

# KARBON VERGİSİ - Adil yaklaşım ile

İm. Prof. Dr. Bekir Zühtü Uysal

## Özet

Küresel ısınmanın en önemli nedeni olan fosil yakıt kaynaklı karbon dioksit emisyonunun kontrol altında tutulması gerekir. Ancak, küresel ve sınır tanımayan bir problemin çözümü de sınır tanımayan ortak bir yaklaşımla başarılabilir. Yenilenebilir-yeşil enerjiye geçişi hızlandırmak için karbon vergisinin gerekliliği herkes tarafından kabul edilmektedir. Karbon vergisini belirleyen insanı merkeze koyan yaklaşım esas olmalıdır. Bunun için UNDP'nin her yıl güncellenip yayınladığı İnsan Gelişim İndeksi temel alınabilir. Toplanacak karbon vergisinin bir kısmı ülke içinde yenilenebilir-yeşil enerjiye geçişi için kullanılır. Bir kısmı da ülkelerin İnsan Gelişim İndeksi dikkate alınarak, gelişmiş ülkelerin az gelişmiş ülkelere kaynak aktarması ile bu ülkelere yenilenebilir-yeşil enerji projelerinin özendirilmesinde ve sübvansiyonunda kullanılabilir. Bu amaçla yönelik karbon vergisi hesabında kullanılacak basit ve adaletli formüller geliştirilip önerilmelidir.

## Küresel ısınma ve iklim değişikliği

Tüm dünyayı ilgilendiren, günümüzün en önemli konularından birisi ve belki de yaşamın sürdürülebilirliği açısından en önemlisi küresel ısınma ve bunun sonucu olarak da iklim değişikliğidir. Bunu sadece atmosferin bir kaç derece ısınması şeklinde basit bir olgu olarak görmemek gerekir. Zira bu, tarımdan hayvancılığa besin zincirini, su kaynaklarını, enerji kullanımını, toprak kullanımını, orman sahalarını, denizlerin ve okyanusların kimyasal yapısını, deniz seviyelerinin yükselmesini, kasırgaların oluşumunu, sel baskınlarını etkileyen bir durumdur. Bu etkiler, ülkelerin sınırları ile sınırlı değildir. Dolayısıyla, bu dünya-

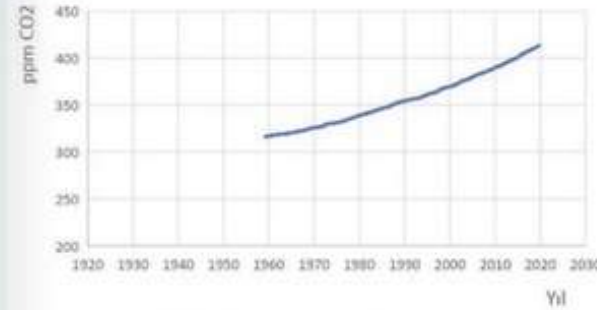
vardaki canlı cansız tüm varlıklar ilgilendiren küresel bir sorundur ve çözüm de ülke bazlı değil de küresel bazda bulunmalıdır.

Küresel ısınmaya sera gazlarının sebep olduğu herkes tarafından bilinmektedir. Sera gazları termal radyasyonu tutan gazlardır. Atmosferdeki sera gazları karbon dioksit, metan, kükürt dioksit, azot oksitler, ozon, kloroflorokarbonlar, hidroflorokarbonlar ve su buharıdır. Bunların arasında sadece su, havanın içinde doygunluk konsantrasyonu ile sınırlı olduğundan, doğal denge içinde bulunma potansiyeline sahiptir. Diğerlerinin atmosferdeki konsantrasyonları arttıkça sera etkileri de artmaktadır. Bunların atmosferdeki konsantrasyonlarının artışı da esas olarak antropojenik yani insan kaynaklı faaliyetlerden dolaylıdır.

Endüstrileşmenin artmasıyla atmosfere salınan kirletici gazlar olarak, kükürt dioksit ve azot oksitler gibi gazlar öncelikle dikkat çekmiş ve bunların atmosfere emisyonlarının kaynağında önlenmesi üzerine teknolojiler geliştirilmiştir. Ancak, sonradan bu kirletici gazların yanı sıra karbon dioksit ve metan gibi başka gazların da sera etkisi oluşturacağı tespit edilmiş ve son zamanlarda dikkatler bu gazlara çevrilmiştir. Endüstriyel faaliyetlerin yanı sıra, özellikle büyükbaş hayvancılığın ve pirinç tarımının da metan emisyonuna katkısı vardır. Aslında, karbon dioksit göre metanın küresel ısınmaya neden olma potansiyeli 21 kat, azot oksitlerin 310 kat, florlu gazların 140-23900 kat fazladır. Karbon dioksit eşdeğeri (CO<sub>2</sub>e) denince bu oranlar dikkate alınmalıdır. Ancak, bu gazların atmosferdeki konsantrasyonları ve atmosfere salınımını dikkate alındığında, karbon dioksitin % 82,5, metanın % 8,7, azot oksitlerin

% 6,3 ve florlu gazların % 2,5 nispetinde toplam sera etkisi içinde payları olduğu anlaşılmaktadır.<sup>1</sup> En büyük pay karbon dioksit olduğundan ve özellikle enerji üretimi ile doğrudan ilişkili olduğu için, karbon dioksit emisyonunun önlenmesi de sınırlanması ve kontrol edilmesi gündeme gelmiştir.

Sektörlere göre atmosfere karbon dioksit emisyonu incelendiğinde, elektrik üretiminin payının % 38, ulaşım sektörünün %34, endüstriyel faaliyetlerin %18 ve konut ısınmasının % 6 ve diğer ticari faaliyetlerin % 4 olduğu söylenebilir. Tüm bu faaliyetler için günümüzde fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğal gaz) halen insanlığın ana enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Fosil yakıtların endüstride ve evlerde termal enerji elde etmek için ve termik santrallerde elektrik üretimi için yakılması sonucu atmosfere salınan karbon dioksitin, gerçekten de küresel ısınmaya sebep olan sera gazlarının % 90'ına yakını oluşturduğundan küresel ısınmada en önemli yeri olduğu anlaşılmıştır. Antropojenik faaliyetlerin, endüstri öncesi dönemlerden bugüne 0,8 ile 1,2°C arasında yaklaşık 1°C'lik bir küresel ısınmaya neden olduğu tahmin edilmektedir (IPCC, 2018). Hollanda Çevre Değerlendirme Ajansı'nın (PBL Netherlands Environmental Assessment Agency) 2020 yılı raporuna göre, 2019 yılında küresel sera gazı emisyonları toplamda 57,4 GtCO<sub>2</sub> seviyesine ulaşmıştır. Şu anki emisyon değerleri 1990 yılındaki emisyon değerlerinden %59, 2000 yılındaki emisyon değerlerinden ise %44 daha fazladır (PBL NEAA, 2020). Ülkemizdeki toplam sera gazı emisyon miktarı ise, en son Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) açıkladığı verilere göre 2019 yılında 506,1 MtCO<sub>2</sub>e olarak hesaplanmıştır (TÜİK, 2019). Küresel olarak toplam karbon



Atmosferik CO2 Konsantrasyonu (Keeling eğrisi)

dioksit emisyonuna ülkelerin katkısı değerlendirildiğinde Türkiye 17. sırada yer almaktadır.

Küresel ısınmaya en çok sebep olan unsurun, atmosferde karbon dioksit konsantrasyonu artışının olduğu kabul edildikten sonra, fosil yakıt kaynaklı karbon dioksit emisyonunun kontrol altında tutulabilmesine yönelik çalışmalar giderek önem kazanmıştır. Bu konuda yapılan akademik araştırmaların ve teknoloji geliştirme çalışmalarının yanı sıra uluslararası platformlarda da bu konu tartışılmaya başlanmış ve ne gibi sınırlamalar getirilebileceği konusu incelenmeye başlanmıştır. Öncelikle, enerji kullanımında verimliliğin önemi, fosil yakıtlar yerine temiz ve yenilenebilir enerji kullanımının özendirilmesi konularında çalışmalar hızla artmaktadır. Aralık 2015'te Paris'te gerçekleştirilen 21. BM İklim Değişikliği Sözleşmesi Tarafları Konferansı kapsamında, G20 ülkeleri arasında yapılan görüşmeler sonucu önemli adımlar atılmış ve küresel ortalama sıcaklık artış limitini 1,5°C ile sınırlandırmak ve 2°C'nin altında tutmak konusunda anlaşma sağlanmıştır (IPCC, 2018). Ancak referans olarak kabul edilen, Hawaii'de bulunan Mauna Loa Gözlemevi'nden elde edilen verilere göre, atmosferdeki kritik karbon dioksit eşiği olan 400 ppm 2015 yılında geçilmiştir ve Mart 2021 verilerine bakıldığında atmosferdeki karbon dioksit seviyesinin 418 ppm'e ulaştığı görülmektedir (NASA/NOAA, 2021). Tüm bu

çalışmalar ve iyi niyetli gayretler henüz yeterince sonuç verememiştir ve maaşesef halde fosil yakıtlar enerji üretiminde ilk sıradaki yerini korumaktadır.

## Çözümüne yönelik tedbirler

Fosil yakıtların kullanımında ani bir sınırlamanın ve düşüşün neden olabileceği ekonomik olumsuzluklar endişesi nedeniyle, ülkeler bir araya gelip herkesin kabul edebileceği ortak bir emisyon sınırlamasını bugüne kadar gerçekleştirememiştir. Bazı ülkeler, kendilerince kabul edilebilir sınırlar getirmiş; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmektedir. Ancak, sınır tanımayan bir problemin çözümü de sınır tanımayan ortak bir yaklaşımla başarılabilir.

İlk öncelikli, zorlayıcı olmayan nalf öneriler ve bilgilendirmeler denenmiştir. Yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaştırılması ile ilgili ikna edici ve özendirici bilgilendirmeler yapılmıştır, halkın farkındalığını artırıcı yayınlar yapılmıştır, kişilerin yatırımları sübvansiyonla desteklenmiş ve bunun sonucu olarak gerçekten fotovoltaiik panellerle ve rüzgâr türbinleri ile üretilen elektrik enerjisinin yatırım maliyetleri ve kWh başına enerji üretim maliyetleri ilk piyasa değerlerine

göre yaklaşık %70-80 kadar azalmıştır. Ama yine de, bu bitmeyen çevre dostu enerji kaynaklarının kullanımı ve toplam enerji arzındaki payı henüz istenen seviye ulaşmamıştır. Böyle olunca da, fosil yakıtların kullanımını azaltıcı ve yenilenebilir enerjiye yönelmeyi artırmak amacı ile daha radikal tedbirlerin alınması söz konusu olmuştur. Bu da karbon vergisini gündeme getirmiştir. Karbon vergisi, atmosfere salınan bir birim karbonun fiyatı olarak tanımlanabilir; genellikle \$/ton karbon veya \$/CO<sub>2</sub> (karbon eşdeğeri) olarak ifade edilir. Bazen de karbondan elde edilen enerji değerleri kullanılarak \$/kWh olarak da ifade edilir. Bundan sonraki mesele artık karbon vergisi ne kadar olmalıdır sorusuyla ilgilidir. Bu aşamada, karbon vergisi konularının avantajları ve dezavantajları da tartışılmaya başlanmıştır. Avantajlar olarak, endüstrinin ve kişilerin fosil yakıt kullanımını azaltıcı ve yeşil enerjiye geçişi yönünde kuvvetli bir teşvik edici etkisi olması, daha az fosil yakıt kullanımı ile küresel ısınma nedenlerinden birisinin hızla bir şekilde hafifletici etkisini görme olasılığı, yenilenebilir enerji ile ilgili Ar-Ge faaliyetleri için kaynak oluşturması, ayarlanabilir ve güncellenebilir vergi değeri ile karbon dioksit salınımı bakımından devletler arasında ve küresel bazda adaletli bir yaklaşım sağlanması sayılabilir. Bunlara karşılık dezavantajlar olarak, henüz uluslararası bazda ortak bir karbon emisyon fiyatının belirlenememesi olunması, uluslararası ortak bir tutum sağlanamazsa endüstride üretim yapan şirketlerin tesislerini ve idari merkezlerini başka ülkelere taşıma ihtimali, karbon vergisi ile üretim maliyetlerinin artacağı ve bu nedenle bazı firmaların kapanma tehlikesi ile karşılaşabileceği ve işsizliğin artabileceği, artan fiyatlarla halkın alım gücünün olumsuz etkileeneceği, vergi değerinin tespitinin ve takibinin güç olması, gelişmekte olan ülkeler için fazladan maliyet kütilesi getireceği gibi hususlar öne sürülmektedir. Artıları ve eksileriyle değerlendirildiğinde, atmosferdeki karbon dioksit konsantrasyonunun artışıyla birlikte, küresel ısınmanın neden olduğu iklim

1 Environmental Protection Agency (EPA), "Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990 -2012," Washington, DC: EPA, 2014.



değişiklikleri, artan lokal ve yoğun yağmur ve kar yağışları, artan sel baskınları, daha sık görülmeye başlanan fırtına ve ani hava hareketliliği, maliyeti ne olursa olsun fosil yakıtlardan yenilenebilir ve yeşil enerjiye geçişin vakit kaybetmeden ve hızlı bir şekilde olmasını artık zorunlu kılmaktadır. Bu hususta dünya kamuoyunda da ortak fikir birliği giderek artmaktadır. Dolayısıyla karbon vergisi yakın zamanda gerçekleşecektir. Dünyamıza ve üstünde yaşayan tüm canlılara olan zararın yükünü bundan sorumlu olanlara ödetmek en doğru yaklaşım olacaktır. Unutulmamalıdır ki bu karbon dioksit emisyonunu yapanlar, aynı zamanda onu aralayacak olanlardır. Karbon vergisi aynı zamanda bundan bir an önce kaçınmak için bir itici güç olacaktır ve gerekli tedbirleri aldıkları takdirde bugün yüksek karbon emisyonuna neden olanlar hem kendilerinin hem de tüm canlıların ve dünyamızın üzerindeki bu yükün azalmasına hızla bir şekilde katkıda bulunacaklardır.

Fosil yakıtların büyük oranda enerji üretimini için kullanıldığı dikkate alınırsa, atmosfere salınan karbonun fiyatını belirlemek esas itibarıyla zor değildir. Kömür, sıvı yakıt (fuel oil) ve doğal gazın içerdiği karbon miktarları bilindiğine göre ve bunlar yakıldığında bir kmol karbon (12 kg) bir kmol karbon dioksit (44 kg) vereceğine göre, yakıtların alt ısı değerleri (kalorifik değerleri), yakma işleminin verimliliği dikkate alınarak elde edilebilecek termal enerjinin miktarı hesaplanabilir. Bu termal enerji, endüstride veya evlerde doğrudan kullanılabilir. Endüstride bu termal enerjiden su buharı üretip ondan da türbinler vasıtasıyla elektrik üretilirse, yine bu işlemin verimliliğini de dikkate alarak ne kadar kWh elektrik üretilileceği hesaplanabilir. Tabii, bu testlerin kuruluş sermaye yatırımları, amortismanları, hammadde (kömür, sıvı yakıt ve doğal gazın) fiyatlarını ve işletme giderlerini de hesaba katarak, üretilen termal enerjinin veya elektrik enerjisinin maliyeti kolayca hesaplanabilir. Her ülkede bu fosil yakıtlar yeterli olarak bulun-

mamaktadır. Dünyada en yaygın fosil yakıt kömürdür, ama onun da kalitesi ve kalorifik değeri değişiklik gösterir. Petrol ve doğal gaz ise bazı ülkelere bolca bulunduğu halde, bazılarına hiç yoktur ve bunlar ancak ithalatta ihtiyaçlarını karşılamak durumundadır. Bunun sonucu olarak, fosil yakıttan üretilen her bir kWh eşdeğeri termal enerjinin ve elektrik enerjisinin fiyatı ülkeden ülkeye değişiklik göstermektedir. Bu da ülkedeki diğer endüstrilerde de enerji maliyetini ve diğer üretilen maddelerin ve malzemelerin fiyatını da etkilemektedir. İşte uluslararası ortak yaklaşımda zorluk da burada başlamaktadır. Dünya pazarındaki çetin rekabet ortamında, kısa vadeli döşünen ülkeler ucuz satılabilecekleri malların fiyatını yükseltmekten kaçınmaktadırlar.

Bir başka husus da geliştirmekte olan ülkelerin haklı olarak öne sürdükleri ve dikkate alınması gereken bir durumdur. Bugünkü küresel probleme sebep olanlar arasındaki en büyük sorumluluk sanayiye gelişmiş olan ülkelerdir, madem sorunu oluşturdular, gelişmiş ülkeler çözümde de en yüksek fiyatı ödemeliler görülmüştür. Görüldüğü gibi, sorun açıktır. Alınması gereken tedbirler bilinmektedir. Ama iş karbon emisyonu maliyetini hesaplamaya ve faturayı kimin ödeyeceği konusuna geldiğinde durum çok karmaşık bir hâl almaktadır. Önemli olan, adaletli ve herkes için makul olabilecek

bir çözüm bulmaktır.

#### Adaletli çözümün temeli

Adaletli çözümü oluştururken, temel alınması gereken husus ne olmalıdır? Fosil yakıtların kullanımı doğrudan enerji ile, enerji de üretim kapasitesi ile, üretim de ülkelerin gelişmişliği ile ilgili olduğundan, ilk bakışta ekonomik değerlendirmelerde ve büyümenin ölçüsü olarak genellikle kabul edilen Gayri Safı Yurt İçi Hasıla (GSYİH) değeri kullanılabileceği akla gelebilir. Ancak, son zamanlarda bazı ekonomistler GSYİH'nin ekonomik değerlendirmelerde iyi bir seçim olmadığını ve esas unsurun insanların gelişmesini temin etme yönünde olması gerektiğini ifade etmektedirler.<sup>2</sup>

Önemli olan, ülkelerin büyüme göstergesi olan GSYİH yerine, kişilerin gelişmişliğini ve refahını temel almanın daha doğru olacaktır. Kişilerin mutluluğu, iki sınır arasındadır; yeterli gıda, temiz su, barınma, sağlık, iş, gelir, bilgiye erişim gibi temel yaşamsal ihtiyaçların oluşturduğu taban ile iklim değişikliği, okyanusların asitlenmesi, hava, su ve toprak kirliliği gibi ekolojik tavan (Raworth, 2019). 2015'te 193 ülke tarafından kabul edilen Birleşmiş Milletlerin Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri yaşayan herkese tabanı oluşturan tüm imkânların sağlanması gerektiği yönündedir. Bu zaten insan hakları ile ilgilidir. Önemli olan ekolojik tavanı daha

olumlu şartlara ve yükseltilere taşıyarak insanların yaşam refahını artırmaktır. Karbon vergisi de bunu amaçlamaktadır.

Arma esas sorun, karbon vergisinin neye göre hesaplanması gerektiğidir. Ülkelerin GSYİH değeri bile Kişi Başına Döşen Gayri Safı Yurt İçi Hasıla (Nominal) (KBD-GSYİH) yararlanılabilecek bir temel olarak kullanılabilir. Ancak, GSYİH'nin kişilere adaletli olarak yansımadağı düşünülürse, KBD-GSYİH'nin kullanılması çekince konusudur. Buna alternatif olarak, daha iyi ve gerçekçi bir seçim Birleşmiş Milletlerin her yıl güncellediği İnsan Gelişme İndeksi (İGI) (Human Development Index, HDI) olabilir.

İnsan Gelişme İndeksi (İGI), insanı merkeze koyan, ülkede yaşayan insanların eğitim seviyesi, yaşam düzeyi ve yaşam uzunluğu gibi parametreleri dikkate alarak hazırlanan bir göstergedir. 1990 yılında Pakistanlı ekonomist Mahbub ul Haq tarafından önerilmiştir. 1993 yılından beri de Birleşmiş Milletler Gelişme Programı (United Nations Development Programme, UNDP) tarafından her yıl güncellenerek yayınlanmaktadır. Türkiye için İGI değerinin yıllara göre değişimi aşağıdaki grafikte verilmiştir.

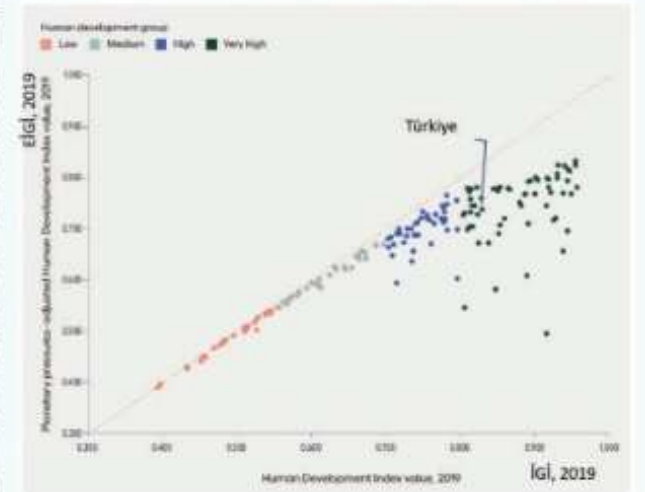
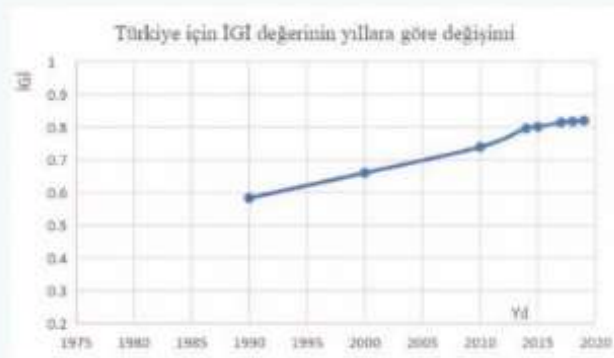
Sera gazı salınımlarını ve malzemenin (her türlü mal ve hizmetlerin) verimli kullanımını içeren faktörlerin ekolojik baskıyı kolaylaştıracak ekonomik ve sosyal dönüşümü yeterli olarak yansıtaçağı yaklaşımı ile bir düzeltme faktörü geliştirilmiş ve bu düzeltme faktörü ile İGI'nin çarpılmasından "Gezegensel Baskılara Göre Ayarlanmış İnsan Gelişme Endeksi" (Planetary Pressure-adjusted Human Development Index, PHDI) elde edilmiştir. Bu kısaca "Ekolojik İnsan Gelişme İndeksi" (EİGI) olarak da adlandırılabilir. Buna göre, şayet bir ülke gezegenimiz üzerine hiç ekolojik baskı uygulamazsa EİGI ve İGI eşit olacaktır, yani düzeltme faktörü "1" olacaktır. Fakat, ekolojik baskı artarsa EİGI'nin değeri İGI'den daha küçük olacaktır, yani düzeltme faktörü birden küçük olacaktır. Bu düzeltme faktörü, ülkedeki

İGI gruplaması	İGI		EİGI	
	Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum
Çok Yüksek İnsan Gelişim Ülkeleri	0,957	0,804	0,833	0,495
Yüksek İnsan Gelişim Ülkeleri	0,796	0,703	0,765	0,595
Orta İnsan Gelişim Ülkeleri	0,697	0,554	0,669	0,547
Düşük İnsan Gelişim Ülkeleri	0,546	0,394	0,539	0,39

kişi başına karbon dioksit emisyonunu ölçen indeks ile kişi başına düşen mal ve hizmetlerin ayak izi indeksinin aritmetik ortalaması olarak hesaplanır. İGI'nin bu tür bir ayarlama ile EİGI'ye dönüştürülmesi, bir tür "kirlilik cezası" olarak nitelendirilebilir. Bu düzeltme faktörü de her yıl UNDP tarafından yayınlanmaktadır. Doğal olarak gelişmiş ülkeler için bu düzeltme faktörü 0,678 ile 0,961 arasında değişirken az gelişmiş ülkeler için 0,982 ile 1 arasındadır.

Daha kapsamlı bir alternatif çıkıncaya kadar, Ekolojik İnsan Gelişme İndeksi (EİGI)'nin karbon vergisi hesabında kullanılması en adil yaklaşım olacaktır. Her yıl UNDP tarafından da güncellenen diğer her ülke için de adaletli bir temel oluşturacaktır. UNDP raporuna göre ülkeler, "Çok Yüksek İnsan Gelişim

Ülkeleri", "Yüksek İnsan Gelişim Ülkeleri", "Orta İnsan Gelişim Ülkeleri", "Düşük İnsan Gelişim Ülkeleri" diye gruplara ayrılmıştır ve her ülke için İGI, düzeltme faktörü ve EİGI değerleri tablo olarak verilmiştir.<sup>3</sup> Türkiye, 66 "Çok Yüksek İnsan Gelişim Ülkeleri" arasında 54. sıradadır. "Çok Yüksek İnsan Gelişim Ülkeleri" için İGI değerleri 1.sıradaki Norveç için 0,957'den başlayarak 0,804'e kadar değişmektedir. Türkiye için bu değer 0,82'dir. EİGI değerleri ise sıralamasında ise İrlanda 0,833 ile ilk sıradadır ve 0,495 ile Lokemburg son sıradadır. Türkiye'nin EİGI değeri 0,746'dır. EİGI değerleri "Yüksek İnsan Gelişim Ülkeleri" için 0,765-0,595, "Orta İnsan Gelişim Ülkeleri" için 0,669-0,547 ve "Düşük İnsan Gelişim Ülkeleri" için 0,539-0,39 arasındadır. Bu değerler UNDP 2020 raporundan

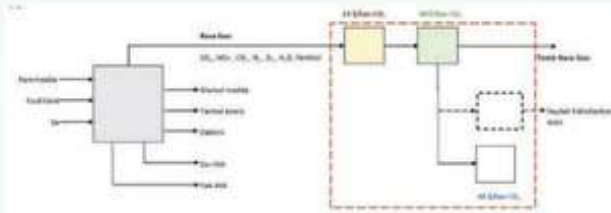


(Human Development Report 2020, The Next Frontier, Human Development and the Anthropocene, UNDP)

<sup>2</sup> Kate Raworth, 21.Yüzyıl İktisatçıları Gibi Düşünmenin Yedi Yolu - Sıfır Ekonomisi, Çeviren: Alan F. Yılmaz, Çan Sarraf Yayınları A.Ş., İstanbul, 2019.

<sup>3</sup> Human Development Report 2020, The Next Frontier, Human Development and the Anthropocene, UNDP





alınmış olup 2019 yılına aittir. Bu rapordan alınmış olan ve EİG'nin İG'ye karşılık çizildiği grafik de aşağıda verilmiştir. Bu grafikten açıkça görüldüğü gibi, EİG değerleri, İG değeri 0,7 veya daha düşük olan ülkeler için İG değerlerine çok yakındır. İG değeri 0,7'den yüksek olan Çok Yüksek İnsani Gelişim Ülkeleri ve Yüksek İnsani Gelişim Ülkeleri için ise EİG değerleri İG değerlerinden düşüktür ve sapma miktarı İG değeri büyüdükçe artmaktadır. Bu durum, gelişmiş ülkelerin vatandaşlarının refahını ve insanı gelişimini artırırken gezegenimiz diğer ülkelerden daha fazla kirlettiklerinin doğurulanmasıdır. Dolayısıyla, bu ülkelerin kirli den dünyamızın temizlenmesi yönünde daha çok sorumluluk almaları ve katkılarının bulunması gerekir. Bu grafiğin gösterdiği bir başka önemli husus da şudur; ödenmesi gereken kirlilik cezası veya karbon vergisi tesbitinde EİG kabul edilebilir bir göstergedir.

#### Baca Gazı Artımı Maliyeti

Tipik bir endüstriyel işletmenin ana unsurları aşağıdaki şekilde göstermiştir. Bu fosil yakıt kullanarak kendi termal enerjisini ve elektrikini üreten bir işletme olabilir veya sadece elektrik üretimi yapan bir termal santral de olabilir. İşletmeden ilk çıkan baca gazı henüz kirlidir; içinde kökürüt dioksit, azot oksitler, partiküller gibi hava kirlilik gazları ve bunlarla beraber sera gazı olan karbon dioksit de vardır. Fosil yakıtları yakıldığı durumda ortalama olarak bir ton karbonun fiyatı 180 \$/ (ton karbon) olarak kabul edilirse, çıkan karbon dioksit "üretim maliyetinin" yaklaşık 50 \$/ton CO<sub>2</sub> olduğu kolayca

hesaplanabilir. Kirli baca gazı içindeki her ton karbon dioksit için işletmenin (fosil yakıtla işletmeye giren) karbonun maliyeti birim karbon dioksit miktarı bazında yaklaşık 50 \$/ton CO<sub>2</sub> olması demektir. Herhangi bir baca gazı artımı söz konusu değilse, işletmede üretilen mamul maddenin veya termik santralde üretilen elektriğin maliyetini belirlemede kullanılan fosil yakıtın katkısıdır. Bu, endüstride fosil yakıtları yakılmasıyla elde edilebilecek termal enerjinin maliyetinin 0,025 \$/kWh değerine karşılık gelmektedir ki makul bir değerdir.<sup>4</sup> Bu aynı zamanda, bu termal enerjiden üretililecek elektrik fiyatı olarak da 0,06 \$/kWh değerine karşılık gelir. Karbon dioksit kaynakında atmosfere salınımından önce yakalanmasının maliyeti yaklaşık 35-45 \$/ton CO<sub>2</sub> arasında değişmektedir. Ortalama bir değer olarak 40 \$/ton CO<sub>2</sub> kabul edilebilir. Buna, yakalanan karbon dioksitini depolanması gibi diğer masrafları eklenmesiyle karbon dioksitini yakalanmasının ve bertarafının toplam maliyeti ortalama yaklaşık 80 \$/ton CO<sub>2</sub> değerine ulaşmaktadır. Bu termal santraller için de kabul edilebilir ortalama bir değerdir. Yukarıda açıklandığı gibi, karbon dioksitini kaynağında yakalamadan atmosfere salınan termal santraller ve diğer endüstriyel işletmeler, atmosferi kirletmenin maliyetini ödemediği için ürettikleri elektrik, enerji veya diğer endüstriyel maddelerin fiyatını belirlemede karbon dioksitinin ekserjik değeri olan 50 \$/ton CO<sub>2</sub>'nin karşılığını ürettikleri mamul maddenin, enerji veya elektrik üzerinden zaten almaktadırlar. Çıkan karbon dioksitten faydalanılmak istendiğinde,

endüstriyel tesise bir absorpsiyon veya adsorpsiyon ünitesi ilave etmek gerekir ki bunun da yaklaşık 40 \$/ton CO<sub>2</sub> maliyeti vardır. Dolayısıyla, çıkan karbon dioksit başka bir endüstriyel işletmede kullanılacaksa (karbon dioksit faydalı başka bir kimyasala dönüştürülecekse) yakalanan karbon dioksitini o işletmeye satış fiyatı 40 \$/ton CO<sub>2</sub> olacaktır. Bu karbon dioksitinin "yakalama ve kullanma" maliyetidir (Carbon Capture & Utilization, CCU). Başka bir endüstride kullanılmayıp, karbon dioksit (gelişmiş petrol kazanımı için petrol rezervlerine basılması dahil) yer altında veya okyanusların derinliklerinde depolanacaksa, bu bertaraf işleminin maliyeti de yaklaşık 40 \$/ton CO<sub>2</sub> olacaktır ve toplam teccat maliyeti 80 \$/ton CO<sub>2</sub> olacaktır. Bu karbon dioksitinin "yakalama ve bertaraf" maliyetidir (Carbon Capture & Sequestration, CCS).

Maalesef, halihazırda ülkemizde termik santrallerimizin pek azında kökürüt dioksit, azot oksitler, partiküller gibi hava kirlilik gazlarının giderilmesi için baca gazı artım birimleri vardır. Bu işlemin de her ton karbon dioksit bazında ilave yaklaşık 25 \$/ton CO<sub>2</sub> maliyeti vardır. Bu hususu da dikkate almak gerekir. Kısaca ifade etmek gerekirse, işletmede baca gazı ön artımı olarak kökürüt dioksit, azot oksitler, partiküller gibi hava kirlilik gazlarının giderilmesi yapıyorsa karbon dioksitinde tutulması ve bertarafı için 80 \$/ton CO<sub>2</sub>, yoksa (ön artım yapılmıyorsa) toplam 25+80=105 \$/ton CO<sub>2</sub> maliyeti söz konusudur.

#### Karbon vergisi

Karbon vergisinin hesaplanmasında dikkate alınması gereken çok değişik parametreler vardır. Tüm bu parametreleri içeren genel bir formül geliştirmek çok güçtür. Ama, hiç olmazsa, karbon tutulmasını sağlayacak tesis için yapılacak ek yatırımın dikkate alınması gerçekçi bir yaklaşım olur. Belirlenecek karbon vergisinin yatırımdan caydırıcı olmaması ve tam tersine teşvik edici olması lazımdır. Endüstride yıllık karbon salınımı üretilen

maddeye ve enerjiye göre değişir. Bir termik santralin, çimento fabrikasının, demir-çelik fabrikasının, etanol, amonyak, hidrojen üretimi gibi kimyasal tesislerin veya etilen oksit üretimi gibi bir petrokimya tesisinin neden olduğu karbon dioksit salınımının miktarı ve baca gazındaki konsantrasyonları aynı değildir. Hatta kullanılan teknolojiye göre bu değerler farklılık gösterebilir. Örneğin, aynı güçte kömür yakan bir termik santral ile doğal gaz yakan termik santralin baca gazlarındaki karbon

dioksit miktarı ve konsantrasyonları aynı değildir. Tüm bu faktörler, baca gazı arıtılması maliyetlerini etkiler, hem sabit sermaye yatırımını hem de işletme giderlerini etkiler. Tüm endüstri kollarında uygulanabilecek genel bir fiyatlandırma yapmak mümkün olmadığından, burada öncelikle kömür yakan bir termik santral için ortalama maliyetler hakkında bir fikir vermek amaçlanmıştır. Unutulmamalıdır ki aynı güçte kömür yakan termik santrallerin, kullandıkları teknolojilere göre, pülvöz kazanlı

veya sirkülasyonlu akışkan yataklı kazanlı olmasına göre, bile yatırım maliyetleri değişebilir. Buradaki rakamlar, ortalama olup geçercel bir fikir vermek içindir. Kömür yakan ve elektrik üreten bir termik santralin ortalama Sabit Sermaye Yatırımı (SSY) 2000 \$/kW alınabilir. Yüksek verim istendiğinde süperkritik buhar üreten santrallerde bu fiyat %75 artabilir. Çıkan baca gazının SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HCl, Hg, partikül giderimini sağlayan ön arıtma işlemleri için SSY yine ortalama 250 \$/kW ve CO<sub>2</sub> giderimini sağlayan ek tesisin SSY için de ortalama 200 \$/kW kabul edilebilir. CO<sub>2</sub> giderimi için de değişik teknolojiler vardır ve halen yeni teknolojiler geliştirilmektedir. Burada verilen değer monoetanolamin (MEA) bazlı sistemler için yaklaşık değerlerdir. Görüldüğü gibi, örnek olarak 100 MWe gücünde bir termik santralin kurulması için 200 M\$, ön arıtma işlemleri için 25 M\$ ve karbon tutma tesisi için 20 M\$ yatırım yapmak gerekir. Karbon vergisi miktarını hesaplamak için ön arıtma işlemleri tam olan bir elektrik santralin karbon tutma tesisi için 200.000 \$/MW mertebesinde yatırım yapması gerektiğini dikkate almak gerekir. Yine unutmamak gerekir ki, yukarıda açıklandığı gibi, bir de işletme gideri olarak karbon tutma için 40 \$/ton CO<sub>2</sub> ve depolanması için de 40 \$/ton CO<sub>2</sub> harcamak gerekir. Bir fikir edinmek amacıyla, yılda 8000 saat çalışan 1 MW gücünde enerji üretim tesisi için aşağıdaki Tablo 2 hazırlanmıştır.

Henüz arıtma tesisini kurmamış işletmelere bunu kurabilmeleri için yaklaşık 5 yıl süre tanınması ve bu süre içinde harçacakları SSY'larını vergiden döşmek teşvik edici bir unsur olabilir. Baştan itibaren anlatılan tüm gerçekleri dikkate alarak ve daha kapsamlı bir adlandırma yaparak, Hava Kirlenme Vergisi (HKV) için kabul edilebilir bir formülasyon aşağıda verilmiştir.

İlk beş yıl-Ön arıtma ve karbon tutma tesisleri olmayan işletmeler için:

$$HKV \left[ \frac{\$/\text{ton}}{\text{yıl}} \right] = \left[ (D + E + F) \cdot \left( \frac{\$/\text{ton}}{\text{CO}_2} \right) \right] + \frac{G}{H}$$

Beş yıl sonrası-Ön arıtma ve karbon tutma tesisleri olmayan işletmeler için:

	1 MW, gücünde elektrik üretimi	1 MWt gücünde termal enerji üretimi	
A	CO <sub>2</sub> salımı, ton/yıl	9764	4027
B	SSY - Ön Arıtma (SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , HCl, Hg, partikül giderimi), M\$	0,25	0,10
C	SSY - CO <sub>2</sub> tutma tesisi, M\$	0,20	0,082
D	Yıllık Ön Arıtma Maliyeti, M\$/yıl	0,244	0,1007
E	Yıllık CO <sub>2</sub> Tutma Maliyeti, M\$/yıl	0,39	0,161
F	Yıllık CO <sub>2</sub> Depolama Maliyeti, M\$/yıl	0,39	0,161

ELEKTRİK ÜRETEN TESİSLER İÇİN	HKV/MW -Yerel [M\$/yıl-MW]	HKV/MW -BM [M\$/yıl-MW]	HKV/MW -Toplam [M\$/yıl-MW]
	İlk beş yıl - Ön arıtma ve karbon tutma tesisleri olmayan işletmeler için	0,9350	1,0277
Beş yıl sonrası - Ön arıtma ve karbon tutma tesisleri olmayan işletmeler için	1,025	1,1267	2,1517
İlk beş yıl - Ön arıtması olan ve karbon tutma tesisleri olmayan işletmeler için	0,741	0,8145	1,5555
Beş yıl sonrası - Ön arıtması olan ve karbon tutma tesisi olmayan işletmeler için	0,781	0,8585	1,6395

TERMAL ENERJİ ÜRETEN TESİSLER İÇİN	HKV/MW -Yerel [M\$/yıl-MW]	HKV/MW -BM [M\$/yıl-MW]	HKV/MW -Toplam [M\$/yıl-MW]
	İlk beş yıl - Ön arıtma ve karbon tutma tesisleri olmayan işletmeler için	0,3863	0,4246
Beş yıl sonrası - Ön arıtma ve karbon tutma tesisleri olmayan işletmeler için	0,4227	0,4646	0,8873
İlk beş yıl - Ön arıtması olan ve karbon tutma tesisleri olmayan işletmeler için	0,3056	0,3359	0,6415
Beş yıl sonrası - Ön arıtması olan ve karbon tutma tesisi olmayan işletmeler için	0,322	0,3539	0,6759

CO <sub>2</sub> üretim kapasitesi = X [ton CO <sub>2</sub> /h]	TABLO 5	
K	SSY - Ön Arıtma (SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , HCl, Hg, partikül giderimi), [\$/ (ton CO <sub>2</sub> /h)]	21
L	SSY - CO <sub>2</sub> tutma tesisi, [\$/ (ton CO <sub>2</sub> /h)]	16,8
M	Ön Arıtma Maliyeti, [\$/ (ton CO <sub>2</sub> )]	25
N	CO <sub>2</sub> Tutma Maliyeti, [\$/ (ton CO <sub>2</sub> )]	40
O	CO <sub>2</sub> Depolama Maliyeti, [\$/ (ton CO <sub>2</sub> )]	40

4 Uysal, B. Z. ve Uysal /Zaman, D., Prosesler için Uygulamalı Enerji Analizi, Gazi Kitabevi, Ankara, 2020.



$$HKV \left[ \frac{\$/\text{MWh}}{\text{MW}} \right] = (D + E + F) \left( 1 + \frac{M}{240} \right)$$

İlk beş yıl-On anıtması olan ve karbon tutma tesisi olmayan işletmeler için:

$$HKV \left[ \frac{\$/\text{MWh}}{\text{MW}} \right] = \left( (E + F) - \left( \frac{E}{2} \right) \right) \left( 1 + \frac{M}{240} \right)$$

Beş yıl sonrası-On anıtması olan ve karbon tutma tesisi olmayan işletmeler için:

$$HKV \left[ \frac{\$/\text{MWh}}{\text{MW}} \right] = (E + F) \left( 1 + \frac{M}{240} \right)$$

Bu denklemlerde en sağdaki parantez içinde "1" ülkelerin yerel payını ve IGI/ELG Birleşmiş Milletler payını göstermektedir. Elektrik ve termal enerji üreten tesisler için ve baz olarak üretilen her bir MW güc için hesaplanan yıllık değerler Tablo 3 ve 4'te verilmiştir.

Bu hesaplamalar baz olarak bir ton CO<sub>2</sub> alındığında da yapılabilir. Hatta kullanımda bu baz daha pratik olabilir. Çünkü, testis ne ürettiği önemli değildir; elektrik, termal enerji veya başka bir madde üretirken gerçekleşen saatlik karbon dioksit salınımı esas alınır. CO<sub>2</sub> üretim kapasitesi X [ton CO<sub>2</sub>/h] olan bir işletme için Tablo 5'te verilen termal değerler ortalama olarak kabul edilebilir. Bu tablo değerlerine göre HKV hesaplamalarında aşağıdaki ifadeler kullanılabilir.

İlk beş yıl-On anıtma ve karbon tutma tesisleri olmayan işletmeler için:

$$HKV \left[ \frac{\$/\text{ton CO}_2}{\text{MW}} \right] = (M + N + O) - X \left( \frac{E}{2} \right) \left( 1 + \frac{M}{240} \right)$$

Beş yıl sonrası- On anıtma ve karbon tutma tesisleri olmayan işletmeler için:

$$HKV \left[ \frac{\$/\text{ton CO}_2}{\text{MW}} \right] = (M + N + O) \left( 1 + \frac{M}{240} \right)$$

İlk beş yıl-On anıtması olan ve karbon tutma tesisi olmayan işletmeler için:

**TABLO 3**

CO <sub>2</sub> üretim kapasitesi = X [ton CO <sub>2</sub> /h]	HKV-Yerel [\$/ton CO <sub>2</sub> ]	HKV- BM [\$/ton CO <sub>2</sub> ]	HKV-Topla m [\$/ton CO <sub>2</sub> ]
İlk beş yıl - On anıtma ve karbon tutma tesisleri olmayan işletmeler için	95,77	105,27	201,05
Beş yıl sonrası - On anıtma ve karbon tutma tesisleri olmayan işletmeler için	105	115,42	220,42
İlk beş yıl - On anıtması olan ve karbon tutma tesisi olmayan işletmeler için	75,90	85,43	159,33
Beş yıl sonrası - On anıtması olan ve karbon tutma tesisi olmayan işletmeler için	80	87,94	167,94

$$HKV \left[ \frac{\$/\text{MWh}}{\text{MW}} \right] = (N + O) - X \left( \frac{E}{2} \right) \left( 1 + \frac{M}{240} \right)$$

Beş yıl sonrası-On anıtması olan ve karbon tutma tesisi olmayan işletmeler için:

$$HKV \left[ \frac{\$/\text{MWh}}{\text{MW}} \right] = (N + O) \left( 1 + \frac{M}{240} \right)$$

Buna göre hesaplanan HKV [\$5/ton CO<sub>2</sub>] değerleri de Tablo 6'da verilmiştir. Bu tablodaki değerleri yıllık ton CO<sub>2</sub> üretimi (8000 X, [ton CO<sub>2</sub>/yıl]) ile çarparak, yıllık HKV [\$5/yıl] hesaplanabilir.

Bu şekilde hesaplanan ve tahsil edilen HKV'nin kullanımı bir çok ülkede endüstri edilebilir husus olmuştur. HKV'nin "yerel" kısmı yurt içinde hükümet tarafından ayrı bir fonda tutulup sadece "Karbon Tutma, Faydalanma ve Depolama"ya ve "yenilenebilir-yeşil enerjiye" yönelik Ar-Ge faaliyetleri için ve yenilenebilir-yeşil enerji yatırımlarını söbvanse etmek için kullanılmalıdır. Böylece, hem kamu kuruluşlarının, hem özel kuruluşların, hem de evlerine örneğin güneş veya rüzgâr enerjisinden faydalanan sistemler kurmak isteyen bireysel girişimlerin desteklenmesi mümkün olur. BM payı ise toplanıp, BM'de oluşturulacak bir fonda toplanmalıdır. BM'deki fonda toplanan para ise özellikle IGI değeri 0,7'den küçük olan ülkelerde yeni yapılacak "yenilenebilir-yeşil enerjiye" yönelik yatırımları teşvik etmek ve desteklemek üzere kullanılmalıdır. Bu ülkelerin gelişirken yerel fosil yakıtlar yerine güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi gibi kaynaklardan yararlanmaları özendirilebilir. Bu şekilde, dünyamızdaki her bir kişinin bireysel refahını ve gelişimini artırıcı amaç doğrultusunda uluslar arası adalet de sağlanmış olur.

Elbette, HKV enerji üretimine ek maliyet getirecektir; her 1\$/ton CO<sub>2</sub> vergi,

kömür yakan termik santralde elektrik maliyetini 0,00122 \$/kWh kadar artıracaktır. Örneğin, 100 MW gücünde olan ve yılda 800 Milyon kWh üretmek için ve atmosfere sakladığı her ton karbon dioksit başına sadece 50 \$ yatırımla kurulan ve havayı kirlmesine karşılık elektriği yaklaşık 0,06 \$/kWh maliyetle üreten bir termik santrale, (vergi olarak 167,94 \$/ton CO<sub>2</sub> alınır) ek toplam yaklaşık 164 M\$ bir maliyet gelecektir. Bu da %33 verimle çalışan bir termik santralde elektrik üretim maliyetini 0,2 \$/kWh artıracaktır. Termik santral verimi %50 ise, karbon dioksit emisyonu 6444 ton/yıl-MW, ek maliyet 108 M\$ olacaktır ve karbon vergisi ile elektrik üretim maliyeti 0,13 \$/kWh artıracaktır. Görüldüğü gibi elektrik üretim verimliliği çok önemlidir ve termik santrallerin verimliliği artırıcı tedbirleri alınması teşvik edilmelidir. Burada hesaplanan karbon vergisi değerleri çok gözükmez, ama unutulmamalıdır ki gelecek nesillerimiz için dünyamızın kirlenen atmosferini temizlemek istiyorsak bu kaçınılmaz ve bugün ödenmesi gereken bir bedeldir. Örnek olarak güneş enerjisi maliyeti ile karşılaştırmak ilginç olabilir. Yıllık ortalama güneşlenme süresini dikkate alarak, 100 MW gücünde bir güneş enerjisi santrali yaklaşık 55 M\$ yatırım gerektirir ve yılda yaklaşık 140.000.000 kWh elektrik üretir. Yani, SSY'yi 0,4 \$/kWh olur ki bu da iki yıllık vergiyeye denk gelir. Güneş enerjisine dönüşüm yapıldığında karbon vergisi ödenmeyeceğinden, bu dönüşüm çok cazip olacaktır. Bu arada, geri ödeme süresi 5 yıl alınırsa elektrik maliyeti 0,08 \$/kWh olur. Görüldüğü gibi, karbon vergisinin fosil yakıttan yeşil enerji kaynaklarına dönüşümü özendirici bir itici gücü olduğu açıktır. Fotovoltaik paneller giderek yıldı yıla ucuzladığından, bu dönüşüm projeleri önümüzdeki yıllarda daha da çekici hale gelecektir. Rüzgâr enerjisi için de durum benzerdir. 100 MW gücünde bir rüzgâr enerjisi sistemi için yaklaşık 130 M\$ yatırım gerektiği ve yılda ortalama 235 Milyon kWh elektrik üretilebileceği ve geri ödeme süresi yine 5 yıl alınırsa elektrik maliyeti 0,11 \$/kWh düşündülürse dönüşüm projelerinin cazip olacağı açıktır.

Yukarıda tabloda [\$5/ton CO<sub>2</sub>] cinsinden verilen değerler, doğal gaz yakan sistemler ve santraller için de kullanılabilir. Doğal gazın Alt Isıl Değeri 36,5 MJ/Nm<sup>3</sup> veya 10,14 kWh/Nm<sup>3</sup> ve emisyon faktörü de yaklaşık 1,85 kg CO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup> doğal gaz alınabilir. (Nm<sup>3</sup> 0oC'deki hacimdir.) Karbon dioksit emisyonunda %34 paya sahip olan ulaştırma sektörüne gelince, yakıt olarak benzin baz alındığında, her 1 \$/ton CO<sub>2</sub> 'luk karbon vergisi benzinin litre fiyatına yaklaşık 0,0024 \$/lt ek artış getirecektir. Bu sektörde, mevcut teknolojiyle çıkan CO<sub>2</sub> tutma ve depolama imkanı olmadıysa, yukarıda makul olarak alınan 40 \$/ton CO<sub>2</sub> vergi değeri ve (IGI/ELG) oranı dikkate alınarak,

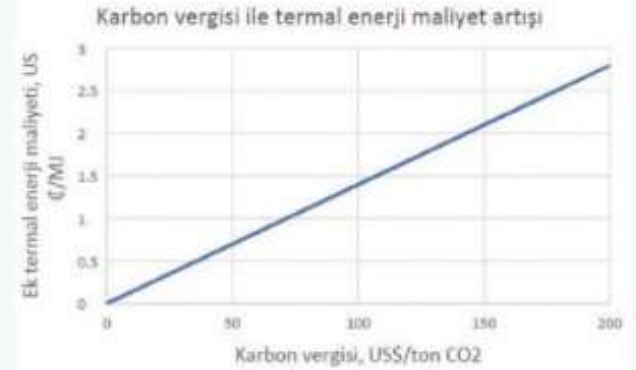
$$HKV \left[ \frac{\$/\text{ton CO}_2}{\text{MW}} \right] = (40)(0,0024) \left( 1 + \frac{M}{240} \right)$$

ifadesinden, Türkiye için hesaplanan

$$HKV \left[ \frac{\$/\text{ton CO}_2}{\text{MW}} \right] = (40)(0,0024) \left( 1 + \frac{M}{240} \right) = 0,2$$

vergi ile benzin fiyatının 0,2 \$/lt kadar artırılması gerekir.

Günümüzde 16 ülke karbon vergisini uygulamaktadır. Bunların çoğunda karbon vergisi 5-40 \$/ton CO<sub>2</sub> arasında değişmektedir. İsveç, Norveç, Finlandiya ve İsviçre gibi ülkeler daha yüksek vergi koymuşlardır. Günümüzde, İsveç 134 \$/ton CO<sub>2</sub> ile en yüksek vergiyi koymuştur ve bu değerle yukarıda açıklanan öneriyi (168 \$/ton CO<sub>2</sub>) en yakın vergidir. Norveç çok radikal bir kararla 2030 yılına kadar vergiyi 200 EU/ton CO<sub>2</sub>'ya artıracasını ilan etmiştir. Dolar bazında yaklaşık %310k devalüasyon ile günümüz (2021) için önerilen 168 \$/ton CO<sub>2</sub>, 11k HKV'nin 2030 daki değeri de 214 \$/ton CO<sub>2</sub> olur; bu da Norveç'in koyduğu hedefe yakındır. Burada özellikle vurgulanmasında yarar olan bir husus da her ülkenin ve uluslararası kuruluşların, kaynağında emisyonu önlenen ve tutulan karbon dioksitin depolanması ve başka yararlı kimyasallara dönüştürülecek proseslerin geliştirilmesi konusunda Ar-Ge çalışmalarını desteklemele, çözüm önermeleri ve bunlarla ilgili alt yapıyı hazırlamaları ve plânlama çalışmalarını yapmaları gerekir. Bu konu acildir ve kısa zamanda hızlı bir şekilde ilgili teknolojiler geliştirilmeli ve teşvik edilmelidir.



### Karbon ticareti

Karbon vergisinden muaf tutulmak veya vicdani sorumluluk içgüdüsüyle ve uluslararası baskıyı azaltmak amacıyla, ulusal ve uluslararası ortamda karbon pazarları kurulmakta ve karbon ticareti yapılmaktadır. Yüksek karbon emisyonu yapan ülkeler, daha düşük karbon emisyonu yapan ülkelere bu yolla atmosfere daha fazla karbon emisyonu yapma ve atmosferi kirlenme hakkı (kredisi) satın almış oluyorlar. Orman ve tarım arazileri sahipleri de bu amaç için kullanılıyorlar. Orta yaşlı bir orman ağacının fotosentez yoluyla yılda 22 kg karbon dioksiti absorpladığı kabul edilir. Değişik tarım ürünleri de yetiştirilerek bünyelerine karbonu

almaktadır; bu değerler buğday, arpa, yulaf için 3,2-3,8 ton karbon /hektar-yıl; kayısı, erik, şeftali, nektarin gibi ağaçlar için 4,7-7,7 ton karbon /hektar-yıl; limon, portakal ağaçları için 5,6-8,3 ton karbon /hektar-yıl; özüm için 5,2 ton karbon /hektar-yıl . Karbon dioksit emisyonu yüksek olan bazı şirketler ve ulular, tarım arazilerini kiralayarak veya masraflarını karşılayarak atmosfere verdikleri zarar ve kirlenmelerini telafi etme yoluna gitmektedirler; bir bakıma karbon salım kredisi satın almaktadırlar. Ancak bu kendileri açısından biraz vicdan rahatlatıcı olsa da genel problemin çözümüne maalesef bir katkı yapmamaktadır. Burada yanlış anlaşılma olmasın; Orman arazilerine



ağaç dikilmesi ve tarım amaçlı ağaç dikilmesi elbette atmosferdeki karbon dioksitini bertaraf için çok önemlidir, ama varolan ormanlar ve tarım arazileri üzerinden kredi satın almak yerine, tüm ülkelerin yeni orman ve tarım arazileri oluşturması daha uygun bir yaklaşım olacaktır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar bu amaç için algilerin de kullanılabilirliğini ve hatta uygun biyoreaktör teknolojileriyle ağaçlardan yaklaşık 400 kat daha verimli olacağını göstermiştir. Denizlerdeki alglerin yıllık 2,6 gigaton mertebesinde atmosferdeki karbon dioksiti absorpladığı ve fotosentez ile atmosfere oksijen salması gerçeği, alglerden yararlanma konusunda teknoloji ve verimli biyoreaktör geliştirme çalışmalarını başlatmıştır.

Dünya Bankası verilerine göre 12 Milyar ton karbon dioksit eşdeğeri bu karbon pazarında işlem görme potansiyeline sahiptir. Kuzey Amerika'da ve Avrupa'da bu pazarlar mevcuttur. Yaklaşık 40 ülke bu pazarda yer almaktadır. Avrupa pazarında EU Emission Trading System (EU-ETS) üzerinden görülen işlemlerde 2020 yılında ortalama 18,5 €/ton CO<sub>2</sub> fiyat kullanılmıştır. Dünya pazarlarında da ortalama fiyat 20 \$/ton CO<sub>2</sub> civarındadır. Görüldüğü gibi, ton CO<sub>2</sub>'ni bu pazarlardaki fiyatı yukarıda hesaplanan değerden çok daha düşüktür. Hatta, bu piyasadaki bazı karbon kredisi satın alanların, fiyatı 5 \$/ton CO<sub>2</sub>'ni altına çekme çabaları içinde oldukları bilinmektedir. Tüm bu gerçekler, şu anki karbon piyasalarında fiyatların düşük olduğunu, en azından fosil yakıtlardan yeşil enerji kaynaklarına dönüşüm için yeterli olmadığını açıkça göstermektedir.

#### **Karbon vergisinin elektrik fiyatına ve termal enerji maliyetine etkisi**

Daha önce belirtildiği gibi baca gazı arıtma sistemleri olmadan yapılan üretimlerde, elektrik fiyatı yaklaşık 6 US\$/kWh ve termal enerji maliyeti 0,62 US\$/MJ olmaktadır.<sup>5</sup>

Her ne kadar yukarıdaki kısımlarda CO<sub>2</sub> Tutma Maliyetinin 40 \$/ ton CO<sub>2</sub>, Depolama Maliyetinin 40 \$/ ton CO<sub>2</sub>, ön arıtması olan ve karbon tutma tesisi olmayan işletmeler için beş yıl geçiş süresi sonrası için, Türkiye için IGEKÇİ,1) düzeltmesiyle toplam karbon vergisinin 168 \$/ton CO<sub>2</sub> olmasının gerektiği belirtildiyse de, karbon vergisinin termik santrallerde üretilen elektrik fiyatına ve tüm sanayi kuruluşlarında üretilen termal enerjiye etkileri aşağıdaki grafiklerde verilmiştir. Makro düzeyde yapılan değerlendirmelerde ve alınacak kararlarda bu grafikler yararlı olabilir.

#### **Sonuçlar**

Küresel ısınmanın nedeni olan fosil yakıt kaynaklı karbon dioksit emisyonunun kontrol altında tutulması gerekir. Yenilenebilir-yeşil enerjiye geçiş hızlandırmak için karbon vergisi gereklidir. Küresel problemin çözümü, küresel ve adaletli olmalıdır. Az gelişmiş ülkelere de yardım edilmelidir. Bunu yaparken ülkeleri değil insanı merkeze koyan yaklaşım esas olmalıdır. Bunun için UNDP'nin her yıl güncelleştirip yayınladığı İnsan Gelişim İndeksi temel alınabilir.

Karbon vergisinin bir kısmı Birleşmiş Milletler kanalıyla Düşük İnsan Gelişim Ülkelerine aktarılıp bu ülkelerde de yenilenebilir-yeşil enerji yatırımları teşvik edilebilir.

Bu çalışmada, bir çok parametrelerin karmaşık etkilerini formüle etmek yerine, basit, yalın, anlaşılabilir, kabul edilebilir, adaletli ve yenilenebilir-yeşil enerjiye geçiş özendirici bir yaklaşım ile karbon vergisinin hesaplanmasında kullanılabilecek formüller geliştirilmiştir. Bunlar hem Türkiye ve hem de diğer ülkeler için kullanılabilir.

Aynı zamanda, önerilen karbon vergisi değerleriyle karbon ticareti piyasasında da daha gerçekçi fiyatlarla işlem görülmesi sağlanabilir.

#### **ÖZGEÇMİŞ**

**Prof. Dr. Bekir Zühü Uysal** 1950 yılında Çanakkale'de doğmuştur. ODTÜ Kimya Mühendisliği Bölümü'nden 1971 yılında Lisans, 1974 yılında Yüksek Lisans, McGill Üniversitesi'nden (Montreal, Kanada) 1978 yılında Doktora derecelerini almıştır. 1983 yılında Doçent ve 1990 yılında Profesör olmuştur.

1978-1985 yılları arasında ODTÜ Kimya Mühendisliği Bölümü'nde Yrd. Doçent ve Doçent olarak çalışmıştır. 1985-1990 yılları arasında Ürdün Bilim ve Teknoloji Üniversitesi'nde Kimya Mühendisliği Bölümü'nün kurucusunda görev almış ve Bölüm Başkanı'nu yapmıştır. 1990 yılından bu yana Profesör olarak Gazı Üniversitesi'ndedir ve 1992-1995 yılları arasında Kimya Mühendisliği Bölümü'nün Başkanı'nu yapmıştır. 1997-1998 arasında Kral Abdülaziz Üniversitesi'nde misafir öğretim üyesi olarak bulunmuştur. 2000-2006 yılları arasında Türk İslam Bilim ve Teknoloji Derneği'nin Başkanı'nu yapmıştır. 2005 yılında Gazı Üniversitesi'nde Temiz Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi'ni kurmuştur ve 2017 yılında emekli olmaya kadar müdürlüğünü yapmıştır.

Tarımın olayan, Akışkan Yalıtım, Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü, Gazlaştırma, Temiz ve Yenilenebilir Enerji, Parabolik Güneş Kolektörleri, Yakıt Hücreleri, Alternatif Hidrojen Kaynakları, Karbon Dioksit Emisyonunun Önlenmesi, Sodyum Bor Hidrit konularında araştırmaları ve yayınları vardır. Ayrıca, KÜTLE TRANSFERİ, AKIŞKANLAR MEKANİĞİ, ESTRANSFERİ VE PROSELER İÇİN UYGUN AMALI EKSERİ ANALİZİ başlıklar ile yayınlanmış dört kitabı vardır.

<sup>5</sup> Cesar Melis, Carlos Alcaraz López, María Iglesias, M.C. Martínez Ballista and Micaela Carvajal, Investigation into CO<sub>2</sub> Absorption Of the Most Representative Agricultural Crops Of the Region Of Murcia, CSIC.