



SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞIMDA SERA GAZI ETKİSİNİ AZALTMAYA YÖNELİK ÇALIŞMALAR

Duygu DEMİRTÜRK*

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Sürdürülebilirlik,
Sera Gazı Emisyonu,
Ulaşım Sektörü,
Yol Yapım,
Fosil Yakıt.*

Öz

Ulaşım sektörü; çevre, toplum ve ekonomi üzerinde yarattığı küresel etkileri sebebiyle sürdürülebilirlik üzerine çalışılması gereken sektörlerin başında gelmektedir. Ulaşımında sürdürülebilirlik kavramının ortaya çıkışı, sera gazı emisyonundaki aşırı artışın bir sonucudur. Öyle ki; ülkelerin bu artışı kısıtlamaya ve önlemeye yönelik düzenlediği sözleşmeler, protokoller ve çalışmalar da bu konuyu desteklemektedir. Çalışmalarda, sera gazı emisyonuna birincil sebep olarak aşırı fosil yakıt kullanımı gösterilmekte olup karayolu ulaşımının bu kullanımında payının oldukça yüksek olduğu ifade edilmektedir. Bu sebeple literatürdeki sürdürülebilir ulaşım çalışmaları, ağırlıklı olarak fosil yakıt kullanımının azaltılmasına yönelik olup bu çalışmada yol yapım aşamasından başlanarak bu sürecin yürütülmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Bir başka ifadeyle ulaşımında sürdürülebilirliğin bütüncül bir yaklaşıma ihtiyaç duyduğu belirtilmektedir. Çalışmada, özellikle Çin ve Amerika Birleşik Devleti gibi dünya genelinde sera gazı salınımında ilk sırada olan ülkelerin bu konuya dair çalışmalarına yer verilmiş olup başlıca önlemleri özet olarak sunulmaktadır. Son olarak, ülkemizde sera gazını azaltmaya dair yaklaşımların var olup olmadığından ve ülkemizin sürdürülebilir ulaşımındaki yerinden bahsedilmektedir.

STUDIES TOWARDS REDUCING GREENHOUSE GAS EFFECT IN SUSTAINABLE TRANSPORTATION

Keywords

*Sustainability,
Greenhouse Gas Emission,
Transportation Sector,
Road Construction,
Fossil Fuel.*

Abstract

Transportation is a pioneer sector that should be studied on sustainability due to its global impact on the environment, society, and economy. The emergence of sustainability in transportation is a result of the excessive increase in greenhouse gas emissions. The conventions, protocols and studies organized by countries to restrict and prevent this increase also support the importance of the issue. In studies, excessive fossil fuel use is shown as the primary cause of greenhouse gas emissions, and the share of the highway in this use is quite high. Therefore, sustainability studies in transportation due to existing greenhouse gas emissions are mainly aimed at reducing the use of fossil fuels, while this study emphasizes that works should be carried out starting from the construction stage. In other words, sustainability in transportation needs a holistic approach. In the study, especially the studies of China and United States of America on the subject are included and the main measures are presented in summary. Finally, it is examined whether there are approaches of reducing greenhouse gases in our country and, accordingly, our country's position in sustainable transportation.

Alıntı / Cite

Demirtürk, D., (2021). Sürdürülebilir Ulaşımında Sera Gazı Etkisini Azaltmaya Yönelik Çalışmalar, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1080-1092.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

D. Demirtürk, 0000-0003-3237-7331

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	04.05.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	02.08.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	11.09.2021
Yayın Tarihi / Published Date	20.12.2021

1. Giriş (Introduction)

Günümüzde yaşanan iklim değişiklikleri, doğal kaynakların giderek azalması, çevresel değişimler, toplumsal farklılıklar ve ekonomik krizler gibi etkiler ve nedenler insanlığın başta mevcut durumunu korumayı sonrasında ise gelecek nesiller için yaşanılabilir bir dünya bırakma anlayışını önemli kılmıştır. Bu anlayış, ülkelerin sadece ekonomik büyüme ile değil aynı zamanda çok yönlü bir dönüşüm sürecine dâhil olmaları halinde var olabilecekleri fikrini de beraberinde getirmiştir. Konuya ilişkin olarak 2019 yılında yayımlanan Küresel Sürdürülebilir Kalkınma Raporu da bu durumu destekler niteliktedir. Rapora göre sadece maddi malların tüketimini artırarak ekonomik büyüme yaratmanın artık küresel düzeyde geçerliliğinin kalmadığını ve öngörülerini doğru çıkar ise küresel malzeme kullanımının 2017-2060 yılları arasında 89 Gigaton'dan 167 Gigaton'a çıkacağını ve buna bağlı olarak sera gazı gibi küresel ısınmaya yol açan gaz emisyonlarının artacağını ifade etmiştir. Bu açıklama, sürdürülebilirlik kavramına olan farkındalığın daha da artmasına sebep olmuştur. Öyle ki son yıllarda ekonomik ve sosyal çevrede yaşanan değişiklikler ve dalgalanmalar da göz önüne alındığında sürdürülebilirlik kavramının dâhil olmadığı neredeyse hiçbir alan kalmamıştır. Dahası sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi konusu farklı bilim dalları kapsamında da birçok boyutuyla ele alınmıştır (Yavuz, 2010). Sürdürülebilirliğin gün geçtikçe yaygınlaşması ve dahil olduğu çalışma alanlarının artmasına rağmen "Sürdürülebilirlik" terimi için tanımlanması güç bir kelime olduğu da ifade edilmektedir (Plati, 2019). Bu duruma sebep olarak ise sürdürülebilirliğin çevre, toplum ve ekonomi kavramları ile birlikte anılması gösterilmektedir. Bu sebeple sürdürülebilirlik için genel ve açıklayıcı bir tanıma ihtiyaç duyulmaktadır. Konuya ilişkin olarak Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED) tarafından 1987 yılında hazırlanan "Our Common Future" adlı raporda sürdürülebilirliğin tanımına yer verilmiştir. Tanıma göre sürdürülebilirlik; gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını (ekonomik, çevresel ve sosyal ihtiyaçlar) karşılama yeteneklerinden ödün vermeden bugünün ihtiyaçlarını karşılayabilmesi olarak ifade edilmiştir (WCED, 1987). Kısaca her alanda sürdürülebilirlik, eldeki kaynakların mevcut ve gelecek nesiller için toplumsal, çevresel ve ekonomik etkileri ve sonuçları birlikte değerlendirildiğinde görevini yerine getirmiş olacaktır.

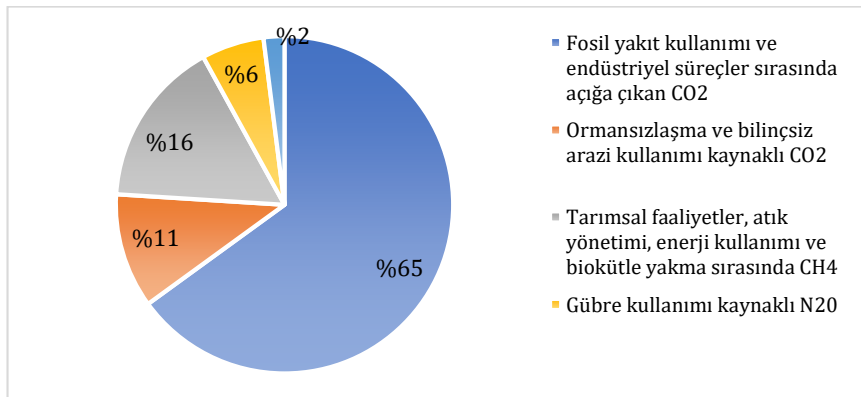
Toplumsal, çevresel ve ekonomik etkileri ülkemizde ve dünyada oldukça önemsenen inşaat sektörü de sürdürülebilirlik kavramı ile karşı karşıyadır. Özellikle doğal kaynakların önemli bir bölümünü kullanarak çevre kirliliğine sebep olan sektör; hammaddenin çıkarılması aşamasından başlayarak yapım, kullanım ve yıkım aşamalarında enerji kullanmakta olup sürdürülebilirlik konusu için cazip hale gelmiş durumdadır (Dikmen ve Gültekin, 2011). Zaten çevre, ekonomi ve toplum gibi kavramlarla birlikte çalışan bir sektör için sürdürülebilirlikten uzak durmak pek de mümkün değildir. Öyle ki; sürdürülebilir kalkınma, sürdürülebilir çevre, yeşil bina, akıllı ulaşım sistemleri gibi uygulamalar dünyada olduğu gibi ülkemizde de sıklıkla duyduğumuz veya duyacağımız kavramlar haline gelmiştir. Ulaşım sektörü de bu anlamda çevre, toplum ve ekonomi üzerinde yarattığı küresel etkileri sebebiyle dünyada sürdürülebilirlik konusu üzerine çalışan sektörlerin başında gelmektedir. Dünya Bankası tarafından 2017 yılında "Sustainable Mobility for the 21st Century" adlı çalışmada 2030 yılına kadar, yolcu trafiğinin %50 artışla 80.000 milyar yolcu-kilometreyi aşacağı, yük hacminin ise küresel olarak %70 büyüyeceği ifadelerine yer verilmiştir. Bahsi geçen büyümeler göz önüne alındığında çalışma, sürdürülebilirliğe odaklanan uzun vadeli bir bakış açısına sahip olmanın ulaşım sektörünün geleceği için belirleyici olacağını savunmakta ve sürdürülebilir ulaşımın küresel ölçekte hedef alınması gerekliliğine vurgu yapmaktadır (Sustainable Mobility for the 21st Century, 2017). Ülkemizde de 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı için 2001 yılında hazırlanan raporda, sürdürülebilirlik ve ulaşım kavramları birlikte kullanılmıştır. Rapor, ulaşım sektörünün geçmişini ve bugününü irdeleyerek sorunlarını ortaya koymayı ve bunların aşılmasıyla birlikte sürdürülebilirlik anlayışı içinde sektörün daha verimli bir yapıya dönüşeceği üzerinde durmaktadır. Bir başka ifadeyle rapor, ulaşımında sürdürülebilirlik kavramının varlığını kabul etmiştir. 2001 yılı sonrası ülkemizde sürdürülebilir ulaşımın verilen önemin giderek arttığı görülmektedir. Öyle ki, mevcut 11. Kalkınma Planı'nda da sürdürülebilir ulaşımın dair politikaların varlığı devam etmektedir. Son zamanlarda dikkat çeken akıllı ulaşım sistemleri, çevre dostu yollar, yenilenebilir enerji ile çalışan araçlar, enerji üreten yollar ve trafik yönetim sistemleri gibi daha birçok uygulama sürdürülebilir ulaşım için önerilen ve üzerinde çalışılması planlanan politikalara örnek olarak düşünülmektedir. Bahsi geçen uygulamalar şehirlerde nüfusun artması ve araç trafiğinin yoğunlaşmasının da bir sonucu olup şehirlerin gelişimi için daha sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin varlığına ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır (Önder ve Akdemir, 2019). Konuya ilişkin olarak 2008 yılında 26901 sayılı Ulaşımında Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik yayınlanmış olup yönetmeliğin 10. Maddesinde şehir planları ile sürdürülebilir kentsel ulaşım planları birlikte ele alınmasına dair ifadeler yer verilmiş ve ulaşım planlarının üretiminin önemi üzerinde durulmuştur. Kalkınma Bakanlığı tarafından hazırlanan Bölgesel Gelişme Ulusal Stratejisi 2014-2023 kapsamında hazırlanan rapor ile de Sürdürülebilir Çevre ve Yeşil Ekonominin Desteklenmesi amacı altında, ulaştırma etkinliğini ve ulaşımın olumsuz çevresel etkilerini azaltmak üzere bütünleşik ve çok modlu ulaştırma sistemlerinin varlığına değinilmiştir (Önder ve Akdemir, 2019).

Yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda sürdürülebilir ulaşıma verilen önemin dünya genelinde ve ülkemizde gün geçtikçe arttığı görülmektedir. Bu artışın başlıca sebepleri arasında ise CO₂ salınımı ile sanayi sektöründen sonra 2. sırada ulaşım sektörünün gelmesinin etkisi oldukça büyüktür. Ulaşım sektörünün özellikle sera gazı salınımına bağlı olarak çevre üzerinde yarattığı olumsuz etkilerinin, sürdürülebilir ulaşım için çözülmesi veya en azından iyileştirilmesi gerekmektedir. Ulaşım sektöründen kaynaklı çevresel etkilerin ve sorunların tümü olmasa da büyük çoğunluğunun aşırı fosil yakıt kullanımından kaynaklı olduğu bilinmektedir (Greene, 1997). Aşırı fosil yakıt kullanımı, sera gazlarının salınımı artırmakta bu durum da küresel ısınmaya, iklim değişikliğine ve beraberinde ciddi çevre sorunlarına sebep olmaktadır. Dahası çevre sorunlarının varlığı, toplum ve ekonomi üzerindeki olumsuz etkileri de beraberinde getirmektedir. Dolayısı ile ulaşım sektörünün günümüzde ve gelecek yıllarda sera gazı salınımını azaltmayı baz alan sürdürülebilirlik çalışmaları yürütmesi kaçınılmazdır. Ayrıca yaşanacak iklim değişiklikleri dolaylı veya doğrudan ulaşım sektörünün yapım, uygulama, bakım-onarım, işletim ve servis ömrü gibi önemli süreçlerinin verimliliğini azaltacaktır. Özetle, sera gazının küresel ısınmaya sebep olması ülkemiz ve dünya için evrensel bir çevre sorunu olmasının yanı sıra yarattığı olumsuz etkiler ile topluma, iklim değişikliğine bağlı oluşan sorunları önleme çalışmaları ile de ülkelerin ekonomi politikalarına yön vermektedir.

Dünyada ve ülkemizde ulaşımın sürdürülebilirliği; malzeme seçiminden üstyapı tasarımına, yapım aşamasından bakım-onarım ve koruma stratejilerine, akıllı ulaşım sistemlerinden, veri yönetimine kadar oldukça geniş bir çerçeveden çevre, ekonomi ve toplum üzerindeki etkileri ile birlikte çok yönlü olarak incelenmelidir. Ancak bu çalışmada küresel anlamda önemi gün geçtikçe artan sera gazı salınımını azaltma fikri ile sürdürülebilir ulaşımın sağlanması konusu üzerinde durulacaktır. Bu sebeple öncelikli olarak sera gazının nedenleri, etkileri ve ulaşım sektöründeki yerinden bahsedilecektir. Sonrasında sera gazı artışını önlemeye yönelik dünya genelinde hazırlanan sözleşmelere ve protokollere kısaca değinilecektir. Konuyu daha anlaşılır ve verimli kılmak adına ise dünyada sera gazı salınımında önde gelen ülkelerin salınımı azaltmaya yönelik çalışma ve uygulamalarına yer verilecektir. Dünyada sera gazı salınımı azaltarak sürdürülebilir ulaşımın sağlanması üzerine birçok çalışmanın varlığından söz edilerek ülkemizde de bu konunun öneminin artmasına dikkat çekilecektir. Böylece konuya ilişkin mevcut çalışmaların yanı sıra ilave çalışmalara öncelik verilmesinin gerekliliği üzerinde durulacaktır.

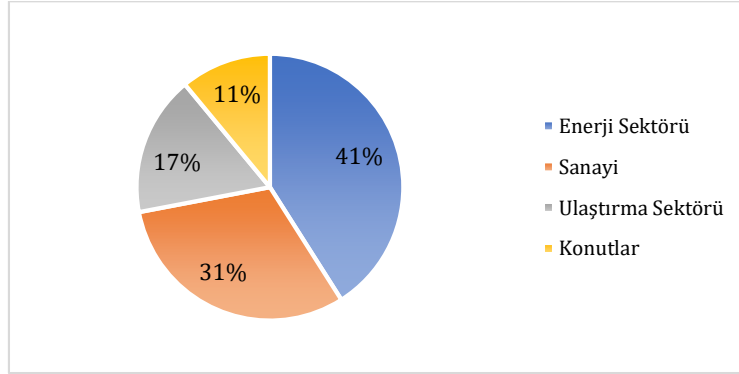
2. Sera Gazının Sürdürülebilir Ulaşımındaki Yeri (The Position of Greenhouse Gas in Sustainable Transportation)

İnşaat faaliyetleri, ulusal ve küresel ölçekte ekonomiye katkı sağlarken, olumsuz çevresel etkileri de beraberinde getirebilmektedir. Bu bağlamda ulaşım sektörü verilen açıklamaya örnek niteliğinde olup küresel ve ulusal ekonomiye sağladığı önemli katkılarının yanı sıra başta fosil yakıt kullanımı kaynaklı sera gazı artışının da önemli bir sebebi olarak ifade edilmektedir. Bu noktada ulaşım sektörü kaynaklı sera gazı salınımındaki artışın sektörün sürdürülebilirliği üzerinde tehdit oluşturduğunu söylemek doğru olup öncesinde sera gazının içeriğini bilmekte fayda vardır. Sera gazı: atmosferde farklı miktarlarda mevcut su buharı (H₂O), karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), azotoksit (N₂O), ozon (O₃) gazları ile endüstriyel üretim sürecinde meydana gelen Hidroflorokarbon (HFC), Perflorokarbon (PFC), Sülfürhekzaflorid (SF₆) vb. florlu bileşiklerden oluşmaktadır. Toplam sera gazının yaklaşık %80'ini CO₂ gazı oluşturmaktadır olup insan kaynaklı sera gazlarının en önemlisidir (Oral ve Uğuz, 2020). Bilindiği üzere CO₂, havada en çok ısı tutma özelliğine sahip gaz olup CO₂ ile birlikte diğer ısıyı tutan gazların miktarındaki aşırı artış, atmosferin ısının yükselmesine, bir başka ifadeyle küresel ısınmaya yol açmaktadır (Özmen, 2009). Aşağıdaki şekil sera gazı bileşenlerinin dünya genelinde sektörel kaynaklardan elde edilme yüzdelerini vermektedir (IPCC, 2014). Şekil 1'de de görüldüğü üzere fosil yakıtların kullanılması başlıca CO₂ kaynağı olarak görülmekte olup sera gazı oluşumunda %65 gibi oldukça yüksek bir paya sahiptir.



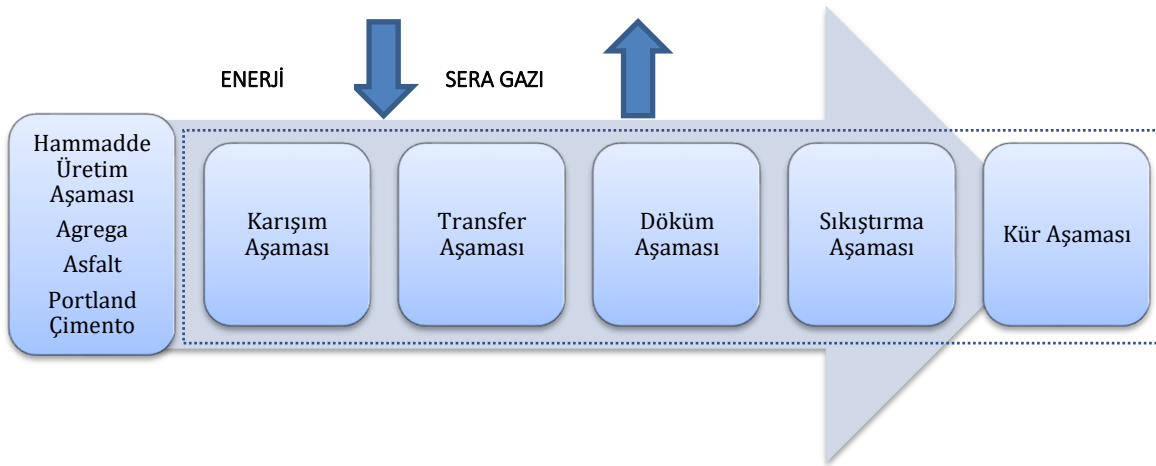
Şekil 1. Dünya genelinde sera gazı bileşenlerinin sektörel kaynakları (Sources of greenhouse gas components)

Ülkemizde ise karbondioksit emisyonlarının sektörlere göre dağılımı incelendiğinde enerji sektörü %41, sanayi sektörü %31, ulaştırma sektörü %17 ve konutlar %11 gibi yüzdelere sahip olup bu oranlar Şekil 2. üzerinde gösterilmiştir (Diler,2006; Altınöz ve Terzi, 2020). Verilen şekiller doğrultusunda dünya genelinde ve Türkiye’de fosil yakıt kullanımı sırasında açığa çıkan CO₂ gaz salınımının yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Türkiye’de karbondioksit emisyonlarının sektörlere göre dağılımı (CO₂ emission distribution based on sectors in Turkey) (Diler, 2006; Altınöz ve Terzi, 2020).

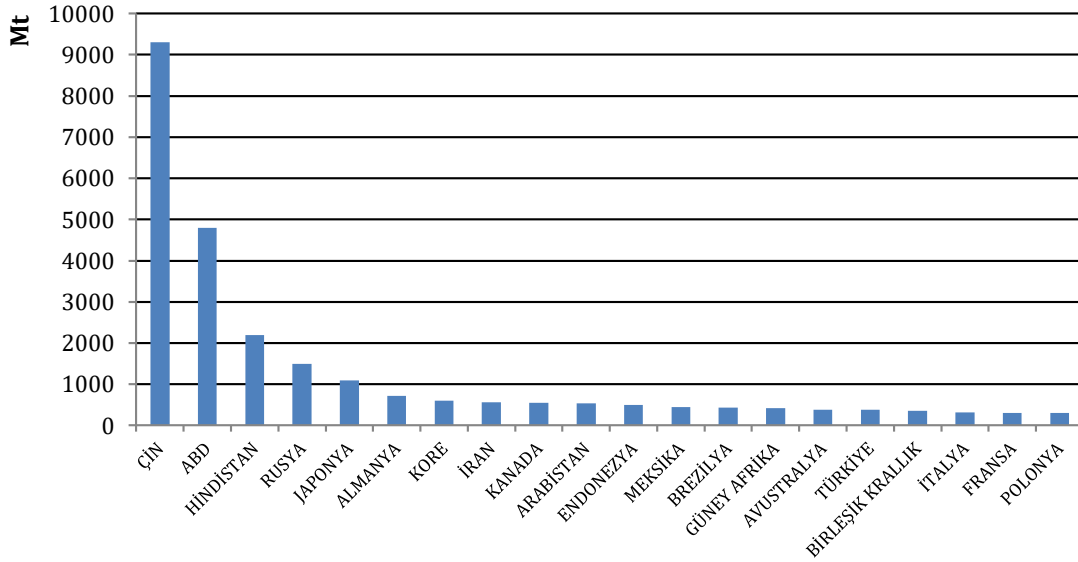
Yukarıda bahsi geçtiği üzere ulaşım sektöründe servis ömrü sırasında aşırı fosil yakıt kullanımının başlıca sera gazı kaynağı olduğu bilinmektedir. Buna ilave olarak bir diğer önemli sera gazı kaynağı ise asfalt veya beton yol yapımı sırasında hammadde üretimi (çimento, asfalt, agrega ve mineral katkıları vs.), karışımın hazırlanması ve uygulama (döküm ve sıkıştırma çalışmaları) aşamalarında gerçekleşmektedir. Bu konuya ilişkin olarak Çin’de bir durum çalışması yürütülmüştür. Çalışmaya göre yol yapımının karışım aşamasından kaynaklanan sera gazı emisyonlarının en yüksek olduğu ve salınan sera gazının yaklaşık % 54’ünün bu aşama sırasında elde edildiği ifade edilmiştir. Çalışmada ayrıca hammadde üretim aşamasının sera gazı salınımında ikinci sırada önemli olduğu da belirtilmiştir. Kısaca çalışma, yol inşasından kaynaklanan sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik her türlü önlemin hammadde üretim aşamasına odaklanması gerektiğini göstermekte ve eğer bu aşama hariç tutulacaksa da sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik önlemlerin karışımın hazırlanma sürecinden başlatılması gerektiğini vurgulamaktadır (Ma vd., 2016). Dolayısı ile ulaşım sektöründen kaynaklı sera gazı salınımını azaltmak ve bu sektörde sürdürülebilirlikten bahsedebilmek için hem üretim/uygulama hem de servis ömrü süreçleri birlikte değerlendirilmelidir. Öyle ki son yıllarda, yaşam döngüsü değerlendirme yaklaşımları yol projelerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu değerlendirmelerin amacı; projenin çevresel yüklerinin büyüklüğünü ve önemini değerlendirmenin yanı sıra süreci bir bütün olarak değerlendirmektir (Kim vd., 2012). Sera gazının sürdürülebilir ulaşımdaki yeri incelenirken de yaşam döngüsü çalışmaları yapmak oldukça yararlı bir yaklaşım olacaktır. Nitekim üretim, uygulama ve servis süreci ulaşım sektörünün birbiriyle bağlantılı ve kordinasyon içerisinde olması gereken aşamalarıdır. Aşağıda Şekil 3.’te asfalt/beton yol üretim ve uygulama sürecine dair aşamalar sırasıyla verilmiş olup bu aşamalarda enerji girdisine karşılık sera gazı salınımı gösterilmiştir. Bir başka ifadeyle ulaşım sektöründen kaynaklı sera gazı salınımının ilk aşaması aşağıda verilmiştir.



Şekil 3. Yol yapım aşamalarında açığa çıkan sera gazı (Greenhouse gas emission during road construction) (Ma vd., 2016)

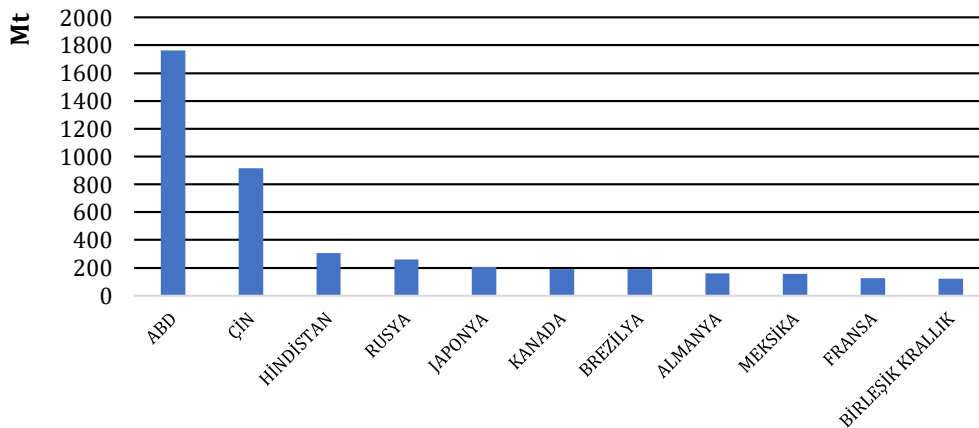
Yukarıda verilen Şekil 3., üretim ve uygulama adımlarında salınan sera gazı kaynaklarına örnek olurken ulaşım sektöründe sera gazı salınımının ikinci aşaması da servis ömrü sırasında gerçekleşmektedir. Tüketilen yakıt

miktarı, yakıt türü, trafik yoğunluğu, trafik yönetimi ve araç teknolojisi gibi başlıca parametrelerin fosil yakıt kullanımı bazlı sera gazı salınımına katkı sağladığı da bilinmektedir. Sera gazı salınımına etkileyen bu parametreler ve dahası hem ülkemizde hem de dünya genelinde farklılık göstermektedir. Sera gazı salınımında dünya genelinde payı yüksek olan ülkelerin bu konuda yaptığı çalışmalar önemli olup bu çalışmalar sera gazını azaltmaya öncülük etmektedir. Bu sebeple ülkelerin sera gazı salınım karnelerini bilmekte fayda vardır. 2021 güncel verilerine göre Dünya genelinde sera gazının %43 gibi ciddi bir kısmı Çin ve Amerika Birleşik Devleti (ABD) ülkeleri tarafından salınmakta olup Çin, yıllık 9300 milyon tonluk CO₂ salınımı ile ilk sırada yer almaktadır. Çin'den sonra ABD, yıllık 4800 milyon tonluk CO₂ salınımı ile ikinci sırada gelmektedir. Ülkemiz ise 378.6 milyon tonluk CO₂ gazı salınımı ile Dünya genelinde 16. sırada yer alırken ülkeler arasında %1 oranında CO₂ gazı salınımında paya sahiptir (World Population Review, 2021). Aşağıda verilen Şekil 4., 2021 verilerine göre ilk 20 ülkenin dünya genelinde CO₂ salınım değerlerini göstermektedir.



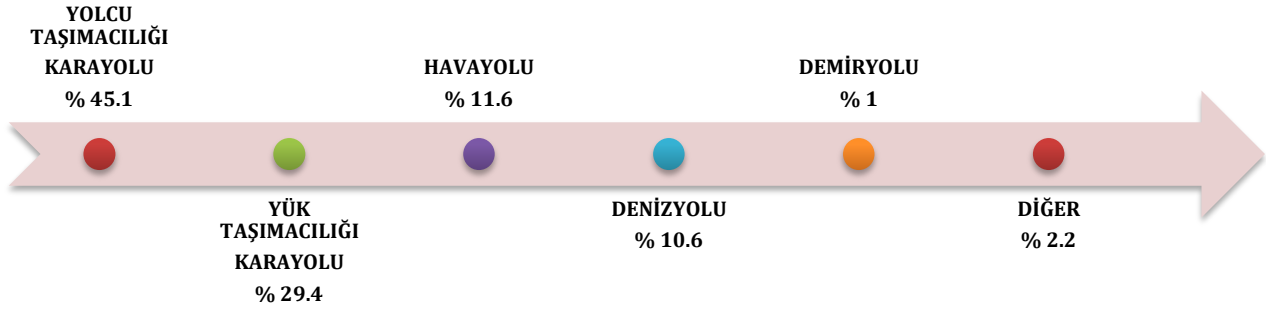
Şekil 4. Dünyada sera gazı emisyon değerlerine göre ilk 20 ülkenin sıralaması (Ranking of the top 20 countries in the world according to their greenhouse gas emission values)

Sera gazının sektörel kaynakları incelendiğinde ise başta ABD ve Çin olmak üzere dünya genelinde sera gazının oluşumunda ulaşım sektörünün payı oldukça büyüktür (Global GHG emissions from transportation by major country, 2018). Örneğin; ABD'de 2018 yılı sera gazı salınım verilerine göre ulaşım sektörü %28,2'lik oran ile ilk sırada yer almaktadır. Çin'de ise sera gazı salınımının kaynağı olarak 1. sırada sanayi sektörü gelirken 2. sırada ulaşım sektörü gelmektedir. Bahsi geçen ülkeler CO₂ salınımında önde gelen ülkeler arasında olup sera gazı salınım yüzdelerinin yüksek olması sebebiyle ulaşım sektörünün bu noktada payı oldukça yüksektir. Aşağıda Şekil 5.'te, CO₂ salınımında önde gelen ülkelerin ulaşım sektöründen kaynaklı sera gazı emisyon değerleri verilmiştir.



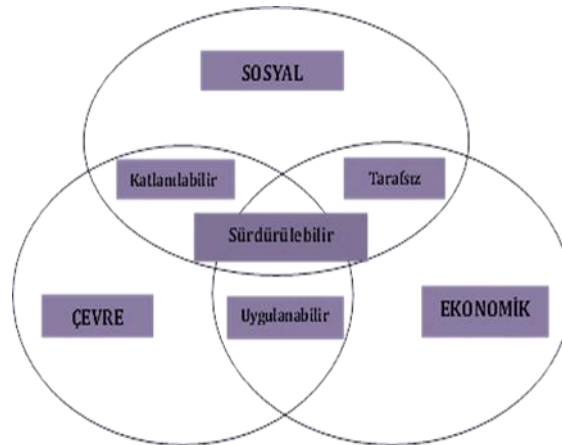
Şekil 5. 2018 yılında dünya çapında bazı ülkelere ait ulaşım sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları (Greenhouse gas emissions from the transportation sector of some countries worldwide in 2018) (Global GHG emissions from transportation by major country, 2018).

Dünya genelinde ulaşım sektörü içerisinde ulaşım ağlarına göre salınım değerleri incelendiğinde ise karayolunda yapılan yolcu ve yük taşımacılığında kaynaklı sera gazı emisyon değeri yaklaşık %74,5 gibi bir oranla ilk sırada gelmektedir (Our World in Data, 2020). Karayolunu sırasıyla havayolu, denizyolu, demiryolu ve diğer ulaşım ağları takip etmektedir (Bknz. Şekil 6.).



Şekil 6. Dünya genelinde ulaşım ağlarının sera gazı emisyon oranları (Greenhouse gas emission rates of transportation networks around the world) (Our World in Data, 2020)

Ülkemizde de yaygın ulaşım ağı olarak karayolu ulaşımı tercih edilmektedir. Yukarıda verilen şema ile birlikte ulaşım sektöründe sürdürülebilirliğin işleyişine yönelik atılacak adımların, izlenecek politikaların ve önlemlerin en çok tercih edilen karayolu ulaşım ağı üzerinde öncelikli olarak yürütülmesi anlamlı olacaktır. Karayolu ağının ekonomi, çevre ve toplum üzerindeki etkileri düşünüldüğünde sera gazındaki artış ve bu artışa bağlı olarak elde edilecek sonuçlar ulaşım sektöründen beklenen sürdürülebilirliğin önünde engel olarak görülebilir. Bu bağlamda aşağıda verilen şekil, karayolu ulaşım ağından başlanarak ulaşım sektöründen beklenen sürdürülebilirliğin sera gazı artışının çevre, ekonomi ve toplum üzerindeki etkisini yöneterek elde edilebileceğini göstermektedir. Ayrıca verilen şekil, bu kavramların birbirleriyle olan ilişkisini özetlemektedir (Plati, 2019). Sürdürülebilir ulaşım çok yönlü bir kavram olup ülkemiz için de her geçen gün oldukça önemli ve gelişmeye muhtaç bir alan olarak görülmektedir. Bu alan üzerinde yapılacak çalışmalarda aşağıdaki şekilde de vurgulandığı üzere çevre, ekonomi ve sosyal yapının beklentilerinin optimum seviyede karşılanması durumunda sürdürülebilirlik kavramından bahsedilebilir.



Şekil 7. Sürdürülebilirliğin çevre, toplum ve ekonomi ile olan ilişki şeması (Relationship between environment, society and economy in sustainability) (Plati, 2019)

Sera gazının artması özellikle gelişmekte olan ülkelerde; benzersiz özgürlük ve esnekliğin yanı sıra mallara, hizmetlere ve faaliyetlere yüksek düzeyde erişim sağladığı için kişisel araç kullanımındaki artışa bağlanmıştır. Kişisel araç kullanımı sağladığı avantajları sebebiyle araç sahipliği, boyutu, kullanımı ve enerji tüketimi ile dünya genelinde artma eğilimindedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde ulaşımda enerji kullanımı son 20 yılda küresel ölçekte yüzde 2,7'lik artış oranının çok üzerine çıkarak, yılda yüzde 4'ün üzerinde artmıştır (Sperling ve Salon, 2002). Bu enerjinin neredeyse tamamı petrol kaynaklı olduğu için ulaşımda enerji kullanımındaki artışlar beraberinde büyük karbon emisyonlarına dönüşmüştür. Dünya Bankası'nın yayınlanan bir raporu, ulaşımdan kaynaklanan karbon emisyonlarının, gelişmekte olan ülkelerde, 1986 ve 2010 yılları arasında gelişmiş ülkelere göre üç kat daha hızlı arttığını öngörmüştür. Karbon emisyonlarındaki bu artış beraberinde sera gazı problemi kaynaklı sürdürülebilir ulaşımın olan ilgiyi artırmıştır. Ne var ki enerji ve sera gazı sorunu, buzdağının sadece

görünen kısmı olup gelişmekte olan ülkeler için daha büyük sorun, büyük çevresel sorunlara neden olmadan uygun bir fiyata nüfusun geniş kesimleri için hareketliliği artıran stratejiler tasarlamaktır (Sperling ve Salon, 2002). Ancak bu şekilde sürdürülebilir ulaşımın gelişimine katkı sağlanabileceği ifade edilmektedir. Bir başka ifadeyle sadece sera gazı salınımı azaltarak ulaşımda sürdürülebilirlikten bahsetmek çok doğru bir yaklaşım olmayacaktır. Ancak bu çalışmada ulaşım ve sürdürülebilirlik kavramları üzerinde yapılan çalışmalarda, dünya genelinde öncelikli olarak ele alınması sebebiyle sera gazı üzerinde ağırlıklı olarak durulmak istenmiştir. Öyle ki bu konu üzerine birçok çalışma; dünya genelinde yapılan sözleşmeler ve protokollerde sunulan öneriler, kısıtlamalar ve düzenlemeler baz alınarak yürütülmektedir. Bu sebeple aşağıda sera gazını azaltmaya yönelik başlıca sözleşme ve protokoller kısmında konunun önemi üzerinde durulacaktır.

3. Sera Gazını Azaltmaya Yönelik Başlıca Sözleşme ve Protokoller (Major Conventions and Protocols for Reducing Greenhouse Gas Emissions)

Sera gazı salınımının azaltmaya yönelik dünyada birçok önemli sözleşme ve protokoller ülkeler düzeyinde yayınlanmıştır. Aşağıda bahsi geçen tüm sözleşme ve protokoller, ülkelere sera gazını azaltma yönünde yaptırımlar sunması bakımından oldukça önemlidir. Bu durum doğrudan veya dolaylı da olsa sürdürülebilir ulaşım hizmet etmektedir. Bu bağlamda; ilk ve gelecekteki çalışmalara da model olması bakımında Montreal Protokolü, sera gazını azaltmaya yönelik atılan büyük bir adımdır. Bu protokol, 1987 yılında tarihi bir çevre anlaşması olarak yayınlanmıştır. 196 ülkenin taraf olduğu Montreal Protokolü, çevre konusunda oluşturulmuş en başarılı ve çok taraflı anlaşma olarak tanımlanmaktadır. Bu anlaşma ile dünyadaki her ülke, kloroflorokarbonlar (CFC'ler) gibi ozon tabakasına zarar veren maddelerin üretimini durdurmalarını gerektiren anlaşmayı onaylamış ve ozon tabakasını incelten bu maddelerin yaklaşık yüzde 99'unu ortadan kaldırmayı başarmıştır. Türkiye de bu protokole 19 Aralık 1991 tarihinde taraf olmuş ve tüm değişikliklerini kabul etmiştir. Protokole ilişkin ulusal ve uluslararası çalışmaların izlenmesi Ulusal Odak Noktası görevini yürüten Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın koordinasyonunda gerçekleştirilmektedir.

Montreal Protokolünden sonra çevre için atılan bir diğer önemli adım da 1992 yılında yayınlanan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) olmuştur. Bu sözleşmeye Amerika Birleşik Devletleri de dâhil olmak üzere 197 ülke katılmış ve onaylamıştır. İklim değişikliğini açık bir şekilde ele alan ilk küresel anlaşma olması bakımından da dönüm noktası olarak nitelendirilmektedir. Bu sözleşme, aynı zamanda atmosferdeki sera gazlarının yoğunluğunu stabilize etmeyi amaçlayan uluslararası tartışmalar için Taraflar Konferansı olarak bilinen yıllık bir forumun da kurulmasını sağlamıştır. Forum, Kyoto Protokolü ve Paris Anlaşması'nın ortaya çıkmasına ayrıca katkı sağlamıştır. Türkiye de 24 Mayıs 2004'te 189. Taraf olarak BMİDÇS'ne katılmıştır. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin ardından 1997'de kabul edilen ve 2005'te yürürlüğe giren Kyoto Protokolü de yasal olarak bağlayıcı ilk iklim anlaşması olarak tanımlanmıştır. Protokol, ülkelerin atmosfere saldıkları karbon miktarını 1990 yılındaki düzeylere düşürmelerini gerekli kılmıştır. Kyoto Protokolü'ndeki amaç; atmosferdeki sera gazı yoğunluğunun, iklime tehlikeli etki yapmayacak seviyelerde dengede kalmasını sağlamaktır. Türkiye de 26 Ağustos 2009 tarihinde Kyoto Protokolü'ne taraf olmuştur.

Bugüne kadarki en önemli küresel iklim anlaşması olan Paris Anlaşması, 2015 yılında Fransa'nın Paris kentinde gerçekleştirilen 21. Taraflar Konferansı'nda kabul edilmiştir. Anlaşma, 5 Ekim 2016 tarihi itibarıyla, küresel sera gazı emisyonlarının %55'ini oluşturan ve en az 55 tarafın anlaşmayı onaylaması koşulunun karşılanması sonucunda, 4 Kasım 2016 tarihi ile yürürlüğe girmiştir. Ülkemiz ise Paris Anlaşması'nı 22 Nisan 2016 tarihinde New York'ta düzenlenen Yüksek Düzeyli İmza Töreni'nde 175 ülke temsilcisiyle birlikte imzalamış ve henüz taraf olmamıştır. Anlaşmanın uzun dönemli hedefi; küresel ortalama sıcaklık artışının sanayileşme öncesi döneme göre 2°C altında tutulması ve bu artışın 1,5°C'nin altında tutulmasına yönelik küresel çabaların sürdürülmesi olarak ifade edilmektedir. İklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı uyum kabiliyetinin ve iklim direncinin artırılması, düşük sera gazı emisyonlu kalkınmanın temin edilmesi ve bunlar gerçekleştirilirken gıda üretiminin zarar görmemesi de diğer bir temel hedef olarak belirtilmektedir. Ülkelerin ayrıca gerçekleştirecekleri azaltım, uyum, finans, teknoloji transferi ve kapasite inşası konusundaki faaliyetlerinin "Ulusal Katkı Beyanı" adı altında her 5 yılda bir sunmaları öngörülmüştür. Türkiye, Paris Anlaşmasına taraf olmamakla birlikte, niyet edilen Ulusal Katkı Beyanını 30 Eylül 2015 tarihinde sözleşme sekreteriyasına sunmuştur. Bahsi geçen sözleşme/protokoller ve dahası, sera gazı probleminin ulusal boyutta atılacak adımlar ile çözülemeyeceğini kanıtlar niteliktedir. Tüm bu girişimler konunun küresel boyutta incelenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Ülkemiz mevcut durumda dünya sera gazı salınımında önde gelmesi dahi bu protokollerin yaptırımlarını takip ederek üzerine düşen görevi yerine getirmeye çalışmaktadır (BMİDÇS ve Türkiye, 2018).

Yukarıda bahsi geçen protokol ve sözleşmeler, ülkelerin sürdürülebilir ulaşım için atması gereken adımlara hem öncülük etmesi hem de bir çerçeve oluşturması bakımından önemlidir. Bahsi geçen sözleşme ve protokoller, sera gazı salınımının sınırlandırılması gerektiğinden ve kaynağından bahsederek ülkeleri bu alanda çalışmaya teşvik etmektedir. Dolayısı ile ülkeler; sözleşmeler ve protokollerde yer alan yaptırımları yerine getirmek adına başta

otomobil teknolojisi, trafik yönetim sistemleri ve idari yaptırımlar olmak üzere birçok yeniliği takip etmek durumunda kalmıştır. Öyle ki; sera gazlarının etkilerini azaltmayı amaçlayan ilave mevzuat ve politikalar üzerinde çalışmalar yürütmektedirler. Aşağıda bazı ülkelerin bu çalışmalarından birkaçına yer verilmiş olup bu çalışmalarını yukarıda bahsi geçen protokol ve sözleşmelerin bir sonucu olarak düşünmek doğru olacaktır. Bunlar;

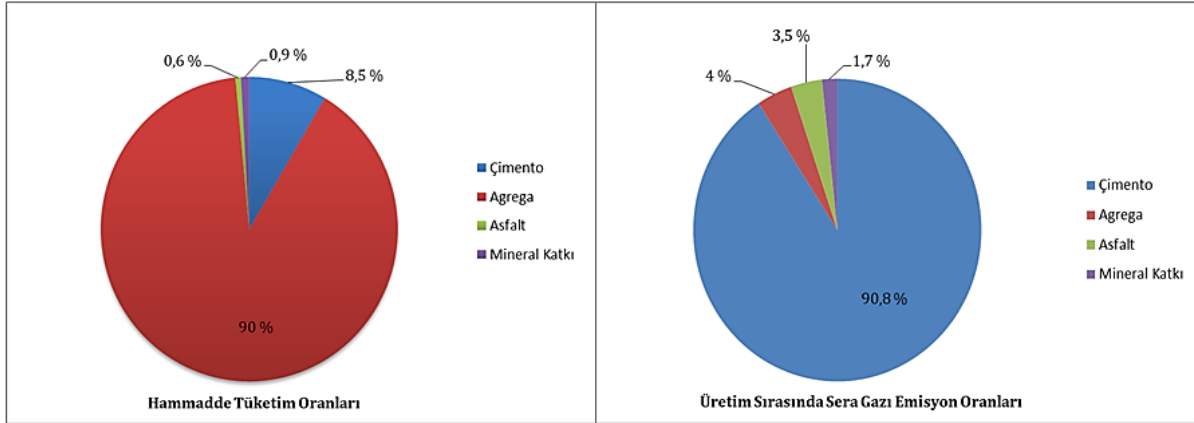
- Enerji tasarruflu otomobiller: Örneğin; Kanada [Araç Emisyonları Yönetmeliği], Japonya [Enerji Koruma Yasası]; Hollanda [Düşük CO₂ Emisyonlu Yakıtların Kullanımını Teşvik Etmek İçin ÖTV'lerin Değişkenleştirilmesi - Hız Limitlerinin Uygulanması], Norveç [Otomobillerde Satın Alma Vergisi], Birleşik Krallık [CO₂ emisyonlarına göre farklılık gösteren Araç Tüketim Vergisi], Amerika Birleşik Devletleri [Kurumsal Ortalama Yakıt Ekonomisi (CAFE) - Gas Guzzler Tax - Alternatif Motor Yakıtları Yasası].
- Yakıt vergileri: Avustralya, Kore, İsviçre ve Birleşik Krallık'ta olduğu gibi yakıt kullanımını sınırlandırmaya amaçlayan vergilendirme sistemi kullanılmaktadır.
- Trafik akışını iyileştirme: Avustralya, Japonya, Kore, Çek Cumhuriyeti, Hollanda, Birleşik Krallık, Amerika Birleşik Devletleri'nde olduğu gibi karayolu trafik akışını iyileştirmeye yönelik idari yaptırımlar yürütülmektedir.
- Mali önlemler: Pek çok ülkede, tüketicileri yakıtı daha verimli kullanan arabaları satın almaya, arabalarını daha az kullanmaya ve daha yakıt verimli bir şekilde araç kullanmaya teşvik etmek için mali önlemler uygulanmaktadır.
- Gönüllü antlaşmalar: Örneğin; İtalyan Çevre Bakanlığı ile FIAT arasında yapılan antlaşma ile 1997'de FIAT Grubu, yeni araç filosunun ortalama emisyonlarını 2005 yılına kadar 145 g/km'ye ve 2010 yılına kadar ise 136 g/km'ye düşürmeyi taahhüt etmiştir. Antlaşma ayrıca alternatif enerjilere (elektrik, hibrit, doğal gaz, biyoyakıt) ve yeni mimarilere dayalı araçların geliştirilmesini ve kullanımını teşvik etmeyi de amaçlamıştır. Ayrıca minimum çevresel etkiye sahip olmanın yanı sıra eski arabaların çevreye yük oluşturmamasını sağlamayı da taahhüt etmiştir.

4. Karayolu Ulaşımında Sera Gazını Azaltmaya Yönelik Başlıca Yaklaşımlar (Major Approaches for Reducing Greenhouse Gas Emissions in Highway)

Ulaşım sektörünün çevre üzerindeki etkileri küresel, ulusal ve yerel olmak üzere üç farklı ölçekte değerlendirilmelidir (Şekercioğlu ve İncekara, 2017). Bahsi geçen üç ölçek için de yüksek gaz emisyonu ile çevre üzerindeki etkileri değerlendirildiğinde karayolu ulaştırması ilk sırada gelmektedir. Ayrıca Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre ulaşım sektörü, elektrik ve ısı üretimi sektörlerinden sonra en fazla karbon ayak izi salınımı yapan sektör olup, bu emisyonların %70'inden fazlası karayolu ulaşımından kaynaklanmaktadır (Bıyık ve Civelekoğlu, 2018; Özen ve Tüydüş-Yaman, 2013). Bunda karayolu ulaşımında fosil yakıt kullanım oranının oldukça yüksek olmasının payı büyüktür. Bu bağlamda özellikle sera gazı emisyonundaki artışı azaltmak için düşünülen ilk önlem, fosil yakıt kullanımını yerelden başlayarak küresel ölçüğe doğru bir bütün olarak azaltma fikri olmaktadır. Ancak sadece fosil yakıt kullanımını azaltma yönteminin tek başına yeterli ve dünya genelinde yaygın olmasını beklemek çok da doğru bir yaklaşım olmayacaktır. Zira ulaşım sektöründe yaşanacak değişimler ve gelişmeler, sektörün dinamizminin çok yönlü olması sebebiyle değişkenlik göstermektedir. Bu sebeple birden fazla önleyici uygulama sayesinde sera gazını azaltma ile beklenen verimin sağlamak çok daha doğru olacaktır. Konuya ilişkin literatürde sera gazını azaltarak istenen sürdürülebilir ulaşım için yedi ana başlık sunulmuştur. Bunlar; alternatif yakıtların kullanımı, benzin tasarrufu yapan araçların teşviki, araç kullanımının azaltılması, ulaştırma için kullanılan alanların azaltılması, akıllı taşımacılık sistemlerinin geliştirilmesi, entegre taşımacılık sistemleri ve nihayetinde seyahatlerin azaltılması diye sıralanmaktadır (Peng vd., 2010). Bahsi geçen bu başlıklar ağırlıklı olarak servis ömrü sırasında salınan sera gazı salınımını azaltmaya veya en azından kısıtlamaya yönelik önlemler olarak sayılmaktadır. Yukarıdaki bölümlerde de bahsedildiği üzere üretim ve uygulama aşamasında da sera gazı salınımının olduğu bilinmektedir. Bu aşama için de hammadde temini/üretimi, karışım/yol tasarımı, döküm/sıkıştırma yöntemlerine alternatifler sunmak da yine sera gazını azaltmaya yönelik sunulan başlıklar arasında sayılmalıdır. Hem üretim/uygulama hem de servis ömrü için sunulan bu önlemler yerelden küresel ölçüğe doğru gün geçtikçe yaşanan teknolojik gelişmelerin de etkisiyle artış gösterme eğilimindedir.

Dünyada karayolu ulaşımından kaynaklı sera gazını azaltmaya yönelik uygulamaların özellikle Çin ve ABD gibi sera gazı salınımında önde gelen ülkelerde ağırlıklı olarak yürütüldüğü görülmektedir. Öyle ki, Çin'de yol yapımından kaynaklanan sera gazı emisyonları, fosil yakıt kullanımından ayrı tutularak yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi kullanılarak hem ulusal hem de il düzeyinde hesaplanmıştır. Chen vd. tarafından 2017 yılında yürütülen çalışmada, yol yapımı ile ilgili sera gazı emisyonlarına daha fazla dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Çalışmada ayrıca beton ve asfalt yol yapımı, yol sınıfı, şerit sayısı ve yol uzunluğu gibi parametrelerin sera gazı salınımında etkileri incelenmiştir. Çalışmanın sonuçları arasında çimento üretiminin toplam emisyonların % 87'sinden sorumlu olduğu ve hammadde üretim aşamasından kaynaklanan sera gazı emisyonlarını azaltmak için bu üretim için önlemlerin alınması gerektiği belirtilmiştir. Asfalt yolun ise beton yola göre üretim aşamasında %39-63 daha az sera gazı salınım gerçekleştirdiği ifade edilmiştir. Çalışmanın bir diğer

önemli noktası ise yol yapımında tüketilen hammadde miktarları ile bu hammaddelerin üretimi sırasında açığa çıkan sera gazı emisyon değerlerini karşılaştırmasıdır. Çalışma çimentonun yol yapımında toplam malzeme ağırlığının yalnızca %8,5'ini oluşturmasına rağmen hammadde üretim aşamasındaki sera gazı emisyonlarının %90,8'inden sorumlu olduğunu ortaya koymuştur. Buna karşılık, yol yapımında agrega kullanımı toplam ağırlığın %90,0'ını oluştururken sera gazı emisyonlarının yalnızca %4,0'ından sorumludur. Çalışma özetle; hammadde üretiminden başlayarak uygulama aşaması da dahil sera gazı salınımının yolun hizmet öncesi dönemde de varlığına dikkat çekmiştir (Chen vd., 2017). Dolayısı ile sürdürülebilir yol yapımı için sera gazı salınımını minimum seviyede tutmayı hedef alan bu çalışmalar; hammadde temininde atık değerlendirilmesini, alternatif ve çevre dostu malzeme arayışını, stratejik yol tasarımını ve bakım-onarım-iyileştirme uygulamaları gibi konuları gündeme getirmektedir (Plati, 2019).



Şekil 6. Hammadde tüketim oranları ve üretim sırasındaki sera gazı emisyon oranları (Raw material consumption rates and greenhouse gas emission rates released during production) (Chen vd., 2017)

Çin'den sonra ulaşım sektörü, ABD için de petrol bağımlılığının birincil nedenidir. Dolayısı ile küresel ısınmaya sebep olan sera gazlarının emisyonunun dörtte birinden fazlasından sorumludur. Bu durum, ABD'de bu konu üzerine yapılan çalışmaları önemli kılmaktadır. Konuya ilişkin olarak 2011 yılında hazırlanan raporda; ABD'de ulaşımdan kaynaklanan sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltıp azaltamayacağı incelenmiş ve teknoloji, politika ve kamusal tutum senaryosu adı altında üç ana başlık oluşturulmuştur. Teknoloji başlığı altındaki yaklaşım; genel olarak mevcut yakıt tüketimini azaltmaya, alternatif yakıt (elektrik, biyoyakıt ve hidrojen den oluşan bir yakıt karışımı vs.) kullanmaya ve buna bağlı değişen araç teknolojilerine yöneliktir. Politika başlığındaki yaklaşım; düşük karbonlu yakıtlar, gelişmiş araçlar ve düşük emisyonlu ulaşım modlarına teşvikin artırılmasına yöneliktir. Özellikle bu aşamada karbon kullanımına bir fiyat koymak, kapsamlı bir sera gazı azaltma politikasının kritik bir bileşeni olarak ifade edilmiştir. Bugün var olan teknolojiyi pazara çekmek, gelecek için teknolojik gelişmeyi desteklemek ve fosil yakıtlara bağımlılığa sebep olan politikaların düzeltilmesi de ayrıca bu başlığın hedefleri arasında sayılmıştır. Kamusal tutum başlığında ise toplumun gerekli kamu politikalarını desteklemesi ve tüketiciler olarak ileri teknolojileri seçerse, kamu politikası, teknolojik ilerleme ve pazar başarısının karşılıklı olarak pekişeceği vurgulanmıştır (Greene ve Plotkin, 2011). Yukarıda bahsi geçen Çin ve ABD ülkelerinin çalışmaları da göz önüne alınarak karayolu ulaşımından kaynaklı sera gazı emisyonunu azaltmaya yönelik başlıca önlemler, aşağıda tablo halinde sunulmak istenmiştir. Aşağıda verilen tablo, sera gazı emisyonundaki artışı azaltmaya yönelik alınacak güncel önlemleri özetler niteliktedir.

Dünyada önemi gün geçtikçe artan ulaşımında sürdürülebilirlik çalışmaları ülkemizde de Ulaştırma Özel İhtisas Komisyonu tarafından hazırlanan 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı'ndan başlayarak ele alınmıştır. Komisyon, gelişmiş ülkeler dahil birçok yerde yük ve yolcu taşımacılığında halen karayoluna olan talebin yüksek olduğunu ifade etmiştir. Dolayısı ile ulaşım ağları içerisinde karayolunda sürdürülebilirliğin ağırlığını ortaya koymuştur. Bu bağlamda karayolu teknolojisi, karayolu yönetimi, sürdürülebilir gelişme ve karayollarının ulaşım sistemindeki rolü, kullanıcı görüşlerinin değerlendirilmesi, harcama yapmaya değer olma durumu ve teknoloji transfer gibi altı ana başlığa dikkat çekilmiştir. Bahsi geçen bu başlıkların ağırlıklı olarak toplumsal ve ekonomik değerlendirmeye yönelik olduğu görülmektedir. Çevre üzerindeki etkiler için ise Çevresel Etki Değerlendirmesine (ÇED) ihtiyaç olduğu ifade edilmiştir. Bahsi geçen değerlendirme içerisinde sera gazı emisyonundan kaynaklı sürdürülebilir ulaşım için atılması gereken adımların detayına yer verilmemiştir. Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği (TÜSİAD) tarafından hazırlanan bir raporda da bu durum; iklim değişikliği ve ulaştırma konularında hazırlanan strateji belgelerinde Türkiye'nin sera gazı emisyonları konusunda ulaştırma hedeflerine yeterince vurgu yapılmadığı beyan edilmiştir (TÜSİAD, 2016).

Tablo 1. Sera gazı emisyonunu azaltmaya yönelik önlem ve örnekler (Measures and examples to reduce greenhouse gas emissions)

SERA GAZI EMİSYONUNU AZALTMAYA YÖNELİK BAŞLICA ÖNLEMLER	ÖRNEKLER
Yakıt Tüketimini Azaltma	Bireysel araç kullanımını sınırlandırma, toplu taşıma araçlarının kullanımı, şehir içinde sabit hız uygulaması, kısa mesafelerde yaya ve bisiklet kullanımı vs.
Alternatif Yakıt Tercihi	Elektrik, hidrojen ve bio-enerji vs. yakıt kullanımı.
Yaşam Döngüsü Analizleri	Yol projelerinin üretim aşamasından başlanarak uygulama süreci de dahil hammadde temini, üretimi, karışım ve yol tasarımı, uygulama süreçlerindeki sera gazı emisyon değerleri ile hizmet ömründeki sera gazı emisyon değerlerinin projenin ilerleyen süreçlerine olan etkisinin incelenmesi üzerine yapılan çalışmalar.
Yakıt Tasarrufuna Yönelik Tasarımlar	Beton yollar, sürtünmeyi azaltacak önlemler, yakıt tasarrufu yapan araç sistemleri vs.
Sürdürülebilir Yol Yapımı	Atık değerlendirme, alternatif ve çevre dostu malzeme seçimi, bakım-onarım-iyileştirme çalışmaları, stratejik yol tasarım çalışmaları vs.
Araç Teknolojisi Geliştirme	Elektrikli veya hibrit araç teknolojisinin entegre edilmesi vs.
Trafik Yönetim Sistemleri	Trafik akış modlarının ve planlarının düzenlenmesi, ulaşım modları ve dağılımının düzenlenmesi vs.
Akıllı Ulaşım Sistemleri	Elektrik enerjisi üreten yollar, şarj istasyonları, yol üstyapısından güneş enerjisi üreten sistemler, raylı sistemlerin entegre edilmesi vs.
İdari Yaptırımlar	Karbon salınımını sınırlayıcı, yakıt kullanımı azaltıcı, trafik ağlarını düzenleyici vs. idari yaptırımlar.
Hareketliliği Azaltma	Seyahatlerin azaltılması, şehir içi hareketliliği azaltıcı önlemler, uzaktan öğrenme/çalışma modellerinin aktifleştirilmesi vs.

2018 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) Kapsamında hazırlanan Türkiye'nin Yedinci Ulusal Bildirimi raporunda ise konuya ilişkin olarak Türkiye'nin sera gazı emisyonu azaltım politikaları için aşağıdaki bazı çerçeve maddelere yer verilmiştir. Bunlar;

- Karayolu taşımacılığı payının azaltılması, denizyolu ve demiryolu taşımacılığı payının artırılması, yük ve yolcu taşımacılığında ulaştırma araçlarının dengeli kullanımının sağlanması,
- Kombine taşımacılığın artırılması,
- Kentsel alanlarda sürdürülebilir ulaştırma yaklaşımlarının uygulanması,
- Alternatif yakıtların ve temiz araçların teşvik edilmesi,
- Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi (2014-2023) ve Eylem Planı (2014-2016) ile yakıt tüketimini ve karayolu taşımacılığı emisyonlarının azaltılması,
- Hızlı tren projelerinin gerçekleştirilmesi,
- Kentsel demiryolu sistemlerinin artırılması,
- Tünel projeleri ile yakıt tasarrufunun sağlanması,
- Eski araçların trafikten çıkarılması,
- Enerji verimliliğini sağlayacak yeşil liman ve yeşil havaalanı projelerinin uygulanması,
- Deniz taşımacılığı için özel tüketim vergisi muafiyetlerinin uygulanması olarak sıralanmıştır.

Yukarıdaki maddelere ilave olarak Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı'nda (2011-2023), sera gazı emisyonunu azaltacak birkaç hedef ve politikaya da ayrıca yer verilmiştir. Bunlar;

- 2023'e kadar demiryollarının yük taşımacılığındaki payını %15 ve yolcu taşımacılığındaki payını ise %10 yükseltmek,
- 2023 itibariyle deniz yollarının kabotaj yük taşımacılığındaki payını %10, yolcu taşımacılığındaki payını %4 yükseltmek,
- 2023 itibariyle karayolu yük taşımacılığındaki payı %60'ın altına ve yolcu taşımacılığındaki payı %72'ye düşürmek,
- 2023 yılına kadar Ulaştırma Ana Planı'nı hazırlamak ve uygulamaya koymak,
- Şehir içi taşımacılıkta bireysel araçların emisyon artış oranını sınırlandırmak,
- Şehirlerde sürdürülebilir ulaştırma planlamasının uygulanması için 2023 sonuna kadar gerekli mevzuat, kurumsal yapı ve rehberlik belgelerinin geliştirilmesi,
- Alternatif yakıtların ve temiz araçların teşvik edilmesi (Zaman Aralığı: 2020-2023),
- Toplu taşıma araçları için yaş sınırı koyma stratejisinin benimsenmesi ve uygulanması (Zaman Aralığı: 2015-2023),
- Enerji verimliliğine sahip kara, deniz, hava aracı üretiminde, yatırımların desteklenmesinde teşvik mekanizmalarının yaratılması (Zaman Aralığı: 2015-2023) diye sıralanmıştır.

Ulaşımında sürdürülebilirlik kavramının yukarıda bahsi geçen önlemler, politikalar ve eylem planları da göz önüne alındığında hem dünyada hem de ülkemizde önemli olduğu ortadadır. Bu fikrin oluşmasında dünya genelinde hazırlanan sözleşme ve protokollerin ülkeler üzerindeki yaptırımlarını etkisi de yadsınamaz bir gerçektir. Ancak bahsi geçen önlemler ve uygulamaların ne ölçüde hayata geçirildiğini denetlemek bu noktada daha da önem kazanmaktadır. Alınması istenen önlemlerin ve uygulamaların birçoğu incelendiğinde dünya genelinde akla ilk gelen önlem, karayolu ağı kaynaklı yakıt tüketimini sınırlandırmak veya azaltmaktır. Bu durum oluşmasında fosil yakıt kullanımının sera gazı emisyonundaki artışın birincil sebebi olarak gösterilmesinin etkisi büyüktür. Ancak bu çalışmada da değinildiği üzere ulaşım sektörü, yol yapım aşamasında da sera gazı emisyonuna sebep birçok aşamadan geçmektedir. Dolayısı ile dünyada sera gazı salınımlarında önde gelen ülkelerin yapım aşamasından başlanarak ulaşım sektörünün sürdürülebilirliğini ele almaya başladığı görülmektedir. Ülkemizin de bu konu hakkında farkındalığa ulaşması alınacak önlemlerin ve yapılacak yol projelerinin sürdürülebilirliği noktasında gittikçe önem kazanmaktadır.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Sürdürülebilirlik ile ulaşım sektörünün günümüzde geline noktasında hem dünyada hem de ülkemizde nasıl algılandığını bilmek bu çalışmanın bir çıktısı olarak düşünülmelidir. Ulaşımında sürdürülebilirlik dendiği zaman çevre, toplum ve ekonomi üzerindeki etkileri birlikte ele alınmalıdır. Çalışmanın da konusu olan sürdürülebilir ulaşımında sera gazı etkisi tam olarak bu amaca hizmet etmektedir. Öyle ki sera gazı emisyonundaki artışa bağlı olarak çevre üzerinde yarattığı etkiler ile ulaşım sektörü, toplum ve ekonomi alanında birtakım girdi ve çıktıları da beraberinde getirmektedir. Bu da ulaşım sektörünün geleceğinin çevre, toplum ve ekonomi ile birlikte şekillenmesini zorunlu hale getirmektedir. Dahası sektörün küresel etkileri de düşünüldüğünde dünya genelinde sera gazı emisyonunu azaltmaya yönelik yaptırımların varlığı, sürdürülebilir ulaşım kavramını ulusal ölçeğin de ötesine taşımaktadır. Dünyada özellikle sera gazı salınımı ile ilk sıralarda bulunan Çin ve ABD, ulaşım sektöründen kaynaklı bu sorunu çözerken sürdürülebilirlik kavramından yararlanmaktadır. Bu ülkelerin konuya ilişkin çalışmaları başta ülkemiz olmak üzere diğer ülkeler için de öncülük etmektedir. Genel olarak sürdürülebilir ulaşımında sera gazı etkisini azaltmaya yönelik çalışmalar incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır. Bunlar;

- Ülkelerin ulaşımında sera gazı emisyonunu azaltmaya yönelik çalışmalarının öncelikli hedefi, servis ömrü boyunca fosil yakıt kullanımını azaltmaktır.
- Fosil yakıt kullanımını azaltmak için yürütülen sürdürülebilirlik çalışmalarında ülkelerin genel yaklaşımı, ulaşım ağları arasında karayolu ulaşımının payını düşürmek gelmektedir.
- Fosil yakıt kullanımını önemli sera gazı kaynağı olmasına karşın başta Çin'de yapılan çalışmalarda ortaya konduğu üzere yol yapım aşamasında da sera gazı salınımı gerçekleşmekte olup bu miktar yadsınamaz bir boyuttadır. Dolayısı ile bu sürece ait sera gazı salınımı da kontrol altında tutulmalıdır.
- Dünyada sera gazını azaltmaya yönelik önlemlere teknolojik gelişmelerin de (akıllı ulaşım sistemleri, trafik yönetim sistemleri ve yenilikçi araç teknolojileri gibi) entegre edildiği görülmektedir. Bu durum çok yönlü durum değerlendirme becerisinin bir sonucudur.
- Yol projelerinin yapım aşamasından hizmet alma aşamasına kadar sera gazı emisyonunun sektörün sürdürülebilirliğine olan etkisi yaşam döngüsü değerlendirme çalışmaları ile ortaya konmalıdır.
- Sürdürülebilir ulaşımında sera gazı etkisini azaltmak için bütüncül bir yaklaşıma geçilmelidir. Dolayısı ile sera gazı salınımını önlemeye yönelik çalışmalarda yol yapım ve hizmet ömrü aşamaları ayrı

değerlendirilmemelidir.

- Dünyada yol yapım aşamasındaki sera gazı kaynağından bahsedilirken ülkemizde henüz bu aşama, sürdürülebilir ulaşım çalışmalarına dahil edilmemiştir.
- Ülkemizde sürdürülebilir ulaşım kavramı daha çok karayolu ulaşım ağında yakıt kullanımı azaltmaya ve karayolu ulaşım modunun yüzdesini düşürmeye yönelik yoğunlaşmıştır.
- Sera gazının sürdürülebilir ulaşımdaki yerinin şekillenmesinde, dünya genelinde hazırlanan sözleşme ve protokollere ait yaptırımların ciddi payı bulunmaktadır.
- Ulaşım sektörünün küresel etkileri düşünüldüğünde ülkemiz, dünya genelinde konuya ilişkin eylem planlarını ve önlemleri dikkatle takip etmelidir.
- Çevreden yoksun toplum ve ekonomi üzerine kurulu çalışmalar, sürdürülebilirlik adı altında değerlendirilmemelidir. Neticede çevre, ekonomi ve sosyal yapının beklentilerinin optimum seviyede karşılanması durumunda sürdürülebilirlik kavramından bahsedilebilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

Kaynaklar (References)

- Altınöz, E, Terzi, S., 2020. Karayollarında Üstyapı Tipinin Karbon Ayak İzi Etkisinin Araştırılması. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8 (2), 451-459. DOI: 10.21923/jesd.572467
- Bıyık, Y., Civelekoğlu, G., 2018. Ulaşım Sektöründen Kaynaklı Karbon Ayak İzi Değişiminin İncelenmesi. Bilge International Journal of Science and Technology Research, 2 (2): 157-166.
- BMİDÇS ve Türkiye, 2018. İnternet Erişim Adresi: <https://iklim.csb.gov.tr/bmidcs-ve-turkiye-i-4376>
- Chen, J., Zhao, F., Liu, Z., Ou, X., Hao, H., 2017. Greenhouse gas emissions from road construction in China: A province-level analysis. Journal of Cleaner Production, 168, 1039-1047.
- Dam, M. M., 2014. Sera Gazı Emisyonlarının Makroekonomik Değişkenlerle İlişkisi: OECD Ülkeleri için Panel Veri Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adnan Menderes Üniversitesi, 1-159.
- Dikmen, Ç. B., Gültekin, A. B., 2011. Usage Of Renewable Energy Resources In Buildings in The Context Of Sustainability. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 1 (3), 96-100.
- Diler, A., 2006. Şehir İçi Toplu Taşımacılıkta Kullanılan Otobüslerde Doğal Gaz Kullanımının Karbon Dioksit Emisyonlarına Etkileri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Global GHG Emissions from Transportation by Major Country, 2018. <https://www.statista.com/statistics/1084166/ghg-emissions-transportation-sector-globally-by-country/>
- Global Sustainable Development Report, 2019. İnternet Erişim: <https://sustainabledevelopment.un.org/globalsdreport/2019>
- Greene, D. L., 1997. Sustainable Transport. Journal of Tmnsporti Geography, 5(3), 177-190.
- Greene, D. L., Plotkin, S. E., 2011. Reducing Greenhouse Gas Emissions from U.S. Transportation. PEW Center on Global Climate Change.
- Kim, B., Lee, H., Park, H., Kim, H., 2012. Framework for Estimating Greenhouse Gas Emissions Due to Asphalt Pavement Construction. Journal of Construction Engineering and Management, 138(11): 1312-1321.
- Ma, F., Sha, A., Lin, R., Huang, Y., Wang, C., 2016. Greenhouse Gas Emissions from Asphalt Pavement Construction: A Case Study in China. International Journal of Environmental Research and Public Health, 13(3), 351.
- Oral, O., Uğuz, S., 2020. Türkiye'deki Farklı Sektörlere Ait Sera Gazı Emisyon Değerlerinin Çok Katmanlı Algılayıcılar ve Topluluk Öğrenmesi Yöntemleri ile Tahmin Edilmesi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 12(2), 464-478.
- Our World in Data, 2020. İnternet Erişim: <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport>.
- Önder, H. G., Akdemir, F. 2019. Türkiye'deki kentiçi raylı toplu taşıma sistemlerinin ulaşım ana planları bağlamında değerlendirilmesi. Demiryolu Mühendisliği, 10, 31-45.
- Özen, M., Tüydüş-Yaman, H., 2013. Türkiye'de Şehirlerarası Yük Trafığı CO2 Emisyonlarının Tahmini. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17(3), 56.
- Özmen, M. T., 2009. Sera Gazı- Küresel Isınma ve Kyoto Protokolü. Türkiye Mühendislik Haberleri, 42-46.
- Peng, Z., Shen, S., Lu, Q., Perch, S., 2010. Climate Change and Transportation. M. Kutz (Eds.) Handbook of Transportaion Engineering Volume II, New York: McGraw Hill.
- Plati, C., 2019. Sustainability Factors in Pavement Materials, Design, and Preservation Strategies: A Literature Review. Construction and Building Materials, 211, 539-555.
- Report of the World Commission on Environment and Development - Our Common Future, 1987. İnternet Erişim: <https://sustainabledevelopment.un.org/milestones/wced>
- Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, 2001. Ulaştırma Özel İhtisas Komisyonu.
- Sperling, D., Salon, D., 2002. Transportation in Developing Countries: An Overview of Greenhouse Gas Reduction Strategies. University of California Transportation Center; Earlier Faculty Research.
- Sustainable Mobility for the 21st Century. (2017, July 10). World Bank. <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2017/07/10/sustainable-mobility-for-the-21st-century>
- Şekercioğlu, S., İncekara, B., 2017. Ulaştırma Politikalarının Dönüşümü : Sera Gazı Azaltımının Planlaması. 12. Ulaştırma Kongresi (Ulaştırma Politikaları), 181-190.
- Türkiye Cumhuriyeti İklim Değişikliği Eylem Planı 2011 - 2023, 2012. Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı,

Ankara

Türkiye'nin Yedinci Ulusal Bildirimi, 2018. Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

TÜSİAD, 2016. Ekonomi Politikaları Perspektifinden İklim Değişikliğiyle Mücadele. TÜSİAD-T/2016 T/2016, 12-583. ISBN 978-605-165-019-7. İstanbul.

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014. İnternet Erişim: Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

World Population Review, 2021. İnternet Erişim: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/greenhouse-gas-emissions-by-country>

Yavuz, V. A., 2010. Sürdürülebilirlik Kavramı ve İşletmeler Açısından Sürdürülebilir Üretim Stratejileri. Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 7(14), 63-86.