

# Düşük Karbon Ekonomisi ve Ekonomik Araçlar

Tunç Durmaz

Yıldız Teknik Üniversitesi  
İktisat Bölümü

Arkhé Ekonomi Yaz Okulu I  
27 Temmuz 2022

# Outline

- 1 KAYA Özdeşliği
- 2 Emisyon azaltma seçenekleri
- 3 Çevre kirliliği/iklim değişikliği ile mücadele araçları
- 4 Belirsizlik ve çevre politikası

# KAYA özdeşliği

CO<sub>2</sub> emisyonlarındaki değişiklikleri KAYA adı verilen bir ayrıştırma yöntemini kullanarak analiz edebiliriz.

- özdeşlik, CO<sub>2</sub> emisyonlarındaki eğilimleri anlamak için faydalı bir araçtır.
- Adını daha sonra Tokyo Üniversitesi'nde mühendislik profesörü olan Yoichi KAYA'dan alır
- Fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonlarına uyarlandığında, özdeşlik aşağıdaki gibi görünür:

$$M = P \frac{Y}{P} \frac{E}{Y} \frac{M}{E} \quad (1)$$

M: Emisyonlar, P: Nüfus, Y: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla ve E: Birincil enerji tüketimi

Birincil enerji tüketimi, bir ülkenin toplam enerji talebini ölçer. Enerji sektörünün kendi tüketimini, enerji dönüşümü ve dağıtımındaki kayıpları (örneğin, petrol veya gazdan elektriğe) ve son kullanıcılar tarafından nihai tüketimini kapsar. Enerji dışı amaçlar için kullanılan enerji kaynakları (yanma için değil plastik üretmek için kullanılan petrol gibi) bu tanımda dışındadır.

# KAYA özdeşliği

- Dolayısıyla,

Emisyonlar = Popülasyon

× Kişi başına düşen gelir

× Enerji yoğunluğu

(ekonomik aktivite başına enerji kullanımı)

× Karbon yoğunluğu

(enerji kullanımı başına emisyon miktarı).

# KAYA özdeşliği

- Bu özdeşlikten daha fazla faydalanmak için büyüme oranlarıyla çalışalım.
- Denklem (1)'in her iki tarafının logaritmasını ve ardından da zamana göre türevlerini alalım:

$$g_M = g_P + g_y + g_e + g_m \quad (2)$$

burada  $y \equiv \frac{Y}{P}$ ,  $e \equiv \frac{E}{Y}$ ,  $m \equiv \frac{M}{E}$  ve  $g_x = \frac{1}{x} \frac{dx}{dt} = \frac{\dot{x}}{x}$ .

- Dolayısıyla, CO2 emisyonlarının büyüme oranı aşağıdaki değişkenlerin (nüfus; kişi başına gelir; enerji yoğunluğu; karbon (CO2) yoğunluğu) büyüme oranlarının toplamına eşittir.

# KAYA özdeşliği

- Aşağıdaki şekil, 2013 yılında CO<sub>2</sub> emisyon seviyesinin 2.28261 olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde, CO<sub>2</sub> emisyonları (ve diğer değişkenlerin değerleri) 1971 yılı için 1'e normalize edilmiştir.

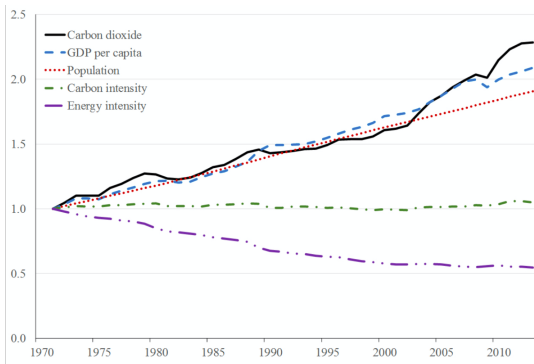


Figure: Küresel karbondioksit emisyonları ve bileşenleri

# KAYA özdeşliği

- Bileşik faiz oranı formülü kullanılarak yıllık büyüme oranı  $r$  hesaplanabilir:

$$1 \times (1 + r)^{42} = 2.28261. \quad (3)$$

- Buna göre, CO<sub>2</sub> emisyonları 1971 ile 2013 arasında yıllık bazda %2,0 artmıştır.

# KAYA özdeşliği

- KAYA özdeşliği diğer geçmiş eğilimlerin yorumlamasına izin verebilir.
- Aynı dönemde bakıldığında
  - $g_P = 0.015$ , yani nüfus 1971 ile 2013 arasında %1,5 artmıştır.
  - $g_y = 0.018$ ,
  - $g_e = -0.014$ ,
  - $g_m = 0.001$ .
- Sonuç olarak
  - nüfus ve kişi başına gelirdeki artışlar daha fazla karbon yoğun yakıtlara geçişi destekleyerek emisyonları artırmıştır. Enerji verimliliğindeki yükselişler ise emisyonlardaki artışın önüne geçememiştir.



# KAYA özdeşliği

- KAYA özdeşliği, ileriki dönem emisyon seviyeleri için öngöründe bulunulmasına da olanak tanımaktadır.
- Bu yapmak için, nüfus artışı, ekonomik çıktı, enerji kullanımı ve enerji arzı gibi çeşitli senaryoların oluşturulması gerekmektedir.

# KAYA özdeşliği

- Son olarak, KAYA özdeşliği, emisyonların nasıl azaltılabileceğini değerlendirmemize de olanak sağlar.
- Örneğin, önceki bilgiler ışığında bakıldığında, enerji veya karbon verimliliğinde yeterli iyileştirmelerin olmadığı durumda nüfus veya geliri azalması gerekecektir.
- Peki, bunun yapılmasındaki sakıncalar neler olabilir?

# Emisyon azaltma seçenekleri

- Yukarıda anlatılanlardan hareketle iklim değişikliğiyle mücadelede emisyon azaltma seçeneklerine bakalım:
  - Daha küçük popülasyonlar ilk seçenektir. Fakat demokratik ülkelerde iklim değişikliğiyle mücadele adına bu seçeneğe baş vurulması pek olası değildir.
  - Daha yavaş bir ekonomik büyüme: Koronavirüs pandemisi olarak da bilinen COVID-19 pandemisi, kişi başına düşen gelirdeki azalmasının sera gazı emisyonlarını azaltmada etkili olduğunu göstermiştir.
    - Fakat yeniden seçilmeyi hedefleyen bir politikacının daha yavaş ekonomik büyümeyi teşvik etmesi pek beklenen bir durum değildir.

# Emisyon azaltma seçenekleri

- Bu durum geriye özdeşlikteki dört terimden sadece iki tanesini bırakmaktadır:
  - Enerji verimliliğindeki artışlar CO2 emisyonlarındaki artışın daha da hızlanmasının önüne geçilmesini sağlamıştır (Şekil 1).
  - Enerji verimliliğinin, iklim politikalarından bağımsız olarak, gelecekte de artmaya devam etmesi muhtemeldir.
  - Bunun nedeni enerji maliyetleridir: daha az enerji gerektiren özdeş bir ürün tüketiciler için daha çekicidir.
  - Bu nedenle şirketler, ürünlerinin enerji verimliliği özelliklerini artırmaya yönelik yatırımlar yaparlar.
- Dikkat: Enerji verimliliğinin artması her zaman enerji tüketiminin azalması anlamına gelmez: rebound etkisi
- Alışkanlıklarla ilgili değişiklikler de emisyonların azalmasına katkı sunabilir. Fakat alışkanlıkları değiştirmek zordur ve piyasa başarısızlıkları “aşırı” enerji kullanımına yol açar.

# Emisyon azaltma seçenekleri

- KAYA özdeşliğinin dördüncü bileşeni enerji sektörünün karbon yoğunluğudur.
- Karbon yoğunluğu, yüksek karbonlu enerji kaynaklarından düşük veya karbonsuz enerjiye geçilerek azaltılır.
- Son yıllarda ABD'de elektrik üretimi kömürden gaza geçmiş ve bunun sonucunda CO<sub>2</sub> emisyonları düşmüştür.
  - Kaya gazı devrimi bol ve ucuz doğalgaz sağlamıştır.
- Avrupa'da ise aynı dönemde tam tersi bir durum söz konusu olmuştur. Bu süreçte, Fukushima Daiichi Nükleer Santral Kazası ve hidrolik kırma (fracking) karşı temkinli bir nüfus sebebiyle ucuz Amerikan kömürü doğal gazın yerini almış ve beraberinde emisyonların artışına sebep olmuştur.
- Japonya ve Almanya, karbon nötr nükleer enerji üretiminden uzaklaşıp taş kömürü ve hatta linyitten enerji üretimini artırıp eminsyonlarda daha ciddi artışların yaşanmasına sebep olmuşlardır.

# Emisyon azaltma seçenekleri

## Karbon nötr enerji kaynakları:

- Hidroelektrik enerjisi ve nükleer enerji kanıtlanmış teknolojilerdir
  - Her ikisi de tartışmalıdır.
  - Hidroelektrik enerjisi, insanları ve değerli tarım arazilerini yerinden eden bir rezervuar/baraj gerektirir
  - İnsanlar nükleer atık ve güvenlik konusunda endişelenmektedirler—büyük olasılıkla geçmişin sorunları—ancak bunun sonucunda maliyetlerin artıyor olması endişelere sebep olmaktadır.
  - Nükleer malzeme ve bilginin askeri amaçlar için kullanılması olasılığı da ayrı bir endişe kaynağıdır.
- Sonuç olarak, iki teknoloji için de büyüme imkanları sınırlıdır.

# Emisyon azaltma seçenekleri

- Hidroelektrik dışında, başka birçok yenilenebilir enerji kaynağı daha vardır.
- Bazı yenilenebilir kaynaklar, jeotermal enerji ve gelgit enerjisi gibi küçük niş pazarlarla sınırlıdır.
- Diğer yenilenebilir enerji kaynakları daha yaygın olarak uygulama alanları bulmaktadır.

## Emisyon azaltma seçenekleri- Rüzgar enerjisi

- Rüzgar enerjisi, birçok ülkede CO<sub>2</sub> emisyon azaltma stratejisinin önemli bir parçasıdır.
- Karadaki rüzgar enerjisi, bazı bölgelerde şebeke/soket paritesine yaklaşmasına rağmen, kömür ve gazdan üretilen elektrikten %25-50 daha pahalıdır (En güncel rakamlar için International Renewable Energy Agency/Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (**IRENA**) raporlarına bakılabilir).
  - şebeke paritesi, alternatif bir enerji kaynağı, elektrik şebekesinden elde edilen elektriğin fiyatına eşit veya daha düşük bir seviyelendirilmiş elektrik maliyetinde (LCOE) güç üretebildiğinde ortaya çıkar.
  - şebeke paritesine ulaşılması bir enerji kaynağının sübvansiyonlar veya devlet desteği olmaksızın yaygın bir şekilde kullanılabileceği anlamına gelebilir.
  - Şebeke paritesine ulaşıldığında, ilgili enerji kaynaklarıyla enerji üretiminde önemli bir artış yaşanması beklenmektedir.



## Emisyon azaltma seçenekleri - Rüzgar enerjisi

- Açık deniz rüzgar enerjisi hala daha maliyetlidir.
- Özellikle ölçek ekonomisi ve malzeme seçimi yoluyla maliyetlerin düşürülmesinde bir miktar ilerleme kaydedilmiştir. Ancak, rüzgar yerleşik bir teknoloji olduğu için bu teknolojide ciddi atılımlar beklenmemektedir.
- Maliyet düşüşleri ölçek ekonomilerinden gelir.
- Maliyetlerin yanı sıra, rüzgar enerjisi **kesintilidir** ve tahmin edilmesi güçtür. Elektrik kesintilerini önlemek için yedek jeneratörlere/pillere vs ihtiyaç vardır.
- Rüzgar türbinlerine görsel bakımdan da bir muhalefet vardır ve bu türbinler yarasaları ve kuşları öldürmektedir.

## Emisyon azaltma seçenekleri - Güneş enerjisi

- Güneş enerjisi, birçok emisyon azaltma politikasının bir diğer önemli parçasıdır.
- Niş uygulamalar dışında, güneş enerjisi hala pahalıdır.
- Ancak malzeme bilimi ve yarı iletkenlerdeki teknolojik ilerlemeler nedeniyle maliyetler hızla düşmekte olup bu düşüşlerin de devam etmesi beklenmektedir.
- Kesiklilik görece rüzgardan daha azdır. Ancak, fotovoltaiik paneller karanlıkta çalışmaz.
- Güneş panelleri kötü kimyasallar içerir ve kullanım ömürlerinin sonunda dikkatli bir şekilde bertaraf edilmelidir.
- Güneş ışığının su veya tuz gibi bir malzemeyi ısıtmak için kullanıldığı konsantre güneş enerjisi, güvenilir ve dağıtılabilir bir enerji kaynağı olma potansiyeline sahiptir ve ucuz arazi ile güneşli bölgelerde şebeke paritesinde veya bu pariteye yakınındadır.

# Emisyon azaltma seçenekleri - Biyokütle

- En yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynağı, ancak öncelikle geleneksel biçimlerinde — odun, tezek...
- Rüzgar ve güneş enerjisinden farklı olarak biyoenerji, çoğu araç, gemi ve uçaklarda kullanılan sıvı yakıtların yerine kullanılabilirler.
- İlk nesil modern biyoyakıtlar pahalı olmakla birlikte kullanılan malzemeler de genellikle yenilebilir cinstendir.
  - Biyoenerji kullanımı bu durumda gıda fiyatını yükseltmektedirler.

## Emisyon azaltma seçenekleri - Biyokütle

- 2. ve 3. nesil süreçlerle ilgili çok araştırma olmakla beraber ilgili çok az ticari uygulama söz konusudur.
- 1. nesil biyoyakıtlar, hububat, mısır, şeker pancarı ve kamışı ve kolza tohumu gibi doğrudan tarlalardaki mahsullerden üretilir. Avrupa'da kolza yağı öncelikle biyodizel için kullanılır.
- 2. nesil biyoyakıtlar, örneğin sanayi ve evlerden gelen artık ve atık ürünlerden üretilir. Büyük ölçüde kullanılmış kızartma yağı ve mezbaha atıkları da 2. nesil biyoyakıtların üretilminde kullanılmaktadır.

## Emisyon azaltma seçenekleri - Biyokütle

- Fosil yakıtlar, milyonlarca yıl boyunca Tabiat Ana tarafından güzelce kurutulmuş, sıkıştırılmış ve dönüştürülmüş bitki materyalidir. Biyokütle enerjisi, insanlar ve makineleri tarafından toplanması, kurutulması, sıkıştırılması ve dönüştürülmesi gereken yeni bitki materyalleridir. Biyoyakıtlardan enerji üretimi nispeten yeni olduğundan, ileride–özellikle 3. nesil biyoyakıtların (alglerden/yosunlardan elde edilen biyoyakıtlar)–maliyetlerinin düşmesi beklenmektedir.
- Üçüncü nesil biyoenerji, farklı veya modifiye edilmiş materyaller kullanır.
- Özellikle genetik mühendisliğinin rutin hale geldiği günümüzde hızlı ilerlemeler beklenebilir.
- Bununla birlikte, laboratuvarlardan düzenli olarak heyecan verici haberler gelse de, henüz başarılı bir ticarileştirme gerçekleşmemiştir.

# KAYA özdeşliği neyi ele almamaktadır

- KAYA özdeşliğini fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanan CO2 emisyonları bağlamında yorumladık.
- Bu özdeşlik, emisyonların yapısal nedenleri ve yapısal çözümlerle ilgilidir.
- Bununla birlikte, başka bir çözüm daha var: karbon yakalama ve depolama (CCS)
  - CO2'nin ayrıştırılması, tutulması ve güvenli bir yerde depolanmak üzere nakledildikten sonra depolanmasını içeren bir işlemdir.
  - Fakat bu işlemin bir enerji maliyeti vardır

# KAYA özdeşliği neyi ele almamaktadır

- CO2'nin özellikle boru hatlarıyla taşınması da maliyetlidir.
- Enerji üretiminden elde edilen tüm CO2'yi yakalamak istiyorsak, ulaşım ağının oldukça büyük ve petrol ve gaz boru ağından önemli ölçüde daha büyük olması gerekir.
- Merkezler ve kümeler (hubs&clusters) yaklaşımları, CO2'nin taşınması ve depolanması söz konusu olduğunda öne çıkmaktadır.
- CO2 depolandıktan sonra CO2 sızıntılarıyla ilgili de endişeler söz konusudur.
- Son olarak CCUS: Karbon yakalama, kullanma ve depolama.

# KAYA özdeşliği neyi ele almamaktadır

- Arazi kullanımındaki değişiklikler de CO<sub>2</sub> salınımına sebep olmaktadır.
- Bu nedenle emisyonları azaltmak, ormansızlaşmayı yavaşlatmayı veya tersine çevirmeyi gerektirir.
- Birçok denemeye rağmen ormansızlaşma bir çok coğrafyada devam etmektedir (Brezilya/Türkiye...)
- Ormansızlaşmayı yavaşlatmak zor ve pahalıdır.



# KAYA özdeşliği neyi ele almamaktadır

- Jeomühendislik: Jeomühendisliğin amacı iklim değişikliğini önlemek değil, iklimi eski haline getirmek veya daha fazla bozulmayı önlemektir.
- Okyanusların üzerine su püskürtmekten atmosfere aerosoller ve uzaya aynalar yerleştirmeye kadar bunu başarmanın birçok yolu vardır.
- Jeomühendislik, ucuz olduğu ve birçok ülkenin işbirliği yapmasını gerektirmediği için ilk bakışta çekici gelmektedir.
- Bununla birlikte, belirsizlik, iklim biliminin temel özelliklerinden biridir.
  - Atmosfere karbondioksit salmanın sonuçlarını tam olarak bilmiyorsak, karbondioksitin etkisini azaltmak için kaç tane kükürt aerosolünü atmosfere salmamız gerektiğini nasıl bileceğiz?
  - Başarılı olsa bile, jeomühendislik risklidir.

# Vergiler ve Kirlilik İzinleri

- Hatırlayalım: Karbonu fiyatlandırırken iki yaklaşımdan bahsedilebilir.  
1 salınan her ton CO<sub>2</sub> için vergi alır.
- Teorik olarak, vergi, negatif dışsallığın (dolaylı maliyetler) maliyetine ilişkin en iyi tahmine dayanmalıdır.
- Vergi, dışsallığın marjinal maliyetine veya marjinal zarara eşitse, piyasa dengesi sosyal optimuma karşılık gelir.
- Bu durumda vergi, Arthur Cecil Pigou'nun adını taşıyan bir **Pigovian vergisi** olarak adlandırılır.

# Vergiler ve Kirlilik İzinleri

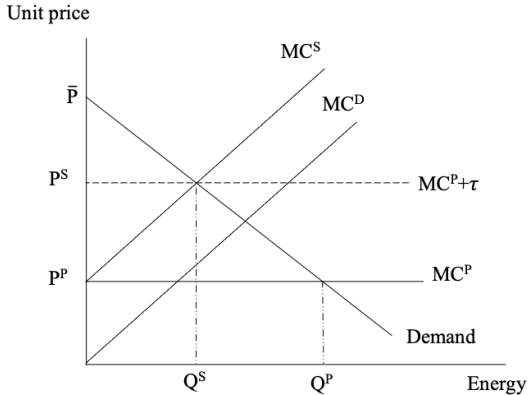


Figure: Sosyal optimum ve piyasa fiyatı ve üretim miktarı

# Vergiler ve Kirlilik İzinleri

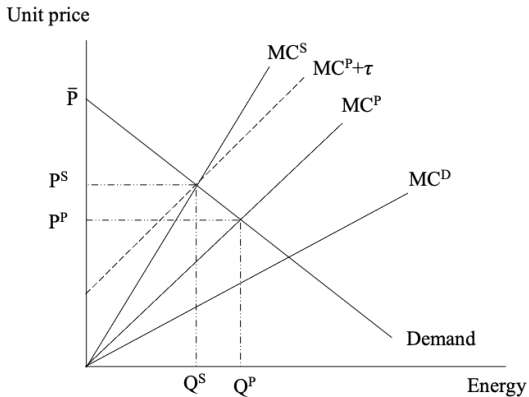


Figure: Sosyal optimum ve piyasa fiyatı ve üretim miktarı

# Vergiler ve Kirlilik İzinleri

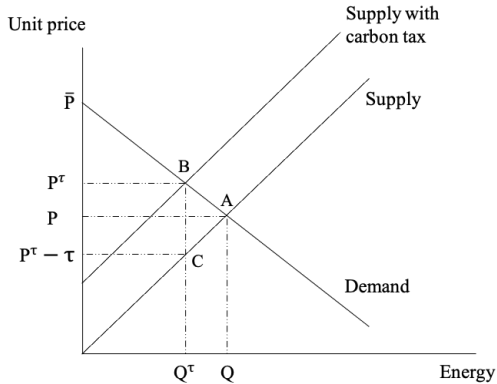


Figure: Kirlilik vergisi varlığında piyasa enerji arz ve talebi

# Vergiler ve Kirlilik İzinleri

- 2 İkinci yaklaşımda, Ronald Coase tarafından geliştirilen ticarete konu olan mülkiyet hakları söz konusudur.

## Kirlilik izinleri

- Bu yaklaşımda, yetkili bir birim belirli bir dönem için toplam emisyon miktarına karar verir ve bu toplam miktarı kapsayacak şekilde kirlilik izinleri çıkarılır.
- Kirleticilerin kirlilik izinlerinin mücade ettiği miktarda emisyon salmalarına izin verilir.
- Emisyonlar, kirlilik izinlerinin izin mücade ettiği değeri aşarsa bu kirleticilere ağır cezalar uygulanır.
- Kirleticiler, emisyonlarının, kirlilik izinlerinin mücade ettiği miktardan daha düşük olmasını bekliyorsa, bunları kirlilik izinleri piyasasında satabilir.

# Kirlilik izinleri

- Sistemin yapısı gereği, emisyonların denge seviyesi, verilen kirlilik izinlerinin sayısına eşit veya daha düşüktür.
- Kirlilik izinlerinin optimal seviyesi düzenlendiğinde, denge kirlilik izin fiyatı, sosyal olarak optimum olan emisyon seviyesine tekabül eden dışsallığın marjinal maliyetine eşittir.



## Vergiler ve Kirlilik izinleri

- Pigou vergisi piyasaya yapılan bir fiyat müdahalesidir - fiyat temelli regülasyon:
  - her bir ton CO<sub>2</sub> emisyonu için bir vergi alınır ve buna karşılık emisyonu yapanlar ne kadar emisyon yapacaklarına karar verirler.
- Öte yandan, bir emisyon ticaret sistemi veya emisyon (kirlilik izinleri) piyasası, maksimum CO<sub>2</sub> emisyon miktarının belirlendiği bir miktar düzenlemesidir.
- Kirlilik izni sayısı belirlendikten sonra, kirleticiler arasında kirlilik izinlerin ticaretini takiben piyasada kirlilik izni fiyatı belirlenir.
- Hangi yaklaşım tercih edilir? Özellikle belirsizlik altında? Bu soruya daha sonra ışık tutacağız

# Vergiler ve Kirlilik İzinleri

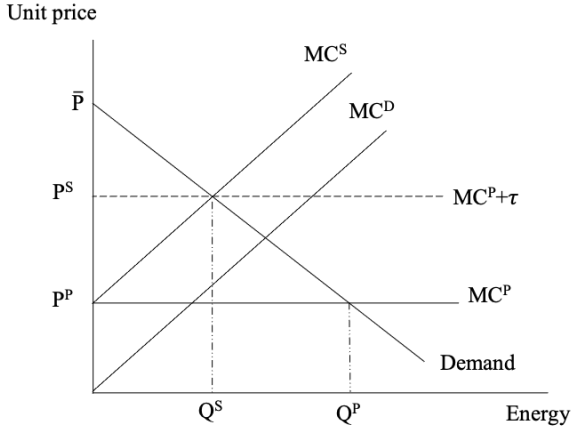
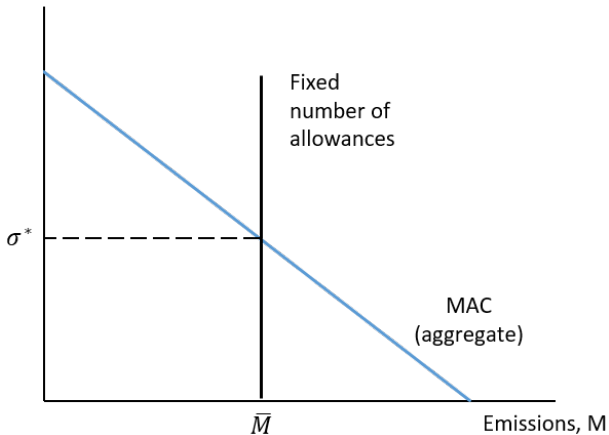


Figure: Sosyal optimum ve piyasa fiyatı ve üretim miktarı



Figure

# AB ETS

- AB ETS, en eski ve bugüne kadarki en iddialı/büyük hacimli karbon/kirlilik izinleri piyasasıdır. 24 Ocak 2022 itibariyle, bir ton CO<sub>2</sub>'nin AB ETS üzerindeki fiyatı 89.5 Euro civarındaydı. Şekil, karbon izinlerinin piyasada işlem görmeye başlamasından bu yana karbon fiyatının nasıl geliştiğini göstermektedir.



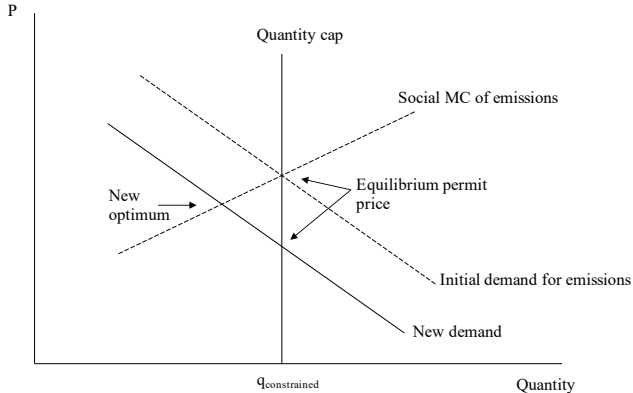
Figure: AB Karbon İzinleri (EUR)

# AB ETS

- 2017 yılının çoğunda 5 Euro olan karbon fiyatı ve 2018'in ilk ayında 8 Euro olmuştur.
- Başlangıçta dolaşımda çok fazla kirlilik izni söz konusuydu.
- İzin talebi de o dönemde aşağıdaki sebeplerden dolayı zayıftı:
  - 2008 global mali/ekonomik kriz ve sonrasında ortaya çıkan ekonomik yavaşlama ve emisyonlarda azalma
  - Enerji portföyünde yenilenebilir kaynakların artan payları
- NOT: Siyasi uzlaşmalar ve çıkar gruplarının talepleri nedeniyle (lobicilik), bu tür programlar hayal kırıklığı yaratan performanslar sergileyebilir.

# AB ETS

- Aşağıda, CO<sub>2</sub>'nin sosyal maliyetinden çok daha düşük fiyatlara yol açan adımları grafiksel olarak gösteriyoruz:



## AB Emisyon ticaret sistemi (ETS) - tarihsel bir bakış

- AB ETS'de, birinci faz (2005-2008) 2.096 MtCO<sub>2</sub>e üst sınırı ile başlamıştır.
- İkinci aşama (2009-2012) 2.049 MtCO<sub>2</sub>e üst sınırı ile başlamıştır.
- Üçüncü Aşama (2013-2020): 2013 emisyon üst sınırı, 2008-2012 yıllarında yıllık olarak verilen toplam kirlilik izinleri ortalaması olan 2.084 MtCO<sub>2</sub>e olarak belirlenmiştir. Bu üst sınırın, *doğrusal azaltma faktörünün* her yıl %1,74 ( 38,3 milyon kirlilik izni) olarak azalması kararlaştırılmıştır.
  - Bu nedenle, üst sınır 2020'ye gelindiğinde 1.816 MtCO<sub>2</sub>e'a düşmüştür. Şekil 7'da görülebileceği gibi üst sınırın düşürülmesiyle birlikte piyasadaki kirlilik izni fiyatı 2018'den sonra güçlü bir artış eğilimi göstermiştir.

## AB ETS - Dördüncü Faz (2021-2030)

- Dördüncü fazın 2030'a kadar sürmesi planlanmıştır.
- Yerleşik tesisler için AB çapında tek üst sınır: 2021'de 1.572 MtCO<sub>2</sub>e
- Emisyon Azaltma faktörü: %1.74'ten %2,2'e çıkarılmıştır. Yıllık %2,2 olan emisyon azaltma faktörü, havacılık sektörünün emisyonları için de geçerli olacaktır.
  - Üst sınırdan yıldan yıla azalma: 43 milyon kirlilik izni.
  - Doğrusal indirgeme faktörünün bir gün batımı maddesi (sunset clause) yoktur ve üst sınır, 2030'dan sonra da küçülmeye devam edecektir.
  - Bir gün batımı hükmü veya sona erme yasası: belirli bir tarihte otomatik olarak sona eren bir düzenlemedir.)
- 2021'den itibaren, daha önce AB ETS tarafından kapsanan Birleşik Krallık kuruluşlarından kaynaklanan emisyonlar artık üst sınırdan dikkate alınmamaktadır.
- İrlanda/Kuzey İrlanda Protokolü'nün 9. Maddesi ve Ek 4'ü uyarınca, 4. fazdaki emisyon üst sınırındaki azalmalar Kuzey İrlanda'daki



# AB ETS

- Avrupa Birliği'ndeki iddialı çabaların ışığında AB, Temmuz 2021'de "55'e Uygun" paketini yayınladı.
- Paket, 1990 emisyon seviyelerinin en az %55 oranında emisyon azaltımı sağlamak için ekonominin tüm ana sektörlerini kapsayan kapsamlı bir dizi politika önerisini içeriyor.
- Paket, büyük değişikliklerle AB ETS'yi AB'nin karbondan arındırma gündeminin merkezine yerleştirmektedir. Buna göre:
  - 1- emisyon üst sınırında tek seferlik bir azalma ve emisyon azaltma faktöründe %2,2'den %4,2'ye olması;
  - 2- denizcilik sektörünün 2023'ten itibaren AB ETS kapsamına dahil edilmesi;
  - 3- binalar ve ulaşım için ayrı bir yakıt ETS'nin oluşturulması; ücretsiz tahsislerin (grandfathering) daha hızlı olarak azaltılıp düşük karbon yatırımına bağlanması;

## AB ETS - 55 için uygun

- Avrupa Birliği'ndeki iddialı çabaların ışığında Temmuz 2021'de "55'e Uygun" paketi yayınlandı.
- Paket, 1990 seviyelerinin altında en az %55 oranında emisyon azalımının sağlanması için ekonominin tüm ana sektörlerini kapsayan kapsamlı bir dizi politika önerisini içermektedir.
- Paket, aşağıdakileri içeren büyük değişikliklerle AB ETS'yi AB'nin karbondan arındırma gündeminin merkezine yerleştirmektedir:
  - 4- ithal edilen malların sebep olduğu emisyonları fiyatlandıracak sınırdaki karbon düzenleme mekanizmasının (CBAM) 2026 yılında tamamiyle yürürlüğe girmesi
  - 5- Piyasa istikrar rezervinin (market stability reserve) işleyişinde kullanılan parametrelerin güncellenmesi... Rezervin işleyişi piyasadaki fazla/surplus kirlilik izinleriyle ilgili ilgilidir. Rezerv, sistemin şoklara karşı dayanıklılığını artırmak için ihaleye çıkılacak izinlerinin arzını ayarlamakta, ihaleye çıkarılmayan izinler Piyasa istikrar merkezine transfer edilmektedir

## AB ETS - 55 için uygun

- 5 (*devam...*) AB ETS için MSR'nin revize edilmesi önerisi, mevcut parametrelerle devam edilmesini içermektedir. Buna göre, artık/fazla olan AB ETS izinlerinin hızlı bir şekilde piyasadan kaldırılmasını sağlamak için MSR'ye tahsis edilecek izinlerin tahsis oranı ve rezerve yerleştirilen asgari kirlilik izinlerin miktarları 2023'ün sonuna kadar iki katına çıkarılmıştır. Teklif (NAYıs 2022), iki katına çıkarılmış alım oranını (%24) ve rezerve aktarılan asgari izin sayısını (200 milyon) AB ETS'nin IV. Aşamasının sonu olan 31 Aralık 2030'a kadar sürdürmeyi hedeflemektedir.
- 6- Sosyal İklim Fonu'nun oluşturulması da dahil olmak üzere, dağıtım etkilerini ele almak ve yeniliği teşvik etmek için gelir kullanımına ilişkin yeni düzenlemeler.

# AB ETS - Fit for 55

- Paket, nihai şekliyle yürürlüğe girmeden önce AB'nin olağan yasama prosedürünü geçmek durumundadır.

## Emisyon üst sınırı ve ticareti: Bankacılık/Ödünç Alma

- Emisyon üst sınırı ve ticaret programları genellikle uzun süreler boyunca uygulanır.
- AB ETS birkaç aşamadan geçti ve şimdi dördüncü fazında.
- ABD'deki SO<sub>2</sub>–Kükürt dioksit– programının yasal olarak belirlenmiş bir bitiş tarihi yoktur.
- Uzun vadeli programlar, izinlerin ileride kullanılmak üzere saklanmasına (banking) veya ödünç alınmasına kısmen izin verir.

## Emisyon üst sınırı ve ticareti: Bankacılık/Ödünç Alma

- Hem ABD SO<sub>2</sub> hem de AB ETS, kirlilik izni bankacılığına izin verir.
- ABD: programı, programın tanımlayıcı bir özelliği olan sınırsız bankacılığa izin verir.
- AB ETS'de 2008'den beri sınırsız bankacılığa izin verilmektedir. Borçlanmaya izin verilmez.
  - Ancak, işlem dönemleri içinde zımni borçlanmaya izin verilir; yani, önceki yılda uyum için cari yılda tahsis edilen ödeneklerin kullanımı.
- Çin: Bankacılık ve borçlanmaya ilişkin kurallar, yayınlanan politika belgelerinde henüz belirtilmemiştir. Sistemin bankacılığa izin vermesi, ancak borçlanmaya izin vermemesi bekleniyor.
- Kirlilik izinleri bankacılığının karbon piyasasını etkileyebileceğini anlamak, başarılarını değerlendirirken önemlidir.

## Kirlilik kontrolü: Fiyatlara karşı miktarlar

- Düzenlenmesi gereken belirli bir ekonomik değişken söz konusuysa, bu regülasyonu genel faydayı en yüksek seviyeye çıkaracak şekilde yapmanın yolu nedir?
- Regülasyona konu faaliyeti doğrudan yönetmek mi daha doğru yoksa
- ilgili fiyatları sabitleyip ve aynı sonuçlara kişisel çıkarlara dayalı kâr veya fayda maksimizasyonu yoluyla ulaşmaya çalışmak mı daha doğrudur?
- Başka bir deyişle, kirliliği kontrol etmek amacıyla
  - emisyon standartları mı getirmek,
  - yoksa uygun kirlilik vergilerini tahsis etmek mi daha iyi olur?
- Ekonomik teori: çevre kirliliğini ele alırken, bir emisyon ticaret sistemi ve bir emisyon ücreti sistemi aynı sonuca yol açmalıdır.
- Bununla birlikte, belirsizlik altında, iki sistem (Weitzman) farklı sonuçlara yol açabilir.

## Kirlilik kontrolü: Fiyatlara karşı miktarlar

- Bir çevre otoritesi/düzenleyicisi ve bir firma düşünün.
- Yetkili, bir emisyon fiyatı (emission fee) getirebilir veya miktar düzenlemesine gidebilir
- Bir emisyon ücreti olduğunda, firma — kirletici — marjinal tasarruflarını kirlilikten emisyon ücretine kadar belirler ve her kirlilik birimi için bir kirlilik ücreti öder.



## Kirlilik kontrolü: Fiyatlara karşı miktarlar

- $q$ ,  $C(q)$  maliyetle üretilebilen ve  $B(q)$  fayda sağlayan belirli bir mal olsun.
- "Mal" kelimesi soyut bir anlamda kullanılmaktadır ve saf sudan askeri uçaklara kadar hemen hemen her türlü malı ilgilendirebilir.
- Örneğin hava kirliliğinden bahsetmek yerine onun tersiyle ilgilendiğimiz anlamına gelir; yani temiz hava.
- Malın tek bir üreticisi olduğunu ve maliyet eğrisi kavramında hiçbir belirsizlik olmadığını düşünelim.
- Faydalar, para eşdeğerleri cinsinden ölçülmektedir.
- $B''(q) < 0$ ,  $C''(q) > 0$ ,  $B'(0) > C'(0)$  ve  $B'(q) < C'(q)$  olduğu varsayılır .

## Kirlilik kontrolü: Fiyatlara karşı miktarlar

Sosyal planlamacının problemi aşağıdaki gibidir:

$$\max_q B(q) - C(q) \quad (4)$$

Maksimum için koşul  $B'(q^\circ) = C'(q^\circ)$  şeklindedir.

## Kirlilik kontrolü: Fiyatlara karşı miktarlar

- Bir planlayıcı,  $p^* = B'(q^o) = C'(q^o)$  olacak şekilde  $p^*$  fiyatını açıklayabilir ve firmanın maksimize etmesini sağlayabilir.

$$p^* q - C(q).$$

- Bu, optimal çözümü verecektir.
- Öte yandan, planlayıcı firmanın  $q^o$  üretmesini isteyebilir.

## Kirlilik kontrolü: Fiyatlara karşı miktarlar

- Şimdi, soru şudur: "Ya  $B$  veya  $C$  dalgalanmalara maruz halır ve belirsizlik ihtiva ederse fiyat mı yoksa miktar regülasyonuna mı gidilmelidir?"
- NOT: Eğer  $\Delta > 0$ , fiyat düzenlemesi refah açısından daha iyidir.

$$\begin{aligned}
\Delta &= E \left[ (B'(\hat{q}) + \beta(\eta)) (\tilde{q} - \hat{q}) + \frac{B''}{2} (\tilde{q} - \hat{q})^2 - ((C'(\hat{q}) + \alpha(\theta)) (\tilde{q} - \hat{q}) + \frac{C''}{2} (\tilde{q} - \hat{q})^2) \right] \\
&= EB' \left( -\frac{\alpha(\theta)}{C''} \right) + E\beta(\eta) \left( -\frac{\alpha(\theta)}{C''} \right) + E \frac{B''}{2} \left( -\frac{\alpha(\theta)}{C''} \right)^2 \\
&\quad - EC' \left( -\frac{\alpha(\theta)}{C''} \right) - E \left( -\frac{\alpha(\theta)^2}{C''} \right) - E \frac{C''}{2} \left( -\frac{\alpha(\theta)}{C''} \right)^2 \\
&= \left( \frac{B''}{C''} + 1 \right) \frac{\sigma_{mc}^2}{2C''}
\end{aligned} \tag{5}$$

Hatırlayalım:  $B'' < 0 < C''$ . Dolayısıyla, eğer  $|B''| < (>) |C''|$ ,  $\Delta > (<) 0$ .

Diğer bir deyişle, eğer marjinal maliyet eğrisi, marjinal fayda eğrisinden daha kavisli/eğri ise, o zaman fiyat düzenlemesi miktar düzenlemesinden daha iyidir vs.

# Teşekkürler

# Düşük Karbon Ekonomisi ve Ekonomik Araçlar

Tunç Durmaz

Yıldız Teknik Üniversitesi  
İktisat Bölümü

Arkhé Ekonomi Yaz Okulu I  
27 Temmuz 2022

# Renewable Electricity Generation

## 1 Seviyelendirilmiş elektrik maliyeti-LCOE



# Seviyelendirilmiş elektrik maliyeti

- Elektrik enerjisi üreticilerinin rekabet gücünü ölçmenin bir yolu, santralin tüm ömrü boyunca üreteceği elektriğin toplam maliyetinin bir göstergesini hesaplamaktır.
- Seviyelendirilmiş elektrik maliyeti/Levelized cost of electricity (LCOE) LCOE, akla gelen ilk yöntemdir. LCOE, bir santralin varsayılan bir finansal ömrü ve görev döngüsü boyunca inşa edilmesi ve işletilmesinin toplam maliyetinin eşit yıllık ödemelere çevrilmiş bugünkü değeridir.
- Bir başka ifadeyle, LCOE, varsayılan finansal ömrü boyunca bir elektrik santralinin inşa edilmesi ve işletilmesinin kWh başına maliyetini temsil eden bir değerdir.

# LCOE: Temel girdiler

LCOE hesaplamalarına ilişkin temel girdiler aşağıdaki gibidir:

- Sermaye maliyetleri
- Yakıt maliyetleri
- Sabit ve değişken işletme ve bakım (O&M) maliyetleri (veya CAPEX/OPEX)
- Finansman maliyetlerinin yanı sıra varsayılan bir finansal ömür
- Her bir tesis türü için varsayılan bir kullanım oranı

# Temel LCOE formülü

- 1 İlk olarak,  $t=1,2,\dots,T$  olup ömrü  $T$  olan bir elektrik üretim teknolojisine yapılan bir yatırımı düşünün, burada  $t$  genellikle bir yıl olan tek bir zaman periyodunu göstermektedir.
- 2 Belirsizliğin olmadığı ortamda, bir üreticinin ömrü boyunca her bir dönemde elde edilen toplam gelirlerin indirgenmiş toplamı (diğer bir deyişle ömür boyu toplam gelirin bugünkü değeri (PV)), şu şekilde hesaplanabilir:

$$PV = \frac{Q_{i,1}P_1}{1+r} + \frac{Q_{i,2}P_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{Q_{i,T}P_T}{(1+r)^T} = \sum_{t=1}^T \frac{Q_{i,t}P_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

# Basic LCOE formula (ctd.)

*Bundan sonrasını Türkçe'ye çevirmek için vaktim kalmadı. Kusura bakmayın..*

- To simplify the analysis further, assume that the markets are competitive, implying zero profit from an investment.
  - the total discounted sum of revenues and costs during the lifetime of the energy-generating asset would be equal.

$$\sum_{t=1}^T \frac{Q_{i,t} P_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=1}^T \left[ \frac{(\text{Capital expenditure})_t}{(1+r)^t} + \frac{(\text{O\&M})_t}{(1+r)^t} + \frac{(\text{Fuel costs})_t}{(1+r)^t} \right] \quad (2)$$

- $P_t$  stands for the annual average wholesale price.
- Coal-fired power plant: the fuel costs stand for the costs of coal purchases.
- A solar farm: fuel costs are not relevant.

## Basic LCOE formula (ctd.)

Replace  $P_t$ , the energy price at each time period, with the average price,  $\bar{P}$ , over the whole period in concern:

- $\bar{P} = \frac{1}{T} \sum_t P_t$ ,

Eq. (2) can be solved for the average energy price yielding the LCOE:

$$LCOE = \bar{P} = \sum_{t=1}^T \left[ \frac{(\text{Capital expenditure})_t}{(1+r)^t} + \frac{(\text{O\&M})_t}{(1+r)^t} + \frac{(\text{Fuel costs})_t}{(1+r)^t} \right] / \sum_{t=1}^T \frac{Q_{i,t}}{(1+r)^t} \quad (3)$$

## Basic LCOE formula (ctd.)

- The basic LCOE formula can be augmented by adding other terms in the right-hand side of the LCOE equation.
- For example, if there is a subsidy scheme such as feed-in tariffs, this would affect the LCOE computations as subsidies would lower the unit cost of production.
- Suppose that the authority pays the power plants a fixed amount of money each year:  $S_t$ . Then the LCOE computation can be amended to give

$$LCOE = \sum_{t=1}^T \left[ \frac{(\text{Capital expenditure})_t}{(1+r)^t} + \frac{(\text{O\&M})_t}{(1+r)^t} + \frac{(\text{Fuel costs})_t}{(1+r)^t} - \frac{S_t}{(1+r)^t} \right] / \sum_{t=1}^T \frac{Q_{i,t}}{(1+r)^t} \quad (4)$$