
	<b>SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ</b> <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		 <b>SAKARYA</b> UNIVERSITY
	e-ISSN: 2147-835X		
	Dergi sayfası: <a href="http://dergipark.gov.tr/saufenbilder">http://dergipark.gov.tr/saufenbilder</a>		
	<u>Gelis/Received</u> 10-02-2017		
	<u>Kabul/Accepted</u> 12-09-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.291218	

## Sapanca Gölü çevresinde karayolu trafiğinden kaynaklanan hava kirleticilerinin emisyon envanteri

Hülya Demirel<sup>\*1</sup>, Asude Ateş<sup>2</sup>

### ÖZ

Endüstrileşmeye bağlı olarak hızlı nüfus artışı, yaşam kalitesinin iyileşmesi büyük şehirlerde taşıt sayısının her geçen gün artmasına neden olmaktadır. Konutlar ve endüstriyel tesislerden kaynaklanan hava kirliliğinin yanı sıra trafik kaynaklı hava kirliliği de önemli çevresel sorunlara yol açmaktadır. Bu nedenle, motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirleticilerinin belirlenmesi başta insan sağlığı olmak üzere çevreye olan olumsuz etkilerinden dolayı önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında Sapanca Gölünü çevreleyen otoyollarda taşıt sayımlara yapılarak farklı araç türleri için saatlik trafik yoğunlukları belirlenmiştir. Trafik kaynaklı hava kirleticilerinin (PM, NO<sub>x</sub>, CO, VOC) EMEP/EEA emisyon faktörleri kullanılarak emisyon envanterlenmesi yapılmış, Marmara bölgesi için önemli bir su kaynağı olan Sapanca gölüne etki edebilecek emisyon miktarları belirlenmiştir. Çalışmaya göre bir hafta boyunca atmosfere verilen toplam emisyon miktarları; PM için 2 ton, NO<sub>x</sub> için 41 ton, CO için 84 ton ve VOC 14 ton için yaklaşık olarak bulunmuştur. Uzun vadeli sonuçlar değerlendirildiğinde Sapanca gölü ve besleyen dereler için motorlu taşıtların önemli bir kirletici kaynak olduğu ve önlemler alınması gerektiği kanısına varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sapanca gölü, motorlu taşıtlar, hava kirliliği, emisyon envanteri

## Emission inventory of air pollutants from road traffic around Sapanca Lake

### ABSTRACT

Rapid population growth and improvement in quality of life as a result of industrialization led to increase in the number of vehicles in big cities day by day. In addition to air pollution originating from households and industrial facilities, air pollution from traffic also causes serious environmental problems. Therefore, determination of air pollutants from motor vehicles is crucial because of their adverse effects to the environment, particularly to human health. Within the scope of this study, hourly traffic densities were identified for different vehicle types by carrying out vehicle counts on highways that surround Sapanca Lake. Using CORINAIR emission factors, an emission inventory was conducted for air pollutants originating from traffic (PM, NO<sub>x</sub>, CO, VOC) and their impact on Sapanca lake, which is an important water supply for the Marmara region, was evaluated. Based on the study, the total amount of emissions released to the atmosphere throughout a week, was determined 2 ton, 41 ton, 84 ton and 14 ton for PM, NO<sub>x</sub>, CO, and VOC, respectively. When long-term results were evaluated, it was deduced that motor

<sup>1</sup> Sakarya Üniversitesi Sakarya Meslek Yüksekokulu Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü [hsemercioglu@sakarya.edu.tr](mailto:hsemercioglu@sakarya.edu.tr)

<sup>2</sup> Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü [aates@sakarya.edu.tr](mailto:aates@sakarya.edu.tr)

vehicles are an important source of pollution for Sapanca Lake and its influent streams, and that measures have to be taken.

**Keywords:** Sapanca lake, motor vehicles, air pollution, emission inventory

## 1. GIRIŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda hızlı nüfus artışı, kentleşme, doğal kaynakların bilinçsizce kullanımı, endüstrileşme ekolojik dengeyi bozmakta ve çevre kirliliği sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Motorlu taşıt sayısının her geçen gün artması büyük şehirlerde trafik yoğunluğu sorununu ortaya çıkardığı gibi trafik kaynaklı hava kirliliği insan sağlığını tehdit edecek seviyelere ulaşmıştır. Hava kirliliği, canlıların sağlığını olumsuz yönde etkileyen ve havadaki yabancı maddelerin, normalin üzerinde miktar ve yoğunluğa ulaşması, havanın doğal bileşiminin bozulmasıdır. Özellikle trafik ve ısınma amaçlı kullanılan fosil yakıtlar ve yanma ürünleri hava kirliliğine ve buna bağlı olarak su ve toprak kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirleticiler, atmosferde gaz veya partikül halinde pek çok farklı bileşiği içerir [1,2,3]. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirleticilerin başında partikül madde (PM), azot oksitler (NO<sub>x</sub>), karbon monoksit (CO) ve hidrokarbonlar (HC) ve uçucu organik bileşikler gelmektedir [4]. Bu kirleticilerin dışında taşıtlardan kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), nikel (Ni), bakır (Cu), krom (Cr), çinko (Zn) ve baryum [Ba] gibi ağır metaller atmosfere verilmektedir. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan bu emisyonlar, trafiğin yoğun olduğu bölgelerde NO<sub>x</sub> emisyonlarının %41'inden, CO emisyonlarının %44'ünden ve PM emisyonlarının %16,4'ünden sorumludur [5]. Bu emisyonların, kardiyovasküler ve solunum yolları rahatsızlığına, astıma, çocuklarda akciğer gelişiminde bozukluğa, bebek ölümlerine ve kanser gibi daha birçok rahatsızlığa neden olmaktadır [6,7,8]. Ayrıca, atmosfere salınan emisyonların karayollarına yakın bölgelerde yer alan içme suyu kaynaklarını ve toprak yapısını etkilediği yapılan literatür çalışmalarından bilinmektedir [9,10,11]. İnsanların maruz kaldığı emisyonların hava kalitesine etkisi ve bu emisyonların miktarlarını belirleyebilmek için emisyonların envanterlenmesi oldukça önemlidir.

Portekiz'de VSP/EMEP metodu ile trafik kaynaklı emisyonlar tahmin edilerek bölgesel ölçekte hava kalitesi modeli oluşturulmuştur. Çalışmada günlük emisyon değerlerinin diğer bölgelere göre şehir merkezinde daha yüksek olduğu ve bu sırada ortalama trafik hızının 50 km/sa' ten az olduğu tespit edilmiştir [12].

İtalya'da yapılan çalışmada trafik kaynaklı emisyonların envanteri hazırlanmış ve COPERT III modeli kullanılmıştır. 2001 yılı için toplam CO, NMVOC, PM ve NO<sub>x</sub> emisyonları 79,520ton, 11,547ton, 1867ton ve 19,380ton olarak bulunmuştur [13]. Güney İtalya bölgesinde yapılan diğer bir çalışmada trafik kaynaklı değerlendirmede kullanılan COPERT modeli ile CO, VOC, PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub> ve bazı ağır metallerin envanteri oluşturulmuştur [14]. İsveç'te yapılan çalışmada COPERT III modeli yardımıyla trafik kaynaklı NO<sub>x</sub> konsantrasyonu ve buna paralel olarak ağır metal emisyonları incelenmiştir [15]. Çin'de yapılan çalışmada ise 2004-2030 yıllarını kapsayan taşıt tipi ve yakıt tüketimine bağlı iki farklı metot ile emisyon envanteri oluşturulmuştur. 2030'a kadar CO, VOC, NO<sub>x</sub> ve PM<sub>10</sub> emisyon değerlerinin sırasıyla %467.52, %61.44, %8.31 ve %78.35 oranında artacağı tahmin edilmiştir [16].

İzmir'de yapılan bir çalışmada şehir merkezinde yer alan önemli caddelerden 19'unda sayım yapılarak karayolu trafiğinden kaynaklanan hava kirliliği incelenmiştir. Çalışmada taşıtlar sınıflandırılmış ve CORINAIR emisyon faktörleri kullanılarak kış ve yaz mevsiminde CO 108 ton, NO<sub>x</sub> 48 ton, PM<sub>10</sub> 2 ton olarak bulunmuştur [17]. Üniversite yerleşkesinde ise bu değerler haftalık 54,1kg, 21,3kg ve 1kg olarak belirlenmiştir [18]. CO, CH<sub>4</sub>, NMVOC, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> gibi hava kirleticilerinin derişimlerinin cadde ölçeğinde tahmin edilmesi amacıyla taşıt sayımları yapılarak yapay sinir ağı modelleri oluşturulmuş ve İzmir'in hava kalitesi yönetiminde kullanılacak bir model ortaya konmuştur [3].

Gaziantep'te trafik kaynaklı hava kalitesinin belirlenmesi için taşıt sayımları ve emisyon faktörleri yardımıyla emisyon miktarları hesaplanmış ve ilin kirlilik haritası oluşturulmuştur. Emisyon miktarları en yüksek

taşıt sayısının fazla olduğu şehir merkezi ve organize sanayi bölgesinde bulunmuştur [19].

Kocaeli’nde yapılan çalışmada ise ana yollarda taşıt sayımları yapılmış, COPERT III modeli ile PM emisyonu 199 ton- 155 ton- 150 ton ve NO<sub>x</sub> emisyonu 3860 ton- 4036 ton- 4029 ton olarak hesaplanmıştır. Emisyon miktarının en yüksek olduğu yolun otoyol olduğu belirlenmiştir [20]. Sakarya’da yapılan çalışmalarda ise şehir içinde taşıt sayımları yapılarak taşıtlar tiplerine göre sınıflandırılmış ve COPERT III emisyon faktörleri kullanılarak CO, PM, NO<sub>x</sub> ve HC emisyonları belirlenmiştir [21], [22]. CO, HC ve Pb emisyonlarının temel kaynağının otomobiller ve PM, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonlarının ise ağır ticari taşıtlar olduğu belirlenmiştir. Sakarya’da belli caddelerde saatlik bazda emisyon envanteri oluşturulmuştur. Otomobiller için en yoğun saat 16:00 olup NO<sub>x</sub> 1636,1g/sa, CO 6454,6g/sa ve HC 326,2g/sa, otobüsler için saat 11:00’de NO<sub>x</sub> 574,8g/sa, CO 184,7g/sa ve PM 21,7g/sa olarak hesaplanmıştır. Kamyon ve hafif ticari taşıtlarda en yoğun saat 10:00 olup kamyonlarda NO<sub>x</sub> 55g/sa, CO 45,6g/sa, PM 6,13g/sa ve hafif ticari taşıtlarda ise sırasıyla 2239,8g/sa, 1033,9g/sa ve 206,4g/sa’tir.

Karayolu trafiğinden kaynaklanan hava kirliliğini belirlemek için pek çok emisyon envanterlemesi, modelleme çalışmaları yapılmış ve ekolojiye olan etkileri değerlendirilmiştir.

E-80 TEM Anadolu otoyolu Türkiye’nin en yoğun otoyollarından biri olup Marmara Bölgesi için önemli bir içme suyu kaynağı olan Sapanca Gölü’nü çevrelemektedir. Bununla birlikte eski Ankara-İstanbul karayolu olan D-100 karayolu da Sapanca gölüne paralel bir yoldur. Bu iki önemli yoldan kaynaklanan hava kirleticilerini belirlemek ve içme suyu kaynağına etkilerini incelemek son yıllarda artan çevre kirlilikleri ve su sıkıntısı dikkate alındığında önem arz etmektedir. Bu nedenle, çalışmada Sapanca Gölü’nü çevreleyen yolların trafik yoğunluğunun belirlenmesi ve su kalitesini etkileyebilecek karayolu kaynaklı hava kirleticilerinin envanterlenmesi amaçlanmıştır.

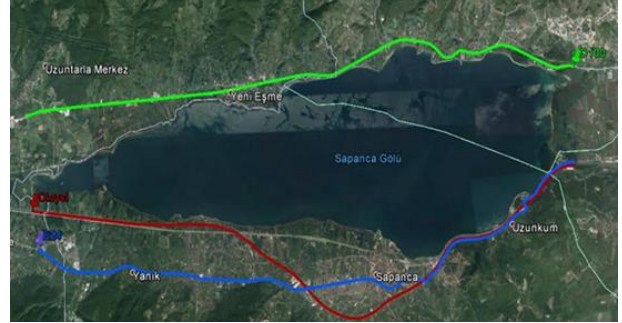
## 2. MATERYAL-METOT (MATERIAL-METHOD)

### 2.1. Çalışma alanı (Study Area)

Bu çalışma Türkiye’nin en önemli otoyollarından biri olan E-80 Tem Anadolu Otoyolu ile D-100 karayolunu arasında kalan ve Sakarya il

sınırlarında bulunan Sapanca gölünün çevresinde oluşan trafik için gerçekleştirilmiştir. Marmara Bölgesi için yol uzunlukları ve taşıt sayısı dikkate alındığında günlük trafik yoğunluğunda en önemli yollardan birisidir [23]. Çalışma kapsamında Şekil 1’de görüldüğü gibi E-80 otoyolu ve D100 karayolunun Sapanca gölü çevresinde kalan bölgelerinde karayolu trafiğinden kaynaklanan hava kirleticileri belirlenip emisyon envanteri çıkarılmıştır.

Emisyon envanteri oluşturulurken E-80 otoyoluna paralel olan Sapanca-İzmit yolu da hesaplamalarda dikkate alınmıştır.



Şekil 1. Sapanca gölü ve yollar (Sapanca lake and roads)

### 2.2. Taşıt sayımı ve sınıflandırması (Vehicle count and classification)

Söz konusu yollar karayolu taşımacılığında büyük öneme sahiptir. Kamyon ve tırlar günün belli saatlerinde yola çıktıklarından, bu yollar gün boyunca trafik akışının yoğun olduğu yollardır. Bu nedenle güvenilir veriler elde edebilmek için taşıt sayımları 24 saatlik periyotlarla hem hafta içi hem de haftasonu manuel yapılmıştır. Taşıtların sınıflandırılması otomobil, hafif ticari (kamyonet ve minibüs), otobüs, kamyon ve motosiklet şeklinde yapılmıştır. Taşıtların motor teknolojisine ve yakıt tipine göre dağılımları ise TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) verileri dikkate alınarak yapılmıştır [24].

### 2.3. Emisyon Envanteri (Emission inventory)

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan PM, NO<sub>x</sub>, CO ve VOC emisyonları emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanmıştır. Emisyon faktörleri, kullanılan yakıtın kütlesi başına veya taşıt aktivitesi başına oluşan kirleticiler miktarı olarak tanımlanır [20]. Taşıt aktivitesine bağlı emisyon miktarı formül (1)’de yer alan formül kullanılarak her bir taşıt sınıfı için taşıt kilometrelerine göre ayrı hesaplanırken yakıt tüketimine bağlı emisyon miktarları formül (2)’ye göre hesaplanmaktadır.

$$E = EF \times A \quad (1)$$

$$E = EF \times A \times FC \quad (2)$$

E; Emisyon miktarı (g)

EF; Emisyon faktörü ( g/km)

A; Taşıt aktivitesi (km)

FC; Yakıt tüketimi (g-yakıt/km)

EF; Bulk emisyon faktörü (µg/kg-yakıt)

Taşıt aktivitesi yoldan geçen taşıt sayısı ile yol uzunluğunun bileşkesidir. D-100 ve E-80 yollarının Sapanca gölünü çevreleyen bölgelerinin uzunlukları Google Earth kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen taşıt aktivitesini formül (2)'de kullanarak emisyon miktarları hesaplanmıştır. Her bir taşıt sınıfı için bulk emisyon faktörleri ve kilometre başına yakıt tüketimleri "EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2013" kılavuzundan elde edilmiştir [25]. Kılavuzda emisyon faktörleri ve yakıt tüketimleri; taşıt tipi, motor teknolojisi (Euro sınıfı), yakıt türü ve taşıt hızı gibi parametrelere bağlı olarak geliştirilmiştir. Taşıtların motor teknolojileri yakıt tüketimlerini belirleyebilmek için önemli bir kriter olup bu bilgiye Karayolları Genel Müdürlüğü ve Türkiye İstatistik Kurumunun ortaklaşa hazırladığı raporlardan ulaşılmıştır. Emisyon envanterinde kullanılan emisyon faktörleri Tablo 1'de ve km başına yakıt tüketimleri Tablo 2'de verilmiştir. Emisyon envanterinde, otomobillerin %73'ünün benzinli, %27'sinin dizel, hafif ticari taşıtların ise %50'sinin benzinli, kamyon ve otobüslerin dizel ve motosikletlerin ise benzinli olduğu kabul edilmiştir [24].

Tablo 1. CORINAIR Emisyon Faktörleri (µg/kg-yakıt) (CORINAIR Emission Factors)

	CO	NO <sub>x</sub>	VOC	PM
Benzinli otomobil	221.70	28.39	34.41	0
Dizel otomobil	12.66	11.68	3.73	4.95
Benzinli hafif ticari taşıt	305.63	26.58	32.61	0
Dizel hafif ticari taşıt	15.94	20.06	2.08	4.67
Otobüs	15.71	49.18	4.13	2.15
Motosiklet	691.76	4.82	114.71	0

Tablo 2. Km başına yakıt tüketim miktarları (g-yakıt/km) (Fuel consumption amount per km)

Otomobil	Hafif ticari	Otobüs	Kamyon	Motosiklet

Benzin pre-euro	77	85	-	-	37
Benzin Euro 1	66	100	-	-	-
Dizel pre-euro	63	89	366	182	-
Dizel Euro 1	55	90	-	-	-

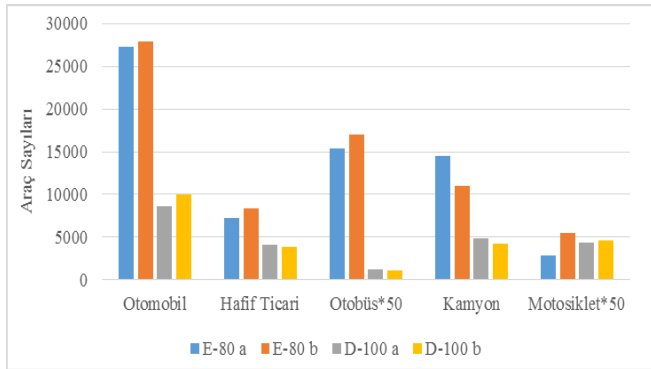
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

#### 3.1. Taşıt Sayımı (Vehicle Count)

İnsanların ulaşım ihtiyaçlarını ve beklentilerini karşılayabilmek için farklı teknolojileri sahip pek çok taşıt bulunmaktadır. Türkiye'de kullanılan taşıtlar çoğunlukla fosil yakıtlarla çalışmaktadır. NO<sub>x</sub>, PM, CO, HC ve ağır metal gibi emisyonlar fosil yakıtların yanması sonucu oluşmaktadır. Ayrıca bu emisyonlar taşıtların motor teknolojisi ve yakıt tipine göre atmosfere salınmaktadır. Emisyon miktarları hem motor teknolojisi ile yakıt tüketimine hem de taşıt aktivitesine bağlıdır. Taşıt aktivitesi ekonomik ve sosyal durumuna göre değişmekte olup her bir taşıt tipi için aktiviteyi belirlemek kolay değildir. Bu çalışma kapsamında Sapanca gölü çevresinde yer alan karayollarında yapılan taşıt sayımlarına göre taşıt tipine bakılmaksızın taşıt yoğunluğu hem hafta içi hem de hafta sonunda en fazla E-80 TEM Anadolu otoyolunda olduğu görülmektedir. Şekil 2'de görüldüğü üzere taşıt sayımları hafta içi ve hafta sonu olmak üzere iki farklı şekilde gözlemlenmekte olup her iki karayolunda da taşıtların %50'sini otomobil oluşturmaktadır. Bununla birlikte seyir halinde bulunan otobüs ve motosiklet sayıları diğer taşıt tiplerine göre çok daha az olduğundan grafikte anlaşılabilmesi için bu taşıtlar gerçekten 50 kat fazla verilmiştir. E-80 otoyolunda hafta içi ve hafta sonu otomobil sayısı günlük 27300 ve 28000, otobüs sayısı 3060 ve 3400 ve kamyon sayısı ise 14520 ve 11000 olmaktadır. D-100 karayolunda ise bu değerlerin sırasıyla otomobil için 8680 ve 9980, otobüs için 250 ve 220 ve kamyon için 4800 ve 4300 olduğu belirlenmiştir. 24 saatlik taşıt sayımları sonucunda ortalama günlük toplam taşıt sayısı E-80 otoyolunda 51490 ve D-100 karayolunda ise 18205 değerindedir.

Taşıt sayımları saatlik incelendiğinde E-80 otoyolunda hafta sonu saat 08:00-16:00 arası saatte 2400-3200, hafta içi ise saat 09:00-18:00 arası saatte 1800-2900 civarında taşıtın seyir halinde olduğu görülmektedir. Otoyollarda taşıt aktivitesi kent merkezlerinden çok farklı bir trend izlemektedir. Bunun nedeni otoyolların karayolu taşımacılığında büyük bir öneme sahip olmasıdır. E-80 otoyolunda hafta sonu saat 22:00-08:00 arası saatte 1400-500, hafta içi ise aynı saatlerde saatte 1900-300 civarında taşıtın seyir halinde olduğu ve otoyollarda trafiğin sürekli devam ettiği görülmektedir.

D-100 karayolunda ise hafta sonu saat 08:00-16:00 arası saatte 790-1290, hafta içi ise saat 09:00-18:00 arası saatte 850-1290 civarında taşıtın seyir halinde olduğu görülmektedir. D-100 karayolunda hafta sonu saat 22:00-08:00 arası saatte 610-100, hafta içi ise aynı saatlerde saatte 600-150 civarında taşıtın seyir halinde olduğu ve otoyollarda trafiğin sürekli devam ettiği görülmektedir. E-80 otoyolunda hafta sonu en fazla taşıt sayısı saat 10:00-11:00 arası olurken, hafta içi 13:00-14:00 arasındadır. D-100 karayolunda ise hafta sonu en fazla taşıt sayısı saat 17:00-18:00 arası, hafta içi saat 18:00-19:00 arası olduğu gözlenmektedir. Bu saatlerdeki yoğunlaşmanın nedeni olarak otobüs ve kamyonların saat 16:00-22:00 arası İstanbul'dan köprülerden geçiş izinlerinin olmaması ve geçiş saatlerinin buna göre ayarlanması olarak yorumlanmıştır.



Şekil 2. E-80 ve D-100 karayolunda a)hafta içi, b)hafta sonu taşıt sayımları ( a) weekday, b) weekend vehicle counts in E-80 and D-100 roads)

### 3.2. Emisyon Envanteri (Emission Inventory)

Emisyonlar yakıt tüketimine bağlı olarak meydana gelmektedir. Taşıt aktivitesi arttıkça, yakıt tüketimi de artmaktadır. Sonuç olarak yakıt tüketiminden kaynaklanan NOx, PM, CO, HC ve ağır metal gibi emisyonlar atmosfere salınmakta ve karayolu kaynaklı hava kirliliği meydana gelmektedir. Atmosfere salınan bu emisyonlar göl

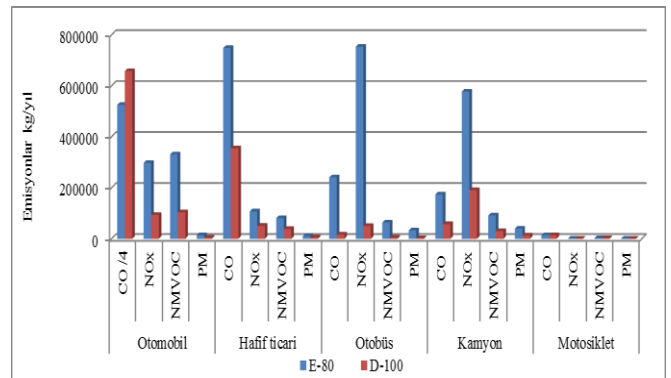
çevresinin yerleşim alanı ve turistik alan olması sebebiyle insanlara ulaşmadan önce zararsız konsantrasyon seviyesinde olacak şekilde seyreltilmesi için yeterli zaman bulunmamaktadır.

Taşıt emisyonlarının insan sağlığına ve hava kalitesine etkilerinin belirlenebilmesi için şehirlerde hava kirliliği ölçüm istasyonları bulunmaktadır. Fakat istasyonlarda ölçülen emisyon konsantrasyonları tüm şehrin yada herhangi bir bölgenin kirleticili konsantrasyonunu temsil edememektedir.

Bu nedenle, güvenilir veriler elde edebilmek için zamana bağlı konsantrasyonların değişimi ile ilgili hava kalite modelleme çalışmaları yapılmaktadır [22]. Yapılan emisyon envanteri sonucunda Şekil 3'te görüldüğü gibi E-80 ve D-100 karayolunda en fazla emisyon otomobillerden kaynaklanmaktadır.

E-80 otoyolunda otomobillerden kaynaklanan CO, NOx, NMVOC ve PM emisyonları 2076054kg/yıl, 297700kg/yıl, 331180kg/yıl ve 14074kg/yıl ve D-100 karayolunda ise sırasıyla 657635kg/yıl, 93166kg/yıl, 103462kg/yıl ve 4405kg/yıl olarak bulunmuştur. E-80 otoyolunda D-100 karayoluna göre seyir halinde bulunan taşıt sayısı daha fazladır.

Şekil 3'ten de anlaşılacağı üzere E-80 otoyolundan kaynaklanan emisyon miktarları oldukça fazladır. Otobüs ve kamyonlar yapılan emisyon envanterinde dizel motorlu taşıt olarak kabul edildiğinden NOx emisyonları büyük oranda bu taşıtlardan kaynaklanmaktadır. Otobüs ve kamyonlardan kaynaklanan NOx emisyonları E-80 ve D-100 karayolunda sırasıyla 753652kg/yıl, 50375kg/yıl ve 577594kg/yıl, 190474kg/yıl olarak hesaplanmıştır. E-80 otoyolunda hafif ticari taşıtlardan kaynaklanan CO, NOx, NMVOC ve PM emisyonları 748666kg/yıl, 107259kg/yıl, 80737kg/yıl ve 10541kg/yıl ve D-100 karayolunda 354662kg/yıl, 50804kg/yıl, 38247kg/yıl ve 4992kg/yıl değerindedir.

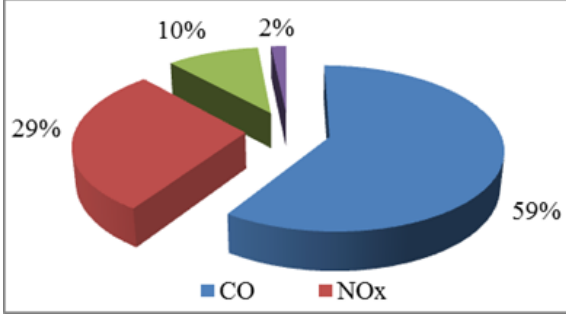


Şekil 3.E-80 ve D-100 karayollarında oluşan yıllık emisyon



miktarları (kg/yıl) (Annual emission amounts in E-80 and  
D-100 roads)

Şekil 4'te görüldüğü üzere, Sapanca gölü çevresinde oluşan emisyonların %59'u CO, %29'u NO<sub>x</sub>, %10'u NMVOC ve %2'si PM olarak belirlenmiştir. CO emisyonunun diğer emisyonlara göre daha fazla oluşmasının sebebi yakıt tüketimine bağlı olarak oluşumunun daha yüksek olmasıdır.



Şekil 4. Sapanca Gölü çevresinde oluşan emisyonların dağılımları (Distribution of emissions occurring around Sapanca lake)

Tablo 3a, 3b, 3c ve 3d'de hafta içi ve hafta sonu taşıt tipine göre günlük emisyon miktarları verilmiştir. Buna göre oluşan emisyonlar incelendiğinde E-80 otoyolunda hafta sonu otomobil, hafif ticari, otobüs ve motosikletlerden kaynaklanan emisyon miktarı hafta içine göre daha yüksektir. Bunun sebebi ise hafta sonu seyahatlerin artması ve taşıt yoğunluğunun artış göstermesidir.

E-80 otoyolunda hafta sonu otomobil kaynaklı CO, NO<sub>x</sub>, NMVOC ve PM emisyonları 5827kg/gün, 825kg/gün, 918kg/gün ve 39kg/gün olup hafif ticari taşıtlar için 2210kg/gün, 317kg/gün, 238kg/gün ve 31 kg/gün değerindedir. Kamyonların oluşturduğu yakıt tüketimi ve emisyonlar hafta içi daha yüksektir. D-100 karayolunda ise hafta sonu otomobil kaynaklı emisyonlar yüksek olup; diğer taşıt tiplerinde ise hafta içi yüksektir.

Yerleşim alanlarına yakın karayollarında oluşan emisyonların insanlara ulaşmadan önce zararsız konsantrasyon seviyesinde olacak şekilde seyrelmesi için yeterli zaman ve alan bulunmamaktadır [7, 8]. Sapanca gölü etrafındaki yerleşim alanlarının ve su kaynaklarının D-100 ile E-80 yollarına çok yakın olması nedeniyle insanlar bu karayollarında oluşan emisyonlar topografik ve meteorolojik özelliklerin etkisi ile yeterli seviyede seyrelme olmadan doğrudan maruz kalmaktadır. Bunun yanında havzadaki bitkiler ve Sakarya için içme suyu kaynağı olan Sapanca gölü ve gölü

besleyen dereler de bu emisyonlardan etkilenmektedir. Gün geçtikçe nüfus artışı ve refah düzeyi yükseldikçe taşıt sayısı artmakta ve bun bağlı olarak oluşan hava kirliliği ciddi boyutlara ulaşmaktadır.

Taşıtlarla ilgili emisyon azaltıcı tedbirler alınmadığı takdirde, hava kirleticileri doğal kaynakları ve insan yaşamını tehdit etmeye devam edecektir.

Tablo 3a. Hafta içi ve hafta sonu taşıt tipine göre emisyon miktarları (kg/gün) a)hafta içi, b)hafta sonu taşıt sayımları (Weekday and weekend vehicle type according to emission amounts a)weekday b)weekend vehicle counts)

	Otomobil			
	CO	NO <sub>x</sub>	NMVOC	PM
E-80 a	5688	806	896	38
E-80 b	5827	825	918	39
D-100 a	1676	237	264	11
D-100 b	1927	273	304	13

Tablo 3b. Hafta içi ve hafta sonu taşıt tipine göre emisyon miktarları (kg/gün) a)hafta içi, b)hafta sonu taşıt sayımları (Weekday and weekend vehicle type according to emission amounts a)weekday b)weekend vehicle counts)

	Hafif Ticari			
	CO	NO <sub>x</sub>	NMVOC	PM
E-80 a	1892	271	204	27
E-80 b	2210	317	238	31
D-100 a	998	143	108	14
D-100 b	946	135	102	13

Tablo 3c. Hafta içi ve hafta sonu taşıt tipine göre emisyon miktarları (kg/gün) a)hafta içi, b)hafta sonu taşıt sayımları (Weekday and weekend vehicle type according to emission amounts a)weekday b)weekend vehicle counts)

	Otobüs			
	CO	NO <sub>x</sub>	NMVOC	PM
E-80 a	312	977	82	43
E-80 b	347	1087	91	48
D-100 a	23	73	6	3
D-100 b	21	65	5	3

Tablo 3d. Hafta içi ve hafta sonu taşıt tipine göre emisyon miktarları (kg/gün) a)hafta içi, b)hafta sonu taşıt sayımları (Weekday and weekend vehicle type according to emission amounts a)weekday b)weekend vehicle counts)

	Kamyon			Motosiklet		
	CO	NO <sub>x</sub>	NMVO C	P M	C O	NMVO C
E-80 a	54 2	180 2	284	12 4	26	4
E-80 b	41 0	136 3	215	94	49	8
D-100 a	16 6	552	87	38	37	6
D-100 b	14 8	492	78	34	39	6

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Yukarıda elde edilen veriler ve yapılan çalışmalar sonucunda Sapanca gölüne etki eden hava kirleticilerinin emisyon envanteri oluşturulmaya çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan emisyon faktörleri EMEP/EEA emisyon faktörleridir. Ancak Türkiye bazında oluşturulmuş emisyon faktörleri olmaması ülkemiz için gerçek emisyon envanterlerinin oluşturulmasını güçleştirmektedir. Hava kirleticilerinin belirlenmesi için oluşturulan emisyon envanterlerinin yanı sıra aktif ve pasif örneklemelerle o bölgenin gerçek kirlilik yüklerinin belirlenmesi esas olmalıdır.

Çevresel kirlilik açısından hassas olan bölgelerde (Sapanca Gölü gibi) örneklemelerin artırılması ve yorumlanması büyük önem taşımaktadır. Çalışmada ulaşılmak istenen çevresel risk faktörü yüksek olan yerlerde oluşan kirlilik faktörünün kaynaklarıyla net olarak ortaya konulmasıdır. Buna bağlı olarak Sapanca gölü çevresindeki karayollarının göl etrafında oluşturduğu toplam emisyon yükleri CO emisyonu için 4353 ton/yıl, NO<sub>x</sub> emisyonu için 2121ton/yıl, NMVOC 747ton/yıl ve PM emisyonu için 122ton/yıl değerindedir. Sakarya'da yapılan önceki çalışmalar da saatlik bazda emisyon envanteri oluşturulmuş ve yıl bazında baktığımızda karayolundan kaynaklanan CO emisyonu yaklaşık 77 ton/yıl ve NO<sub>x</sub> 0,4ton/yıl olarak bulunmuştur. Bu veriler çalışmada elde edilen sonuçlarla kıyaslandığında; Sapanca gölü çevresinde emisyon miktarlarının çok yüksek olmasının sebebi ülkemizin en önemli otoyollarından E-80 Anadolu TEM otoyolunun Türkiye'deki pek çok araç tarafından kullanılıyor olmasıdır. Özellikle bayramlarda ve haftasonlarında otoyoldaki trafik

artış göstermekte ve dolayısıyla yakıt tüketimine bağlı olarak ortaya çıkan hava kirleticileri önemli seviyede artmaktadır.

Gün geçtikçe artan refah seviyesi ve nüfus artışı sonucunda taşıt sayısının arttığı göz önünde bulundurulduğunda özellikle hassas bölgeler başta olmak üzere şehir merkezlerinde hava kirliliğini azaltabilmek için önlemlerin alınması gerekmektedir. Alınabilecek önlemler olarak taşıtların düzenli bakımının ve denetiminin yapılması, yeşil alanların artırılması, kirlitenden çok daha fazla vergi alınması, kirliliğin yoğun olduğu yerlerde hız sınırlamalarının getirilmesi ve tüketicileri çevre dostu taşıtlara yönlendirme, taşıtlarını değiştirmeleri için teşviklerde bulunma sıralanabilir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] A. Sjodin, M. Lenner, "On-road measurements of single vehicle pollutant emissions, speed and acceleration for large fleets of vehicles in different traffic environments", Science of the Total Environment, no.169, p. 157–165, 1995.
- [2] K. Nikolaou, S. Basbas, G. Toskas, "Air pollutant emissions and concentrations based on urban traffic modeling", Fresenius Environmental Bulletin, no. 11, p. 494–498, 2002.
- [3] D. Baytak, S.C. Sofuoğlu, O. Alkan, T. Elbir, "Karayolu trafiğinden kaynaklanan kirlitici seviyelerinin yapay sinir ağları ile tahmin edilmesi", Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi, no. 2, p. 28-35, 2013.
- [4] European Topic Centre on Air and Climate Change ETC/ACC. "Air emissions spreadsheet for indicators 2004". Copenhagen, Denmark, 2005.
- [5] European Environment Agency EEA. (2007). "EMEP/CORINAIR Emission inventory guidebook 2006". [online]. Available: <http://www.eea.europa.eu/publications/EMEP/CORINAIR4>. [Accessed: 25-Şubat-2015].
- [6] World Health Organization WHO. (2016, Apr.). "Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide-Report on a WHO Working Group".

- [online]. Available: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/112199/E79097.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/112199/E79097.pdf) [Accessed: 25-Şubat-2016].
- [7] World Health Organization WHO. "Air quality guidelines for Europe; second edition" Copenhagen. Denmark, European series; No 91, 2005.
- [8] World Health Organization WHO. (2016, Apr.). "Health effects of transport-related air pollution". [online]. Available: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0006/74715/E86650.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/74715/E86650.pdf). [Accessed: 8-Mayıs-2016]
- [9] İ. Şişman, "Sapanca bölgesinde Tem otoyolundan kaynaklanan ağır metal kirliliği", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 1999.
- [10] B. Onat, Ü. Ş. Alver, A. Erol, M. Bacacı, V. Şahin, "İstanbul'da otoyol kenarında PM10, PM2.5 ve PM1'in toplam ve suda çözünen metal içeriklerinin belirlenmesi", IV. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, Ankara, Türkiye, 25-27 Ekim 2010.
- [11] M. Fallahshorshani, M. Andre, C. Bonhomme, C. Seigneur, "Coupling traffic, pollutant emission, air and water quality models: technical review and perspectives", *Procedia Social and Behavioral Sciences*, no. 48, p. 1794 – 1804, 2012.
- [12] C. Borrego, J. H. Amorim, O. Tchepel, D. Dias, S. Rafael, E. Sa, C. Pimentel, T. Fontes, P. Fernandes, S.R. Pereira, J.M. Banderia, M.C. Coelho, "Urban scale air quality modelling using detailed traffic emissions estimates", *Atmospheric Environment*, no. 131, p. 341-351, 2016.
- [13] R. Bellasio, R. Bianconi, G. Corda, P. Cucca, "Emission inventory for the road transport sector in Sardinia (Italy)", *Atmospheric Environment*, no. 41, p. 677–691, 2007.
- [14] P. Iodice, P. Adamo, F. Capozzi, A. Di Palma, A. Senatore, V. Spagnuolo, S. Giordano, "Air pollution monitoring using emission inventories combined with the moss bag approach", *Science of Total Environment*, no. 541, p. 1410-1419, 2016.
- [15] C. Johansson, M. Norman, L. Burman, "Road traffic emission factors for heavy metals", *Atmospheric Environment*, no. 43, p. 4681– 4688, 2009.
- [16] Q. Zhanga, J. Xua, G. Wang, W. Tiana, W. Jiangb. "Vehicle emission inventories projection based on dynamic emission factors: a case study of Hangzhou, China", *Atmospheric Environment*, no. 42, p. 4989–5002, 2008.
- [17] T. Elbir, A. Bayram, M. Kara, H. Altıok, R. Seyfioğlu, P. Ergün, S. Şimşir, "İzmir kent merkezinde karayolu trafiğinden kaynaklanan hava kirliliğinin incelenmesi", *DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, no. 12, p. 1-17, 2010.
- [18] T. Elbir, H. Koca, "Bir üniversite yerleşkesi içinde karayolu trafiğinden kaynaklanan hava kalitesinin belirlenmesi", *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*, no. 2, p. 45 – 54, 2013.
- [19] Y. Cuci, E. Polat Ergün, "Gaziantep'in trafik kaynaklı hava kirliliğinin belirlenmesi", *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, no. 18-2, 2015.
- [20] S. Çetin, A. Karademir, B. Pekey, S. Ayberk, "Kocaeli ilinde trafik kaynaklı hava kirliticilerinin emisyon envanteri", *Kocaeli Özelinde Büyükşehirlerin Kentsel Yapılaşma ve Ulaşım Sorunları Sempozyumu*, Kocaeli, Türkiye, 28-30 Haziran 2006.
- [21] S. Soylu, "Estimation of turkish road transport emissions", *Energy Policy*, no. 35, p. 4088-4094, 2007.
- [22] S. Soylu, M. Gümrükçüoğlu, A. Bal, G. Şentürk, B. Aydınlar, "Examination of urban transport characteristics and its emissions - adapazarı case study", *ETTAP-09 17th Transport and Air Pollution Symposium - 3rd Environment and Transport Symposium*, Toulouse, France, 2-4 June 2009.
- [23] Karayolları Genel Müdürlüğü (2015). "2014 Trafik ve Ulaşım Bilgileri" [online] Available: <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Istatistikler/TrafikveUlasim.aspx>. [Accessed: 27-Nisan-2015]
- [24] Türkiye İstatistik Kurumu (Ağustos 2014). "Motorlu Kara Taşıtları İstatistikleri 2013", 4173, Ankara, Türkiye. [online] Available:



[www.tuik.gov.tr/Kitap.do?metod=KitapDetay&KT\\_ID=15&KITAP\\_ID=72](http://www.tuik.gov.tr/Kitap.do?metod=KitapDetay&KT_ID=15&KITAP_ID=72).  
[Accessed: 7-Aralık-2014]

guidebook”. [online] Available:  
[https://www.google.com.tr/?gws\\_rd=ssl#q=Exhaust+emissions+from+road+transport](https://www.google.com.tr/?gws_rd=ssl#q=Exhaust+emissions+from+road+transport).  
[Accessed:13-Şubat-2011]

- [25] Ntziachristos, L, Samaras, Z. (2009).  
“EMEP EPA emission inventory