazı emisyonları miktarı da 2019 yılına kadar artış göstermiştir.

Gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH), ülkenin ekonomik performansını, büyüme trendlerini ve refah düzeyini gösteren, bir ülkenin belirli bir zaman diliminde yurt içinde üretilmiş nihai mal ve hizmetlerin toplam değerini ifade etmektedir.

Gayri safi yurtiçi hasıla, üretimle ilişkili olduğu için GYSİH artış gösterirken sera gazı emisyonlarının salınımının miktarlarının azalması, üretim miktarının artışına rağmen emisyonların azaldığına, böylece emisyon ticaret sisteminin istenilen azaltıma katkı sağladığının göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Sera gazı emisyonlarının azaltılmasında tek başına emisyon ticaret sistemlerinin yeterli olmayacağı aşikardır. Emisyon azaltımı için teknolojik gelişmeler takip edilmeli, emisyon salınımlarına neden olan kuruluşlara, emisyon azaltıcı teknolojiye ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmasına yönelik teşvik edici politikalar yürütülmelidir

Yine emisyon ticaret sistemi dahilinde bulunan kuruluşlara haksız rekabeti önleyici çalışmalar geliştirilmektedir. Avrupa Birliği tarafından yürürlüğe konulan sınırda karbon düzenleme mekanizması ile, Avrupa Birliği tarafından ithal edilen ürünlere, bünyesinde bulunan gömülü karbon emisyonları doğrultusunda vergi uygulanması kararı alınmıştır. Böylece, herhangi bir emisyon ticaret sistemine uyum ya da karbon

vergisi yükümlülüğü bulunmayan kuruluşların AB ETS kapsamındaki kuruluşlara göre düşük maliyetli üretim yapmasından doğan dezavantajın ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır.



## KAYNAKLAR

- Abadie A; (2021) “Using synthetic controls: Feasibility, data requirements, and methodological aspects”, *Journal of Economic Literature*, 59 (2), 391–425.
- Abadie A., Diamond A., Hainmueller J., (2011), “Synth: An R package for synthetic control methods in comparative case studies”, *Journal Of Statistical Software*, 42 (13).
- Abadie A., Gardeazabal J. (2003). “The economic costs of Conflict: A case study of the Basque country”. *The American Economic Review*, 93(1), 113–132.
- AÇA, (2014), Refah ve çevre Avrupa’da kaynakları verimli kullanma ve döngüsel bir ekonomi oluşturma.
- Akbelen M. M., (2019), “Karbon vergileri ve emisyon ticareti sistemleri, Avrupa Birliği ve Amerika Birleşik Devletleri örneklerinden hareketle Türkiye’de uygulanabilirliği”, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Aktaş Ç. Z., (2024), “Sınırdaki karbon düzenlemesi ve seçilmiş sektörlerde Türkiye’nin küresel rekabet gücü”, *Politik Ekonomik Kuram*, 8(1), 1–17.
- Aliusta H., Yılmaz B., Kırlioğlu H. (2016), “Küresel ısınmayı önleme sürecinde uygulanan piyasa temelli iktisadi araçlar: karbon ticareti ve karbon vergisi”, *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, ICAFR16 Özel Sayısı.
- Almer C., Winkler R., (2012), “The effect of Kyoto emission targets on domestic CO<sub>2</sub> emissions: A synthetic control approach the effect of kyoto emission targets on domestic CO<sub>2</sub> emissions: A Synthetic control approach”, Department of Economics, Bern University, Switzerland.
- Arslan E.R., (2007), Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli İklim Değişikliği rapor özeti çevirisi.
- Aslan A., (2013), “Energy consumption and GDP: The strong relationship in OECD countries”, *Energy Sources. Part B Economics, Planning and Policy*, 8(4), 339–345.
- Azhgaliyeva D., Lee H., (2023), “Investment in renewable energy and emissions: firm-level empirical evidence from the People’s Republic of China”, Technical Report No: 1421, ADBI Working Paper Series, Asian Development Bank Institute.
- Babiker M., Reilly J., Viguier L., (2004), “Is international emissions trading always beneficial?”, *Energy Journal*, 25 (2), 33–56.
- Beydemir M., (2016), “Assessing the impact of the EU emissions trading system on CO<sub>2</sub> emissions: A synthetic control approach”, Yüksek Lisans Tezi, Sabancı Üniversitesi.
- Bilgiç E., (2017), “İklim değişikliği ile mücadelede emisyon ticareti ve Türkiye uygulaması”, Uzmanlık Tezi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

Bohn T. J., Livneh B., Oyler J. W., Running S. W., Nijssen B., Lettenmaier D. P., (2013), "Global evaluation of MTCLIM and related algorithms for forcing of ecological and hydrological models", *Agricultural and Forest Meteorology*, 176, 38–49.

Cambos, P. Croasdale K., Yazarov M., Riska K., Bridges R., (2019), "Impact of climate change on design and operation of arctic ships and offshore units" *Proceedings of the 25th international Conference on Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions*, Delft, The Netherlands, 9 June.

Çelikkol H., Özkan N., (2011), "Karbon piyasaları ve Türkiye perspektifi", *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 31.

Çetintaş H., Bicil İ. M., Türköz K., (2016), "Türkiye’de CO<sub>2</sub> salınımları enerji tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisi". *Finans Politik & Ekonomik Yorumlar*, 57–67.

Değirmen D., Eker Şanlı G. (2022)., "Bir tekstil işletmesinde enerji verimliliği ve emisyon azaltım olanaklarının araştırılması: Havlu Üretim Tesisi." *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 71–88.

Demirbaş M., Rozelin A., (2020), "21. Yüzyılın en büyük tehdidi: Küresel iklim değişikliği", *NWSA Ecological Life Science*, 15 (4), 163–179.

Dolu A., (2018), "Sentetik Kontrol Metodu: Nafta Antlaşması ve Meslek Liselerinde Katsayı Uygulamasının Etkileri", *Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi*.

Elitaş C., Çetin A. C., (2011), "Karbon ticareti ve karbon bankacılığı", *Muhasebe ve Denetime Bakış*.

Ellerman A. D., Joskow P. L., (2008), "The European Union’s Emissions Trading System in perspective", *Pew Center on Global Climate Change*.

Ellerman A. D., Joskow P. L., & Harrison, D., (2003), "Emissions trading in the US", *Pew Center on Global Climate Change*.

Erdoğan Sağlam N., Düzgüneş E., Balık, İ., (2008), "Küresel ısınma ve iklim değişikliği", *E.U. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 25(1), 89–94.

Flavin Christopher., Kitasei Saya., (2010), "The role of natural gas in a low-carbon energy economy", *Worldwatch Institute*.

Garg A., Arya S., (2015), "The opportunity analysis of carbon credit trading for developing world-a case study", *International Journal of Marketing, Financial Services & Management Research*, 4(2), 29–38.

Güneş A. M., (2011), "Yeni anayasa tartışmaları bağlamında çevre". 15(3), 259–283.

Jung H., Lee J., Song, C. K., (2023), "Carbon productivity and volatility", *Finance Research Letters*, 56, 104052.

Kweku D. W., Bismark O., Maxwell A., Desmond K. A., Danso K. B., Oti-Mensah E. A., Quachie A. T., Adormaa B. B., (2017), "Greenhouse Effect: Greenhouse Gases and Their Impact on Global Warming", *Journal of Scientific Research and Reports*, 17(6), 1–9.

Kyoto Protocol to The United Nations Framework Convention on Climate Change United Nations, United Nations (1998).

ICAP, (2024) "Emission trading worldwide: Status report", In Juan Pedro Searle Solar (Chile), William Space.

IFPRI, (2022), "Climate change & food systems", Global Food Policy Report, The International Food Policy Research Institute,

IPCC, (2021), "Summary for policymakers. In: Climate change 2021: The physical science basis. contribution of working group to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change", Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32.

IPCC, 2023, "Summary for policymakers. in: climate change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34.

Leining C., Kerr S., (2018), "A Guide To The New Zealand emissions trading scheme", Motu Economic and Public Policy Research.

Özbek, S., (2023), "Sürdürülebilir çevre: Çevre teknolojileri ve vergileri kapsamında ekonometrik bir inceleme", *Bingöl Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 7, 63–91.

Özcan B. A., (2020), "Ortak mülkiyet çerçevesinde iklim değişikliği sorununun çözümünde Kyoto Protokolü'nün etkisi", *Akdeniz Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 20(2), 169–184.

Öztürk A. C., Yavuz Tiftikçigil, B., (2022), "Türkiye’de sektörel seragazı salımının ekonomik büyümeye etkisi", *Journal of Life Economics*, 9(4), 241–253.

REC Türkiye, (2008), "A’dan Z’ ye iklim değişikliği başucu rehberi: Çok geç olmadan harekete geçmek isteyenler için", Bölgesel Çevre Merkezi.

Sadioğlu U., Ağıralan E., (2020), "İklim değişikliği çerçevesinde 25. taraflar konferansı", *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(Ek Sayı-1), 361–385.

Sayman R. Ü., Akpulat O., Bai D., Demirci S., (2015), "Sürdürülebilir Kalkınma için Bilişim", Bölgesel Çevre Merkezi.

Türkeş M., (2001), “Hava, iklim, şiddetli hava olayları ve küresel ısınma”, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 2000 Yılı Seminerleri, Teknik Sunumlar, 1, 187–205.

Türkeş M., (2022), “İklim diplomasisi ve iklim değişikliğinin ekonomi politiği. Bilim ve Ütopya, 332, 31–45.

Türkeş M., Sümer, U. M., Çetiner, G., (2000), “Küresel iklim değişikliği ve olası etkileri”, İstanbul Sanayi Odası, 7–24.

Uludağ A., (2016), “Maliye Politikası Çerçevesinde Karbon Fiyatlandırması”, (Avrupa Birliği Uzmanlığı Yeterlik Tezi), Maliye Bakanlığı.

UNFCCC, 1992, “United Nations Framework Convention on Climate Change”.

Uyduranoğlu Öktem A., (2008), “Küresel Bir Risk: İklim Değişikliği”, 3(1), 87–94.

Web 1, [https://edgar.jrc.ec.europa.eu/emissions\\_data\\_and\\_maps](https://edgar.jrc.ec.europa.eu/emissions_data_and_maps), (Erişim Tarihi: 12.03.2024).

Web 2, <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat/ab-sinirda-karbon-duzenleme-mekanizmasi/ab-skdm-bilgi-notu>, (Erişim Tarihi: 16.05.2024).

Web 3, <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/maps-and-charts?>, (Erişim Tarihi: 08.03.2024).

Web 4, <https://databank.worldbank.org/source/sustainable-energy-for-all>, (Erişim Tarihi: 20.05.2024).

WEO, (2021), “World Energy Outlook Report”, International Energy Agency.

Yıldız S., (2017), “Sürdürülebilir kalkınma için karbon vergisi”, Muhasebe ve Vergi Uygulamaları Dergisi, 10(3), 367–384.

## ÖZGEÇMİŞ

Hasan Uzaticı lisans eğitimini 2008 yılında Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde tamamlamıştır. Çevre mühendisi olarak farklı sektörlerde çalışmıştır. Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalında lisansüstü eğitimini sürdürmüştür. Hali hazırda özel bir kuruluştaki çevre mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.



## TEZ ÇALIŞMASI KAPSAMINDA YAPILAN YAYINLAR

Uzaticı H., Bektaş N., Tekbaş M., (2024), “Sera Gazı Emisyonu Azaltılmasında Karbon Ticaretinin Rolü”, 8. Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu, 30-31 Mayıs 2024, Kocaeli, Türkiye.

