

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BALIKESİR İL MERKEZİNDE MOTORLU TAŞITLARDAN KAYNAKLANAN
EMİSYON ENVANTERİNİN HESAPLANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İhsan SERT

Balıkesir, Eylül-2008

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BALIKESİR İL MERKEZİNDE MOTORLU TAŞITLARDAN KAYNAKLANAN
EMİSYON ENVANTERİNİN HESAPLANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İhsan SERT

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Nadir İLTEN

Sınav Tarihi : 24.09.2008

Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Nadir İLTEN (Danışman-BAÜ)

Prof. Dr. Bedri YÜKSEL (BAÜ)

Yrd. Doç. Dr. Lokman Hakan TECER (BAÜ)

Balıkesir, Eylül-2008

ÖZET

BALIKESİR İL MERKEZİNDE MOTORLU TAŞITLARDAN KAYNAKLANAN EMİSYON ENVANTERİNİN HESAPLANMASI

İhsan SERT

Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

(Yüksek Lisans Tezi / Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Nadir İLTEN)

Balıkesir, 2006

Şehirlerde motorlu taşıtlardan kaynaklanan egzoz gazları hava kirliliğinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Motorlu taşıtın özelliklerine bağlı olarak kullanılan yakıtların yakılması sonucu atmosfere salınan CO, VOC, NO_x, PM gibi emisyonlar hava kirliliği yaratmaktadırlar. Motorlu taşıtların sayılarının ve kat ettikleri mesafenin artması sonucu motorlu taşıt kaynaklı hava kirliliğini de arttırmaktadır.

Motorlu taşıt egzoz emisyonlarını hesaplariken, temel olarak emisyon faktörü ve taşıt parkı bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan bu çalışmada, Balıkesir İl merkezindeki araçlarla ilgili kullanılacak veriler, yapılan anket çalışmasıyla elde edilmiştir. 925 olan anket sayısı, toplam araç parkına ve standartlara göre belirlenen araç sınıflarına bağlı olarak belirlenmiştir. Yapılan anketlerle, araçların yıllık, kilometre olarak kat ettikleri mesafe, ortalama hız ve yakıt tüketimleri belirlenmiştir. Bu değerler, toplam araç parkına uygulanmıştır. EMEP-CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2006'ya bağlı olarak her bir araç sınıfı için emisyon faktörleri hesaplanmıştır. Buradan, yıllık kat edilen mesafe, ortalama hız ve emisyon faktörlerine bağlı olarak egzoz emisyonları hesaplanmıştır.

Balıkesir il merkezinde 2007 yılına ait yapılan hesaplamalar neticesinde; egzoz emisyonları CO_{Toplam} 2263.53 ton/yıl, VOC_{Toplam} 531.93 ton/yıl, NO_x_{Toplam} 1530.30 ton/yıl, PM_{Toplam} 90.96 ton/yıl, yakıt tüketimleri FC_{benzinToplam}=10596.50 ton/yıl, FC_{LPGToplam}=11579.50 ton/yıl, FC_{dizelToplam}=45827.25 ton/yıl CO₂_{Toplam}=173046.83 ton/yıl olarak hesaplanmıştır.

ANAHTAR SÖZCÜKLER : Balıkesir, hava kirliliği, çevre kirliliği, emisyon, taşıt, CO, VOC, NO_x, PM, yakıt tüketimi

ABSTRACT

THE CALCULATION OF EMISSION INVENTORY ENERGING FROM THE MOTOR VEHICLES IN THE CENTRE OF BALIKESİR

İhsan SERT
Balıkesir University, Institute of Science,
Department of Mechanical Engineering

(M. Sc. Thesis / Supervisor : Assist. Prof. Dr. Nadir İLTEN)

Balıkesir-Turkey, 2006

The exhaust gasses emitted by motor vehicles in the cities form the important majority of the air pollution. The emissions emitted to the atmosphere such as CO, VOC, NO_x and PM cause air pollution as a result of combustion of fuels that are used according as the motor vehicles' specifications. Air pollution caused by motor vehicles is increased in consequence of increasing of the number of motor vehicles and the distance that are driven.

While calculating the motor vehicles exhaust emissions, it's basically needed the emission factor and the information of the vehicle number. In this study, data which will be used related with the vehicles in Balıkesir city center is acquired with the public survey. The test subject number, 925, has been determined depending on the total vehicle number and the determined vehicle classes according as standards. In this public surveys, yearly vehicles' distance that were driven as kilometer, average speed and fuel consumptions are determined. These rates were applied to the total vehicle number. The emission factors were calculated for every vehicle category in accordance with EMEP-CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2006. The exhaust emissions accordance with the distance that was driven, average speed, and emission factors were calculated from the calculation above.

In the result of calculations belonging to 2007 in Balıkesir city center exhaust emissions were calculated as CO_{Total} 2263.53 tones/year, VOC_{Total} 531.93 tones/year, NO_{xTotal} 1530.30 tones/year, PM_{Total} 90.96 tones/year and fuel consumption; FC_{fuel Total}= 18638.86 tones/year, FC_{LPGTotal} = 10224.93 tones/year and FC_{dieselTotal} = 43036.11 tones/year, CO_{2Total} 173046.83 tones/year.

KEY WORDS : Balıkesir, air pollution, environment pollution, emission, vehicle, CO, VOC, NO_x, PM, fuel consumption

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SEMBOL LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Araştırması.....	1
1.2 Çevresel Kavramlar.....	4
1.2.1 Çevre.....	4
1.2.2 Hava Kirliliği ve Hava Kirliliğini Etkileyen Meteorolojik Parametreler.....	5
1.2.3 Hava Kirliliğinin Kaynakları.....	6
1.2.4 Hava Kirliliğini Oluşturan Kirleticiler.....	6
1.2.4.1 Kükürt Oksitler:.....	7
1.2.4.2 Partikül Madde.....	7
1.2.5 Hava Kirliliği ve Etkileri.....	8
2. İÇTEN YANMALI MOTORLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİ.....	12
2.1 Buji ile Ateşlemeli Motorlar (Otto Motorları).....	13
2.1.1 Buji Ateşlemeli Motorlarda Kullanılan Yakıtlar.....	16
2.1.1.1 Benzin.....	16
2.1.1.2 Likit Petrol Gazı (LPG):.....	17
2.1.1.3 Etanol.....	21
2.2 Sıkıştırma İle Ateşlemeli Motorlar (Diesel Motorları).....	23
2.2.1 Sıkıştırma İle Yanmalı Motorlarda Kullanılan Yakıtlar.....	28
2.2.1.1 Dizel Yakıtın Özellikleri.....	28

2.2.1.2 Biyodizel	30
2.3 Taşıt Kaynaklı Kirletici Emisyonlar	33
2.3.1 VOC (HC) Emisyonları.....	34
2.3.2 CO Emisyonları.....	35
2.3.3 NO _x Emisyonları	36
2.3.4 Aldehitler (R.CHO).....	38
2.3.5 İs ve partiküller (Katı ve sıvı parçacıklar).....	38
2.3.6 Kükürtdioksit (SO ₂)	39
2.3.7 Kurşun bileşenleri	39
2.4 Türkiye’de Taşıtlardan Kaynaklanan Kirleticilere Getirilen Sınırlamalar.....	39
3. MATERYAL VE YÖNTEM	42
3.1 Materyal	42
3.1.1 Balıkesir İli Özellikleri.....	42
3.1.2 Balıkesir İli İklim Özellikleri	43
3.1.3 Balıkesir İlinde Hava Kirliliği.....	43
3.1.4 Meteorolojik veriler	44
3.1.5 Hava kalitesi ve yerel meteoroloji.....	45
3.1.6 Balıkesir İli Trafik, Araç ve Yol Durumu	48
3.2 YÖNTEM.....	51
3.2.1 Emisyon Envanteri.....	53
3.2.2 Veri Toplama Süreci (Anket Çalışması)	56
3.2.3 Toplam Emisyon	57
4. SONUÇLAR	60
4.1 Balıkesir İle İlgili Araç Parkının Oluşturulması	60
4.2 Emisyon Hesapları	63
4.2.1 Sıcak Emisyon Hesabı.....	63
4.2.1.1 Sıcak CO Emisyonu	72
4.2.1.2 Sıcak VOC Emisyonu	74
4.2.1.3 Sıcak NO _x Emisyonu	75

4.2.1.4 Balıkesir İli İçin Hesaplanan Sıcak Partikül Madde Miktarı (PM).....	76
4.2.1.5 Yakıt Tüketimi (FC).....	76
4.2.2 Soğuk Emisyon Hesabı	78
4.2.2.1 Balıkesir İli İçin Hesaplanan Soğuk CO Emisyonu.....	83
4.2.2.2 Soğuk VOC Emisyonu	84
4.2.2.3 Soğuk NO _x Emisyonu	84
4.2.2.4 Soğuk Yakıt Tüketim Miktarı	85
4.2.2.5 Soğuk PM Miktarı	86
4.2.3 Balıkesir İli CO ₂ Hesabı	86
4.3 Toplam Emisyon	88
5. TARTIŞMA	90
KAYNAKLAR	95

SEMBOL LİSTESİ

<u>Simge</u>	<u>Adı</u>	<u>Birimi</u>
ε	Sıkıştırma Oranı	-
ppm	Milyonda Bir Partikül	ppm
O ₂	Oksijen	-
A/F	Hava Yakıt Oranı (Air Fuel Ratio)	-
C	Karbon	-
H	Hidrojen	-
S	Kükürt	-
CO	Karbonmonoksit	-
VOC	Uçucu Organik İçerik	-
HC	Hidrokarbon	-
NO _x	Azotoksit	-
PM	Partikül Madde	-
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı	-
μ	Mikro	-
τ	Tutuşma gecikmesi	-
ÜON	Üst Ölü Nokta	-
°C	Santigrat Derece	-
KMA	Krank Mili Açısı	-
CORINAİR	Coordination of Environmental Air	
ECE	Economic Commision for Europe	

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil Numarası	Adı	Sayfa
Şekil 1.1	Asit Birikiminin Doğada Oluşum Şekli [19].	9
Şekil 2.1	Motorlu Taşıttaki Kirletici Emisyon Noktaları [26].	12
Şekil 2.2	Benzin Motorların Yanma Olayında Basıncın ve Sıcaklığın KMA'na Bağlı Olarak Değişimi [25].	13
Şekil 2.3	Benzin Motorda Hava Fazlalık Katsayısının Emisyona Etkisi [25]	15
Şekil 2.4	Propan Gazı	17
Şekil 2.5	Bütan Gazı	17
Şekil 2.6	Dizel Motorlarında Yanma Safhaları [27]	24
Şekil 2.7	Dizel Motorda Hava Fazlalık Katsayısının Emisyona Etkisi[25].	27
Şekil 2.8	Setan Sayısı ve Sıkıştırma Oranı Arasındaki İlişki[33].	30
Şekil 3.1	Balıkesir İli Merkezi ve İlçeleri[37].	42
Şekil 3.2	1996-2006 Yılları Arasında Balıkesir İlinin SO ₂ ve PM değerleri [38].	46
Şekil 3.3	Kükürtdioksitin (SO ₂) Kış Aylarına Göre Değişiminin Grafiği [38].	47
Şekil 3.4	Partikül Maddenin (PM) Kış Aylarına Göre Değişiminin Grafiği[38].	48
Şekil 4.1	Balıkesir İli Yıllık Sıcak CO Emisyon.	73
Şekil 4.2	Balıkesir İli Yıllık Sıcak VOC Emisyon.	74
Şekil 4.3	Balıkesir İli Yıllık Sıcak NO _x Emisyon	75
Şekil 4.4	Balıkesir İli Yıllık Sıcak PM.	76
Şekil 4.5	Balıkesir İli Yıllık Yakıt Tüketimi (FC)	77
Şekil 4.6	Balıkesir İli Yıllık Yakıt Türüne Göre Yakıt Tüketimi (FC).	77
Şekil 4.7	Balıkesir İli Yıllık Soğuk CO Emisyonu	83
Şekil 4.8	Balıkesir İli Yıllık Soğuk VOC Emisyonu	84
Şekil 4.9	Balıkesir İli Yıllık Soğuk NO _x Emisyonu.	85
Şekil 4.10	Balıkesir İli Yıllık Soğuk FC Miktarı	85
Şekil 4.11	Balıkesir İli Yıllık Soğuk PM Miktarı	86
Şekil 4.12	Balıkesir İli Yıllık CO ₂ Miktarı	88

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Cizelge Numarası</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1	LPG'nin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri[30].	18
Çizelge 2.3	Dizel Yakıtı ve Biyodizelin Yakıt Özellikleri [34].	31
Çizelge 2.4	Biyodizelin Dizel Yakıtla Karşılaştırılması [34]	32
Çizelge 2.5	Otomotiv Sanayi Benzinli Otomobil Egzoz Emisyon Standartları Uyum Programı	41
Çizelge 2.6	Otomotiv Sanayi Benzinli Otomobil Egzoz Emisyon Standartları Uyum Programı	41
Çizelge 3.1	1996-2006 Yılları Arasında Hava Kirliliğinin SO ₂ ve PM Olarak Değişiminin İncelenmesi [38].	45
Çizelge 3.2	Kükürtdioksitin (SO ₂) Kış Aylarına Göre Değişimi [38].	46
Çizelge 3.3	Partikül Maddenin (PM) Kış Aylarına Göre Değişimi[38].	47
Çizelge 3.4	Balıkesir İl Merkezi Araç Sayısının Yıllara Göre Değişimi[39].	49
Çizelge 4.1	Balıkesir il merkezi taşıt parkı ve uygulanan anket sayıları (2007).	60
Çizelge 4.2	Araç Sınıflarına Göre Euro Standartları ve Ortalama Hız	62
Çizelge 4.3	Balıkesir İli Yıllık Ortalama Km ve Hesaplama Kullanılacak Taşıt Sayıları	64
Çizelge 4.4	Balıkesir İlindeki taşıtlarla İlgili Ortalama Hıza Göre Hesaplanan Sıcak Emisyon Faktörleri	66
Çizelge 4.5	Balıkesir İli için Hesaplanan Yıllık Sıcak Emisyon Miktarı (g/yıl)	68
Çizelge 4.6	Balıkesir İli için Hesaplanan Yıllık Emisyon Miktarı (Ton/yıl)	70
Çizelge 4.7	Balıkesir İli İçin Anket Sonuçları ve Araç km Göre 2007 Yılı Sıcak Emisyon Miktarı	72
Çizelge 4.8	Balıkesir İli Yıllık Yakıt Türüne Göre Yakıt Tüketimi	77
Çizelge 4.9	Balıkesir İlindeki Taşıtlarla İlgili Soğuk Emisyon İçin Hesaplanan β Parametreleri	80
Çizelge 4.10	Balıkesir İlindeki Taşıtlarla Hesaplanan Soğuk Emisyon İçin $e^{soğuk} / e^{sıcak}$	81
Çizelge 4.11	Balıkesir İlindeki Taşıtlarla Hesaplanan Soğuk Emisyon İçin $E_{soğuk}$ Emisyon Miktarı	82

Çizelge 4.12 Balıkesir İli İçin Anket Sonuçları ve Araç km Göre 2007 Yılı Soğuk Emisyon Miktarı	83
Çizelge 4.13 Balıkesir İli İçin CO ₂ Emisyon Miktarı	87
Çizelge 4.14 Balıkesir İl Merkezi Motorlu Taşıt Kaynaklı 2007 Yılı Toplam Emisyon Miktarı.....	89

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince değerli fikir, eleştiri ve yönlendirmeleri ile araştırmama katkıda bulunan, ilgi ve hoşgörüsünü esirgemeyen saygı değer danışman hocam, Sn. Yrd. Doç. Dr. Nadir İLTEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım

Tez hazırlanması sırasında beni yönlendiren, her zaman yardımcı olan ve desteklerini esirgemeyen Sn. Yrd. Doç. Dr. Lokman Hakan TECER'e, eğitimde devamlı gelişmeyi ve yeniliği esas alan bir ortam sağlayan güzel okulum Kara Kuvvetleri Astsubay Meslek Yüksek Okulu Komutanlığı'na,

Ayrıca beni çalışmalarımında her zaman teşvik eden ve sevgisini esirgemeyen değerli eşim, hayat arkadaşım Ayça Cerev SERT'e sonsuz teşekkür ederim.

Balıkesir, 2008

İhsan SERT

1. GİRİŞ

Otomobillerin insanlara sağladığı rahatlık ve hareket özgürlüğü büyüktür. Ancak çevreye verdiği egzoz emisyonları şehir havasını dolayısı ile tüm atmosferi kirletmektedir. Türkiye’de de son yıllarda; endüstri gelişmesi, plansız şehirleşme, nüfus ve taşıtların artışı, ile şehirlerde çevre kirliliği de önemli bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan egzoz emisyonları da hava kirliliğine katkısı artmaktadır.

Taşıtlardaki kirletici emisyonun en büyük kaynağı motor içinde, yanma sonucu oluşan egzoz gazlarıdır. Hidrokarbon emisyonunun (HC) yaklaşık % 60’ı ve karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x), kükürt dioksit (SO₂) ve partiküller (is) tümü yanma sonucu oluşmakta, egzoz gazları ile atmosfere atılmaktadır.

Bu çalışmada, çeşitli taşıtlarda kullanılan farklı yakıt tipleri incelenmiş, bu taşıtların egzoz emisyonları değerlendirilmiştir.

Balıkesir ili ile ilgili; ilin özellikleri, iklimi, hava kalitesi, SO₂ ve PM değerleri, taşıt miktarları bulunmuştur. İlin taşıt miktarı ve yapılan anketler sayesinde EMEP-CORINAIR Emission Inventory Guidebook–2006 metodolojisi temel alınarak Balıkesir ilindeki motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirleticilerin envanteri oluşturulmuştur.

1.1 Literatür Araştırması

GENÇ ve ç.a., Ankara’daki hava kirliliğinin zamansal ve mekansal değişimi çalışmasında; trafik kaynaklı ve trafik dışındaki kaynaklardan atılan inorganik kirleticilerin seviyeleri, trafikten kaynaklandığı bilinen başlıca kirleticilerin (CO, NO ve NO₂) yanında evsel kaynaklı olduğu sanılan SO₂, PM konsantrasyonlarının değişimlerini incelemişlerdir [1].

BRETT ve ç.a., Los Angeles'da 1997 yazında araçların egzoz emisyonlarının yakıt esaslı envanteri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Şehirde, araçların egzoz emisyonlarını ölçmek için sensörler koymuşlar, buradan elde ettikleri sonuçlarla CO ve VOC emisyonlarını hesaplamışlardır [2].

ÇELİKTEN, Ankara'da taşıtlarla ilgili egzoz emisyonlarını hesaplamış ve 2010 yılına kadar oluşabilecek taşıt sayıları ile taşıtlardan kaynaklanan egzoz emisyon miktarlarının tahminini ve katalitik dönüştürücü kullanımının gerekliliği konulu bir çalışma yapmıştır [3].

TAŞDEMİR, Bursa'da kış sezonu kükürt dioksit ölçümlerinin kentsel ve kırsal alan değerleriyle karşılaştırılması çalışmasında, ölçülen değerleri kendi aralarında, standartlarla, Türkiye ve Dünyada ölçülmüş değerlerle mukayese etmiştir [4].

SALVATORE ve ç.a., İtalya'da şehir içi alanlarda yol taşıtları emisyonlarının hesaplanması için Copert programından ve alandan yararlanarak taşıt kategori ve sürüş tarzlarına göre taşıt emisyonlarını hesaplanmasına yönelik bir metodoloji geliştirmişlerdir [5].

DEMİRCİOĞLU, İzmir'de taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliğini belirlemeye çalışmıştır. Hava kirliliğinin tespiti için İzmir - Menemen, İzmir - Manisa, İzmir - Ankara, İzmir - Çeşme, İzmir - Aydın yollarında şehir merkezine en yakın noktalarda sayımlar yapmıştır. Sayımlardan elde edilen veriler ve emisyon faktörleri yardımı ile çizgisel kaynaklardan kaynaklanan konsantrasyonlar için bir tahmin yapmıştır [6].

MANJULA ve ç.a., New York'taki taşıt kaynaklı PM ve gaz kirletici emisyonları hesaplanması ile ilgili çalışmalar yapmışlardır [7].

GÜVEN ve ç.a., Kayseri il merkezinde 1998-2003 yılları arasındaki kış aylarında SO₂, PM'nin Hava Kalitesi Korunması Yönetmeliğinde belirtilen sınır değerleri baz alarak değerlendirmeler yapmışlardır [8].

JAVIER ve ç.a., şehir merkezleri için trafik emisyonları envanterinin tahmin edilmesi için yapısal bir metodoloji geliştirmişlerdir. Bu metodolojiyi kullanarak Madrid şehri için örnek bir uygulama yapmışlardır [9].

Winther, Danimarka'da yol taşımacılığı yapan ve diğer hareket eden taşıtlar için emisyon envanterinin çıkarmışlardır. Copert programı kullanarak (CO₂, CO, VOC, CH₄, NO_x, PM ve SO₂) emisyon değerlerini hesaplamışlardır [10].

VITOR ve ç.a., 2004 yılı için Lisbon şehrinin hava fotoğrafları ve GPS ile arazi ölçümlerinden faydalanarak şehir içi yol trafik emisyonlarının detaylı bir şekilde envanterini çıkarmışlardır [11].

JOSE ve ç.a., İspanya'da 2000-2010'a kadar yılları arasında yol taşıt emisyonlarının, veri girişleri ile tahmini olarak hesaplanmasını yapmışlardır. Copert programını kullanarak 2000-2010 periyodunda İspanya'daki emisyon karakterlerini tahmin etmişlerdir [12].

ÖZTÜRK, Düzce il merkezinin hava kalitesi durumunu genel olarak incelendikten sonra, Düzce ilini kuşatan Otoyol ve D-100 Devlet Karayolunda seyir halinde olan araçlardan kaynaklanan CO, HC ve NO_x gazlarının hava kirliliğine katkıları hesaplamıştır. Ayrıca çalışmaları, trafikten kaynaklanan 4 adet (Cd, Zn, Pb ve Ni) ağır metal kirliliğinin tespit edilmesi yönünde yoğunlaştırmıştır [13].

Bellesio ve ç.a., Sardinia'da (İtalya) yol taşımacılığı sektörü için emisyon envanteri ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarda, Copert III programını kullanarak şehiriçi trafik kaynaklı kirleticileri inceleyip envanterini çıkarmışlardır [14].

Kassomenos ve ç.a., Yunanistan'ın Athens şehri yerleşim yeri için, bir iş günü oluşan trafik kaynaklı emisyonların günlük tahminini yapmışlardır. Taşıtların (CO, Benzene, NO_x, PM₁₀ ve VOC) değerlerini Copert programında hesaplamışlardır [15].

Borken ve ç.a., 1988-1999 yılları arasında İspanya'da yol taşımacılığı kaynaklı emisyonların hesaplanmasını Copert III programı ile emisyon değerlerini bulmuşlardır [16].

Steller ve ç.a., 2000 yılı için dünyada yol taşımacılığı emisyon envanterini çıkarmışlardır. Yolcu taşımacılığı ve yük taşımacılığı için (CO₂, CO, NMVOC, CH₄, NO_x, PM ve SO₂) emisyon değerlerini yakıt satışına göre hesaplamışlardır [17].

SOYLU, Türkiye'de yol taşımacılığı kaynaklı emisyonların belirlenmeye yönelik çalışmalar yapmıştır. Copert III programı kullanarak 2004 yılı için otomobillerin CO, HC ve Pb, ağır taşıtlar için NO_x, PM ve SO₂, motosikletlerin HC emisyonlarını yakıt tüketiminden hesaplamıştır [18].

1.2 Çevresel Kavramlar

1.2.1 Çevre

Bir organizmayı veya diğer özelleşmiş sistemi yaşamları boyunca etkileyen, canlı ve cansız (kimyasallar ve enerji) tüm dışsal koşullar ve etmenlere çevre denir [19].

Yanma esnasında tahta içindeki karbon, oksijen ile birleşerek bitkiler tarafından da absorblanan karbondioksiti oluşturur. Odun ihtiyacı karşılamayınca, kömür, gaz, fosil yakıtların kullanımıyla endüstri devrimi başladı. Bu tür yakıtların kullanımıyla havada CO₂ miktarının artması küresel ısınmayı meydana getirmiştir. Geçmişte sera gazı emisyonlarının riski hakkındaki çeşitli uyarılara rağmen, çevre kirliliğini azaltmak için önemli uyarılar dikkate alınmadı. Şimdi pek çok araştırmacı oluşan küresel ısınma için çözüm aramaktadır. Son yirmi yıldır toplum bu konunun farkında, siyasetçiler enerji, çevre, sürdürülebilir gelişmeye ve bunların etkilerine odaklanmaktadır.

Dünya nüfusunun 21. yüzyılın ortalarına kadar iki katına çıkması ve ekonomik gelişmelerin sürekli gelişmesi beklenmektedir. Enerji servisleri için global istekler 2050 yılına kadar önemli büyüklükte artması beklenmektedir. Eş zamanlı olarak, asit yağmurları, ozon tabakasının incilmesi ve küresel ısınma (sera gazı etkisi) gibi çevresel sorunların enerjiyle ilgili olarak muhtemelen artacağıdır. Bu gözlemler ve diğer kanıtlar enerji, sürdürülebilir gelişme tartışmalarına karar vermede en önemli faktördür [19].

1.2.2 Hava Kirliliği ve Hava Kirliliğini Etkileyen Meteorolojik Parametreler

Doğal yapısında bulunan esas maddelerin yüzde miktarlarının değişmesi veya yapısına yabancı maddelerin girmesi sonucu insan sağlığını ve huzurunu bozan hayvan, bitki ve eşyaya zarar verecek derecede kirlenmiş olan havaya kirli hava denir [20].

Sıcaklık: Isınmadan kaynaklanan hava kirliliği sıcaklık parametresine bağlıdır. Havaların soğuması demek, yakıtların yanması ve yakıtların yanması sonucu kirlilik parametrelerinin oluşması demektir. Yaz aylarında yani dış ortam sıcaklığı yüksek iken hava kirliliğini çok fazla hissetmeyiz.

Basınç : Yüksek basınç, havanın soğuması ile yoğunlaşan havanın yer çekimi etkisi ile yeryüzüne çökmesi sonucunda, bu havanın altındaki yüzeylere yaptığı basınca denir. Yanma sonucu ortaya çıkan kirleticiler yüksek basıncın etkisiyle daha fazla hissedilir. Alçak basınç ile genişleyen havanın altındaki cisimlere yaptığı basınç azalır. Kirlilik çok fazla hissedilmez.

Rüzgar: Rüzgarın yönü, şiddeti, sıklığı (frekansı) hava kirliliğini önemli ölçüde etkiler. Hakim rüzgar yönü şehrin yerleşimiyle uyumlu olmalı, aksi takdirde kirlilik yoğun hissedilir. Rüzgarın şiddeti, frekansı kış aylarında kendisini çok fazla hissettirir.

Yağış : Havadaki su buharı kirleticilerle birleşerek asit yağmurlarını oluştururlar[21].

Nem : Havada bulunan su buharı miktarıdır. Nem ölçümlerinde mutlak nem, bağıl nem ve spesifik nem hesaplanır. Mutlak nem birim hacimdeki nem miktarıdır. Gram/metreküp olarak verilir. Bağıl nem havadaki nem miktarının o havanın alabileceği maksimum neme olan oranıdır. Birimsel olarak verilir ve sıcaklık ile ters orantılıdır. Spesifik nem ise bir gazda bulunan su buharının ağırlığının gaz ağırlığına olan oranıdır [22].

1.2.3 Hava Kirliliğinin Kaynakları

Hava kirliliği, temel olarak doğal kaynaklardan (volkanik patlamalar, orman yangınları, vs) ve insan aktivitelerine bağlı olarak oluşabilen yapay kaynaklardan meydana gelmektedir. Yapay kaynaklar da; sabit kaynaklar (ısınma ve üretim amaçlı), hareketli kaynaklar (taşımacılık) olarak ikiye ayrılmaktadır.

Konum ve coğrafi yapı, meteorolojik koşullar, plansız kentleşme ve yeşil alanların yeterli miktarda bulunmaması, kullanılan yakıtlar hava kirliliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle ısınma ve ulaşım amaçlı kullanılan yakıtların kalitesi ve cinsi kirlilik parametrelerini önemli derecede etkilemektedir [21].

1.2.4 Hava Kirliliğini Oluşturan Kirleticiler

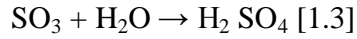
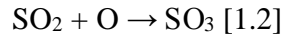
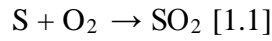
Primer Kirleticiler: Bunlar kaynaktan doğrudan doğruya çıkan bileşenlerdir. Kükürt dioksit (SO₂), karbon monoksit (CO), hidrojen sülfür (H₂S), azot monoksit (NO), azot dioksit (NO₂), karbon dioksit (CO₂), hidrojen florür (HF), partiküller madde, vs.

Sekonder Kirleticiler: Atmosferde sonradan oluşan kirletici bileşiklerdir. Kükürt trioksit (SO₃), Sülfürik asit (H₂SO₄), Aldehitler, Ketonlar, Asitler, endüstriyel duman v.s [21].

Kükürt oksitler ve partiküller madde dünyanın bütün kentsel alanlarında fosil kökenli yakıtların yanmasından oluşan hava kirleticilerinin en önemlileridir.

1.2.4.1 Kükürt Oksitler:

Kükürt dioksit; renksiz, boğucu, kokulu bir gazdır. Havada bulunabilen çeşitli partiküllerin yüzeylerinde reaksiyon gösterir. Suda hemen çözünür, havadaki su damlacıkları ile okside olur. Fosil kökenli yakıtların yanması ile açığa çıkan kükürt, havada derhal oksidasyona uğrar. Bu oksidasyon iki aşamada gerçekleşir;



Kükürt trioksit: sıcak ve soğuk suda eriyen renksiz bir gazdır. Atmosferde derhal sülfürik aside (H_2SO_4) dönüşmesinden dolayı atmosferdeki kalış süresi çok kısadır. Su ile asit oluşturması nedeniyle kirletici olarak önem taşımaktadır. Havadan daha ağır olan SO_2 , ortalama olarak atmosferde 2-4 gün kalabilir. SO_3 hemen reaksiyon verdiği için havada uzun süre kalmaz [20].

SO_2 ve H_2SO_4 sülfat tuzları solunum sistemini mukozoyu tahriş eder ve etkiler. Bronşit ve astım gibi kronik hastalıkların oluşumuna yol açar. SO_2 , partiküller madde ile birleşirse solunumda daha belirgin etkiler yapar [20].

1.2.4.2 Partikül Madde

Tek molekül boyutunda, 0.0002μ 'dan büyük, 500μ 'dan küçük katı ve sıvı havada koloidal veya askı halinde bulunan taneciklerdir. $1-1000\mu$ boyutundakiler toz, $0.4-1\mu$ duman, $0.06-10\mu$ mist olarak tanımlanır. Partiküller maddelerin kimyasal yapı ve özellikleri çok değişkendir. En genel anlamda inorganik ve organik bileşenler olarak ayrılırlar.

İnorganik Bileşenler; sülfat, nitrat, kurşun, demir, mangan, çinko

Organik Bileşenler; hidrokarbonlar, fenoller, organik asitler, alkoller

Partikül maddelerin doğal yollardan ortaya çıkan ve insan faaliyetlerine dayanan çeşitli kaynakları bulunmaktadır. Doğal kaynakları arasında çeşitli yollarla atmosfere geçen biyolojik partiküllerin yanında rüzgar erozyonu, volkan faaliyetleri ve orman yangınları sayılabilir. İnsan faaliyetlerine dayanan kaynaklar arasında yakma işlemleri olup bunu endüstriyel kaynaklar ve araçlar izlemektedir [20].

Partiküller maddelerin çoğu solunum sistemiyle olmak üzere insan sağlığına çeşitli zararlı etkileri bulunmaktadır. Boyutları 0.01-0.1 µ arasında olan partiküller maddeler solunum sisteminde tehlikelidir. 1-2 µ arası partiküller hava kesecikleri ve bronşlarda tutulabilir. Etkilerin ortaya çıkmasında maruz kalma süresinin önemi vardır. Etkiler esas olarak solunum sisteminin tıkanması, sistemin kendi kendini temizlemesine engel olunması veya zehirli ve kanserojen yapılar olarak ortaya çıkar.

1.2.5 Hava Kirliliği ve Etkileri

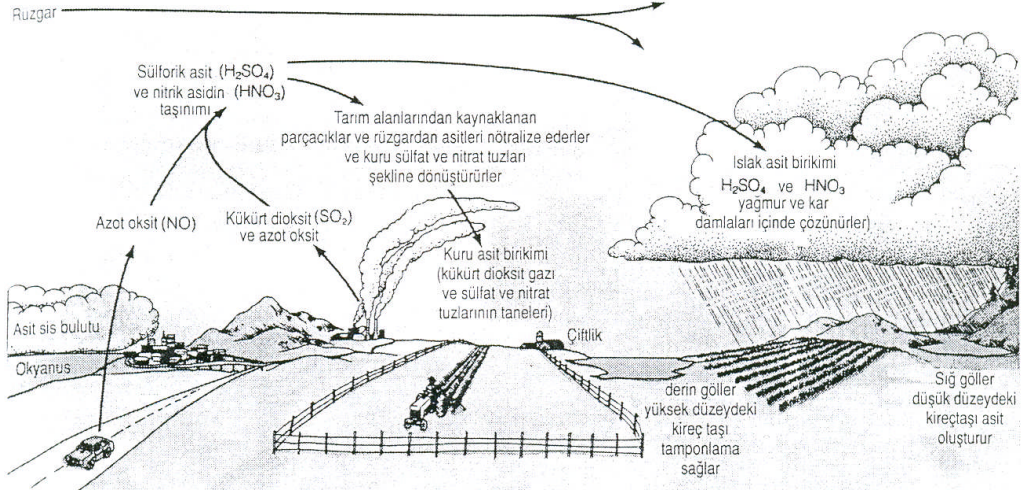
Hava kirliliği ile ilgili en önemli global problemler:

- Asit yağmurları
- Ozon delinmesi
- Sera gazı etkisi [21]

Asit Yağmurları: Hareketsiz kaynaklardan çıkan kükürt dioksit ve azot oksit emisyonları, rüzgarla uzun mesafelere taşındıkça, sülfürik asit ve sülfat ile nitrat tuzları içeren azot oksit, nitrik asit dumanları ve damlacıklardan oluşan kirleticileri oluştururlar.

Bu kimyasallar, asit yağmuru yada kar olarak sulu formda yada gazlar, sis, çiğ yada katı parçacık olarak, kuru halde yeryüzüne dönerler. Asitlerin ve asit oluşturan bileşiklerin kuru ve sulu karışımlarının dünya üzerindeki bileşimine asit birikimi yada

daha yaygın olarak asit yağmuru adı verilmektedir (Şekil 1.1). Büyük şehirlerdeki çok sayıda motorlu araçtan çıkan azot oksit emisyonları da asit birikimine katkı yapar.



Şekil 1.1 Asit Birikiminin Doğada Oluşum Şekli [19].

Asit birikimi pH'ı 5.6'dan daha düşük olan asidik yağmur, kar, toz ve gazdan oluşmuştur. pH düzeyinin düşmesi ile, asitliği artan bu yağ ve kuru birikim genel olarak asit yağmuru olarak isimlendirilir. Doğal yağışın asitliği 5-5,6 arasında değişir [19].

Bu sorun daha önceden yerel bir sorun olarak kabul edilirdi ancak, asit yağmurlarının bölgesel ve ülkeler arası bir problem olduğunun farkına varılınca, uçucu organik madde (VOCs), klorür, ozon, metal kalıntıları gibi diğer bölgeleri de etkileyen ve atmosferde kolaylıkla yayılan maddelere odaklanıldı. En iyi bilinen asit yağmuru etkileri ise, göllerin asidifikasyonu, buharlaşma ve yer altı suları, sonuçlarında canlı ve balık yaşamının tahribi, Orman ve tarım ürünlerinin, binaların, metal yapıların v.s. tahribidir. Ulaşım en önemli NO_x emisyon kaynağıdır. Toplam emisyonların %48'i OECD Ülkeleri oluşturmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri, Çin ve Rusya Federasyonu dünyada en fazla katkıda bulunan ülkelerdir [19].

Ozon Delinmesi: Çeşitli amaçlar için üretilen kloroflorokarbonlar (CFC) ozon tabakasını inceltmekte, bunun sonucunda çevre ve insan sağlığı olumsuz etkilenmektedir.

Ozon molekülleri atmosferde buldukları yere göre farklı karakteristik özellikler gösterirler. Stratosfer tabakasındaki ozon canlılar için yararlı olup, buna karşılık dünya yüzeyine yakın atmosfer tabakasında (troposferde) bulunan %10 oranındaki ozonun yıkıcı etkisi bulunmaktadır.

Atmosferdeki diğer moleküllerle reaksiyona giren ozonun, bitki ve hayvanların canlı dokularına çeşitli zararları bulunmaktadır. Atmosferdeki ozonun yaklaşık %90'ı yeryüzünden itibaren 10-40 km. arası yükseklikte ve stratosfer tabakasında bulunur. Bu bölgedeki ozonun özelliği; tüm canlı varlıkları, doğal kaynakları ve tarımsal ürünleri olumsuz yönde etkileyen ultraviole (UV) ışınlarını absorbe etmesidir. Ozon yoğunluğunun ultraviole ışınlarını tutma görevini yapamayacak kadar azalması, "**ozon tabakasının delinmesi**" olarak adlandırılmaktadır. Ozon tabakasının incilmesi sonucunda; UV-b radyasyonu artmakta ve insanların bağışıklık sistemleri zarar görmekte, görme bozukluğuna ve deri kanserine yol açmaktadır.

Ozon tabakasının incelmeye sebep olan ve kloroflorokarbon ihtiva eden maddelerin başında klor türevleri, plastik köpükler (strafor), spreyleyler, aerasoller ve yangın söndürücüler gelmektedir.

Ozon (O₃) Gazı: Ozon, 3 oksijen atomundan oluşan molekülleriyle zehirli, renksiz bir gazdır ve atmosferin üst katmanlarında yer alır. Gökyüzünün mavi renkte görünmesi bu gaz sayesinde olmaktadır. Sıvı halde lacivert renge dönüşen ozon gazı, dünyayı güneşten gelen morötesi radyasyona karşı korumaktadır. Ancak bu gaz aynı zamanda canlılar için çok tehlikelidir. Maruz kaldığında gözleri, burnu ve boğazı tahriş ederek solunum sistemini tahrip eder. Çok az insan ozonun ne kadar öldürücü olduğunu farkındadır. Bir gramın iki yüzde biri miktarda ozon almak öldürücü olabilir [23].

Sera Etkisi ve Küresel Isınma: Dünya atmosferi çeşitli gazlardan oluşmaktadır. Ayrıca düşük miktarda karbondioksit ve asal gazlar mevcuttur. Güneşten gelen ışınlar atmosferi geçerek yeryüzünü ısıtır. Atmosferdeki gazlar yeryüzündeki ısının bir kısmını tutar ve yeryüzünün ısı kaybına engel olur. Karbondioksit (CO₂) havada en çok ısı tutma özelliği olan gazdır. Atmosferin ısı geçirme ve ısıyı tutma özelliği vardır. Atmosferin ısıyı tutma yeteneği sayesinde suların sıcaklığı dengede kalır. Böylece nehirlerin ve okyanusların donması engellenmiş olur. Bu şekilde oluşan atmosferin ısıtma ve yalıtma etkisine sera etkisi denir. Dünya atmosferi cam seralara benzer bir özellik gösterir.

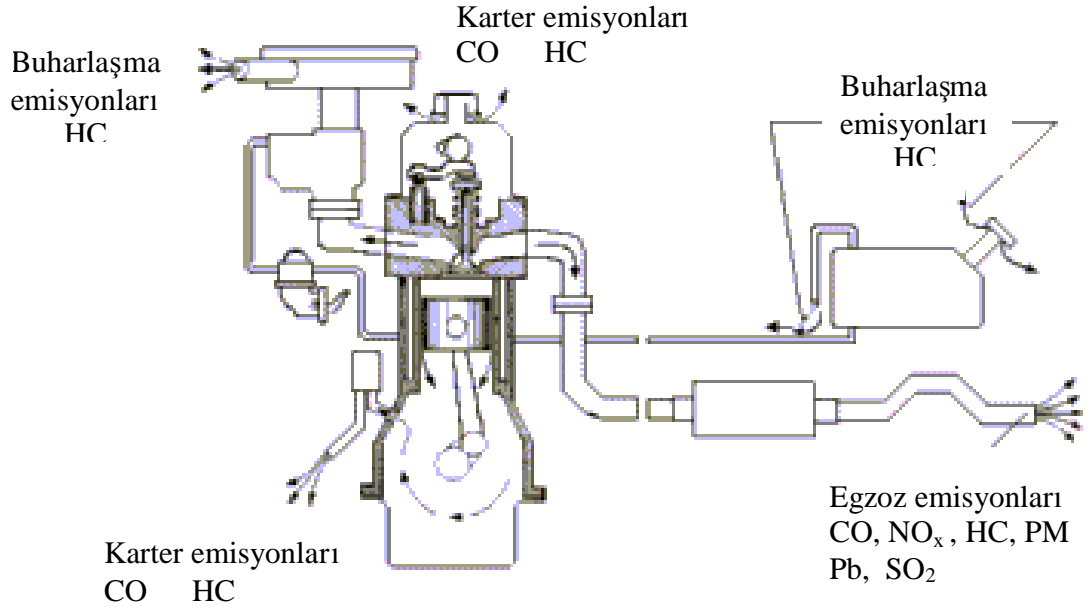
Son yıllarda atmosferdeki karbondioksit miktarı hava kirlenmesine bağlı olarak hızla artmaktadır. Metan, ozon ve kloroflorokarbon (CFC) gibi sera gazları çeşitli insan aktiviteleri ile atmosfere katılmaktadır. Bu gazların tamamının ısı tutma özelliği vardır.

Karbondioksit ve ısıyı tutan diğer gazların miktarındaki artış, atmosferin ısısının yükselmesine sebep olmaktadır. Buda küresel ısınma olarak ifade edilir. Bu durumun, buzulların erimesi ve okyanusların yükselmesi gibi ciddi sonuçlar doğuracak iklim değişmelerine yol açmasından endişe edilmektedir [24].

2. İÇTEN YANMALI MOTORLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Yanma olayı, doğrudan silindir içinde oluşturuluyor ve yanma ürünleri aynı zamanda iş yapan gazlar olarak kullanılıyorsa bu olayı oluşturan makineye içten yanmalı motor denilmektedir. İçten yanmalı motorlarda yakıtın enerjisinin ısı enerjisine dönüşümü silindir içinde, yakıt ile hava arasındaki kimyasal reaksiyonla oluşur. Bunun için yakıt-hava karışımı en az kimyasal reaksiyon süresi kadar silindir içerisinde kalmalıdır. Bu nedenle motorlarda yanma olayını kısa bir zaman içerisinde yerine getirebilecek özellikteki yakıtlar kullanılmalıdır.

İçten yanmalı motorlarda genel olarak sıvı hidrokarbonlar ve yaygın olarak da alkoller yakıt olarak kullanılmıştır. Ede edildikleri yerlerde değerlendirilmek üzere havagazı, metan, biyogaz ve özellikle hava kirlenmesinin sorun olduğu şehir içi taşımacılığında sıvı petrol gazı (LPG) ve doğal gaz gibi gaz yakıtlar da kullanılmaktadır. Ayrıca ekonomik üretim ve emniyetli olarak depolama sorunlarının çözülerek hidrojenin de yakıt olarak kullanılması için çalışmalar yapılmaktadır. Şekil 2.1’de motorlu taşıttaki kirletici emisyon noktaları görülmektedir [25].

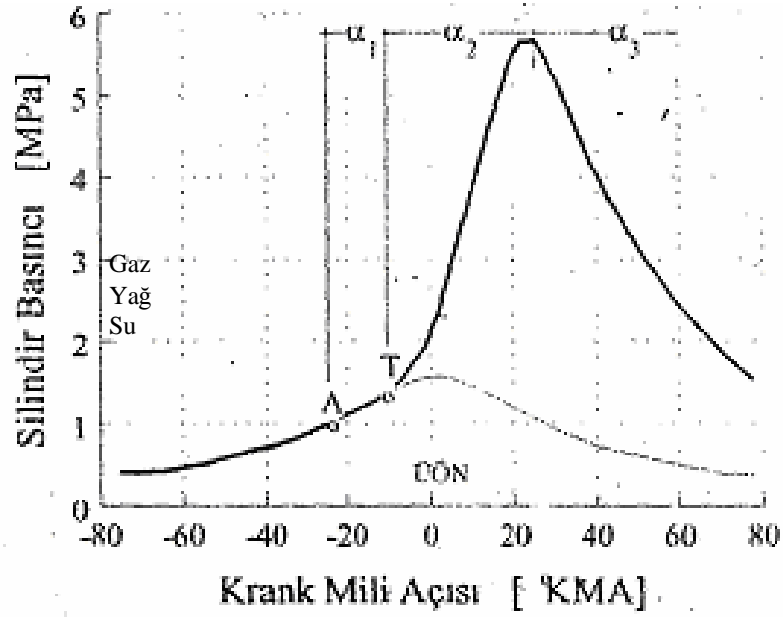


Şekil 2.1 Motorlu Taşıttaki Kirletici Emisyon Noktaları [26].

İçten yanmalı motorlar; buji ateşlemeli motorlar ve sıkıştırma ile ateşlemeli motorlar olarak ikiye ayrılır.

2.1 Buji ile Ateşlemeli Motorlar (Otto Motorları)

Benzin motorlarında yakıt ve hava karışımı, silindir dışında yakıt moleküllerinin, hava molekülleri içerisinde düzgün dağıldığı homojen bir karışım oluşturacak şekilde hazırlanmaktadır. Şekil 2.2’de benzin motorlarının yanma olayında basıncın ve sıcaklığın KMA’na bağlı olarak değişimi görülmektedir [25].



Şekil 2.2 Benzin Motorlarının Yanma Olayında Basıncın ve Sıcaklığın KMA'na Bağlı Olarak Değişimi [25].

Birinci faz; bujide kıvılcım çaktığı (A) ile basıncın artmaya başladığı nokta (T) arasındaki zaman birinci faz olarak kabul edilir. Piston ÜÖN'ya gelmeden önce buji elektrotları arasında, çakan kıvılcım enerjisi (30 – 100 MJ) nedeniyle, bu bölgedeki homojen karışımda, belli bir tutuşma gecikmesi sonunda, ilk alev cephesi patlama

şeklinde oluşmaktadır. Bu fazda yanan karışım miktarı az olup, toplam miktarın %1'i kadardır. Bu nedenle $p - \alpha$ diyagramı üzerinde basınç artışı görülmez.

Ana faz; tutuşma gecikmesi sonunda, $p - \alpha$ diyagramında basıncın artmaya başlaması anında başlamakta ve ÜÖN'dan sonra, maksimum basınç oluşuncaya kadar devam etmektedir (α_2). Ana fazın süresi 25 – 30° KMA civarındadır. Tutuşma gecikmesi süresi sonunda basınç, sıcaklık ve karışım oranının belirlediği bir yanma hızı ile alev cephesi sürekli şekilde ilerler [25].

Alev cephesi ilerledikçe yanmamış bölge küçüldüğünden ve karşı basınç arttığından ilerleme hızı azalacaktır. Diğer taraftan alev cephesi, kimyasal reaksiyonların hızına bağlı olarak belirlenen alev hızı ile de ilerlemektedir. Oda içinde basınç ve sıcaklık giderek arttığından, alev cephesi ilerledikçe alev hızı artmaktadır. İlerleme ve alev hızlarının toplamı alev yayılma hızını belirler ve yanma hızı olarak tanımlanır.

Son faz; maksimum basınç oluşmasından sonra başlamakta ve genişleme sırasında yakıtın tümü yanıncaya kadar devam etmektedir (α_3). Gazların sıcaklığı ise maksimum basınçtan belli bir süre sonra maksimuma ulaşır [25].

Vuruntu Direnci: Benzin motorunda yanma, sıkıştırma zamanı sonunda, buji elemanında oluşturulan yüksek enerjili (50 – 100 Mj) elektrik kıvılcımı ile başlatılmaktadır. Yanma cephesi ilerlerken yanma odasının artan basıncı ve sıcaklığı nedeniyle odanın, alevin henüz ulaşmadığı başka bir noktasında kendi kendine ikinci bir yanma odağı oluşabilir. Bu iki yanma cephesinin karşılıklı ilerlemeleriyle yanma hızı silindir içerisinde 300 – 350 m/s ve yanma odası basıncı 9 – 12 Mpa gibi yüksek değerlere ulaşır. Bu olaya benzin motorlarında vuruntu denilmektedir. Vuruntu sonucu motor gücünde artma olmadığı gibi tersine yerel olarak artan ısı iletimi nedeniyle güçte düşme görülür. Daha önemlisi artan ısı iletimi sonucu piston yüzeyinde erimeler ortaya çıkar [25].

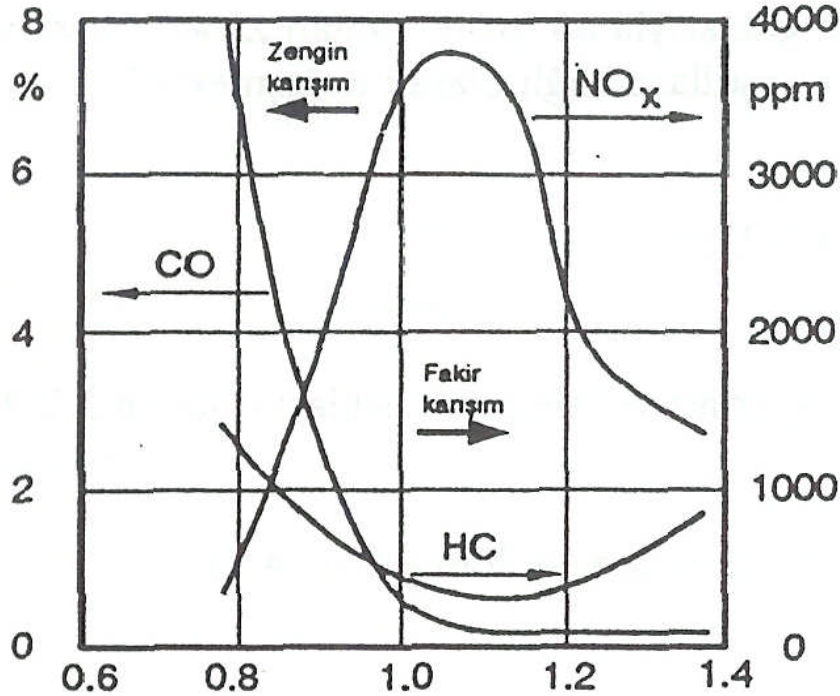
Vuruntunun nedeni yakıt buharı ile havanın kimyasal reaksiyonu sonucu ortaya çıkan kendi kendine tutuşma olayı olduğundan benzin motorunda vuruntunun oluşabilmesi için sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıklarının belli bir değeri geçmesi gerekir. Bu bakımdan sıkıştırma oranı (ϵ) vuruntuya etki eden en önemli parametre olup vuruntu sınırı için iyi bir ölçüdür. Yakıtların vuruntuya dirençleri için pratikte kullanılan ölçü oktan sayısıdır [25]. Vuruntu; sıcaklık ve basınçtan farklı olarak bujinin yeri, yanma odasındaki karbon birikintileri gibi başka bir çok sebepten meydana gelebilir.

Hava Fazlalık Katsayısı (λ): Yakıtın yanmasına katılan gerçek hava miktarının, teorik hava miktarına oranına denir.

Yanmaya katılan hava miktarı eşitse, $\lambda = 1$ (stokiyometrik) karışımdır

Yanmaya katılan hava miktarı eşitse, $\lambda < 1$ zengin karışımdır.

Yanmaya katılan hava miktarı eşitse, $\lambda > 1$ fakir karışımdır. Şekil 2.3'te benzin motorunda hava fazlalık katsayısının emisiyona etkisi görülmektedir [25].



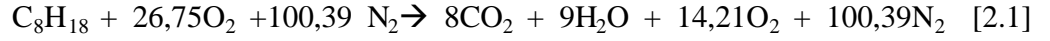
Şekil 2.3 Benzin Motorunda Hava Fazlalık Katsayısının Emisyona Etkisi [25]

2.1.1 Buji Ateşlemeli Motorlarda Kullanılan Yakıtlar

2.1.1.1 Benzin

Benzin; karbon atomu sayısı 4-10 arasında değişen sıvı HC bileşenlerinden ibaret bir karışımdır. Benzin HC'lar, ham petrolden gelen kükürt ve azot gibi istenmeyen elementler ve bazı özelliklerini iyileştirmek için eser miktarda ilave edilen katkı maddeleri (additives) benzinin içinde bulunan diğer bileşenlerdir [29].

Benzinin yanma eşitliği;



biçimindedir.

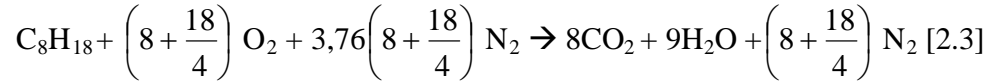
Burada kimyasal olarak doğru oranda (teorik tam yanma için) hava kullanılmıştır.

Reaksiyon hava (a) /yakıt (f) mol oranı;

$$A/f = (26,75 * 32 + 100,39 * 28) / (8 * 12 + 18 * 1) \quad [2.2]$$

$$A/f = = 32,16 \text{ kmol hava / kmol yakıt,}$$

Benzinin, tam yanması için gereken stokiyometrik hava/yakıt oranı



$$A/f = \frac{(8+18/4) * 32 + 3,76(8+18/4) * 28}{(8 * 12 + 18 * 1)}$$

$A/f = 15,05 \text{ kg}_{\text{hava}} / \text{kg}_{\text{yakıt}}$ olmaktadır.

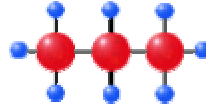
$\lambda = 32,16/15,05 = 2,14$ olarak hesaplanır [27].

2.1.1.2 Likit Petrol Gazı (LPG):

Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG), petrolün damıtılması ve parçalanması esnasında elde edilen ve sonradan basınç altında sıvılaştırılan başlıca propan, bütan ve izomerleri gibi hidrokarbonlar veya bunların karışımıdır. Dört çeşit (LPG) vardır [30].

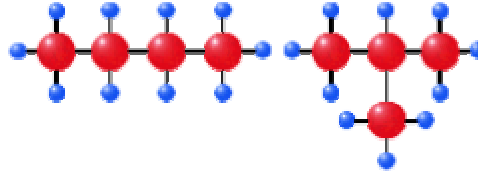
- a. Ticari Propan
- b. Ticari Bütan
- c. Ticari Propan-Bütan Karışımı
- d. Özel Hizmet Propanı

LPG Propan ve Butan gazlarının jenerik ismidir. Petrol ve gaz endüstrisinde üretilen hidrokarbon ürünleridir. Propan gazı üç karbon atomu içerir (C_3H_8). Şekil 2.4 ve 2.5'te propan ve bütan gazının atom yapısı görülmektedir.



Şekil 2.4 Propan Gazı

Bütan gazı ise dört karbon atomu, ana n - ve izo-bütan içerir (C_4H_{10}).



Şekil 2.5 Bütan Gazı

Çizelge 2.1'de LPG'nin (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı) fiziksel ve kimyasal özellikleri görülmektedir.

Çizelge 2.1 LPG'nin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri[30].

ÖZELLİKLER	TİCARİ PROPAN	TİCARİ BÜTAN	TİCARİ PROPAN BÜTAN KARIŞIMI	ÖZEL HİZMET PROPANI
İlk Kaynama Noktası ($^{\circ}\text{C}$)	-46	-9	-	-46
Sıvı Fazın Özgül Isısı ($\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}$)	1366	1276	-	1366
Bir Litre LPG'nin (sıvı fazdaki)buhar hacmi (m^3)	0.271	0.235	-	0.271
Hava-gaz Karışımında Patlama Sınırları (havada)hacimce buhar yüzdesi				
a) Alt	2.15	1.55	-	2.15
b) Üst	9.60	9.60	9.60	9.60
Kaynama Noktasındaki Buharlaşma Isısı				
a) Kj/kg	430	388	-	430
b) Kj/l	219	226	-	219
Alev Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	1980	2008	-	1980
Tutuşma Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	493-549	482-538	-	493-549
Kükürt Miktarı (mg/kg)	185	140	140	123
Oktan Sayısı	111	103	-	111
Alt Isıl Değeri (Mj/kg)	46.1	45.46	-	46.1

Hafifçe sıkıştırıldığında, atmosferik sıcaklıkta sıvı hale ve bu basıncın kaldırılması ile tekrara gaz haline geçebilir. Taşıma açısından bu özellik LPG için büyük

bir avantaj sağlamaktadır. Çizelge 2.2’de Dizel ve benzin yakıtının LPG’ye göre emisyon değerlerindeki fazlalık görülmektedir [31].

Çizelge 2.2 Dizel ve benzin yakıtının LPG’ye göre emisyon değerlerindeki fazlalık [31].

	CO	HC	NO _x	O ₃	CO ₂	Partikül madde
Dizel	%60	-	%90	%70	-	90
Benzin	%75	%85	%40	%87	%10	

Bütan ve propanın belirleyici temel özelliklerinden biri buharlaşma basıncıdır, yani sıvının kapalı hacimdeki buhar ile dengede olduğu basınçtır.

LPG’ nin yüksek ısı değerlere sahip olması önemli bir avantajdır. Ancak daha dikkatli kullanmayı gerektiren bir faktördür. Örneğin bütanın 0 °C’ deki buhar basıncı 0, 0005 bar ve 15 °C’de 0, 8 bardır. Propanın 0 °C sıcaklıktaki buhar basıncı ise 4 bardır. Yazın aynı sıcaklıkta bütan karışım oranlarının değişmesi basınç üzerinde belirgin farklılıklara neden olur.

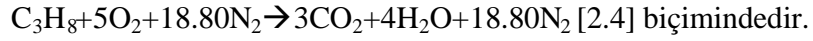
Sıvılaştırılmış petrol gazının benzine göre farklı özellikleri vardır. Bütan ve propan arasındaki ayıncı özelliklerden biri kaynama noktasıdır, yani sıvı fazdan gaz faza geçtikleri derecedir. Propanın -42 °C’ de gaz faza geçmesi durup, sıvı fazda kalırken, bütan 0 °C’ de kaynar. Özellikle soğuk havalarda daha yüksek oranlarda propan gerektiren karışımların gereksinimi ortaya çıkar, böylece gaz fazına dönüşüm kolaylaştırılır. Ülkemizde hava sıcaklığı bölgeden bölgeye değişeceğinden, taşıtlarda kullanılan LPG de % 30 propan, %70 bütan vardır, böylelikle tüm koşullar için uygun karışım sağlamış olur [31].

Yanma süreçlerinin büyük bir bölümünde gerekli olan oksijen atmosferdeki havadan sağlanmaktadır. Atmosfer havası hacimsel olarak %78, 09 Azot, %20, 95 Oksijen, %0, 93 Argon ve %0, 03 Karbondioksitten meydana gelmektedir. Yanma

süreçleri incelenirken karbondioksit ve argon gazları göz önüne alınmaz ve havanın hacimsel olarak %79 Azot ve%21 oksijenden oluştuğu varsayılır. Bu bileşimde olan havanın molekül ağırlığı 28, 851'dir ve içerisinde bir mol oksijene karşılık 3, 76 mol azot bulunmaktadır [31].

Propan, bütan ve hacimsel olarak %50 propan ve %50 bütandan oluşan LPG karışımının yanma eşitlikleri aşağıda verilmiştir.

Propanın yanma eşitliği;



Burada kimyasal olarak doğru oranda (Teorik tam yanma için) hava kullanılmıştır.

Reaksiyon hava (a) /yakıt (f) mol oranı;

$$A/f = 5 + 18, 80/1 = 23, 80/1 \text{ kmol hava / kmol yakıt,}$$

Ağırlık oranı ise;

$$A/f = 3 \cdot 32 + 18, 80 \cdot 28 / 3 \cdot 12 + 8 \cdot 1 = 15, 6/1 \text{ kg hava / kg yakıt olmaktadır.}$$

Bütanın yanma eşitliği;



Reaksiyonun hava / yakıt mol oranı;

$$A/f = 6, 5 + 24, 44/1 = 30, 94/1 \text{ kmol hava /kmol yakıt,}$$

Ağırlık oranı ise;

$$A/f = 6, 5 \cdot 32 + 24, 44 \cdot 28 / 4 \cdot 12 + 10 \cdot 1 = 15, 38/1 \text{ kg hava / kg yakıttır.}$$

Bu durumda, %50 propan ve %50 bütandan oluşan Propan-Bütan karışımının yanma eşitliği;

$(0,50C_3H_8 + 0,50C_4H_{10}) + 5,75O_2 + 21,62N_2 \rightarrow 3,5CO_2 + 4,5H_2O + 21,62N_2$
biçiminde olacaktır. Benzer şekilde Propan-Bütan karışımı için reaksiyonun hava / yakıt mol oranı;

$$A/f = 23, 80 + 30, 94/2 = 27, 37/1 \text{ kmol hava / kmol yakıt,}$$

Ağırlık oranı ise;

$A/f = 15, 6 + 15, 38/2 = 15, 49/1 \text{ kg hava / kg yakıt olarak hesap edilmektedir}$
[31].

2.1.1.3 Etanol

Etanol temiz, renksiz ve zehirli olmayan bir sıvıdır. Etanolün ısıl değeri benzinden daha düşüktür. Etanol su ile her oranda karışabilme özelliğine sahiptir [30].

Etanolün, yüksek oktan sayısına sahip olmasına karşın çok düşük setan sayısına sahip olması ve kendi kendine tutuşma direnci nedeni ile dizel motorlarında kullanımında birtakım problemler yaratır. Fakat kendi kendine tutuşma direnci, Otto motorlarında sıkıştırma oranının artırılmasına olanak sağladığından etanolün Otto motorlarında kullanımı daha avantajlıdır. Bu sebepten dolayı etanol, dizel motorlarında ancak buji kullanılması durumunda veya dizel yakıtla karıştırılması durumunda kullanılabilir. Düşük setan sayısına sahip olan yakıtların dizel motorlarındaki yanmasını düzeltmek için birtakım çalışmalar yapılmaktadır [30].

Etanolün ısı değeri petrole göre daha düşüktür, buharlaşma ısısı yüksek, buhar basıncı düşüktür. Buharlaşma ısısının yüksek oluşu motorlarda soğukta ilk hareketi zorlaştırmaktadır. Etanolün en önemli dezavantajlarından biri içinde bulunan suyun yakıt donanımı ve emme sistemi üzerindeki korozif etkisidir. Etanolün korozif özellikleri nedeni ile korozyonu önlemek için yakıt ve emme sistemi, koruyucu maddelerle kaplanmaktadır. Ayrıca etanolün nem tutuculuk özelliğinin yüksek olması ve kolaylıkla nemlenmesi etanol benzin karışımı olan yakıtlarda faz ayrışmasına neden olabilir.

Çeşitli deneyler sonucunda varılan sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

1. Benzine etil alkol katılması yanmayı iyileştirmekte vurutuya dayanıklılığı artırmaktadır. En iyi karışımın % 10 hacimsel oranlı etil alkol – benzin karışımı olduğu belirlenmiştir. Bu karışımında düşük sıkıştırma oranlarında ($\epsilon=7.5$ için) %7 ; yüksek sıkıştırma oranlarında ($\epsilon=9.5$ için) %15 verim artışı sağlanmaktadır. Ayrıca alkol kullanımı hava kirliliğini önemli düzeyde azaltmaktadır.

2. Alkollerin buhar basıncı düşük olduğundan alkol karışımları kullanıldığında özellikle soğuk havalarda ilk harekette emme sisteminde buharlaşmayı iyileştirici önlemler almak gerekir. Ayrıca alkolün (ve içinde bulunabilecek suyun) emme ve yakıt sistemi ve diğer motor elemanları üzerindeki korozif ve aşındırıcı etkileri incelenmeli , bu etkilere karşı gerekli önlemler alınmalıdır.

3. Güncel tekniklerde etil alkol üretimi pahalıdır ve genellikle gıda kaynaklarına dayanmaktadır. Ucuz alkol üretimi için yeni yöntemler geliştirilmelidir [30].

Etanolün motorlarda kullanımı düşüncesi daha çok geniş tarım alanlarına sahip ülkelerde yaygındır. ABD’de tarımla uğraşan eyaletlerde, %80 etanol %20 benzin karışımı olan E80 yakıtı, yıllardan beri otomobillerde yakıt olarak kullanılmaktadır.

Etanolün buharlaşma ısısının yüksek oluşu soğukta çalışmayı güçleştirmektedir. Kendi kendine ateşleme direncinden dolayı etanol Otto çevrimli motorlarda rahatlıkla kullanılabilir. Bu özelliği bu yakıtın dizel motorlarında kullanılmasını güçleştirmektedir. Etanol yakıtı metanol gibi dizel motorlarında yüksek enerji bujileri ile beraber kullanılmalıdır. Yanma enjeksiyon zamanlamasına bağlıdır. Enjeksiyon zamanlamasının iyi olmaması karışımın erken yanmasına neden olabilir.

Etanolün benzine göre daha düşük alev sıcaklığının olması, yanma işleminin iyileşmesini, yanma ürünleri içindeki azot oksitlerin NO_x ve CO'nin azalmasını sağlamaktadır.

Biobenzin (Etanol) Türkiye'de %95 benzin %5 etanol olarak üretilmiş ve satışa sunulmuştur. Günümüzde biobenzin satışı yapılmamaktadır [30].

2.2 Sıkıştırma İle Ateşlemeli Motorlar (Diesel Motorları)

Dizel motorlarında hava, emme stroku sırasında herhangi bir kısılmaya maruz bırakılmaksızın silindire tam olarak doldurulur. Sıkıştırma oranı 1:12-1:20 arasında olduğundan, sıkıştırma strokunun sonuna doğru silindirde hava sıcaklığı oldukça yüksektir. Yakıt sıkıştırılarak sıcaklığı ve basıncı yükseltileen hava içerisine ÜÖN'dan önce püskürtülmeye başlanır ve yüksek sıcaklık sebebiyle hemen tutuşur ve yanar [25].

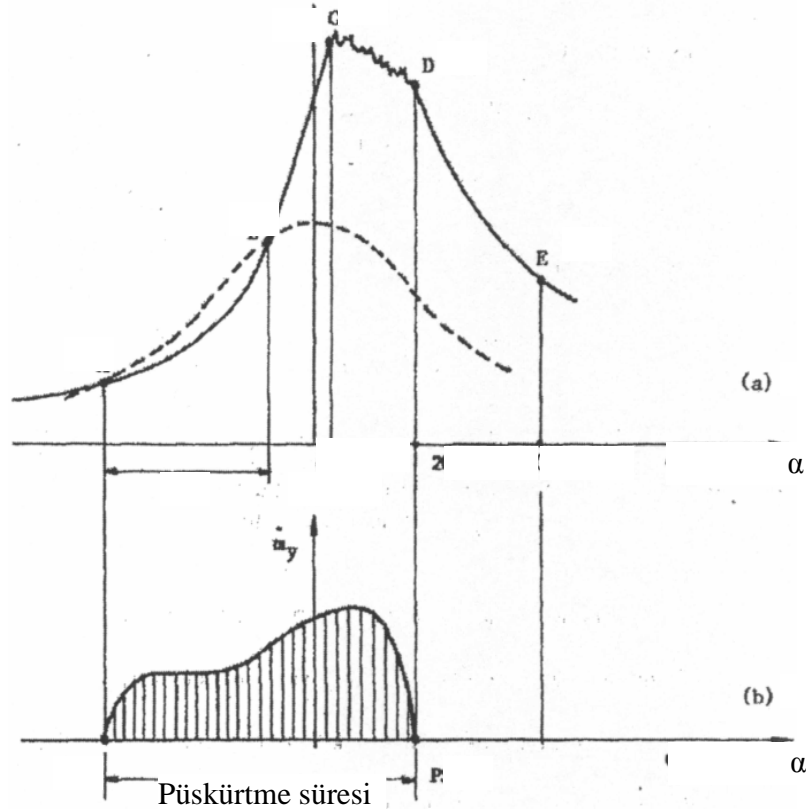
İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtların C_nH_y kapalı formülü ile gösterilen çeşitli hidrokarbonlardan oluşmuştur. Motorlarda tam yanma oluşmuşsa, yakıtın bileşimindeki C ve H'nin tamamı olan yanma ürünleri olan CO_2 ve H_2O 'ya dönüşür. Tam yanma olmamışsa, yanma ürünlerinin yanında CO ve H gibi yanmamış ürünlerde çıkar.

Yanma olayı fazlara ayrılacak olursa genellikle 4 faza yani ayrı periyoda ayrıldığı görülür. Bunlar;

1. Tutuşma gecikmesi,

2. Alevin yayılması (Ani Yanma)
3. Kontrollü Yanma
4. Art Yanma şeklindedir. Bazı kaynaklarda araştırmacılar kontrollü yanma ile art yanmayı aynı faz içerisinde kabul etmektedirler [29].

Tutuşma gecikmesi: Bu safha yanma olayının birinci fazıdır. Püskürtmenin başlaması ile başlar. İndikatör diyagramında basıncın ani olarak yükselmesi ile son bulur. Bu iki nokta arasında geçen süreye tutuşma gecikmesi (TG) denir. Şekil 2,6'de yanma periyotları görülmektedir.



Şekil 2.6 Dizel Motorlarında Yanma Safhaları [27]

Şekil 2.6'de tam ve kesik çizgilerle gösterilen eğri sırası ile yakıt hava karışımı ve sadece hava ile elde edilen basınç-krank açısı kayıtlarını ifade eder. Doğal olarak sadece birinci durumda ateşleme olacağından iki eğri B noktasında birbirinden ayrılır. Tutuşma

gecikmesi yakıtın buharlaşması ve bunu takiben tutuşma anına kadar olan ön reaksiyonların oluştuğu safhalardan ibarettir [29].

Tutuşma gecikmesini havanın sıcaklığı ve yoğunluğu, motor devri, püskürtme avansı, türbülans, havanın silindirlere giriş basıncı, kompresyon oranı etkiler. Tutuşma gecikmesinin devir ile ters orantılı olduğu çeşitli araştırmalarla ortaya konmuştur.

Tutuşma gecikmesi periyodu yanma olayını önemli derecede etkiler. Yanmanın iyi olması için tutuşma gecikmesinin mümkün olduğu kadar kısa olması gerekir. Tutuşma gecikmesi de kendi arasında çeşitli safhalara ayrılır [25].

Bu durum aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$\tau = \tau_{ph} + \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 \quad [2.7]$$

olarak ifade edilir. Burada;

τ = Tutuşma gecikmesi

τ_{ph} = Fiziksel tutuşma gecikmesidir. Bu sürede püskürtülen yakıt demeti parçalanarak damlacıklara ayrılır ve buharlaşma meydana gelir.

τ_1 = Kimyasal reaksiyonun başladığı anadan soğuk alevin oluştuğu ana kadar geçen süredir.

τ_2 = Mavi alev için geçen süredir.

τ_3 = Patlama alevidir.

Tutuşma gecikmesi süresi motor konstrüksiyonu ve yakıtın bazı özelliklerine bağlı olarak değişir. Bunlar;

1. Püskürtme basıncının artması ve enjektör memesi çapı küçülmesi
2. Silindir hacminin küçülmesi
3. Yanma odasına bulunan sıkıştırılmış havanın sıcaklığı ve basıncının artması
4. Yanma odası cidarları iyi soğutulması
5. Sıkıştırma sonunda havanın içerisinde bulunan oksijenin yoğunluğunun artması
6. Yakıtın setan sayısı artması ile, tutuşma gecikmesinin süresi azalır.

Alevin yayılması (Ani yanma): Bu safha tutuşma gecikmesinden sonra başlayıp basıncın maksimum değerine ulaşmasına kadar devam eder. Bu safhada buharlaşmış olan yakıt zerrecikleri daha küçük parçalara bölünür. Doğal olarak yanma başladığında yakıt oksijenle temas etmesi ile birlikte büyük bir hızla yanmaya başlar. Yanmanın hızı silindir içersindeki (dp/dt) basınç yükselme hızını tayin eder. Basıncın yükselme hızı motorun yumuşak veya sert çalışmasına neden olur. Dizel motorlarında dp/dt oranı 2-3 Kp/cm^2 derece arasındadır. Bu ani basınç yükselmesi motor parçaları üzerinde ani yük uygulanmasına neden olur. Ani yük nedeni ile motor parçalarında tahribat meydana gelir. Bu anda meydana gelen sese dizel vuruntusu adı verilir [29].

Ani yanma safhasında meydana gelen basınç artışı bazı faktörlerden etkilenir. Bunlar;

1. Yakıtın atomizasyon derecesi
2. Gecikme süresince püskürtülen yakıt miktarı
3. Tutuşma gecikmesi süresince hava ile yakıtın karışımının ne kadar iyi olduğu
4. Tutuşma gecikmesi süresince silindire püskürtülen yakıt miktarı

Ani yanma safhasındaki yükselen basıncın maksimum değeri basınç yükselme miktarı ile tayin edilebilir. Ani yanma safhasındaki bu basınç artışı tutuşma gecikmesine de doğrudan bağlıdır [29].

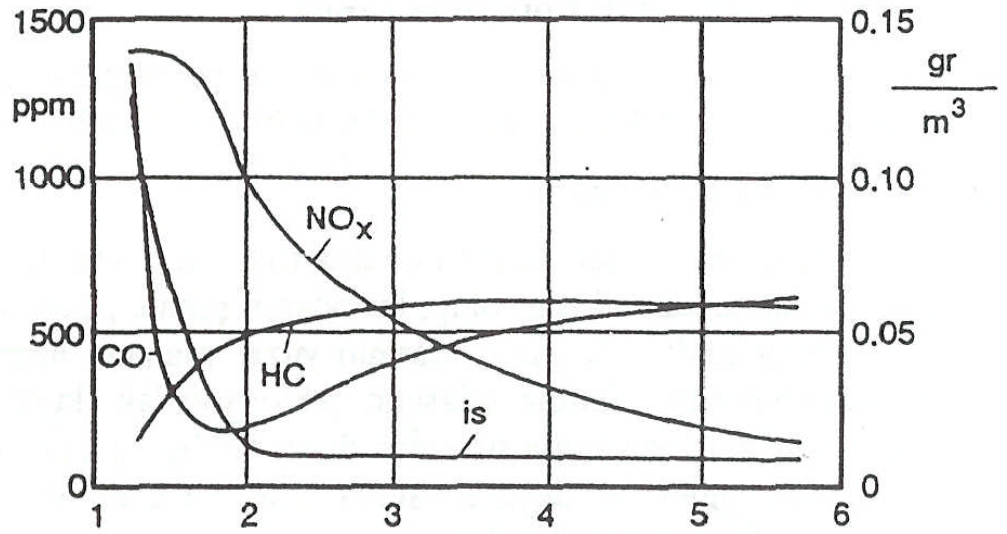
Kontrollü yanma: Yanmanın üçüncü periyodudur. Bu sürede basınç değişimi önemsizdir. Bu periyot 2000 °C'nin üzerinde bir sıcaklıkta ve yaklaşık olarak 6 °KMA kadar devam eder. Burada yanma hızını yakıt buharı ile havanın karışım hızı belirler. Kontrollü yanma periyodunda piston hareketi ile yanma odası hacmi büyür. Kontrollü yanma periyodunda basıncın gelişimi aşağıdaki şartlardan etkilenir. Bunlar;

1. Yakıt püskürtme hızına
2. Yakıt ile oksijenin karışımını iyileştirecek şekilde hava akımının olmasına.

Bu motor hızına ve yanma odası şekline bağlıdır.

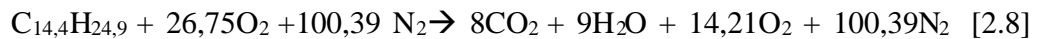
3. Piston konumuna. Eğer üçüncü periyodun başlangıcı pistonun ÜÖN'dan fazla uzaklaştığı bir piston konumunda oluyorsa o zaman hacim değişiminin basınç üzerindeki etkisi belirgindir [29].

Kontrollü yanma periyodunda sonra egzoz supabı açılana kadar geçen süreye de art yanma denir. Kontrollü yanma periyodundan sonra içerideki son püskürtülmüş yakıt zerreciklerinin küçük bir kısmı henüz yanmamıştır. Art yanmada yanma hızını yanmamış yakıtın hava ile karışma miktarı belirler. Bu safhada çok zengin karışımındaki eksik yanmış yanma ürünleri yanarlar. Genişleme periyodu boyunca yanma düşük oranda devam eder. Bunun nedenleri; karışımın fakir olduğu bölgelerde, karışım içerisindeki yakıtın küçük bir kısmı yanmamış olması ve bu yanmamış olan yakıtın yanmaya devam etmesidir. Şekil 2.7'de dizel motorda hava fazlalık katsayısının emisyonu etkisi görülmektedir.



Şekil 2.7 Dizel Motorda Hava Fazlalık Katsayısının Emisyona Etkisi[25].

Dizelin yanma eşitliği;



biçimindedir.

Burada yanmanın teorik tam yanma olduğu ve stokyometrik miktarda yakma havası kullanıldığı kabul edilmiştir.

Hava /yakıt mol oranı;

$$A/f = (26,75 * 32 + 100,39 * 28) / (8 * 12 + 18 * 1)$$

$$A/f = = 32,16 \text{ kmol hava / kmol yakıt,}$$

2.2.1 Sıkıştırma İle Yanmalı Motorlarda Kullanılan Yakıtlar

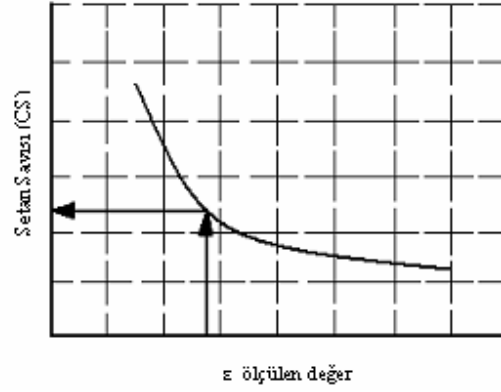
2.2.1.1 Dizel Yakıtın Özellikleri

Ham petrolün damıtımı esnasında 200-300 °C kaynama noktası aralığında alınan üçüncü ana ürün dizel yakıttır. Dizel yakıtı için parafin, aromatik ve naften grubu hidrokarbonlar daha uygundur. Mazot olarak tanımlanan yakıtı da içine alan ve kerozen ile yağlama yağı arasında özgül ağırlık ve damıtma bakımından çok geniş üretim aralığı bulunan yakıtlar grubudur.

Setan sayısı: Dizel motorunda yakıt buharı-hava karışımının sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıklarında kendi kendine tutuşabilmesi için dizel yakıtlarının tutuşma meyillerinin benzinin aksine yüksek olması istenir. Tutuşma meylinin düşük, yani tutuşma gecikmesi (TG)'nin zaman olarak büyük olması durumunda, yanma için ayrılabilen krank mili açısı aralığı azalır. Ayrıca TG süresince yanma odasında biriken ve ani olarak yanan yakıt miktarı da artacağından mekanik zorlanmalara neden olan yüksek basınçlar ortaya çıkar (dizel vuruntusu). Dizel yakıtının tutuşma eğiliminin ölçüsü olarak setan sayısı kullanılmaktadır [32].

Dizel yakıtında en önemli özellik setan sayısıdır. Setan sayısı, yakıtın dizel motorunda sıkıştırma sonucu ısınan havanın içerisinde kendi kendine tutuşma özelliğini belirleyen bir sayıdır. Setan sayısının fazla olması tutuşma gecikmesi periyodunu

azaltmakta ve yanma odasında biriken yakıtın ani yanması ile oluşan hızlı basınç artışını önlemektedir. Düşük setan sayılı yakıt daha erken tutuşarak yanmaya başlayacaktır. Fakat bu sırada sıkıştırma devam ettiği için silindir içi sıcaklık ve buna bağlı olarak NO_x oluşumu artacaktır. Böylece ÜÖN civarında yanan yakıt miktarı azalacağından maksimum yanma sıcaklığı düşecektir. Setan (C₁₆H₃₄) düz zincir yapıda parafin grubundan bir yakıt olup, setan sayısı 100 olarak kabul edilmiştir. Alfametilnaften'ih (C₁₀H₇CH₃) ise setan sayısı 0'dır. Bu iki yakıtın karışımının setan sayısı; hacimsel olarak, karışımındaki % setan miktarı ile belli olur. Ölçülecek yakıtın setan sayısı standart motorda (CFR veya BASF motoru) ölçülen TG süresinin, setan-alfametilnaften karışımlarının TG süreleri ile karşılaştırılması sonucu belirlenir. Aynı TG süresini veren karışımındaki setan yüzdesi ölçülen yakıtın setan sayısıdır. Ancak TG aynı zamanda sıkıştırma sonu sıcaklığına, dolayısıyla sıkıştırma oranına bağlı olduğunda karşılaştırmayı aynı TG sürelerini veren kritik sıkıştırma oranı ile yapmak daha doğrudur. Bunun için çeşitli setan-alfametilnaften karışımları ile yapılan çalışma sırasında sıkıştırma oranı sürekli olarak değiştirilebilen, CFR motorunda denenir. Belli bir karışım ile deney yaparken CFR motoru dışarıdan bir elektrik motoru ile döndürülür ve sıkıştırma oranı sürekli olarak yükseltilerek tutuşmanın başladığı kritik sıkıştırma oranı bulunur ve farklı setan sayılarına sahip karışımlarla deney tekrarlanarak Şekil 2.8'deki gibi bir eğri çizilir. Daha sonra motor, setan sayısı ölçülen yakıtla çalıştırılarak tutuşmanın başladığı kritik sıkıştırma oranı bulunur, Şekil 2.8'deki eğriden setan sayısına geçilir. Deneyler sırasında CFR motorunun emme havası sıcaklığı 30°C, soğutma suyu sıcaklığı 100 °C değerlerinde tutulmaktadır [32].



Kritik Sıkıştırma Oranı (ϵ_k)

Şekil 2.8 Setan Sayısı ve Sıkıştırma Oranı Arasındaki İlişki[33].

2.2.1.2 Biyodizel

(Biodiesel, biyodizel); bitkisel (Kanola, soya, fındık, ayçiçeği, pamuk, mısır v.b bitkilerin) ya da hayvansal kökenli yağların bir katalizatör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan, yakıt amaçlı ürünün adıdır'' [34].

Biyodizel Standartları: Biyomotorin saf ve motorin-biyomotorin karışımları şeklinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu yakıtlar aşağıdaki gibi adlandırılmaktadır:

- B5 : % 5 Biyomotorin + % 95 Motorin
- B20 : % 20 Biyomotorin + % 80 Motorin
- B50 : % 50 Biyomotorin + % 50 Motorin
- B100 : % 100 Biyomotorin

Çizelge 2.3'de dizel yakıtı ve biyodizelin yakıt özellikleri görülmektedir.

Çizelge 2.3 Dizel Yakıtı ve Biyodizelin Yakıt Özellikleri [34].

Yakıt Özellikleri	Birim	Sınır Değeri Min-Max	Biyodizel	Dizel
Kapalı Formül			$C_{19} H_{35,2} O_2$	$C_{12,226} H_{23,29} S_{0,0575}$
Molekül Ağırlığı	g/mol		296	120-320
<u>Alt Isıl Değeri</u>				
Kütleli	MJ/kg		37,1	42,7
Hacimsel	MJ/L		32,6	35,5
Özgül Ağırlığı 15°C	kg/L	0,875-0,90	0,87-0,88	0,82-0,86
Kinematik Vizkosite (40°C)	mm ² /s	2-4,5	4,3	2,5-3,5
Tutuşma Noktası	°C	55-...	>100	>55
Kükürt İçeriği	% Kütleli	...-0,05	<0,01	<0,05
Tutuşma Katsayısı	Setan Sayısı	49-...	>55	49-55
Kül	% Kütleli	...-0,01	<0,01	<0,01
Su Miktarı	mg/kg	...-200	<300	<200

Biyodizelin Çevresel Özellikleri: Sera gazları içinde büyük bir pay sahibi olan CO₂, dünyanın en önemli çevre sorunu olan küresel ısınmaya neden olmaktadır ve yanma sonucu ortaya çıkan bir emisyonudur. Yine yanma sonucu açığa çıkan ve sera gazları arasında yer alan CO, SO_x, NO_x emisyonları insan sağlığına da zararlıdır.

Biyodizel, tarımsal bitkilerden elde edilmesi nedeniyle, biyolojik karbon döngüsü içinde, fotosentez ile CO₂'i dönüştürüp karbon döngüsünü hızlandırdığı için sera etkisini artırıcı yönde etki göstermez. Yani biyodizel CO₂ emisyonları için doğal bir yutak olarak düşünülebilir. Ayrıca CO, SO_x emisyonlarının, partikül madde ve yanmamış hidrokarbonların (HC) daha az salındığı kanıtlanmıştır.

Biyodizelin NO_x emisyonları dizel yakıtı göre daha fazladır. Emisyon miktarı motorun biyodizel yakıtı uygunluğuna bağlı olarak değişir. NO_x emisyonlarının %13 oranına kadar arttığı test edilmiştir. Bununla birlikte biyodizel kükürt iğermez. Bu yüzden NO_x kontrol teknolojileri biyodizel yakıtı kullanan sistemlere uygulanabilir. Konvansiyonel dizel yakıtı kükürt iğerdiği için NO_x kontrol teknolojilerine uygun değildir [34].

Ozon tabakasına olan olumsuz etkiler biyodizel kullanımında dizel yakıtı nazaran % 50 daha azdır. Asit yağmurlarına neden olan kükürt bileşenleri biyodizel yakıtlarda yok denecek kadar azdır.

Biyodizel yakıtlarının yanması sonucu ortaya çıkan CO (zehirli gaz) oranı dizel yakıtının yanması sonucu oluşan CO oranından %50 daha azdır.

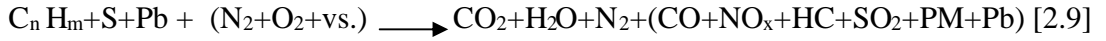
Saf biyodizel (B100) ve %20 oranında (B20) biyodizel kullanılması durumunda ortaya çıkabilecek emisyon değerlerinin dizel yakıtılarla karşılaştırmalı değerleri izelge 2.4'de verilmektedir.

Çizelge 2.4 Biyodizelin Dizel Yakıtıla Karşılaştırılması [34]

Emisyonlar	B20	B100
CO: Karbonmonoksit	-6.90%	-34.50%
PM: Partikül Madde	-6.48%	-32.41%
HF: Hidroflorik Asit	-3.10%	-15.51%
SO_x: Kükürt Oksitler	-1.61%	-8.03%
CH₄: Metan	-0.51%	-2.57%
NO_x: Azot Oksitler	2.67%	13.35%
HCl: Hidroklorik Asit	2.71%	13.54%
HC: Hidrokarbonlar	7.19%	35.96%

2.3 Taşıt Kaynaklı Kirletici Emisyonlar

İçten yanmalı motorlarda ideal yanma tam olarak gerçekleştirilememektedir. Yanmaya katılan hava gerekenden çok veya az olabilir. Bir yanma sonucu, CO₂ veya H₂O yanında karbonmonoksit (CO) ve (yanmamış yakıt molekülleri-hidrokarbonlar) HC oluşacaktır. Yanmaya katılan hava gereken miktarda olsa bile, yanma odasında yakıt ile havanın iyi karışmaması nedeniyle zengin ve fakir karışım bölgeleri oluşabilir ve tam yanma gerçekleşmeyebilir. Her türlü ideal yanma koşulları sağlansa bile, yanmanın kimyası gereği, bir miktar kirletici dediğimiz tür bileşen (özellikle CO ve NO_x) oluşacaktır. Ayrıca, hidrokarbon yakıtlar içerisinde bulunan farklı oranlardaki kükürt ve yakıtta çeşitli nedenlerden eklenen katkı maddeleri de yanma sonucunda kirletici madde olarak ortaya çıkmaktadır [27].



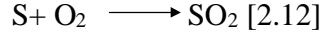
Yakıt ve Katkı Maddeleri + Hava \longrightarrow Tam Yanma Ürünleri + Kirletici Ürünler

Eşitliği aynı yakıtın oksijen ile stokyometrik yanması halinde gerekli olan molar oksijen miktarını ifade etmektedir. Yakıtta ve havada su ve su buharı bulunması hali ve $\lambda \leq 1$, $\lambda \geq 1$ değerlerine ait tam yanma, teorik yanma, eksik yanma ve kısmi eksik yanma olayları gerçekleşebilir [27].

İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtların bileşenleri karbon C, hidrojen H ve kükürt S'dir. Kükürt, genelde istenmeyen bir bileşendir ve varlığı ihmal edilebilir. Oksijen, sadece metanol ve etanol gibi alkol türü yakıtlarda mevcuttur. Yakıtın bünyesindeki oksijen, yanma için gereken oksijen miktarını azaltır.

Karbon, hidrojen ve kükürdün tam yanmasını gösteren stokyometrik denklemler aşağıda verilmiştir.





Yanma, içinde yanabilen bileşenleri bulunan maddelerin, ısı yaymak suretiyle oksitlenmesi reaksiyonudur. Eğer maddenin bileşiminde bulunan karbon, hidrojen ve kükürt gibi bileşenlerin tüm bağları oksijen ile doldurulursa, bu reaksiyona tam yanma, aksi hale eksik yanma denir. Yanma sonucunda aşağıda verilmiş başlıca kirleticiler ortaya çıkmaktadır [28].

2.3.1 VOC (HC) Emisyonları

VOC (Uçucu Organik İçerik) alifatik ve aromatik yapıda kaynama sıcaklığı 200 °C'ye kadar olan HC'lardır. Fosil yakıtlarla çalışan motorların egzozları, solvent veya benzinin buharlaşması gibi sebeplerden oluşur. Egzoz emisyonu veya buharlaşma ile atmosfere yayılırlar.

Hidrokarbonlar, yakıtların eksik yanması veya tutuşamaması sonucu meydana gelirler ve yaklaşık olarak motora giren yakıt miktarının %1-1.5'ini oluştururlar. Yanma odasını çevreleyen dar boşlukların sıkıştırma esnasında yakıt-hava karışımı ile dolması, yakıtın yağ tabakaları içinde absorpsiyonu, kalıntıların yağ filmi etkisi göstermesi, silindir içinde sıvı yakıt kalması ve supap yatak boşluklara karışım sızması şeklindeki mekanizmalar en önemli HC kaynaklarıdır.

Yanma odası içinde bulunan çok küçük hacimli bölgelere, hava ve atık gazlar girebilmekte iken, bu küçük hacimler içinde alevin ilerlemesi mümkün olmadığı için, bu boşlukların yanmamış HC oluşumuna önemli katkısı vardır [26].

Değişken çalışma koşullarında hava/yakıt oranı, egzoz gazlarının tekrar çevrime gönderilme miktarı, ateşleme zamanlaması gibi faktörler tam olarak kontrol edilemediklerinden, yanma kalitesi düşer ve yakıtın bir kısmı hiç yanmayabilir veya kısmen yanabilir. Bu gibi durumlarda HC emisyonları otomobilden dışarı atılan yanmamış gazlardır ve;

1. Supap bindirmesi esnasındaki gaz kaçakları,
2. Silindir iç cidarları üzerinde kalan yanmamış gazın egzoz çevrimi esnasında dışarı atılması,
3. Kötü yanma sonrasında yanmamış gazların mevcudiyeti,
4. Tüm alev cephesinin yanma odasının duvarlarına ulaşmasından önce alevin sönmesi
5. Yetersiz yanma zamanı veya hava-yakıt karışımının çok zengin veya çok fakir olması durumunda tamamlanamayan yanmanın oluşturduğu yanmamış gazlar vb sebeplerden kaynaklanır.
6. Karışım zenginleştikçe tam yanmanın gerçekleşebilmesi için yeterli oksijen bulunamadığından HC emisyonları artacaktır. Karışım fakirleştikçe ise belirli noktadan sonra düşük alev yayılma hızından dolayı yakıtın tamamı yanmadan dışarı atılacak ve böylelikle de yine HC emisyonları artacaktır.
7. Motor freni ve hız kesme (yavaşlama) esnasında gaz keleşi tamamen kapalı konumdadır ve relanti kanalından silindir içine bir miktar yakıt emildiği halde bunu yakacak yeterli hava giremez. Böylelikle düşük kompresyon ve zengin bir karışım meydana gelir. Düşük sıkıştırma ve yetersiz oksijen, eksik yanmaya sonuç olarak HC emisyonlarının artmasına neden olur [26].

2.3.2 CO Emisyonları

Karbon monoksit, yakıt içindeki karbonun tamamen yanmaması sonucu oluşan renksiz, kokusuz ve zehirli bir gaz olup ülke çapındaki bütün CO emisyonlarının yaklaşık % 60'ına, şehirlerde % 95 kadarına karayolu taşıtları sebebiyet vermektedir. Bu emisyonlar, özellikle trafik sıkışıklığının yoğun olduğu bölgelerde yüksek konsantrasyonlara ile ulaşmaktadır. CO emisyonlarının diğer kaynakları ise endüstri prosesleri ile kazan ve çöp yakma fırınlarında yakılan yakıtlardır [26].

CO emisyonları, yük ve hız değişimlerine büyük oranda duyarsız olup hava/yakıt oranına karşı daha duyarlı davranmaktadır. CO oluşumunu etkileyen en önemli faktör

hava fazlalık katsayısıdır. Karışım zenginleştikçe, yanma odasına alınan yakıtın içindeki karbonun tamamını CO₂ şeklinde yakacak oksijen bulunmadığından, CO oranı hızlı bir şekilde artmaktadır. Buji ile ateşlemeli motorlar, kısmi yüklerde yakıt ekonomisi açısından stokiometrik orandan biraz fakir karışımlarla çalışmakla birlikte, tam yükte belirli bir kurs hacmi için emilen havadan tam olarak yararlanmak amacıyla zengin karışımla çalışırlar. Dolayısıyla buji ile ateşlemeli motorların CO emisyonunun kontrolü önemlidir.

Otomobillerden yayılan CO emisyonları soğuk havalarda dramatik olarak artmaktadır. Bu durum otomobillerin soğuk havalarda çalıştırılması için daha fazla yakıtı ihtiyaç duymasından ve O₂ sensörleri ile katalitik konvertörler gibi bazı emisyon kontrol aygıtlarının soğuk iken daha az etkin çalışmalarından kaynaklanmaktadır.

CO, kana geçerek vücudun organ ve dokularına O₂ dağıtımını azaltır. CO'ye maruz kalmak hasta bireylerin yanı sıra sağlıklı bireyleri de olumsuz yönde etkilemektedir. Yükseltilmiş CO seviyelerindeki is, görüş bozukluğu, iş yapma kapasitesinde, el becerisi gerektiren işlerde ve öğrenme kabiliyetinde azalma gibi olumsuzlukları meydana getirmektedir. ECE'nin halk sağlığı standardına göre hava kalitesi, günün ikinci 8 saatlik zaman dilimi boyunca yapılan ölçümler için max ortalama CO konsantrasyonu milyonda 9'un üstüne çıkmamalıdır [26].

2.3.3 NO_x Emisyonları

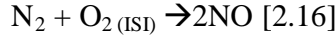
NO_x , değişik miktarlarda azot ve oksijen içeren fazlaca reaktif bir gazdır. Hava yakıt karışımı içindeki NO_x, yanma odası sıcaklığı yaklaşık 1800 °C ye yükseldiğinde azot (N₂) ve oksijen (O₂)'nin birleşmesiyle oluşur. Eğer sıcaklık 1800 °C'nin üstüne yükselmez ise, N₂ ve O₂, NO gazını meydana getirmeden egzoz sisteminden dışarı atılır. Azot ve oksijen gazlarının değişik moleküllerinin birleşmesi ile NO, NO₂, N₂O, N₂O₃ vb. gibi çeşitli gazlar ortaya çıkar ki bunların hepsine birden "Azot oksitler" denir ve NO_x olarak ifade edilir. NO₂ renksiz ve kokusuz olmasına rağmen genel bir kirleticidir ve NO₂ partikülleri havada kırmızımsı kahverengi bir tabaka olarak kent alanlarının

üzerinde görülebilir. Buji ile ateşlemeli motorlarda, NO₂/NO oranı ihmal edilebilecek düzeydedir. Benzin, gözardı edilebilecek seviyede azot içerdiğinden, NO oluşumunun asıl kaynağı atmosferik (moleküler) azot (N₂)'dir. NO'nun atmosferik azotu parçalamasından

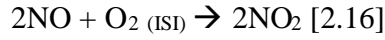


şeklinde denge reaksiyonları sonucu meydana geldiği varsayılmaktadır [15,16].

Egzoz gazları içindeki NO_x gazlarının % 95'i NO (azotoksit)'tir.



NO atmosferdeki oksijen ile birleşerek NO₂ meydana getirir.



NO_x emisyonlarını azaltmak için; hem yanma odası içindeki sıcaklığın 1800 °C'ye ulaşmasını önlemek ve yüksek sıcaklıklara ulaşılan süreleri kısa tutmak, hem de oksijen konsantrasyonunu düşürmek gerekmektedir. Hava-yakıt oranının stokiyometrik orandan daha zengin olmasıyla NO_x konsantrasyonunun düşmesinin nedeni oksijen miktarının azalması, oldukça fakir karışımlarda düşmesinin nedeni ise yanmanın yavaş olması ve maksimum sıcaklığın düşük olmasıdır. Ateşleme zamanına avans veya rötar verilmesi, yanma odası içinde oluşan maksimum sıcaklığı değiştirdiğinden NO_x konsantrasyonu da değişir. Teorik hava-yakıt oranı için NO_x konsantrasyonu ateşleme zamanına avans verdikçe yüksek yanma sıcaklığına bağlı olarak önemli derecede artmaya başlar [26].

Yanma esnasında alev cephesi silindirik içerisinde ilerlerken NO'nun esas olarak alevin arkasında yüksek sıcaklıklı yanmış gaz bölgesinde meydana geldiği kabul edilmektedir. Yine genişleme kursu süresince yanmış gazlar soğurken, NO'nun ayrışma reaksiyonları sona erdiğinden, egzoz koşullarındaki denge durumunda olması, gerekenden daha yüksek konsantrasyonda NO oluşumu söz konusudur.

ECE'ye göre hava kirliliğine sebep olan 6 temel kirleticiden (CO, Pb, NO_x, partikül madde, SO₂ ve kararsız organik bileşikler) NO_x hariç diğerleri 1970'deki Temiz Hava Yasası'ndan bu yana önemli derecede azalmıştır. NO_x'in bu periyottaki artış oranı % 10'dur. NO_x ve NO_x den oluşan kirleticiler sadece yayıldığı alanla sınırlı kalmayıp rüzgarla uzun mesafelere taşınabilirler. Bundan dolayı NO_x'in kontrolü lokal alanlardaki kaynaklar üzerinde odaklanmaktan daha çok, bölgesel olarak bir şeyler yapıldığında daha etkilidir. NO_x, ciddi solunum problemleri başlatabilmekte, yer seviyesindeki ozonun ve asit yağmurlarının oluşumuna, suyun bozulmasına, atmosferik partikülleri görülebilirliği azalmasına, toksit kimyasalların oluşumuna etki eder ve küresel ısınmaya sebep olmaktadır [26].

2.3.4 Aldehitler (R.CHO)

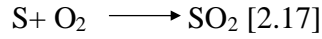
Aldehitler, hidrokarbonların kısmi oksidasyonu sonucu oluşan ürünlerdir. Özellikle düşük sıcaklıklardaki reaksiyonlarda oluşurlar. Aldehitler, genellikle formaldehit (HC.HO) ve akrolein (C₂H₃ CHO)'den oluşmaktadır. Dizel egzozundaki kötü kokulu, göz ve solunum sistemini tahriş edici etkinin önemli kaynağı formaldehittir [35].

2.3.5 İs ve partiküller (Katı ve sıvı parçacıklar)

İçten yanmalı motorlar tarafından üretilen katı taneciklerin büyük bir bölümünü is oluşturmaktadır. İs, yanmamış karbon partikülleridir ve özellikle dizel motorlarında oluşmaktadır. İs, zararlı bileşenleri bünyesinde taşıyarak ve solunum sisteminde birikerek insan sağlığına zararlı olmaktadır. Dizel motorları egzozundan atılan partiküller karbon-hidrojen zincirinden oluşmakta olup, bünyelerinde yanmamış hidrokarbonları, oksitlenmiş hidrokarbonları, polinükleer aromatikleri ve kükürt dioksit, azot oksit ve sülfirik asit gibi inorganik bileşenleri bulundurmaktadırlar [35].

2.3.6 Kükürtdioksit (SO₂)

SO₂, dizel araçlarda yakıtta bağı olarak gözükür. Renksiz, sert kokulu bir gaz olan SO₂ solunum yolları, akciğer ve karaciğer hastalıklarına neden olmaktadır. Ayrıca su buharı ile birleşerek oluşturduğu sülfirik asidin insan sağlığı ve bitki örtüsü üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır [35].



2.3.7 Kurşun bileşenleri

Benzine, yakıtın oktan sayısını arttırmak amacıyla eklenen kurşun tetraetil gibi katkı maddeleri, yanma ürünleri arasında kurşun bileşenlerinin de bulunmasına neden olmaktadır. Bu bileşikler gerek doğrudan gerekse bitkiler üzerinde birikerek buradan doğrudan (yol kenarlarında yetişen bitkisel besinler) veya dolaylı (yol kenarlarında otlayan hayvanların eti ve sütü) olarak tüketilen besinler yolu ile insan vücuduna geçmektedir. Kurşun, zamanla birikerek vücudu etkileyen çok kuvvetli zehirli bir maddedir. Metabolizma ve beyin üzerinde olumsuz etkileri mevcuttur. Son yıllarda kurşunlu benzin satışı yapılmamaktadır. Bu da araç kaynaklı kurşun bileşenlerini azalmıştır [35].

2.4 Türkiye’de Taşıtlardan Kaynaklanan Kirleticilere Getirilen Sınırlamalar

Avrupa Topluluğu ülkelerinde 1980’li yılların başından itibaren boş ağırlığı 3500 kg’dan az olan benzin veya Diesel motorlu taşıtlara uygulanan ECE-R 15.04 standardı ve sınır değerleri TSE tarafından uygulanarak TS 4236 ve TS 5648 standartları olarak yayınlanmıştır [43].

Çevre Bakanlığı ile Otomotiv Sanayicileri Derneğinin ortaklaşa yayınladıkları bir bildirge ile 1995 yılından başlayarak boş ağırlığı 3500 kg’ın altında olan taşıtların motor

silindir hacimlerinin büyüklüğüne bağlı kademeli olarak EURO 93 normlarına uygunluk sağlanması kararlaştırılmıştır.

Buna göre 1995 yılından başlayarak motor hacmi 1800 cm³'ten büyük yeni taşıtlara üç yollu katalizör takılması zorunlu hale getirilmiştir. 1996'da ise; 1600–1800 cm³ motor hacmindeki taşıtların tümü EURO 93'ü sağlayacaktır. Motor hacmi 1400–1600 cm³ olan araçlar 1997 yılından başlamak üzere 1999 yılı başlangıcına kadar, motor hacmi 1400 cm³'den küçük araçlar ise; en geç 2000 yılı başına kadar yeni standartlara geçecektir. Boş ağırlığı 3500 kg'ı geçen Dizel motorlu taşıtlar için Sanayi ve Ticaret Bakanlığı tarafından 1993 yılından başlayarak Türkiye'de üretilen ve ithal edilen ağır taşıtların ECE (Economic Commission for Europe)-R.24 (R:yönetmelik) ile tanımlanan ölçüm yöntemi ile belirlenen is emisyonu sınır değerleri sağlanması istenmektedir [43]. Çizelge 2.5 ve 2.6'da otomotiv sanayi benzinli otomobil egzoz emisyon standartları uyum programı

Çizelge 2.5 Otomotiv Sanayi Benzinli Otomobil Egzoz Emisyon Standartları Uyum Programı

Motor Silindir Hacmi (CC)	UYGULAM TARİHLERİ						
	PROTOTİP ONAY TARİHİ						
	ÜRETİM TARİHİ						
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
	01.01.1994	01.01.1995	01.01.1996	01.01.1997	01.01.1998	01.01.1999	01.01.2000
1800 ve Üstü	15.04*	Euro 93*	Euro 93	Euro 93	Euro 93	Euro 93	Euro 93
1600-1799	15.04	15.04	Euro 93*	Euro 93	Euro 93	Euro 93	Euro 93
1400-1599	15.04	15.04	15.04	Euro 93*	Euro 93*	Euro 93*	Euro 93
1399'dan Küçük	15.04	15.04	15.04	15.04	15.04	15.04	Euro 93*

Çizelge 2.6 Otomotiv Sanayi Benzinli Otomobil Egzoz Emisyon Standartları Uyum Programı

Araç Tipi	AB'deki Uygulama		Türkiye'deki Uygulama		Açıklamalar			
	<i>Homologasyon</i>	<i>Tescil</i>	<i>Homologasyon</i>	<i>Tescil</i>	<i>Homologasyon</i>	<i>Tescil</i>	<i>Homologasyon</i>	<i>Tescil</i>
Ağır Ticari Dizel	Faz 4 / 01.10.2005	Faz 4 / 01.10.2006	Faz 1 / 01.01.2001	Faz 1 / 31.12.2002	Faz 4/ 01.01.2007 (01.01.2008) olarak değişti.	Faz 4/ 01.01.2008 (01.01.2009) olarak değişti.	Euro 5/ 01.01.2011	Euro 5/ 01.01.2012
Binek & Hafif ticari Benzin	Faz 4 / 01.01.2005	Faz 4 / 01.01.2006	Faz 3 / 01.01.2001	Faz 3 / 31.12.2002				
Hafif Ticari 2 ve 3 Benzin	Faz 4 / 01.01.2006	Faz 4 / 01.01.2007	Faz 1 / 01.01.2001	Faz 3 Öncesi / 30.09.2001				
Binek & Hafif ticari 1 Dizel	Faz 4 / 01.01.2005	Faz 4 / 01.01.2006	Faz 1 Öncesi / 01.01.2001	Faz 1 Öncesi / 31.12.2002				
Hafif Ticari 2 ve 3 Dizel	Faz 4 / 01.01.2005	Faz 4 / 01.01.2007	Faz 1 Öncesi / 01.01.2001	Faz 1 Öncesi / 31.12.2002				

3. MATERYAL VE YÖNTEM

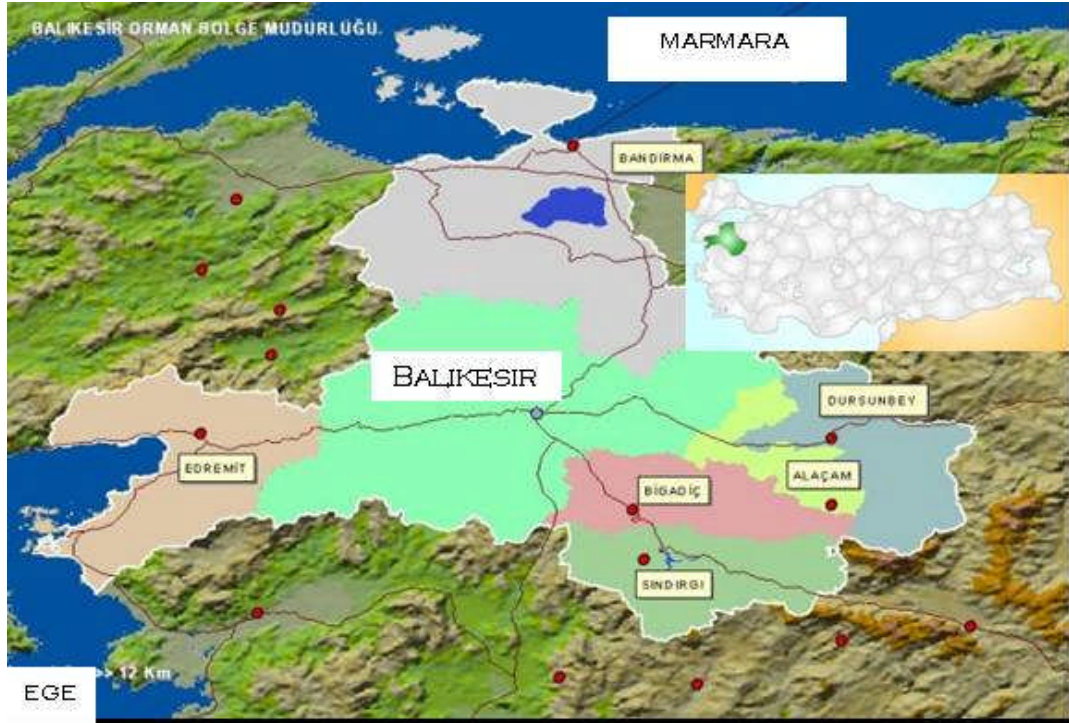
3.1 Materyal

Taşıt emisyonları envanter çalışması, Balıkesir ili merkezinde yapılmıştır.

3.1.1 Balıkesir İli Özellikleri

Balıkesir ilinin büyük bir kısmı Güney Marmara'da yer almakla birlikte, hem Marmara hem de Ege Bölgesi'nde toprakları bulunmaktadır. Doğuda Bursa, Kütahya, güneyde İzmir, Manisa; batıda Ege Denizi, Çanakkale ve kuzeyde Marmara Denizi ile çevrilidir [36]. Şekil 3.1'de Balıkesir İli merkezi ve ilçeleri görülmektedir.

YÜZÖLÇÜMÜ	14.299 km ²
NÜFUS	1.076.347
RAKIM	139 m.



Şekil 3.1 Balıkesir İli Merkezi ve İlçeleri[37].

Balıkesir İli, Anadolu Yarımadası'nın kuzeybatısında ve önemli bir bölümü Marmara coğrafi bölgesinin, Güney Marmara bölümünün, Karesi yöresinde; diğer küçük bir bölümü ise, Ege coğrafi bölgesindeki Asıl Ege bölümünün Kuzey Ege kesiminde yer alır.

Balıkesir İli genellikle tepelerin hakim olduğu bir alan niteliği taşımakla birlikte yer yer 1800 metreyi bulan dağların yer aldığı görülür. Örneğin ilin güneydoğusundaki Alaçam 1652 m, Ulus 1769 m, batısındaki Kaz dağlarının il sınırları içinde kalan bölümündeki Karataş tepesi 1774 metredir. Ovaların başlıcaları ise Sındırgı, Bigadiç, Balıkesir, Manyas, Gönen ve Edremit ovalarıdır. Bu ovaların denizden yükseklikleri 10-220m. arasında olup, hepsi birer çukurova niteliğindedir.

İlin izdüşüm yüzölçümü 14456 km² olup, 39° 06" ve 40° 39" kuzey enlemleri ile, 26° 39" ve 28° 58" doğu boylamları arasında yer almaktadır [36].

3.1.2 Balıkesir İli İklim Özellikleri

Balıkesir Akdeniz iklimi ile Karadeniz iklimi arasındaki geçiş bölgesinde bulunmaktadır. Bu nedenle her iki iklimin özelliklerini yer yer görmek mümkündür. Ege kıyıları yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve genellikle yağışlıdır. Marmara kıyılarında ise Karadeniz ikliminin etkisiyle yazları nispeten serin geçmektedir. Kıyıdan iç kesimlere doğru iklim karasallık eğilimi göstermekte ve kışlar soğuk geçmektedir. İç kesimlerde kışın soğuk dönemlerde etkili sis olayları zaman zaman % 95-100 oranlarında nemliliğe sebep olmaktadır. Soğuk dönemlerde yüksek basınç, düşük sıcaklıklar nedeniyle fazla yakıt tüketimi ve beraberinde görülen sis olayları ağır hava kirliliği epizotlarının yaşanmasına sebep olmaktadır [37].

3.1.3 Balıkesir İlinde Hava Kirliliği

Balıkesir ili kış aylarında özellikle ısıtmadan kaynaklı hava kirliliğinin etkisi altındadır. 2002-2003 ve 2005-2006 kış dönemi SO₂ ve partikül madde (PM)

değerleriyle il merkezi kirliliği I. Grup Kirli İller arasında yer almıştır. Konvansiyonel SO₂ ve PM ölçümlerinin yapıldığı uzun yıllar boyunca Balıkesir il merkezi kış sezonu kirlilik seviyeleriyle genellikle sınır değerlerin üzerinde ve Türkiye genelinde en kirli iller arasında yer almıştır. Kent merkezinde yaşanan bu kirlilik tablosuna, ısınma, sanayi ve trafik kaynaklarının yanı sıra, topografik yapı, kent yerleşim planı ve olumsuz meteorolojik şartlar da katkıda bulunmaktadır. Kent merkezinin çanak şeklinde yapısı, kış aylarında hakim rüzgarların azalması, yüksek basınç ve hava sıcaklıklarının düşmesi, yüksek nemlilik ve sık görülen sisli günler kirlilik etkisinin arttırmaktadır [37].

Balıkesir’de kış aylarında görülen hava kirliliğinin başlıca nedeni, ısınma ve enerji sebebiyle tüketilen fosil yakıtlardır. Özellikle kükürt dioksitin (SO₂) yaklaşık olarak %90’ını fosil kaynaklı yakıtların yakılması neticesinde oluşmaktadır. Endüstriyel faaliyetler ve trafik gibi etkenler de hava kirliliğinin diğer kısımlarını oluşturmaktadır. 2005-2006 Kış sezonu için Balıkesir İl Merkezi kirlilik açısından I. Grup kirli iller arasında yer almaktadır [36].

Bunun yanı sıra nüfus artışı, topoğrafik yapı ve meteorolojik şartlara göre hava kirliliği kış aylarında kendisini iyice hissettirmektedir. Özellikle çanak şeklindeki yapı, kış aylarında hakim rüzgarların azalması, yüksek basınç ve hava sıcaklığının düşmesi hava kirliliğini arttırmaktadır.

3.1.4 Meteorolojik veriler

Kent merkezindeki meteoroloji istasyonundan temin edilen verilerden yerel meteorolojik koşulların seyrine ilişkin değerlendirmeler her bir parametre için yapıldığında; Kentte 1980 yılından sonra 26 yıl boyunca elde edilen ortalama rüzgarların 1.64 m/sn hızla estiği, tüm 24 saatlik ortalama rüzgarların %57’sinin 2.30 m/sn’den düşük olduğu, sadece %10’luk dilimde (yaklaşık 983 gün) ortalama rüzgar hızının 3.9 m/sn’den yüksek olduğu görülmektedir.

1980 yılından sonra 26 yıl boyunca elde ortalama sıcaklıklar 14.57 °C olup, en düşük -9.2 °C, en yüksek 32.6 °C aralığında değişim göstermiştir. %70.5 olan ortalama bağıl nem %21.6'lık bir standart sapmaya sahiptir. Minimumda %27.3, maksimumda %99.7 ölçülen bağıl nemin %25'lik kısmı %80.3'ten yüksek olmuştur. Bu değerler kentte bağıl nemin yüksek olduğunu göstermektedir. Yağış, bulut, nem ve basınç parametrelerinin istatistikleri kent atmosferinde kirleticilerin dağılımına engel olacak, iyi karışımın sağlanamadığı stabil hava şartlarının olduğu dönemleri varlığını işaret etmektedir.

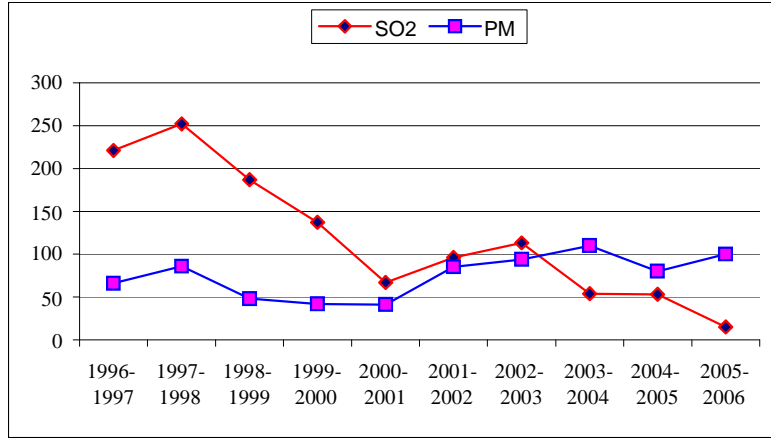
3.1.5 Hava kalitesi ve yerel meteoroloji

1996-2006 dönemine ait 10 yıllık hava kirleticileri (PM, SO₂) istatistikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. 10 yıllık gözlem sonuçlarından SO₂ trendinin azalma eğiliminde PM trendinin de artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.1 1996-2006 Yılları Arasında Hava Kirliliğinin SO₂ ve PM Olarak Değişiminin İncelenmesi [38].

	1996-1997	1997-1998	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006
SO ₂ (µg/m ³)	221	252	187	137	67	96	113	54	53	15
PM(µg/m ³)	66	86	48	42	41	85	94	110	80	100

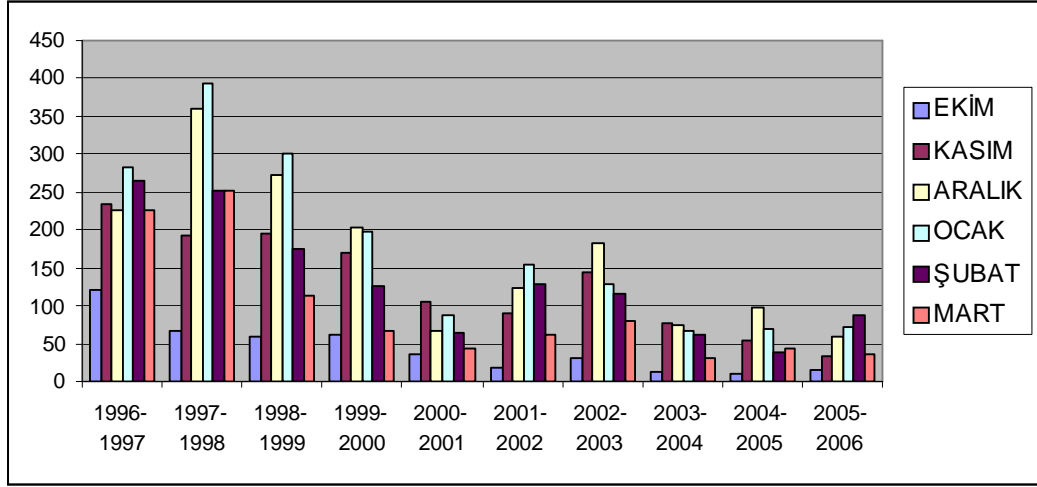
1996-2006 yılları arasında kış sezonuna ait (Ocak-Şubat-Mart-Ekim-Kasım-Aralık) SO₂ ve PM'nin ortalama aylık değerleri Çizelge 3.2 ve 3.3 ve bu verilere göre grafikleri Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.2 1996-2006 Yılları Arasında Balıkesir İlinin SO₂ ve PM değerleri [38].

Çizelge 3.2 Kükürtdioksitin (SO₂) Kış Aylarına Göre Değişimi [38].

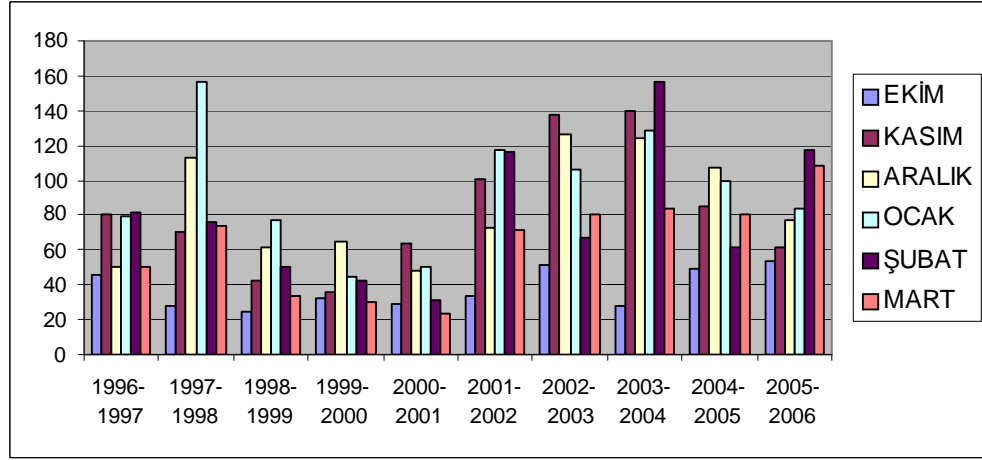
DÖNEMLER	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	ORTALAMA
1996-1997	121	234	226	284	266	226	226
1997-1998	66	193	361	394	251	252	253
1998-1999	59	196	272	302	176	113	186
1999-2000	61	169	203	199	127	66	138
2000-2001	36	105	66	87	65	44	67
2001-2002	18	89	124	155	129	62	96
2002-2003	31	144	182	129	116	81	114
2003-2004	14	78	74	66	63	32	55
2004-2005	11	55	99	70	39	43	53
2005-2006	16	34	59	73	87	37	51



Şekil 3.3 Kükürtdioksitin (SO₂) Kış Aylarına Göre Değişiminin Grafiği [38].

Çizelge 3.3 Partikül Maddenin (PM) Kış Aylarına Göre Değişimi[38].

DÖNEMLER	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	ORTALAMA
1996-1997	46	80	50	79	82	50	65
1997-1998	28	70	113	156	76	74	86
1998-1999	25	43	62	77	50	33	48
1999-2000	32	36	65	45	43	30	42
2000-2001	29	64	48	50	31	24	41
2001-2002	33	101	73	117	116	71	85
2002-2003	51	138	126	106	67	81	95
2003-2004	28	140	124	129	157	84	110
2004-2005	49	85	107	100	62	80	80
2005-2006	54	62	77	84	117	108	84



Şekil 3.4 Partikül Maddenin (PM) Kış Aylarına Göre Değişiminin Grafiği[38].

Balıkesir ilinde partikül madde değerinin kış aylarına göre değişimi; 1997, 1998, 1999 yılları kış aylarında oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu kirlilik seviyesinde kalitesiz, ısı değeri düşük, kükürt oranı yüksek olan kömürlerin şehre girmesi bir etken olarak gösterilebilir.

3.1.6 Balıkesir İli Trafik, Araç ve Yol Durumu

Balıkesir ili İzmir, Bandırma ve Edremit yoluna bağlayan üç ana arter yoldan oluşmaktadır. Şehir merkezinde ise bu yollara bağlı geçmekte olan Anafartalar Caddesi, Milli Kuvvetler Caddesi, Kızılay Caddesi, Atalar Caddesi, Vasıf Çınar Caddesi ve bu caddelere çok sayıda tali yoldan oluşmaktadır. Otobüs, minibüs ve özel araçlar kent içindeki bu yolları kullanmaktadır. Kent merkezinden şehirler arası yolcu otobüsleri ve yük taşıyan kamyonlar geçmemektedir. Balıkesir merkezin kesişen yollar çok olması sebebiyle trafik ışıkları fazladır.

Balıkesir ili merkez trafiğine bağlı toplam araç sayıları İl Emniyet Müdürlüğü tarafından temin edilmiştir. Buna göre toplam araç parkı bilgileri Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Balıkesir İl Merkezi Araç Sayısının Yıllara Göre Değişimi[39].

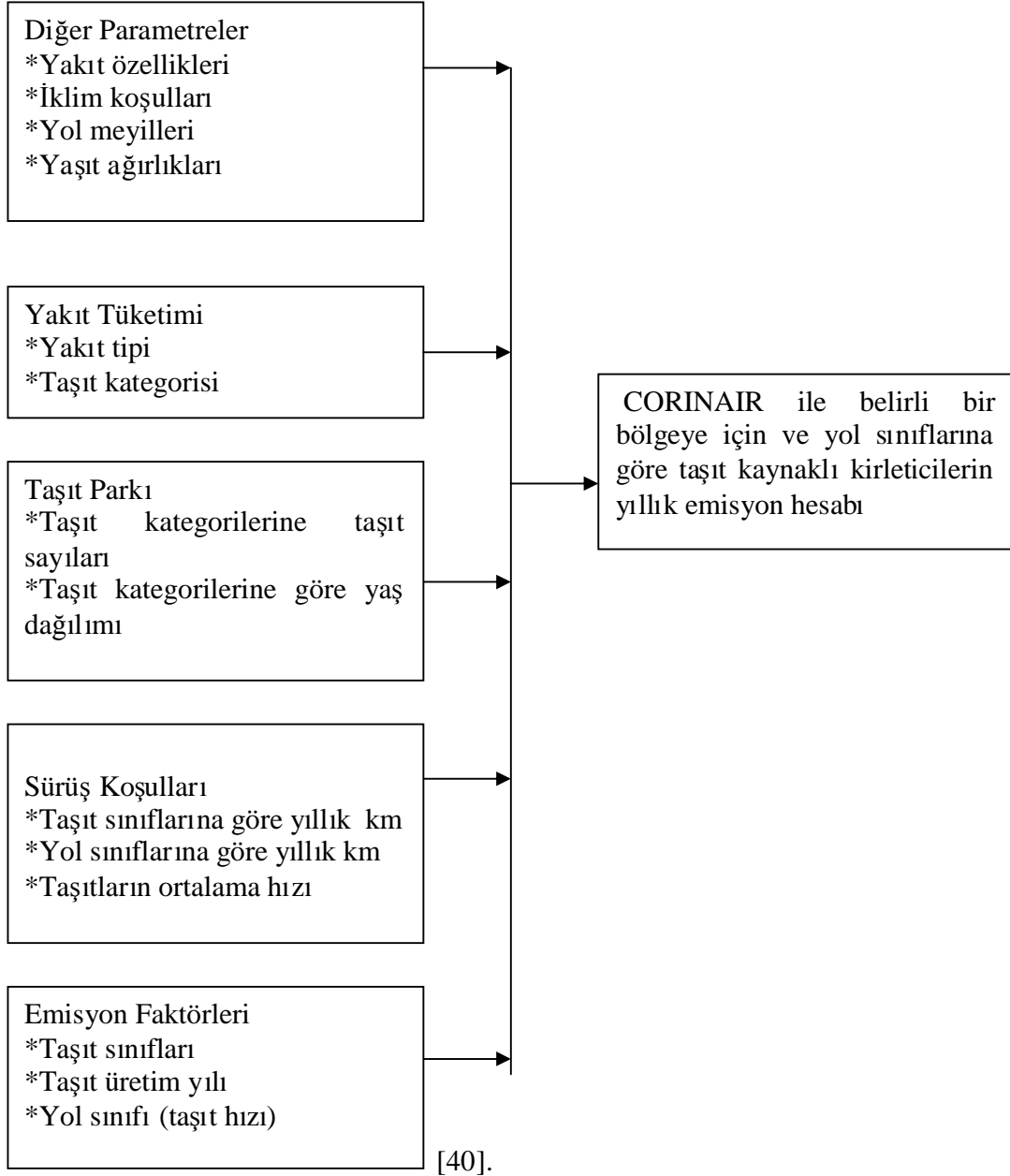
YIL	OTOMOBİL		MİNİBÜS		OTOBÜS		KAMYONET		KAMYON	
	MERKEZ	İL GENELİ	MERKEZ	İL GENELİ	MERKEZ	İL GENELİ	MERKEZ	İL GENELİ	MERKEZ	İL GENELİ
1996	24577	64676	1544	3676	1448	2069	3039	11051	3222	7160
1997	27911	73451	1699	4046	1578	2254	3857	14027	3442	7648
1998	30692	80769	1795	4274	1813	2590	4669	16977	3659	8132
1999	33433	87981	1881	4479	1968	2811	5182	18842	3699	8219
2000	30692	80769	1795	4274	1813	2590	4669	16977	3659	8132
2001	37345	96851	2169	4730	2795	3197	6152	21821	4443	8188
2002	37529	97855	2149	4819	2760	3285	6198	22464	4352	8262
2003	32604	98451	1327	4938	922	3296	7527	24180	3208	8311
2004	32295	82706	1421	3965	1024	3201	8497	25287	3245	10361
2005	33966	93104	1558	4238	1076	3398	9522	28731	3269	10624
2006	35636	98868	1689	4449	1185	3670	10540	32329	3300	10837
2007	37127	100703	1748	4638	1237	3643	11459	34138	3297	9649

Çizelge 3.4 (Devamı) Balıkesir İl Merkezi Araç Sayısının Yıllara Göre Değişimi (Devamı) [39].

YIL	MOTORSİKLET		TRAKTÖR		DİĞER		TOPLAM	
	MERKEZ	İL GENELİ	MERKEZ	İL GENELİ	MERKEZ	İL GENELİ	MERKEZ	İL GENELİ
1996	1153	27319	9383	19548	71	547	44437	136046
1997	1268	30052	10426	21720	310	2386	50492	155584
1998	1337	31673	11584	24134	357	2743	55906	171292
1999	1414	33500	12871	26815	385	2960	60832	185607
2000	1337	31673	14967	31181	357	2743	59288	178339
2001	15551	35723	21343	35433	345	3207	90143	209150
2002	15634	36248	20892	39370	363	3252	89877	215555
2003	21551	36943	20316	43744	534	3342	87989	223205
2004	22336	42555	20022	44221	572	2573	89412	214869
2005	23904	50063	19822	45647	615	2598	93732	238403
2006	26440	64292	19725	47003	665	2612	99180	264060
2007	27372	69790	19469	47669	762	2670	102471	272900

3.2 YÖNTEM

Karayolu ulaşımından kaynaklı emisyon envanterinin hesaplamasında EMEP-CORINAIR metodolojisi temel alınmıştır. Bu metodolojide gerekli verilere ulaşmak için Şekil 3.5’deki akım şeması izlenmiştir.



Şekil 3.5 Taşıt kaynaklı emisyon hesabında gerekli parametreler

Üye ülke hükümetleri ve Topluluk organlarının yanısıra, kamuoyunun da çevre ile ilgili konularda doğru bilgiye düzenli olarak ulaşabilmesi amacıyla, 1990 yılında Avrupa Çevre Ajansı (European Environment Agency) kurulmuştur. Merkezi Kopenhag'da bulunan Avrupa Çevre Ajansı'nın başlıca işlevleri şunlardır:

- Üye ülkelerle birlikte Avrupa çapında çevre konulu bir bilgi ve gözlem ağı oluşturulması,
- Çevre ile ilgili verilerin kaydedilmesi, toplanması, değerlendirilmesi ve dağıtımı,
- Çevreye ilişkin istatistiki verilerin Avrupa düzeyinde birbirleriyle karşılaştırılabilir kılınmasının desteklenmesi,
- Çevre ile ilgili gelişmelerin önceden tahmin edilmesine yönelik tekniklerin geliştirilmesi ve uygulanması alanındaki faaliyetlere ivme kazandırılması.

Yukarıdaki faaliyetler kapsamında 1989 yılında 1985 verilerine ait "CORINAIR 1985 emissions inventory", "Atmospheric Emission Inventory Guidebook (EMEP/CORINAIR 1996)" ve EMEP-CORINAIR Emission Inventory Guidebook - 2006 gibi çevre ile ilgili dokümanlar yayınlamıştır. Burada kullanılan sonuçlar Avrupa'da bir çok ülkede yapılan testler sonucunda elde edilen verilerdir.

CORINAIR'e göre emisyon faktörlerinin bulunması için taşıtların aşağıdaki sınıflandırılması gerekir.

Yolcu taşıma araçları: Otomobil (M₁)

Hafif kirletici araçlar: Kamyonet ve minibüs (N₁)

Ağır kirletici araçlar: Kamyon ve şehir içi otobüs (M2, M3)

İki tekerlekli araçlar: Motosiklet (L1, L2, L3, L4, L5) [41].

Karayolu taşıtlarından kaynaklanan emisyonların hesabında iki tür yaklaşım vardır:

Birinci yaklaşımda yakıtların karbon içerikleri ve tüketim miktarları dikkate alınarak,

$$\text{(Emisyon Miktarı)}_i = \text{(Emisyon Faktörü)} \times \text{(Yakıt tüketimi)} \quad [3.1]$$

bağıntısından hesaplama yapılmaktadır.

İkinci yaklaşımda ise taşıtların emisyon teknolojileri, yaptıkları yıllık yol miktarı, yakıt tüketimleri ve birim yol başına yakıt tüketimleri dikkate alınmaktadır. Buna göre,

$$\text{(Emisyon Miktarı)} = \text{(Emisyon Faktörü)} \times \text{(Yol)} \times \text{(Araç Sayısı)} \quad [3.2]$$

Bu çalışmada ikinci yaklaşım kullanılmıştır.

3.2.1 Emisyon Envanteri

Bir emisyon envanteri hazırlanması için ideal metodoloji belirli bir bölge için belirli zamanda farklı kaynaklardan atmosfere atılan emisyonların direkt olarak ölçülmesi yoluyla belirlenmesidir. Ancak böyle bir yaklaşım pratikte uygulanabilir değildir. Çünkü envanterler genellikle tüm bölgeyi ve değişik emisyon kaynaklarını içine alan kapsamda gerçekleştirilmek istenir. Ayrıca çeşitli kaynaklardan yayılan emisyonların doğası gereği de direkt ölçümler yoluyla tam bir miktar belirlemesi yapılamamaktadır. Bu yüzden emisyon ve kaynaklarıyla ilişkili verilerin toplanarak istatistiksel değerlendirilmelerinin yapıldığı yaklaşımlar yaygın olarak uygulanmaktadır.

Veri toplama sürecinin tamamlanmasından sonra kaynak aktivitelerinin ve kaynağa özgü emisyon faktörlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu metod kaynak

aktiviteleri ve emisyon arasındaki lineer bir ilişki üzerine kurulmuştur ve aşağıdaki denklemde ifade edilmiştir;

$$E_i = A * EF_i \text{ [3.3]}$$

Burada;

E_i : i kirleticinin emisyonu (g/yıl)

A : Aktivite (yakıt tüketimi, yıllık kat edilen km vb.)

EF_i : i kirletici için emisyon faktörü (g/l üretim, g/km yol gibi)

Kirletici emisyonlarının doğru ve tam olarak belirlenmesi kirleticiyle ilişkili emisyon faktörünün ve kaynak aktivitesinin iyi değerlendirilmesi gerekmektedir.

Emisyon envanteri hesaplamalarında; yerel, bölgesel veya ulusal ölçeklerine bağlı olarak değişik yaklaşımlar kullanılabilir. Emisyon envanterlerinin ihtiyaç duydukları yüksek çözünürlükteki verilerinin kirletici grubu ve kaynağa göre sağlanabilmesi için kullanılan teknikler genel olarak ‘aşağıdan yukarıya’ ve ‘yukarıdan aşağı doğru’ olarak sınıflandırılabilir. Çalışma alanının küçük ve sınırlı olduğu durumlarda yeterli veri temin edilebiliyorsa aşağıdan yukarıya doğru yaklaşım uygulanabilir [42]. Başka bir deyişle yerel ölçekte yukarıdan aşağı doğru yaklaşımın gerektirdiği yakıt tüketimi miktarı gibi verilerin belirlenmesi zordur. Bu emisyon envanteri tekniğinde ulusal ölçekli veriler kullanılarak ulusal envanterler hazırlanmaktadır. Emisyon envanterinin oluşturulmasındaki yaklaşımların seçimi, emisyon kaynağına, sektör ve bölgeye bağlı olarak değiştirilmektedir. Envanterlerin ihtiyaç duyduğu verilerin nicel ve nitel olarak doğru bir şekilde temin edilmesi envanterin güvenilirliğini belirleyen en önemli parametrelerden birisidir. Karayolu ulaşımında aşağıdan yukarıya doğru yaklaşımla hazırlanacak bir envanter için; araç parkı ve kompozisyonunun doğru belirlenmesi, her bir araç grubunun toplam yaptığı yıllık kilometre, trafik akış şartları, hız bileşeni gibi verilerin uzaysal ve zamansal belirlenebilmesi önemlidir [43].

Karayolu ulaşımından atmosfere atılan emisyonların başlıca üç kaynağı bulunmaktadır;

-Eksoz emisyonları

-Soğuk emisyonlar; araç motorunun ısınmasına kadar ilave emisyon yayar.

-Buharlaşma emisyonları; araçların yakıt sistemlerinden, motor ve tanklardan yakıtın buharlaşması sonucu oluşur.

Motorlu taşıt kaynaklı emisyonların hesaplanmasında genel olarak;

$$Emisyon(E) = \sum_{abcd} (EF_{abcd} * A_{abcd}) + \sum_b soğ_b + \sum_b buhar_b \quad [3.4]$$

formülü kullanılır.

Burada ;

Emisyon (E): kara yolu ulaşımından kaynaklanan toplam emisyon

EF: emisyon faktörü (g/l üretim, g/km yol gibi)

A: Aktivite (yakıt tüketimi veya katedilen yol)

Soğ: soğuk sürüş koşullarından kaynaklanan ekstra emisyonlar

Buhar: Buharlaşmadan kaynaklanan ekstra emisyonlar

a: Yakıt tipi (benzin, dizel, LPG vb.)

b: Araç tipi (otomobil, kamyon vb.)

c: Emisyon kontrol sistemleri

d: Yol tipi veya araç hızını temsil etmektedir.

Bu genel denklemlerle ifade edilen motorlu taşıt kaynaklı emisyonların hesaplanması denklemler parametreleriyle ilişkili verilerin toplanmasını gerektirmektedir.

Bu kapsamda gerekli veriler;

- Her bir yakıt tipi için tüketilen yakıt miktarı,
- Araç parkındaki her bir araca takılı emisyon kontrol sistemi,
- Sürüş karakteristikleri (ortalama hızı,yol tipi gibi),
- Bakım,
- Araç parkının model yaşı dağılımı,

- Sürüş mesafesi,
- İklim

Genellikle tüm bu data­ların temin edilmesi mümkün değildir. Ancak çalışmanın ulusal veya yerel olmasına ve ulaşılabilen verilere bağlı olarak ‘yukarıdan aşağı doğru’ veya ‘aşağıdan yukarı doğru’ yaklaşımıyla emisyon envanteri çıkartılabilir. Mevcut verilerin kent ölçeğinde olduğu durumlarda aşağıdan yukarıya doğru yaklaşımı kullanılabilir. Bu çalışmada emisyonların hesaplanmasında gerekli olan tüm veriler Balıkesir şehir merkezi ölçeğinde anket çalışması yapılarak temin edilmiştir.

3.2.2 Veri Toplama Süreci (Anket Çalışması)

Anket; sistematik bir veri toplama yöntemi olarak tanımlanabilir. Bu yöntemle veriler, önceden belirlenmiş insan gruplarına amaca uygun bir dizi sorular sorularak elde edilir. Sıklıkla kullanılan bir veri toplama yöntemi olmakla beraber, uygun koşullar altında uygulandığında beklenen yararını sağlayacaktır. Ankette soruların hazırlanması, örneklerin seçimi, yönetimi, uygulama yöntemleri gibi hususlar anketin ‘geçerli’ ve ‘güvenilir’ olmasını doğrudan etkiler.

Yukarıda sıralanan motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonların hesaplanmasında gerekli verilerin temin edilmesi amacıyla anket çalışması yapılmıştır. Anketin amacı, Balıkesir il merkezindeki motorlu taşıtların sebep olduğu emisyonların hesaplanmasında gerekli olan; tüketilen yakıt miktarı, araç parkı, sürüş karakteristikleri, sürüş mesafesi gibi verilerin temin edilmesidir. Bu amaçla kentteki il trafik müdürlüğüne kayıtlı araç bilgilerinden hareketle anketin uygulanacağı örneklem grubu oluşturulmuştur. Balıkesir ili ilgili araç parkının oluşturulabilmesi için Balıkesir il merkezinde araç sahibi özel kişilere, ticari ve resmi kurumlardaki araçlara Ek1’deki anket uygulanmıştır.

Olasılık örnekleme yöntemlerinden ‘tabakalı rastgele örnekleme’ yaklaşımı seçilmiştir. Olasılık örnekleme yöntemi, birimlerin evrenden her seferinde eşit olasılıkla seçilmesidir. Bir başka değişle örneklemedeki elemanlar evrenden rasgele seçilmiştir. Bu yöntemin içinde yer alan ‘tabakalı rasgele örnekleme’ ise incelenecek denekler herhangi bir özelliğine göre değişiklik gösteriyorsa yani bir tabakalanma içeriyorsa uygulanan bir yaklaşımdır. Bu çalışmada; il merkezindeki araç parkını oluşturan araçların tipi (otomobil, kamyon, otobüs gibi) birbirlerinden farklı özellikler gösterdiklerinden ve ayrı emisyon hesaplaması gerektirdiklerinden ‘tabakalı rastgele örnekleme’ yapılmıştır. Bu tabakadaki araç sayıları birbirlerine eşit olmadığından; orantılı seçim yapılmıştır. Örneklem büyüklüğü, evren büyüklüğü dikkate alınarak oluşturulmuştur.

Anketteki bilgiler araç sınıfları, yakıt tipi, silindir hacmi, ağırlığı, üretim yılı, üretim yılına göre emisyon standardı, ortalama yaptığı km sürüş mesafesi ve şehir içi ortalama hızı şeklinde belirlenmiş ve çizelge oluşturulmuştur. Her bir araç sınıfı, yakıt tipi silindir hacmi veya ağırlığı ve emisyon standardına göre gruplara ayrılmıştır. Yıllık kat edilen km belirlemek amacıyla anketörlere; günlük, aylık ve yıllık olarak üç farklı soru (Araçın kat ettiği km, yakıt tüketim miktarı lt ve yakıt tüketim bedeli YTL) yöneltilmiştir.

Sorulardan kat ettiği km vermiş ise yıllık km hesaplanmıştır. Eğer kat ettiği km verilmedi ise aracın yakıt tüketim bedeli YTL/km ve katalog yakıt tüketim değeri lt/100 km soruları sorulmuştur. Ortalama km bu dört sorudan hareketle hesaplanmıştır. Bununla bağlantılı sorular kontrol amaçlı kullanılmıştır.

3.2.3 Toplam Emisyon

Toplam emisyon miktarını hesaplamak için soğuk ve sıcak emisyonların hesaplanması gerekir. Soğuk emisyonlar taşıt motorunun ilk çalıştırılması ve termostatının açılmaya başlandığı ana kadar geçen sürüş miktarında ortaya çıkan emisyonlardır. Sıcak emisyonlar ise termostat açıldıktan sonra sürüşte ortaya çıkan emisyonlardır. Toplam emisyon miktarı aşağıdaki formül ile hesaplanır [44].

$$E_{\text{TOPLAM}} = E_{\text{sıcak}} + E_{\text{soğuk}} \quad [3.5]$$

Burada E_{TOPLAM} : Toplam emisyon miktarı (ton/yıl)

$E_{\text{sıcak}}$: Taşıt sıcak motor ile kat ettiği yoldaki emisyon miktarı (ton/yıl)

$E_{\text{soğuk}}$: Taşıtın ilk çalıştırmadan termostat açılıncaya ($\approx 70^{\circ}\text{C}$) kadar kat ettiği yoldaki emisyon miktarı (ton/yıl)

Yakıt tipi, yaptığı yıllık km ve emisyon faktörü belirlendikten sonra aşağıdaki formül ile yıllık sıcak emisyonlar bulunabilir [44].

$$E_{\text{sıcak},i,j,k} = N_{j,k,l} * M_{j,k} * e_{\text{sıcak,yıllık},i,j,k} \quad [3.6]$$

Burada; $E_{\text{sıcak},i,j,k}$: Kirletici emisyon miktarı (ton/yıl)

i (kirleticiler): CO, HC, NO_x ve PM

j (taşıt sınıfları) Yakıt türü, üretim yılı

k (yol sınıfı) Şehir içi, şehir dışı ve otoban

N_j : Taşıt sayıları (j: üretim yılına bağlı sınıfına göre)

$M_{j,k}$: Taşıtların yaptığı kilometre (j: yol tipi ve k: taşıt sınıflarına göre)

$e_{\text{sıcak,yıllık},i,j,k}$: Emisyon faktörü [g/km]. (kirleticiler, taşıt sınıfları, yol sınıfına göre)

Soğuk emisyonları hesaplamak için öncelikle sıcak emisyonların hesabı yapılması gerekmektedir. Elde edilen sıcak emisyon faktörü sayesinde soğuk emisyonlar

hesaplanabilir. Soğuk emisyonları hesaplamak için aşağıdaki formülden yararlanılır [44].

$$E_{\text{soğuk}} = \beta * N * M * e_{\text{sıcak}} * (e^{\text{soğuk}} / e^{\text{sıcak}} - 1) [3.7]$$

Burada; $E_{\text{soğuk}}$: Her bir kirletici ve taşıt sınıfları için soğuk emisyon miktarı (ton/yıl)

β : Taşıt sınıflarına göre taşıtın ilk motor çalışmasından termometre açılana kadar kat ettiği yol

N: Taşıt sınıflarına göre taşıt sayıları (taşıt miktarı)

M: Taşıt sınıflarına göre toplam yol miktarı (km/taşıt miktarı)

$e_{\text{sıcak}}$: sıcak emisyon faktörü (g/km)

$e^{\text{soğuk}} / e^{\text{sıcak}}$: Taşıt sınıflarına göre soğuk emisyon faktörünün sıcak emisyon faktörüne oranı

Avrupa topluluğu ülkelerde CORINAIR'e göre emisyon standartları (15.01, 15.02, 15.03, 15.04, EuroI, Euro II, EuroIII, EuroIV) belirlenmiş ve Avrupa'da bir çok ülkede motorlu taşıt kaynaklı emisyonlar hesaplanmıştır.

EMEP-CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2006 metodolojisine göre motorlu taşıt emisyon envanteri için emisyon faktörleri laboratuvar koşullarında belirlenir, araç başına yapılan yıllık toplam kilometre ise aktiviteyi oluşturur. Araç başına yapılan yıllık toplam kilometre ve ilişkili diğer veriler kentte yapılan anket çalışmasıyla elde edilmeye çalışılmıştır. Bu verileri elde etmek için Türkiye'deki taşıt kaynaklı egzoz emisyonu ilgili yönetmelikler ve Avrupa Birliğine geçiş için kabul edilen emisyon standartları gözden geçirilmiştir.

4. SONUÇLAR

4.1 Balıkesir İle İlgili Araç Parkının Oluşturulması

Balıkesir ilinde şehir merkezindeki kirlilik kırsal alanlara ve ilçelere göre daha fazla görülmektedir. Bunun için şehir merkezi ile ilgili sonuçlara ulaşılmaya çalışılmıştır. Balıkesir'in ilçe, köyleri ve merkezden otoban geçmediği için ankete dahil edilmemiştir. Balıkesir il merkezinde 82240 araç olduğu il emniyet müdürlüğü kayıtlarından tespit edilmiştir. Balıkesir'de merkezdeki araç sayılarına göre belli bir orana yakın olarak araç sahipleriyle anket yapılmış ve 925 adet araç bilgilerine ulaşılmıştır. İl merkezindeki sınıflarına göre araç ve uygulanan anket sayıları, yakıt ve emisyon kontrol sistemlerine göre sınıflandırmaları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Balıkesir il merkezi taşıt parkı ve uygulanan anket sayıları (2007).

Araç Sınıfı	% Taşıt Dağılımı	Taşıt Sayısı	Anket Sayısı
Otomobil	52.08	37127	354
Minibüs	2.45	1748	86
Kamyonet	16.07	11459	149
Otobüs	1.74	1237	87
Kamyon	4.62	3297	72
Motosiklet	23.04	16423	177
Toplam*	100	71291	925

* Şehir içinde traktörler fazla çalışmadığı için dikkate alınmamıştır.

Araçlar emisyon standartlarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır.

<15.04 1980'den önceki yıllar

15.04 1980-1993

Euro I 1993-2001 (Kademeli olarak geçilmiştir)

Euro III 2002-2007 tarihler belirlenmiştir.

Buna göre kent merkezindeki toplam 82240 araç için 925 anket yapılmıştır. Anketten taşıtların silindir hacmi, kullanılan yakıt türü, emisyon standartlara göre sınıflamaları ile yıllık kat edilen kilometre ve ortalama hızlara ait detaylı bilgiler elde edilmiştir.

Çizelge 4.1’de 6 taşıt sınıfına ait 39 ayrı kategoride; emisyon standardı, ortalama kat edilen kilometre ve hızlar verilmektedir. Kent içi ulaşımda otomobillerin tüm sınıflarının 2007 yılında kat ettikleri yolun (ve hızlarının) ortalama 16033 km (52 km/saat), minibüslerin 28626 km (53 km/saat), kamyonetlerin 25127 km (43 km/saat), otobüslerin 24762 km (53 km/saat), kamyonların 22629 km (43 km/saat), ve motosikletlerin 5274 km (45 km/saat) olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Dizel ve LPG yakıtlı araçların benzinli araçlara göre ortalamada daha fazla kilometre yaptığı görülmektedir.

Kentte motosikletlilerin sayısının oldukça fazla olması ve yıllık ortalama 5274 km yol kat etmeleri oldukça dikkat çekicidir. Bunun nedenlerinden bir tanesi, motosikletlerin PTT, lokanta gibi hizmet sektörlerinde ticari olarak yaygın kullanımınıdır. Motosiklet satıcıları, kullanıcıları ve servislerle yapılan görüşmelerde şehir merkezine kayıtlı motosikletlerin % 40’ının çevredeki köy ve ilçelerde kullanılmakta olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden hesaplamalarda il trafiğine kayıtlı motosiklet sayılarının %60 ‘ı olan 16423 şehir içi motosiklet sayısı kullanılmıştır.

Aşağıdaki çizelge 4.2’de Türkiye’deki yönetmeliklere göre araç parkını oluşturmak için oluşturulan araç sınıfları, silindir hacmi ve/veya taşıt ağırlığı, kullanılan yakıt türü ve bu verilere göre emisyon standartları verilmiştir. Anketlerden elde edilen hızlar araç sınıfına göre ortalamaları ve emisyon faktörleri her sınıfa ait ortalama hızdan hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2 Araç Sınıflarına Göre Euro Standartları ve Ortalama Hız

Araç Sınıfları		Silindir Hacmi ve Taşıt Ağırlığı	Kullanılan Yakıt Türü	Emisyon Standardı	Ortalama Hız (km/h)
OTOMOBİL	1	CC 0-1,41	Benzinli	15.04	46.67
	1	CC 1,41-2,00	Benzinli	15.04	46.79
	1	CC 0-1,41	Benzinli	EURO1	50
	1	CC 1,41-2,00	Benzinli	EURO1	50
	1	CC 0-1,41	Benzinli	EURO3	55
	1	CC 1,41-2,00	Benzinli	EURO3	52,5
	1	CC 0-1,41 ve 1,41-2,00	LPG	15.04 ÖNCESİ	49.12
	1	CC 0-1,41 ve 1,41-2,00	LPG	15.04	49.18
	1	CC 0-1,41 ve 1,41-2,00	LPG	EURO1	49.52
	1	CC 0-1,41	LPG	EURO3	53
	1	CC<2,00	Dizel	15.04 ÖNCESİ	50
	1	CC<2,00	Dizel	EURO1	47.50
	1	CC<2,00	Dizel	EURO3	49.68
MİNİBÜS	2	<3,5 TON	Dizel	<EURO1	48.93
	2	<3,5 TON	Dizel	EURO1	53,33
	2	<3,5 TON	Dizel	EURO3	52,83
KAMYONET	5	<3,5 TON	Dizel	<EURO1	45
	5	<3,5 TON	Dizel	EURO1	48.75
	5	<3,5 TON	Dizel	EURO3	53
OTOBÜS	3	<7,5 TON	Dizel	<EURO1	50
	3	<7,5 TON	Dizel	EURO I	46.11
	3	<7,5 TON	Dizel	EURO III	48.85
	3	2,5<TON<7,5	Dizel	<EURO1	60
	3	2,5<TON<7,5	Dizel	EURO I	50
	3	2,5<TON<7,5	Dizel	EURO III	48.75
KAMYON	4	<7,5 TON	Dizel	<EURO1	42.14
	4	<7,5 TON	Dizel	EURO I	43.75
	4	<7,5 TON	Dizel	EURO III	45.00
	4	2,5<TON<7,5	Dizel	<EURO1	42
	4	2,5<TON<7,5	Dizel	EURO I	43
	4	2,5<TON<7,5	Dizel	EURO III	44.17
MOTOSİKLET	7	<50 cm ³	Benzin	EURO I	37.5
	7	>50 cm ³ 2 zamanlı	Benzin	EURO I	40
	7	>50 cm ³ 2 zamanlı	Benzin	EURO III	46.67
	7	CC<250 cm ³ 4 zamanlı	Benzin	<EURO1	48.33
	7	CC<250 cm ³ 4 zamanlı	Benzin	EURO I	48.75
	7	CC<250 CM ³ 4 zamanlı	Benzin	EURO III	50
	7	250<CC<750 cm ³ 4 zamanlı	Benzin	EURO I	45
	7	250<CC<750 cm ³ 4 zamanlı	Benzin	EURO III	46.25

4.2 Emisyon Hesapları

4.2.1 Sıcak Emisyon Hesabı

Taşıt kaynaklı emisyonları hesaplamak için; emisyon faktörü hesap denklemini EMEP-CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2006'dan alınmıştır.

Bu denklemlerden yararlanılarak hıza göre emisyon faktörleri hesaplanmıştır. Aşağıdaki Çizelge 4.3 ve 4.4'de taşıt türleri, anketteki taşıt sayıları, hesaplamada kullanılacak taşıt sayıları ve emisyon standartlarına göre kullanılacak emisyon faktörleri verilmiştir.

Hıza bağlı emisyon faktörleri hesaplandıktan sonra

$E_{sıcak,i,j,k} = N_{j,k,l} * M_{j,k} * e_{sıcak,yıllık,i,j,k}$ [3.6] formülünde değerler yerine konularak Çizelge 4.5 ve 4.6'de sıcak emisyon miktarları hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3 Balıkesir İli Yıllık Ortalama Km ve Hesaplamada Kullanılacak Taşıt Sayıları

ARAÇ SINIFLARI		Aracın Silindir Hacmi veya Ağırlığı	Kullanılan Yakıt Türü	Emisyon Standardı	Silindir Hacmine Göre Ortalama Km	Toplam Ortalama Km	Sınıfın Anket Taşıt Sayısı	Toplam Anket Taşıt Sayısı	Şehir Merkezi Taşıt Sayısı	Sınıfın Taşıt Sayısı	Taşıt Sayısı*	Toplam Taşıt Sayısı*
OTOMOBİL	1	1	1	15.04	9843.125	11194.027	24	75	37127	354	2517	7866
	1	2	1	15.04	11829.7451		51		37127	354	5349	
	1	1	1	EURO1	15459	15574.593	10	27	37127	354	1049	2832
	1	2	1	EURO1	15642.588		17		37127	354	1783	
	1	1	1	EURO3	9057.2059	10575.824	34	68	37127	354	3566	7132
	1	2	1	EURO3	12094.441		34		37127	354	3566	
	1	1-2	3	15.04 ÖNCESİ	4360	4360	3	3	37127	354	315	315
	1	1-2	3	15.04	19487.458	19487.458	59	59	37127	354	6188	6188
	1	1-2	3	EURO1	15732.121	15732.121	33	33	37127	354	3461	3461
	1	1	3	EURO3	37080	37080	5	5	37127	354	524	524
	1	CC<2	2	15.04 ÖNCESİ	3600	3600	1	1	37127	354	105	105
	1	CC<2	2	EURO1	27500	27500	8	8	37127	354	839	839
	1	CC<2	2	EURO3	26749.92	26749.92	75	75	37127	354	7866	7866
MİNİBÜS	2	<3,5 TON	2	<EURO1	32320	32320	5	5	1748	86	102	102
	2	<3,5 TON	2	EURO1	26988.556	26988.556	36	36	1748	86	732	732
	2	<3,5 TON	2	EURO3	26569.791	26569.791	45	45	1748	86	915	915
KAMYONET	5	<3,5 TON	2	<EURO1	18059.508	18059.508	61	61	11459	149	4691	4691
	5	<3,5 TON	2	EURO1	29977.75	29977.75	44	44	11459	149	3384	3384
	5	<3,5 TON	2	EURO3	27345.614	27345.614	44	44	11459	149	3384	3384

* Hesaplamalarda kullanılacak taşıt sayıları

Aracın silindir hacmi veya ağırlığı 1: 0-1.41 cm³, 2: 1.41-2.00 cm³

Kullanılan Yakıt Türü 1: Bezin, 2: Dizel, 3: LPG ifade etmektedir.

Çizelge 4.3 Balıkesir İli Yıllık Ortalama Km ve Hesaplamada Kullanılacak Taşıt Sayıları (Devamı)

Araç Sınıfları		Araçın Silindir Hacmi veya Ağırlığı	Kullanılan Yakıt Türü	Emisyon Standardı	Silindir Hacmine Göre Ortalama Km	Toplam Ortalama Km	Toplam Anket Taşıt Sayısı	Şehir Merkezi Taşıt Sayısı	Sınıfın Taşıt Sayısı	Taşıt Sayısı*
OTOBÜS	3	<7,5 TON	2	<EURO1	13002.75	13002.75	4	1237	87	57
	3	<7,5 TON	2	EURO I	29512.47	29512.47	15	1237	87	213
	3	<7,5 TON	2	EURO III	30410.35	30410.35	24	1237	87	341
	3	2,5<TON<7,5	2	<EURO1	14444	14444	23	1237	87	327
	3	2,5<TON<7,5	2	EURO I	29844.88	29844.88	16	1237	87	227
	3	2,5<TON<7,5	2	EURO III	31360	31360	5	1237	87	71
KAMYON	4	<7,5 TON	2	<EURO1	23035.11	23035.11	27	3297	72	1236
	4	<7,5 TON	2	EURO I	22484.5	22484.5	8	3297	72	366
	4	<7,5 TON	2	EURO III	17318	17318	5	3297	72	229
	4	2,5<TON<7,5	2	<EURO1	17240	17240	11	3297	72	504
	4	2,5<TON<7,5	2	EURO I	25599.38	25599.38	8	3297	72	366
	4	2,5<TON<7,5	2	EURO III	30097.69	30097.69	13	3297	72	595
MOTOSİKLET	7	<50 CM3	1	EURO I	4200	3760	3	16423	177	278
	7	>50 CM3 2 za	1	EURO I	15300	5358	3	16423	177	278
	7	>50 CM3 2 za	1	EURO III	8000	6000	3	16423	177	278
	7	CC<250 CM ³ 4 ZA	1	<EURO1	4760	4157.5	4	16423	177	371
	7	CC<250 CM ³ 4 ZA	1	EURO I	16057.2	4163.12	25	16423	177	2320
	7	CC<250 CM ³ 4 ZA	1	EURO III	17353.25	4663.15	125	16423	177	11598
	7	250<CC<750 CM ³ 4 ZAMANLI	1	EURO I	10800	4933.33	3	16423	177	278
	7	250<CC<750 CM ³ 4 ZAMANLI	1	EURO III	12508.75	4978.82	11	16423	177	1021

* Hesaplamalarda kullanılacak taşıt sayıları

Araçın silindir hacmi veya ağırlığı 1: 0-1.41 cm³, 2: 1.41-2.00 cm³

Kullanılan Yakıt Türü 1: Bezin, 2: Dizel, 3: LPG ifade etmektedir.

Çizelge 4.4 Balıkesir İlindeki taşıtlarla İlgili Ortalama Hıza Göre Hesaplanan Sıcak Emisyon Faktörleri

Araç Sınıfları		Aracın Silindir Hacmi veya Ağırlığı	Kullanılan Yakıt Türü	Emisyon Standardı	CO Emisyon Faktörü EF (g/km)	VOC Emisyon Faktörü EF (g/km)	NO _x Emisyon Faktörü EF (g/km)	FC (Yakıt Tüketimi) EF (g/km)	PM Emisyon Faktörü EF (g/km)
OTOMOBİL	1	1	1	15.04	6.250	1.328	1.783	54.032	
	1	2	1	15.04			2.254	57.508	
	1	1	1	EURO1	1.533	0.001	0.259	44.218	0.003
	1	2	1	EURO1				52.564	0.003
	1	1	1	EURO3	0.578	0.014	0.069	45.094	0.007
	1	2	1	EURO3				53.454	0.007
	1	1-2	3	15.04 ÖNCESİ	1.398	0.904	2.336	59.000	
	1	1-2	3	15.04	1.398	0.904	2.336	59.000	
	1	1-2	3	EURO1	1.138	0.166	0.313	46.475	
	1	1	3	EURO3	0.630	0.080	0.171	25.661	
	1	CC<2	2	15.04 ÖNCESİ	0.573	0.118	0.470	49.289	0.165
	1	CC<2	2	EURO1	0.349	0.045	0.573	45.221	0.054
	1	CC<2	2	EURO3	0.079	0.015	0.686	46.124	0.028
	MİNİBÜS	2	<3,5 TON	2	<EURO1	1.032	0.115	1.103	67.680
2		<3,5 TON	2	EURO1	0.327	0.118	1.023	60.667	0.061
2		<3,5 TON	2	EURO3	0.268	0.097	0.838	49.747	0.050
KAMYONET	5	<3,5 TON	2	<EURO1	1.032	0.115	1.103	67.680	0.293
	5	<3,5 TON	2	EURO1	0.327	0.118	1.023	60.667	0.061
	5	<3,5 TON	2	EURO3	0.268	0.094	0.838	49.747	0.050

Aracın silindir hacmi veya ağırlığı 1: 0-1.41 cm³, 2: 1.41-2.00 cm³

Kullanılan Yakıt Türü 1: Bezin, 2: Dizel, 3: LPG ifade etmektedir.

Çizelge 4.4 Balıkesir İlindeki taşıtlarla İlgili Ortalama Hıza Göre Hesaplanan Sıcak Emisyon Faktörleri(Devamı)

Araç Sınıfları		Araçın Silindir Hacmi veya Ağırlığı	Kullanılan Yakıt Türü	Emisyon Standardı	CO Emisyon Faktörü EF (g/km)	VOC Emisyon Faktörü EF (g/km)	NOX Emisyon Faktörü EF (g/km)	FC (Yakıt Tüketimi) EF (g/km)	PM Emisyon Faktörü EF (g/km)
OTOBÜS	3	<7,5 TON	2	<EURO1	3.204	0.776	12.233	253.287	0.442
	3	<7,5 TON	2	EURO I	1.701	0.632	8.563	196.726	0.304
	3	<7,5 TON	2	EURO III	0.913	0.389	4.156	179.088	0.225
	3	2,5<TON<7,5	2	<EURO1	3.204	0.776	12.233	253.287	0.442
	3	2,5<TON<7,5	2	EURO I	1.701	0.632	8.563	196.726	0.304
	3	2,5<TON<7,5	2	EURO III	0.913	0.389	4.156	179.088	0.225
KAMYON	4	<7,5 TON	2	<EURO1	2.744	1.506	2.813	83.223	0.323
	4	<7,5 TON	2	EURO I	1.351	1.093	1.913	52.577	0.205
	4	<7,5 TON	2	EURO III	0.742	0.696	0.936	38.796	0.086
	4	2,5<TON<7,5	2	<EURO1	2.780	1.510	2.821	170.816	0.683
	4	2,5<TON<7,5	2	EURO I	1.368	1.093	4.018	109.753	0.407
	4	2,5<TON<7,5	2	EURO III	0.752	0.709	1.971	81.684	0.172
MOTOSİK-LET	7	<50 CM3	1	EURO I	5.600	2.730	0.020	15.000	0.076
	7	>50 CM3 2 za	1	EURO I	13.100	6.250	0.032	21.890	0.080
	7	>50 CM3 2 za	1	EURO III	2.129	0.750	0.289	15.103	0.012
	7	CC<250 CM ³ 4 ZA	1	<EURO1	20.587	4.043	0.158	21.669	0.020
	7	CC<250 CM ³ 4 ZA	1	EURO I	13.483	1.014	0.281	22.659	0.020
	7	CC<250 CM ³ 4 ZA	1	EURO III	4.705	0.628	0.126	27.800	0.005
	7	250<CC<750 CM ³ 4 ZAMANLI	1	EURO I	9.979	0.941	0.316	28.221	0.020
	7	250<CC<750 CM ³ 4 ZAMANLI	1	EURO III	4.705	0.628	0.126	28.221	0.005

Araçın silindir hacmi veya ağırlığı 1: 0-1.41 cm³, 2: 1.41-2.00 cm³

Kullanılan Yakıt Türü 1: Bezin, 2: Dizel, 3: LPG ifade etmektedir.

Çizelge 4.5 Balıkesir İli için Hesaplanan Yıllık Sıcak Emisyon Miktarı (g/yıl)

Araç Sınıfları		Araçın Silindir Hacmi veya Ağırlığı	Kullanılan Yakıt Türü	Emisyon Standardı	CO Ton/yıl	VOC Ton/yıl	NO _x Ton/yıl	FC Ton/yıl	PM Ton/yıl
OTOMOBİL	1	1	1	15.04	550.32	116.93	186.80	1359.00	-
	1	2	1	15.04					
	1	1	1	EURO1	67.62	0.05	11.42	716.91	0.05
	1	2	1	EURO1				1465.99	0.09
	1	1	1	EURO3	43.56	1.02	5.20	1456.40	0.21
	1	2	1	EURO3				2305.34	0.28
	1	1-2	3	15.04 ÖNCESİ	1.92	1.24	3.20	80.94	-
	1	1-2	3	15.04	168.58	109.01	281.69	7114.52	-
	1	1-2	3	EURO1	61.96	9.04	17.04	2530.51	-
	1	1	3	EURO3	12.25	1.56	3.33	498.96	-
	1	CC<2	2	15.04 ÖNCESİ	0.22	0.04	0.18	18.61	0.06
	1	CC<2	2	EURO1	8.05	0.99	13.21	1043.39	1.25
	1	CC<2	2	EURO3	16.52	3.15	144.39	9704.95	5.85
	MİNİBÜS	2	<3,5 TON	2	<EURO1	3.39	0.38	3.62	222.30
2		<3,5 TON	2	EURO1	6.46	2.33	20.19	1198.05	1.21
2		<3,5 TON	2	EURO3	6.52	2.35	20.38	1208.95	1.21
KAMYONET	5	<3,5 TON	2	<EURO1	87.40	9.70	93.46	5733.97	24.81
	5	<3,5 TON	2	EURO1	33.18	11.97	103.73	6154.07	6.23
	5	<3,5 TON	2	EURO3	24.82	8.69	77.59	4603.25	4.62

Araçın silindir hacmi veya ağırlığı 1: 0-1.41 cm³, 2: 1.41-2.00 cm³

Kullanılan Yakıt Türü 1: Bezin, 2: Dizel, 3: LPG ifade etmektedir.

Çizelge 4.5 Balıkesir İli için Hesaplanan Yıllık Sıcak Emisyon Miktarı (g/yıl) (Devamı)

Araç Sınıfları		Araçın Silindir Hacmi veya Ağırlığı	Kullanılan Yakıt Türü	Emisyon Standardı	CO Ton/yıl	VOC Ton/yıl	NOx Ton/yıl	FC Ton/yıl	PM Ton/yıl
OTOBÜS	3	<7,5 TON	2	<EURO1	2.37	0.57	9.05	187.31	0.33
	3	<7,5 TON	2	EURO I	10.71	3.98	53.90	1238.25	1.91
	3	<7,5 TON	2	EURO III	9.47	4.04	43.12	1858.44	2.33
	3	2,5<TON<7,5	2	<EURO1	15.13	3.66	57.78	1196.40	2.09
	3	2,5<TON<7,5	2	EURO I	11.55	4.29	58.14	1335.68	2.07
	3	2,5<TON<7,5	2	EURO III	2.03	0.87	9.26	399.27	0.50
KAMYON	4	<7,5 TON	2	<EURO1	78.15	42.89	80.11	2370.19	9.20
	4	<7,5 TON	2	EURO I	11.13	9.00	15.76	433.06	1.69
	4	<7,5 TON	2	EURO III	2.94	2.76	3.71	153.83	0.34
	4	2,5<TON<7,5	2	<EURO1	24.14	13.11	24.50	1483.35	5.93
	4	2,5<TON<7,5	2	EURO I	12.82	10.25	37.68	1029.25	3.82
	4	2,5<TON<7,5	2	EURO III	13.47	12.69	35.31	1463.53	3.08
MOTOSİKLET	7	<50 CM3	1	EURO I	5.86	2.86	0.02	15.70	0.08
	7	>50 CM3 2 za	1	EURO I	19.54	9.32	0.05	32.65	0.12
	7	>50 CM3 2 za	1	EURO III	3.56	1.25	0.48	25.22	0.02
	7	CC<250 CM ³ 4 ZA	1	<EURO1	31.77	6.24	0.24	33.44	0.03
	7	CC<250 CM ³ 4 ZA	1	EURO I	130.20	9.79	2.71	218.82	0.19
	7	CC<250 CM ³ 4 ZA	1	EURO III	254.47	33.96	6.81	1503.53	0.27
	7	250<CC<750 CM ³ 4 ZAMANLI	1	EURO I	13.70	1.29	0.43	38.75	0.03
	7	250<CC<750 CM ³ 4 ZAMANLI	1	EURO III	23.91	3.19	0.64	143.41	0.03

Araçın silindir hacmi veya ağırlığı 1: 0-1.41 cm³, 2: 1.41-2.00 cm³
 Kullanılan Yakıt Türü 1: Bezin, 2: Dizel, 3: LPG ifade etmektedir.

Çizelge 4.6 Balıkesir İli için Hesaplanan Yıllık Emisyon Miktarı (Ton/yıl)

Araç Sınıfları		Aracın Silindir Hacmi veya Ağırlığı	Kullanılan Yakıt Türü	CO (Ton/yıl)	VOC (Ton/yıl)	NO _x (Ton/yıl)	FC (Ton/yıl)	PM (Ton/yıl)
OTOMOBİL	1	1	BENZİN	661.50	118.01	203.42	7303.64	0.64
	1	2						
	1	1						
	1	2						
	1	1						
	1	2						
	1	1-2	LPG	244.71	120.84	305.26	10224.93	0.00
	1	1-2						
	1	1-2						
	1	1						
	1	CC<2	DİZEL	24.79	4.18	157.78	10766.95	7.17
	1	CC<2						
1	CC<2							
MİNİBÜS	2	<3,5 TON	DİZEL	16.37	5.06	44.19	2629.30	3.39
	2	<3,5 TON						
	2	<3,5 TON						
KAMYONET	5	<3,5 TON	DİZEL	145.41	30.36	274.77	16491.29	35.66
	5	<3,5 TON						
	5	<3,5 TON						

Aracın silindir hacmi veya ağırlığı 1: 0-1.41 cm³, 2: 1.41-2.00 cm³

Kullanılan Yakıt Türü 1: Benzin, 2: Dizel, 3: LPG ifade etmektedir.

Çizelge 4.6 Balıkesir İli için Hesaplanan Yıllık Emisyon Miktarı (Ton/yıl) (Devamı)

Araç Sınıfları		Aracın Silindir Hacmi veya Ağırlığı	Kullanılan Yakıt Türü	CO (Ton/yıl)	VOC (Ton/yıl)	NO _x (Ton/yıl)	FC (Ton/yıl)	PM (Ton/yıl)
OTOBÜS	3	<7,5 TON	DİZEL	51.26	17.42	231.26	6215.35	9.22
	3	<7,5 TON						
	3	<7,5 TON						
	3	2,5<TON<7,5						
	3	2,5<TON<7,5						
	3	2,5<TON<7,5						
KAMYON	4	<7,5 TON	DİZEL	142.66	90.71	197.07	6933.22	24.05
	4	<7,5 TON						
	4	<7,5 TON						
	4	2,5<TON<7,5						
	4	2,5<TON<7,5						
	4	2,5<TON<7,5						
MOTOSİKLET	7	<50 CM ³	BENZİN	483.00	67.91	11.40	2011.54	0.77
	7	>50 CM ³ 2 za						
	7	>50 CM ³ 2 za						
	7	CC<250 CM ³ 4 ZA						
	7	CC<250 CM ³ 4 ZA						
	7	CC<250 CM ³ 4 ZA						
	7	250<CC<750 CM ³ 4 ZAMANLI						
	7	250<CC<750 CM ³ 4 ZAMANLI						

Aracın silindir hacmi veya ağırlığı 1: 0-1.41 cm³, 2: 1.41-2.00 cm³

Kullanılan Yakıt Türü 1: Benzin, 2: Dizel, 3: LPG ifade etmektedir.

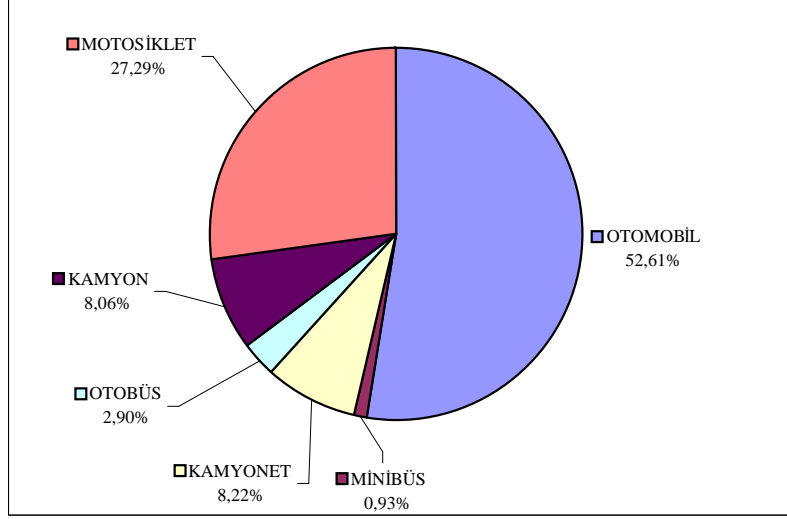
Çizelge 4.7 Balıkesir İli İçin Anket Sonuçları ve Araç km Göre 2007 Yılı Sıcak Emisyon Miktarı

Araç Cinsi	Yakıt Cinsi	CO Ton/Yıl	VOC Ton/Yıl	NOx Ton/Yıl	FC Ton/Yıl	PM Ton/Yıl
Otomobil	Benzinli	661.50	118.01	203.42	7303.64	0.64
	LPG	244.71	120.84	305.26	10224.93	0.00
	DİZEL	24.79	4.18	157.78	10766.95	7.17
	TOPLAM	931.00	243.03	666.45	28295.52	7.80
Minibüs	Dizel	16.37	5.06	44.19	2629.30	3.39
Kamyonet	Dizel	145.41	30.36	274.77	16491.29	35.66
Otobüs	Dizel	51.26	17.42	231.26	6215.35	9.22
Kamyon	Dizel	142.66	90.71	197.07	6933.22	24.05
Motosiklet	Benzinli	483.00	67.91	11.40	2011.54	0.77
T O P L A M		1769.70	454.49	1425.14	62576.21	80.89

4.2.1.1 Sıcak CO Emisyonu

Balıkesir ili için hesaplanan toplam CO emisyonu yaklaşık 1770 ton/yıldır. CO emisyonu bir eksik yanma ürünüdür. Buji ateşlemeli motorlarda görülen vuruntu sebebiyle sıkıştırma oranı arttırılamamaktadır. Sıkıştırma sonu basıncını ve sıcaklığı arttıramamak yanma verimini düşürür. Şekil 4.1 incelendiğinde otomobillerin oldukça yüksek miktarda CO emisyonu oluşturduğu görülmektedir. CO emisyonunun % 52.61 otomobil kaynaklıdır. Benzinli otomobiller LPG ve dizel otomobillere göre daha fazla CO emisyonu ürettiği görülmektedir. LPG gaz yakıt olduğundan hava ile daha homojen karışım sağlamaktadır. Bu da yanma verimini arttırdığından CO emisyonu azalmaktadır. Şekil 4.1’de Balıkesir ili hesaplanan yıllık sıcak CO emisyonu görülmektedir.

CO Emisyonu



Şekil 4.1 Balıkesir İli Yıllık Sıcak CO Emisyon

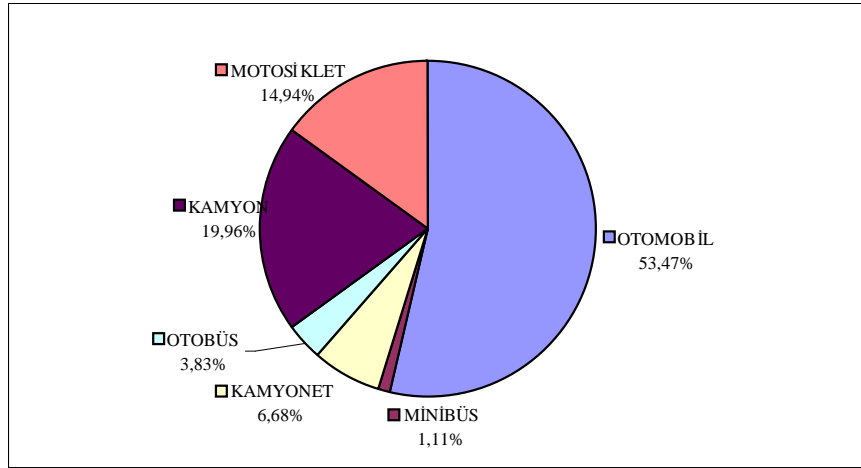
Otomobilden sonra % 27.29 ile motosiklet gelmektedir. Balıkesir ilinde motosiklet sayısı (16423) ve yaptığı ortalama km 5274 fazladır. Balıkesir ili yükselti bakımından düz olması ilde motosiklet miktarını artırmaktadır. Motosikletlerin ucuz ve yaptıkları km'ye göre düşük yakıt sarfiyatı olması tercih edilme sebebidir. Motosikletler iki zamanlı ve dört zamanlı olarak üretilmektedir. Küçük hacimli, yakıt ve ateşleme sistemleri basit motorlardır. Bu nedenle yanma verimleri düşüktür. Ayrıca egzoz sistemlerinde katalitik konvertör gibi egzoz emisyon azaltıcı sistemler bulunmaktadır. Bu sebeplerden dolayı bol miktarda CO emisyonu oluştururlar. Emisyon faktörleri de yüksektir.

Sıkıştırma ile ateşlemeli motorların vuruntu gibi bir dezavantajı yoktur. Emme zamanında içeriğe aldığı hava miktarı fazla ve hava fazlalığı (Fakir karışım) ile çalışabilmektedir. Sıkıştırma sonu sıcaklığı ve basıncı yüksektir. Bütün bu sebeplerle dizel motorlarındaki teknolojik gelişmeler (Comman rail, mutijet, EGR sistemi, turbo

şarj, katalitik konvertör gibi) ve yakıtın iyileştirilmesi ile yanma verimi yüksek ve CO emisyonu az çıkmaktadır.

4.2.1.2 Sıcak VOC Emisyonu

Balıkesir ili için hesaplanan toplam VOC emisyonu yaklaşık 455 ton/yıldır. VOC emisyonu da CO emisyonlarında olduğu gibi otomobillerde fazla olduğu görülmüştür. VOC'un en büyük nedenleri yakıtın tam olarak yakılmadığı veya yakıt buharlaşması sonucu ortaya çıkan bir gazdır. Ayrıca sıcaklıkların ve oksijenin yetersiz olması sonucunda yanmanın tamamlanamamasıdır. Otomobillerde kullanılan LPG gaz olduğu için uçuculuğu daha fazladır. Motorun aşınması LPG gazının yanmadan hava karışmasını artırır. Benzinli otomobillerde LPG'li otomobillere yakın değerlerde VOC üretmişlerdir. Benzinin de LPG kadar olmasa da uçuculuğu fazladır. Şekil 4.2'de Balıkesir ili hesaplanan yıllık sıcak VOC emisyonu görülmektedir.



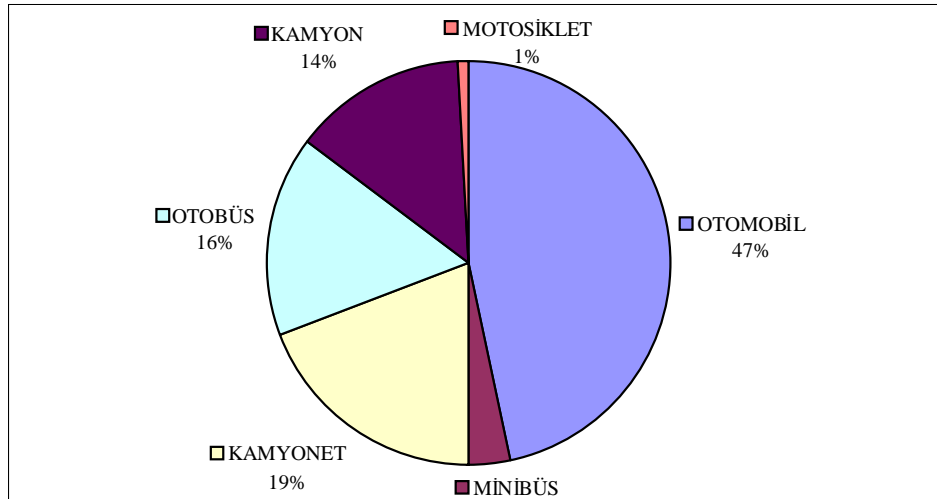
Şekil 4.2 Balıkesir İli Yıllık Sıcak VOC Emisyon

Otomobillerden sonra motosikletlerin VOC miktarı daha fazladır. Motosikletlerin yakıt sistemi ve ateşleme sistemi diğer araçlardan daha kötüdür. Bunun için VOC miktarı fazladır.

Dizel araçların VOC değerleri daha az çıkmıştır. Bunda dizel araçların hava fazlalık katsayısının yüksek olması VOC miktarını azalmaktadır. Dizel motorlardaki teknolojik gelişmeler de VOC miktarını azaltmıştır.

4.2.1.3 Sıcak NO_x Emisyonu

Balıkesir ili için hesaplanan toplam NO_x emisyonu yaklaşık 1425 ton/yıldır. NO_x emisyonu bakımından otomobillerin daha fazla olduğu görülmüştür. Otomobilleri kendi arasında incelediğimizde LPG'li otomobillerde daha fazla görülmektedir. NO_x'ler motorun yüksek sıcaklıklarında (1600°C'nin üstü) ve oksijenin fazla olduğu zamanlarda ortaya çıkar. Şekil 4.3'de Balıkesir ili hesaplanan yıllık sıcak NO_x emisyonu görülmektedir.



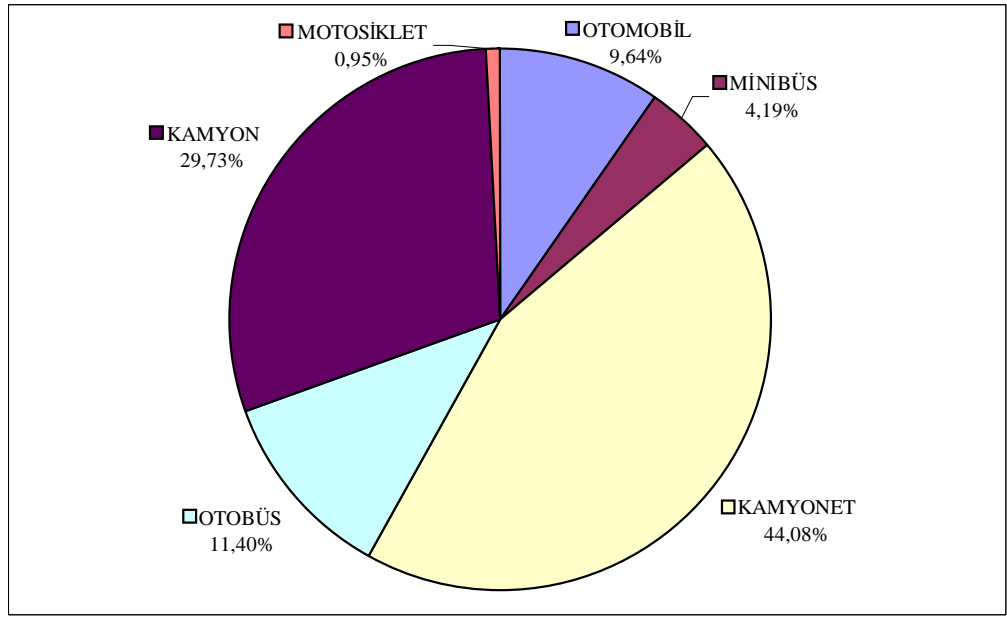
Şekil 4.3 Balıkesir İli Yıllık Sıcak NO_x Emisyon

LPG ve benzinin yanma sonu sıcaklıkları birbirine yakındır. Ancak anketlere bakıldığı zaman LPG'li araçlar daha fazla yol kat ettiği için ürettikleri NO_x'in de fazla çıktığı değerlendirilmiştir.

Dizel araçların ise yanma sonu sıcaklıkları buji ateşlemeli motorlara göre daha düşüktür. Buda dizel araçlarda NO_x miktarını düşük tutmaktadır.

4.2.1.4 Balıkesir İli İçin Hesaplanan Sıcak Partikül Madde Miktarı (PM)

Balıkesir ili için hesaplanan toplam PM emisyonu yaklaşık 81 ton/yıldır. Partikül madde olarak baktığımızda kamyonetlerde daha fazla olduğu görülmüştür. Dizel motorlarında yakıttaki H₂ molekülleri oksijenle hızla birleşir ve geriye kalan C yeterli O₂ bulamadığından yanamayıp partikül madde olarak dışarıya atılır. Başlıca nedeni silindir içerisinde yeterli hava olmaması veya zamanında hava ile karışamaması ve buharlaşmamasıdır. Buji ateşlemeli motorlarda çok az miktarda PM oluşur. Dizel araçlara bakıldığında kamyonetlerin fazla çıkmasının sebebi ise diğer dizel araçlardan sayısının ve yaptıkları ortalama km'nin fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.4'de Balıkesir ili hesaplanan yıllık sıcak PM emisyonu görülmektedir.

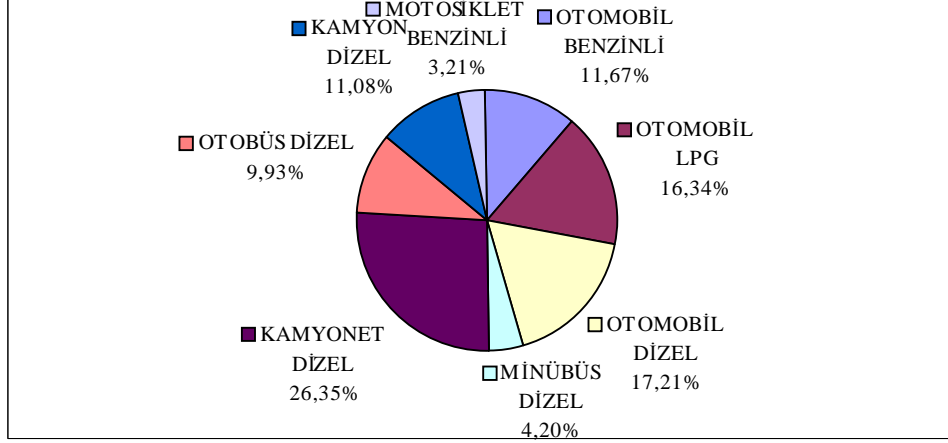


Şekil 4.4 Balıkesir İli Yıllık Sıcak PM

4.2.1.5 Yakıt Tüketimi (FC)

Balıkesir ili için hesaplanan toplam yakıt tüketimi yaklaşık 62576 ton/yıldır. Yakıt tüketimi (FC) en fazla kamyonetler görülmüştür. Kamyonetler ticari araç olarak çalıştıkları ve diğer dizel araçlarından sayılarının fazla olması sebebiyle yakıt tüketimi

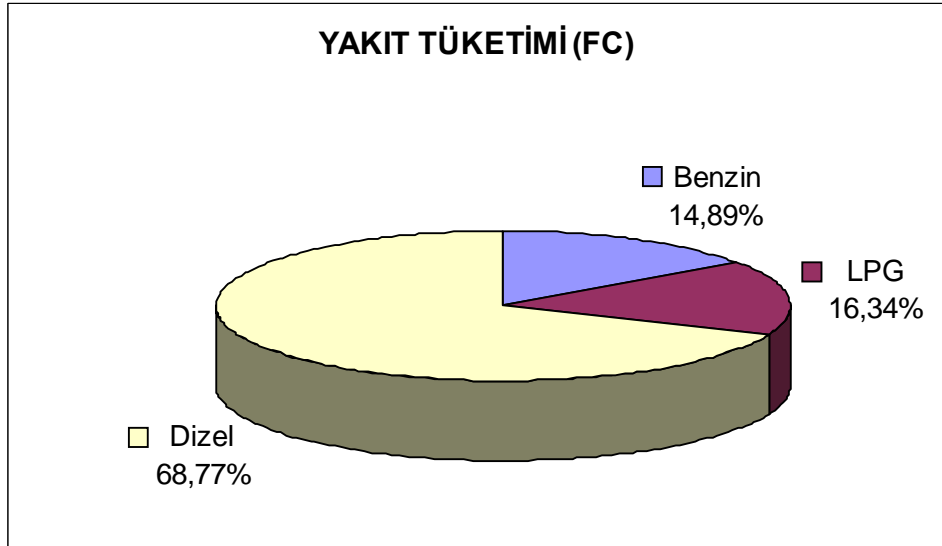
daha fazla çıkmıştır. Yakıt tüketiminin araç sınıflarına ve yakıt türlerine göre dağılımları Çizelge 4.8, şekil 4.5 ve 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.5 Balıkesir İli Yıllık Yakıt Tüketimi (FC)

Çizelge 4.8 Balıkesir İli Yıllık Yakıt Türüne Göre Yakıt Tüketimi

Yakıt Tüketimi (FC) ton/yıl	
Benzin	18638.86
LPG	10224.9
Dizel	43036.11



Şekil 4.6 Balıkesir İli Yıllık Yakıt Türüne Göre Yakıt Tüketimi (FC)

4.2.2 Soğuk Emisyon Hesabı

Sıcak emisyon faktörleri kullanılarak otomobil (benzin, LPG ve dizel), hafif ticari araçlar minibüs (dizel) ve kamyonet (dizel) araç sınıfları için soğuk emisyon miktarları hesaplanabilir.

Ağır ticari araçlar (kamyon ve otobüs); yol koşulları ve yük durumu çok detaylı bilgi gerektiği için yalnızca sıcak emisyonlar hesaplanabilir. Bu araçlarda soğuk emisyonların hesaplanması oldukça zordur.

Motosikletler içinde sıcak emisyon faktörleri hem soğuk hem de sıcak emisyonları karşılayacak biçimde verilmiştir. Bu yüzden soğuk emisyonlar ayrıca hesaplanmamıştır.

$E_{soğuk} = \beta * N * M * e_{sıcak} * (e^{soğuk} / e^{sıcak} - 1)$ [3.7] bu formülden yararlanarak her bir taşıt sınıfı için soğuk emisyon miktarı hesaplanabilir.

Her bir taşıt ve yakıt sınıfına göre $e^{soğuk} / e^{sıcak}$ EMEP-CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2006'dan alınıp hesaplanmıştır. Balıkesir İl Meteoroloji Müdürlüğü verilerine göre için uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık 14.5 °C ve 2007 yılı ortalama sıcaklığı 15 °C 'dir

Örnek Euro I öncesi CO, NO_x, VOV ve FC için $e^{soğuk} / e^{sıcak}$ formülleri aşağıdadır:

$$CO: 3.7 - 0.09 * t_a \quad [4.1]$$

$$NO_x: 1.14 - 0.006 * t_a$$

$$VOC: 2.8 - 0.06 * t_a$$

$$FC: 2.8 - 0.06 * t_a$$

t_a: Ortalama sıcaklık (Balıkesir ili 2007 t_a= 15 olarak kullanılmıştır)

β parametresi taşıtların yaptığı sürüş mesafesi ve ortalama sıcaklık ile hesaplanır. Sürüş mesafesi araçların bir yerden bir yere gidip orda durduğu mesafedir. Örnek olarak bir dolmuşun duraktan yola çıkıp son durağa gitmesidir. Avrupa’da bu mesafe 10-12 km arasında değişmektedir. Balıkesir ili için dolmuş, minibüslerle ve özel araç sahipleriyle görüşülmüş bu mesafe ortalama olarak $l_{yol} = 5$ km alınmıştır. β parametresi aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır. Örnek olarak Euro I için β parametresi hesabı:

$\beta = 0.674 - 0.02545 * l_{yol} - (0.00974 - 0.000385 * l_{yol}) * t_a$ [4.2] formülünden hesaplanır.

Balıkesir ili otomobil (benzin, LPG ve dizel), hafif ticari araçlar minibüs (dizel) ve kamyonet (dizel) araç sınıfları için soğuk emisyon miktarları Çizelge 3.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.9 Balıkesir İlindeki Taşıtlarla İlgili Soğuk Emisyon İçin Hesaplanan β Parametreleri

Araç Sınıfları	Aracın Silindir Hacmi veya Ağırlığı	Kullanılan Yakıt Türü	Emisyon Standardı	β_{CO}	β_{VOC}	β_{NOx}	β_{FC}	β_{PM}	
	1	1	15.04	0,402925	0,402925	0,402925	0,402925	0,402925	
	2	1	15.04	0,402925	0,402925	0,402925	0,402925	0,402925	
	1	1	EURO1	0,402925	0,402925	0,402925	0,402925	0,402925	
	2	1	EURO1	0,402925	0,402925	0,402925	0,402925	0,402925	
	1	1	EURO3	0,249814	0,128936	0,128936	0,249814	0,128936	
	2	1	EURO3	0,249814	0,128936	0,128936	0,249814	0,128936	
	1	1-2	15.04 ÖNCESİ	0,402925	0,402925	0,402925	0,402925	0,402925	
	1	1-2	15.04	0,402925	0,402925	0,402925	0,402925	0,402925	
	1	1-2	EURO1	0,402925	0,402925	0,402925	0,402925	0,402925	
	1	1	EURO3	0,249814	0,128936	0,128936	0,249814	0,128936	
	1	CC<2	2	15.04 ÖNCESİ	0,402925	0,402925	0,402925	0,402925	0,402925
	1	CC<2	2	EURO1	0,402925	0,402925	0,402925	0,402925	0,402925
	1	CC<2	2	EURO3	0,402925	0,402925	0,402925	0,402925	0,402925
	MİNİBÜS	2	<3,5 TON	2	<EURO1	0,402925	0,402925	0,402925	0,402925
2		<3,5 TON	2	EURO1	0,402925	0,402925	0,402925	0,402925	
2		<3,5 TON	2	EURO3	0,249814	0,128936	0,128936	0,249814	
KAMYONET	5	<3,5 TON	2	<EURO1	0,402925	0,402925	0,402925	0,402925	
	5	<3,5 TON	2	EURO1	0,402925	0,402925	0,402925	0,402925	
	5	<3,5 TON	2	EURO3	0,249814	0,128936	0,128936	0,249814	

Aracın silindir hacmi veya ağırlığı 1: 0-1.41 cm³, 2: 1.41-2.00 cm³

Kullanılan Yakıt Türü 1: Bezin, 2: Dizel, 3: LPG ifade etmektedir.

Çizelge 4.10 Balıkesir İlindeki Taşıtlarla Hesaplanan Soğuk Emisyon İçin $e^{\text{soğuk}} / e^{\text{sıcak}}$

Araç Sınıfları	Araç Silindir Hacmi veya Ağırlığı	Kullanılan Yakıt Türü	Emisyon Standardı	CO için $e^{\text{soğuk}} / e^{\text{sıcak}}$	VOC için $e^{\text{soğuk}} / e^{\text{sıcak}}$	NOx için $e^{\text{soğuk}} / e^{\text{sıcak}}$	FC için $e^{\text{soğuk}} / e^{\text{sıcak}}$	PM için $e^{\text{soğuk}} / e^{\text{sıcak}}$	
OTOMOBİL	1	1	15.04	2,35	1,9	1,131	1,34	-	
	1	2	15.04	2,35	1,9	1,131	1,34	-	
	1	1	EURO1	7,69339	8,4322	2,803738	1,34	-	
	1	2	EURO1	6,01698	9,32534	2,759596	1,34	-	
	1	1	EURO3	7,69339	8,4322	2,803738	1,34	-	
	1	2	EURO3	6,01698	9,32534	2,759596	1,34	-	
	1	1-2	3	15.04 ÖNCESİ	2,31	1,89	1,34	1,34	-
	1	1-2	3	15.04	2,31	1,89	1,34	1,34	-
	1	1-2	3	EURO1	2,31	1,89	1,34	1,34	-
	1	1	3	EURO3	2,31	1,89	1,34	1,34	-
	1	CC<2	2	15.04 ÖNCESİ	1,45	1,11	1,75	1,25	1,60
	1	CC<2	2	EURO1	1,45	1,11	1,75	1,25	1,60
	1	CC<2	2	EURO3	1,45	1,11	1,75	1,25	1,60
MİNİBÜS	2	<3,5 TON	2	<EURO1	1,45	1,11	1,75	1,25	1,60
	2	<3,5 TON	2	EURO1	1,45	1,11	1,75	1,25	1,60
	2	<3,5 TON	2	EURO3	1,45	1,11	1,75	1,25	1,60
KAMYONET	5	<3,5 TON	2	<EURO1	1,45	1,11	1,75	1,25	1,60
	5	<3,5 TON	2	EURO1	1,45	1,11	1,75	1,25	1,60
	5	<3,5 TON	2	EURO3	1,45	1,11	1,75	1,25	1,60

Araç silindir hacmi veya ağırlığı 1: 0-1.41 cm³, 2: 1.41-2.00 cm³

Kullanılan Yakıt Türü 1: Bezin, 2: Dizel, 3: LPG ifade etmektedir.

Çizelge 4.11 Balıkesir İlindeki Taşıtlarla Hesaplanan Soğuk Emisyon İçin $E_{soğuk}$ Emisyon Miktarı

Araç Sınıfları		Araçın Silindir Hacmi veya Ağırlığı	Kullanılan Yakıt Türü	Emisyon Standardı	$E_{soğuk}$ CO (Ton/yıl)	$E_{soğuk}$ VOC (Ton/yıl)	$E_{soğuk}$ NOx (Ton/yıl)	$E_{soğuk}$ FC (Ton/yıl)	$E_{soğuk}$ PM (Ton/yıl)
OTOMOBİL	1	1	1	15.04	84,23	1,74	2,33	180,70	-
	1	2	1	15.04	21,51	30,47	7,53	491,17	-
	1	1	1	EURO1	67,04	0,01	3,05	96,77	-
	1	2	1	EURO1	86,44	0,11	5,12	197,88	-
	1	1	1	EURO3	31,45	0,42	0,52	121,88	-
	1	2	1	EURO3	31,48	0,63	0,68	192,93	-
	1	1-2	3	15.04 ÖNCESİ	1,01	39,09	0,44	10,92	-
	1	1-2	3	15.04	88,98	3,24	38,59	960,32	-
	1	1-2	3	EURO1	32,71	0,18	2,33	341,57	-
	1	1	3	EURO3	4,01	0,02	0,15	41,76	-
	1	CC<2	2	15.04 ÖNCESİ	0,04	0,00	0,04	1,87	0,02
	1	CC<2	2	EURO1	1,46	0,04	3,19	105,10	0,30
	1	CC<2	2	EURO3	13,31	0,34	28,04	977,59	1,99
	MİNİBÜS	2	<3,5 TON	2	<EURO1	0,61	0,02	0,88	22,39
2		<3,5 TON	2	EURO1	1,17	0,10	4,88	120,68	0,29
2		<3,5 TON	2	EURO3	0,73	0,02	2,02	75,50	0,08
KAMYONET	5	<3,5 TON	2	<EURO1	15,85	0,41	22,59	577,59	6,00
	5	<3,5 TON	2	EURO1	6,02	0,51	25,08	619,91	1,51
	5	<3,5 TON	2	EURO3	2,79	0,09	7,69	287,49	0,29

Araçın silindir hacmi veya ağırlığı 1: 0-1.41 cm³, 2: 1.41-2.00 cm³

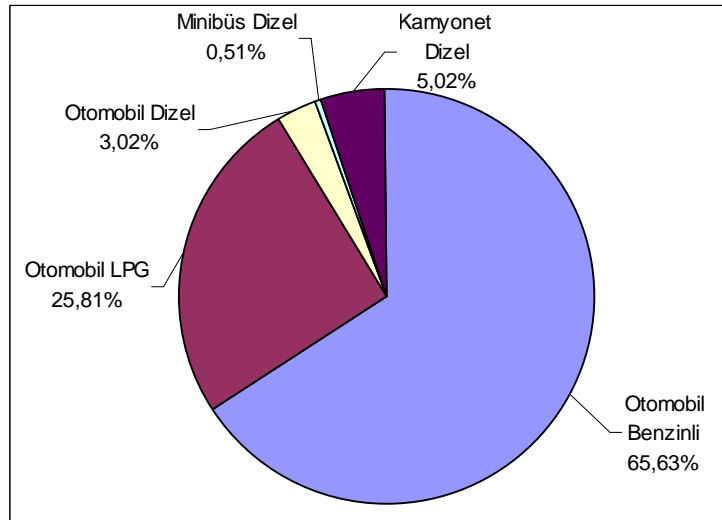
Kullanılan Yakıt Türü 1: Bezin, 2: Dizel, 3: LPG ifade etmektedir.

Çizelge 4.12 Balıkesir İli İçin Anket Sonuçları ve Araç km Göre 2007 Yılı Soğuk Emisyon Miktarı

Araç Cinsi	Yakıt Cinsi	CO Ton/Yıl	VOC Ton/Yıl	NO _x Ton/Yıl	FC Ton/Yıl	PM Ton/Yıl
Otomobil	Benzinli	322,15	33,38	19,23	1281.32	-
	LPG	126,71	42,53	41,51	1354.57	-
	Dizel	14,81	0,39	31,28	1084.57	2,31
Minibüs	Dizel	2,52	0,14	7,78	218.58	0,60
Kamyonet	Dizel	24,65	1,01	55,36	1484.99	7,80
TOPLAM		490.84	77.44	155.16	5424.02	10.71

4.2.2.1 Balıkesir İli İçin Hesaplanan Soğuk CO Emisyonu

Soğuk emisyonlarda da CO miktarı Benzinli otomobillerde %65.63 gibi önemli bir miktarını oluşturmaktadır. Şekil 4.7’de hesaplanan soğuk CO emisyonu gösterilmiştir.

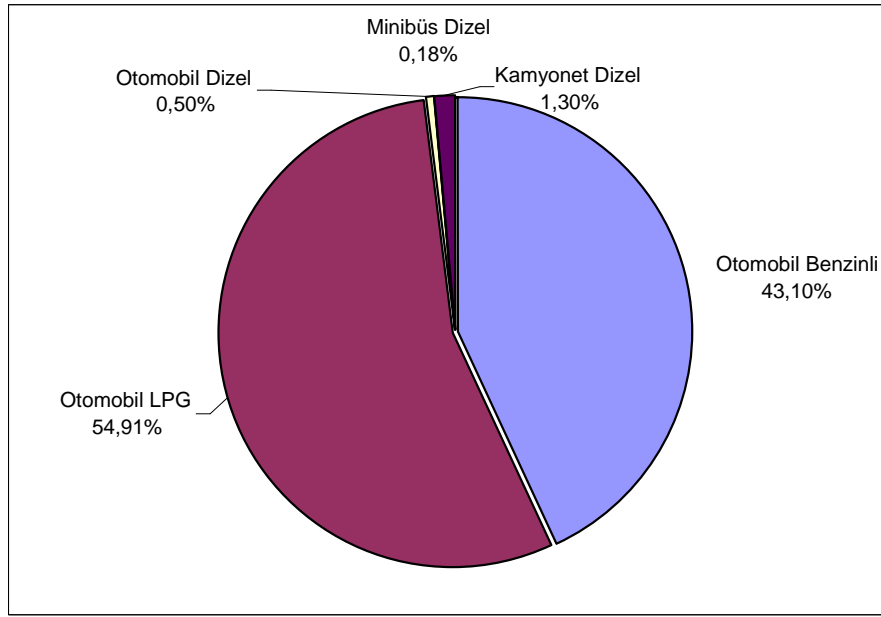


Şekil 4.7 Balıkesir İli Yıllık Soğuk CO Emisyonu

Motorlar özellikle kış aylarında ilk harekete geçirildiğinde katalitik konvertör çalışma sıcaklığına gelinceye kadar CO emisyonları yüksek miktarlarda oluşur.

4.2.2.2 Soğuk VOC Emisyonu

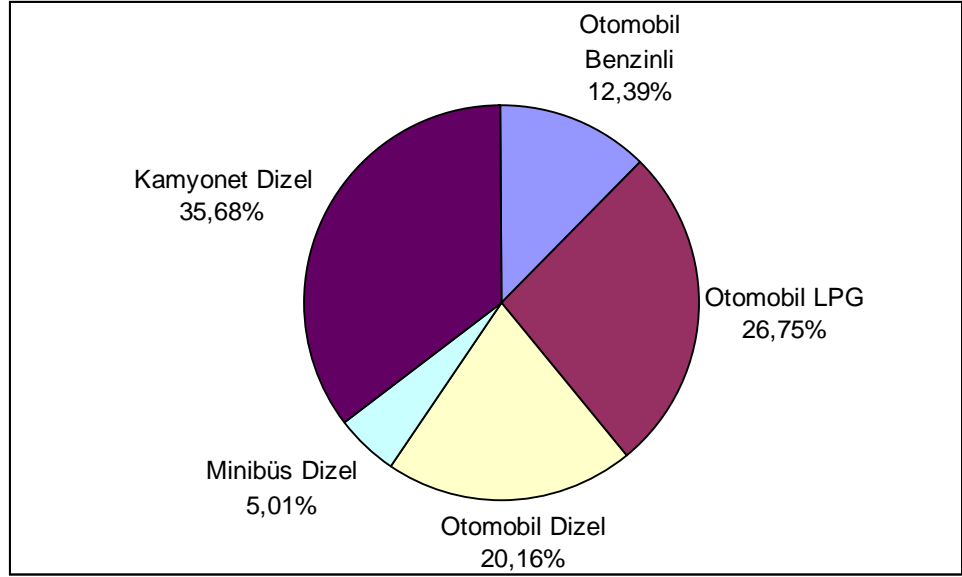
VOC emisyonları uçucu HC oluşan emisyonlardır. Soğuk çalışmada LPG'li otomobillerde %54.91 birinci sırada %43.10 benzinli otomobil ikinci sırada yer almıştır. Ayrıca CO emisyonları gibi özellikle kış aylarında katalitik konvertör ısınmaya kadar yüksek miktarlarda oluşur. Şekil 4.8'de hesaplanan soğuk VOC emisyonu gösterilmiştir. Şekil 4.8'de Balıkesir ili hesaplanan yıllık soğuk VOC emisyonu görülmektedir.



Şekil 4.8 Balıkesir İli Yıllık Soğuk VOC Emisyonu

4.2.2.3 Soğuk NO_x Emisyonu

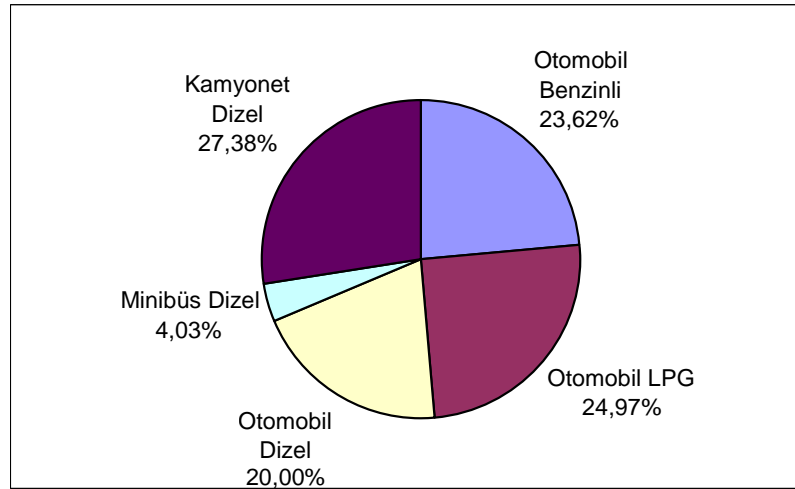
NO_x en fazla %35.68 kamyonetlerde görülmüştür. Bunun sebebi kamyonetlerin sayısı ve yaptığı km ile ilgilidir. Kamyonetlerden sonra LPG otomobilde %26.75 olarak ortaya çıkmıştır. Şekil 4.9'da hesaplanan soğuk NO_x emisyonu gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Balıkesir İli Yıllık Soğuk NO_x Emisyonu

4.2.2.4 Soğuk Yakıt Tüketim Miktarı

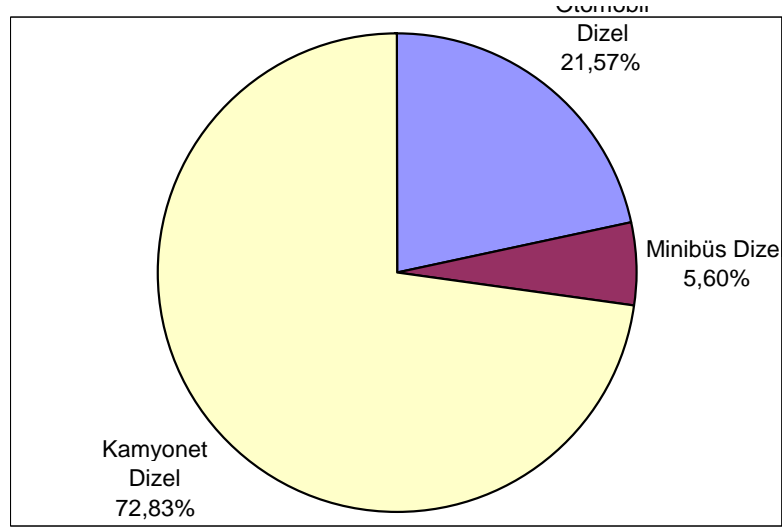
Yakıt miktarı olarak %27.38'le kamyonetler ilk sırada yer almaktadır. LPG otomobil %24.97 ve %23.62 benzinli otomobiller gelmektedir. Şekil 4.10'da hesaplanan soğuk yakıt tüketim miktarı gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Balıkesir İli Yıllık Soğuk FC Miktarı

4.2.2.5 Soğuk PM Miktarı

PM'de %72.83 ile en fazla kamyonetlerde görülmektedir. Kamyonetlerin sayısı ve yaptıkları km bunda etkilidir. Kamyonetleri % 21.57 ile dizel otomobil izlemektedir. Şekil 4.11'de hesaplanan soğuk PM emisyonu gösterilmiştir.



Şekil 4.11 Balıkesir İli Yıllık Soğuk PM Miktarı

4.2.3 Balıkesir İli CO₂ Hesabı

En son CO₂ emisyonları; taşıt kaynaklı emisyonlar ve yakıt tüketimi hesaplandıktan sonra yakıt içerisindeki karbon miktarıyla tamamıyla oksit olmuş CO₂ aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$E_{CO_2} = 44.011 * \frac{FC}{12.011 + 1.008r_{H:C}} \quad [4.3] \quad [44].$$

$r_{H:C}$: Yakıt içerisindeki hidrojen atomlarının karbon atomlarına oranı (benzin 1.8 ve dizel için 2.0 kullanılabilir)

FC : Araç sınıflarına ve yakıt tiplerine göre yakıt tüketim miktarı

Eğer egzoz emisyonları hesaplanabiliyor ise, karbon atomları içerisinde diğer kirletici olan CO, VOC ve PM çıkartılarak CO₂ emisyonları aşağıdaki formül sayesinde hesaplanabilir [44].

$$E_{CO_2} = 44.011 * \left[\frac{FC}{12.011 + 1.008 * r_{H:C}} - \frac{E^{CO}}{28.011} - \frac{E^{VOC}}{13.85} - \frac{E^{PM}}{12.011} \right]$$

[4.4]

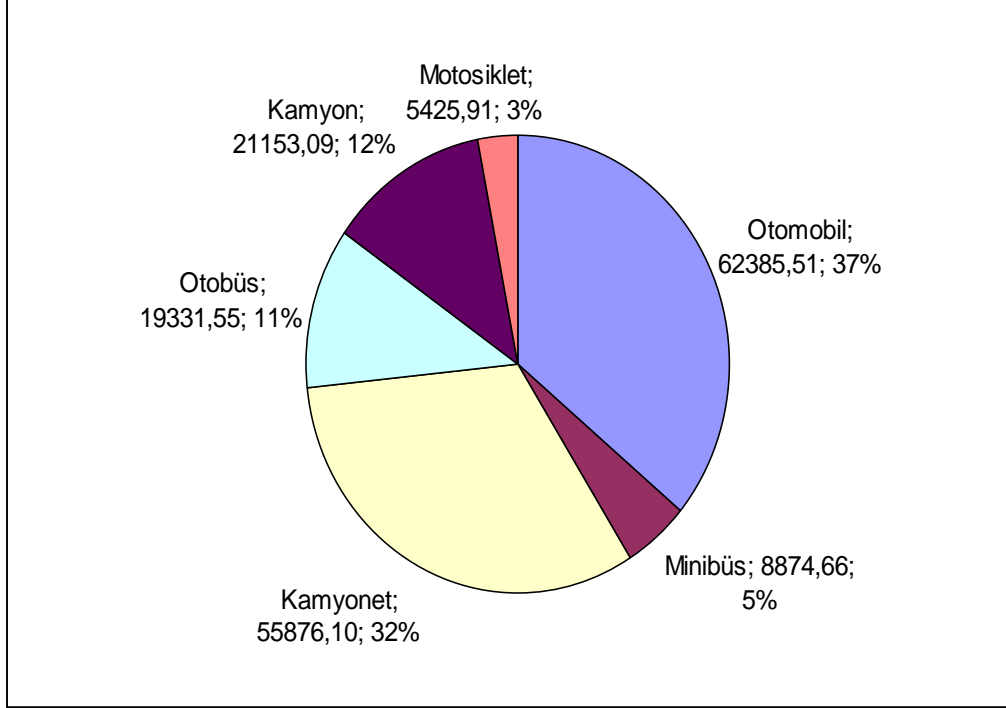
[4.4] formülü kullanılarak her bir otomobil sınıfı için hesaplanan CO₂ miktarını çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13 Balıkesir İli İçin CO₂ Emisyon Miktarı

Araç Cinsi	Yakıt Cinsi	CO ₂ Ton/Yıl
Otomobil	Benzinli	25302.31
	Dizel	37083.20
Minibüs	Dizel	8874.66
Kamyonet	Dizel	55876.10
Otobüs	Dizel	19331.55
Kamyon	Dizel	21153.09
Motosiklet	Benzinli	5425.91
T O P L A M		173046.83

CO₂ ve ısıyı tutan diğer gazların miktarındaki artış, atmosferin ısısının yükselmesine sebep olmaktadır. Balıkesir ili CO₂ salınımında otomobillerin %37 ile ilk sırada olduğu görülmektedir. Bu sonuçlarda otomobillerin sayısının fazla olması etkilidir. Toplam CO₂ emisyon miktarında LPG'li otomobiller için r_{H:C} katsayısı verilmediği için hesaplanamamıştır.

Kamyonetlerde %32 ile ikinci sırada gelmektedir. Kamyonetlerde yaptıkları yol miktarları fazladır. Şekil 4.12’de hesaplanan Balıkesir ili yıllık CO₂ emisyonu gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Balıkesir İli Yıllık CO₂ Miktarı

4.3 Toplam Emisyon

Balıkesir iline ait hesaplanan taşıt cinsine bağlı sıcak ve soğuk olarak hesaplanan emisyon değerleri toplamı aşağıdaki çizelge 4.14’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.14 Balıkesir İl Merkezi Motorlu Taşıtlı Kaynaklı 2007 Yılı Toplam Emisyon Miktarı

Araç Cinsi	Yakıt Cinsi	CO Ton/Yıl	VOC Ton/Yıl	NO _x Ton/Yıl	FC Ton/Yıl	PM Ton/Yıl	CO ₂ Ton/Yıl
Otomobil	Benzinli	983.64	151.39	222.65	8584.96	0	25302.31
	LPG	371.42	163.37	346.77	11579.50	0	-
	Dizel	39.60	4.57	189.06	11854.52	9.47	37083.20
Otomobil Toplam		1394.66	319.33	758.48	32018.98	9.47	62385.51
Minibüs	Dizel	18.89	5.20	51.97	2847.88	3.99	8874.66
Kamyonet	Dizel	170.06	31.37	330.13	17976.28	43.46	55876.10
Otobüs	Dizel	51.26	17.42	231.26	6215.35	9.22	19331.55
Kamyon	Dizel	142.66	90.71	197.07	6933.22	24.05	21153.09
Motosiklet	Benzinli	483.00	67.91	11.40	2011.54	0.77	5425.91
T O P L A M		2263.53	531.93	1530.30	68003.24	90.96	173046.83

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada, aşağıdan yukarıya doğru yaklaşımıyla COPERT metodolojisi kullanılarak taşıt ulaşımı kaynaklı emisyonların hesaplanmasında ihtiyaç duyulan dataların anket yoluyla temin edilmesi ve emisyon envanterinin hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Kent ölçeğinde yapılan çalışmalarda lokal kaynaklarla ilgili veri toplama süresinde benzer anket çalışmaları yapılabilmektedir [14].

Balıkesir il merkezi araç emisyonlarının COPERT metodolojisiyle ihtiyaç duyulan toplam kilometre her bir araç sınıfı için ayrı ayrı belirlenmiştir. Kent içi ulaşımında yıllık en fazla yolu 28.626 km ile minibüsler yapmaktadır. Bunları 25.127 km ilk hafif ticari araçlar olan kamyonetler ve 24762 km ile otobüsler izlemektedir.

Dizel otomobiller, benzinli otomobillere göre fazla yol kat etmiştir. Benzin /dizel araçlar için toplan kat edilen yol miktarları sırasıyla 12.321 km ve 19.283 km dir. Bu oran Avrupa ülkelerinin pek çoğuyla uyum göstermiştir. Avusturya için benzin/dizel paylaşımı 16641 km/18156 km, Belçika için 14.319 km/22.774 km, Almanya için 11.596 km/15.353 km'dir [45]. Tüm Avrupa ülkelerinde en çok kilometre otobüs, ağır kirletici ve hafif kirletici araçlar tarafından kat edilmiştir. Motosikletlerin yıllık 5274 km yol kat ettiği Danimarka ile Balıkesir'deki motosikletlerin kat ettikleri yol ise hemen hemen eşittir.

Kent içi ulaşımında her bir araç sınıfına göre ortalama hızlar 43-53 km/saat aralığında değişmektedir. Araçların yıl boyunca tükettikleri yakıt miktarlarına bakıldığında yıllık 43.036 ton ile dizel yakıt, 18.638 ton ile benzin ve 10.224 ton ile LPG tüketildiği hesap edilmiştir.

Araç sınıflarına göre Balıkesir il merkezi yıllık toplam CO emisyonu 2263.53 ton/yıl'dır. Otomobiller 1394.66 ton/yıl ile ilk sırada yer almaktadır. Buji ateşlemeli motorların yanma verimi düşük olduğu için benzinli otomobil, LPG'li otomobil ve motosikletlerin CO emisyon miktarı fazla çıkmıştır. Sıkıştırma ateşlemeli motorların

yanma verimi daha yüksek olduğu CO miktarları az çıkmıştır. VOC emisyon miktarı 531.93 ton/yıl'dır. Otomobiller CO emisyonunda olduğu gibi 319.33 ton/yıl ile ilk sırada bulunmaktadır. Dizel araçlarda VOC emisyonu daha az çıkmaktadır. Yanma odasının ısı ile ilgili NO_x emisyon miktarı ise toplam 1530.30 ton/yıl çıkmaktadır. Otomobiller 758.48 ton/yıl NO_x emisyon miktarı ile ilk sıradadır. LPG'li otomobiller 346.77 ton/yıl otomobiller için en fazla ve kamyonetler dizel NO_x emisyonu üreten araçlar olmuştur. Bu araçların yanma odalarının daha yüksek sıcaklıklarda çalıştığı anlaşılmaktadır. PM miktarı 90.96 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. PM miktarı 43.46 ton/yıl ile kamyonetler ilk sıradadır. Kamyonetlerin sayısı ve yaptığı yol diğer dizel araçlara göre fazladır. Kamyonetleri 24.05 ton/yıl PM miktarı ile kamyonlar izlemektedir. Buji ateşlemeli motorlarda PM miktarları yok denecek kadar azdır. CO₂ emisyon miktarı toplam 173046.83 ton/yıl olmuştur. Otomobiller 62385.51 ton/yıl ile ilk sıradadır. Kamyonetler 55876.10 ile ikinci sırada yer almaktadır. Yakıt tüketimi ise 68003.24 ton/yıl olarak ortaya çıkmıştır. Otomobiller 32018.98 ton/yıl ile ilk sırada ve otomobilleri 17976.28 ton/yıl ile kamyonetler takip etmektedir.

Balıkesir ili ile BELLİSİO ve ç.a.'nın Sardinia'da (İtalya) ve SOYLU'nun Türkiye'de 2004 yılı için yol taşımacılığı kaynaklı emisyonların hesabını karşılaştırdığımızda şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır: Toplam araç sayısı Balıkesir'de 71291, Sardinia'da 1070000 ve 2004 yılı Türkiye'de 8998065 adettir. Emisyon miktarını araç sayısına böldüğümüzde emisyon ile araç arasında bir bağıntı elde edebiliriz. CO emisyonu sırasıyla 2263, 79520 ve 930000 hesaplanmıştır, bu da 0.032, 0.074 ve 0.103'e olduğu ortaya çıkmaktadır. VOC emisyonları sırasıyla 531, 11547 ve 148000 hesaplanmıştır, bu da 0.007, 0.011 ve 0.016'e olduğu ortaya çıkmaktadır. NO_x emisyonları sırasıyla 1530, 19380 ve 279000 hesaplanmıştır, bu da 0.021, 0.018 ve 0.031'e olduğu ortaya çıkmaktadır. PM emisyonları sırasıyla 90, 1867 ve 17110 hesaplanmıştır, bu da 0.0013, 0.0017 ve 0.0019'e olduğu ortaya çıkmaktadır. CO₂ emisyonları sırasıyla 173046, 3124000 ve 36858 hesaplanmıştır, bu da 2.427, 2.92 ve 4.09'e olduğu ortaya çıkmaktadır. Hesaplanan emisyon değerlerinin oranları incelendiği birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Karayolu ulaşımından kaynaklanan ve atmosfere atılan emisyonların Avrupa ölçeğinde yaygın olarak kullanılan COPERT metodolojisine göre hesaplanmasında ihtiyaç duyulan verilerin tam olarak temin edilmesi mümkün olamamaktadır. Yakıt türü ve tüketimi, araç parkı ve kompozisyonu, kat edilen kilometre, ortalama hız, yol koşulları, emisyon faktörleri gibi veriler direkt gözlem-ölçüm, uzman kabulleri veya temsili istatistiksel datalarla temin edilmektedir. Ancak tüm emisyon modelleri yapısal olarak bir takım belirsizliklere sahiptirler. Genel olarak bu belirsizlikler pek çok çalışmaya konu olmuştur ve iki genel başlık altında ifade edilmiştir;

- Emisyon faktörlerinin belirlenmesi ve değişik coğrafi alanlara uygulanmasındaki belirsizlikler,
- Aktivite (toplam kilometre, sıcak-soğuk çalışma, ortalama hız, haftanın günleri gibi) datasıyla ilgili belirsizlikler emisyon miktarlarını önemli ölçüde etkileyebilmektedir.

Tüm bunlara rağmen, motorlu araçlardan atmosfere bırakılan emisyonların hesaplanması, modellenmesi, ulaşım politikalarının çevresel, sosyal ve ekonomik etkilerinin değerlendirilmesinde ve sürdürülebilir politikaların belirlenmesinde karar vericilere yardımcı bir araç olmaktadır.

Araç Kaynaklı Çevre Kirliliğini Azaltmak İçin Alınabilecek Tedbirler

Hava kirliliğinin ortadan kaldırılması veya minimum düzeye indirilmesi. yakıt tüketimini azaltmakla ve motorlu taşıtların verimliliğini artırmakla mümkündür. Motorlu taşıtlarda yakıt ekonomisi ve egzoz gazındaki zararlı emisyonların azaltılması; motor ve taşıt tasarımına. taşıtların uygun hızlarda kullanılmasına ve periyodik bakımlarının zamanında yapılmasına bağlıdır.

Teknolojisi eski taşıtların üretim ve kullanımdan kaldırılması. teknolojisi yeni olan taşıtların kullanılmasıyla (gelişmiş yakıt enjeksiyon. elektronik ateşleme ve

emisyon sistemleri ile) günümüzden itibaren yakıt ekonomisinde hızlı bir iyileşme ve zararlı emisyonlarda bir azalma sağlanacaktır [46].

Motorlarda yanma sonucunda başlıca CO, HC, PM ve NO_x emisyonları oluşmaktadır. Bu emisyonlar insan sağlığı ve çevre açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bu yüzden Avrupa Euro egzoz emisyon standartları gibi yasal düzenlemeler emisyon seviyesinin belirli sınırlar dahilinde olmasını istemektedir. Yasal düzenlemelerin uygulanabilmesi, yanmanın iyileştirilmesi ve yardımcı ekipmanlarla egzoz emisyon seviyesinin kontrol altına alınması ile mümkündür.

Araçlarda; mikro bilgi işlemciler, sensörler, egzoz gazı resirkülasyonu (EGR), elektronik karışım kontrolü ateşleme kontrolü, sıkıştırma oranı veya hava fazlalık katsayısının artırılması, değişken supap zamanları, birden çok supap değişken kompresyon, katalitik konvertörler, partikül filtreleri, aşırı doldurma veya değişken geometri turboşarj (DGT) ve yakıtın kalitesini artırma sayesinde egzoz emisyonları düşer.

Önleyici tedbirler olarak;

□ Öncelikle kirleticilerin miktarında, trafikteki taşıt sayısı kadar aracın özellikleri (aracın cinsi, yaşı, motor ve kirlilik önleme teknolojisi gibi) ve sürüş koşullarının (kent içi-dışı, otoyol, yol durumu, hız gibi) da önemli olması sebebiyle “çok kirletenden çok, az kirletenden az” prensibinden hareketle gerekli düzenlemelerin yapılması,

□ Araçların düzenli bakıma ve denetime tabi tutulması,

□ Egzoz kirliliğinin yoğun olarak yaşandığı bölgelerde trafik sinyalizasyonlarının sürekli trafik akısını engelleyecek şekilde yanlış planlanması sebebiyle motorlu taşıtların trafikte çok beklemesi sonucu oluşan egzoz kirliliğinin azaltılması için trafik ışıklarının senkronize olarak yeniden düzenlenmesi,

□ Kent içinde hız sınırlaması,

□ Kış sezonunda konutların ısıtılması sebebiyle artan hava kirliliğine egzoz kirliliğini azaltıcı önlemlerin alınması (tek, çift plaka uygulaması gibi),

- Yolcu ulaşımının maksimum olduğu saatlerde yük trafiğinin kısıtlanması,
- Özel otomobil kullanım sürelerinin kısıtlanması ve doluluk oranlarının artırılması,
- Toplu taşıma araçlarının yaygınlaştırılması,
- Yeşil alanların artırılması,
- Alternatif enerji kullanan motorlu taşıtların geliştirilmesi ve özendirilmesi,
- Motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirliliğin tespiti ve izlenmesi ile insan ve çevre sağlığına getirdiği zararların tespit edilerek, gerekli koruma ve kirliliği azaltıcı tedbirlerin biran önce alınmasının sağlanması, bunun için İlde Valilik Başkanlığı'nda Sağlık İl Müdürlüğü, Çevre ve Orman İl Müdürlüğü, Trafik Müdürlüğü, Belediye, Üniversite ve Meslek Odaları'ndan oluşan bir ekip oluşturulması, gibi bazı önlemlerin benimsenmesi ve uygulanması büyük önem taşımaktadır [47,48].

KAYNAKLAR

- [1] GENÇ D.D., YEŞİLYURT C., TUNCEL G., “Ankara’daki Hava Kirliliğinin Zamansal ve Mekansal Değişimi”. 6.Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi . İstanbul. S:76-81
- [2] Brett C. Singer, Robert A. Harley; “A fuel-based inventory of motor vehicle exhaust emissions in the Los Angeles area during summer 1997” 1999
- [3] ÇELİKTEN İ., (2000) 2010 yılına kadar Türkiye’deki taşıt sayıları ile taşıtlardan kaynaklanan egzoz emisyon miktarlarının tahmini. Teknoloji. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi. s. 39-48.
- [4] TAŞDEMİR Y., “Winter Seasons SO₂ Measurements in Bursa Comparison With Rural and Urban Area Values” TÜBİTAK 25(2001). 279-287
- [5] Salvatore Saija, Daniela Romano. “A methodology for the estimation of road transport air emissions in urban areas of Italy” 2002
- [6] DEMİRCİOĞLU H., “Determination Of Emission Loads Of Air Pollutants Due To Vehicles ”(2002)
- [7] MANJULA ve ç.a [7] “Chase Studies of Particulate Emissions from in-use New York City Vehicles” 2003
- [8] GÜVEN A., GÜNDÜZ E., ÖZDEMİR Ö., “Kayseri İl Merkezinin 1998-2003 Yılları Arasında Hava Kirliliği Yönünden Değerlendirilmesi”. 6. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi. İstanbul. S:82-91

[9] Javier Ariztegui. Jesus Casanova. Manuel Valdes. “A structured methodology to calculate traffic emissions inventories for city centres” 2004

[10] Morten Winther. “Danish emission inventories for road transport and other mobile sources” 2004

[11] Vitor Gois. Hugo Maciel. “A detailed urban road traffic emissions inventory model using aerial photography and GPS surveys”

[12] José M. Buroñ. Francisco Aparicio. Oscar Izquierdo. Alvaro Gómez. Ignacio López. “Estimation of the input data for the prediction of road transportation emissions in Spain from 2000 to 2010 considering several scenarios” 2005

[13] ÖZTÜRK G.. “Düzce İlinde Trafikten Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Belirlenmesi (2006)

[14] R. Bellasio. R. Bianconia. G. Cordab. P. Cuccab; “Emission inventory for the road transport sector in Sardinia (Italy)” 2006

[15] Pavlos Kassomenos. Spyros Karakitsios. Costas Papaloukas; “Estimation of daily traffic emissions in a South-European urban agglomeration during a workday. Evaluation of several “what if scenarios” 2006

[16] Jens Borken. Heike Steller. Tamás Merétei. Filip Vanhove “Global and country inventory of road passenger and freight transportation. their fuel consumption and their emissions of air pollutants in the year 2000” 2006

[17] H. Steller*. J. Borken “Global road transport’s emission inventory for the year 2000” 2006

[18] Seref Soylu “Estimation of Turkish road transport emissions 2007”

[19] Ege Üniversitesi Çevre Sorunları ve Araştırma Merkezi Yayınları “Çevre Bilimi Sürdürülebilir Dünya” No:1. 1999

[20] TÜNAY O.. “Hava Kirliliği ve Kontrolü Ders Notları” İTÜ Çevre Mühendisliği. 1986

[21] Refik Saydam Hıfzısıhha Merkezi Başkanlığı. “Hava Kirliliğine Genel Bakış”

[22] www.tr.wikipedia.org/wiki/Nem (Son Erişim 14.05.2008)

[23] www.cevreorman.gov.tr/hava_04.htm (Son Erişim 22.05.2008)

[24] www.bursacevreorman.gov.tr/dosya/surucuvecevre.doc (Son Erişim 16.04.2008)

[25] SAFGÖNÜL B.. ERGENEMAN M.. ARSLAN H.E.. SORUŞBAY C.. İçten Yanmalı Motorlar. Birsen Yayınları. 1995

[26] http://www.obitet.gazi.edu.tr/makale/Makaleler/T4_Egzoz.htm(Son Erişim 24.01.2008)

[27] ÖZ İ.H.. BORAT O.. SÜRMEAN A.. “İçten Yanmalı Motorlar” kitabı. Birsen Yayınevi.

[28] GÜRİSOY R.B.. “Patlamalı ve Yanmalı Motorlar” kitabı. İnkılap ve Aka Kitabevi. 1984

[29] BORAT O.. BALCI M.. SÜRMEAN A.. “İçten Yanmalı Motorlar” kitabı.

S: 200. 1. Cilt

[30] İÇİNGÜR Y..”Alternatif Enerji Kaynakları Ders Notları”. Gazi Üniversitesi. Ankara 2003

[31] Aydın F., Sıralı Gaz Fazı Lpg Enjeksiyon Sisteminin Deneysel Olarak İncelenmesi

[32] YAMIK H.. “Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanıma İmkanlarının Araştırılması”. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 2002

[33] www.obitet.gazi.edu.tr(Millbrook 1997/1998 testlerinden alınmıştır.) (Anonim 1) (Son Erişim 15.05.2008)

[34] Karaosmanoğlu. F.. “Türkiye İçin Çevre Dostu - Yenilenebilir Bir Yakıt Adayı : Biyomotorin”. Ekojenerasyon Dünyası-Kojenerasyon Dergisi. İstanbul. 10(1): 50-56 (2002).

[35] Ergeneman M.. Kutlar O.A.. Arslan H.. Mutlu M.. “Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler”. Birsen Yayınevi. 1998

[36] www.balikesir.gov.tr “Balıkesir Valiliği Sitesi” (Son Erişim 08.04.2008)

[37] Tecer L.H.. Balıkesir’de kentsel hava kirliliği. meteoroloji ve sağlık etkilerinin incelenmesi

[38] Balıkesir Valiliği İl Halk Sağlığı Müdürlüğü “SO₂ ve PM’ye Ait Günlük hava kirliliği değerleri”

[39] Balıkesir İl Emniyet Müdürlüğü Trafik Şubesi

[40] COPERT II Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport. 1997

[41] Motorlu Araçların Karbon Dioksit Emisyonları ve Yakıt Tüketimi İle İlgili Tıp Onayı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik (2004/3/AT İle Değişik 80/1268/AT)

[42] Colvile, R.N., Hutchinson, E.J., Mindell, J.S., Warren, R.F. The transport sector as a source of air pollution. *Atmospheric Environment* 35, 1537–1565, 2001.

[43] Ariztegui, J., Casanova, J., Valdes, M. A structured methodology to calculate traffic emissions inventories for city centres, *Science of the Total Environment*, 334-335, 101-109, 2004.

[44] EMEP-CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2006

[45] European Environment Agency. COPERT 4—Computer programme to calculate emissions from road transport. User’s manual (Version 3.0). November 2006.

[46] <http://www.obitet.gazi.edu.tr/makale/Makaleler/BenzinliMotorlardaEgzozEmisyonu/htm> (Son Erişim 07.07.2008)

[47] 21. Erel, A., (1986), “Alternatif Çözüm: _zli Araçların Hava Kirliliğini Önlemede Etkileri”, İstanbul Karayolu Ulaşımında Hava Kirliliği Sempozyumu, TMMOB Makine Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul.

[48] Çevre ve Orman Bakanlığı, “III. Hava-Atmosfer ve İklim”, <http://www.cedgm.gov.tr/cevreatlasi/hava.pdf>, (Son Erişim 22.05.2008).

EK-1

**BALIKESİR İL MERKEZİNDE TAŞITLARIN
YAKIT TÜKETİM MİKTARLARININ BELİRLENMESİ ANKETİ**

- 1-) Çalıştığınız Kurum:
Mesleğiniz :
- 2-) Aracınızın Türü:
 Otomobil Minibüs Otobüs Kamyon Kamyonet
 Traktör Motosiklet Diğer (belirtiniz).....
- 3-) Aracınızın Silindir Hacmi : cm³(cc)
- 4-) Aracınızın Markası ve Modeli(yılı) :,
- 5-) Aracınızda Kullanılan Yakıt :
 Benzin Motorin LPG Diğer(belirtiniz).....
- 6-) Aracınızın Kullanım Amacı :
 Özel Ticari Resmi Diğer(belirtiniz).....
- 7-) Aracınızın Kattettiği Kilometre(ortalama):
Günde : -Şehir İçi.....km, -Kırsal.....km, - Şehirlerarasıkm
Ayda : -Şehir İçi.....km, -Kırsal.....km, - Şehirlerarasıkm
Yılda: -Şehir İçi.....km, -Kırsal.....km, - Şehirlerarasıkm
- 8-) Aracınızın Yakıt Tüketim Miktarı(ortalama):
Günde: -Şehir İçi.....litre, -Kırsal.....litre, - Şehirlerarasılitre
Ayda : -Şehir İçi.....litre, -Kırsal.....litre, - Şehirlerarasılitre
Yılda: -Şehir İçi.....litre, -Kırsal.....litre, - Şehirlerarasılitre
- 9-) Aracınızın Yakıt Tüketim Bedeli(ortalama):
Günde: -Şehir İçi.....YTL, -Kırsal.....YTL, - ŞehirlerarasıYTL
Ayda : -Şehir İçi.....YTL, -Kırsal.....YTL, - ŞehirlerarasıYTL
Yılda: -Şehir İçi.....YTL, -Kırsal.....YTL, - ŞehirlerarasıYTL
- 10-) Ortalama hız limitiniz:
Şehir İçi :.....km/saat
Kırsal :km/saat
Şehirlerarası:.....km/saat
- 11-) Aracınızın Katalog Yakıt Tüketim Değeri:.....Litre/100 km
- Kırsal: Balıkesir iline bağlı köy ve ilçeler.