

PAPER DETAILS

TITLE: Isparta İlinde Karayolu Kaynaklı Karbon Ayak İzinin Hesaplanması

AUTHORS: Gökhan CİVELEKOĞLU, Yudum BIYIK

PAGES: 78-87

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/789641>

Isparta İlinde Karayolu Kaynaklı Karbon Ayak İzinin Hesaplanması

Yudum Bıyık^{1*} , Gökhan Civelekoğlu² 

Özet: Küresel ısınmaya neden olan sera gazı emisyonlarının azaltılması ve bilimsel araştırmaların sonuçlarına göre önleyici tedbirlerin bir an önce alınması gerekmektedir. Bu önlemler Kyoto Protokolü ile sağlanmıştır. Kyoto Protokolü, karbon salınımlarının minimize edilmesi gerektiğini ve ülkelerin karbon salınımlarını hesaplamak için ülkelere emisyon salım kotaları getirmiştir. Bu kotaları aşmamak için sera gazına neden olan emisyonların karbon ayak izi hesabının yapılması ve sera gazı envanterlerinin oluşturulması gerekmektedir. Toplam sera gazı emisyon miktarının birim karbondioksit eşdeğeri cinsinden ifade edilmesi ile karbon ayak izi belirlenmektedir. IPCC kılavuzu karbon ayak izi hesaplamalarında ülkelere yol gösterici olmaktadır. Bu çalışmada, Isparta ilinde karayolu ulaştırma sektöründen kaynaklanan karbon ayak izi hesaplanmıştır. Ulaştırma sektörü nedeniyle açığa çıkan sera gazlarında büyük oranda CO₂ gazı bulunmasından dolayı, özellikle CO₂ emisyon bazlı karbon ayak izi hesabı üzerinde durulmuştur. Emisyon hesaplamalarında IPCC tarafından önerilmiş olan Tier yaklaşımları kullanılarak, Tier 1 ve Tier 2 hesaplama metodolojisi ile Isparta iline kayıtlı karayolu araçlarının 2010-2016 yılları arasındaki karbon ayak izi hesaplamaları yapılmıştır. Tier 1 yaklaşım yöntemi ile hesaplanan 2010-2016 yılları arasında %34'lük bir artış göstermiştir. Tier 2 yöntemi ile hesaplanan karayolu ulaşımından kaynaklı karbon ayak izi hesabı 2010-2016 yılları arasında %43'lük bir artış göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Karbon Ayak İzi, IPCC Metodolojisi, Tier Yöntemi, Ulaştırma

Calculation of Carbon Footprint Originated from Highways in Isparta Province

Abstract: Global warming has become one of the most striking issues in the world over the past decades, and this has led to increased work and research on greenhouse gas emissions, particularly CO₂. Precautionary measures need to be taken as soon as possible according to the results of scientific research and the reduction of greenhouse gas emissions causing global warming. These measures are provided by the Kyoto Protocol. The Kyoto Protocol has introduced emission reduction quotas to countries to reduce carbon emissions and to calculate countries' carbon emissions. In order not to exceed these quotas, it is necessary to make carbon footprint calculations causing the greenhouse gas emissions and to create the greenhouse inventory. Carbon footprint, defined in the unit of carbon dioxide, is a measure of damage that is caused by human activities in terms of the amount of greenhouse gases produced. The IPCC is guiding countries on this issue. In this study, the carbon footprint originated from the road transportation sector in Isparta province has been calculated. Due to the large amount of CO₂ gas in the greenhouse gases that have been opened due to the transportation sector, especially CO₂ emission-based carbon footprint calculation have been emphasized. Calculations were made according to Tier approaches, which proposed by the IPCC Tier 1 and Tier 2 calculation methods were during emission calculations and carbon footprint was determined between 2010-2016 for road vehicles registered to Isparta. The carbon footprint accounted for by road transportation calculated by Tier 1 approach increased by 34% between 2010-2016. The carbon footprint calculation due to road transportation calculated by Tier 2 method increased by 43% between 2010-2016.

Keywords: Carbon Footprint, IPCC Methodology, Tier, Transport

¹**Address:** Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir/Türkiye

²**Address:** Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Antalya/Türkiye

***Corresponding author:** gcivelekoglu@akdeniz.edu.tr

Citation: Civelekoğlu, G., Bıyık, Y. (2020). Isparta İlinde Karayolu Kaynaklı Karbon Ayak İzinin Hesaplanması. Bilge International Journal of Science and Technology Research, 4 (2): 78-87.

1. GİRİŞ

Küresel ısınma başta olmak üzere iklim değişiklikleri, uluslararası toplumun karşılaştığı en önemli sorunlardan biridir. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 5. Raporunda, bu kavram “istatistiki testlerle kanıtlanmış iklimdeki değişimler ya da uzun bir dönem boyunca gözlemlenen değişkenliklerdir. Zaman içindeki insan faaliyetleri ya da doğal değişkenlikle iklimde yaşanan herhangi bir değişimdir” şeklinde tanımlanmıştır (IPCC, 1996a). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS)’ne göre ise iklim değişikliği, “doğrudan veya dolaylı olarak insan faaliyetleri nedeniyle küresel atmosferin bileşimini değiştiren ve belli dönem içinde gerçekleşen değişkenlikler” şeklinde tanımlanmıştır (IPCC, 1996b). Günümüzde karşılaştığımız iklim değişikliği olgusu daha önce yaşanan değişim süreçlerinden farklı olup, insan kaynaklı faaliyetlerin bir sonucudur. (Akbulut, 2009)

İklim değişikliğine neden olan başlıca sera gazları: karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), nitröz oksit (N₂O), hidroflorokarbon (HFC), perflorokarbon (PFC) ve kükürt heksaflorid (SF₆)’dir. Bu bileşenlerden en önemlisi CO₂ gazıdır ve toplam sera gazı içerisindeki payı %80 civarındadır. Küresel CO₂ salınımının yaklaşık yarısına ABD ve Çin katkıda bulunmakta olup, CO₂ emisyonu dağılımında ilk sırayı sanayi sektörü, ikinci sırayı ise ulaştırma sektörü almaktadır (Kıvılcım, 2013).

1.1. İklim değişikliğinin hukuki çerçevesi

Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) Küresel İklim Araştırma ve İzleme Projesi kapsamında elde edilen bilimsel kanıtlarla, 1970’li yılların ilk yarısında insan faaliyetlerinin küresel iklim dengesine zarar verdiği belirtilmiştir ve WMO’nun öncülüğünde 1979 yılında Birinci Dünya İklim Konferansı düzenlenmiştir (Kabacıoğlu, 2012). Küresel iklim sisteminin korunması amacıyla ilk ciddi adımın atıldığı bu konferansta, konunun önemi ilk defa dünya ülkelerinin dikkatine sunulmuştur. Bu konferansta, fosil yakıtların enerji kaynağı olarak kullanılmasının ve ormansızlaşmanın devam etmesi halinde atmosferdeki CO₂ birikiminin büyük ölçüde artabileceği ve bu artışın sonucunda da iklimde önemli ve uzun süreli değişikliklerin olabileceği belirtilmiştir (Yamanoglu, 2006).

Günümüzde, uluslararası iklim politikasına yön veren iki uluslararası anlaşma bulunmaktadır. Bunlardan biri Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS), diğeri ise Kyoto Protokolü (KP)’dür. BMİDÇS; iklim değişikliği politikasının uzun dönemli amacını ve bu amaca ulaşmaya yönelik ilke ve prosedürleri belirlemiş, KP ise Sözleşme’nin nihai amacına yönelik somut hedef ve önlemler belirleyerek iklimin korunması yönündeki ilk adımı oluşturmuştur (Karakaya, 2008).

Bu çalışma kapsamında, IPCC tarafından önerilmiş ve Tier yaklaşımlarıyla belirlenmiş olan metodoloji kullanılarak, Isparta ilinde 2010-2016 yılları arasında karayolu kaynaklı karbon ayak izi hesaplanmıştır.

1.1.1. Birleşmiş milletler iklim değişikliği çerçeve sözleşmesi (BMİDÇS)

Rio Konferansı’nın önemli sonuçlarından biri olan BMİDÇS, iklim değişikliği sorununa karşı küresel tepkinin temelini oluşturmak adına büyük bir adım olmuştur. BMİDÇS’ye 21 Mart 1994 yılında 50’den fazla ülke taraf olmuştur. Türkiye için ise bu tarih Mayıs 2004’tür. (Uzunçakmak, 2014). Günümüzde 196 ülkenin taraf olduğu sözleşme geniş bir katılıma ulaşmış olup, çevreyle ilgili uluslararası anlaşmalar içinde en fazla katılımcıya sahiptir (Çetinsoy, 2010). Sözleşmenin amacı, atmosferdeki sera gazı birikimlerini iklim sistemi üzerindeki etkiyi önleyecek bir düzeyde tutmaktır (ÇŞB, 2018a).

1.1.2. Hükümetler arası iklim değişikliği paneli (IPCC)

Dünya genelinde çevre bilincinin ortaya çıkması ve çevresel bozulmanın canlı yaşamı üzerinde ciddi tehditler oluşturmaya başladığının anlaşılmasıyla birlikte, özellikle uluslararası alanda önemli adımlar atılmaya başlanmıştır. Kanada’nın Toronto kentinde 1988 yılında düzenlenen “Değişen Atmosfer Konferansı” sonucunda Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve Dünya Meteoroloji Örgütü’nün (WMO) ortak girişimiyle IPCC kurulmuştur (Yanarocak, 2007). İnsan faaliyetlerinin neden olduğu iklim değişikliğinin risklerini değerlendirmek üzere kurulan Panel, uluslararası bir kuruluştur (Atabey, 2013). IPCC kendi bilimsel araştırmalarını yürütmenin aksine yürütülmüş bilimsel çalışmaları tarayıp, çok kapsamlı bir literatür çalışması yapmakta ve bu çalışmanın sonuçlarını daha anlaşılır şekilde karar vericiler ve kamuoyu ile paylaşmaktadır (Gündoğan, 2016).

1.1.2. Kyoto protokolü (KP)

KP, Sözleşme’nin nihai amacına ulaşması için küresel anlamda ilk somut çevre politikası adımıdır. KP, 11 Aralık 1997’de Kyoto’da gerçekleştirilen toplantıda imzaya açılmış ve Protokol olarak kabul edilmiştir (Uzunçakmak, 2014).

Protokol, Sözleşme’nin “ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar ilkesi” uyarınca, gelişmiş ülkelere bağlayıcı salım azaltım yükümlülükleri getirmiş ve onlara daha ağır bir sorumluluk vermiştir (ÇŞB, 2018b).

Protokolün ana amacı; “atmosferdeki sera gazı birikimlerini, iklim sistemi üzerindeki tehlikeli insan kaynaklı etkiyi önleyecek bir düzeyde durdurmayı başarmak” olarak tanımlanmış ve Protokolün uygulamada ne şekilde işleyeceği 1998 yılında Dördüncü Taraflar Konferansı’nda belirlenmiştir (UNFCCC, 2004).

1.2. Karbon ayak izi

Karbon ayak izi; birim CO₂ cinsinden ölçülen, üretilen sera gazı miktarı açısından insan faaliyetlerinin çevreye verdiği zararın bir ölçüsüdür. Karbon ayak izi hesaplama adımları 4 aşamadan oluşmaktadır (Atabey, 2013).

İlk adımda amaç belirlenmektedir. Karbon ayak izi hesaplaması ile ulaşılabilecek hedefler de bu aşamada tespit edilmektedir. Sonraki adımda belirlenen hedeflere yönelik sınırlar belirlenmektedir. 3. adımda veriler toplanarak

emisyon faktörleri ile hesaplanmakta ve son adımda elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, karbon ayak izi raporlanmaktadır. Karbon ayak izi rapor içeriklerinin net ve anlaşılır olması büyük önem taşımaktadır (Kocabaş ve Ören, 2018).

1.3. Ulaşım sektörü ile ilgili yapılan karbon ayak izi çalışmaları

Ulaşım sektörü ekonomik büyümenin önemli bileşenlerinden biridir ve hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerdeki artan ulaşım talebini karşılamak için hızla büyümektedir. Bu durum giderek artan enerji tüketimi ve sera gazı salınımı açısından birçok ülkede sorun teşkil etmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre ulaşım sektörü, elektrik ve ısı üretimi sektörlerinden sonra en fazla karbon ayak izi miktarı üreten sektör olup, bu ayak izinin %70'inden fazlası karayolu ulaşımı kaynaklıdır (Özen ve Tüýdeş, 2013).

Türkiye'de ulaştırma sektörü kaynaklı karbon ayak izi miktarının enerji sektörü içindeki payı %22,2, ulusal toplam emisyonundaki payı ise %15'tir. Ulaşım sektöründe yakıt tüketimini etkileyen her türlü uygulamanın karbon ayak izi miktarına ve iklim değişikliğine etkisi olmaktadır (Algedik vd., 2016).

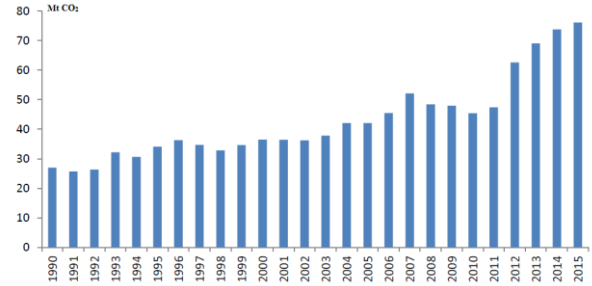
İklim değişikliği ve şehirlerdeki ulaşım sistemi ilişkisine yönelik çalışmalar sonucunda, şehirlerde iklim değişikliğine neden olan karbon ayak izi miktarının büyük kısmının ulaşımın genişliği nedeniyle ortaya çıktığını belirtilmiştir. Bu duruma şehirlerde kişisel araç kullanımının fazla olması, fosil yakıt kullanım yoğunluğu ve ticari odak merkezleri olmaları yol açmaktadır. Çalışmaya göre, karbon ayak izi miktarının %75'i şehirlerde oluşmakta ve fosil yakıtların %95'i şehirlerde tüketilmektedir (Mehrotra vd., 2011).

Türkiye'de iklim değişikliği nedenlerini sosyal ve bilimsel açıdan incelenmiştir. Buna göre ulaştırma sektörü toplam enerji tüketiminin %25'ini oluşturduğu rapor edilmiştir. Ulaşım sektörünün iklim değişikliği üzerindeki etkisini en aza indirmek amaçlı yapılabilecekler; yeni taşıt ve motor teknolojileri ile çevreye uyumlu enerji kaynaklarının kullanılması, ulaştırma politikalarının düzenlenmesi, emisyon envanteri oluşturulmasıdır (Soruşbay, 2006).

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın iklim değişikliğinin nedenlerini, yapılan küresel toplantı ve sözleşmeleri, Türkiye'nin mevcut durumu ve gelecekte yapılacak planlarını ortaya koyduğu raporda, ulaştırma sektörü için yapılması planlanan çözüm önerileri açıklanmıştır. Buna göre; toplu taşıma araç kullanımının yaygınlaştırılması, yük taşımacılığında demiryolu ve deniz yollarının kullanımına ağırlık verilmesi, şehir ulaştırma strateji ve planlarının hazırlanması, yakıt kalitesinin iyileştirilmesi, araç parkındaki eski taşıtların trafikten çekilmesi ve ortalama araç yaşının düşürülmesi, araçlarda yeni motor teknolojilerinin kullanılmasının karbon ayak izi miktarını azaltacağı öngörüsünde bulunulmuştur (Çalışkan vd., 2017).

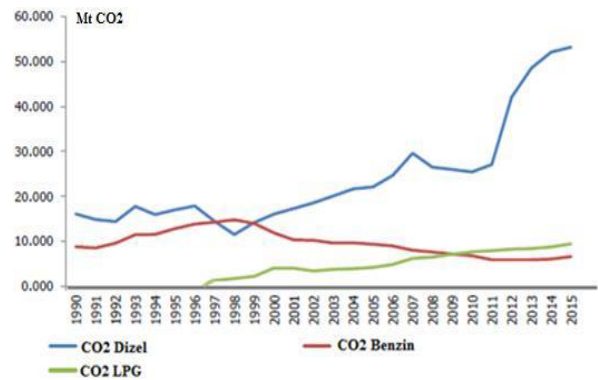
Türkiye'de araç satışları ve buna bağlı olarak karbon ayak izi miktarı hızla artmaktadır. Gelecek yıllarda piyasaya sürülecek yeni araçların mümkün olan en iyi teknolojiye ve

en düşük emisyon seviyelerine sahip olmaları sadece çevre ve sağlığın korunması açısından değil, aynı zamanda ekonomi ve uluslararası rekabet açısından da önem taşımaktadır (Mock, 2016). Türkiye'de ulaşım sektöründen kaynaklı emisyonlar 1990-2015 yılları arasında %181 oranında artmıştır ve sera gazı emisyonları her yıl ortalama olarak %7,5 oranında yükselmektedir. Şekil 1'de Türkiye'deki ulaşım sektöründen kaynaklı karbon ayak izinin 1990-2015 yılları arasındaki değişimi gösterilmiştir (TÜİK, 2015).



Şekil 1. Türkiye'nin ulaşım sektörlerindeki karbon ayak izi değişimi, 1990-2015 (TÜİK, 2015).

Ulaşım sektörü 2015 yılında 75,8 Mt karbon ayak izi değerine ulaşmıştır. Ulaşım sektöründeki karbon ayak izi miktarı (CO₂ eşdeğeri olarak), 1990 yılında %20,9 iken 2015 yılında bu oran %22,6'ya yükselmiştir. 1990-2015 yılları arasında karayolu taşımacılığı diğer ulaşım türlerine göre en çok salım yapan karbon ayak izi kaynağı olmuştur. Türkiye'de karayolu taşımacılığında yakıt türlerine göre karbon ayak izi dağılımları Şekil 2'de sunulmuştur. Karayolu taşımacılığında 1997 yılına kadar yakıt olarak sadece dizel ve benzin kullanılmıştır. LPG'nin kullanımı 1997 yılında başlamış ve tüketim giderek artmıştır. Ardından benzin tüketimi azalırken, dizel yakıt tüketimi ve LPG tüketimi artmıştır. Küresel ekonomik kriz nedeniyle 2007'den 2010 yılına kadar dizel yakıt tüketimi azalmıştır. Bundan sonraki yıllarda dizel yakıtı tüketiminde dikkate değer bir artış görülmüştür. Ayrıntılı olarak analiz edildiğinde, 2011 yılında 27.035 kt CO₂ değeri, 2015 yılında 53.169 kt CO₂ değerine ulaşmıştır. Dolayısıyla dizel yakıttan kaynaklanan karbon ayak izi miktarında %97'lik bir artış olmuştur (TÜİK, 2015).



Şekil 2. Karayolu taşımacılığında yakıt türlerine göre emisyon dağılımları (TÜİK, 2015).

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. IPCC metodolojisi

İnsan kaynaklı sera gazı emisyonlarının sorununun çözülebilmesi amacıyla, 1996 yılında emisyon hedeflerini gerçekleştirmek isteyen sözleşmeye taraf olan ülkelere yardımcı olunabilmesi için IPCC kılavuzu tekrar düzenlenerek oluşturulmuştur (Pekin, 2006). 1996 IPCC kılavuzunun yayınlanmasından bu yana sera gazı emisyonlarının ulaşımdan kaynaklı emisyonlarının tahmini için kullanılan temel metotlar değişmemiştir. Karayolu taşımacılığından kaynaklanan tahmini emisyonlar, yakıt satışı ve araç kilometre sayısı olarak iki bağımsız veri grubuna dayanmaktadır (IPCC, 2006).

2.2. IPCC Tier yaklaşımları

2006 IPCC Kılavuzunda fosil yakıt kaynaklı emisyonların tahmininde üç hesaplama yöntemi bulunmaktadır. Tier 1, Tier 2, ve Tier 3 olarak adlandırılan bu yaklaşımlarda Tier seviyesi arttıkça kullanılan veri sayısı ve ayrıntı artmaktadır (IPCC, 2006). Tier 1 metodu genel olarak daha az veri içeren basit bir yöntem iken, Tier 3 metodu ise daha karmaşık olan ve uzmanlık gerektiren bir yöntemdir. Genel olarak Tier 1 ve diğer Tier yöntemleri şeklinde de bir ayrım yapmak da mümkündür.

2.2.1. Tier 1 yaklaşımı

Tüm yakıt kaynaklarından gelen emisyonlar, genellikle ulusal enerji istatistiklerinden elde edilen yakılan yakıt miktarlarına ve ortalama emisyon faktörlerine dayanarak tahmin edildiği için Tier 1 yöntemi temelde “yakıt tüketimini” baz almaktadır, Tier 1 hesap metodunda yanma sonucu ortaya çıkan emisyonlar, tüketilen yakıt miktarı ve yakıt tipine bağlı emisyon faktörü kullanılarak hesaplanmaktadır. Tier 1 adımının formülize hali Denklem 1’de sunulmuştur. Tier 1 yöntemi genellikle yeterli verinin olmadığı durumlarda başvurulmuş bir yöntemdir (IPCC, 2006).

$$\sum Emisyon = \sum Yakıt_{ab} \times EF_{ab} \quad (1)$$

Burada;

Emisyon: Emisyon miktarını (kg), Yakıt: Enerji değeri cinsinden yakıt tüketimini (Tj), EF: Emisyon Faktörünü, a: Yakıt tipini (benzin, dizel, lpg) ve b: sektör faaliyetini (karayolu, denizyolu, havayolu vb.) temsil etmektedir. Hesap yöntemi basamakları şu şekildedir. Adım 1: Tüketilen yakıt miktarı, yakıt tipi ve harcadığı sektör faaliyetlerine göre enerji cinsinden (Tj) hesaplanır. Adım 2: Yakıt tipi ve sektör faaliyetine göre seçilen emisyon faktörü 1. Adımda hesaplanan enerji cinsinden toplam yakıt tüketim değeri ile çarpılarak o gaza ait emisyon miktarı hesaplanır. Adım 3: Tüm yakıt türlerine göre hesaplanan her gazın emisyon değerleri ayrı ayrı toplanarak toplam emisyon miktarına ulaşılır (IPCC, 2006).

2.2.1.1. Karbondioksit emisyonları

Karbondioksit insan faaliyetleri sonucu oluşan en büyük oranlı sera gazıdır. Sanayi devriminden bu yana, sera gazı etkisi gösteren CO₂’in ısı hapsedmesi %60 oranında artış göstermiştir. CO₂ emisyonunun açığa çıkmasında en büyük

faktör fosil yakıtların yakılması işleminde karbonun oksitlenmesidir (IPCC, 1996c).

Tier 1 yöntemi ile CO₂ emisyonlarının hesabında şu adımlar uygulanmaktadır. 1. adımda her sektörün yakıt tüketim değerleri belirlenir. 2. adımda yakıt tüketim değerinin enerji içeriği bulunur. Bu adımda, yakıt tüketim değerlerini IPCC Kılavuzunda verilen dönüşüm faktörleri (net kalorifik değerler) ile çarparak, yakıt türünün enerji içeriği bulunur. IPCC Kılavuzunda belirtilen ve bu çalışmanın emisyon hesaplamalarında kullanılan yakıtların net kalorifik değerleri Tablo 1’de gösterilmektedir (IPCC; 1996a, 1996b, 1996c).

Tablo 1. Yakıtların net kalori değerleri (dönüşüm faktörleri) (IPCC, 2006)

Yakıt Türü	Net Kalorifik değerler (TJ/kt)
Benzin	44,3
Dizel	43
LPG	47,3

Bu adımın formülize hali Denklem 2’de sunulmuştur.

$$Enerji Tüketimi [TJ] = Yakıt Tüketimi [t] \times 10^{-3} \times \frac{Dönüşüm Faktörü \left[\frac{TJ}{kt} \right]}{1} \quad (2)$$

3. adımda her yakıt grubu için uygun karbon emisyon faktörleri seçilir ve bu değer kullanılarak yakıtın içeriğindeki toplam karbon miktarı bulunur. Söz konusu faktörler Tablo 2’de gösterilmektedir.

Tablo 2. Karbon emisyon faktörleri (CEF) (IPCC, 2006)

Yakıt Türü	Karbon Emisyon Faktörleri (CEF) (tC/TJ)
Benzin	18,9
Dizel	20,2
LPG	17,2

Her bir yakıt türü için IPCC kılavuzunda belirlenmiş olan karbon emisyon faktörleri (CEF) seçildikten sonra ve bu değer daha önce bulunan enerji tüketim değeri ile çarpılarak söz konusu yakıtın içeriğindeki toplam karbon miktarı bulunur. Ton karbon (tC) cinsinden bulunan emisyon değeri 1000’e bölünerek Gg birimine geçilir (Pekin, 2006).

4. adımda yanma sırasında oksitlenmeyen karbon miktarı bulunur ve böylece tamamen yanmaya katılan karbon değerine ulaşılır. Ulaştırma sektörü hesabında kullanılan yakıtlar sıvı yakıtlar olduğu için buradaki kayıp çok azdır (Pekin, 2006). IPCC tarafından önerilen değerler, petrol ürünlerinin %1’lik bir kayıpla yani 0,99 oranında oksitlendiği, gaz halindeki yakıtların ise 0,995 oranında oksitlendiğini belirtmektedir. Üçüncü adımda hesaplanan toplam karbon miktarı “karbon oksitlenme oranı” ile çarpılarak tamamen yanmaya katılan karbon değerine ulaşılır (Denklem 3). Böylece gerçek karbon emisyon miktarı bulunmuş olur (Pekin, 2006).

$$C Emisyonu[Gg C] = C İçeriği [Gg C] \times C Oksitlenme Oranı \quad (3)$$

Son aşamada ise, oksitlenmiş olan karbon değerini (gerçek karbon emisyon değeri) CO₂ değerine dönüştürmek gereklidir. Bunun için CO₂'in molekül ağırlığının karbonun molekül ağırlığına oranı (44/12) ile bir önceki adımda bulunan karbon emisyon değeri çarpılır (Denklem 4). Bu son aşamada bulunan değer yakıtın yanması sonucu ortaya çıkan gerçek CO₂ emisyonu miktarıdır (IPCC, 1996c; IPCC, 1996a).

$$CO_2 [Gg CO_2] = C Emisyonu[Gg C] \times \left(\frac{44}{12}\right) \quad (4)$$

2.2.2. Detaylı Tier yaklaşımları

Tier 2 hesaplama yönteminde, yakıt tüketimi yerine taşıtın yapmış olduğu yol miktarı hesaba katılmaktadır. Tier 1 yöntemine göre daha ayrıntılı bir hesap yöntemi olan Tier 2 yöntemi, daha fazla veri gereksinimine karşın özellikle CO₂ dışındaki gazların emisyonlarında daha sağlıklı sonuçlar vermektedir (IPCC, 2006).

Tier 2 hesaplama yönteminde yanma sonucu ortaya çıkan emisyonlar, Tier 1 yönteminde olduğu gibi benzer yakıt istatistiklerinden hesaplanmaktadır. Ancak, Tier 1 yönteminde varsayılan emisyon faktörleri yerine Tier 2 hesaplama yönteminde ülkeye özgü emisyon faktörleri farklı türlerde kullanılmaktadır. Faktör değerleri yakıtların karbon içerikleri hakkında ayrıntılı verilerden üretildiği için Tier 2 hesaplama yöntemi bir ülkede uygulanan yanma teknolojileri hakkında daha ayrıntılı bilgi edinmeyi sağlamaktadır.

Tier 1 yöntemini Tier 2 yönteminden ayıran temel fark, yakıtın kullanıldığı yanma teknolojisi hakkında bilgi sahibi olmayı gerektirmeden, elde edilen yakıt tüketim veya dağıtım değerlerinin kullanılmasıdır. Genel olarak Tier 2 yaklaşımıyla uygun emisyon faktörleri kullanılabilecek şekilde yakıt tüketim gruplarını ayırmak amaçlanmaktadır (Atabey, 2013). Tier 2 yaklaşımında emisyon faktörleri, ülkeye göre farklılık gösterebilecek yakıt türleri, taşıtın emisyon kontrol teknolojisi, sektör faaliyeti gibi özelliklere göre daha spesifik olarak seçilmektedir (IPCC, 2006) Genel emisyon hesap modeli Denklem 5'de gösterilmektedir.

$$\sum Emisyon = \sum [Aktivite_{abc} \times EF_{abc}] \dots \quad (5)$$

Burada; Emisyon Emisyon miktarını (g), Aktivite Tüketilen enerji miktarı veya verilen mobil kaynağın kat ettiği yol uzunluğunu (km), EF: Emisyon faktörünü (g/km), a Yakıt tipini (dizel, benzin, LPG vb.), b: Araç tipini (özel otomobil, hafif dizel, ağır dizel vb.), c: Emisyon kontrol özelliklerini (kontROLSÜZ, 15.04, Euro I, Euro III vb.) temsil etmektedir.

Tier 2 yaklaşımının hesaplama yöntemi 5 adımdan oluşmaktadır. 1. adımda taşıtlar türlerine göre ayrılarak kullandıkları yakıt türü ve emisyon kontrol teknolojilerine göre sınıflandırılır. 2. adımda taşıtın tipi, kullandığı yakıt türü, emisyon kontrol teknolojisi ve hesaplanacak emisyon gazına göre emisyon faktörü belirlenir. 3. adımda taşıt aktivitesi km olarak belirlenir. 4. adımda taşıt sayısı, yaptığı km ve emisyon faktörü çarpılarak o gaza ait emisyon miktarı bulunur. 5. adımda ise belirtilen kriterlere göre sınıflandırılan taşıtlardan kaynaklı, aynı gaza ait diğer veriler toplanarak, o gazın toplam emisyon değeri hesaplanır.

3. BULGULAR

Bu çalışmada detaylı olarak anlatılan IPCC metodolojisine göre, Isparta iline kayıtlı araçların yakıt durumu verileri ve Isparta iline kayıtlı araç sayıları verilerinden faydalanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Karayollarından kaynaklanan emisyonların detaylı metot ile hesaplanmasında kullanılan veriler resmi kurumlardan temin edilmiştir. Isparta ilinde 2010-2016 yılları arasında karayolu araçlarından kaynaklı emisyonlar, karbon ayak izi bazında karakterize edilerek, Tier 1 ve Tier 2 seviyesinde hesaplamalar yapılmıştır.

3.1. Tier 1 yaklaşımı ile CO₂ emisyonu hesaplanması

İlk aşamada Isparta'nın tüm ulaştırma sektörlerindeki yakıt tüketim değerleri belirlenmiştir. Yakıt tüketim değerleri Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu dokümanlarından alınmıştır (Tablo 3) (EPDK, 2018).

Tablo 3.Isparta ilinde 2010-2016 yılları arasında karayolu taşıtlarının yakıt kullanımı (EPDK, 2018).

KARAYOLU (TON)			Yıllık Yakıt Tüketimleri
YIL	Benzin	Dizel	LPG
2010	10145	72463	31194
2011	9892	78882	31428
2012	10521	86401	30464
2013	10890	90546	29205
2014	10938	91515	28209
2015	12351	111315	30248
2016	12637	108019	31282

IPCC Metodolojisine göre hesaplama adımları izlenmiştir. Yapılan hesaplama ile 2016 yılında, karayollarında tüketilen 12637 L benzinin 38,40 Gg CO₂ emisyonu oluşturduğu hesaplanmıştır. Tablo 4'de Isparta ili 2016 yılına ait karayolu sektörünün CO₂ emisyon hesabı görülmektedir. Kalan yılların hesabı da aynı yöntemle yapılmış olup Tablo 5'de belirtilmiştir.

3.2. Tier 2 yöntemi ile CO₂ emisyon hesabı

Bu çalışmada Isparta ili karayolu araçları için Tier 2 seviyesinde CO₂ emisyonu hesaplanmıştır. Karayollarından kaynaklanan emisyonların detaylı metot ile hesaplanmasında gerekli olan veriler, TÜİK ve EPDK verilerinden elde edilmiştir. Isparta ilinde kayıtlı araç sayısı (TÜİK, 2018) ve Isparta ilinde kayıtlı araçların yıllık yakıt tüketimleri belirlendikten sonra bir diğer Tier hesaplama aşaması olan Tier 2 hesaplama yöntemi ile hesaplamalar yapılmıştır. CO₂ emisyonları yakıt tüketim miktarlarına ve yakıtın karbon içeriğine bağlı olarak belirlenmiştir.

Araçların 100 km'deki yakıt tüketim değerlerine ulaşıldıktan sonra her taşıt grubunun bir yılda kat ettiği mesafe belirlenmiştir. Bu değer için kesin bir kaynak bulunmadığından Türkiye'deki toplam yakıt tüketim değerleri ile bir yakıt dengesi sağlayacak şekilde, 100 km'deki ortalama yakıt tüketimleri ve araç sayısı verileri yardımıyla araçların yıllık menzilleri ortalama olarak elde edilmiştir. Tablo 6'da Isparta iline kayıtlı araçların bir yılda kat ettiği ortalama yıllık menzil değerleri sunulmuştur.

Tablo 4. Isparta ili Tier 1 yöntemine göre 2016 yılı karayolu sektörü CO₂ emisyonu hesabı

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Yakıt tüketimi	Dönüşüm Faktörü	Enerji Tüketimi	Karbon Emisyonu Faktörü	Karbon içeriği	Karbon İçeriği	Oksitlenen Karbon Yüzdesi	Gerçek Karbon Emisyonu	Gerçek CO ₂ Emisyonu
(lt)	(TJ/kt)	(TJ)	(tC/TJ)	(tC)	(Gg C)	%	(Gg C)	(Gg CO ₂)
		$C=A \times B \times 10^{-3}$		$E=C \times D$	$F=E \times 10^{-3}$		$H=G \times F$	$I=[H \times (44/12)]$
12637	44,3	560	18,9	10581	11	0,99	10	38
108019	43	4645	20,2	93825	94	0,99	93	341
31282	47,3	1480	17,2	25450	25	0,995	25	93
					Toplam Ulaştırma Emisyonu			472

Tablo 5. Tier 1 yöntemine göre hesaplanan yakıtların toplam CO₂ emisyon değerleri

YIL	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
TOPLAM	351,9	372,06	394,82	405,28	405,52	478,3	471,84

Tablo 6. Isparta'daki araçların ortalama yıllık menzilleri (km)

	OTOMOBİL			MİNİBÜS	OTOBÜS	KAMYONET	KAMYON	MOTOSİKLET
YIL	BENZİN	DİZEL	LPG	DİZEL	DİZEL	DİZEL	DİZEL	BENZİN
2010	9191	243905	16274	383815	237460	51870	66524	10006
2011	9517	199041	15002	403907	249659	52610	74850	9337
2012	10448	180112	13549	425645	263204	53501	80095	9531
2013	10898	153430	12198	447478	271469	52591	84906	9926
2014	11015	130742	11228	459544	267722	49935	85093	9764
2015	12083	136234	11503	536049	315672	56254	100958	10765
2016	11653	113980	11510	496533	291778	51254	95722	10911

Bu temel veriler elde edildikten sonra Tier 2 hesaplama yöntemi ile CO₂ emisyonu hesabı yapılmıştır. Örnek olarak 2016 yılında benzinli otomobillerden kaynaklanan CO₂ emisyonunun IPCC metodolojisinde anlatılan formüller kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Kalan yılların emisyon değerleri Tablo 7'de verilmiştir.

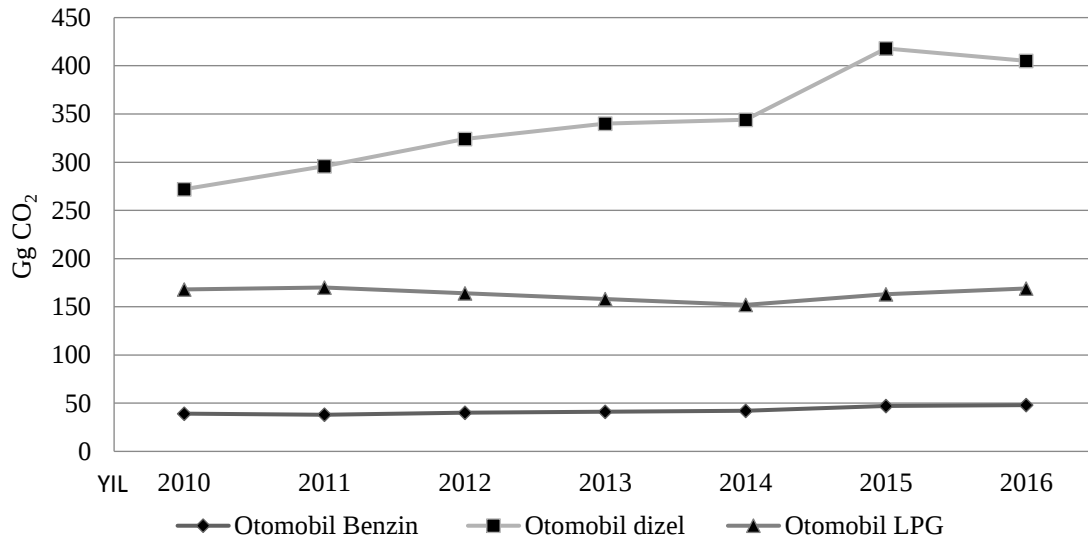
Otomobil benzin Yakıt Tüketimi₂₀₁₆ = 15796 t
 Dönüşüm Faktörü = 44,30 TJ/kt
 Enerji Tüketimi = 15796 x 44,30 x 10⁻³ = 700 TJ
 Benzinin Karbon Emisyon Faktörü = 18,9 t C/TJ
 Karbon İçeriği = 700 x 18,9 = 13226 t C
 Karbon İçeriği = 13226 x 10⁻³ = 13 Gg C
 Benzinin Karbon Oksitlenme Oranı = 0,99
 Gerçek Karbon Emisyonu = 13 x 0,99 = 13,09 Gg C
 Karbondioksit Emisyonu = 13,09 x 44/12 = 48 Gg CO₂

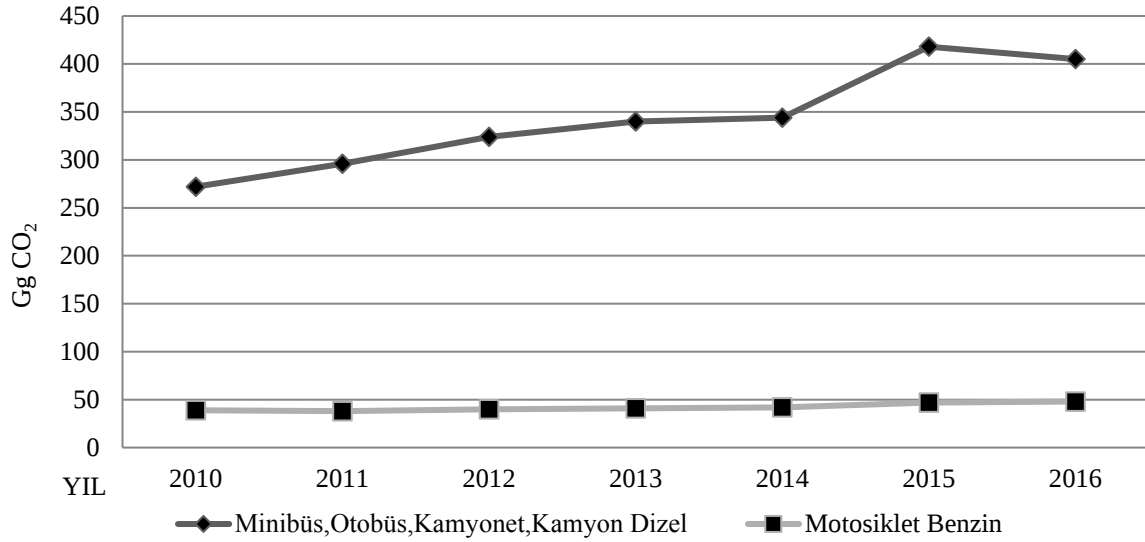
Tablo 7. Tier 2 yöntemi ile CO₂ hesabı

	OTOMOBİL			MİNİBÜS	OTOBÜS	KAMYONET	KAMYON	MOTOSİKLET	Toplam
YIL	BENZİN	DİZEL	LPG	DİZEL	DİZEL	DİZEL	DİZEL	BENZİN	
2010	39	272	168	272	272	272	272	39	1605
2011	38	296	170	296	296	296	296	38	1725
2012	40	324	164	324	324	324	324	40	1866
2013	41	340	158	340	340	340	340	41	1940
2014	42	344	152	344	344	344	344	42	1953
2015	47	418	163	418	418	418	418	47	2346
2016	48	405	169	405	405	405	405	48	2292

Tier 2 yöntemi ile hesaplanan Isparta ilinin otomobillerden kaynaklı emisyon değerlerinin 2010-2016 yılları arası değişim grafiği Şekil 3’de gösterilmiştir. Tier 2 yöntemine göre ticari araçlardan (dizel) ve motosikletten (benzin) kaynaklı emisyon değerlerinin 2010-2016 yılları arası değişim grafiği Şekil 4’de gösterilmiştir. Genel olarak bir değerlendirme yapıldığında dizel, LPG ve benzinli araçlar arasında son yıllarda en çok tercih edilen akaryakıt türü dizel ve LPG’li araçlar olduğu anlaşılmaktadır. 2010-2016 yılları arasında dizel araçlardan kaynaklı emisyon değerleri her geçen yıl artış göstermiştir. Ancak son yıllarda artan motor

teknolojisi ile birlikte dizel araçların emisyon değerlerinde azalma olduğu görülmüştür. Benzinli araçlardan kaynaklı emisyon değerleri değişiminde çok büyük bir artış gözlenmemiştir. Bunun sebebi benzinli otomobillerin son yıllarda akaryakıt tüketimi çok fazla olduğu için araç kullanıcıları tarafından daha az tercih ediliyor olmasıdır. Tier 1 yönteminde araç tipi ve emisyon kontrol özelliklerine bağlı bir hesap adımı bulunmadığı için Tablo 3’de sunulan veriler Tier 1 yöntemi sonuçları ile karşılaştırılabilir nitelikte değildir.

**Şekil 3.** Isparta ilinde Tier 2 yöntemine göre otomobillerin 2010-2016 yılları arasında hesaplanan CO₂ emisyon eğilimi değerleri



Şekil 4. Isparta ilinde Tier 2 yöntemine göre 2010-2016 yılları arasında hesaplanan CO₂ emisyon değerleri

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında; Isparta ilinin 2010-2016 yılları arasında karayolu kaynaklı karbon ayak izi hesabı gerçekleştirilmiştir. IPCC; ulaşım sektöründen kaynaklanan CO₂ emisyonlarının hesabında Tier 1, Tier 2 ve Tier 3 yaklaşımlarının kullanmasını önermektedir. Bu çalışmada, yeterli veriye ulaşılamadığından Tier 3 yaklaşımı yerine emisyon hesaplamalarında en temel yaklaşım olan IPCC Tier 1 ve Tier 2 yaklaşımı kullanılmıştır. IPCC'nin önerdiği bu yaklaşım ulaştırma sektörü alt grubu olan karayolu sektörüne uygulanmıştır.

Söz konusu hesaplamalara göre, ulaştırma sektöründeki alt gruplar içinde en büyük emisyon kaynağının karayolu olduğu görülmektedir. 2010 yılında Tier 1 yaklaşım yöntemi ile hesaplanan 351,90 Gg olan karayolu ulaşımından kaynaklı karbon ayak izi miktarı %34'lük bir artış göstererek 2016 yılında 471,84 Gg' a yükselmiştir. Tier 2 yöntemi ile hesaplanan karayolu ulaşımından kaynaklı karbon ayak izi hesabı 2010 yılında 1605 Gg iken 2016 yılında %43'lük artış göstererek 2292 Gg'a yükselmiştir. Tier 2 yöntemi ile hesaplanan karayolu ulaşımından kaynaklı karbon ayak izi hesabında benzinli otomobiller 2010-2016 yılları arası karbon ayak izi miktarlarını %23, dizel otomobiller %48 ve LPG'li otomobiller ise %1 oranında arttırmışlardır. Minibüs, otobüs ve kamyonet, kamyon karbon ayak izi miktarını 2010-2016 yılları arası %48, motosikletler ise %23 oranında arttırmışlardır.

Tier 2 hesaplama yöntemi, Tier 1 hesaplama yöntemine göre daha spesifik veriler kullanmaktadır. Bu durumdan dolayı Tier 2 hesaplama yöntemi Tier 1 hesaplama yöntemine göre daha güvenilir sonuçlar vermektedir. Tier 2 yöntemine ait sonuçlar incelendiğinde 2010-2016 yılları arasında en çok emisyon yayan araçların dizel yakıtlı araçlar olduğu tespit edilmiştir. Dizel araçları LPG ve benzinli araçların takip ettiği görülmektedir. Bu durumun nedenleri; 2010-2016 yılları arasında benzinli araç sayısının azalırken, dizel ve LPG araçlarında artışın yaşanması, dizel ve LPG'li araçların ortalama yıllık menzillerinin, benzinli araçlara kıyasla daha fazla olması ve son olarak dizel ve LPG'li araçların CO₂

emisyonu değerinin benzinli araçlardan daha yüksek olması şeklinde sıralanabilir.

Bütün bu bilgiler sonucunda karayolu ulaşımı, nedeniyle açığa çıkan karbon ayak izi miktarını düşürmek için bazı çözüm önerilerinde bulunulabilir. Karayolu taşıtlarından kaynaklanan CO₂ emisyonlarının azaltılması için ilk olarak motor teknolojilerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bunun dışında alternatif yakıtların (LPG vb.) kullanımı, hibrit araçların kullanımının yaygınlaştırılması, alternatif taşıtların örneğin demiryolu ve denizyolu ulaşımının artırılması, ideal trafik hızlarının sağlanması, trafik akışının düzenlenmesi, araçların akaryakıt türüne ve akaryakıt tüketimlerine göre vergilendirmeler getirilmesi, belli bir emisyon sınırı koyup bu sınırı aşan eski model araçların trafikten kaldırılması, yürüyüş ve bisiklet yollarının yaygınlaştırılması gibi öneriler sıralanabilir.

Teşekkür

Bu çalışmaya sağladıkları katkılarından dolayı Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK)'na teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Akbulut, F.E. (2009). İklim Değişikliğinde Alternatif Politikaların Etkinliği. Ankara Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 100s, Ankara.
- Algedik, Ö., Bayar, H.İ., Biçer, B.E., Çelik, E., Keleş, M., Kocaman, H., Talu, N. (2016). TMBB'nin İklim Değişikliği Politikasındaki Rolü "Politikacılar için Özet", 32s.
- Atabey, T. (2013). Karbon Ayak İzinin Hesaplanması: Diyarbakır Örneği. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 84s, Elazığ.
- Çalışkan, D., Kurt, Z., Timur, Ü. (2017). İklim Değişikliği ve Ulaşım Sektörü İlişkinin Ekonometrik Analizi: Türkiye Örneği. International Congress of Energy, Economy and Policy. 25-26 Mart 2017, İstanbul.

- Çetinsoy Aparı, F.,F., (2010). Küresel İklim Değişikliği: Avrupa Birliği ve Türk Tarımı. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 192s, İstanbul.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), (2018a). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi. <http://iklim.csb.gov.tr/birlesmis-milletler-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi-i-4362> (Erişim Tarihi: 03.03.2018)
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), (2018b). Kyoto Protokolü. <http://iklim.csb.gov.tr/kyoto-protokolu-i-4363> (Erişim Tarihi:02.01.18).
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), (2018). Sıvılaştırılmış Petrol Gazları (LPG) Piyasası Yıllık Sektör Raporları. Erişim Tarihi:02.01.2018
- Gündoğan, A., C. (2016). Paris Anlaşması Sonrası IPCC Öncelikleri <http://ekoik.com/paris-anlasmasi-sonrasi-ipcc-ve-oncelikleri/>. (Erişim Tarihi: 03.03.18).
- Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC), (1996a). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume III: Reference Manual, Chapter 1. Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Paris.
- Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC), (1996b). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume I: Reporting Instructions, Chapter 1. Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Paris.
- Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC), (1996c). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories .Volume II: Workbook, Chapter 1. Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co- Operation and Development, International Energy Agency, Paris.
- Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC), (2006). IPCC Guidelines for National Gas Inventories Volume 2, Chapter 2. Intergovernmental Panel on Climate Change, Paris.
- Kabacıoğlu, N. (2012). Sanayi Kuruluşlarında Sera Gazı Salımları ve Sera Gazı Hesaplama Yöntemleri. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86s, Kocaeli.
- Karakaya, E. (2008). Küresel Isınma ve Kyoto Protokolü: İklim Değişikliğinin Bilimsel, Ekonomik ve Politik Analizi. Bağlam Yayıncılık
- Kıvılcım, İ. (2013). 2020'ye Doğru Kyoto-Tipi İklim Değişikliği Müzakereleri 'Avrupa Birliği'nin Yeterliliği ve Türkiye'nin Konumu', İktisadi Kalkınma Vakfı Yayınları, 92s, İstanbul.
- Kocabaş, S. Ören, S. Karbon Ayak İzi Hesaplanması. Bülent Ecevit Üniversitesi, Devrek Meslek Yüksekokulu. 12s, Zonguldak. Erişim Tarihi: 10.04.2018
- Mehrotra, S., B. Lefevre, R. Zimmerman, H. Gerçek, K. Jacob, Srinivasan, S. (2011).: Climate change and urban transportation systems. Climate Change and Cities: First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network, C. Rosenzweig, W. D. Solecki, S. A. Hammer, S. Mehrotra, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 145–177.
- Mock, P. (2016). Policy Options to Reduce Emissions From The Road Transport Sector in Turkey. İPM-Mercator Policy Brief, 1. Basım, 1-13.
- Özen, M., Tüdeş-Yaman, H. (2013). Türkiye'de Şehirlerarası Yük Trafiği CO₂ Emisyonlarının Tahmini. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17(3), 56.
- Pekin, M.A. (2006). Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 99s İstanbul.
- Soruşbay, C. (2006). Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Karbondioksit Emisyonlarının Çevreye Etkisi ve Kontrolü. İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı, 48-564, 22-26.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2018). Isparta İline Kayıtlı Araç Sayısı. 07.03.2018.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2015). 1990-2015. National Gas Inventory Report 1990-2015 Annual Report for submission under the „United Nations Framework Convention on Climate Change“. 552s.
- UNFCCC. (2004). İklim Özen Göstermek: İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü için Kılavuz. Çev. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 30s, Ankara.
- Uzunçakmak, M. (2014). Ulaşım Modlarından Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları Ve iklim Değişikliği Üzerindeki