



Türkiye’de Şehirlerarası Yük Trafiği CO₂ Emisyonlarının Tahmini

Murat ÖZEN*¹, Hediye TÜYDEŞ YAMAN²

¹Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 33343, Mersin

²Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara

(Alınış Tarihi: 13.03.2013, Kabul Tarihi: 17.12.2013)

Anahtar Kelimeler

Şehirlerarası kamyon emisyonları
Karayolu yük taşımacılığı
Yol kenarı dingil ağırlığı etütleri
COPERT 4

Özet: Türkiye’nin de içinde bulunduğu birçok ülkede karayolu yük taşımacılığı sektörden çok fazla pay almaktadır; bu durum çevre ve sürdürülebilirlik konuları açısından giderek artan bir kaygı yaratmaktadır. Bu konuda daha iyi stratejilerin geliştirilebilmesi için öncelikle karayolu yük taşımacılığı emisyonlarının hesaplanması gerekmektedir. Türkiye’deki gibi yük akış verisi olmayan yerlerde bu hesapların sağlıklı yapılması çok zordur. Bu çalışmada bu soruna çözüm olarak, karayolu yük taşımacılığında kaynaklı emisyonların hesaplanmasında ulusal karayolu trafiği istatistiklerini yol kenarı dingil ağırlığı etütlerinden toplanan verilerle birleştiren bir yöntem önerilmiştir. Dingil ağırlığı etütleri devlet yollarında gerçekleştirildiği için önerilen yöntem “şehirlerarası” yük trafiği emisyonlarını hesaplamaktadır. Bu yöntem ile 2000-2009 yılları arasındaki emisyonlar COPERT 4 programı kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar incelenen dönemde şehirlerarası devlet yollarındaki yük taşımacılığında kaynaklı emisyonların neredeyse sabit kaldığını ve en son 2009 yılında 12.076 kiloton CO₂ ürettiğini göstermektedir. Bu değer 2009 yılı ulusal ulaşım sektörü emisyonlarının %25,9’una karşılık gelmektedir.

Estimation of CO₂ Emissions from Inter-City Freight Transportation in Turkey

Keywords

Inter-city truck emissions
Highway freight transportation
Roadside axle surveys
COPERT 4

Abstract: Recently, road freight transportation dominates the freight sector in many countries including Turkey, which is causing a growing concern about environmental and sustainability issues. To develop better policies, road freight emissions have to be determined. Such evaluations are very challenging in the absence of disaggregate commodity flow data, which is the case in Turkey. As a solution, to calculate truck freight transportation emissions a model that combines national level national freight transportation statistics with detailed information collected from roadside axle surveys is proposed. As the roadside axle load surveys are performed on intercity roads, the proposed model can provide emission for intercity truck transportation. Emissions are estimated for the period of 2000 to 2009 using COPERT 4 software. Besides, the level of CO₂ emissions is almost same in 2009 and 2000. This amount corresponded to the 25.9% of the national transportation sector emissions in 2009.

1. Giriş

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 (OECD-ITF, 2008a; EEA, 2010). Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre ulaşım sektörü elektrik ve ısı üretimi sektörlerinden sonra en fazla emisyon üreten

sektör olup, 2008 yılında 6,5 Gt. CO₂ emisyonu üretmiştir (IEA, 2010). Bu miktar enerji kaynaklı emisyonların %22’sine karşılık gelmektedir. Ulaşım sektöründeki bu emisyonların %70’inden fazlası karayolu ulaşımı kaynaklıdır (OECD-ITF, 2008b). Karayolunun payının bu kadar yüksek olmasındaki nedenlerden bir tanesi de yük taşımacılığıdır. Günümüzde karayolu yük taşımacılığına olan talep yolcu taşımacılığına olan talepten neredeyse daha hızlı artmaktadır ve bu durumun gelecekte de devam etmesi beklenmektedir (Kahn Ribeiro vd., 2007).

* İlgili yazar: mozen@metu.edu.tr

Böylece birçok ülkede yük taşımacılığı karayoluna ve kamyonlara bağımlı hale gelmektedir (EEA, 2000). Bu eğilim karayolu yük taşımacılığının çevresel etkilerinin araştırılması konusunu daha önemli bir hale getirmiştir (Piecnyk ve McKinnon, 2010). Ülkemizde de karayolu, yük taşımacılığının %90'lık bir kısmına hakimdir (TUİK, 2012a). Bu durum, öncelikle bu hareketliliğin yarattığı çevresel etkilerin araştırılmasını ve buna bağlı olarak bir takım stratejilerin üretilmesini zorunlu kılmaktadır.

Literatüre baktığımızda karayolu yük talep ve emisyon modellerinin genellikle yük akış verisi kullandığını görmekteyiz. Bu tür modellerin ülkemize uygulanması, yük akış verisinin mevcut olmaması sebebiyle mümkün değildir. Ülkemizde mevcut en detaylı yük taşımacılığı verisi, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından devlet yollarında yapılan yol kenarı dingil ağırlığı etütlerinden elde edilmektedir. Araç ve yolculuk detay bilgilerinin bulunduğu bu etüt verilerini bir örneklem olarak kullanarak Türkiye karayolu yük taşımacılığı için emisyon tahmin modeli geliştirmek mümkündür ve bu çalışmanın ana konusudur. Dingil ağırlığı etütleri şehirlerarası yolları kapsadığından, sunulan modelin gücü de bu şehirlerarası yollardaki emisyonların tahmini ile sınırlıdır. Bu taşımacılık genellikle şehir içine göre daha yüksek hızlarda gerçekleştirilip daha düşük emisyon oranları (gr/km) içermektedir (Sturm ve Hausberger, 2005). Bu modelin geliştirilmesinde Avrupa Birliği ülkelerinde sıklıkla kullanılan COPERT emisyon hesaplama yönteminin son versiyonu olan COPERT 4 kullanılmıştır. Bu yöntemin ihtiyacı olan veriler (kamyon tipleri, emisyon standartları, doluluk oranları, vb.) dingil ağırlığı etütlerinden kolayca elde edilebilmektedir. Bununla birlikte, toplam emisyonlar kadar taşıt tipine veya doluluk oranına göre emisyon değerleri üretilip farklı stratejilerin ve senaryoların çalışılmasını mümkün olmaktadır.

Yapılan çalışmalar birçok ülkede kamyonların yük taşımacılığında baskın olduğunu, alınan önlemlere rağmen yük taşımacılığı enerji tüketiminin ve emisyonlarının artmakta olduğunu göstermiştir (Schipper ve Fulton, 2003; Kamakate ve Schipper, 2009). Steenhof vd. (2006), çalışmalarında Kanada'da artan yük taşımacılığı emisyonlarının öncelikli nedeninin artan talep ve bu talebin kamyonlar tarafından karşılanması olduğunu göstermiştir. Yapılan Yasam Döngüsü Analizleri (LCA) karayolu yük taşımacılığı çevresel etkilerinde en önemli payın kamyon hareketliliğinden kaynaklandığını göstermiştir (Gaines vd., 1998; Spielmann ve Scholz, 2005; Facanha ve Horvath, 2006).

Karayolu ulaşımı CO₂ emisyonları kullanılan yakıtın türü ve miktarı ile yakından ilgilidir. Yük kamyonlarının neredeyse tamamının dizel benzin ile çalıştığı düşünülürse salgılanan emisyonlar tüketilen dizel benzin miktarı ile doğru orantılıdır (Léonardi vd., 2006). Birleşik Krallık'ta en basit yaklaşım olarak

her 1 litre dizel tüketimi için 2,65 kilogram CO₂ salınımı önerilmiştir (DEFRA, 2011). Genel olarak emisyon hesaplama yöntemleri, kullanılan verinin detayına göre üç gruba ayrılır: a) emisyon faktör yöntemleri, b) ortalama hız yöntemleri ve c) model yöntemler (Esteves-Booth vd., 2002). Yukarıda bahsedilen dizel benzin CO₂ emisyon oranı emisyon faktör yöntemlere bir örnektir. Zanni ve Bristow (2010) Londra'da Ulusal Atmosferik Emisyon Envanteri (NAEI) ve Ulusal Ekonomik Araştırma Kurumu (NERA) tarafından önerilen taşıt-km'ye bağlı faktörleri kullanarak kamyon CO₂ emisyonlarını doluluk oranlarını dikkate almadan tahminen hesaplamıştır. COPERT ve ARTEMIS gibi ortalama hız yöntemleri araç tipi ve emisyon tipine göre değişen ortalama hızla bağlı fonksiyonlar kullanılmaktadır (Barlow ve Boulter, 2009). Bu modellerden COPERT Avrupa Birliği ülkelerinde araştırmacılar tarafından en yaygın olarak kullanılan ortalama hız modelidir. Diğer bir yöntem olan model emisyon yöntemleri ise çok detaylı olup hızlanma, yavaşlama, sabit hız evreleri gibi motorun farklı çalışma durumları için farklı emisyon fonksiyonları kullanılmaktadır ve bu nedenle ulusal düzeydeki çalışmalar için elverişli değildir (Esteves-Booth vd., 2002). Demir vd. (2011) kamyonlar için farklı model emisyon yöntemlerinin detaylı literatür taramasını sunup ve bu yöntemleri karşılaştırmıştır.

Kamyonların emisyon salınımında etkili olan diğer faktörler ise sürüş ve güzergah verimliliğidir. Çok fazla vites değiştirerek, hızlanarak ya da yavaşlayarak yapılan bir sürüş emisyonları artırmaktadır (Eibl, 1996). Bu konuda, sürücülere verilen verimli sürüş eğitimleri sonucunda emisyonların azaltılabildiği gözlemlenmiştir (McKinnon, 2007, Freight Best Practice, 2008). Sürüş verimliliği konusu ayrıca güzergah optimizasyonu sağlayan navigasyon, bilgi ve iletişim sistemlerinin kullanılmasını içermektedir (Léonardi and Baumgartner, 2004). Bu konudaki önemli nokta ise seçilen en kısa güzergahın her zaman en az emisyon salınımı yapan olmamasıdır. Seçilen en kısa güzergah, yüksek eğimli yolları ve trafik sıkışıklığındaki kesimleri içeriyorsa emisyonları arttıracaktır (McKinnon, 1999). Benzer şekilde seçilen güzergahdaki kaplama pürüzlülüğünün ve deformasyonlarının yüksek olması da emisyonları arttırmaktadır (BTE, 1997). Fakat, bu tür etkilerin incelenmesi ancak mikro düzeyde detaylı veri ile mümkün olabilmektedir.

Ülkemizde karayolu ulaştırmasından kaynaklı emisyon çalışmaları çok sınırlı sayıdadır. Aslında henüz karayolu yük hareketliliğinin modellemesi bile tam olarak yapılmamış olup; Ünal (2009) geleneksel dört aşamalı talep modelinin ilk iki aşaması olan seyahatin yaratımı ve dağıtılması aşamalarını gerçekleştirmiştir. Soylu (2007) ise genel olarak otomobil ulaşımı kaynaklı emisyonlar ve azaltma stratejilerine yoğunlaşan çalışmasında kamyon emisyonlarını 2003 yılını ait verileri kullanarak

tahmin etmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre kamyonlar 2003 yılında 11,1 milyon ton CO₂ üretmişlerdir. Farklı bir çalışmada ise Ağaçayak (2007) 2003 yılına ait kamyon ulaşımından kaynaklanan nitrojen oksit (NO_x), partikül madde (PM10), kükürt dioksit (SO₂), uçucu organik bileşenler (VOC) ve amonyak (NH₃) emisyonlarını tahmin etmiştir. Her iki emisyon çalışmasında da yazarlar COPERT III programını ve KGM tarafından yayınlanan yıllık istatistiklerin kullanıldığını belirtmiştir. Fakat COPERT modelinin veri gereksinimleri olan kamyon türleri, emisyon tipleri ve doluluk oranları gibi hesaplama detaylarından bahsetmemişlerdir. Bu çalışmaların dışında yük taşımacılığında bağımsız olarak yayınlanmış veriler de mevcuttur. TUİK, 2009 yılında ülke genelindeki doğrudan CO₂ emisyonlarını 299,1 milyon ton olarak tahmin etmiş ve bunun 46,7 milyon tonluk (%15,6) kısmının ulaşım sektöründen kaynaklandığını belirtmiştir (TUİK, 2012b). Vestreng vd. (2009) ise Türkiye’de karayolu ulaşım sektörünün 2005 yılında toplam nitroz oksit (NO₂) emisyonlarının %42’sini ürettiğini belirtmiştir.

2. Materyel ve Metot

2.1 Türkiye’de Karayolu Yük Verisi

Yük taşımacılığı ton-km ve taşıt-km büyüklükleriyle ölçülmektedir. Ton-km büyüklüğü ekonomik açıdan önemli iken taşıt-km taşıt hareketliliği açısından önemlidir. 2009 yılında karayolu 176.455 milyon ton-km ile toplam yük talebinin %89’unu karşılamıştır. Denizyolu ve demiryolu sırasıyla 11.397 milyon ton-km (%5,8) ve 10.326 milyon ton-km (%5,2) paylarına sahip olmuştur. Havayolunun yük taşımacılığındaki payı ise ihmal edilebilecek düzeydedir (TUİK, 2012a).

Bu veriler karayolunun yük taşımacılığındaki baskın rolünü göstermektedir. Literatürde kamyonlar genel olarak normal kamyonlar (rigid trucks) ve kamyon+römork-çekici+yarı römorklar (articulated trucks) olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Çalışmanın devamında kolaylık açısından bu gruplar sırasıyla “standart kamyonlar” ve “büyük kamyonlar” olarak adlandırılacaktır. Tablo 1’de verilen KGM tarafından 2000 ile 2009 yılları arasında yayınlanan veriler incelendiğinde, toplam kamyon taşıt-km 16.861 milyon değerinden 16.366 milyon değerine %2,9’luk bir azalma göstermiştir. Buna rağmen, toplam ton-km 161.552 milyon değerinden 176.455 milyon değerine %9,2’lik bir artış göstermiştir (TUİK, 2012a). Bu süreçte daha yüksek taşıma kapasiteli büyük kamyonlara ait taşıt-km değeri üç kat artmıştır. Bu durum 2003 yılında yürürlüğe giren taşımacılık kanununun yük taşımacılığını büyük kamyonlarla yapılan filo taşımacılığına yönlendirmiş olmasıyla açıklanmaktadır (KGM, 2011).

Ayrıca KGM tarafından karayolu yük hareketliliği hakkında detaylı veri toplamak için dingil ağırlığı etütleri gerçekleştirilmektedir. Her yıl Türkiye’nin neredeyse her bölgesini kapsayacak şekilde seçilen 40’tan fazla noktada 10.000’den fazla araca anket uygulanmaktadır. Bu etütler süresince daha önce belirlenen örneklem sayısında kamyon ve büyük kamyon yol kenarında durdurulup tartılmakta ve sürücüsüne anket uygulanmaktadır. Her bir ankette etüt yerine ait bilgiler (tarih, zaman, yer, yön ve trafik hacimleri, vb.), taşıta ait bilgiler (plaka, kamyon tipi, üretim yılı, aks tipi, azami toplam ağırlık, vb.), seyahate ilişkin bilgiler (ilçe bazında başlangıç ve bitiş noktası) ve yük tipi bilgisi toplanmaktadır. Bu anketlere ait daha detaylı bilgiler Ünal (2009) ve KGM (2011) çalışmalarında bulunabilir.

Tablo 1. 2000-2009 yılları arası karayolu yük taşımacılığı istatistikleri (TUİK, 2012a)

Yıl	Ton-Km (10 ⁶)				Taşıt-Km (10 ⁶)				Toplam (10 ⁶)	
	Standart Kamyon	(%)	Büyük Kamyon	(%)	Standart Kamyon	(%)	Büyük Kamyon	(%)	Ton-Km	Taşıt-Km
2000	139.152	%86,1	22.400	%13,9	15.461	%91,7	1.400	%8,3	161.552	16.861
2001	129.901	%85,8	21.520	%14,2	14.384	%91,4	1.345	%8,6	151.421	15.729
2002	128.225	%85,0	22.688	%15,0	14.247	%91,2	1.375	%8,8	150.913	15.622
2003	128.799	%84,6	23.364	%15,4	14.311	%91,0	1.416	%9,0	152.163	15.727
2004	121.952	%77,7	34.901	%22,3	11.239	%84,6	2.053	%15,4	156.853	13.292
2005	127.297	%76,3	39.534	%23,7	11.982	%83,3	2.396	%16,7	166.831	14.378
2006	130.853	%73,8	46.547	%26,2	12.385	%81,4	2.821	%18,6	177.400	15.206
2007	128.751	%71,0	52.579	%29,0	12.748	%79,2	3.349	%20,8	181.330	16.097
2008	124.190	%68,3	57.745	%31,7	12.304	%77,0	3.678	%23,0	181.935	15.982
2009	107.473	%60,3	68.804	%39,7	11.305	%69,1	5.061	%30,9	176.455	16.366

2.2 COPERT 4 İle Emisyonların Hesaplanması

COPERT 4 programı COPERT modelinin son versiyonu olup kullanılması Avrupa Enerji Ajansı tarafından da tavsiye edilmektedir (EEA, 2007). Bu program karbon monoksit (CO) gibi miktarları kontrol altında tutulan emisyonlar ile karbon dioksit (CO₂) gibi genel birçok emisyon miktarını hesaplamaktadır. Farklı sürüş koşulları farklı emisyon salınım davranışı gösterdiği için, COPERT 4 devlet yolları, il yolları ve otoyollar için ayrı ayrı ortalama hıza bağlı emisyonlar hesaplamaktadır. Ayrıca kamyonlar için %0 ile %100 arasında değişen doluluk oranlarında emisyonları hesaplamak mümkündür (Gkatzoflias vd., 2007). COPERT 4 programı aşağıdaki verilere ihtiyaç duymaktadır.

- Araç özellikleri (kamyon tipleri, azami toplam ağırlıklar, emisyon tipleri, vb.),
- Devlet yolları, il yolları ve otoyollardaki taşıt-km oranları ve ortalama hız değerleri,
- Aylık ortalama en düşük ve en yüksek sıcaklıklar,
- Yakıt tüketimi ve özellikleri.

Kamyon tipleri kullandıkları yakıt, tasarım özellikleri, yük kapasiteleri ve motor teknolojilerine göre farklı gruplara ayrılmaktadır. COPERT 4’te kullanılan kamyon sınıflandırması Tablo 2’de gösterilmiştir. Benzinli kamyonların ülkemizde ve Avrupa’da taşımacılıktaki payı ihmal edilecek düzeydedir. Tasarıma göre kamyonlar standart kamyonlar ve büyük kamyonlar olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Her ana grubun altında azami toplam ağırlığa bağlı olmak üzere birçok sınıf vardır. Azami toplam ağırlık taşıtın boş ağırlığı ile maksimum yük taşıma kapasitesinin toplamından oluşmaktadır. Motor teknolojisine göre 6 farklı Euro standardı bulunmasına rağmen bunlar Türkiye’de Avrupa Birliği ile eş zamanlı olarak yürürlüğe girmemiştir. Dizel motorlar için 2001 yılında Euro I kabul edilmiştir. Euro I öncesi araçlar COPERT modeli tarafından Geleneksel olarak gruplanmaktadır. Euro II ve Euro III yürürlüğe girmemiştir. 2008 yılında ise Euro IV zorunlu hale getirilmiştir. Avrupa Birliği’nde yürürlükte olan Euro V ise henüz ülkemizde yürürlükte değildir.

Türkiye’de yük taşımacılığı emisyonlarının hesaplanmasındaki en büyük zorluk detaylı veri eksikliğidir. Aslında, ne COPERT 4 ne de herhangi bir diğer modelin gereksinimlerini karşılayacak detayda yük taşımacılığı verisi ülkemizde mevcut değildir. Her yıl yayınlanan istatistikler sadece kamyon ve büyük kamyonların toplam ton-km ve taşıt-km değerlerini vermektedir. Kamyonların yaydığı emisyonlarda önemli bir parametre olan doluluk oranları gösteren herhangi bir veri yoktur. Tablo 2’de görülen detayda hareketlilik verisini devlet yolları, oto yollar ve il yolları için ayrı ayrı gereklidir. KGM ise kamyon ve büyük kamyonlar için farklı yol tiplerindeki taşıt-km dağılımını gösteren tek bir veri yayınlamaktadır.

Ayrıca il yolları için yayınlanmış kamyon ve büyük kamyonlara ait ortalama hız verisi mevcut değildir. Yol kenarı dingil ağırlığı etütlerinde araçların emisyon bilgisi toplanmamaktadır. Fakat kamyonların üretim yılları kullanılarak emisyon standartları (Geleneksel, Euro I ve Euro IV) tahmin edilebilmektedir (Liimatainen ve Pöllänen, 2010). Bu çalışmada da benzer yöntem uygulanmıştır.

Tablo 2. COPERT 4 kamyon sınıflandırması (Gkatzoflias vd., 2007)

Kamyon Tipi	Azami Toplam Ağırlık	Euro Standart
Benzinli	> 3,5 t	Geleneksel
Standart Kamyon	< 7,5 t	Geleneksel Euro I Euro II Euro III Euro IV Euro V
	7,5 – 12 t	
	12 – 14 t	
	14 – 20 t	
	20 – 26 t	
	26 – 28 t	
	28 – 32 t	
	> 32 t	
Büyük Kamyon (Kamyon+römork - Çekici+yarı römork)	14 – 20 t	Geleneksel Euro I Euro II Euro III Euro IV Euro V
	20 – 28 t	
	28 – 34 t	
	34 – 40 t	
	40 – 50 t	
	50 – 60 t	

2.3 Önerilen Emisyon Hesaplama Yöntemi

Eldeki mevcut yıllık yük trafiği istatistiklerini ve yol kenarı dingil ağırlığı etütlerini kullanarak yük taşımacılığı emisyonlarını hesaplamak için Şekil 1’de gösterilen yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde önce dingil ağırlığı etüt verileri örnekleme için bir ağ ataması yapılarak incelenen kamyon yolculuklarının taşıt-km değerleri elde edilmekte, bu sayede örnekleme hareketliliği profilleri çıkarılmaktadır. Bu profiller ulusal kamyon yük taşımacılığı profili kestiriminde kullanılıp; yayınlanan ulusal toplam değerler farklı kamyon yolculuk gruplarına paylaştırılmaktadır (Aşama 2) ve COPERT 4 yardımıyla bu grupların emisyonları son aşamada hesaplanmaktadır. Önerilen modelin daha iyi anlaşılabilmesi için bu aşamaların detayları aşağıda verilmiştir.

Aşama 1: Yol kenarı dingil ağırlığı etütlerinde incelenen her kamyon için belirtilen başlangıç ve bitiş noktası arasındaki en kısa yolda gideceği kabul

edilerek bir ağ ataması yapılmaktadır; bu sayede ankete katılan her kamyon için (taşıtın doluluk oranı da göz önünde bulundurularak) taşıt-km değeri, hem standart hem de büyük kamyonlar için bulunmuştur. Bu analizde, kamyonlar için 264 farklı kombinasyon (8 azami toplam ağırlık x 3 Euro Emisyon standardı x 11 doluluk oranı) ve büyük kamyonlar için 198 farklı kombinasyon (6 azami toplam ağırlık x 3 Euro Emisyon standardı x 11 doluluk oranı) mevcuttur. Her bir kombinasyonun taşıt-km değerinin kendi türündeki kamyon (standart veya büyük) toplam taşıt-km değeri içerisindeki yüzdesi hesaplanmıştır. Örnek olarak, %30 doluluk oranında 12-14 tonluk Euro I kamyonların ankete katılan toplam standart kamyonların taşıt-km içerisinde payı %1,4 olarak bulunmuştur; diğer taraftan %70 doluluk oranında 34-40 tonluk Euro IV büyük kamyonların ankete katılan toplam büyük kamyonların taşıt-km değerindeki payı %5,2 olarak belirlenmiştir.

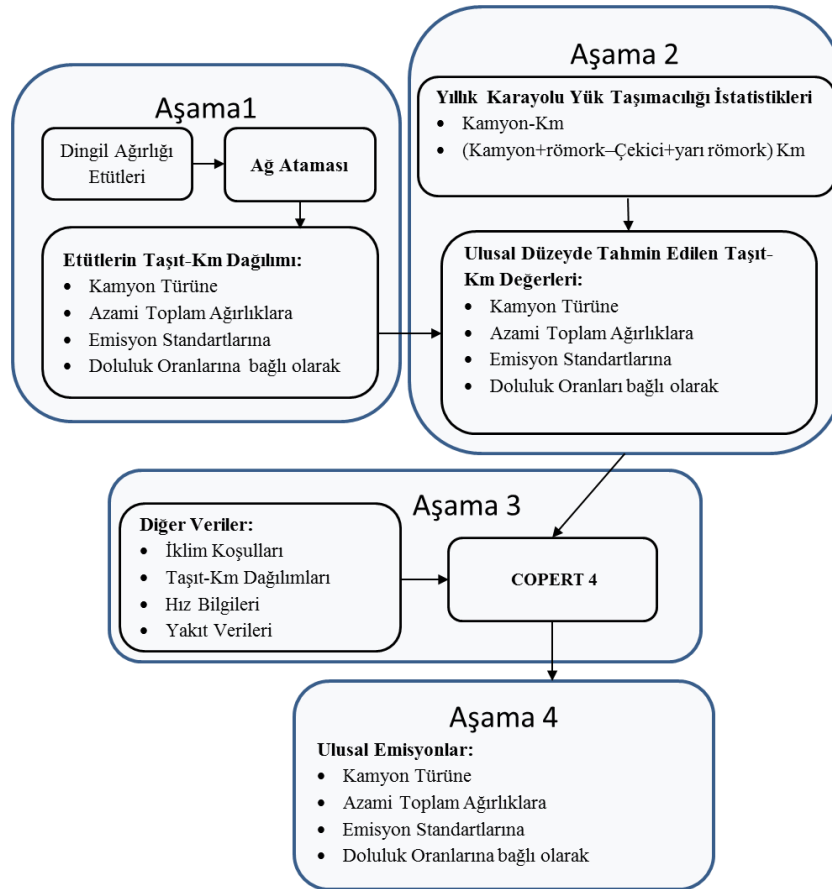
Bu hesaplardaki doluluk oranları için %0 ile %100 arasında %10 oranında artan 11 grup oluşturulmuştur. Böylece ileride emisyon azaltma stratejilerinde kullanılabilmesi açısından boş kamyonların ve değişik seviyelerde dolu olan kamyonların emisyonları ayrı hesaplanmıştır.

Aşama 2: Aşama 1'de her bir kombinasyon için hesaplanan taşıt-km yüzdelerin aynı oranda ülke genelini yansıttığı kabul edilmiştir.

Bunun sonucunda yıllık istatistiklerde yayınlanan standart ve büyük kamyonların taşıt-km değerleri bir önceki aşamada hesaplanan oranlarda kombinasyonlara dağıtılmıştır. Sonuç olarak yıllık toplam taşıt-km değerleri kamyon tasarım tipi, kapasite, doluluk oranı ve motor tipine göre alt gruplara dağıtılıp her doluluk oranı için bir "ulusal kamyon yük taşımacılığı profili" elde edilmiştir.

Aşama 3: COPERT 4 programında bütün kamyon türleri (tasarım, kapasite ve motor tipine bağlı) için detaylı bir profil bilgisi verilebilmekle birlikte doluluk oranı sabit girilmektedir. Bu yüzden, bu program her bir doluluk oranı için bu orana denk gelen ulusal profil girilerek ayrı ayrı çalıştırılmış ve 11 ayrı grup için ulusal emisyon değerleri bütün kamyon türleri için hesaplanmıştır.

Aşama 4: Her bir doluluk değerine bağlı hesaplanan emisyonlar toplanıp standart ve büyük kamyonlar için yıllık emisyonlar hesaplanmıştır.



Şekil 1. Önerilen yük taşımacılığı emisyon hesaplama yöntemi

Bu hesaplamalarda, yukarıda bahsedilen kamyon profilleri dışında COPERT 4 sıcaklık verilerine, yakıt özelliklerine ihtiyaç duymaktadır. Aylık sıcaklık verileri Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden (DMİ, 2011), yakıt tüketimi ve özellikleri ile ilgili bilgiler Petrol Sanayi Derneği yayınlarından (PETDER, 2011) temin edilmiştir. COPERT 4 programının gereksinimi olan güzergahların devlet yolu, il yolu ve otoyollardaki taşıt-km oranları KGM verilerinden alınmıştır. Benzer şekilde devlet yolu ve otoyollardaki hız verileri için KGM tarafından yayınlanan ortalama değerler kullanılmıştır. İl yolları için yayınlanan bir veri olmadığı için bu yollarda ortalama hız 40 km/saat kabul edilmiştir. KGM verilerine göre bu yolların şehirlerarası yük trafiğindeki payı oldukça azdır ve %5-6 düzeyindedir (KGM, 2011).

3. Bulgular

Yukarıda belirtilen emisyon hesaplama yöntemi kullanılarak 2000-2009 yılları arası emisyonlar COPERT 4 programı ile hesaplanmıştır. Tablo 3 kamyon tiplerine göre CO₂ emisyon sonuçlarını göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde emisyonların 2000 yılından itibaren azalarak 2004 yılında en düşük seviyeye geldiği görülmüştür. Bunun başlıca sebebi bu dönemde ekonomik krize bağlı olarak taşıt-değerinin azalarak 2004 yılında en düşük seviyesine gelmesi olabilir (KGM, 2011). Daha sonra emisyonlar da artan taşıt-km değerine bağlı olarak tekrardan artmıştır. Ayrıca, 2000 yılı ile karşılaştırıldığında, 2009 yılında ton-km değeri %9'dan daha fazla artmış olmasına rağmen CO₂ emisyon değeri değişmemiştir.

Tablo 3. 2000-2009 yılları arasındaki CO₂ emisyonları (kiloton)

Yıl	Standart Kamyon		Büyük Kamyon		Toplam
	Standart Kamyon	%	Büyük Kamyon	%	
2000	10.869	%89,6	1.260	%10,4	12.129
2001	10.173	%89,2	1.232	%10,8	11.405
2002	10.005	%89,0	1.236	%11,0	11.241
2003	10.093	%88,8	1.269	%11,2	11.362
2004	7.784	%81,3	1.791	%18,7	9.575
2005	8.335	%80,3	2.048	%19,7	10.383
2006	8.628	%78,2	2.399	%21,8	11.027
2007	9.334	%77,3	2.747	%22,7	12.081
2008	8.886	%73,8	3.155	%26,2	12.041
2009	8.224	%68,1	3.852	%31,9	12.076

Bu, ülkemizde yük taşımacılığında daha yüksek taşıma kapasiteli büyük kamyon kullanımının ve emisyon standartlarındaki gelişmelerin bir sonucu olabilir. Zira, 2000 yılında %10,4 olan büyük kamyonların CO₂ emisyon payı 2009 yılında %31,9 oranına yükselmiştir. Aynı yıllardaki büyük kamyon taşıt-km değerleri de 13,9%'dan 31,7%'ye çıkmıştır. Ayrıca, Aşama 1'de yapılan analizler, devlet yollarındaki yük taşımaların genellikle belli kapasitedeki standart kamyonlar (14-20 ton, 20-26 ton ve 28-32 ton) ve büyük kamyonlar (28-34 ton, 34-40 ton ve 40-50 ton) ile yapıldığını göstermiştir.

3.1 Emisyon tahminlerinin doğrulanması

Kullanılan metodoloji ile hesaplanan emisyonlar Soylu (2007) tarafından 2003 yılı verileri kullanılarak hesaplanan değerler ile karşılaştırılabilir. Hesaplanan 11.362 kiloton CO₂ emisyonu Soylu (2007) tarafından bulunan 11.108 kiloton değerini ile neredeyse aynıdır. Bu, hesaplanan değerlerin daha önce yayınlamış değerler ile örtüşüğünü göstermektedir. Ayrıca şehirlerarası yük trafiği için hesaplanan 11.362 kiloton CO₂ değeri 2009 yılı için TUİK tarafından açıklanan 46,7 milyon ton doğrudan CO₂ emisyonu değerinin %25,9'una karşılık gelmektedir (TUİK, 2012c). Bu değer OECD-ITF (2008a) gibi uluslararası organizasyonlar tarafından tahmin edilen kamyonların emisyonlardaki %22,8'lik payına yakındır. Şehir içi kamyon hareketliliğinin yarattığı emisyonlar da dikkate alındığında, ülkemizde kamyonların payı bir miktar daha artacaktır. Trafik sıklığı gibi etkenlere açık olan ve genellikle düşük hızlarda neredeyse iki kat yüksek emisyon oranlarında (gr/taşıt-km) gerçekleşen şehir içi yük hareketliliğinin gerçek etkisini analiz etmeden bu konuda yorum yapmak oldukça zordur (Sturm ve Hausberger, 2005). Ayrıca Avrupa Birliği emisyon standartlarına gecikmeli olarak geçen ve aynı zamanda kamyonların yük taşımacılığındaki payının daha yüksek olduğu ülkemizde bu oranın bir miktar yüksek çıkması beklenen bir durumdur.

3.2 Duyarlılık Analizi

Bu aşamada önerilen hesaplama yönteminin kullanılan verinin detay düzeyine olan duyarlılığı analiz edilmiştir. Bu duyarlılık analizi sadece etütlerdeki kamyonlar için gerçekleştirilmiştir. Tüm emisyon standartlarını içermesi açısından 2007 ve 2009 yılları arasında etüt edilen kamyonlara uygulanmıştır.

Öncelikle çalışmada önerilen yöntem ile etütlerdeki kamyonların emisyonları hesaplanmıştır. Alternatif senaryoda olarak ise Tablo 2'de verilen detayda kamyon (standart kamyon ve büyük kamyon) sınıfları ve doluluk oranları bilgisinin bulunmadığı varsayılmıştır. Bu nedenle tüm kamyonlar COPERT 4'ün doluluk bilgisi eksikliğindeki varsayımı olan %50 oranında dolu olarak kabul edilmiştir. Diğer bir

veri olan taşıt-km’nin ise tüm kamyonlar arasında eşit olarak dağıldığı kabul edilmiştir. Böylece etüt kamyonlarının taşıt-km değeri 24 standart kamyon kombinasyonu (8 azami toplam ağırlık x 3 emisyon standartı) ve 18 büyük kamyon kombinasyonu (6 azami toplam ağırlık x 3 emisyon standartı) arasında eşit olarak dağıtılmıştır. Sonuçlar Tablo 4’de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere detaylı veri kullanmayan alternatif senaryo, CO₂ emisyonlarını %23’e varan önemli derecelerde daha düşük tahmin etmektedir. Bu sonuçlar kamyon emisyonları hesaplarken detaylı düzeyde kamyon verisinin

bulunmasının önemini ve gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu düzeyde veri kullanılarak yapılan hesaplamaların bir diğer avantajı, ileride yapılabilecek karayolu yük taşımacılığı emisyon azaltma stratejilerine temel teşkil edebilmesi olacaktır. Farklı kamyon türlerine, emisyon standartlarına ve doluluk oranlarına göre emisyonlar hesaplandığı için karayolu yük trafiğinin verimliliği üzerine daha detaylı çalışmaların yapılması ve senaryo bazlı politikaların geliştirilmesi mümkün olabilecektir.

Tablo 4. Çalışmada önerilen yöntemin duyarlılık analizi

Etüt kamyonlarının CO ₂ emisyonları (ton)									
	2007			2008			2009		
	Standart Kamyon	Büyük Kamyon	Toplam	Standart Kamyon	Büyük Kamyon	Toplam	Standart Kamyon	Büyük Kamyon	Toplam
Önerilen Model	2774	2000	4774	1858	1470	3328	2518	1947	4466
Alternatif Senaryo	2123	1901	4024	1527	1299	2826	2072	1913	3985
Alternatif Senaryo Farkı	-23%	-5%	-16%	-18%	-12%	-16%	-18%	-2%	-11%

4. Tartışma ve Sonuç

Türkiye’de birçok ülkeye benzer bir şekilde yük taşımacılığı karayoluna bağımlıdır ve bunun %90’ı kamyonlar tarafından karşılanmaktadır. Türkiye’de yük akış verisinin olmayışı karayolu yük trafiği emisyonlarının hesabını zorlaştırmaktadır. Buna çözüm olarak bu çalışmada dingil ağırlığı etütlerinden toplanan detaylı veriler (kamyon tipleri, emisyon tipleri, doluluk oranları, vb.) ve yıllık yük trafiği istatistikleri kullanılarak şehirlerarası devlet yollarındaki yük trafiği CO₂ emisyonları tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar 2009 yılında karayolu yük trafiğinin toplam olarak 12.076 kiloton CO₂ ürettiğini göstermiştir. TÜİK verileri göz önüne alındığında bu değer ulaşım sektörü emisyonlarının %25,9’unu oluşturmaktadır. Önerilen metod ile yapılan geçmişe dönük 2003 yılı emisyon değeri, aynı yıl için daha önce yayınlan değere yakın olarak bulunmuştur. Hesaplanan şehirlerarası kamyon yük taşımacılığı emisyon değerlerinin oranı literatürde verilen değerlere paralellik göstermesi yapılan çalışmanın sonuçlarını doğrulamaktadır. Ayrıca 2009 yılı değerleri ile 2000 yılı değerleri karşılaştırıldığında, CO₂ emisyonlarının neredeyse aynı seviyede kaldığı görülmüştür. Artan yük talebine rağmen emisyonların sabit kalması, başlıca daha yüksek yük taşıma kapasiteli büyük kamyonlara (kamyon+römork-çekici+yarı römorklara) olan yönelim ve emisyon standartlarında olan gelişmelerle açıklanabilir.

Bu çalışmada kullanılan yöntemin en önemli katma değeri toplam emisyonları hesaplarken, farklı kamyon türlerine, emisyon standartlarına ve doluluk oranlarına göre ayrılan alt gruplar için hesaplanan emisyonların ayrı ayrı elde edilmesidir; bu sayede karayolu yük trafiğinin verimliliği üzerine ileride daha detaylı çalışmaların yapılması ve senaryo bazlı politikaların geliştirilmesi mümkün olabilecektir. İleride yük akış verisi olması halinde, güzergah bazında ve hatta yolların kalite ve tasarım etkilerinin de dahil edildiği senaryolar geliştirilebilir ve bunlara bağlı politikalar belirlenebilir.

Teşekkür

Yazarlar Karayolları Genel Müdürlüğü’ne yol kenarı dingil ağırlığı etütlerinde toplanan verileri paylaştığı için teşekkürlerini sunar.

Kaynaklar

Ağacayak, T., Investigation of an Emission Inventory for Turkey, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 122s.

Barlow, T. J. ve Boulter, P. G., 2009. Emission Factors 2009: Report 2 – A review of the average-speed approach for estimating hot exhaust emissions. TRL Report Number PRR355, 66 pp.

- BTE, 1997. Bureau of Transport Economics. Roads, Vehicle Performance and Greenhouse: Costs and Emission Benefits of Smoother Highways. Working Paper 32. Bureau of Transport Economics, Australia, 130 pp.
- DEFRA, 2011. Department of the Environment Food and Rural Affairs. Department of Energy and Climate Change's GHG conversion factors for company reporting. London.
- Demir, E., Bektas, T. ve Laporte, G., 2011. A Comparative Analysis of Several Vehicle Emission Models for Road Freight Transportation. Transportation Research Part D, 16, 347-357.
- DMİ, 2011. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü. <http://www.dmi.gov.tr> Son Erişim: Şubat 2012.
- EEA, 2000. European Environment Agency. Are We Moving in the Right Direction? TERM 2000: Indicators on Transport and Environment Integration in the EU. Environmental Issues Series No: 12, Copenhagen, 135 pp.
- EEA, 2007. European Environment Agency. EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook, 2007, Copenhagen.
- EEA, 2010. European Environment Agency. Towards a Resource-Efficient Transport System - Term 2009: Indicators Tracking Transport and Environment in the European Union. Report No: 2/2010, Copenhagen: European Environment Agency, 47 pp.
- Eibl, P. G., 1996. Computerized Vehicle Routing and Scheduling in Road Transport. Avebury.
- Esteves-Booth, A., Muneer, T., Kubie, J. ve Kirby, H., 2002. A Review of Vehicular Emission Models and Driving Cycles. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C, 216, 777-797.
- Facanha, C. ve Horvath, A., 2006. Environmental Assessment of Freight Transportation in the U.S. International Journal of Life Cycle Assessment, 11, 4, 229-239.
- Freight Best Practice, 2008. Companies and Drivers Benefit from SAFED for HGVs: A Selection of Case Studies. London, Department for Transport.
- Gaines, L., Stodolsky, F., Cuenca, R. ve Eberhardt, J., 1998. Life-Cycle Analysis for Heavy Vehicles. Air & Waste Management Association Annual Meeting, Haziran, San Diego, A.B.D..
- Gkatzoflias, D., Kouridis C., Ntziachristos L. and Samaras Z., 2007. COPERT 4 Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport. User manual, Version 5.0.
- IEA, 2010. International Energy Agency. CO₂ Emissions from Fuel Combustion, Paris, 513 pp.
- Kahn Ribeiro, S., Kobayashi, S., Beuthe, M., Gasca, J., Greene, D., Lee, D. S., Muromachi, Y., Newton, P. J., Plotkin, S., Sperling, D., Wit, R., Zhou, P. J., 2007. Transport and Its infrastructure, Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, New York, A.B.D., 325-380.
- Kamakate, F. ve Schipper, L., 2009. Trends in Truck Freight Energy Use and Carbon Emissions in Selected OECD Countries from 1973 to 2005. Energy Policy, 37, 3743-3751.
- KGM, 2011. Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayollarında Ağır Taşıt Trafiğinin ve Yük Taşımacılığının Özellikleri ve Eğilimleri: 2007-2008-2009 Yılı Etüt Sonuçları. Ankara, Türkiye, 216 s.
- Léonardi, J., Baumgartner, M., 2004. CO₂ efficiency in road freight transportation: status quo, measures and potential. Transportation Research PartD: Transport and Environment, 9, 451-464.
- Léonardi, J., Kveiborg, O., Baumgartner, M. and Krusch, O., 2006. Decoupling GDP and performance growth from energy use in German road freight traffic. Hamburg: Max-Planck-Institut für Meteorologie, 64 pp.
- Liimatainen, H. ve Pöllänen M., 2010. Trends of energy efficiency in Finnish road freight transport 1995-2009 and forecast to 2016, Energy Policy, 38, 7676 -7686.
- McKinnon, A.C., 1999. A logistical perspective on the fuel efficiency of road freight transport. In: IEA (Ed.) Workshop Proceedings: Improving fuel efficiency in Road Freight Transport: The Role of Information Technologies. Paris, IEA.
- McKinnon, A. C., 2007. CO₂ Emissions from Freight Transport in the UK. Report Prepared for the Climate Change Working Group of the Commission for Integrated Transport, London.
- OECD-ITF, 2008a. Joint Research Center of Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) and the International Transport Forum (ITF). Transport Outlook 2008: Focusing on CO₂ Emissions from Road Vehicles. Discussion Paper No: 2008-13, Paris, 21 pp.

OECD-ITF, 2008b. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) and International Transport Forum Working Group (ITF). Greenhouse Gas Reduction Strategies in the Transport Sector: Preliminary Report. Paris, 81 pp.

Zanni, A. M. ve Bristow, A. L., 2010. Emissions of CO₂ from Road Freight Transport in London: Trends and Policies for Long Run Reductions. Energy Policy, 38, 1774-1786.

PETDER, 2011. Petrol Sanayi Derneği. <http://www.petder.org.tr> Son Erişim: Temmuz 2011.

Piecyk, M. I. ve McKinnon, A.C., 2010. Forecasting the Carbon Footprint of Road Freight Transport in 2020. International Journal of Production Economics, 128, 31-42.

Schipper, L. J. ve Fulton, L., 2003. Carbon Dioxide Emissions from Transportation: Trends, Driving Factors and Forces for Change. In: D. A. Hensher ve K. J., Button (Editör). Handbook of Transport and the Environment. Elsevier, New York, A.B.D., 827 pp.

Soylu, S., 2007. Estimation of Turkish Road Transport Emissions. Energy Policy, 35, 4088-4094.

Spielmann, M. ve Scholz, R. W., 2005. Life Cycle Inventories of Transport Services. Background Data for Freight Transport. International Journal of Life Cycle Assessment, 10, 1, 85-94.

Steenhof, P., Woudsma, C. ve Sparling E., 2006. Greenhouse Gas Emissions and the Surface Transport of Freight in Canada. Transportation Research Part D, 11, 369-376.

Sturm, P. J. ve Hausberger S., 2005. COST 346 – Final Report. Emissions and Fuel Consumption from Heavy Duty Vehicles. Graz University of Technology, 131 pp.

TÜİK, 2012a, Türkiye İstatistik Kurumu. Ulaştırma İstatistikleri. http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?alt_id=52 Son Erişim: Temmuz 2012.

TÜİK, 2012b. Türkiye İstatistik Kurumu. Ulaştırma İstatistikleri. http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?alt_id=52 Son Erişim: Ağustos 2012.

TÜİK, 2012c. Türkiye İstatistik Kurumu. Çevre İstatistikleri. http://www.turkstat.gov.tr/PreTablo.do?tb_id=10&st_id=3 Son Erişim: Mart 2012.

Ünal, L., 2009. Modeling of Freight Transportation on Turkish Highways, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 244s.

Vestreng, V., Ntziachristos, L., Semb, A., Reis, S., Isaksen, I. S. A., and Tarrason, L., 2009. Evolution of NO_x Emissions in Europe with Focus on Road Transport Control Measures. Atmospheric Chemistry and Physics, 9, 1503-1520.