

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MARMARA BÖLGESİ' NDEKİ DENİZ VE HAVA TAŞIMACILIĞINDAN
KAYNAKLANAN EMİSYON ENVANTERİNİN OLUŞTURULMASI VE
HAVA KİRLİLİĞİNİN MODELLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Alper KILIÇ

Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Programı

ŞUBAT 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MARMARA BÖLGESİ' NDEKİ DENİZ VE HAVA TAŞIMACILIĞINDAN
KAYNAKLANAN EMİSYON ENVANTERİNİN OLUŞTURULMASI VE
HAVA KİRLİLİĞİNİN MODELLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Alper KILIÇ
(512062008)**

Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Programı

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Serdar KUM
Eş Danışman : Doç. Dr. Alper ÜNAL**

ŞUBAT 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü' nün 512062008 numaralı Doktora Öğrencisi **Alper KILIÇ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**MARMARA BÖLGESİ' NDEKİ DENİZ VE HAVA TAŞIMACILIĞINDAN KAYNAKLANAN EMİSYON ENVANTERİNİN OLUŞTURULMASI VE HAVA KİRLİLİĞİNİN MODELLENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Serdar KUM
İstanbul Teknik Üniversitesi

Eş Danışman : Doç.Dr. Alper ÜNAL
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri :Prof. Dr. Mete TAYANÇ
Marmara Üniversitesi

Prof. Dr. Yücel TAŞDEMİR
Uludağ Üniversitesi

Doç. Dr. Tayfun KINDAP
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Göksel DEMİR
Bahçeşehir Üniversitesi

Doç. Dr. Gökhan İNALHAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 16 Ocak 2014
Savunma Tarihi : 04 Şubat 2014

Aileme ve eşime,

ÖNSÖZ

Marmara Bölgesi, Türkiye' nin en fazla endüstrileşmiş ve en yoğun nüfusa sahip bölgesi olup, hava kirliliği açısından sahra taşınımları gibi doğal kirletici kaynaklarla beraber, çok farklı sektörlerden meydana gelen kirletici kaynaklardan da etkilenmektedir. İnsan kaynaklı kirlilik oluşturan sektörlerin başında evsel ısınma, üretim ve taşımacılık gelmektedir. Bu temel sektörler hava kirliliği açısından Marmara Bölgesi içinde oldukça etkilidir. Özellikle taşımacılık sektörü, gerek kara ve hava gerekse deniz taşımacılığı olmak üzere çok önemli kirlilik kaynaklarıdır.

Bu çalışmada; Marmara Bölgesi' ndeki kirletici kaynakları belirlenmiş, bölgenin meteorolojik koşulları altında kirletici konsantrasyonları tahmin edilmiş ve bölgedeki insan nüfusunun maruz kaldığı kirlilik miktarı tespit edilmiştir.

Danışmanım Doç. Dr. Serdar KUM' a, çalışmanın oluşumunda büyük emeği geçen danışmanım Doç. Dr. Alper ÜNAL' a, desteğini esirgemeyen Doç. Dr. Tayfun KİNDAP ve Dr. Luca POZZOLI' ye, uçaklarla ilgili çalışmalara destek olan Sn. Yiğit Bekir KAYA' ya, gemilere ait verilerin hazırlanmasında yardımcı olan Sn. Cihangir GÜLLÜ' ye, verilerin işlenmesinde yardımcı olan Sn Tolga PEHLİVAN' a, emisyonların maliyetleri konusunda yardımda bulunan Prof. Dr. Ernestos TZANNATOS' a, hava kalitesi konusunda yardımda bulunan Doç. Dr. Tolga ELBİR, bilgi paylaşımında bulunan Kaptan Hakan DEMİRLİOĞLU, Gemi Makineleri İşletme Mühendisi Ersen UÇAKAN ve Kaptan Teoman Çağlar SÜMBELLİ' ye, yardımlarından dolayı Seden BALTACIBAŞI, Fulya ERGÜN ve Burcu KABATAŞ' a ve çalışmalarına büyük destek sağlayan rahmetli hocalarım Sn. Prof. Dr. Demir SİNDEL ve Prof. Dr. Ferruh ERTÜRK' e çok teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2014

Alper KILIÇ
(Gemi Makineleri İşletme Yüksek Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	12
1.2 Literatür Özeti	13
1.3 Hipotez	33
2. MARMARA BÖLGESİ VE HAVA KİRLİLİĞİ.....	37
2. 1 Enerji.....	49
2.1.1Ulaştırma	50
2.1.1.1 Havayolu.....	50
2.1.1.2 Karayolu.....	52
2.1.1.3 Demiryolu.....	53
2.1.1.4 Denizyolu.....	53
2. 2. Endüstriyel İşlemler ve Ürün Kullanımları.....	55
2. 3 Tarım	56
2. 4 Atıklar	56
2. 5 Doğal Kaynaklar	57
2. 6 Marmara Bölgesi Emisyon Envanterindeki Gelişmeler.....	58
2. 6. 1 Denizcilik Faaliyetlerinden Kaynaklanan Hava Kirliliği.....	59
2. 6. 2 Hava Taşımacılığından Kaynaklanan Hava Kirliliği	81
3. HAVA KİRLİLİĞİNİ AZALTMA YÖNTEMLERİ.....	91
4. HAVA KALİTESİNİN MODELLENMESİ.....	105
4. 1 WRF modeli	106
4. 2 CMAQ modeli.....	109
4. 3. Marmara Gemi Emisyonları için WRF Modelinin Uygulanması	112
4. 3. 1 Ndown aşaması	117
4. 3. 2 D01 için real.exe ve wrf.exe' nin çalıştırılması	117
4. 3. 3 D02 için wrf.exe' nin çalıştırılması.....	118
4. 3. 4 Ndown.exe' nin çalıştırılması	119
4. 3. 5 WRF' in çalıştırılması	120
4. 3. 6 Meteorology-Chemistry Interface Processor (MCIP).....	120
4. 4. Marmara Gemi Emisyonları için CMAQ Modelinin Uygulanması.....	124
4. 5. CMAQ Modelinin Sonuçları.....	130
5. HAVA KİRLİLİĞİ MARUZİYET ANALİZLERİ	137
6. SONUÇLAR VE GENEL DEĞERLENDİRMELER	139
KAYNAKLAR	143

EKLER.....	157
-------------------	------------

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği.
AIS	: Automatic Identification System (Otomatik Tanımlama Sistemi).
AMVER	: Automated Mutual-assistance Vessel Rescue System.
BLG	: Bulk Liquid and Gas Committee.
BOB	: Acoustic Bubble Detector.
Bsfc	: Brake specific fuel consumption.
BTE	: Brake Thermal Efficiency.
CLRTAP	: Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.
CMAQ	: Community Multiscale Air Quality.
CMASIE	: Community Modeling Analysis System Institute for Environment.
CO₂	: Carbon dioxide.
CONCEPT	: Consolidated Community Emissions Processing Tool.
CORINAIR	: Core Inventory Air Emissions.
GMH	: Gayrisafı Milli Hasıla.
GDP	: Gross Domestic Product (Gayrisafı Yurtiçi Hasıla).
DEHM	: Danish Eulerian Hemispheric Model.
DNV	: Det Norske Veritas.
DU	: Dobson Unit.
ECA	: Emission Control Area.
EEA	: European Environment Agency.
EIAPP	: Engine International Air Pollution Prevention Certificate.
EMEP	: European Monitoring and Evaluation Programme.
EPA	: Environmental Protection Agency.
EU	: European Union.
Gb	: Giga-byte.
GRT	: Gross Registered Tonnes.
HC	: Hydro Carbon.
HELCOM	: Helsinki Commission.
HFO	: Heavy Fuel Oil (Residual Oil).
IEC	: International Electrotechnical Commission.
IMO	: International Maritime Organization.
ITU	: International Telecommunications Union.
kW	: Kilo-watt.
kWh	: Kilo-watt-hour.
LNG	: Liquified Natural Gas.
LPG	: Liquified Petroleum Gas.
LTO	: Landing and Take-Off.
MARPOL	: Marine Pollution Prevention.
MCR	: Maximum Continuous Rating.
MDO	: Marine Diesel Oil.
MEPC	: Marine Environmental Protection Committee.
MGO	: Marine Gas Oil.
MSC	: Marine Safety Committee.
ME	: Main Engine.

NERL	: National Exposure Research Laboratory.
NO_x	: Nitrogen Oxides.
Mt	: Million Ton.
Nm	: Nautical Miles (Deniz Mili).
NMVOC	: Non Methan Volatile Organic Compound.
OBS	: Ocean Bottom Seismometer.
OECD	: Organisation for Economic Co-Operation and Development.
PJ	: Petajoule (10 ¹⁵ joule).
PM	: Particulate Matter.
ppbv	: part per billion by volume (milyarda hacimsel derişim).
RO	: Residual Oil (HFO).
rpm	: revolution per minute.
SECA	: Sulphur Emission Control Area.
SFC	: Specific Fuel Consumption.
SGP	: Satın alma Gücü Paritesi (Purchasing Power Parity).
SMOKE	: Sparse Matrix Operator Kernel Emissions.
SO_x	: Sulphur Oxides.
TCBDM	: TC Başbakanlık Denizcilik Müsteşarlığı.
TCCOB	: TC Çevre ve Orman Bakanlığı.
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu.
UHC	: Unburned Hydrocarbons.
UNCTAD	: United Nations Conference on Trade and Development.
USCG	: United States Coast Guard.
VOC	: Volatile Organic Compound.
WHO	: World Health Organization.

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1	: Havanın normal bileşimi.	2
Çizelge 1.2	: Emisyonların Sektörel Kaynakları (Kılıç, 2006).	6
Çizelge 1.3	: Emisyon derişimlerinin sınır değerleri (WHO, 2008).	9
Çizelge 1.4	: Geçiş dönemi uzun vadeli sınır değerler ($\mu\text{g} / \text{m}^3$).	10
Çizelge 2.1	: Marmara bölgesi nüfus dağılımı (Url-2).	38
Çizelge 2.2	: Türk Boğazları gemi geçiş istatistikleri (Url-5).	39
Çizelge 2.3	: Hava Kalitesi İndeksi (Url-21).	45
Çizelge 2.4	: İstanbul yıllık emisyon miktarları (t/y) (Elbir, 2010).	47
Çizelge 2.5	: EMEP/Corinair' e göre hava kirliliği kaynakları.	49
Çizelge 2.6	: Gemi işletim türüne göre çalışan makine adet ve yükleri.	64
Çizelge 2.7	: Gemilerin makine güçleri için sınıflandırılması.	66
Çizelge 2.8	: Emisyon faktörleri belirsizlik oranları (Entec, 2002).	67
Çizelge 2.9	: Çalışma bölgesindeki gemi profili.	68
Çizelge 2.10	: Gemi trafik grid verileri.	69
Çizelge 2.11	: Gemi türlerinin yoğun bulundukları bölgeler.	70
Çizelge 2.12	: Gemilerin bölgelerdeki aktivite oranları.	70
Çizelge 2.13	: Gemi türüne göre yıllık toplam emisyonlar (kton).	71
Çizelge 2.14	: EMEP 2008 emisyon envanteri (kton).	73
Çizelge 2.15	: Marmara Bölgesi' nde gemi kaynaklı emisyonlar (kton).	74
Çizelge 2.16	: EEDI referans değer parametreleri (MEPC.203(62)).	77
Çizelge 2.17	: Gemilerin katettiği mesafeler (Deniz mili $\times 10^3$).	78
Çizelge 2.18	: Gemilerin katettiği taşıma kapasiteleri (milyon ton-mil).	78
Çizelge 2.19	: Bulk Carrier ve Tanker gemilerinin CO2 emisyonları (ton/yıl).	79
Çizelge 2.20	: Bulk Carrier ve Tanker gemilerinin EEDI performansları.	79
Çizelge 2.21	: Uçakların ICAO emisyon faktörleri.	82
Çizelge 2.22	: Uçak emisyonlarının sonuçları.	86
Çizelge 2.23	: Uçak emisyonlarının toplam sonuçları (kg).	87
Çizelge 4.1	: TNO ve Marmara yapıları için intersection sonuçları.	125
Çizelge 4.2	: Çalışma Bölgesindeki hava kalitesi ölçüm istasyonları.	134
Çizelge 4.3	: Çalışma Bölgesindeki hava kalitesi ölçüm istasyonları.	135
Çizelge A.1	: Denizcilik faaliyetlerinin çevresel etkileri.	165
Çizelge A.2	: AIS verileri.	166
Çizelge A.3	: Makine güçleri tablosu (Lavender, 2006).	167
Çizelge A.4	: Emisyon sorgusunda kullanılan makine güçleri.	168
Çizelge A.5	: Emisyon sorgusunda kullanılan emisyon faktörleri (g.kWh^{-1})	169
Çizelge A.6	: Toplam emisyonların diğer çalışmalarla karşılaştırması (kton).	169
Çizelge A.7	: Bölge Noktaları.	170
Çizelge A.8	: Bulk carrier gemilerinin ana bölge emisyon toplamaları.	171
Çizelge A.9	: Dry Cargo / Passenger gemilerinin ana bölge emisyon toplamaları.	171
Çizelge A.10	: Fishing gemilerinin ana bölge emisyon toplamaları.	172
Çizelge A.11	: Miscellaneous gemilerinin ana bölge emisyon toplamaları.	172
Çizelge A.12	: Offshore gemilerinin ana bölge emisyon toplamaları.	173

Çizelge A.13 : Tanker gemilerinin ana bölge emisyon toplamaları.	173
Çizelge A.14 : Unknown gemilerinin ana bölge emisyon toplamaları.....	174
Çizelge A.15 : Tüm gemilerinin ana bölge emisyon toplamaları (ton).	175
Çizelge A.16 : NO _x emisyonunun gemi türü ve ana bölgelere göre toplamaları.	176
Çizelge A.17 : NO _x emisyonunun bölgelere dağılımı.	177
Çizelge A.18 : SO ₂ emisyonunun gemi türü ve ana bölgelere göre toplamaları.	178
Çizelge A.19 : CO ₂ emisyonunun gemi türü ve ana bölgelere göre toplamaları.....	178
Çizelge A.20 : HC emisyonunun gemi türü ve ana bölgelere göre toplamaları.	179
Çizelge A.21 : PM emisyonunun gemi türü ve ana bölgelere göre toplamaları.....	179
Çizelge A.22 : FC gemi türü ve ana bölgelere göre toplamaları.	180
Çizelge A.23 : Emisyonların EEDI yöntemi ile doğrulanması.....	181

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	: Gelişmişlik düzeyi ve çevresel performans (Yale University).....	2
Şekil 1.2	: HC ile kalp-damar hastalıkları kaynaklı ölümlerin ilişkisi (WHO).	5
Şekil 1.3	: Emisyonların hava kirliliğine etkileri (UCAR).	7
Şekil 1.4	: Çeşitli emisyonların etkileri (EEA, 2012).	8
Şekil 1.5	: Hava kirliliğine bağlı ölümler (2004 yılı için, WHO).	9
Şekil 1.6	: ABD' de PM _{2.5} ve ozona bağlı ölümler (Fann et al, 2012).	10
Şekil 1.7	: Emisyon Kaynakları (Buhaug, 2009).	14
Şekil 1.8	: CO ₂ emisyonu (Tunç vd., 2009).	15
Şekil 1.9	: Enerji kaynaklarının dağılımı (Tunç vd., 2009).	15
Şekil 1.10	: Türkiye' deki sektörlerin CO ₂ emisyonu (Kumbaroğlu, 2011).	16
Şekil 1.11	: Taşımacılık Sektörünün CO ₂ Verimliliği (Buhaug, 2009).	17
Şekil 1.12	: Atlanta havaalanında take off ve climb modu (Unal vd., 2005).	18
Şekil 1.13	: Uçak emisyonlarının ozon ve PM _{2.5} etkileri (Unal vd., 2005).	18
Şekil 1.14	: ICAO veritabanı uçak emisyonları (Schürmann vd., 2007).	19
Şekil 1.15	: Hindistan araç emisyonları dağılımı (Baidya ve Kleefeld, 2009).	19
Şekil 1.16	: Demiryolu partikül sayısı (Lorenzo vd., 2006).	20
Şekil 1.17	: Demiryolu tüneline partikül madde derişimi (Fridell vd., 2010).	21
Şekil 1.18	: Dünya deniz ticaret trafiği-ICOADS (Buhaug, 2009).	23
Şekil 1.19	: Gemi türüne bağlı CO ₂ emisyon kaynakları (OECD, 2009).	24
Şekil 1.20	: Gemi kaynaklı NO ₂ ve SO ₂ nin % dağılımı (Dalsøren, 2008).	25
Şekil 1.21	: Avrupa sularında kükürtdioksit dağılımı (Entec, 2002).	26
Şekil 1.22	: Baltık Denizi' nde gemi kaynaklı NO _x emisyonları (Stipa, 2007).	27
Şekil 1.23	: Danimarka emisyon miktarı - SO ₂ /km ² (Olesen, 2007).	28
Şekil 1.24	: Danimarka NO _x derişimi - µg / m ³ (Olesen, 2007).	29
Şekil 1.25	: Baltık Denizi' nde gemi emisyonları (SMHI, 2010).	29
Şekil 1.26	: Hint Okyanusu' nda gemi kaynaklı NO ₂ dağılımı (Richter, 2004).	31
Şekil 1.27	: Endüstriyel kazanlarda emisyon faktörleri (Karademir, 2006).	33
Şekil 2.1	: Türkiye endüstri yoğunluğu (TÜİK, 2010).	37
Şekil 2.2	: Marmara bölgesi nüfus oranları (Url-2).	38
Şekil 2.3	: Marmara Bölgesi' ne sahra kumlarının taşınımı (Kındap, 2010).	40
Şekil 2.4	: İzmit Körfezi' nde PAHs konsantrasyonu (Karakoç vd., 2002).	41
Şekil 2.5	: Gemlik Körfezi' nde PAHs konsantrasyonu (Ünlü ve Alpar, 2006).	42
Şekil 2.6	: PAH örneklem noktaları (Taşkın vd., 2011).	43
Şekil 2.7	: İstanbul' daki hava kirliliğinin taşınımı (Kanakidou vd., 2011).	44
Şekil 2.9	: İstanbul PM derişimi (Hava Kalitesi İzleme).	45
Şekil 2.10	: Marmara Bölgesi SO ₂ aylık derişimleri (µg / m ³).	46
Şekil 2.11	: Marmara Bölgesi PM ₁₀ aylık derişimleri (µg / m ³).	46
Şekil 2.12	: İstanbul' daki NO _x emisyonu (Elbir vd., 2010).	47
Şekil 2.13	: EMEP grid sistemi (EMEP).	48
Şekil 2.14	: LTO cycle (Kesgin, 2006).	50
Şekil 2.15	: Uçaklardan meydana gelen HC emisyonu (Evirgen vd., 2012).	51

Şekil 2.16 : Yüksekliğe bağlı uçak emisyonları (Evirgen vd., 2012).	52
Şekil 2.17 : İstanbul' daki araçların ortalama hızları (Unal vd., 2006).	52
Şekil 2.18 : İstanbul' daki araç dağılımı (Emniyet Genel Müdürlüğü, 2006).	53
Şekil 2.19 : İzmit Körfezi NO _x emisyon miktarı (Kılıç, 2010 a).	54
Şekil 2.20 : Endüstriyel tesislerin oluşturduğu NO ₂ derişimi (Karademir, 2006).	55
Şekil 2.21 : Biyogenik NMVOCs nin ozon derişimine etkileri (İm vd., 2008).	56
Şekil 2.22 : Marmara Denizi' nde akustik anomali (Géli, 2008).	57
Şekil 2.23 : Marmara Denizi' nde hidrat gaz örnekleme (Bourry, 2009).	58
Şekil 2.24 : Çalışma Bölgesi.	61
Şekil 2.25 : Gemi emisyonlarının hesaplanma yöntemi.	62
Şekil 2.26 : Gemi emisyonları hesaplamalarının akış şeması.	62
Şekil 2.27 : HIS Fairplay veritabanındaki gemi türleri (Lloyd's Register).	65
Şekil 2.28 : AIS verilerine göre Türk Boğazları' ndan geçiş sayıları.	71
Şekil 2.29 : AIS verilerine göre gemi kaynaklı yıllık toplam NO _x emisyonu.	72
Şekil 2.30 : AIS ve MACCity yıllık toplam NO _x emisyonu karşılaştırması.	74
Şekil 2.31 : Yalova PM10 ve İzmit Körfezi PM emisyonu (Ekim 2008).	75
Şekil 2.32 : Aylık toplam SO ₂ emisyonları.	76
Şekil 2.33 : Aylık NO _x emisyonları ile Türk Boğazları gemi geçiş sayıları.	76
Şekil 2.34 : Bulk Carrier ve Tanker gemilerinin EEDI değerleri.	80
Şekil 2.35 : JSON formatındaki uçak emisyon faktörleri.	82
Şekil 2.36 : Bir uçağın uçuş modları.	86
Şekil 2.37 : Çalışma bölgesinden geçen uçuşlar.	87
Şekil 2.38 : Çalışma bölgesinden geçen uçuşlar.	88
Şekil 2.39 : ECCAD veri kataloğu.	88
Şekil 3.1 : Biyokütle enerjisi üretim yöntemleri (Url-31).	95
Şekil 3.2 : Gemi yakıtlarının kükürt içeriği.	97
Şekil 4.1 : Emisyonların hava kalitesine etkilerini belirleme yöntemi.	106
Şekil 4.2 : WRF model sistemi (Url-28).	107
Şekil 4.3 : Tek girdi dosyası ile iki yollu ve nested WRF sistemi (Url-28).	108
Şekil 4.4 : Marmara Denizi' ndeki taşınımlar [Url-26].	113
Şekil 4.5 : REF_EU_30, REF_EU_10 ve Marmara AIS domain sistemleri.	113
Şekil 4.6 : Farklı grid sistemleri arasındaki intersection uygulaması.	115
Şekil 4.7 : Modeller için kullanılan domain sistemi.	116
Şekil 4.8 : WRF modeli genel yapısı (Url-28).	116
Şekil 4.9 : WRF ndown model yapısı.	117
Şekil 4.10 : Balıkesir İstasyonu ile WRF sıcaklık tahmin sonuçları.	123
Şekil 4.11 : TNO ve AIS verileri için intersection sonuçları.	124
Şekil 4.12 : TNO Sector 8 emisyon verileri.	125
Şekil 4.13 : TNO Sector 8 emisyon verileri (gemiler hariç).	126
Şekil 4.14 : TNO tüm sektörlerden kaynaklanan emisyon verileri.	126
Şekil 4.15 : TNO tüm sektörler & AIS emisyon verileri.	127
Şekil 4.16 : TNO Sector 8 emisyon verileri.	127
Şekil 4.17 : TNO Sector 8 & AIS 2000 yılı öncesi emisyon verileri (S=%2.7).	128
Şekil 4.18 : TNO Sector 8 & AIS 2000 yılı emisyon verileri (S=%1.5).	128
Şekil 4.19 : TNO Sector 8 & AIS 2010 yılı emisyon verileri (S=%1.0).	129
Şekil 4.20 : TNO Sector 8 & AIS 2015 yılı emisyon verileri (S=%0.1).	129
Şekil 4.21 : TNO tüm sektörler & AIS emisyon verileri.	130
Şekil 4.22 : TNO ve AIS verileri için CMAQ NO ₂ sonuçları.	130
Şekil 4.23 : TNO ve AIS verileri için CMAQ SO ₂ sonuçları.	131
Şekil 4.24 : Gemi emisyonlarının PM _{2.5} konsantrasyonuna etkileri.	131

Şekil 4.25 : Meteorolojik şartların PM2.5 dağılımına etkileri.....	132
Şekil 4.26 : Gemilerin PM2.5 konsantrasyonuna etkileri.....	132
Şekil 4.27 : ECA kükürt oranlarına göre senaryo analizleri.....	133
Şekil 5.1 : ECA' nın PM2.5 üzerindeki etkisi ve nüfus yoğunluğu.....	138
Şekil 5.2 : ECA ile PM2.5 konsantrasyon azaltımının sağlık etkileri.....	138
Şekil A.1 : Gemi trafik yoğunluğu – Tüm gemiler.....	159
Şekil A.2 : Gemi trafik yoğunluğu – Bulk Carriers.....	159
Şekil A.3 : Gemi trafik yoğunluğu – Dry Cargo / Passenger.....	160
Şekil A.4 : Gemi trafik yoğunluğu– Fishing.....	160
Şekil A.5 : Gemi trafik yoğunluğu– Miscellaneous.....	161
Şekil A.6 : Gemi trafik yoğunluğu – Non-Merchant Ships.....	161
Şekil A.7 : Gemi trafik yoğunluğu – Non-Propelled Ships.....	162
Şekil A.8 : Gemi trafik yoğunluğu – Non-Ship Structures.....	162
Şekil A.9 : Gemi trafik yoğunluğu – Offshore.....	163
Şekil A.10 : Gemi trafik yoğunluğu – Tankers.....	163
Şekil A.11 : Gemi trafik yoğunluğu – Unknown.....	164

MARMARA BÖLGESİ' NDEKİ DENİZ VE HAVA TAŞIMACILIĞINDAN KAYNAKLANAN EMİSYON ENVANTERİNİN OLUŞTURULMASI VE HAVA KİRLİLİĞİNİN MODELLENMESİ

ÖZET

Günümüzde insan kaynaklı hava kirliliği önemli ölçüde artış göstermiştir. Marmara Bölgesi, Türkiye' nin en fazla endüstrileşmiş ve en yoğun nüfusa sahip bölgesi olup, diğer tüm çevresel kirliliklerin yanısıra, hava kirliliği açısından sahra taşınımları gibi doğal kirleticilerle beraber, değişik sektörlerden gelen kirleticilerle etkilenmektedir.

İnsan kaynaklı kirlilik oluşturan sektörlerin başında evsel ısınma, üretim ve taşımacılık gelmektedir. Bu temel sektörler hava kirliliği açısından Marmara Bölgesi içinde oldukça etkilidir. Özellikle taşımacılık sektörü, gerek kara, gerek hava gerekse deniz taşımacılığı olmak üzere çok önemli kirlilik kaynaklarıdır. Marmara Bölgesi içinde bulunan Marmara Denizi ve Türk Boğazları, uğraklı ve uğraksız geçiş yapan ticaret gemileri ile iç sefer yapan yolcu gemilerinin oluşturduğu yoğun bir deniz trafiğine sahiptir. Ayrıca bölgede önemli ölçüde havayolu taşımacılığı yapılmaktadır.

Bu çalışmada; Marmara Bölgesi' ndeki kirleticilerle kaynakları yüksek çözünürlüklü olarak belirlenmiş, bölgenin meteorolojik koşulları altında kirleticilerle konsantrasyonları tahmin edilmiş, bölgedeki insan nüfusunun maruz kaldığı emisyonlar belirlenmiş ve kirleticilerle kaynaklardaki azaltımların bu maruziyet miktarlarına etkileri araştırılmıştır.

Çalışma bölgesi için yapılmış küresel ve bölgesel ölçekli emisyon envanterleri ile bu çalışmada yapılan yüksek çözünürlüklü hesaplamalar karşılaştırıldıklarında, bu çalışmanın daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Daha önce yapılmış olan envanter çalışmaları, deniz ve hava taşıtlarının aktiviteleri ile karşılaştırıldığında, kirleticilerle emisyonlarla ilgili olması gerekenden çok düşük varsayımlarda bulundukları tespit edilmiştir. Önceki envanter çalışmalarının sadece miktar olarak değil, aynı zamanda alansal dağılım olarak ta gerçeği yansıtmadığı belirlenmiştir.

Deniz ve hava taşıtlarının gerçek aktivite verisi sayesinde, yeni envanter çalışmasından elde edilen emisyon verileri CMAQ hava kalitesi modelinde değerlendirilmiş ve modelin ölçüm verileriyle doğrulanması sonrasında, yeni envanterin hava kalitesi model sonuçlarını da önemli ölçüde iyileştirdiği anlaşılmıştır.

Yapılan yüksek çözünürlüklü hesaplamalarla, bu bölgede yapılmış ulusal ve uluslararası envanter çalışmalarından daha doğru sonuçlar elde edilmiştir. Yaptığımız çalışmaya göre, bazı kirleticilerin en önemli kaynağının deniz taşımacılığı olduğu tespit edilmiştir. Gemi emisyonlarını kontrol altına almadan diğer sektörlerde yapılacak kontrollerin anlamsız olacağı, dolayısıyla bu çalışmanın, Marmara Denizi ve Türk Boğazları' nın Emisyon Kontrol Alanı (ECA) olarak ilan edilmesi için bilimsel bir dayanak olacağı düşünülmektedir.

CREATION AN EMISSION INVENTORY FROM MARITIME AND AIRLINE TRANSPORTATION IN MARMARA REGION AND MODELING OF AIR POLLUTION

SUMMARY

Today, antropogenic air pollution has increased significantly. Marmara Region of Turkey is the most industrialized and most densely populated region. In terms of air pollution, the region is affected from different pollution sources such as natural sources like saharan dust or different sectors.

The main antropogenic pollution sectors are domestic heating, production and transportation. These sectors are highly effective in the Marmara Region. Particularly transport sector is a very important source of pollution. According to our study, the most important source of some of the key pollutants have been found to be the maritime transportation. The main reason of this, the vast majority of the world merchant are transported by ships that equipped with high-powered machines and the use of poorly refined heavy fuels on marine engines.

Ships are equipped with AIS devices which send static and dynamic information of the ships to AIS stations every 20 seconds. Ship records are gathered from 25 number of AIS stations located on the shores of Turkiye which is more than 8000 km.

All ships involved in international trade greater than 300 grt and kabotage vessels greater than 500 grt must carry AIS device. Every passenger ships must be equipped with the device regardless of their tonnages. Actually the system is built for safety reasons, search and rescue of casualties, illegal migrations and other maritime violations, but it is possible to use this ship tracking system to estimate shipping emissions.

AIS data for this study have about 3.6 billions of ship records in about 800 gbytes of database files. The raw data includes the names of ships, ship types, gross tonnages, ships positions as latitudes and longitudes and the time data of each records. The ship types identified in AIS data are summarized.

AIS data ship types comply with the Fairplay' s Level II ship classification. For calculation purpose, four main ship types are defined: bulk carriers, dry cargo/passenger, tankers and others (e.g. fishing vessels, miscellaneous ships, non-merchant ships, non-propelled vessels, non-ship structures, offshore vessels and unknown ship types).

Nautical mileages (Nm) and trade volumes for each ship types are given in percentage. In total, all ships covered 518 million miles (Nm) distance and marine trade volume measured in ton-miles is estimated as 4.93 trillion grt-miles.

Bulk carriers and tankers show the largest average grt, but they represent only 3% and 6% of the marine trade volume, and 1% and 2% of Nm in the region.

Dry cargo and passenger ships represent 32% of total number of ships in the region, 8% and 7% in terms of Nm and trade volume, respectively. Other ships which mainly consist of domestic fishing ships and unknown ship types, represent the largest fraction in terms of number (42%), Nm (89%) and trade volume (84%), but due to the high ship type heterogeneity, the grt informations for these ships are not available.

In this study, the shipping emissions in the Turkish sea traffic is currently based on AIS activity data, considering ships engine powers and emission factors from Lavender (2002) and The European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP, 2002) guidebooks.

The raw AIS data were filtered for the study region. Ship records were sorted according to the ship names, to be able to detect every movement of each ship. The ships movements permit to identify the number of individual ships passing through the straits, as well as the instant speed and operation modes.

Ships operate in three different operation modes which are generally named as: cruising, maneuvering and hotelling. On cruising mode the ships sail between ports on open sea at full service speed. Maneuvering includes the most critical operations which covers leaving from or arriving to a port, shipyard or anchorage area and sailing through narrow channels. Hotelling corresponds to the period of berthing time of ships for loading and unloading of ships at port or mooring at anchorage area.

Ship emissions occur from the main engines, for propulsion, and a set of auxiliary engines, for electric power. In cruising mode the main engine works at Maximum Continuous Rating (MCR) and generally one of the auxiliary engines runs. In maneuvering mode the main engine works at low rate and two synchronized auxiliary engines are in service. In hotelling only one of auxiliary engines is running.

Since the AIS data has position information as latitude and longitude, by using sequential records of each ship in AIS data, the instant speed of ships are attained so as to determine the operation mode of the ships.

The load factors of the engines, ME and AE, and the number of active engines (AE) for each operation mode are listed in Table 2. These load factors are slightly different from Entec (2002) since the ships require half speed ahead in maneuvering modes in most regions inside the domain. To save fuel, ships usually sail at 80-85% of MCR in cruising mode. To prevent black outs which may cause shutdown of the main engine, in maneuvering mode two synchronized AEs are commonly used. Running the engines below these % loads, may damage the engines in the long term, due to insufficiently burning of fuels in engine cylinders.

Ship types play important role to determine the engine power depending on the ships grt. Besides, emission factors change in accordance with the ship types and the operation modes. Ships main and auxiliary engine powers at full load are indicated. These values are derived from Lavender's engine power estimations depending on the ship types. Engine powers of other ship type is the average of all ship types.

The Entec UK Limited emission factors for the year of 2000 were modified to obtain proper factors for more generalized ship types of AIS data (Entec, 2005). The emission factors are based on the global average sulfur content of 2.7% for RO (Residual Oil) and 0.2% for MD (Marine Distillates).

International Maritime Organization (IMO) regulates the sulfur contents of marine fuels, with differences between the Emission Control Areas (ECA) and rest of other seas. IMO has agreed to reduce the maximum allowable sulfur content of fuels from 4.5% to 3.5% in non-ECA seas after 2012.

Since AIS data covers both domestic and international shipping activities, additional research is carried out to determine the role of transit ships on emission burden in the study area. Based on AIS data of this study, for both to north and south directions, total number of ship passing in Istanbul Strait is 47,137 where in Canakkale Strait it is 47,021 between 19 August 2008 and 18 August 2009. Difference between the ship passing statistics of Ministry of Transportation, Maritime and Communication (MTMAC) and AIS data may be resulted from small ships not having AIS devices.

Number of transit ships in derived from AIS data are compared to statistics from MTMAC. It should be noted that, not every ship had an AIS transponder device in the time-period of this study, for example domestic passenger lines sailing across the straits.

About two third of ships are transit, which means they only cause pollutions without making any sea trade with the ports in the region. In a whole year period, transit ships constitute 69.6% of all ships passing through the Istanbul Strait and 69.8% of all ships for the Canakkale Strait.

Marmara Region also have Marmara Sea and the Turkish Straits that there are dense transit and non-transit maritime traffic on these waters. Also there is significant air transportation in the region.

High-resolution calculations provided more accurate results than national and international studies which were previously carried out. According to our study, maritime transportation is the most important source by means of air pollution. This study is considered to be a scientific basis for suggestion of Marmara Sea and the Turkish Straits as Emission Control Area (ECA).

1. GİRİŞ

Günümüzde dünya yeni bir jeolojik çağa sahne olmaktadır. Bu çağa İnsan Çağı anlamına gelen "Antroposen" adı verilmektedir. Bu çağda, artan nüfus ile birlikte şehirleşme ve sanayileşme artmakta, ormanlar ve doğal bitki örtüsü yok edilmekte, küresel ısınmayla birlikte okyanusların sıcaklıkları artmakta, bitki ve hayvan türleri azalmaktadır. Türkiye, önemli derecede biyolojik çeşitliliğine sahip bir ülke olmasına rağmen, yanlış uygulamalar sonucu bu çeşitlilik tehdit altında olup, biyolojik çeşitliliğinin korunması konusunda 163 ülke arasında 140. sırada yer almaktadır (Şekercioğlu vd., 2011).

İnsan kaynaklı emisyonlar önemli hava kirliliğine yol açmakta, çevre ve insan sağlığı üzerinde tehlikeli boyutlarda olumsuz etkiler meydana getirmektedir. Kirletici madde, havanın doğal bileşimini bozan ve aynı zamanda çevre ve sağlık açısından olumsuz etkileri olan kimyasal maddelerdir.

Eski zamanlarda hava kirliliğinin etkileri bilinmediğinden bir bilim olarak ele alınmamış sadece bu konuda bazı kısıtlama ve kurallar getirilmiştir. Hava kirliliği konusu eski Yunan şehirleri ve Roma dönemine kadar uzanır. Roma döneminde yakılan odunların binaları kararttığından sözedilmektedir. Diğer bir hava kirliliği kaynağı olarak, para basmak amacıyla Roma çağında Akdeniz kıyılarında bakırın eritilmesi neticesinde havadaki bakır konsantrasyonlarının artmasına sebep olmuştur. 1228 yılından itibaren İngiltere’deki demir ocakları ve kireç ocaklarında odun yerine yeni keşfedilen deniz kömürünün kullanılmasıyla ciddi hava kirliliği meydana gelmiştir.

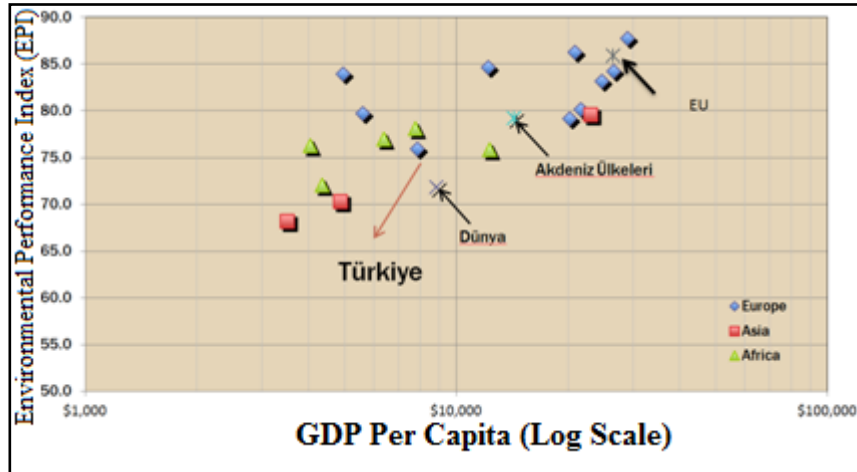
Dünya çapındaki hava kirliliği çalışmaları, atmosferik inversiyon ve toporafik yapının etkisiyle oluşan çok yüksek PM emisyon konsantrasyonlarının 1934’te Belçika’da Meuse Vadisinde, 1947’de ABD’de Donora’da ve 1952’de Londra’da bir aydan kısa sürede binlerce kişinin ölümüne sebep olmasıyla başlamıştır. Bunun sonucunda ilk defa Londra’da emisyon kontrolü amacıyla kömür kullanımına kısıtlamalar getirilmiştir (Jacobson, 2002).

PM ve SO₂ ile ilgili ilk radikal karar 1272 yılında Londra’ da Kral Edward tarafından kömür yakılmasının yasaklanması olmuştur (Jakobson, 2002). Hava kalitesinin değerlendirilebilmesi için havanın normal bileşiminin bilinmesi gerekmektedir. Çizelge 1.1’ de, havanın içindeki kimyasalların derişimleri gösterilmektedir.

Çizelge 1.1 : Havanın normal bileşimi.

Kimyasal	Konsantrasyon (ppm)	Kimyasal	Konsantrasyon (ppm)
Azot	780,900	Metan	2.3
Oksijen	209,400	Kripton	0.5
Argon	9,300	Hidrojen	0.5
Karbon dioksit	315	Xenon	0.08
Neon	18	Azot dioksit	0.02
Helyum	5.2	Ozon	0.01 - 0.04

Dünya genelinde son yıllarda yaşanan hızlı sanayileşme, nüfus artışı, kentleşme ve yaşam düzeyinin yükselmesi gibi etkenler önemli oranda çevre kirliliğine yol açmıştır. Gelişmiş ülkelerin çevresel performansının da gelişme oranları ile paralellik göstermektedir (Şekil 1.1). Bu durumun sebeplerinden birinin de, gelişmiş ülkelerin üretimlerinin Asya ve Uzakdoğu bölgelerine kaymasıdır. Günümüzde hava kirliliği ekonomik büyümeye paralel olarak Güneydoğu Asya ülkelerinde tehlikeli boyutlara ulaşmaktadır (Bayram, 2006).



Şekil 1.1 : Gelişmişlik düzeyi ve çevresel performans (Yale University).

Türkiye’ de doğal gaz kullanımına geçilmesiyle birlikte, evsel ısınma kaynaklı emisyonlarda azalma görülmüş, taşımacılık ve trafik kaynaklı emisyonlar önem kazanmıştır.

Hava kirliliğine sebep olan her bir kirleticisi çok farklı mekanizmalar ve şartlarda oluşmaktadır. Hava kirliliği kaynakları doğal ve insan kaynaklı olmak üzere iki çeşittir. Doğal emisyonlar; NMVOC, CO ve NO gibi kirleticilerin büyük bölümünü oluşturmaktadır. Doğal emisyon kaynakları; volkanlar, topraktaki mikroplar, bitki örtüsü, biyokütle yakılması ve yıldırımlardır.

Doğal kaynaklar; yangınlar (karbonmonoksit (CO)), volkanlar (kül, asit buharı, kükürtdioksit (SO₂), toksikler), deniz suyu (sea spray) ve bitki örtüsünün bozunması (reaktif sülfür bileşenleri), ağaçlar, çalılar vb. (uçucu organik bileşikler (VOC) (terpenler ve isoprenler), polenler, sporlar, virüsler, bakteriler (Alerji ve hava yoluyla taşınan enfeksiyonlar), kurak bölgelerdeki fırtınalar ile toz bulutları ve toz taşınımı, hayvanlar (CH₄), yıldırım (Azotoksitler (NO_x)) sayılabilir. Bitki örtüsü, dünyadaki yıllık toplam NMVOC emisyonunun %98' ini meydana getirmektedir.

İnsan kaynaklı (antropojenik) kaynaklar ise genel olarak termik santraller (SO₂), ulaşım (NO_x, CO), endüstriyel prosesler (kurşun (Pb), partikül madde (PM), NO_x, SO₂), evsel ve endüstriyel yakıt kullanımı (SO₂, PM) ve solvent kullanımı (VOC) olarak sıralanabilir.

Dizel motorlarının egzozlarından 450 farklı kimyasal madde oluşmakta, bunların 40 tanesi de zehirli gazlar sınıfına girmektedir (NRDC, 2004). Dizel motorlarındaki kükürtün oksijenle yanması sonucu SO₂ ve SO₃ oluşmakta, bunların her ikisine birden SO_x emisyonu adı verilmektedir. Meydana gelen SO_x' in sadece %3-5' ini SO₃ oluşturmaktadır (Url-24).

Azot oksitlerin (NO_x) en yaygın olanları azot dioksit (NO₂) ve azot monoksit (NO) tir. Her iki gaz da reaktif ve koroziftir. Yakıtların yanmasından, kaynaktan ve sigaradan meydana gelmektedir. Dizel motorlarında NO_x oluşumu azotoksit (NO) oluşumuyla başlar ve egzoz boyunca %5 ve %1' i sırasıyla NO₂ ve N₂O' ya dönüşür. Bu işlem atmosferde de devam eder. NO₂, NO' nun aksine suda çözünme özelliğine sahip olduğundan suda asitlenme etkisi gösterir (Man & BW). N₂O' nun da küresel ısınma etkisi bulunmaktadır (Externe, 2005).

NO₂; göz, burun ve boğazda tahrişlere, akciğer fonksiyonlarında bozulmalara, küçük çocuklarda solunum enfeksiyonlarına neden olmaktadır. Yüksek dozlarda akciğerde ödem meydana getirir.

Yüksek dozda uzun süreli maruz kalındığında akut ve kronik bronşit meydana getirir. Düşük dozdaki uzun süreli maruziyetlerde ise akciğer fonksiyonlarında azalmalara sebep olmaktadır.

VOC ve güneş ışığı ile yer seviyesinde ozon oluşumuna neden olmaktadır. Ötrofikasyon ve asit yağmurları da diğer çevresel zararlarıdır (Url-19). Azotdioksit konsantrasyonuna uzun süreli maruz çocuklarda bronşit ve astım meydana gelmektedir. Zehirli bir gaz olan azotdioksit derişimi 200' ün üzerine çıktığında solunum yollarında ciddi tahrişler meydana gelir. Kuzey Amerika ve Avrupa şehirlerindeki akciğer fonksiyonu bozuklukları azotdioksit ile bağlantılıdır. Daha önce 125 olan kükürtdioksit günlük ortalama sınır değerinin 20' ye indirilmesinin sebebi kükürtdioksitin daha önce inanıldığının aksine çok düşük konsantrasyonlarda bile sağlık üzerinde zararlı etkilerinin bulunmasıdır (WHO, 2008).

Kükürtdioksit (SO₂), kükürtoksitlerin (SO_x) reaktif bir üyesidir. Çok büyük oranda enerji üretiminden meydana gelmekte, diğer kaynakları ise fosil yakıt tüketimi, endüstri, araçlar, atıkların yokedilmesi, volkanik patlamalar vb. olmaktadır. Yakıtın içindeki kükürt oranı ile meydana gelen SO_x emisyonu arasında doğrudan bir ilişki vardır. Kısa dönemli maruz kalındığında bronşit ve astım belirtileri görülmektedir (Url-19). Kükürtoksitler sağlığı daha fazla tehdit eden sülfat partiküllerinin oluşmasına da sebep olmaktadır. Bu partiküller akciğerlere ulaşp anfizem, kalp rahatsızlıkları, bronşit ve erken ölümlere neden olmaktadır. Çevre üzerinde asitlenme ve binalarda tahribata neden olmaktadır (Url-19).

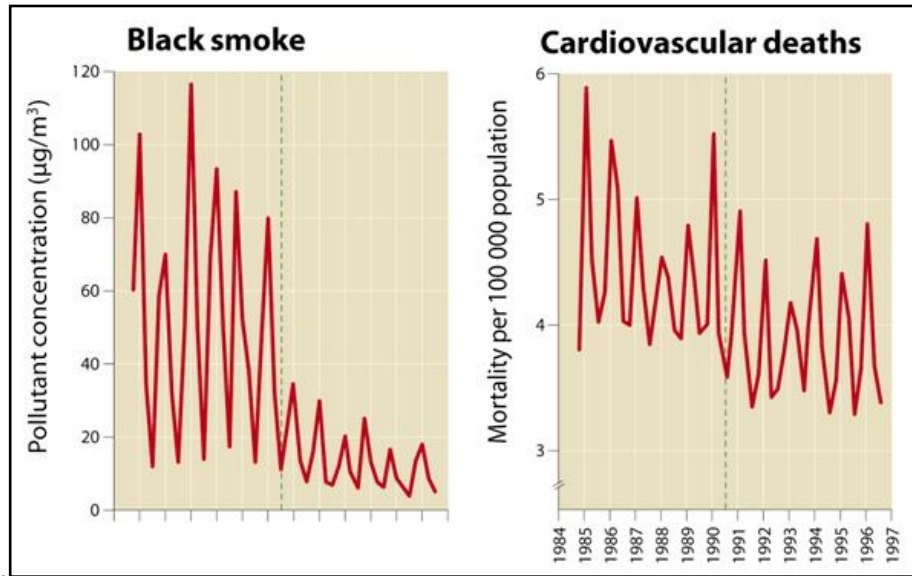
Karbonmonoksit (CO), yakıtın eksik yanmasından kaynaklanan, renksiz, kokusuz ve zehirli bir gazdır. Başağrısı, halsizlik, yönelim bozukluğu, yorgunluk, mide bulantısı gibi belirtiler göstermektedir. Düşük derişimlerde sağlıklı kişilerde yorgunluk, kalp hastalarında ise göğüs ağrılarına neden olmaktadır. Yüksek deşimlerde ölümcüldür (Url-19).

Küresel ısınmaya neden olan diğer gazlar, metan (CH₄), azotoksit (N₂O), hidroflorokarbonlar (HFCs), perflorokarbonlar (PFCs) ve kükürthekezaflorid (SF₆) olarak bilinmektedir. CO₂, küresel ısınma etkisi olan gazların %80' ini oluşturmaktadır. Diğer gazlar ise CO₂ eşdeğerliğine çevrilmektedir (Ozen ve Yaman, 2013).

Uçucu organik bileşikler (VOCs) katı ve sıvılardan yayılırlar ve sağlık üzerinde uzun ve kısa dönemli etkilere sahiptirler. Göz, burun, boğaz tahrişatı, baş ağrısı, koordinasyon eksikliği, deride alerji, mide bulantısı, yorgunluk, karaciğer, böbrek ve merkezi sinir sisteminde tahribatlara neden olmaktadır. Bazı türleri hayvanlarda kanserlere neden olmakta, bazılarının da insanlardaki kanserlere neden olduğundan şüphelenilmektedir (Url-19).

Yer seviyesinde ozon (O_3), motor ve endüstri yayılımlarından, benzin buharı, kimyasal solventler ve doğal kaynaklardan kaynaklanan azotoksitler ve VOC' lerin güneş ışığı ile tepkimesinden meydana gelmektedir. Ozon, solunması durumunda göğüs ağrısı, öksürük, boğaz tahrişi ve tıkanıklığı, akciğer fonksiyonlarında azalma, astım ve bronşite neden olmaktadır. Çevre üzerinde ise; bitkilerin besin üretme ve depolama kabiliyetlerinde azalmalara ve böcek, diğer kirleticiler ve kötü hava koşullarına dayanımlarının azalmasına, yapraklarda tahribata, bitkilerin büyüme hızlarında azalmalara neden olmaktadır (Url-19).

Hidrokarbonlar (HC) motorlarda yakıtın yetersiz yanmasından ve yakıt buharından meydana gelmektedir. Hidrokarbonların bazı grupları zehirli sınıfta olup kanserojendir (Url-19). Dünya Sağlık Örgütü' nden Dr. Michal Krzyzanowski, hidrokarbon emisyonu ile kalp-damar hastalıkları kaynaklı ölümler arasındaki ilişkiyi tespit etmiştir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 : HC ile kalp-damar hastalıkları kaynaklı ölümlerin ilişkisi (WHO).

Partiküler maddeler (PM), küçük parçacıklar ve sıvı damlacıklarının meydana getirdiği karmaşık birleşiminden oluşmaktadır. Sülfat ve nitrat asitleri, organik kimyasallar, metaller, toprak ve toz parçacıkları ihtiva eder. Partiküler maddeler 2.5 ve 10 mikronluk çaplara göre sınıflandırılmaktadır. 10 mikronun altındaki çaplarda solunumla akciğerlere ve kan dolaşımına ulaşabilir, kalp ve solunum yollarında ciddi etkiler meydana getirmektedir.

2.5 mikron ve altındaki partiküller genellikle orman yangınları, enerji tesisleri, endüstri ve taşıt motorlarından meydana gelmektedir. Görüş mesafesinin düşmesinin en önemli sebebidir. Partiküller rüzgarla uzun mesafelere taşınabilir. Orman ve tarımsal alanlarda tahribatlara, asitlenmeye, toprak ve kıyı bölgelerinin besin zincirinde bozulmalara neden olur. Materyallere, kültürel mirasa zarar vermektedir (Url-19).

Çizelge 1.2' de, farklı sektörlerde meydana gelen temel emisyon türleri gösterilmektedir.

Çizelge 1.2 : Emisyonların Sektörel Kaynakları (Kılıç, 2006).

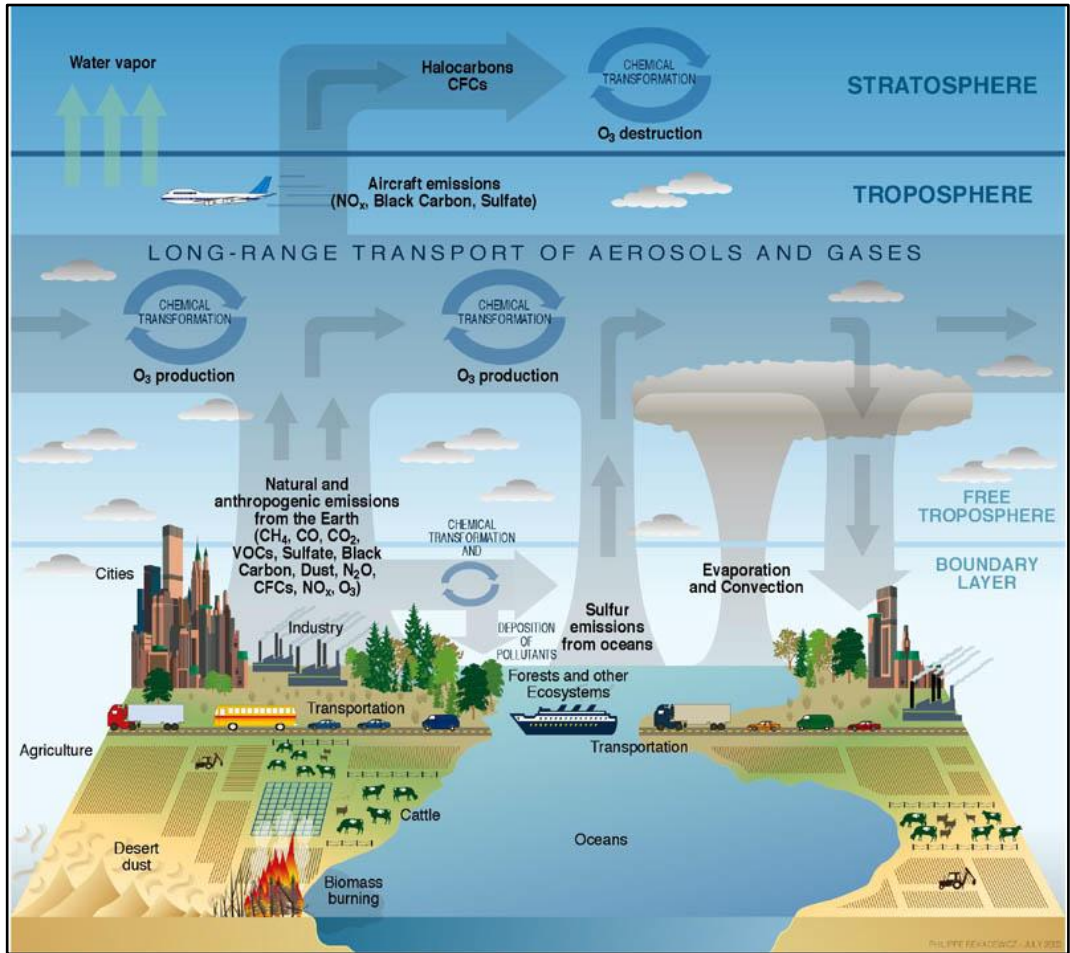
	NH3	SO2	NOx	Ağır metaller	VOC	Halojen	POP	PM	CO2	CO	Metan
Enerji Üretimi		*	*	*		*		*	*	*	
Çimento Üretimi		*	*					*			
Seramik Üretimi		*				*		*			
Atıkların Yakılması		*	*								*
Rafineriler		*	*		*						
Demir-Metal Üretimi		*	*	*		*	*	*			
Gübre Üretimi	*		*					*			
Taşımacılık	*	*	*	*	*		*	*	*	*	
Tarım (Çiftlik)	*							*			*

Taşımacılık sektörü, önemli kirletici maddelerin hemen hemen tamamının meydana gelmesine yol açan bir sektördür. Bütün sektörlerde emisyonların tamamı küçük miktarlarda da olsa oluşmaktadır.

Ancak, her sektör tabloda işaretli olan kirleticilerin oluşumundan büyük oranda sorumludur. Taşımacılık sektöründen az da olsa halojen ve metan emisyonları da meydana gelmektedir.

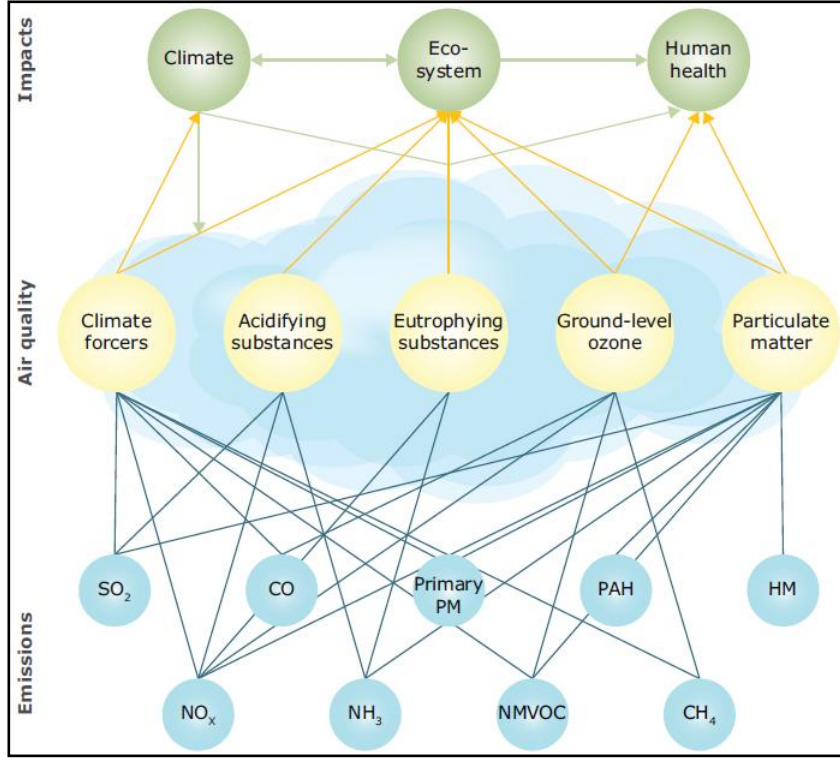
Emisyonlar oluştuktan sonra mevcut atmosfer koşullarında yayılmakta, kimyasal reaksiyonlara girmekte, ikincil maddeler meydana getirmektedir. Meydana gelen derişim ve birikimlere insan, çevre ve materyaller maruz kalmakta, bu karşılaşma sonucu bir takım zararlı etkiler meydana gelmektedir. Kaynaklarında çıkan kirleticiler yayıldıktan sonra, çok uzak mesafelere atmosfer koşulları altında taşınabilmektedir.

Şekil 1.3' te, University Corporation for Atmospheric Research (UCAR) tarafından hazırlanmış olan farklı sektörlerden meydana gelen farklı emisyonların atmosfer koşullarında meydana getirdikleri ikincil kirleticiler ve bu kirletici maddelerin atmosferde dağılımları gösterilmektedir.



Şekil 1.3 : Emisyonların hava kirliliğine etkileri (UCAR).

Meydana gelen emisyonlar atmosferde ikincil kirleticiler de meydana getirmekte ve hava kalitesinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Önemli kirletici emisyonların etkileri Şekil 1.4' te gösterilmektedir (EEA, 2012).



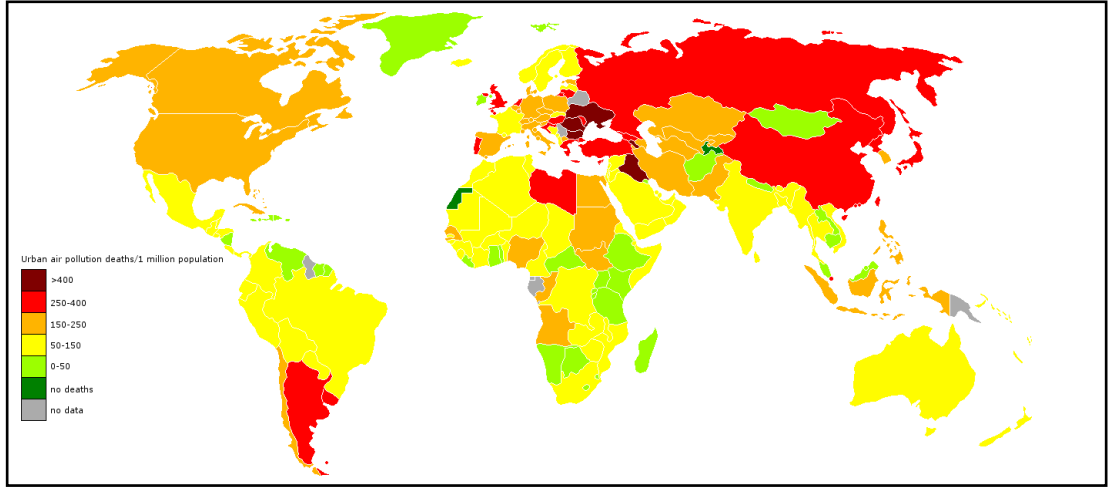
Şekil 1.4 : Çeşitli emisyonların etkileri (EEA, 2012).

Hava kirliliği konusu ile ilgili olarak çalışan ve kuralları belirleyen önemli kuruluşlar bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi hava kirliliği ile ilgili epidemik çalışmalarda bulunan ve Birleşmiş Milletler' in kuruluşu olan Dünya Sağlık Örgütü (WHO)' dür.

Dünya çapında sivil havacılığın gelişimini sağlamak üzere, Birleşmiş Milletlerin sivil havacılık kurumu olan The International Civil Aviation Organization (ICAO), 1944 yılında kurulmuş olup, sivil havacılık ile ilgili emniyet, güvenlik, verimlilik ve çevrenin korunmasıyla ilgili kuralları belirlemektedir.

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), Birleşmiş Milletler' in denizciliğin emniyetli ve etkin bir şekilde yapılması ve gemilerden kaynaklanan çevre kirliliğinin önlenmesi için çalışan bir kuruluştur. Çizelge A.1' de gemilerin çevresel etkileri gösterilmektedir. IMO tarafından çıkarılan Marine Pollution Prevention (MARPOL) Sözleşmesi' nin Ek VI' sı, gemilerden kaynaklanan hava kirliliği ile ilgili kuralları belirlemektedir.

Temiz hava insanın refah seviyesi için belirlenen temel gerekliliklerden biri olmasına rağmen, hava kirliliği gelişmiş ülkelerde bile başlıca sağlık risklerinden biri olmaya devam etmektedir. Günümüzde hava kirliliği ile sağlık problemlerini ilişkilendiren önemli bilimsel kanıtlar bulunmaktadır (WHO, 2006).



Şekil 1.5 : Hava kirliliğine bağlı ölümler (2004 yılı için, WHO).

Hava kirliliğini kontrol altına almak amacıyla dünyanın birçok ülkesinde yerel ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) belirlediği kirletici sınır değerleri kullanılmaktadır.

Türkiye, WHO' nun kabul ettiği sınır değerleri kullanmaktadır (Bayram, 2006).

Çizelge 1.3' te, emisyon konsantrasyonlarının Dünya Sağlık Örgütü tarafından kabul edilen sınır değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 1.3 : Emisyon derişimlerinin sınır değerleri (WHO, 2008).

<i>Kirletici</i>	<i>Sınır Değer</i>
PM _{2.5}	10 µg / m ³ yıllık ortalama
PM _{2.5}	25 µg / m ³ günlük ortalama
PM ₁₀	20 µg / m ³ yıllık ortalama
PM ₁₀	50 µg / m ³ günlük ortalama
Ozon	100 µg / m ³ 8 saatlik ortalama
NO ₂	40 µg / m ³ yıllık ortalama
NO ₂	200 µg / m ³ saatlik ortalama
SO ₂	20 µg / m ³ günlük ortalama
SO ₂	500 µg / m ³ 10 dakikalık ortalama

6 Haziran 2008 tarihinde 26898 sayılı resmi gazetede yayınlanan “Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi” yönetmeliği Avrupa Birliği’ nin 96/62/EC, 99/30/EC, 2000/69/EC, 2002/3/EC ve 2004/107/EC sayılı direktiflerine paralel olarak hazırlanmıştır. Çizelge 1.4’ te Türkiye için 2009-2014 yılları arasındaki geçiş dönemi için uzun vadeli hava kalitesi sınır değerleri gösterilmektedir.

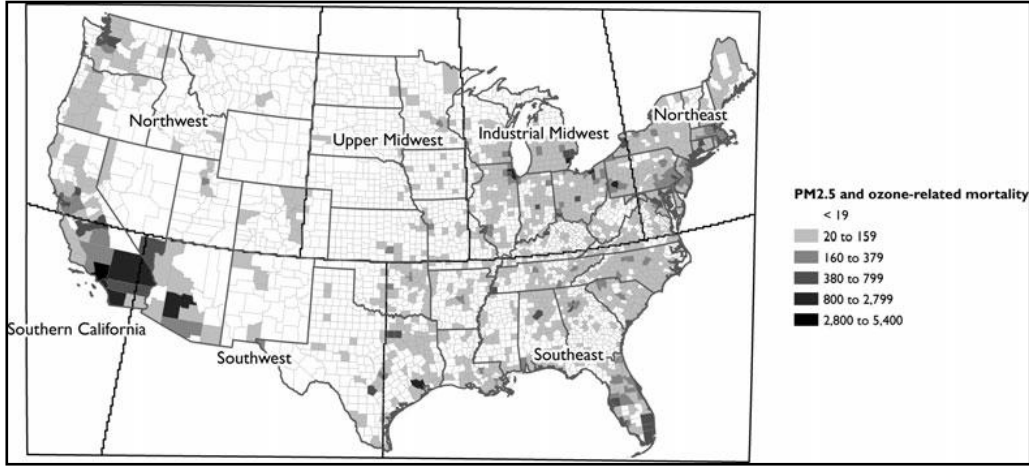
Çizelge 1.4 : Geçiş dönemi uzun vadeli sınır değerler ($\mu\text{g} / \text{m}^3$).

	Mevcut (1 Ocak 2009)	Hedef (1 Ocak 2014)
SO ₂	60	20
NO ₂	100	60
PM ₁₀	150	60
CO	10	10

Hava kirliliği sınırlarının ihlal edildiği şehirlerde hava kirliliğine bağlı ölümler nispeten daha temiz şehirlere oranla %15-20 oranında daha fazla olmaktadır. Avrupa Birliği' nde PM_{2.5} 'e bağlı olarak yaşam süresinin normalden 8.6 ay daha kısadır.

Ozon seviyesi sınırı daha önce 120 iken, bu değerin altında ölümlerle ozon seviyesi arasında bağlantı tespit edildiğinden 100 değerine çekilmiştir. Birçok Avrupa kökenli çalışmalar göstermektedir ki; ozon seviyesindeki 10 mikrogramlık artış günlük ölüm ve kalp rahatsızlıklarını sırasıyla %0.3 ve %0.4 oranında arttırmaktadır.

Fann vd. (2012), Amerika Birleşik Devletleri (ABD)' de 8 saatlik ozon ve ortalama PM_{2.5} seviyelerini 12 km' lik gridlerde CMAQ ile modellemiştir. Buna göre, 2005 yılında 130 bin kişinin PM_{2.5}, 4 bin 700 kişinin de ozon sebebiyle öldüğünü tahmin etmiştir (Şekil 1.6).



Şekil 1.6 : ABD' de PM_{2.5} ve ozona bağlı ölümler (Fann et al, 2012).

Hava kirliliği konusunda önerilen sınır değerler kapsamında partiküler madde, ozon, azotdioksit ve kükürtdioksit bulunmaktadır. Hava kirliliği nedeniyle yılda yaklaşık 2 milyon kişi normalden erken ölmektedir. PM₁₀ derişimi 70' ten 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ' a düştüğünde hava kirliliği sebebiyle ölümlerde %15 azalma olacağı öngörülmektedir (WHO, 2008).

Pope (2006), Simkhovich (2008) ve Ren (2008)'ın gözden geçirdiği çalışmalara göre; hava kirliliğine kısa süreli maruz kalma sonucu ölüm oranı hakkında yayınlanmış 100'den fazla makale bulunmaktadır. Poloniecki (1997) tarafından yürütülen bir çalışmaya göre, Nisan 1987 ve Mart 1994 arasında Londra Hastanelerine kalp ve damar hastalıkları nedeniyle yapılan acil başvurular incelenmiştir. Akut Miyokardial Enfaktüs ve siyah duman ve hava kirlenici gazlar (NO_2 , CO and SO_2), anjin ve siyah duman arasında pozitif korelasyon olduğu tespit edilmiştir. Çalışmaya göre Londra Hastanelerindeki, elli kalp krizi vakasının birinde hava kirliliğinin neden olduğunu öne sürülmektedir.

Başka bir çalışmada Ruidavets (2005), ozona kısa süreli maruz kalmanın (ör: 1-2 gün) kalp rahatsızlığı olmayan orta yaşlı kişilerde, Akut Miyokardial Enfaktüs olayları ile ilişkili olduğunu tespit etmiştir. Nawrot (2007), bu bulguları, hava kirliliğini (özellikle trafik nedeniyle) çevresel tetikleyiciler içinde dördüncü sıraya koyan kendi çalışmaları ile desteklemektedir.

Atkinson (2001), artan partikül madde seviyelerinin günlük ölüm oranı, astım ve kronik obstrüktif akciğer hastalığıyla (KOA) hastaneye yapılan başvurular üzerine etkisine odaklanmıştır. Günlük ölüm oranı çalışmaları, 1990' lı yıllarda 5 yıldan fazla süre için 29 Avrupa şehrinde yürütülmüş olup, 43 milyondan fazla insanı kapsamaktadır. Sonuçlar, PM_{10} 'deki $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'lık artışın, genel ölüm oranlarını yüzde 0.6 arttırdığını göstermektedir.

Hastane başvuruları çalışması 8 Avrupa şehrinde, 38 milyon insanı kapsayacak şekilde yürütülmüştür. Astım ve KOA ile hastane başvurularının, PM_{10} 'deki $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'lık artış ile 65 yaş üstü kişilerde yüzde 1 arttığı gözlenmiştir (Atkinson, 2001). Diğer çalışmalarda ise PM_{10} 'de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'lık artış halinde günlük ölüm oranında yüzde 0.6-1.2 arasında artış olduğu görülmektedir (Pope, 2006). $\text{PM}_{2.5}$ 'de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ artışta, genel ölüm oranlarının yüzde 1-17 arasında olduğu bildirilmiştir. Bu oran, kardiyopulmoner ölüm oranı için yüzde 5-42 arasında iken, akciğer kanseri ölüm oranı için yüzde 0.8-81 arasındadır (Pope, 2006).

Guaderman (2000), PM , NO_2 ve inorganik asit buharına maruz kalan dördüncü sınıf öğrencilerinde akciğer fonksiyonlarının gelişiminde önemli azalma olduğunu tespit etmiştir.

Avol (2001) tarafından yürütülen bir çalışmada, PM_{10} oranı az olan bölgelere yerleştirilen çocuklarda akciğer fonksiyonlarında gelişme gözlenirken, PM_{10} oranı yüksek bölgelerdeki çocukların akciğer fonksiyonlarında gelişme geriliği gözlenmiştir. Yazarlar, gelişme çağındaki çocuklarda hava kirliliği değişikliğine maruz kalmanın, akciğer fonksiyonlarında ve performansta önemli etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Perera (2009) doğumdan beş yaşına kadar çocukları gözlemlemiş, daha fazla kirliliğe maruz kalan grubun, genel ve sözel IQ skorlarının, daha az maruz kalan gruba göre, 4.31-4.67 puan altında olduğunu göstermiştir.

Corbett (2007), gemi kaynaklı PM emisyonlarının dünya çapında yılda 60,000 kişinin kalp ve akciğer kanserine bağlı ölümüne sebep olacağı, 2012 yılına kadar da bu rakamın %40 artacağını, ölümlerin büyük çoğunlukla Avrupa, Güney ve Doğu Asya' nın sahil kesimlerinde meydana geleceğini öngörmüştür.

Winebrake (2009), gemi yakıtlarındaki kükürt oranlarının etkilerini incelemek üzere farklı senaryolar oluşturarak küresel iklim modelinde gemi emisyonlarının etkilerini belirlemiştir. Buna göre; günümüzde geçerli olan %2.7 oranına göre olan senaryo, karaya 200 mil mesafedeki %0.5 ve %0.1 oranı ve tüm dünyada %0.5 olmak üzere oluşturulan üç farklı senaryo ile karşılaştırılmıştır. Eğer kükürt oranına 2012 yılından sonra kontrol getirilmezse, $PM_{2.5}$ emisyonuna bağlı oluşacak konsantrasyonların kalp ve akciğer kanserine bağlı olarak dünya çapında yılda 87 bin kişinin ölümüne yol açacağı, 200 mil mesafede oranın %0.5 ve %0.1' e düşmesi durumunda ölümlerin sırasıyla 33,500 ve 43,500 kişi azalacağı, dünya çapında %0.5 olduğunda ise ölümlerin 41,200 kişi kadar azalacağını hesaplamıştır.

1.1 Tezin Amacı

Marmara Bölgesi, Türkiye' nin en fazla endüstrileşmiş ve en yoğun nüfusa sahip bölgesi olup, diğer tüm çevresel kirliliklerin yanısıra, hava kirliliği açısından sahra taşınımları gibi doğal kirletici kaynaklarla beraber, çok farklı sektörlerden meydana gelen kirletici kaynaklardan etkilenmektedir.

İnsan kaynaklı kirlilik oluşturan sektörlerin başında evsel ısınma, üretim ve taşımacılık gelmektedir.

Özellikle taşımacılık sektörü, gerek kara ve hava gerekse deniz taşımacılığı olmak üzere çok önemli kirlilik kaynaklarıdır. Bunlara ilave olarak, Marmara Bölgesi içinde bulunan Marmara Denizi ve Türk Boğazları, uğraklı ve uğraksız geçiş yapan ticaret gemileri ile iç sefer yapan yolcu gemilerinin oluşturduğu yoğun bir deniz trafiğine sahiptir.

Bu çalışmanın amacı; Marmara Bölgesi' ndeki kirletici kaynaklarını yüksek çözünürlüklü olarak belirlemek, bölgenin meteorolojik koşulları altında oluşacak kirletici konsantrasyonlarını tahmin etmek ve bölgedeki insan nüfusunun maruz kaldığı emisyonları belirleyerek, kirletici kaynaklardaki azaltımların bu maruziyet miktarlarına etkilerini araştırmaktır. Böylece etkin azaltım yöntemleri tespit edilebilecektir.

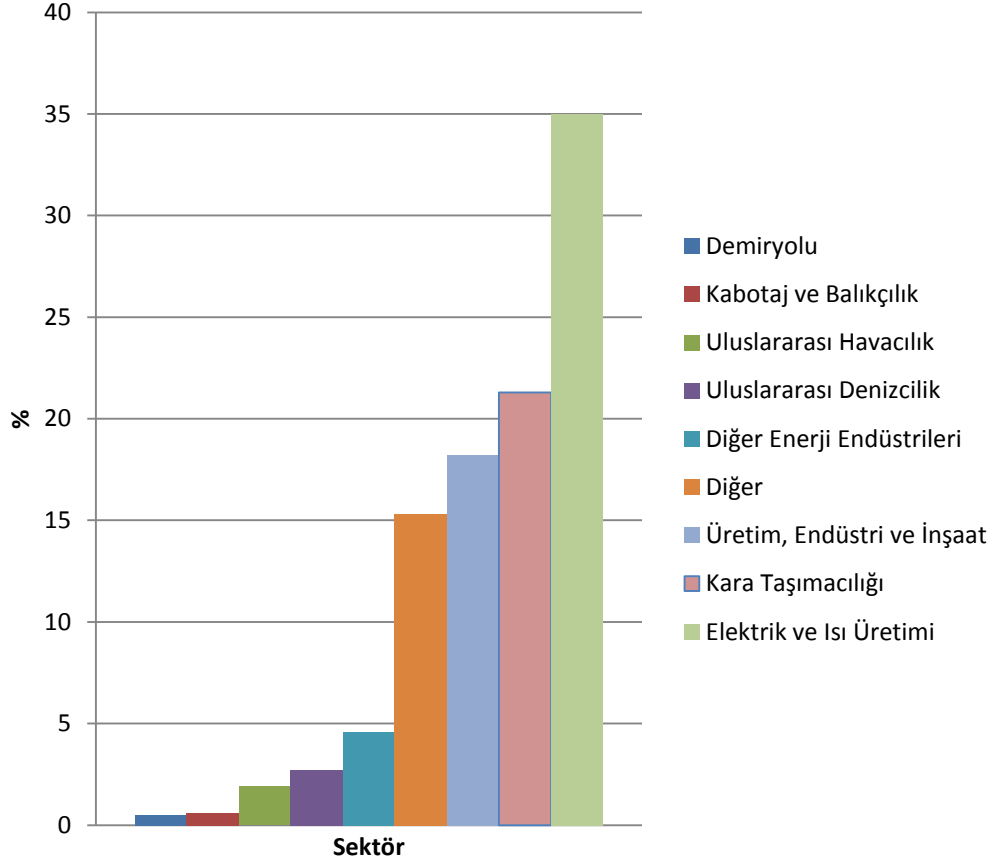
1.2 Literatür Özeti

Hava kirliliği konusu oldukça geniş bir içeriğe sahiptir. Bu çalışmalar arasında kirleticilerin oluşumu, kirleticiler ile ilgili envanter çalışmaları gelmektedir. Ayrıca, kirleticilerin azaltımına yönelik yöntemlerin belirlenmesi, kirleticilerin atmosferdeki dağılımlarının tespit edilmesi ile ilgili modellemeler, kirletici konsantrasyonlarının çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkilerinin araştırılması, bu etkilerin oluşturduğu maliyetler ve hava kirliliğinin kontrolünü sağlamak ile ilgili hukuki düzenlemeler gibi çok farklı alanlarda çalışmalar yapılmaktadır.

Emisyon envanteri çalışmaları bütün olarak tüm ülke ve tüm sektörleri kapsamalıdır. Envanterlerde süreklilik sağlanarak, sistematik bir uygulama içinde olmalıdır. Emisyon faktörleri, aktiviteleri, istatistikleri herkese açıklanmalı, sonuçları diğer ülkelerle karşılaştırılabilir olmalıdır. Ayrıca, hesaplama süreci kalite güvencesi altında doğru olmalıdır.

Çevre sorunlarının başında gelen iklim değişikliğine sebep olan insan kaynaklı GHGs, 1980' li yıllardan itibaren artış göstermiştir. Bu gazların içinde en önemlisi küresel ısınma etkisinin %60' ından sorumlu olan CO₂' dir. CO₂ emisyonu, en fazla elektrik üretimi ve ısınma sebebiyle oluşmaktadır. Kabotaj, balıkçılık ve uluslararası denizcilik faaliyetleri sebebiyle küresel CO₂ nin %3.3' ü kadardır.

Denizcilik sektörü ile karşılaştırıldığında, kara taşımacılığında tüketilen yakıt ve meydana gelen CO₂ emisyonu miktarı oldukça yüksek (yaklaşık 7 katı) olduğu görülmektedir (Şekil 1.7).

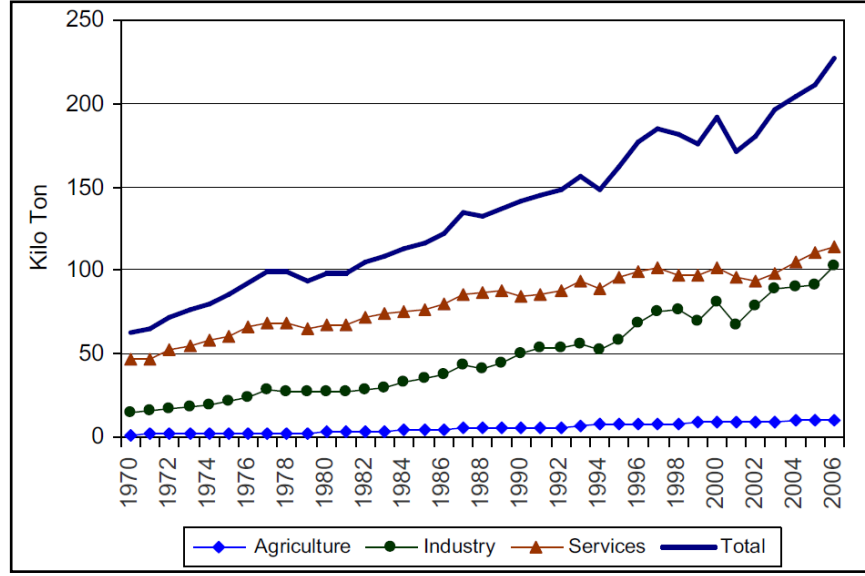


Şekil 1.7 : Emisyon Kaynakları (Buhaug, 2009).

Türkiye, yüksek seviyede petrol ithalatına bağımlı bir ülkedir. Altınay (2007), Türkiye' nin kısa ve uzun vade için, petrol ithalatına olan talep esnekliğini incelediği çalışmada, petrol ithalatı talebinin gelire ve petrol fiyatına göre inelastik olduğu, yani her milli gelir ve petrol fiyatı düzeyinde mutlaka gerektiği miktar kadar ithal edileceğini, diğer bir deyişle alternatifinin bulunmadığını tespit etmiştir.

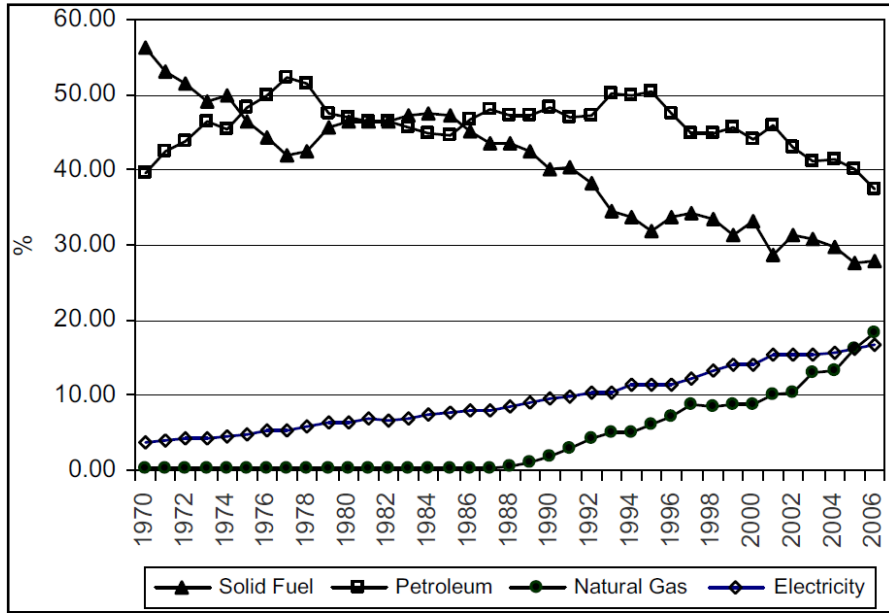
Türkiye' deki toplam enerji tüketiminde, doğal gaz ve elektriğin payı son yıllarda artmaktadır. Buna karşılık katı yakıt kullanımında hızlı bir düşüş vardır.

Tunç vd. (2009), Türkiye ekonomisindeki tarım, endüstri ve hizmet sektörlerindeki CO₂ emisyonlarına etki eden faktörleri incelemişlerdir. Bu sektörlerde kullanılan enerji kaynaklarını da katı yakıtlar, petrol, doğal gaz ve elektrik olarak sınıflandırmışlardır (Şekil 1.8, 1.9).



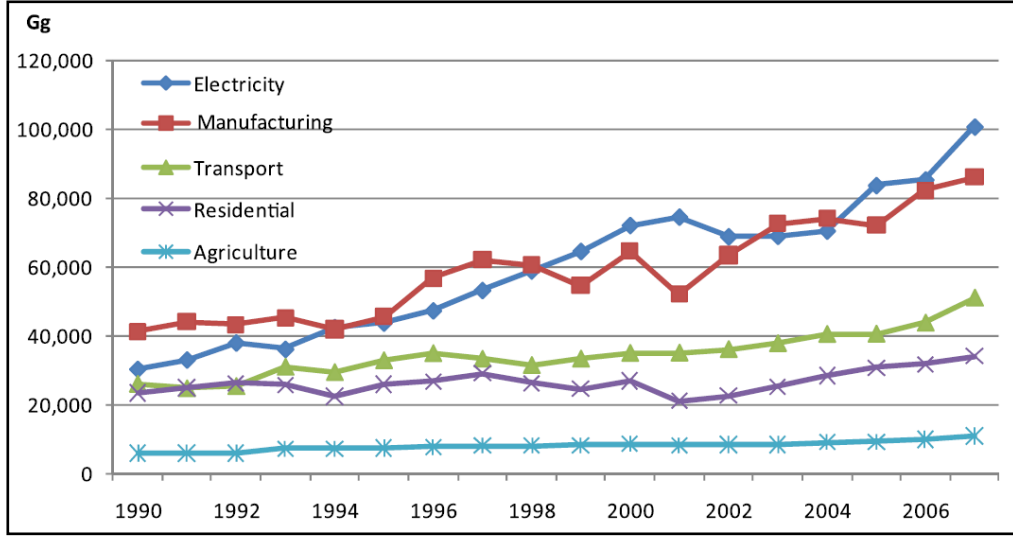
Şekil 1.8 : CO₂ emisyonu (Tunç vd., 2009).

Türkiye' nin gelişimine paralel olarak, enerji ihtiyacı sürekli artmaktadır, ancak coğrafi yapı itibariyle, yenilenebilir enerji potansiyel çok yüksek olan bir ülkedir (Kaygusuz, 2010 ve Toklu, 2013). Bu enerji potansiyelinin kullanımı, önemli sayılabilecek derecede çevresel fayda sağlayacaktır (Akpınar vd., 2008).



Şekil 1.9 : Enerji kaynaklarının dağılımı (Tunç vd., 2009).

Ekonomik büyümeye paralel olarak, Türkiye' nin CO₂ emisyonu yıllar itibariyle artış göstermiştir. Özellikle elektrik üretimi ve imalat sektörlerindeki emisyon miktarlarında önemli artışlar olmuştur (Şekil 1.10).



Şekil 1.10 : Türkiye' deki sektörlerin CO₂ emisyonu (Kumbaroğlu, 2011).

Bilgen vd. (2008), 2010 yılı için Türkiye' nin elektrik enerjisi ihtiyacının 300 milyar kWh iken, bu rakamın 2020 yılı için 580 milyar kWh' e yükselineceğini bildirmektedir. 2006 yılı için Türkiye' nin elektrik üretiminin %29.63' ü yenilenebilir enerji kaynakların, %45' i de doğal gaz kullanımına bağlı olup, 2020 yılına kadar enerji ihtiyacının yılda %8 artacağı, 2020 yılında da yenilenebilir enerji payının %23.68, doğal gaz payının da %33.38 olacağı tahmin edilmektedir.

Kotcioğlu (2011), Türkiye' nin hidroelektrik, rüzgar, biyokütle, jeotermal ve güneş enerjisi potansiyelinin toplam 560 TWh olduğunu belirtmektedir. Ancak, Türkiye enerji ihtiyacının %90' ını fosil yakıtlardan karşılamaktadır (Erdem, 2010). Özdoğan (1998) ise Türkiye' deki 39 farklı kömürün meydana getirdiği CO₂ emisyonu faktörünü regresyon kullanarak formülize etmiştir.

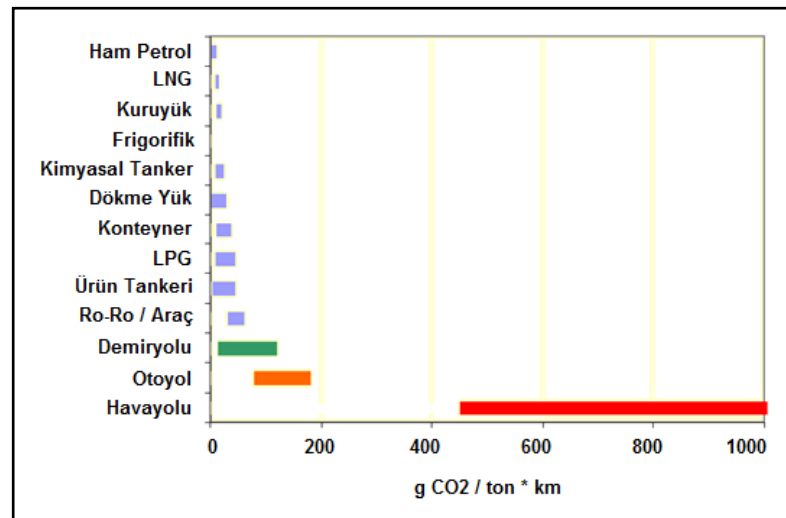
Keleş ve Bilgen (2012)' e göre, Türkiye' nin enerji üretiminin %37' sini yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmakta, yenilenebilir enerji kaynakları enerji ihtiyacının %10' unu karşılamaktadır. Çapık vd. (2012), 2010 yılında elektrik enerjisi üretiminin 126 GWh' ı doğalgaz, 104 GWh' ı kömür, 86 GWh' ı yenilenebilir enerji kaynakları ve 18 GWh' ı da fuel oil kullanılarak yapıldığını belirtmiş, Sinop' ta yapılması düşünülen nükleer enerji santralinin de 1.8 GW gücünde olacağını belirtmiştir.

Kömürcü ve Akpınar (2009), Türkiye' nin jeotermal enerjisinin sadece %4' ünü kullandığını, jeotermal ısıtma amacıyla kullanılmasıyla 5 milyon konutun ısıtılabilceğı ve yılda 48 milyon ton CO₂ emisyonunun azaltılabileceğini belirtmektedir. Benli (2013), Türkiye' nin elektrik üretiminin %35' ini yenilenebilir enerji kaynaklarından oluştugu, bunların da %65' inin jeotermal enerjiden meydana geldiğini belirtmektedir.

Türkiye' nin hidro elektrik kapasitesi yıllık 433 GWh olup, bunun 125 GWh' i kullanılmaktadır. Türkiye' nin 2000 yılındaki enerji üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu miktarının 57 milyon tondan, 2020 yılında bu rakamın 210 milyon tona ulaşacağı düşünüldüğünde, yenilenebilir enerji kaynaklarının, çevrenin korunması açısından önemi ortaya çıkmaktadır (Yuksel, 2012).

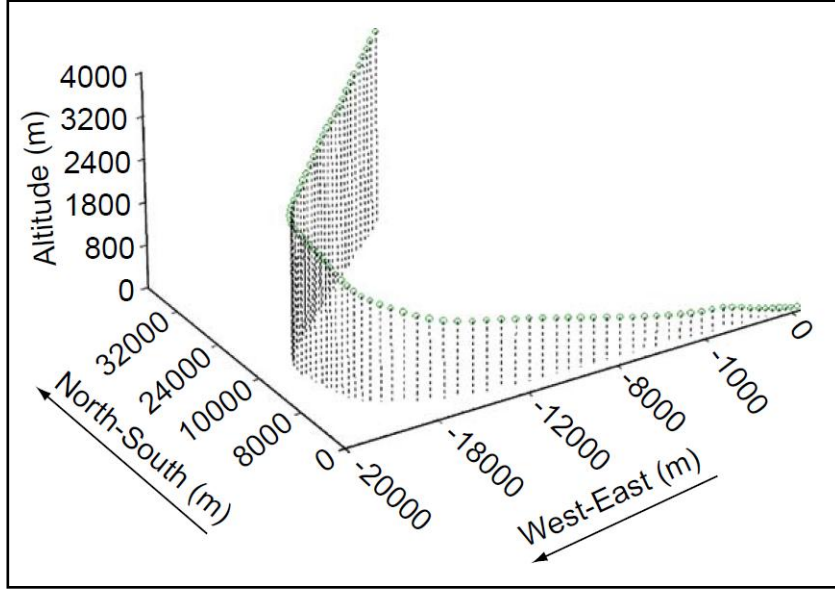
İlkılıç (2012), Türkiye' nin rüzgar enerjisi potansiyelini araştırmıştır. Çalışmaya göre, Türkiye' nin rüzgar enerji potansiyeli yaklaşık 132 GW olup, deniz üzerindeki kapasitesi de 17 GW' tır. Aralık 2011' de kullanılan rüzgar enerjisi kapasitesi 2.2 GW' tır.

Taşımacılık sektörünün CO₂ verimliliğı Şekil 1.11' de görölmektedir (Buhaug, 2009). Taşıma hızı arttıkça ve taşınan yük miktarı azaldıkça taşıma maliyeti artmaktadır. Denizyolu taşımacılığına bakıldığında, taşıma hacmi yüksek, seyir hızı düşük olan ham petrol (crude oil) ve dökme (bulk carrier) gemileri en verimli gemilerdir.



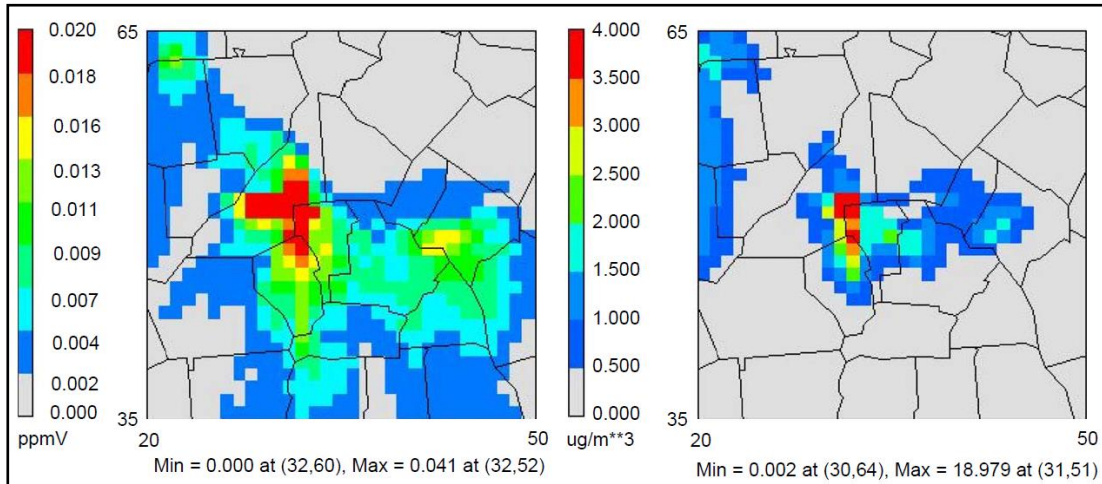
Şekil 1.11 : Taşımacılık Sektörünün CO₂ Verimliliğı (Buhaug, 2009).

Unal vd. (2005), yoğun yolcu trafiğinin yaşandığı Hartsfield–Jackson Atlanta Uluslararası Havaalanı'nda, uçaklardan kaynaklanan emisyonların hava kalitesine olan etkilerini $PM_{2.5}$ ve ozon seviyeleri üzerinden incelemişlerdir. Uçuş modu Şekil 1.12' de gösterilmektedir.



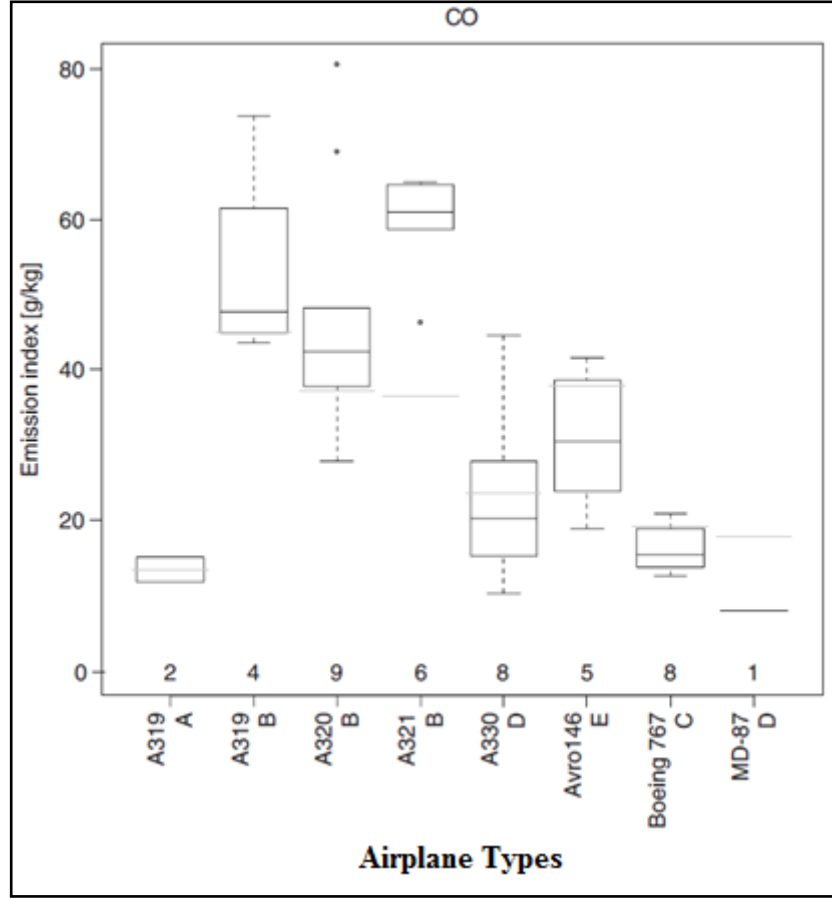
Şekil 1.12 : Atlanta havaalanında take off ve climb modu (Unal vd., 2005).

Uçak emisyonlarının ozon seviyesini 56 ppb, $PM_{2.5}$ seviyesini de $25 \mu g/m^3$ civarında arttırdığını tespit etmişlerdir (Şekil 1.13).



Şekil 1.13 : Uçak emisyonlarının ozon ve $PM_{2.5}$ etkileri (Unal vd., 2005).

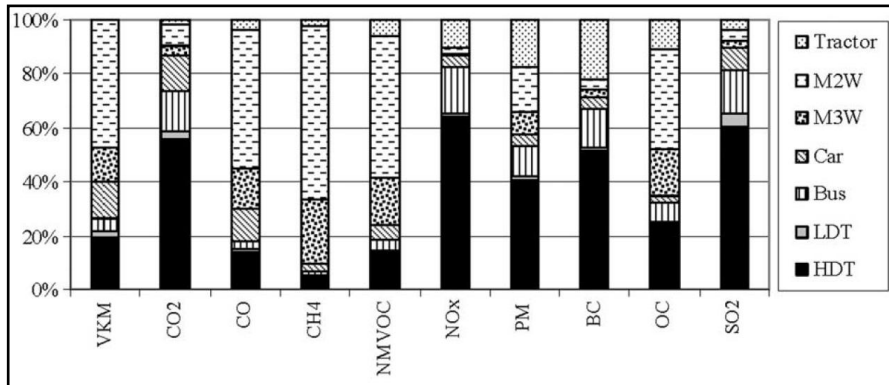
Schürmann vd. (2007), Zurich havaalanının hava kalitesine etkilerini değerlendirmek üzere farklı uçakların idling modunda ölçüm çalışmaları yapmışlardır (Şekil 1.14).



Şekil 1.14 : ICAO veritabanı uçak emisyonları (Schürmann vd., 2007).

Yatay gri çizgiler ICAO verilerini temsil etmektedir. Outlier noktalar R istatistik programı kullanılarak tespit edilmiştir (Schürmann vd., 2007).

Hindistan' daki karayolu taşımacılığından kaynaklanan kirleticiler, bu sektördeki küresel toplamın önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Şekil 1.15).

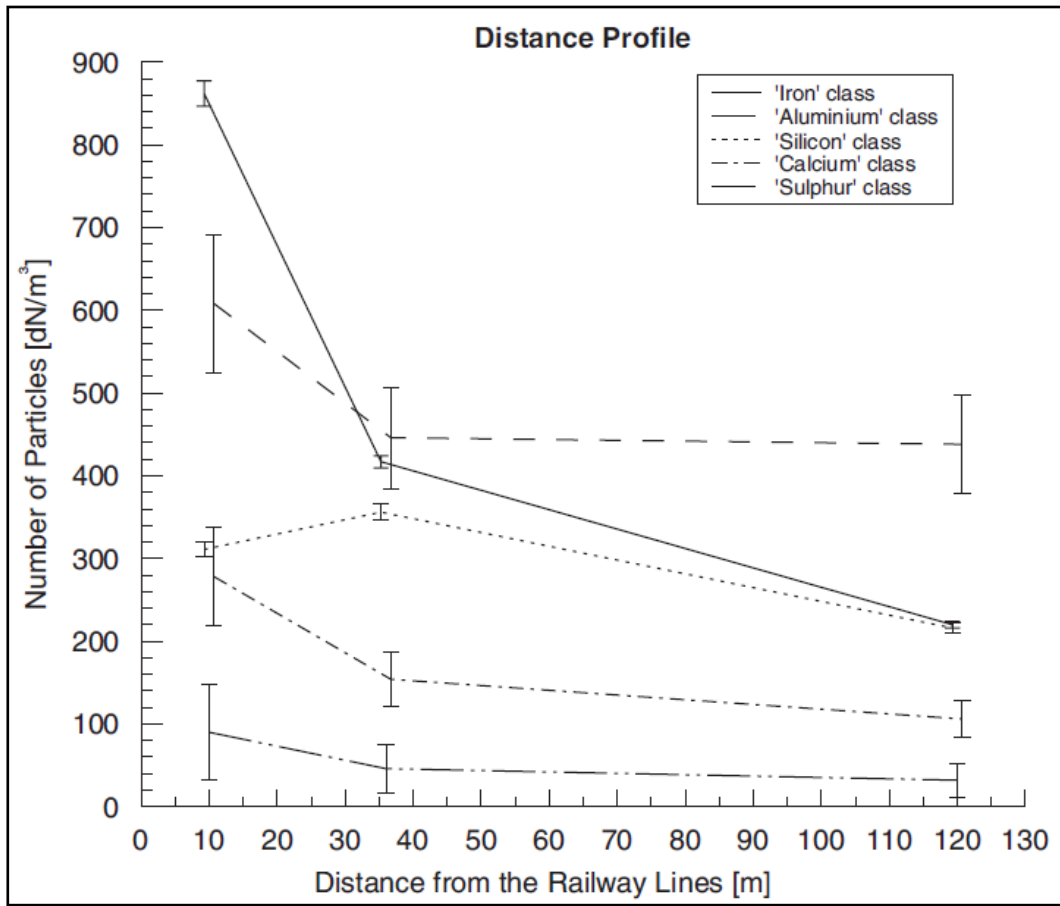


Şekil 1.15 : Hindistan araç emisyonları dağılımı (Baidya ve Kleefeld, 2009).

Türkiye' de karayoluyla yük taşımacılığının emisyon maliyetleri ile ilgili çalışmayı Ozen ve Yaman (2013) yapmıştır.

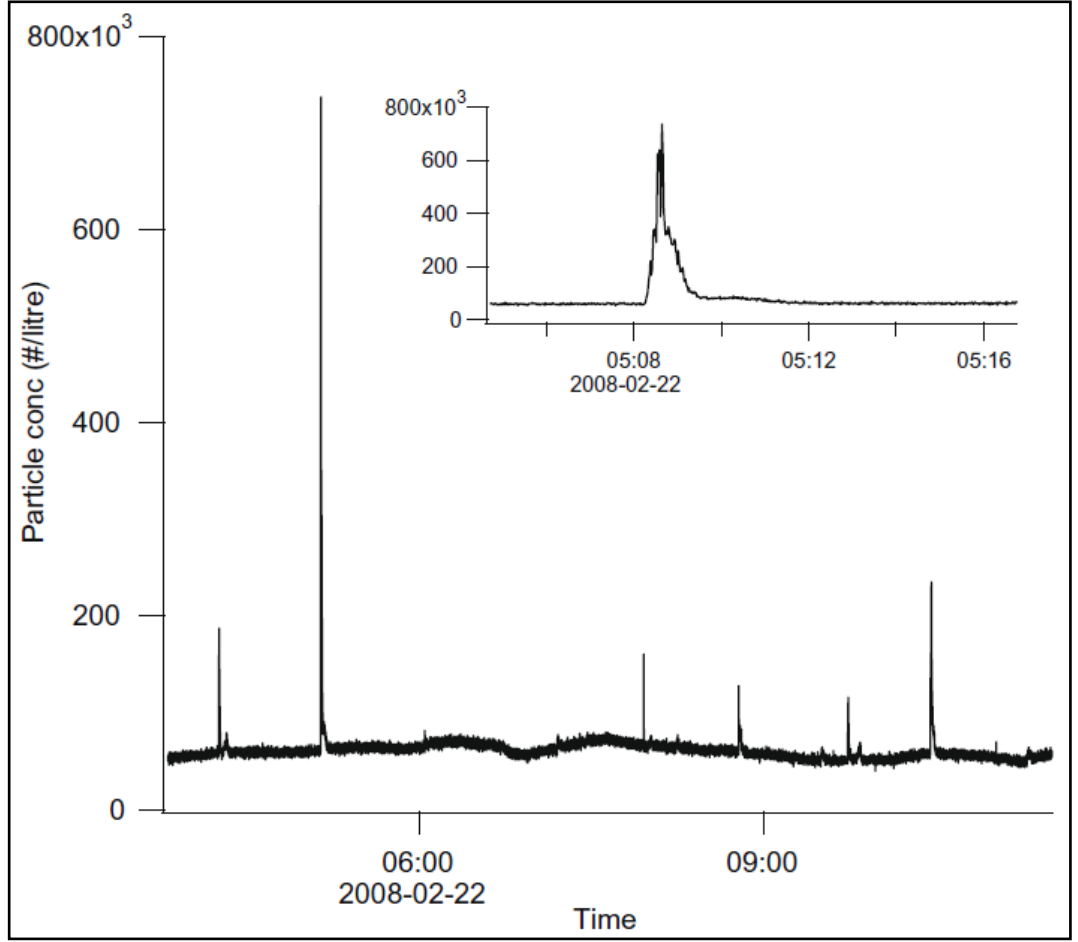
Çalışmada 2000-2009 yılları arasında yol kenarı denetim verileri kullanılarak karayolu taşımacılığının karakteristikleri ortaya konmuştur. 2009 yılı için Türkiye'deki karayolu yük taşımacılığı kaynaklı CO, PM, NO_x, CH₄ ve CO₂ emisyon miktarları sırasıyla 24.8, 4.9, 133.6, 1.0 ve 12076 kton olarak tahmin edilmiştir.

Demiryolu trafiği nedeniyle partikül maddeler meydana gelmektedir. Lorenzo vd. (2006), elektrikle çalışan trenlerin uğradığı Zurich yakınlarındaki Juchhof demiryolu istasyonu civarında PM₁₀ örnekleri toplayarak analiz etmişlerdir. Analizde demir, alüminyum, silikon, kalsiyum ve sülfür partikülleri incelenmiştir. Partikülün türüne ve demiryolunun uzaklığına göre partikül madde miktarı değişim göstermektedir (Şekil 1.16).



Şekil 1.16 : Demiryolu partikül sayısı (Lorenzo vd., 2006).

Fridell vd. (2010), demiryolu tüneline farklı tren türlerinden yaptıkları ölçümler sonucunda, tünelden tren geçişine bağlı olarak partikül madde miktarında önemli ölçüde artışlar meydana geldiğini tespit etmişlerdir (Şekil 1.17).



Şekil 1.17 : Demiryolu tüneline partikül madde derişimi (Fridell vd., 2010).

Deniz taşımacılığının diğer taşımacılık türlerine göre daha ekonomik olması, büyük miktardaki yüklerin gemilerle taşınabilmesi ve deniz taşımacılığının kara bağlantısı olmayan bölgeler arasında mümkün olması gibi etkenler deniz taşımacılığını önemli hale getirmektedir.

Avrupa Birliği' ne üye 25 ülkenin taşımacılık hacminin yaklaşık %90' ını, Amerika Birleşik Devletleri' nin de %80' ini deniz taşımacılığı oluşturmaktadır (ICCT, 2007). Dünya çapında 2008 yılında meydana gelen ekonomik durgunluk kendisini denizcilik sektöründe de hissettirmiştir. Ancak 2008 yılında da deniz ticaret hacmi %3.6 oranında büyüyerek, gemilerle 2749 milyon ton (mt) petrol, 2097 mt dökme yük, 3322 mt kuru yük olmak üzere toplam 8168 mt yük taşınmıştır (UNCTAD, 2009).

Toplam gemi sayısının yarısını yük gemileri oluşturmakta, yük gemilerinin toplam tonajı dünyadaki tüm gemilerin tonajları toplamının %89' unu meydana getirmektedir.

Ekim 2010 tarihi itibari ile, 16224' ü kuruyük, 8687' si dökme yük, 4831' i konteyner, 13175' i tanker, 6597' si yolcu gemisi olmak üzere toplam 50054 adet ticari gemi bulunmaktadır (IHS Fairplay, 2010).

Türk Bayraklı toplam 1566 adet geminin de, %29' unu kuruyük, %14' ünü yolcu gemileri, %14' ünü romorkör, %11' ini de balıkçı gemileri oluşturmaktadır (Kılıç, 2009 a). Türk balıkçı filosunun %90' ı boyu 12 metrenin altındaki teknelerdir (Danışman, 2013).

Gemilerden kaynaklanan emisyonların kontrolü hakkındaki uluslararası ve ulusal düzeyde kurallar son derece yetersizdir. Gemi kaynaklı emisyonlar hakkında yeterli düzenlemelerin eksikliği sebebiyle gemiler tükettikleri yakıt miktarı başına en çok kirletici meydana getiren emisyon kaynaklarıdır (Corbett, 1999).

Gemilerin yakıt tüketiminin çok büyük bir bölümünü en ağır yakıt olan HFO oluşturmaktadır. Ağır yakıtların yakılması sonucunda gemilerin bacalarından çevre ve insan sağlığı üzerinde önemli etkileri bulunan NO_x, SO_x, CO, CO₂, VOC, PM gibi emisyonlar meydana gelmektedir.

Konteyner, dökme yük, tanker ve kuru yük gemileri en fazla yakıt tüketen gemi türleridir. Ana makine gücü 85790 kW olan dev boyutlu konteyner gemisi yılda 280 gün seyir yaptığında, yılda 15000 km yol giden 50 milyon adet aracın meydana getirdiği SO_x miktarına eşit emisyon yaymaktadır (Url-7).

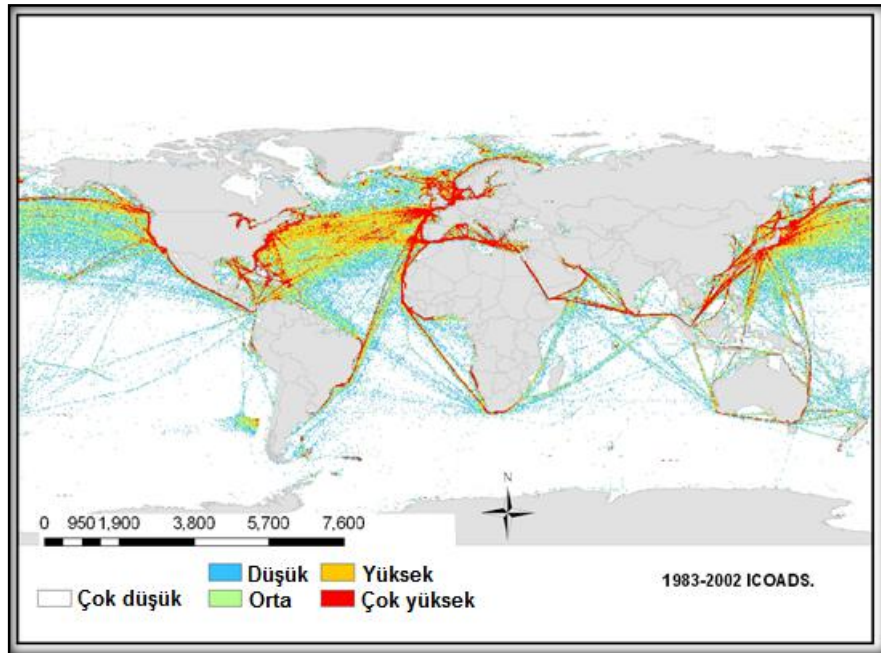
Gemi kaynaklı emisyonlar kolaylıkla kıtalar arasında atmosferde taşınabilmektedir (Qinbin, 2002). Bu sebeple, gemi kaynaklı emisyonların yerel, bölgesel ve küresel etkileri bulunmaktadır.

ICOADS (International Comprehensive Ocean-Atmosphere Dataset) verilerinden elde edilen deniz trafiğine göre, gemi hareketlerinin büyük bölümü kuzey yarım kürede gerçekleşmektedir.

Gemi hareketlerinin %70 i karadan 200 deniz mili mesafede, % 44 ü 50 deniz mili mesafede, % 36 sının da 25 deniz mili mesafede gerçekleştiği görülmektedir (Buhaug, 2009). Her an dünya ticaret filosunun %25' i kıyıya yakın seyretmekte, %55' i de limanda olmak üzere %80' i karaya yakın alanlarda bulunmaktadır (Corbett, 1999).

Gross tonajı 250' den büyük olmak üzere yaklaşık 30 bin farklı ticaret gemisinin (Dünya ticaret filosunun yarısı) Avrupa sularında dolaştığı tahmin edilmektedir (Davies, 2000). 2020 yılından itibaren Avrupa' da deniz kaynaklı NO_x ve SO_x emisyonlarının kara kaynaklı emisyonları geçeceği öngörülmektedir (ICCT, 2007).

Gemilerden kaynaklanan emisyonların etkileri; iç sular, kanallar, boğazlar, liman bölgeleri, yoğun yerleşim alanlarında daha fazla görülmektedir. Liman bölgeleri, limanda yük elleçleyen, manevra yapan, demirleyen ve karaya yakın seyreden gemilerin meydana getirdiği hava kirliliğinin etkilerine en çok maruz kalan bölgelerdir. Gemi kaynaklı emisyonlar liman bölgelerinde astım, solunum rahatsızlıkları, kalp damar rahatsızlıkları, akciğer kanseri ve erken ölüm gibi birçok olumsuz etkiler meydana getirmektedir. Hava kirliliği kaynaklı kanser riskinin %70' ini dizel motorlarının egzoz emisyonları oluşturmaktadır (NRDC, 2004).

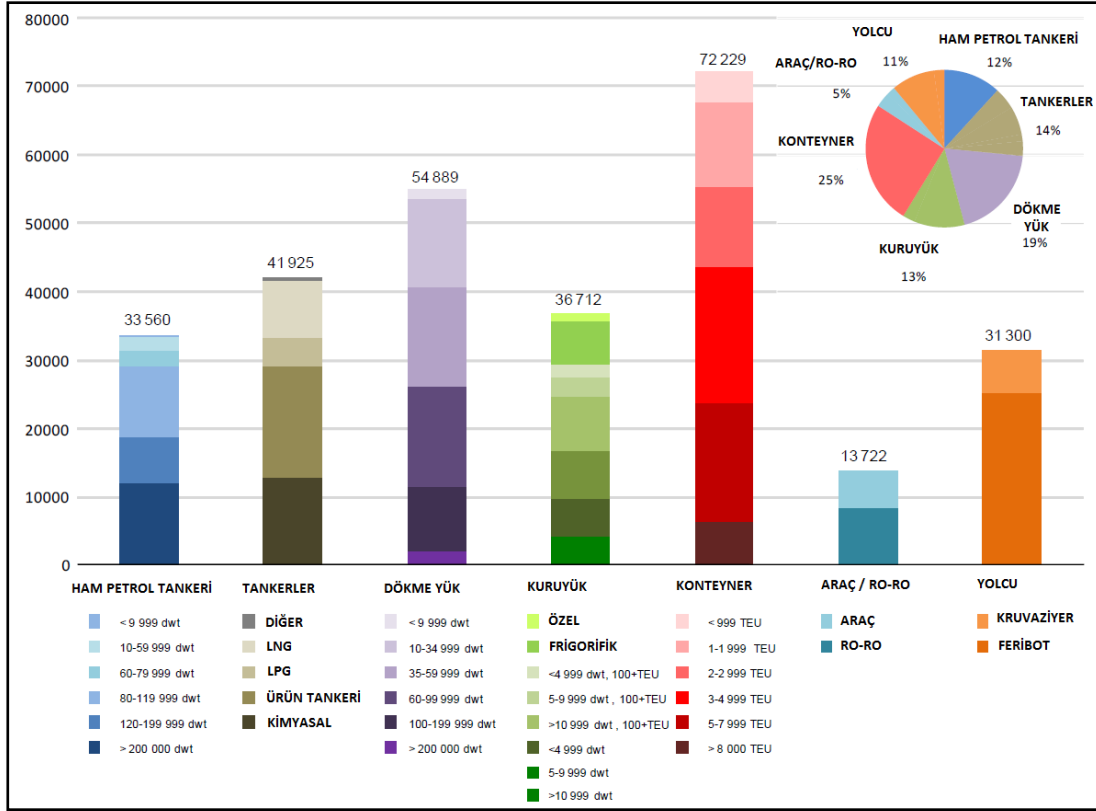


Şekil 1.18 : Dünya deniz ticaret trafiği-ICOADS (Buhaug, 2009).

Küresel ölçekli gemi emisyonu envanter çalışmaları, küresel ölçekli olarak gemilerin yakıt harcamaları göz önüne alınarak yapılmaktadır.

Gemilerden kaynaklan CO₂ emisyonu miktarı 2007 yılı için 1046 milyon ton olduğu, bu miktarın 870 milyon tonunun da uluslararası gemi taşımacılığından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Bu miktarlar küresel CO₂ emisyonunun sırasıyla %3.3 ve %2.7' sini oluşturmaktadır (Buhaug, 2009).

Şekil 1.19’ da, gemilerden kaynaklanan CO₂ emisyonu miktarının gemi türleri ve tonajlarına göre dağılımları gösterilmektedir. Gemi türleri içinde en büyük payı konteyner gemileri almakta, ancak alt grup ve tonajlara bakıldığında ise en büyük payın feribot türü gemilere ait olduğu görülmektedir.



Şekil 1.19 : Gemi türüne bağlı CO₂ emisyon kaynakları (OECD, 2009).

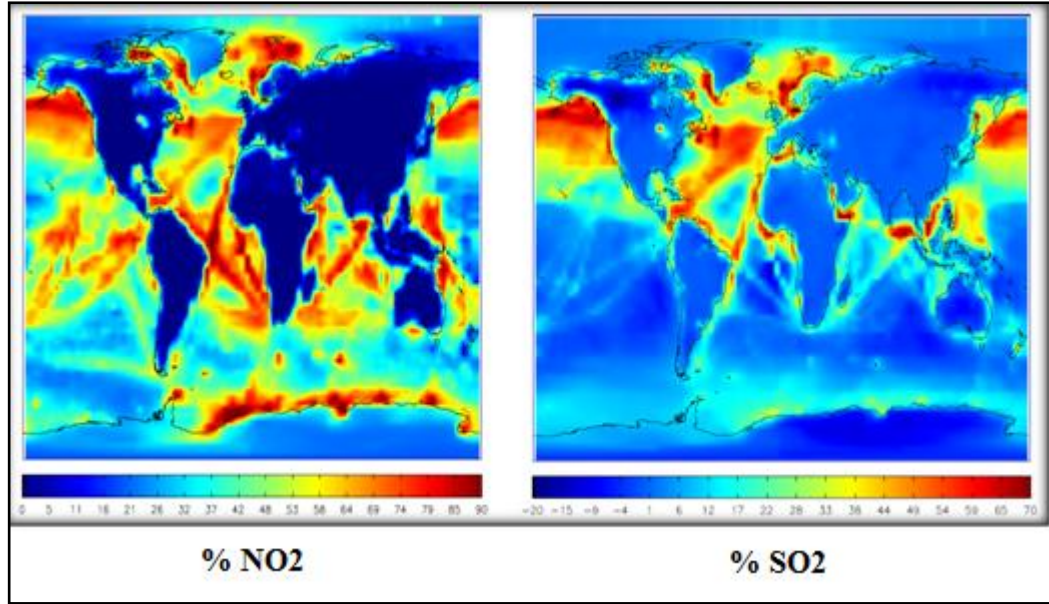
2007 yılında gemilerden kaynaklanan toplam NO_x, SO_x, PM emisyonları sırasıyla 25,15 ve 1,8 milyon tondur (Buhaug, 2009).

Sinha (2003) Atlas okyanusunda seyreden iki geminin egzoz dumanından uçak vasıtası ile örnekleme yaparak yaptıkları çalışmada elde ettikleri emisyon faktörü verilerini kullanarak dünya üzerindeki tüm gemi hareketlerinden meydana gelen CO₂, CO, CH₄, NO_x, SO₂ emisyonlarını sırasıyla 97-124, 0.76-1.06, 0.37-0.47, 3.3-4.2 ve 2.2-2.9 Tg (Teragram)- Mt (Milyon Ton) olarak tahmin etmiştir.

Bu çalışmaya göre, gemilerden kaynaklanan küresel NO_x ve SO₂ miktarları fosil yakıt yakılmasından kaynaklanan toplam NO_x ve SO₂ emisyonlarının %10-14 ile %3-4’ ünü meydana getirmektedir. CO ve CH₄ emisyonları da, okyanusların doğal olarak oluşturduğu emisyonların %2 ve %2.5’ unu oluşturmaktadır.

Dalsøren (2008)' na göre, 2004 yılı için dünya çapında 100 grt üzerinde 91000 adet gemi olduğu, bu gemilerin yarısının da ticaret gemileri olduğu bildirilmiştir. Çalışmada 32000 adet gemiye ait seyir kayıtları kullanılarak gemilerden kaynaklanan küresel emisyonlar hesaplanmıştır.

Tüm gemilerin (kargo ve servis gemileri dahil) dünya çapında 2004 yılı içinde seyirde meydana getirdikleri NO_x , SO_x , CO_2 , HC, PM emisyonları sırasıyla yaklaşık 16, 9, 654 ve 1.6 mt, limanda meydana getirdikleri emisyonlar ise sırasıyla 609, 503, 34569 ve 82 kt olarak tahmin edilmiştir. Şekil 1.20' de gemi kaynaklı NO_2 ve SO_2 nin dünya üzerindeki yüzde dağılımı görülmektedir.



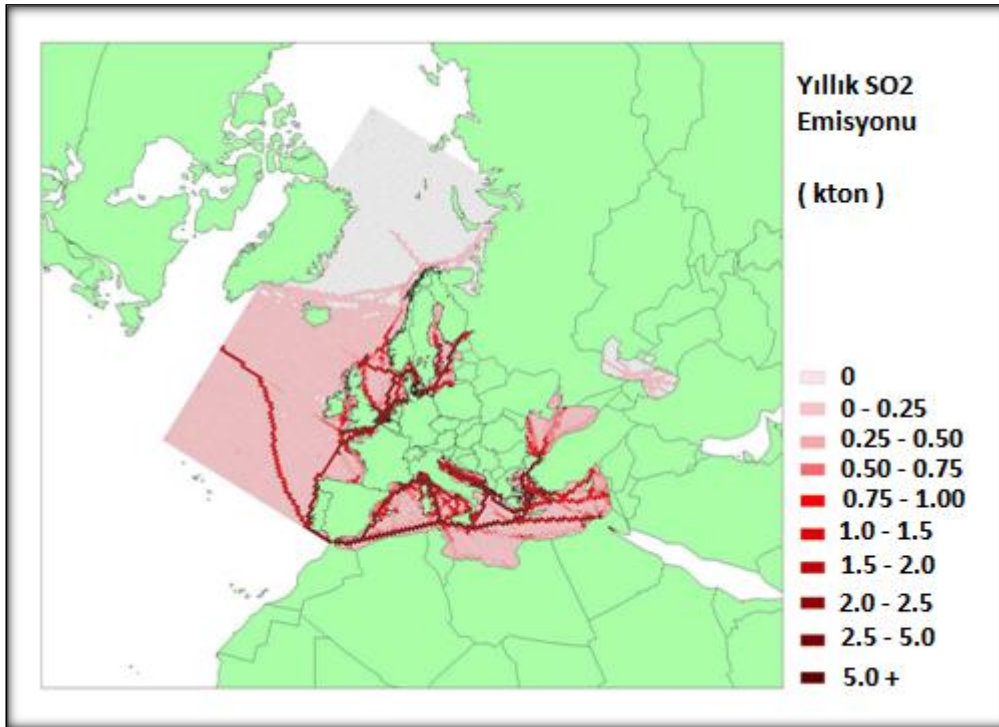
Şekil 1.20 : Gemi kaynaklı NO_2 ve SO_2 nin % dağılımı (Dalsøren, 2008).

Eyring (2005), Automated Mutual Assistance Vessel Rescue System (AMVER) verilerini kullanarak 1950 ve 2001 yılına ait dünya deniz ticaret gemilerinden meydana gelen emisyonları hesaplamış ve bu iki yılı karşılaştırmıştır. Buna göre; 1950' de gemilerin toplam yakıt tüketimi 187 mt iken 813 mt' ye yükselmiş, CO_2 emisyonu da 64.5' tan 280 mt' a çıkmıştır. 2001 yılı için gemi kaynaklı küresel NO_x , SO_2 , HC ve PM emisyonları sırasıyla 21.4, 12.03, 3.4 ve 1.67 mt olarak gerçekleşmiştir.

Bölgesel ölçekli gemi emisyonu envanter çalışmaları, bir veya birkaç ülke sınırları, ülke hava sahaları ve karasuları, ülke içindeki iç deniz ve pek küçük olmayan körfezler, ülkelerarası, kıta ve kıtalararası sularda yapılan çalışmaları kapsamaktadır.

Tiris ve Alper, 1994 yılındaki çalışmalarında, Türkiye' nin 1950-1989 yılları arasındaki gerçek enerji tüketimleri ile 1990-2010 yılları arasındaki enerji talebine yönelik projeksiyonları kullanarak, fosil yakıt ve biyokütle kullanımının oluşturacağı CO₂ emisyonu miktarını tahmin etmişlerdir. Ancak, günümüz itibariyle bu çalışmanın sonuçlarına Energy dergisinden ulaşamamaktadır.

Entec (2002), 2000 yılı için tüm EMEP bölgesi için gemilerden kaynaklanan yıllık emisyonları hesaplamış ve NO_x, SO₂, CO₂, HC ve sadece limanlardaki PM emisyonları için sırasıyla 3617, 2578, 157298, 134 ve 21 kt olarak bulunmuştur. Şekil 1.21' de Avrupa sularında meydana gelen SO₂ emisyon miktarları görülmektedir (Entec, 2002). En yüksek yoğunluk Türk Boğazları ve Marmara Denizi' ni de kapsamak üzere, Avrupa kıtası etrafındaki uğraksız geçiş bölgelerinde meydana gelmektedir.



Şekil 1.21 : Avrupa sularında kükürtdioksit dağılımı (Entec, 2002).

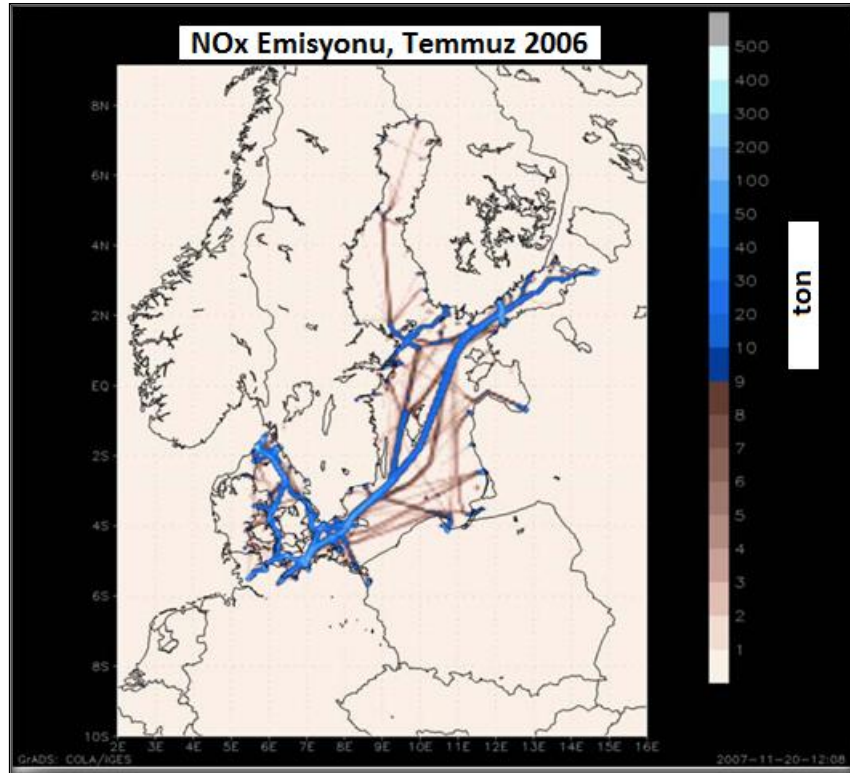
Entec (2007) 2005 yılı için Akdeniz' de 500 grt üzerindeki tüm gemi hareketlerinden kaynaklanan emisyonları hesaplayarak 50 x 50 km' lik gridlere göre dağılımlarını çıkarmıştır. Akdeniz' in sınırları batıda Cebelitarık, doğuda ise İstanbul Boğazı olarak tanımlanmıştır. Akdeniz' de meydana gelen yıllık emisyon miktarları NO_x, SO₂, CO₂ ve PM için sırasıyla 1447 kt, 863 kt, 64836 kt ve 98 kt olarak bulunmuş, gemilerin tükettiği toplam yakıt miktarı 20426 kt olarak tahmin edilmiştir.

IIASA (2007), 2000 yılı için gemilere ait verileri kullanarak yıllık NO_x , SO_2 , CO_2 , HC ve PM emisyonlarını Akdeniz için sırasıyla 1818 kt, 1278 kt, 77140 kt, 62 kt ve 154 kt, Karadeniz için ise sırasıyla 89 kt, 65 kt, 3852 kt, 3 kt ve 8 kt olarak hesaplamıştır.

De Meyer (2008), Kuzey Denizi' nin Belçika bölümü ve Antwerp, Ghent, Ostend ve Zeebrugge limanlarında Nisan 2003-Mart 2004 tarihleri arasında meydana gelen tüm gemi hareketlerinin %90' ını temel alarak yaptıkları emisyon tahmini çalışmasında yıllık gemi kaynaklı emisyon miktarını NO_x , SO_2 ve CO_2 için sırasıyla 39 kt, 31 kt ve 1880 kt olarak hesaplamıştır.

Baltık Denizi' nde Finlandiya Ulaştırma Bakanlığı ve Denizcilik Müsteşarlığı için yapılan projede gemilere ait AIS verileri kullanılarak gemi emisyonları hesaplanmıştır. Birbirinden farklı 10,859 adet gemiden 1 Mart 2006 – 28 Şubat 2007 tarihleri arasında yıllık toplam 370 bin ton NO_x emisyonu meydana geldiği hesaplanmıştır.

Elde edilen NO_x emisyonu sonuçların 9 x 9 km' lik gridler halindeki dağılımı Şekil 1.22' de gösterilmektedir.

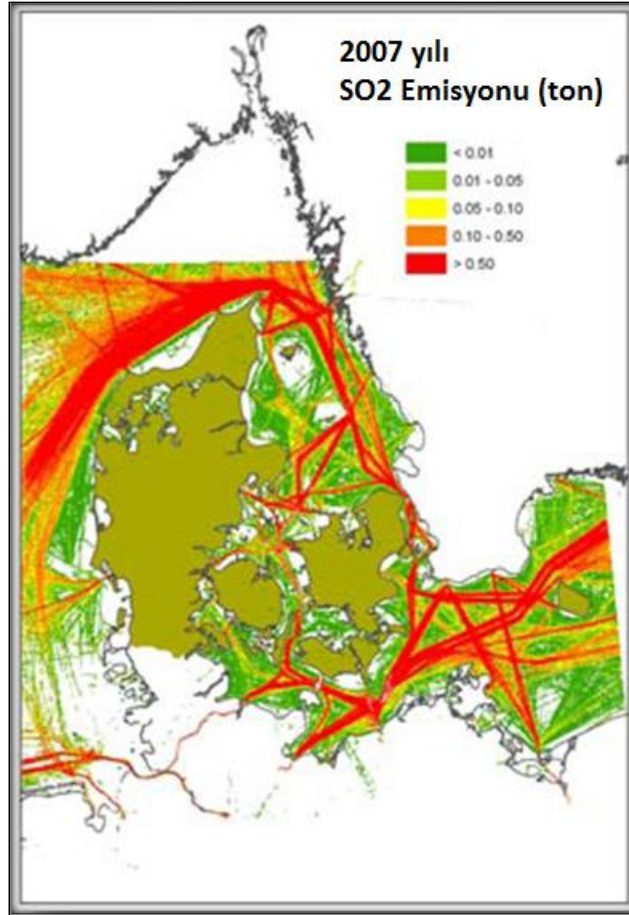


Şekil 1.22 : Baltık Denizi' nde gemi kaynaklı NO_x emisyonları (Stipa, 2007).

Olesen (2007), Danimarka karasularında gemilere ait AIS verilerini kullanarak 1 x 1 km coğrafi çözünürlükte emisyonları hesaplamış ve 6 x 6 km çözünürlükte de hava kalitesi modelinde değerlendirmiştir.

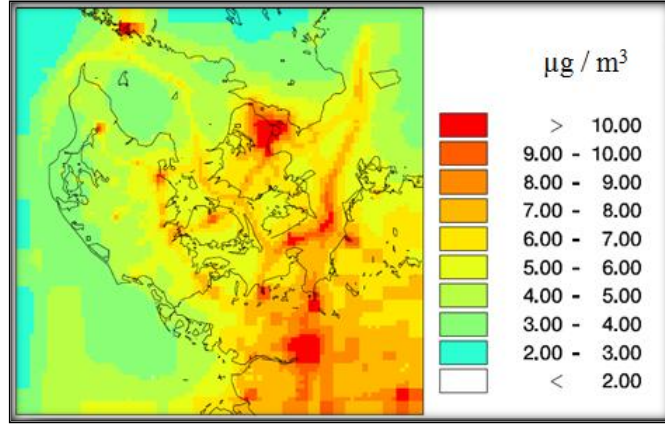
AIS verileriyle yapılan çalışma ile aynı bölgede daha önce EMEP tarafından 50 x 50 km çözünürlükte yapılmış olan çalışmadan daha kesin ve doğru sonuçlar elde edilmiştir. 2007 yılı için toplam gemi emisyonları yaklaşık 170 bin ton NO_x, 65 bin ton SO₂ ve 5800 ton PM_{2.5} olarak hesaplanmıştır.

Şekil 1.23' de gemilerin bölgede meydana getirdiği SO₂ emisyonlarının dağılımları görülmektedir. Bölgede uluslararası su yolları ile düzenli seferlerin yaptığı bölgelerde emisyon miktarlarının yoğunluğu belirginleşmiştir.



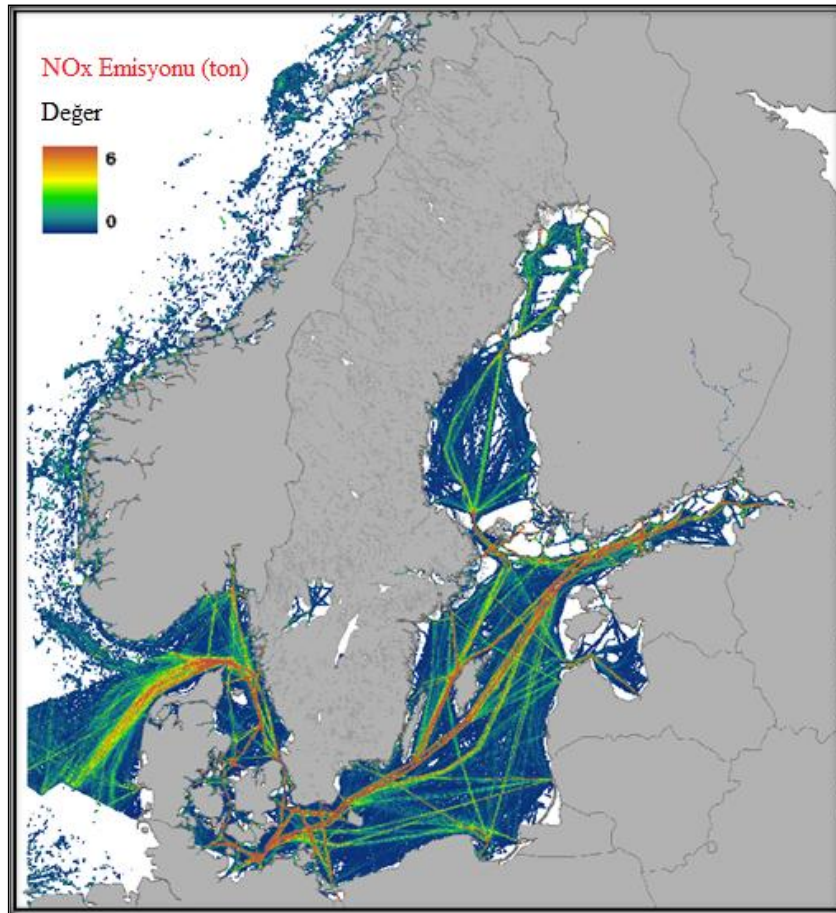
Şekil 1.23 : Danimarka emisyon miktarı - SO₂ /km² (Olesen, 2007).

Şekil 1.24' te Danimarka sularında gemilerin meydana getirdiği NO_x emisyonlarının DEHM modeli ile değerlendirilmesi sonucunda oluşan derişimler görülmektedir. Emisyonların deniz üzerinde meydana gelmesine karşın, derişimler yoğun olarak karalar üzerinde meydana gelmektedir.



Şekil 1.24 : Danimarka NO_x derişimi - µg / m³ (Olesen, 2007).

SMHI (2010), HELCOM-AIS verilerini kullanarak Baltık Denizi' ndeki gemilerden kaynaklanan emisyonların bölgedeki dağılımını hesaplamıştır (Şekil 1.25). Meydana gelen emisyonların büyük bölümü tüm gemilerin kullandığı ana rotalar üzerinde meydana gelmekte, emisyonların en yüksek olduğu kısımlar ise gemilerin manevra yapmak zorunda kaldıkları trafik ayırım düzeni dönüşleri olmaktadır.



Şekil 1.25 : Baltık Denizi' nde gemi emisyonları (SMHI, 2010).

Yerel ölçekli gemi emisyonu çalışmaları kapsamına liman bölgeleri, kanallar ve küçük ölçekli körfezler girmektedir. Bu bölgelerde yapılan gemi manevraları sırasında görece daha fazla emisyon meydana gelmekte, gemilerin demirleme ve liman sürelerinin de uzun olması sebebiyle de çok büyük oranda emisyonlar oluşmaktadır.

Yerel bölgeler civarındaki hassas çevresel dokuların varlığı, meydana gelen emisyonların yakın mesafelerde oluşturduğu yüksek derişimler ve civardaki çoğu zaman hayli yüksek nüfus yoğunluğu göz önüne alındığında gemi emisyonlarının yerel etkileri önem kazanmaktadır.

Liman bölgesindeki emisyonlar kapsamına limanda manevra yapan ve bağlı bulunan gemilerin yanısıra, limanda yük elleçleme sırasında kullanılan vinçler, trenler, tırlar gibi diğer emisyon kaynakları da girmektedir.

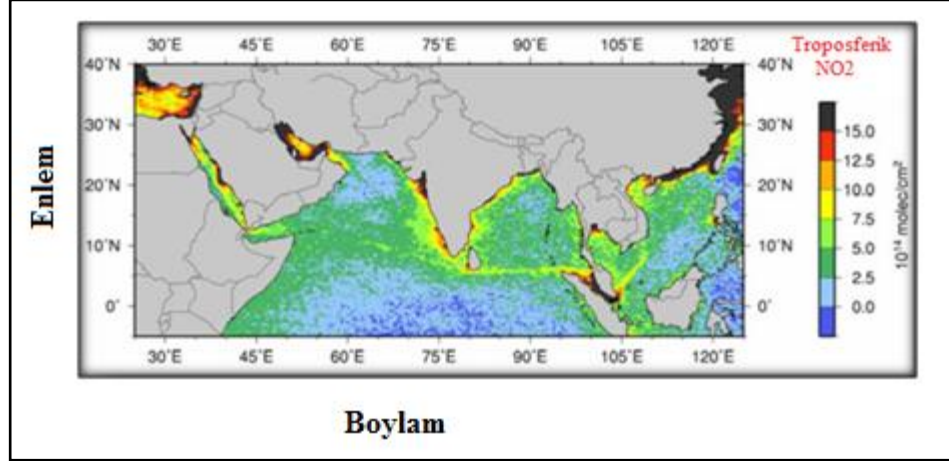
Los Angelos ve Long Beach limanlarında gemi kaynaklı NO_x ve PM_{10} emisyonları toplam liman emisyonlarının sırasıyla %32 ve %43' ünü meydana getirmektedir (NRDC, 2004).

Dong (2002), Kaohsiung (Taiwan) liman bölgesinde üç farklı yöntem kullanarak yıllık gemi emisyonlarını hesaplamıştır. Gemi hareketlerine göre NO_x , HC, PM ve CO emisyonları 13786 t, 713 t, 341 t ve 1684 t, Lloyd' un yakıt tüketimine bağlı emisyon faktörlerine göre NO_x ve SO_x , 9125 t ve 4055 t, egzoz ölçüm ve hesaplama yöntemi ile NO_x ve SO_x 5114 t ve 4847 t olarak hesaplamıştır.

Envanter çalışmalarında kirletici maddelerin yeri ve zamana bağlı miktarları tespit edildikten sonra, mevcut meteorolojik koşullar altında bu kirleticilerin atmosferdeki dağılımları, kimyasal reaksiyonlar da göz önüne alınarak incelenmektedir. Bu dağılımların modellenmesi oldukça karmaşık işlemler gerektirmekte, dağılımlar çok farklı etkenlerden etkilenmektedirler.

Gemi bacalarından çıkan aerosoller alçak seviyedeki bulutların yapısında değişimler meydana getirmekte ve bu değişimler uydu ile izlenmektedir. Aynı zamanda bulutlardaki bu değişimler bulutların alt ve üst kısımlarındaki radyasyon miktarlarını da değiştirerek küresel ısınma üzerinde de etkili olmaktadır (Schreirer, 2006).

Richter (2004), emisyonların meydana getirdiği derişimleri içeren uydu verilerini kullanarak Hint Okyanusu' nda gemilerden kaynaklanan NO₂ emisyonunun troposferde meydana getirdiği akı miktarını incelemiştir. Gemi kaynaklı NO₂ emisyonlarının miktarları uluslararası ticaret rotaları, boğazlar ve karaya yakın bölgelerde yoğunlaşmaktadır (Şekil 1.26).



Şekil 1.26 : Hint Okyanusu' nda gemi kaynaklı NO₂ dağılımı (Richter, 2004).

Marmer (2009), Akdeniz' de uyguladıkları kimyasal taşınım modelini gemi kaynaklı emisyon envanteri çalışmalarına uygulamış ve gemi rotaları civarlarında gemi kaynaklı emisyonların %10-50 HC, %2-12 ozon ve %5-20 NO_x artışa neden olduğunu hesaplamıştır.

Durkee (1999), gemi bacasından çıkan egzoz dumanının bulutlar üzerindeki etkilerinin bir hava aracı tarafından takip ve görüntülenmesi vasıtasıyla yaptığı analiz neticesinde, egzoz dağılımının rüzgar hızı, havanın stabilitesi, sınır tabaka yüksekliği ve gemi rotasının rüzgar yönüyle yaptığı açıya bağlı olduğu sonucuna varmıştır. Bu durum emisyonların etkilerinin emisyon miktarının yanında bir çok parametreye bağlı olduğunu göstermektedir.

Eyring (2007), 2000 yılına ait gemi emisyonları miktarı ile yıllık ortalama %2.2 artışla 2030 yılına ait emisyon miktarını atmosfer kimyası modelinde çalıştırarak gemi emisyonlarının küresel etkilerinde meydana gelecek olan değişimleri incelemiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, Troposferde en belirgin NO₂ ve sülfat kolonlarındaki değişim Baltık ve Kuzey Denizi' nde meydana geleceği tahmin edilmektedir.

Diğer önemli değişimlerin Kuzey Atlantik, Meksika Körfezi, Kızıldeniz' den geçen Avrupa-Asya deniz ticaret hattı üzerinde oluşacağı, en yüksek yer seviyesindeki ozon değişiminin Kuzey Atlantik' te (5' ten 8 ppbv' ye) görüleceği tahmin edilmektedir. Gemi taşımacılığının küresel ozon ve sülfat miktarını sırasıyla %3 ve %4.5 arttıracığı öngörülmektedir.

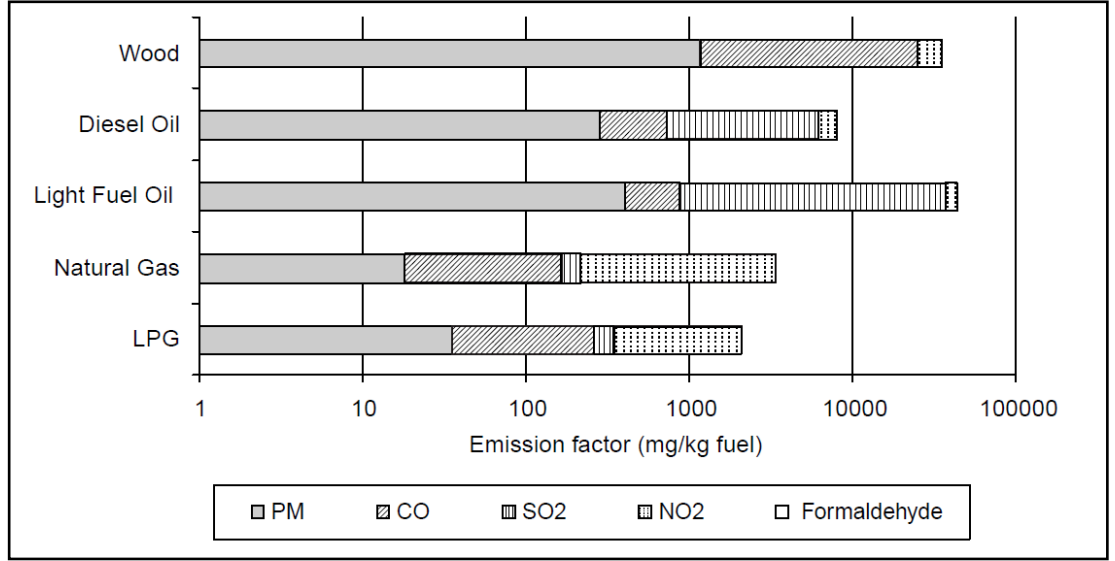
Gemi kaynaklı NO_x emisyonlarının Finlandiya' nın karayolu kaynaklı emisyonlarından daha fazla olduğu görülmüştür. Meydana gelen emisyonların birikimlerinin suya karışmasıyla çözünmüş inorganik azot derişiminin ciddi bir artışa ve ötrofikasyona sebep olacağı, bir aylık zaman aralığında meydana gelen gemi emisyonlarının gemi rotalarının 10 km mesafesine kadar olan deniz alanında kış azot derişimini %5-20 oranında arttırdığı belirtilmektedir (Stipa, 2007).

Mölders (2009), Güney Alaska bölgesinde Corbett (2003) in emisyon tahminlerini kullanarak gemi kaynaklı emisyonların hava kalitesine etkilerini WHR/Chem modelinde çalıştırmış ve gemilerin ana rotaları üzerindeki NO_x birikimini %90 arttırdığını, PM emisyonlarının da görüş mesafesini %30 azalttığı sonucuna varmıştır.

Lonati vd. (2010), Güney İtalya' da İon Denizi kıyılarına yapılması planlanan bir endüstri tesisi ve bu tesise gelecek olan gemilerin meydana getireceği konsantrasyonları 3 boyutlu Calpuff modeli kullanarak tahmin etmiş ve gemilerin oluşturacağı emisyonların, civardaki alıcı ortamlardaki saatlik NO_2 sınır değerlerin aşılmasına neden olacağını tespit etmiştir.

Sippula (2010), farklı biyokütleler ve fuel oil yakılmasıyla meydana gelen partikül maddelerin miktarları ve içerikleri hakkında çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, biyokütle yakıtların daha fazla partikül madde ürettiği, eksik yanma sonucu olarak ta, partiküllerin %22' sine kadar kurum ve organik karbon oluştuğu tespit edilmiştir. Küçük ısıtıcılarda biyokütle yakılmasının daha fazla partikül madde oluşturmasının bir nedeni de, fuel oil kullanan daha büyük tesislerde %95' e varan verimlilikte çalışan baca arıtmalarının kullanımıdır.

Endüstri tesislerinde bulunan kazanlarda yakılan yakıtlar sebebiyle de kirletici emisyonlar meydana gelmektedir. Kazanda yakılan yakıtın türüne bağlı olarak, oluşan emisyonların miktar ve oranları da değişmektedir (Şekil 1.27).



Şekil 1.27 : Endüstriyel kazanlarda emisyon faktörleri (Karademir, 2006).

Son iki yüzyıldaki insan faaliyetleri nedeniyle, doğal emisyonların miktarları ve dağılımlarında çok önemli değişiklikler meydana gelmiştir. Kuzey Amerika' daki NO emisyonunun 2.1 milyon tonu toprak ve yıldırımlardan, CO emisyonunun 10 milyon tonu da bitki örtüsü ve biyokütle yakılmasında meydana gelmektedir (Guenther vd., 2000).

1.3 Hipotez

Türkiye, coğrafi şartları dolayısıyla en eski tarihten günümüze dünyanın en önemli bölgesinde yer almaktadır. Uzakdoğu' dan Avrupa' ya uzanan ulaşım rotalarının bulunduğu ülkede, tarım, ticaret, turizm ve sanayi dolayısıyla yoğun bir nüfus barınmakta, gerek ülkenin ithalat ve ihracatı, gerekse diğer ülkelerin kendi aralarındaki insan ve eşya hareketlerine sahne olmaktadır.

İnsan kaynaklı faaliyetlerin yoğunluğu gözönüne alındığında, hava kirliliği başta olmak üzere, bu faaliyetlerin çevre üzerinde olumsuz etkilerinin olacağı bir hipotez olarak karşımıza çıkmaktadır.

Özellikle Marmara Bölgesi, yoğun nüfusu, yüksek seviyeli endüstrileşimi, çok kısıtlı alanlarda sınırları zorlamakta olan her çeşit taşımacılık faaliyetleri ile, insan kaynaklı hava kirliliği olgusuna etki eden tüm sektörleri içinde barındırmaktadır. Taşımacılık sektörü açısından Marmara Bölgesi Asya ve Avrupa kıtalarını bağlamakta, aynı zamanda kuzey ülkeleriyle de Akdeniz' i birbirleri ile buluşturmaktadır.

Bu kadar yoğun kirletici kaynakların bulunduğu bölge, aynı zamanda bir çok sektör için çok yetersiz denetimlere tabi olmakta, bu da hava kirliliğinin çok daha yüksek seviyelere ulaşmasına sebep olmaktadır.

Diğer kirlilik türleri ile birlikte hava kirliliği açısından, bu sektörlerden en önemlisi de, gerek deniz taşımacılığının en az seviyede denetime tabi olması, gerekse Montrö Boğazlar Sözleşmesi gereğince Türk Boğazları olarak adlandırılan İstanbul ve Çanakkale Boğazları' nın statüsünün uluslararası su yolu kabul edilmeleri nedeniyle, denizcilik sektörü Marmara Bölgesi için en önemli deniz alanı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Karadeniz' in dünya denizleri ile olan tek bağlantısını Marmara Denizi ve Türk Boğazları sağlamaktadır. Bu durum, Karadeniz' e kıyısı olan devletlerin dünya ile olan deniz ticareti sebebiyle yoğun bir gemi trafiğine sebep olmaktadır. Marmara Denizi ve Türk Boğazlarında seyir yapan gemiler uğraklı ve uğraksız geçiş yapmaktadır.

Uğraklı geçiş, bölgeye gelen bir geminin bir Türk limanında veya tersanesine uğraması ile gerçekleşirken, uğraksız geçiş ise Türkiye ile herhangi bir ticari faaliyette bulunmayan gemilerin denizlerimizi kullanarak diğer ülkeler arasında taşımacılık yapmalarıdır.

Özellikle petrol taşımacılığında bulunan büyük tonajlı tankerlerin de kullandığı gemiler büyük oranda uğraksız geçiş yapmakta, Türkiye' nin bu taşımacılıktan herhangi bir menfaati bulunmamasına rağmen önemli çevresel zararlar ve kaza riskleri meydana getirmektedir.

Uğraksız geçişlerin haricinde, Marmara Denizi Türkiye' de en fazla denizcilik faaliyetlerinin yapıldığı bölgedir. Bölgede bulunan İzmit Körfezi başta olmak üzere çok sayıda liman ve tersaneye uğrayan ve demir mevkilerinde bulunan gemiler, Türkiye' nin en çok sanayileşmiş bu bölgesinde diğer emisyon kaynakları ile birlikte bölge üzerinde oldukça ciddi emisyon yükü oluşturmaktadır.

Bu emisyon yükü aynı zamanda Türkiye' nin en yoğun nüfusuna sahip bölgesinde emisyonların etkilerini daha da arttırmaktadır.

Gemi kaynaklı emisyonların dar su yolları, kanallar ve iç sularda daha fazla meydana gelmesi, meydana gelen emisyonların meteorolojik koşullar altında iç sular ve boğazlarda önemli konsantrasyonlar oluşturması, hassas ekolojik yapı ve yoğun nüfusun bu konsantrasyonlardan oldukça fazla etkilenmeleri, gemi kaynaklı emisyonların azaltılması hususunda yeterli yaptırımların bulunmaması gibi etkenler sebebiyle gemi kaynaklı emisyonların miktar ve etkilerinin çok ciddi boyutlarda olabileceğini düşündürmüştü ve Türkiye’de daha önce bu ölçek ve kapsamda yapılmamış bu çalışmanın yapılmasına gerekçe teşkil etmiştir.

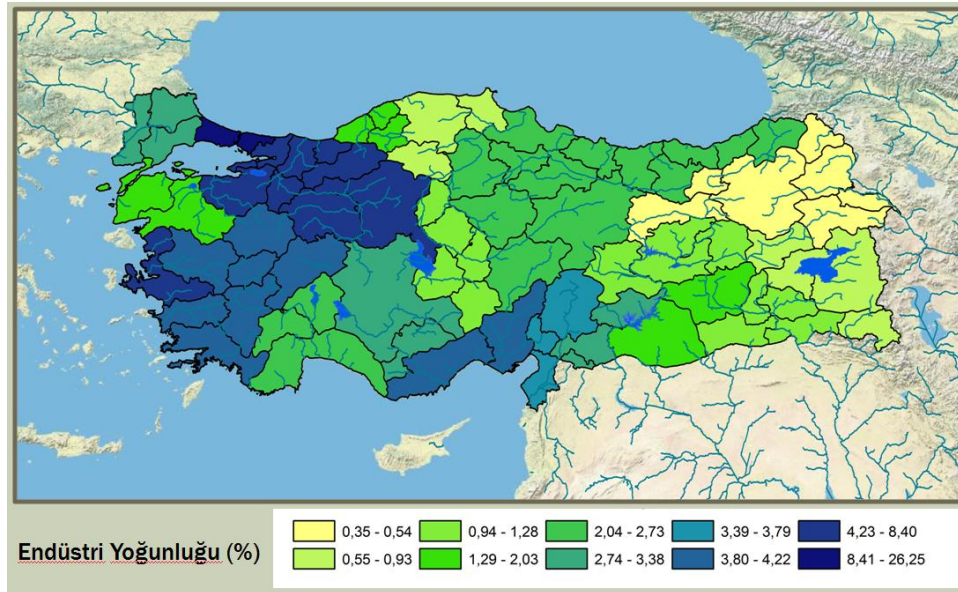
Bu çalışmanın amacı, doğal ve insan kökenli tüm kirletici kaynakları gözönünde bulundurularak, meteorolojik şartlar altında bölgedeki etkilerini araştırmak ve bu etkilere sebep olduğu hipotez olarak kabul edilen önemli sektörlerin etki derecelerini tespit etmektir.

2. MARMARA BÖLGESİ VE HAVA KİRLİLİĞİ

Türkiye'nin kıyı şeridi 8333 km olup sanayi sektörünün %70'i kıyı şeridinde yer almaktadır (Şahin M, 2008). Marmara Bölgesi, Türkiye'nin en gelişmiş bölgesidir, sanayi, ticaret, turizm ve tarım sektörleri diğer bölgelere oranla önemli yer tutmaktadır.

Enerji tüketimi en yüksek olan bölgedir. Türkiye' nin sanayide tüketilen elektrik enerjisi miktarı 2008 yılı için toplam tüketimin % 46' sını oluştururken; Bilecik, Kocaeli, Tekirdağ ve Çanakkale' de bu oranlar %80' ler düzeyindedir (TÜİK, 2010). Türkiye' nin toplam elektrik enerjisinin %39' u, toplam sanayi elektrik enerjisinin ise %43' ü bu bölgede tüketilmektedir.

İstanbul, Asya ve Avrupa kıtalarını bağlayan karayolları üzerinde bulunan, yüksek nüfus yoğunluğuna ve uluslararası hava ve deniz trafiğine sahip büyük bir kenttir. Türkiye' deki endüstriyel istihdamın %20' sine ve yine endüstri tesislerinin %38' ine sahiptir (Url-22). Türkiye' deki toplam istihdamın yaklaşık 1/3' ü ve sanayi istihdamının ise yarısı Marmara Bölgesi' ndedir. Türkiye' nin endüstri yoğunluğu Şekil 2.1' de görülmektedir.



Şekil 2.1 : Türkiye endüstri yoğunluğu (TÜİK, 2010).

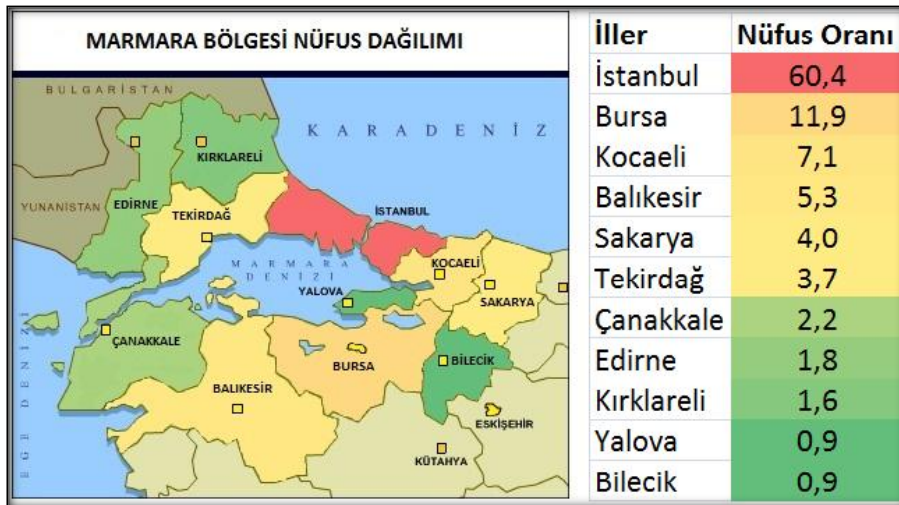
Asya ve Avrupa kıtalarını birleştiren Marmara Bölgesi, diğer bölgeler arasında yükseltisi en az olan bölgedir. Toplam 67000 km² lik alanı ile Türkiye’ nin toplam alanının %8.5’ una sahiptir (Url-1).

Türkiye İstatistik Kurumu’ nun adrese dayalı nüfus kayıt sistemine göre Marmara Bölgesinin toplam nüfusu 21.384.082 olarak belirtilmiştir (Url-2).Marmara Bölgesi’ ndeki illerin toplam nüfus ve nüfus yoğunluğu Çizelge 2.1’ de gösterilmektedir. İstanbul toplam nüfus ve nüfus yoğunluğu açısından diğer illerden kalabalıktır.

Çizelge 2.1 : Marmara bölgesi nüfus dağılımı (Url-2).

İL	Toplam Nüfus	Nüfus Yoğunluğu
İstanbul	12,915,158	2,420
Bursa	2,550,645	234
Kocaeli	1,522,408	298
Balıkesir	1,140,085	78
Sakarya	861,507	173
Tekirdağ	783,310	115
Çanakkale	477,735	48
Edirne	395,463	65
Kırklareli	333,179	53
Yalova	202,531	215
Bilecik	202,061	47
Marmara Bölgesi	21,384,082	

Marmara Bölgesi’ ndeki illerin toplam nüfuslarının Marmara Bölgesinin toplam nüfusuna oranı Şekil 2.2’ de gösterilmektedir. Bölgenin toplam nüfusunun % 60’ tan fazlası İstanbul il sınırları içinde yaşamaktadır. İstanbul, Türkiye nüfusunun %17’ sini barındırmaktadır.



Şekil 2.2 : Marmara bölgesi nüfus oranları (Url-2).

Bölgeye adını veren Marmara Denizi, 11.500 km² lik alana sahiptir. Karadeniz ile Marmara Denizi' ni birbirine bağlayan İstanbul Boğazı 32 km uzunluğunda, Ege Denizi ile Marmara Denizi' ni birbirine bağlayan Çanakkale Boğazı da 62 km uzunluğunda olup, her iki boğaz birlikte Türk Boğazları olarak adlandırılmaktadır(Url-3). Marmara Denizi' nde İzmit, Gemlik ve Bandırma Körfezleri bulunmaktadır.

Marmara Denizi ve Türk Boğazlarında İstanbul Bölge Müdürlüğü' nün Ambarlı, İstanbul, İzmit, Silivri, Tekirdağ, Tuzla ve Yalova Liman Başkanlıklarına bağlı toplam 66 adet liman tesisi bulunmaktadır (Url-4).

İstanbul ve Çanakkale Boğazları gemi geçiş istatistikleri Çizelge 2.2' de görülmektedir.

Çizelge 2.2 : Türk Boğazları gemi geçiş istatistikleri (Url-5).

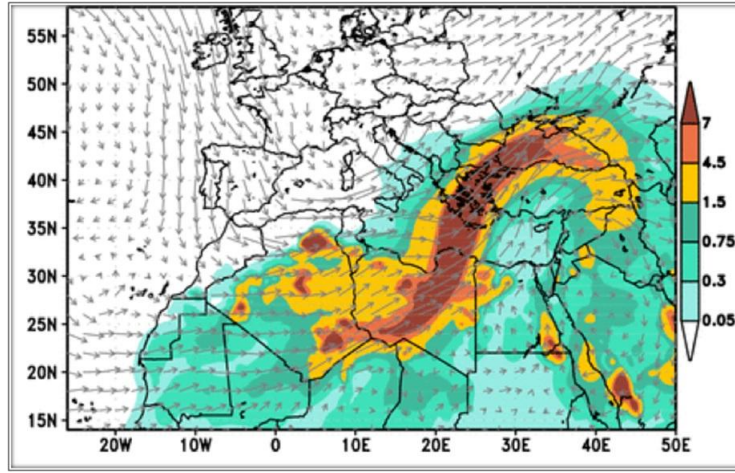
Yıl	İstanbul Boğazı			Çanakkale Boğazı			Türk Boğazları Toplamı
	Uğraklı	Uğraksız	Toplam	Uğraklı	Uğraksız	Toplam	
1996	26,191	23,761	49,952	11,931	23,554	35,485	85,437
1997	26,672	24,270	50,942	11,875	24,668	36,543	87,485
1998	24,743	24,561	49,304	13,640	25,137	38,777	88,081
1999	21,583	26,323	47,906	13,682	26,900	40,582	88,488
2000	21,221	26,858	48,079	14,712	26,849	41,561	89,640
2001	16,524	26,113	42,637	12,806	26,443	39,249	81,886
2002	17,879	29,404	47,283	13,069	29,600	42,669	89,952
2003	17,988	28,951	46,939	13,528	29,120	42,648	89,587
2004	20,308	34,256	54,564	12,298	36,123	48,421	102,985
2005	20,683	34,111	54,794	14,690	34,387	49,077	103,871
2006	22,997	31,883	54,880	16,854	32,061	48,915	103,795
2007	24,784	31,822	56,606	17,932	31,982	49,914	106,520
2008	22,634	31,762	54,396	16,997	31,981	48,978	103,374
2009	19,125	32,297	51,422	16,894	32,559	49,453	100,875

Tablo da görüldüğü üzere, Türk Boğazları' na gelen toplam gemi sayısı 14 yılda %18 artış göstermiş, bu artış ekonomik krizin görüldüğü 2001 yılı ve 2007 den günümüze kesintiye uğramıştır.

1996-2009 yılları arasında Türk Boğazlarından geçiş yapan gemilerin % 53,7 si İstanbul Boğazı' nı kullanmıştır. İstanbul Boğazı' ndan geçiş yapan gemilerin % 57 si , Çanakkale Boğazı' ndan geçiş yapan gemilerin ise % 67' si uğraksız geçiş yapmıştır.

Kındap vd. (2006), İstanbul' daki PM10 emisyon konsantrasyonuna Avrupa' dan gelen taşınımların etkisini inceledikleri çalışmada, Avrupa' daki emisyon değerlerinin %50 azaltılması durumunda, İstanbul' daki PM10 konsantrasyonunun %26 azaldığı, dolayısıyla, İstanbul' daki PM10 konsantrasyonunun yarısının Avrupa kaynaklı olduğu sonucuna varmışlardır.

Doğal ve insan kaynaklı kirleticilerin bölgeler arası taşınımları, bu bölgelerdeki kirlilik kaynakları kadar önemlidir (Kanakidou vd., 2011). Marmara Bölgesi, meteorolojik olarak bir geçiş bölgesi özelliği göstermekte, hakim rüzgar yönü kuzeyli rüzgarlar olmaktadır. Ancak zaman zaman esen Lodos, çok yoğun şekilde sahra çöllerindeki kumların Marmara Denizi ve Türk Boğazları' na ulaşmasına sebep olmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : Marmara Bölgesi' ne sahra kumlarının taşınımı (Kındap, 2010).

Marmara Bölgesi' nin yoğun nüfus yapısı, endüstrileşme, yoğun kara, hava ve deniz trafiğine ek olarak sahradan da taşınan kumlar neticesinde bölge özellikle PM emisyonunun zararlı etkilerine maruz kalmaktadır. Okay vd. (2002), Ağustos 1993 - Kasım 1995 yılları arasında İstanbul-Kaynarca' daki yağmur damlalarını analiz ederek, deniz kökenli olmayan SO_4^{-2} anyonu tespit etmişlerdir.

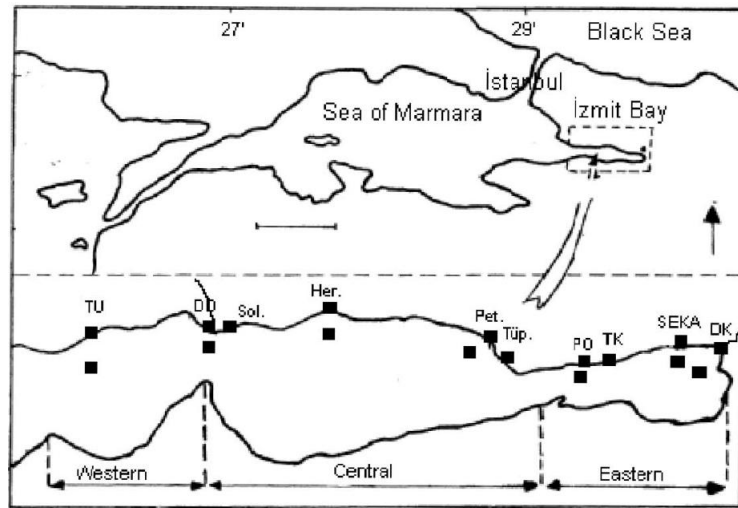
Bu anyonun fosil yakıt tüketiminden meydana geldiği, trajectory analiziyle de, yüksek sülfat ve nitrat konsantrasyonu ve düşük pH değerine sahip siklonların Orta ve Doğu Avrupa' dan taşındığını tespit etmişlerdir.

Özellikle İstanbul' un hava kirliliğinin modellendiği birçok çalışma mevcuttur (İm vd., 2008 - 2010 - 2011 - 2013; Koçak vd., 2011).

Marmara Denizi, Karadeniz ve Ege Denizi' ni birbirine bağlayan yarı kapalı bir denizdir. Aşırı kirliliğe maruz kalan Karadeniz bağlantısı, tanker kazalarından meydana gelen yakıt sızıntıları, deniz taşımacılığındaki sintine basımı, şehirlerin atıkları, endüstriyel kirlilikler, atmosferik birikimler ve nehirlerle gelen atıklar nedeniyle meydana gelen kirlilik nedeniyle, son 30 yılda deniz canlılarındaki çeşitlilik %40 azalmıştır (Kolukirik vd., 2011).

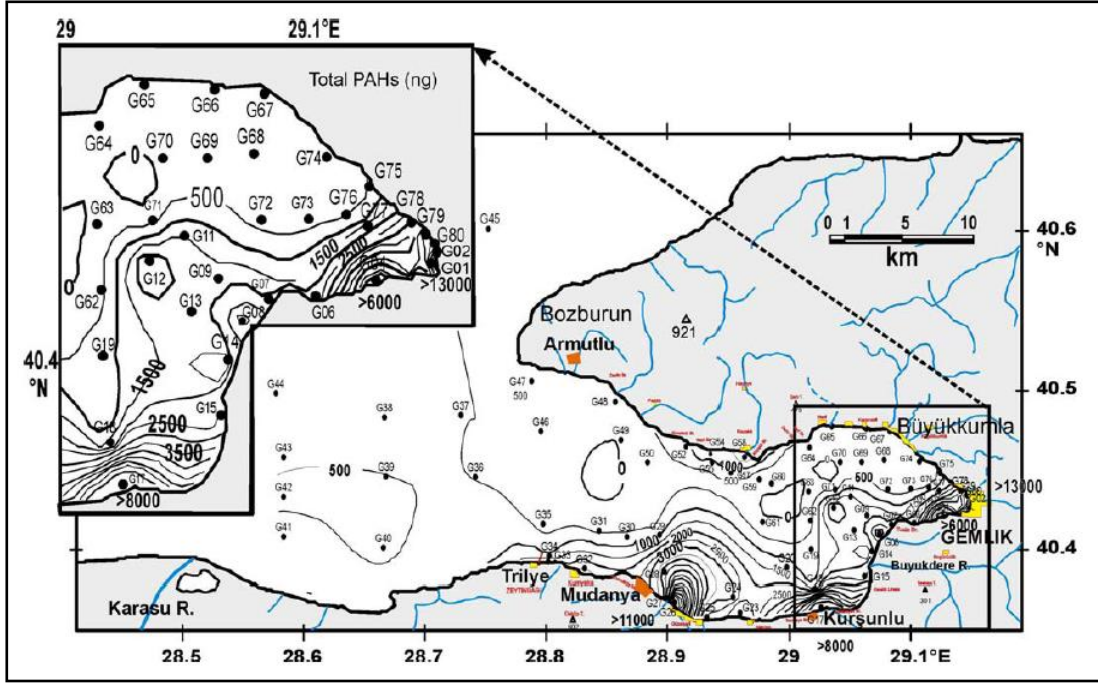
İstanbul' da günlük ortalama PM değerleri ile genel mortalite arasında ilişki tespit edilmiştir. Yine hava kirliliğinin yoğun olduğu Aralık-Ocak ayında 0-2 yaş arası çocukların astım şikayeti ile hastaneye başvuruları arasında ilişki tespit edilmiştir. Erişkinlerde de PM düzeyine göre akut solunum yolu rahatsızlıkları başvuruları arasında korelasyon bulunmuştur. Hava kalitesi değerleri ile solunum yolu rahatsızlıkları arasındaki korelasyon çalışmaları İzmir, Eskişehir, İzmit, Gaziantep, Ankara, Denizli illeri için de yapılmış ve anlamlı ilişki bulunmuştur (Bayram, 2006).

Meydana gelen hava kirliliği ve atmosferik taşınım, Marmara Denizi' nde de kirliliğe sebep olmaktadır. Karakoç vd. (2002), İzmit Körfezi' nde 1999 yılında yaptıkları PAHs ve PCB ölçümleri sonucunda, bazı yerlerdeki aşırı derişimlerin, Körfez' deki tesislere gelen ve demirleyen gemiler ile endüstriyel ve evsel atıklardan kaynaklandığını belirtmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : İzmit Körfezi' nde PAHs konsantrasyonu (Karakoç vd., 2002).

Ünlü ve Alpar (2006), Gemlik Körfezi' ndeki normalin üzerindeki PAHs konsantrasyonunun sebebinin endüstriyel yanma, atık boşaltımları ve atmosferik taşınımlardan kaynaklandığını tespit etmişlerdir (Şekil 2.5).



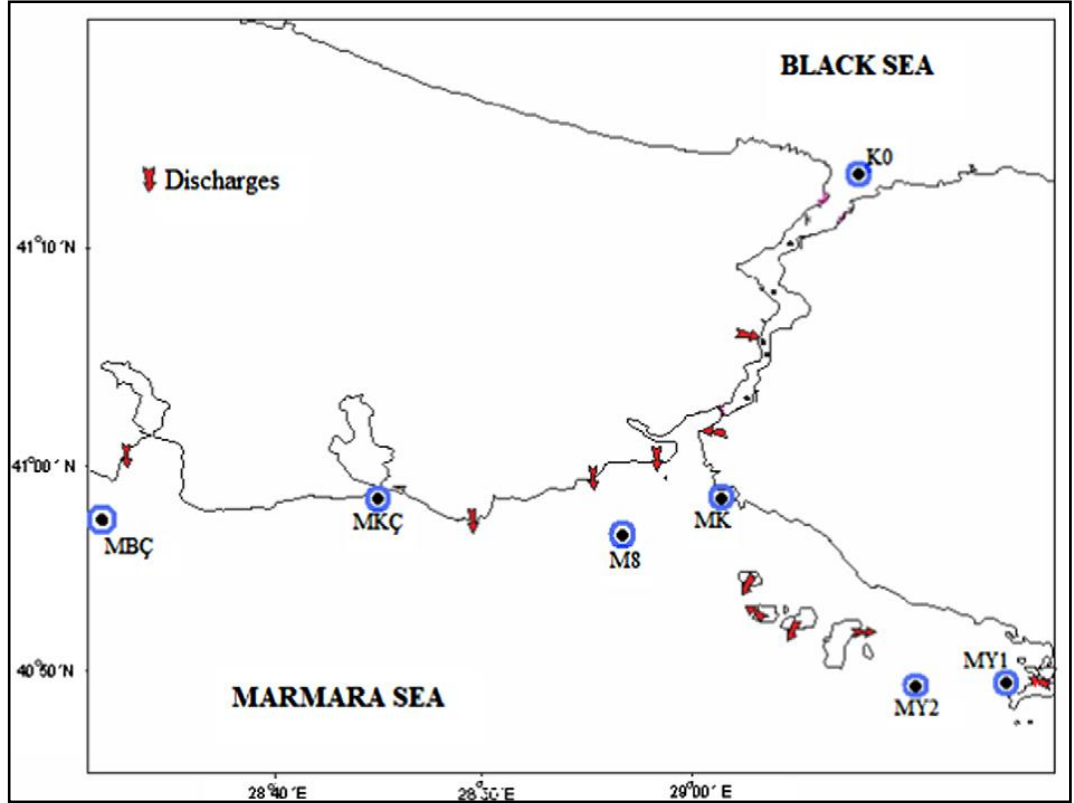
Şekil 2.5 : Gemlik Körfezi' nde PAHs konsantrasyonu (Ünlü ve Alpar, 2006).

Pekey vd. (2007), İzmit Körfezi' ndeki şehir ve endüstri bölgelerinden kuru ve yağ birikimlerindeki 16 çeşit PAH bileşimini incelemişler, trafik, nüfus yerleşimi ve endüstrileşmenin PAH konsantrasyonunun yüksek olmasına sebep olduğunu, kış sezonundaki miktarın, yaz sezonuna oranla 1.5 ila 2.5 kat daha fazla olduğu sonucuna varmışlardır.

Tağıl (2007), Balıkesir' de 2000-2005 yılları arasında solunum yolu rahatsızlıkları sebebiyle hastanelere yapılan başvurular ile il merkezindeki tüm mahallelerin topoğrafyasına bağlı mikro iklim şartları ve SO₂ ve PM kirlilik düzeyleri arasındaki ilişkiyi incelemiş ve aralarında anlamlı korelasyon bulmuştur.

Taşkın vd. (2011), Marmara Denizi' nin 7 farklı noktasında kanserojen, mutajen ve endokrin hastalıklara sebep olan Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) için örnekleme olarak analiz etmişlerdir (Şekil 2.6).

PAHs, doğal (tam olmayan yüksek sıcaklıktaki yanma) ve insan kaynaklı (yanma, araç emisyonları, biyokütle yakılması vb) olarak ortaya çıkmakta, atmosferik taşınım ve birikimlerle çevreye nüfuz etmektedir. Taşkın vd. (2011), Marmara Denizi' ndeki yüksek PAHs seviyesinden, Karadeniz' den gelen akıntı, yüksek oranda şehirleşme ve yoğun deniz trafiğinin sorumlu olduğunu belirtmişlerdir.



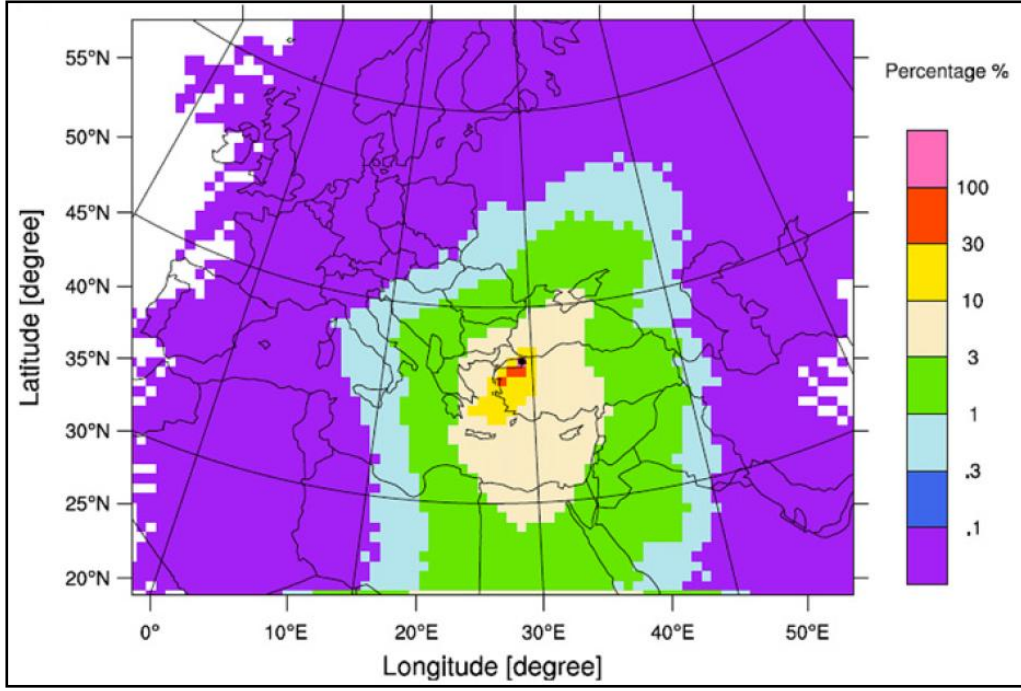
Şekil 2.6 : PAH örneklem noktaları (Taşkın vd., 2011).

En yüksek PAHs seviyelerinin de, Tuzla Tersaneler Bölgesi civarındaki MY1 ve MY2 noktaları ile, İstanbul Boğazı gemi trafiğine maruz kalan Moda açıklarındaki MK noktasında gerçekleştiğini ifade etmişlerdir.

Unal vd., 2011 yılındaki çalışmalarında, emisyon kaynakları ve meteorolojik şartların, İstanbul' da meydana gelen PM10 konsantrasyonu üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada, PM10 konsantrasyonunun endüstriyel alanlarda ve araç trafiğinin yoğun olduğu bölgelerde Avrupa Birliği (EC) hava kalitesi sınır değerlerini aştığı, zamansal dağılım açısından da, kış aylarında yüksek, yaz aylarında düşük miktarlarda konsantrasyonların oluştuğu tespit edilmiştir.

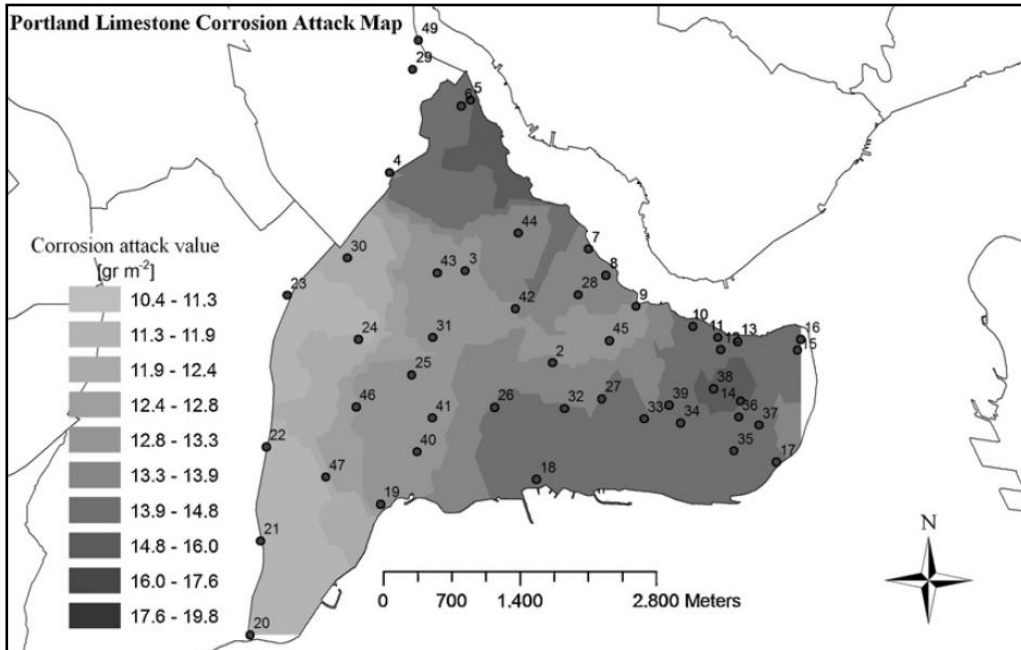
Ozkurt vd. (2013), 2007 - 2008 yılları için, Çan-Bayramiç bölgesinde SO₂ ve NO₂ emisyonlarının hava kalitesine etkilerini Calpuff modeli ile incelemişler, model sonuçlarının doğrulamasını da bölgedeki 10 adet hava kalitesi istasyonu verilerini kullanarak yapmışlardır.

Şekil 2.7' de gösterildiği üzere, İstanbul' da meydana gelen kirlilik, atmosferik taşınımlarla Doğu Akdeniz' e ihraç edilmektedir (Kanakidou vd., 2011).



Şekil 2.7 : İstanbul' daki hava kirliliğinin taşınımı (Kanakidou vd., 2011).

Hava kirliliğinin önemli etkilerinden bir tanesi de, kültürel miras olan tarihi eserler üzerinde yaptığı korozyon ve tahribattır. SO_2 , NO_x , PM ve O_3 kirleticilerin aşındırıcı etkileri bilinmektedir. Karaca (2013), İstanbul' daki tarihi yarımada da bulunan 50 adet hava kalitesi izleme istasyonu verilerini kullanarak kireçtaşı, çelik, bakır ve bronz malzemeler üzerindeki aşınma miktarını tahmin etmiştir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 : Hava kirliliğinin İstanbul' daki etkileri (Karaca, 2013).

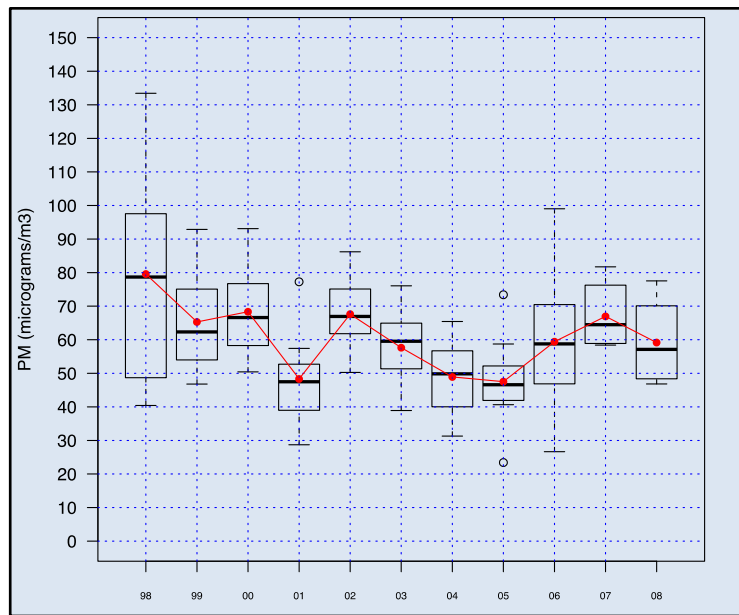
Karaca (2013), en önemli kirliliğin yarımada'nın ucunda ve Atatürk (Unkapanı) Köprüsü civarında meydana geldiğini tespit etmiştir.

Marmara Bölgesi' ndeki hava kirliliğini takip etmek amacıyla TC Çevre ve Orman Bakanlığı Hava Kalitesi İzleme Ağı kapsamında kurulmuş olan istasyonlar bulunmaktadır. Hava kalitesini belirlemek üzere kullanılan hava kalitesi indeksi Çizelge 2.3' te gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 : Hava Kalitesi İndeksi (Url-21).

	SO ₂	NO ₂	CO	O ₃	PM ₁₀
	(1saat)	(24saat)	(24saat)	(1 saat)	(24 saat)
	(µg / m ³)	(µg / m ³)	(mg / m ³)	(µg / m ³)	(µg / m ³)
1 (Çok iyi)	0 -50	0 - 45	0 - 2.9	0 - 35	0 - 55
2 (İyi)	51-199	46 - 89	3 - 8.9	36 - 89	56 - 109
3 (Yeterli)	200 - 399	90 - 179	9 - 15.9	90 - 179	110 - 159
4 (Orta)	400 - 899	180 - 289	16 - 21.9	180 - 239	160 - 219
5 (Kötü)	900 - 1499	300 - 699	22 - 49.9	240 -359	220 - 799
6 (Çok Kötü)	> 1500	> 700	> 50	> 360	> 800

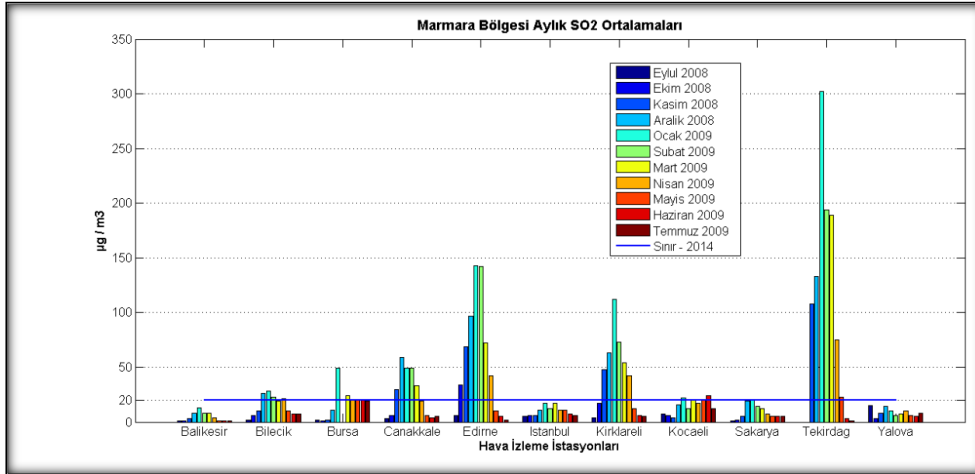
Yıllar itibariyle İstanbul' un PM verilerinin yıllık dağılımları Şekil 2.9' da gösterilmektedir. Özellikle doğal gaz kullanımının yaygınlaşmasından sonra, PM konsantrasyonlarında bir düşüş yaşandığı söylenebilir.



Şekil 2.9 : İstanbul PM derişimi (Hava Kalitesi İzleme).

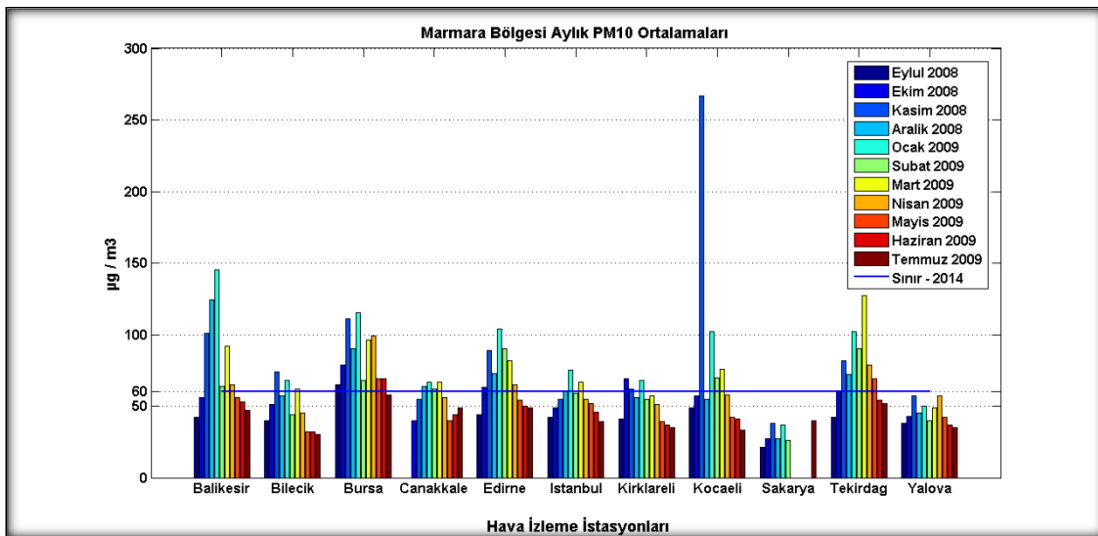
Emisyon envanter çalışmasının yapıldığı tarihler arasında iller bazında SO₂ ve PM konsantrasyonlarının saatlik ortalamalarından elde edilmiş aylık ortalama değerleri ile 2014 yılında ulaşılması hedeflenen ve Avrupa Birliği sınır değerleri Şekil 2.10 ve Şekil 2.11’ de gösterilmektedir (Url-21, TCCOB).

İllere ait istasyonlarda SO₂ ve PM₁₀ haricinde bu tarihler arasında başka bir kirlleticiye ait derişim değerleri bulunmamaktadır.



Şekil 2.10 : Marmara Bölgesi SO₂ aylık derişimleri (µg / m³).

Aylık kükürt ve partikül madde kirliliği evsel ısınmaya bağlı olarak kış aylarında artmaktadır. Kükürtdioksit açısından Marmara’ daki en yüksek değerler Tekirdağ’ da meydana gelirken; Balıkesir, Bursa, Edirne, Kocaeli ve Tekirdağ’ daki PM konsantrasyonları kış aylarında AB’ nin öngördüğü uzun dönemli sınır değerlerin üzerine çıkmaktadır.



Şekil 2.11 : Marmara Bölgesi PM10 aylık derişimleri (µg / m³).

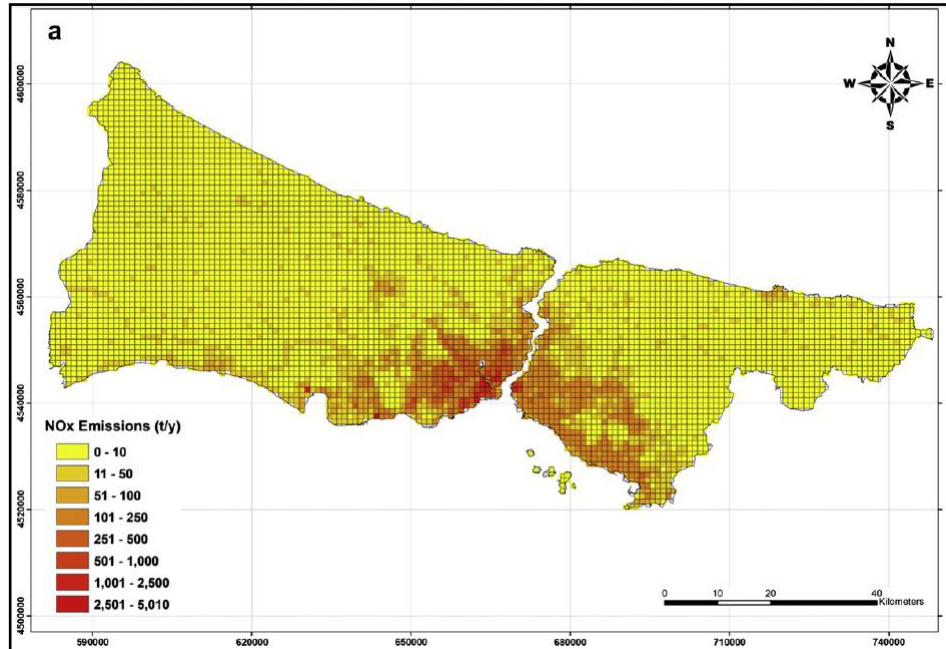
Elbir (2010), 2007 yılına ait verilerle İstanbul' daki endüstri, evsel ısınma ve trafik kaynaklı emisyonları hesaplamıştır (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4 : İstanbul yıllık emisyon miktarları (t/y) (Elbir, 2010).

	Emisyonlar				
	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	NMVOC	CO
Endüstri	7,630	58,468	9,394	117	1,714
Evsel Isınma	13,631	10,983	7,014	18,351	123,510
Trafik	5,200	1,016	138,000	38,500	270,000
Toplam	26,461	70,467	154,408	56,968	395,224

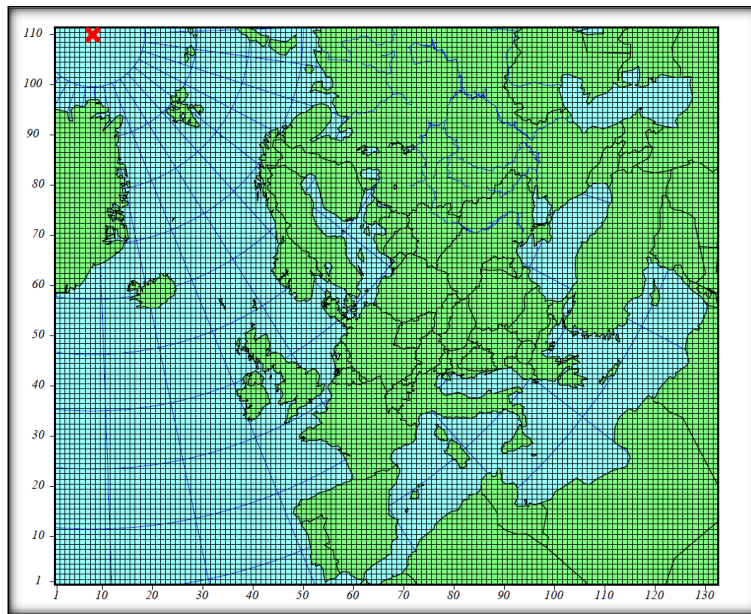
Buna göre SO₂ emisyonu büyük oranda endüstriden kaynaklanırken, NO_x ve CO emisyonları çok büyük oranda kara trafiğinden kaynaklanmaktadır. PM₁₀ emisyonunun en önemli kaynağı evsel ısınma olarak görülmektedir. NMVOC emisyonunun ise trafik ve evsel ısınma kaynaklı olduğu belirtilmektedir. Şekil 2.12' de, İstanbul' daki toplam NO_x emisyonu miktarı gösterilmektedir.

Emisyon toplamalarına bakıldığında da, CO emisyonunun çok yüksek olduğu tahmin edilmektedir.



Şekil 2.12 : İstanbul' daki NO_x emisyonu (Elbir vd., 2010).

Kirleticileri sektörel kaynaklarına göre ayıran ve bunların envanter çalışmalarını tutan en önemli kaynaklardan birisi, Avrupa Çevre Ajansı (EEA) tarafından basılan EMEP Guidebook (2013)' dur. Bu rapor, 1992 yılından itibaren Long Range Transboundary Air Pollution (LRTAP) konvansiyonu kapsamında Avrupa' daki emisyonları tutmaktadır. Hava kirliliği ile ilgili envanter çalışmaları, kirletici kaynakların sektörlerine göre yapılmaktadır. Avrupa' da meydana gelen emisyonlarla ilgili çalışan farklı kuruluşlar yayınladıkları raporlarla sektörlere göre meydana gelen emisyon miktarlarını yayınlamaktadır. EMEP, ülkelerarası hava kirliliği sorununu çözmek için oluşturulmuş uluslararası CLRTAP sözleşmesi ile oluşturulmuş bilimsel temelli bir programdır. Bu program çerçevesinde, ülkeler kendilerine ait sektörlerdeki farklı emisyon envanterlerini EMEP' e sunarlar. EMEP' te, yıllık olarak sektörlerle göre gridlenmiş envanter raporlarını yayınlamaktadır. Türkiye, 2009 yılı EMEP raporunda, 1990 yılı için tüm sektörlerden meydana gelen ulusal emisyon miktarlarını 644 kton NO_x, 463 kton NMVOC, 765 kton SO_x, 3.6 Mton CO olarak bildirmiş olup, aynı raporda geçen 2007 yılı için emisyonlarını bildirmemiştir (EMEP 2009). EMEP' in 2012 tarihli raporuna göre; Türkiye SO_x, NO_x, NH₃, NMVOC kirletici türleri için 2010 tarihinde bildirimde bulunmuştur (EMEP 2012). Rapora göre kişi başına yılda 14.9 kg NO_x, 9.9 kg NMVOC, 22.8 kg SO_x, 7.1 kg NH₃ emisyonu meydana geldiği bildirilmektedir. EMEP tarafından Avrupa' daki ülkeler için 11 ayrı sektörde yıllık emisyon miktarları tespit edilmektedir. EMEP' in kullandığı grid sistemi Şekil 2.13' te gösterilmiştir.



Şekil 2.13 : EMEP grid sistemi (EMEP).

Marmara Bölgesi' ndeki hava kirliliği kaynakları, EMEP/Corinair' in kullandığı gruplandırmaya benzer şekilde bu bölümde incelenmiştir. Çizelge 2.5' te, tüm alt sektörler gösterilmemiştir. Ancak, emisyon envanterinin sistematik yapısı görülmektedir.

Çizelge 2.5 : EMEP/Corinair' e göre hava kirliliği kaynakları.

Ana Sektör	İşlem	Yer	Alt Grup	Envanter Kodu
(1) Enerji	(A) Yanma	(1) Enerji Tesisleri		1.A.1
		(2) Üretim ve İnşaat		1.A.2
		(3) Ulaştırma	(a) Havayolu	1.A.3.a
			(b) Karayolu	1.A.3.b.i-iv
			(c) Demiryolu	1.A.3.c
			(d) Denizyolu	1.A.3.d
		(4) Küçük Yanma	(a) Kurumsal	1.A.4.a
			(b) Evsel	1.A.4.b
		(B) Yakıt Kaçakları		

Ülkelerin verdiği raporlara göre bu envanterler tutulmaktadır. Ülkelerin verdiği emisyon raporlarının doğruluğu tartışma konusudur. Pozzoli vd. (2010), Doğu Akdeniz bölgesinde 2005 yılında CORINAIR' de tanımlanan 10 farklı insan kaynaklı kirlletici sektöründen meydana gelen gaz (CO, NO_x, SO_x, NMVOC, NH₃) ve partikül (PM_{2.5}, PM₁₀) emisyon miktarlarını farklı envanterlere (EMEP, INERIS/EMEP, TNO/MACC) göre değerlendirmiştir. Bu çalışmaya göre, NO₂ emisyonu için, mevcut envanter verilerinin, OMI Uydu gözlemlerinin çok altında olduğu belirtilmektedir.

Marmara Bölgesi için bugüne kadar yapılmış yeterli sayıda detaylı envanter çalışması bulunmamaktadır. Ancak, bundan sonraki bölümlerde, EMEP envanter sistemine bağlı olarak Marmara Bölgesi için şimdiye kadar yapılmış bulunan envanter sonuçları değerlendirilecektir.

2.1 Enerji.

Birleşmiş Milletler' in projeksiyonlarına göre, dünya nüfusunun %60' ının şehirlerde yaşayacağı tahmin edilmektedir. Şehirler dünya yüzölçümünün %2' sini oluştururken, dünya enerji tüketiminin %75' i şehirlerde gerçekleşmektedir (Muneer vd., 2011).

Türkiye, enerji ihtiyacının %70' ini ithal eden bir ülke olup, ihracat gelirlerinin %40-50' sini ham petrol ve doğal gaz alımları için kullanmaktadır (Celik, 2011).

Kaygusuz (2009), 1990 yılından beri Türkiye' nin elektrik enerjisi tüketiminin %4.3 oranında arttığını, 2004' te ülkenin yıllık CO₂ emisyonunun 193 milyon ton olduğunu, dünyadaki fosil yakıt kaynaklı CO₂ emisyonunun %30-40' ının kömür yakılmasından oluştuğunu belirtmiştir.

2.1.1 Ulaştırma

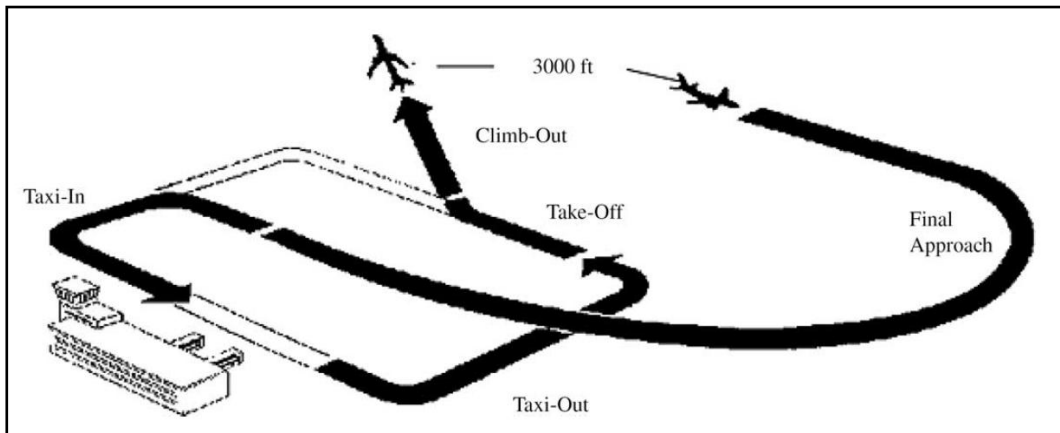
Ulaştırma sektörü kendi alt gruplarına ayrılmış durumdadır. Taşımacılık modlarının yanısıra, boru hatları ile yapılan iletim de ulaştırma kapsamındadır. Türkiye' nin sera gazı salınımının %16' sından ulaştırma sektörü sorumludur (Altay vd., 2011).

2.1.1.1 Havayolu

Marmara Bölgesi' nde havayolu kaynaklı emisyonlarla ilgili çalışma, Kesgin (2006)' e aittir.

Atatürk Havaalanı' nın da içinde bulunduğu 40 adet havaalanında Landing and Take Off (LTO) süresince meydana gelen emisyonları hesaplamıştır.

ICAO, LTO sürecini approach, landing, taxi in, taxi out, take off ve climb modlarının toplamı olarak tanımlamıştır. Climb modu, uçağın take off modunun sonundan yaklaşık 3000 ft olarak kabul edilen Atmospheric Boundary Layer (ABL)' e çıktığı zaman aralığı olarak kabul edilmektedir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14 : LTO cycle (Kesgin, 2006).

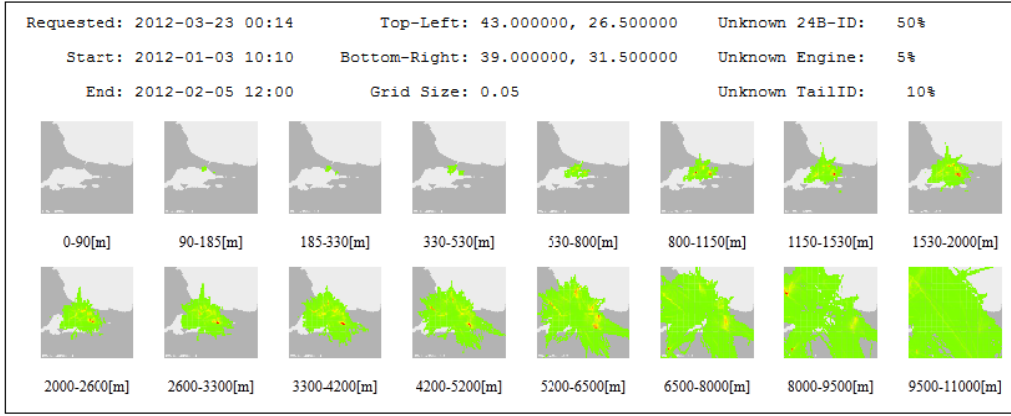
Atatürk Havaalanı, 2001 yılında kapasitesinin %46' sını kullanmıştır. Bunun sonucunda LTO süresince uçaklardan ortalama olarak yıllık toplam 1.3 kt NO_x, 0.1 kt SO₂, 2.2 kt CO ve 0.4 kt HC emisyonu meydana gelmiştir. Bu emisyon miktarları, tüm Türkiye' deki uçak emisyonlarının yaklaşık olarak %50' sini oluşturmaktadır.

Evirgen vd. (2012), yılda 37 milyondan fazla yolcunun uğradığı Türkiye' nin en yoğun havaalanı olan Atatürk Uluslararası Havaalanı' nda uçaklardan meydana gelen emisyonları hesaplamışlardır. Uçakların uçuş verileri ile ilgili verileri havaalanı civarında bulunan Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) alıcısından elde etmişlerdir (Şekil 2.15). Havaalanı kaynaklı trafik emisyonlarını Ocak 2011 için sırasıyla 728.4 t/m CO, 103 t/m VOC, 370.4 t/m NO_x, 13.9 t/m PM10 ve 25545.6 t/m CO₂ olarak tahmin etmişlerdir. Uçakların uçuş yüksekliklerine göre meydana gelen emisyon miktarları da değişmektedir (Şekil 2.16).



Şekil 2.15 : Uçaklardan meydana gelen HC emisyonu (Evirgen vd., 2012).

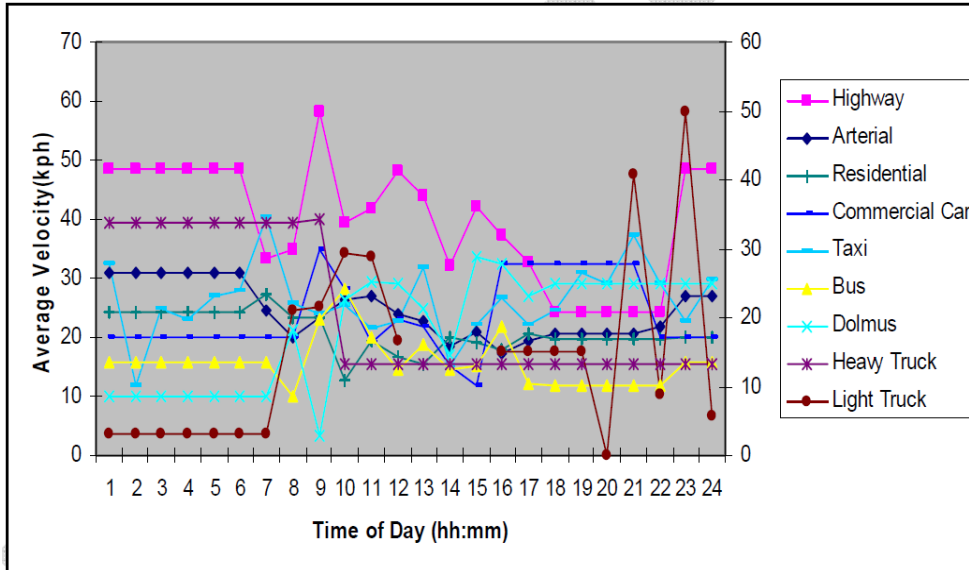
Yer hizmetlerinde bulunan ekipmanların oluşturduğu emisyonlar da 2011 yılı için toplam 173.54 t/y NO_x, 37.9 t/y HC, 59.51 t/y CO, 20.52 t/y PM10 and 11347 t/y CO₂ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.16 : Yüksekliğe bağlı uçak emisyonları (Evirgen vd., 2012).

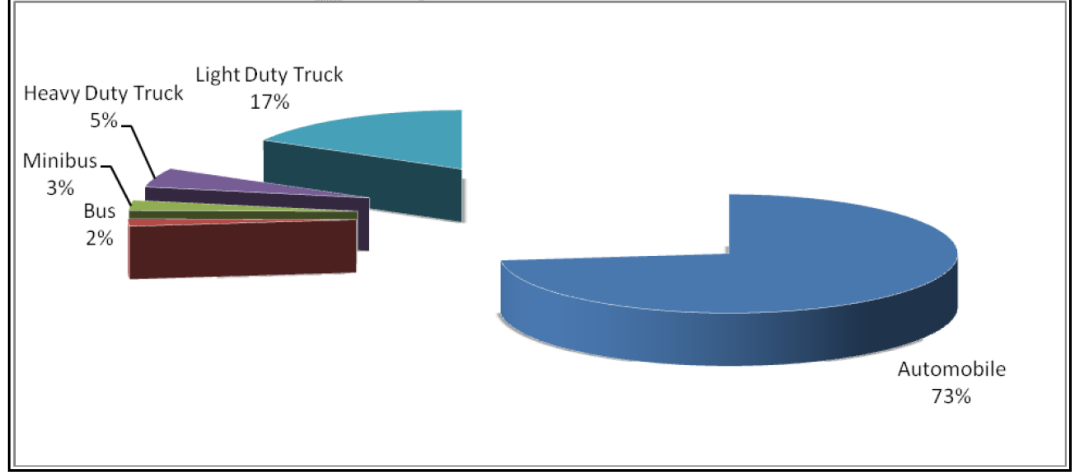
2.1.1.2 Karayolu

İstanbul' da karayolundan kaynaklanan emisyonlar hakkında en kapsamlı çalışma World Research Institute (WRI)' ın kuruluşu olan EMBARQ adına Unal vd. (2007) tarafından yapılmıştır. Karayolu araçlarından meydana gelen kirlilik miktarı, aracın türüne, yakıtına (benzin, mazot, LPG vs.), yakıt içindeki kükürt ve kurşun gibi bileşenlere, gidilen mesafeye, gerçekte var olan araç trafiğine, sürücü davranışına ve sürüş şartlarındaki emisyon faktörlerine bağlıdır. Bu amaçla 3 hafta boyunca bu parametreleri belirlemek için seyyar emisyon ölçüm cihazı ile gözlem ve ölçümler yapılmıştır. Ayrıca aracın hız ve konumu da GPS sistemi ile kayıt altına alınmıştır. Ayrıca sıcaklık ve nem ölçümleri de yapılmıştır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 : İstanbul' daki araçların ortalama hızları (Unal vd., 2006).

Ölçülen emisyon faktörlerinin EPA tarafından geliştirilen International Vehicle Emissions (IVE) daha farklı olduğu, eksik yanma ürün olan CO ve total Hydrocarbon (THC) faktörlerinin daha fazla olduğu görülmüştür. Mayıs 2006 verilerine göre, Türkiye' de 2.8 milyon araç bulunduğu, bunların 2.3 milyon adedinin İstanbul' da kayıtlı olduğu bildirilmiştir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 : İstanbul' daki araç dağılımı (Emniyet Genel Müdürlüğü, 2006).

Karayolu araçlarından İstanbul' da günde 45 ton PM, 1168 ton NO_x, 855 ton VOC, 8215 ton CO emisyonu meydana geldiği tahmin edilmiştir.

2.1.1.3 Demiryolu

Türkiye' deki demiryolu taşımacılığı ile ilgili çalışma Dincer ve Elbir (2007) tarafından yapılmıştır. Çalışmada önemli kirleticilerin emisyonları 2000-2005 yılları arasında meydana gelen demiryolu trafik verileri kullanılarak tahmin edilmiştir.

Dincer ve Elbir (2007), Türkiye' de 2005 yılında demiryolu araçlarından kaynaklanan emisyon miktarını 6.8 kt NO_x, 0.4 kt SO₂, 1.0 kt CO, 383.5 kt CO₂, 0.4 kt HC ve 67.3 kt PM olarak hesaplamışlardır.

2.1.1.4 Denizyolu

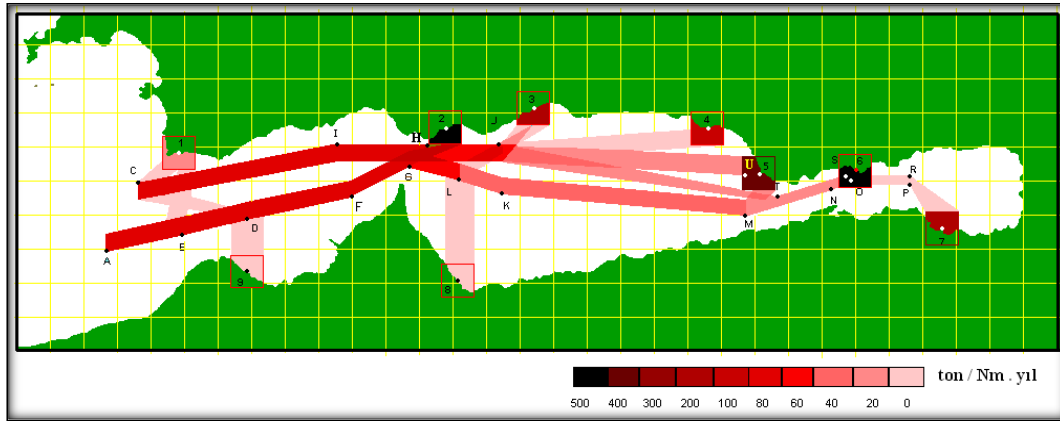
Marmara Denizi bir iç deniz olması, çok sayıda limana, İzmit Körfezi' ne, Türk Boğazlarına, hayli yoğun uğraksız, uğraklı geçiş yapan ticaret gemileri ve iç hat gemileri ile yoğun sanayi ve yerleşime sahip olmasıyla gemi hareketlerinden kaynaklanan egzoz emisyonlarından aşırı şekilde etkilenmektedir.

Kesgin (2001), Türk Boğazlarında gemilerden kaynaklanan emisyon miktarlarını hesaplamıştır. İstanbul Boğazı' nda uğraksız gemiler ile boğazdaki şehirhatları vapurlarının emisyonlarını 7,064 ton NO_x, 343,853 ton CO₂, 145 ton PM, Çanakkale Boğazı' nda da sadece uğraksız geçen gemi emisyonlarını da 8,461 ton NO_x, 337,590 ton CO₂, 128 ton PM olarak tahmin etmiştir.

Deniz (2008), Türk Boğazları' ndaki yıllık gemi geçiş istatistiklerini kullanarak Marmara Denizi' ndeki gemi emisyonlarını 111 bin ton NO_x, 87 bin ton SO₂ , 20 bin ton CO, 5.45 milyon ton CO₂ , 5.8 bin ton VOC, 4.8 bin ton PM olarak tahmin etmiştir.

Kılıç (2010, a), İzmit Körfezi' ndeki 37 adet kıyı tesisine 2005 yılında gelen toplam 11,645 adet gemiden kaynaklanan NO_x, SO₂, CO₂, HC ve PM emisyonlarını sırasıyla 5356 t, 4305 t, 254261 t, 232 t ve 487 t olarak hesaplamış ve bölgedeki dağılımlarını 1 x 1 Nm² lik gridlerde elde etmiştir (Şekil 2.19).

İzmit Körfezi' nde en yoğun emisyonların Diliskelesi, Derince ve Tüpraş kıyı tesisleri ile tüm gemilerin seyirde kullandıkları körfez girişinde meydana geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 2.19 : İzmit Körfezi NO_x emisyon miktarı (Kılıç, 2010 a).

İstanbul Boğazı' nda uğraksız gemilerden kaynaklanan emisyon miktarının toplam boğaz emisyonlarına oranı bu kirleticiler için sırasıyla %61, %50 ve %45 olduğu, Çanakkale Boğaz emisyonlarının da Türk Boğazları emisyon toplamının %66' sını oluşturduğunu belirtmiştir.

Deniz (2010, a), Ambarlı tesislerine 2005 yılında gelen toplam 5432 adet geminin liman bölgesinde meydana getirdiği yıllık emisyon miktarını 845 t NO_x, 242 t SO₂, 78590 t CO₂ ve 36 t PM olarak tahmin etmiştir.

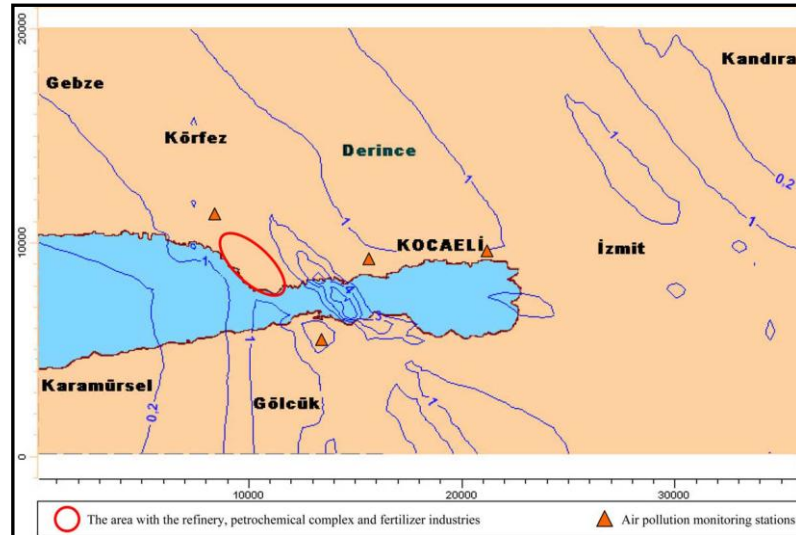
Deniz (2010, b), Çandarlı Körfezi' ndeki Aliğa ve Nemrut' ta bulunan kıyı tesislerine 2007 yılında gelen 7520 gemiden kaynaklanan emisyonları 613 t NO_x, 574 t SO₂, 33849 t CO₂, 32.3 t HC ve 57.4 t PM olarak tahmin etmiştir.

Saraçoğlu (2010), İzmir Limanı' na uğrayan 2803 adet geminin Körfez sınırları içinde meydana getirdiği emisyon miktarını 1923 t NO_x, 1405 t SO₂, 82753 t CO₂, 74 t HC ve 165 t PM olarak tahmin etmiştir.

2.2 Endüstriyel İşlemler ve Ürün Kullanımları

Marmara Bölgesi' nde bulunan Kocaeli, Türkiye' nin en fazla endüstrileşmiş bölgesidir. Burada bulunan çok sayıdaki endüstri tesislerinde yeteri kadar kontrol edilmeyen yakıtlar kullanılan kazanlar bulunmaktadır.

Karademir (2006), Kocaeli civarındaki endüstriyel tesislerden yapılan baca gazı ölçüm verilerini kullanarak elde ettiği emisyon faktörlerini Gaussian dispersion model kullanarak analiz etmiş ve mevcut meteorolojik şartlar altında meydana gelen NO₂ derişimini tahmin etmiştir (Şekil 2.20).

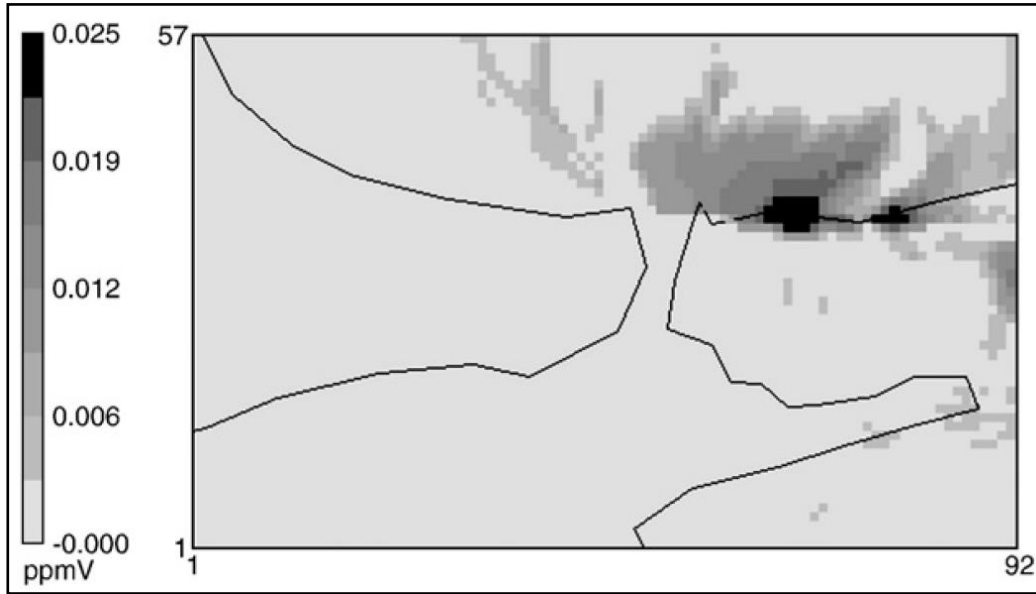


Şekil 2.20 : Endüstriyel tesislerin oluşturduğu NO₂ derişimi (Karademir, 2006).

2.3 Tarım

NH_3 , doğal ekosistemlerde asitlenmeye ve ötrofikasyona sebep olmaktadır. Ayrıca, ikincil kirletici olarak PM oluşturmaktadır. NO ve NMVOCs, ozon oluşumunda etkindir. Tüm bu kirleticiler, tarım sektöründe meydana gelmektedir.

İm vd. (2011), MM5 ve CMAQ modelleri ile 2008 Haziran ayında İstanbul' da meydana gelen ozonu tahmin etmişlerdir (Şekil 2.21). Çalışmada, biyogenik NMVOCs emisyonu miktarının insan kaynaklı NMVOCs kadar fazla olduğunu ve biyogenik NMVOCs nin ozon derişimini 25 ppb arttırdığını tespit etmişlerdir.



Şekil 2.21 : Biyogenik NMVOCs nin ozon derişimine etkileri (İm vd., 2008).

2.4 Atıklar

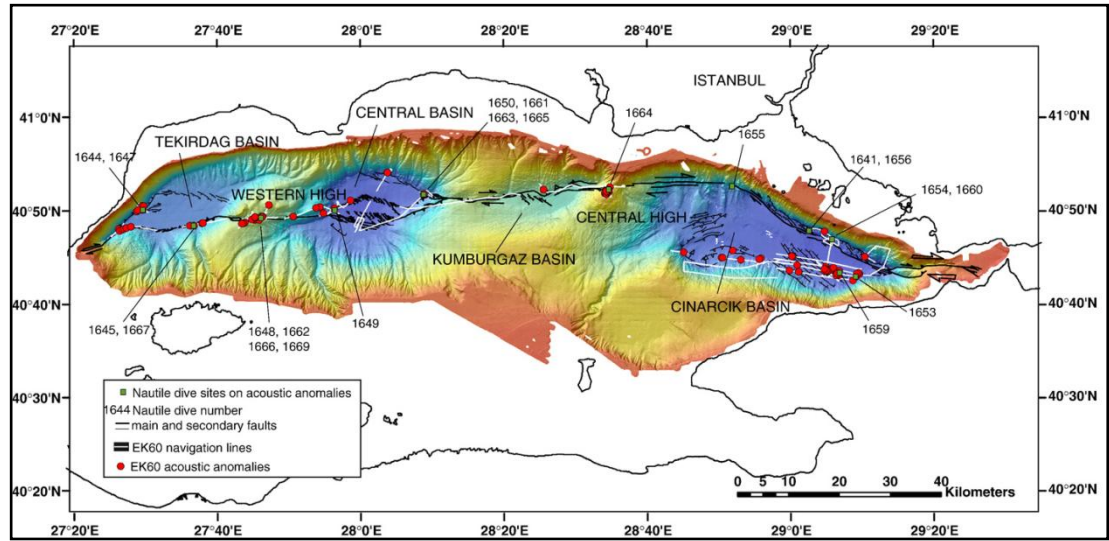
Biyolojik atık işleme, katı atıkların yok edilmesi, atıkların gübreye dönüştürülmesi, biyogaz tesislerinde oksijensiz çürütme, insineratörlerde atıkların yakılması gibi işlemlerden meydana gelen emisyonlardır.

Atıkların imhası sırasında daha çok CH_4 , CO_2 ve N_2O gibi GHG gazları meydana gelmektedir. Az miktarda da; NMVOCs, NO_x , NH_3 ve CO da oluşmaktadır. Organik atıkların gübreye dönüşümünde de az miktarda NH_3 meydana gelmektedir.

Atıkların yakılması sırasında ise; önemli miktarda polychlorinated dibenzo-dioxins ve polychlorinated dibenzo-furans PCDD/Fs, diğer Persistent Organic Pollutants (POPs), kadmiyum (Cd) ve civa (Hg) gibi ağır metaller meydana gelmektedir.

2.5 Doğal Kaynaklar

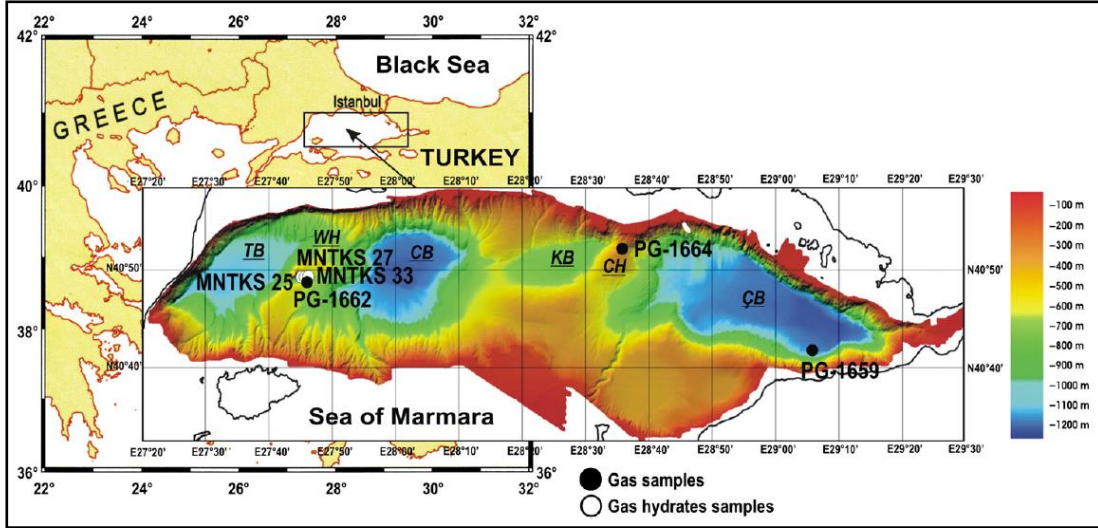
Marmara Denizi tabanıyla ilgili bir çalışmayı Géli vd. (2008) yapmışlar ve özellikle fay hatları civarında düzensiz gaz emisyonları tespit etmişlerdir (Şekil 2.22).



Şekil 2.22 : Marmara Denizi' nde akustik anomali (Géli, 2008).

Bourry vd. (2009), 2007 yılının Mayıs ve Haziran aylarında Marmara Denizi' ndeki fay hatlarında (batı, orta ve doğudaki Çınarcık mevkieinde) çalışma yapmıştır (Şekil 2.23).

Marnaut gemisi ile yaptıkları ölçümlerde deniz tabanından gaz çıkışları tespit etmişler, çıkan bu gazların %66.1' ini de metan gazının oluşturduğunu belirlemişlerdir.



Şekil 2.23 : Marmara Denizi' nde hidrat gaz örnekleme (Bourry, 2009).

Günindi ve Tasdemir (2010), Mudanya' daki 82 türdeki polychlorinated biphenyl (PCB) seviyesini ve birikim mekanizmasını örneklem yoluyla araştırmışlardır. Mudanya' daki ortam havasındaki PCB seviyesinin, civardaki endüstri şehirlerinin (İzmit, Bursa, Bandırma, Tekirdağ, İstanbul gibi) varlığı sebebiyle yüksek olduğunu, gaz fazındaki PCB konsantrasyonunun, partikül fazından daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Bayrakçı vd (2012), BOB ve OBS cihazları kullanarak, Marmara Denizi tabanından meydana gelen gaz emisyonunu belirlemişlerdir.

Bir diğer doğal emisyon türü olarak, bitki polenlerin taşınımı sayılabilir. İstanbul' da meydana gelen polen konsantrasyonu, Ukrayna, Rusya' nın Karadeniz kıyıları ve Moldova' dan gelen taşınımlardan etkilenmektedir (Zemmer vd., 2012).

2. 6 Marmara Bölgesi Emisyon Envanterindeki Gelişmeler

Marmara Bölgesi için daha önce yapılmış hava kirliliği ile ilgili çalışmalara ek olarak, özellikle yurt dışı kaynaklı hava kirliliği meydana getiren denizcilik ve havacılık sektörlerinin emisyon envanterleri gerçeğe daha yakın olarak geliştirilmiştir.

2. 6. 1 Denizcilik Faaliyetlerinden Kaynaklanan Hava Kirliliği

Emisyon envanteri çalışmaları gemi kaynaklı emisyonlar hakkında yapılan çalışmalarda önemli bir yer tutmaktadır. Gemilerden kaynaklanan emisyonların hesaplanması için farklı metodolojiler bulunmaktadır. Envanter çalışmaları gemilerin yakıt olarak kullandığı yakıt (Bunker) miktarlarına bağlı olarak (Top Down Approach) yapıldığı gibi, gemi hareketlerine bağlı olarak (Activity Based or Bottom Up Approach) ta yapılmaktadır.

Gemilerin yakıtlarında yapılan transit ve kabotaj yakıt tarifelerindeki farklılıklar, yakıt satış rakamlarının gerçeği yansıtmaması gibi olumsuzluklar nedeniyle yakıt satış miktarlarına dayanılarak yapılan emisyon envanterleri küresel ve bölgesel ölçeklerde çok kullanılsalar da gerçek değerleri yansıtmaktan uzaktır.

Corbett (2003)' e göre, gemi hareketlerine göre tahmin edilen Dünya ticaret filosu yakıt tüketimi 289 Mt olup, bu rakam yakıt satış istatistiklerinin iki katıdır.

Gemi hareketlerinden yola çıkılarak yapılan emisyon tahminlerinde literatürde kabul görmüş ve çok sayıda gemiden yapılan ölçümler neticesinde elde edilen emisyon faktörleri kullanılmaktadır. Emisyon faktörleri gemilerin başlıca 3 farklı operasyonu olan seyir, manevra ve liman süresi operasyonlarına göre sınıflandırılmıştır.

Gemilerden kaynaklanan emisyonların oluştukları gerçek zaman ve yerin kullanıldığı aktivite bazlı emisyon tahmini gerçeğe daha yakın bir tahmin imkanı sunmaktadır. Bundan başka, oluşan emisyonların atmosferde dağılımları ile oluşan konsantrasyon etkilerinin belirlenebilmesi için de aktivite bazlı emisyon tahmini yapılmalıdır. Gemi hareketlerinin kullanıldığı aktivite bazlı emisyon tahmini ancak gemi hareketlerinin kayıtları yardımıyla yapılan yerel çalışmalarla mümkündür.

Gemi hareketlerinden yararlanılarak çalışma bölgesindeki denizcilik faaliyetleri, gemi kaynaklı emisyonların hesaplanabilmesi için Automatic Information System (AIS) verilerinden yararlanılmıştır.

Türkiye sahillerinde kurulu 25 adet baz istasyonundan oluşan Otomatik Tanımlama Sistemi (OTS) 09.07.2007 tarihi itibarıyla hizmete başlamıştır (TCBDM). AIS sisteminin standartları ITU ve IEC tarafından belirlenmiş. AIS cihazı VHF bandından 20 saniyede bir periyodik veri alan/gönderen bir ekipmandır (IMO, 2003).

TC Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı'ndan elde edilen veriler, gemilerin 2~6 saniyede bir statik ve dinamik verilerin gönderildiğini göstermektedir. AIS sistemi gemi hakkındaki bilgileri diğer gemi ve sahil birimlerine otomatik olarak iletmek üzere tasarlanmıştır. AIS sisteminin uluslararası sefer yapan 300 grt üzerindeki tüm yük gemilerine, kabotaj seferi yapan 500 grt üzerindeki yük gemilerine ve her tonajdaki yolcu gemileri için 31 Aralık 2004 tarihinden geçerli olmak üzere donatılması zorunludur (Url-6). Bu gemiler, uluslararası sözleşmelerin, kural ve standartların seyir bilgilerinin korunmasını öngördüğü durumlar dışında, AIS cihazlarını açık ve çalışır durumda bulunduracaklardır. Türkiye, 9 Temmuz 2007 tarihinde AIS sistemini hizmete açmıştır.

Tüm gemiler AIS Ana Merkezinden gerçek zamana yakın olarak (2-6 saniye gecikme ile) takip edilebilmektedir. AIS sisteminin temel işlevi; gemi ile gemi ve gemi ile sahil arasında gemilere ilişkin bilgilerin otomatik olarak karşılıklı iletişimini ve seyreden gemilerin anlık izlenmesini sağlamaktır.

Bu maksatlarla, AIS sistemi kapsama alanında seyreden gemilerin MMSI, IMO numaraları, gemi adı, çağrı kodu, tip, uzunluk, genişlik ve tonajından oluşan sabit kimlik bilgileri, geminin konumu, zaman bilgileri, rotası, hızı, durumu ve dönüş oranı konularında değişken bilgiler ve draftı, yükü, kalkış ve varış limanları, kalkış ve varış zamanları, yüksekliği, seyir başlangıç limanı, sefere başlama zamanı, demirleme konumu ve nedeni gibi seyir bilgileri elde edilebilmektedir.

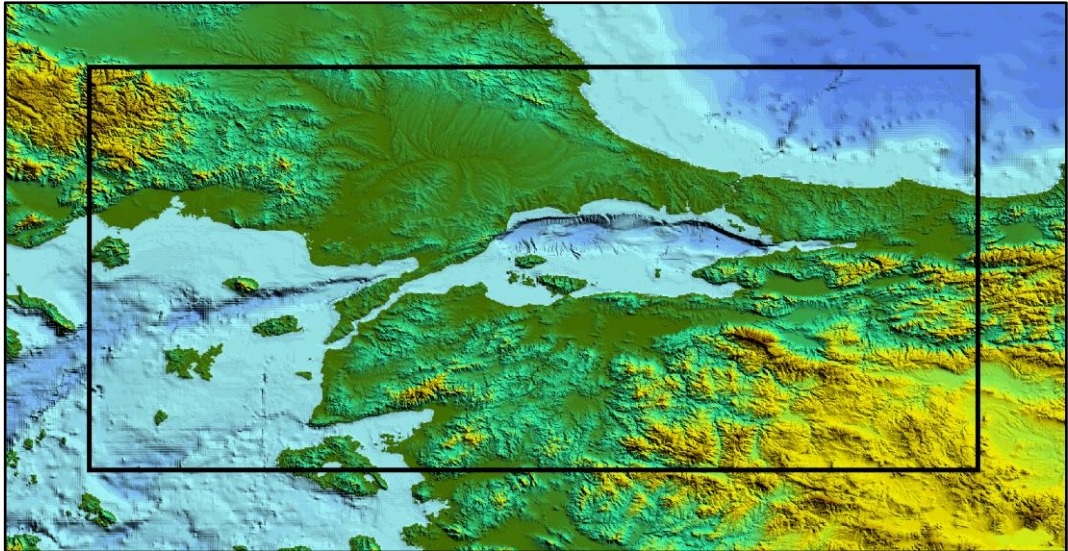
Tüm Türkiye kıyılarına tesis edilmiş olan AIS ile gemilerin otomatik olarak sorgulanması yapılabildiğinden, çevre denizlerimizde seyreden gemilerin etkin denetimi de mümkün hale gelmiştir.

AIS ile ilgili en önemli hususlardan biri de; gemin herhangi bir acil duruma düşmesi durumunda (yangın, çatışma, karaya oturma, kaza vb.) bunu ivedilikle sahildeki istasyonlara bildirebilmesi ve sahildeki istasyonlar tarafından da geminin mevkisi bilindiğinden çok kısa sürede olaya müdahale edilebilmesidir.

AIS cihazının seyir bilgilerinin korunması ile ilgili uluslararası anlaşmaların kapsamı dışında donatıldığı gemilerde sürekli olarak çalıştırılması zorunludur. AIS sisteminin geminin kimliği, gemi türü, geminin anlık pozisyonu, rotası, hızı, seyir durumu gibi bilgileri içermeli ve gemi emniyeti ile ilgili verileri de diğer gemi, hava taşıtları ve yer istasyonları ile paylaşması gerekmektedir. AIS cihazı donatılmış gemileri kara tesisleri 40 Nautical Mile (Nm) mesafeden takip edebilmektedir (Entec, 2005).

AIS verileri TC Başbakanlık Denizcilik Müsteşarlığı Elektronik ve Muhabere Daire Başkanlığı'ndan elde edilmiştir. Elde edilen ham veriler toplam 800 gb üzerinde yer kaplayan 45 farklı md5 dosyasında tutulmaktadır. Veri kayıtları zamana göre sıralı şekilde bulunmaktadır (Çizelge A.2). AIS verileri 19.08.2008 09:24:50.000 ile 18.08.2009 11:43:01.000 arasındaki gemi kayıtlarını içermektedir. Bazı gemilerin gemi türü ve tonajı bilinmemektedir. Çalışma bölgesi olarak 39.15 – 42.00 enlemleri ile 24.50 – 30.80 boylamları arasındaki alan seçilmiştir (Şekil 2.24).

Çalışma bölgesi olarak bu enlem ve boylamlar arasının seçilmesinin sebebi, gemilerden meydana gelen emisyonların hava kalitesine etkilerinin değerlendirilmesi neticesinde meydana gelen konsantrasyonların karasal bölgelerdeki etkilerinin görülebilmesi, ayrıca karasal bölgede bulunan hava kalitesi ölçüm istasyonları ile model sonuçlarının karşılaştırılabilmesidir.

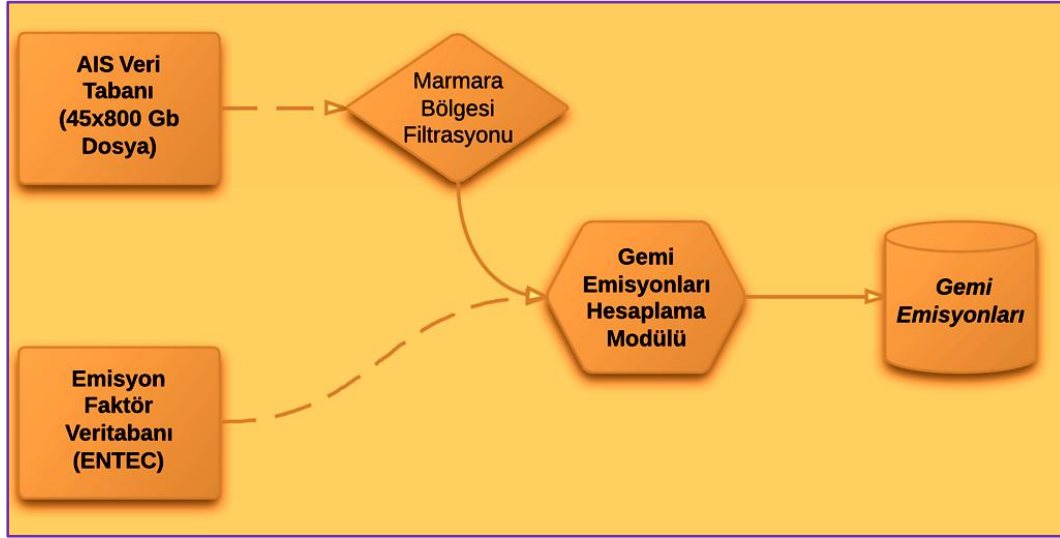


Şekil 2.24 : Çalışma Bölgesi.

AIS verileri çalışma bölgesi sınırlarına göre filtreledikten sonra her bir veri kaydı için emisyon miktarları hesaplanmıştır.

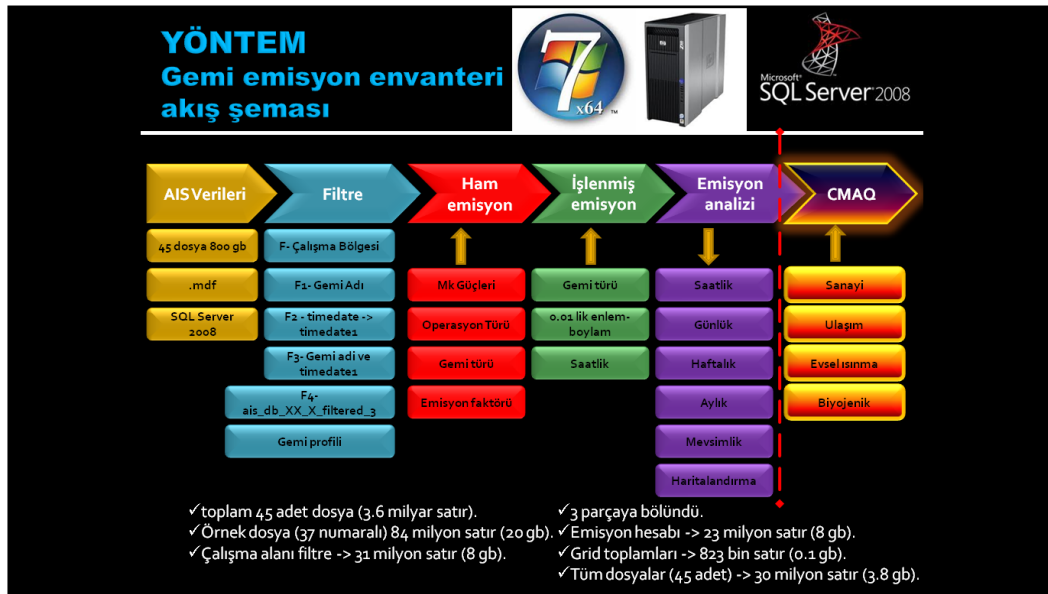
Elde edilen emisyon kayıtları gridlenerek daha küçük boyutta ve yüksek çözünürlüklü emisyon toplamalarına ulaşılmıştır. Böylece hem konuma hem zamana bağlı emisyon verisine ulaşılmış, bu veriler daha sonra özet tablolara ve CMAQ modelinde işlenebilecek formata çevrilmiştir.

Gemilerden kaynaklanan emisyonların hesaplanması için kullanılan işlem sırası Şekil 2.25' te gösterilmektedir.



Şekil 2.25 : Gemi emisyonlarının hesaplanma yöntemi.

AIS veritabanı dosyaları 8 işlemcili 32 gb ram bulunan 64 bit' lik workstation bilgisayarda SQL Server 2008 kurularak işlenmiştir (Şekil 2.26). Emisyonlar CMAQ hava kalitesi modeline uygun şekilde yeniden gridlenmiştir.



Şekil 2.26 : Gemi emisyonları hesaplamalarının akış şeması.

Gemi ana makineleri iki veya dört zamanlı (stroke) ağır veya orta devirli, jeneratörleri ise dört zamanlı ve orta veya yüksek devirli dizel makinelerinden meydana gelmektedir. Gemi emisyonları şu genel denklem ile hesaplanabilmektedir.

$$E_{i,m} (g) = T_m \cdot EF_{i,m,t} (P_{ME} \cdot LF_{ME,m} + \#_{AE,m} \cdot P_{AE} \cdot LF_{AE,m}) \quad (4.1)$$

$E_{i,m}$, operasyon modu (m) nda meydana gelen kirletici (i) miktarı

T_m , operasyon modunda geçirilen süre

$EF_{i,m,t}$ gemi türü ve operasyon moduna bağlı emisyon faktörü (t),

P_{ME} , ana makinenin %80 MCR daki gücü

$LF_{ME,m}$ ana makinenin operasyon modundaki yükü

$\#_{AE,m}$, operasyon modunda çalışan jeneratör sayısı

P_{AE} , bir adet jeneratör gücü

$LF_{AE,m}$, jeneratörlerin yük faktörü

Gemiler fosil yakıt tüketen yüksek güçlü dizel motorları ile önemli emisyon kaynaklarıdır. Gemiler pervaneyi çevirmek üzere bir veya daha fazla ana makine ve elektrik ihtiyacını karşılamak üzere nispeten daha küçük güçte jeneratör setleri ile donatılmışlardır.

Kara bağlantısıyla (shore connection) elektrik almadıkları takdirde, gemiler ekonomik ömürleri süresince emisyon meydana getirmeye devam ederler. Bunun dışında yine fosil yakıtla çalışan, ısıtma ve buhar gücü ihtiyaçları için kullandıkları liman kazanı (auxiliary boiler) ile taşıdıkları yüklerden meydana gelen emisyonlar da mevcuttur.

Gemilerin işletimi sırasında başlıca 3 farklı işletim türü (operation mode) bulunmaktadır. Bunlar; geminin açık denizde yol aldığı seyir (cruising), demirleme, boğaz geçişi ve liman yanaşma ve kalkışlarında yaptıkları manevra (manoeuvring) ve demirleme alanları, tersaneler ve limanda yükleme ve boşaltma amacıyla bulundukları liman (berth veya hotelling) işletim türleridir.

Gemiler seyirleri sırasında ana makineleri ile eğer donatılmışsa şaft jeneratörü ve/veya normal işletim koşullarında bir adet jeneratör ile seyir yapmaktadır. Gemilerin manevraları sırasında ise gerek gemi ve limanın emniyeti, gerek ise manevra sırasında kullanılan yardımcı makinelerden kaynaklanan fazladan elektrik enerjisi ihtiyacı için beraber çalışan iki adet jeneratör kullanılmaktadırlar.

Gemilerin liman süreleri boyunca ise ana makineleri çalışmamakta, yük boşaltımı sırasında pompa veya donatılmışsa kreyinlerden meydana gelebilecek aşırı yüklenmeler dışında tek jeneratör kullanarak yakıt tasarrufu sağlamaktadırlar. Çünkü aynı miktar enerji için iki yerine tek jeneratör kullanımı daha ekonomiktir.

Marmara Bölgesi civarındaki emisyonların hesaplanabilmesi için makine adet ve yükleri Çizelge 2.6' da gösterilmiştir.

Çizelge 2.6 : Gemi işletim türüne göre çalışan makine adet ve yükleri.

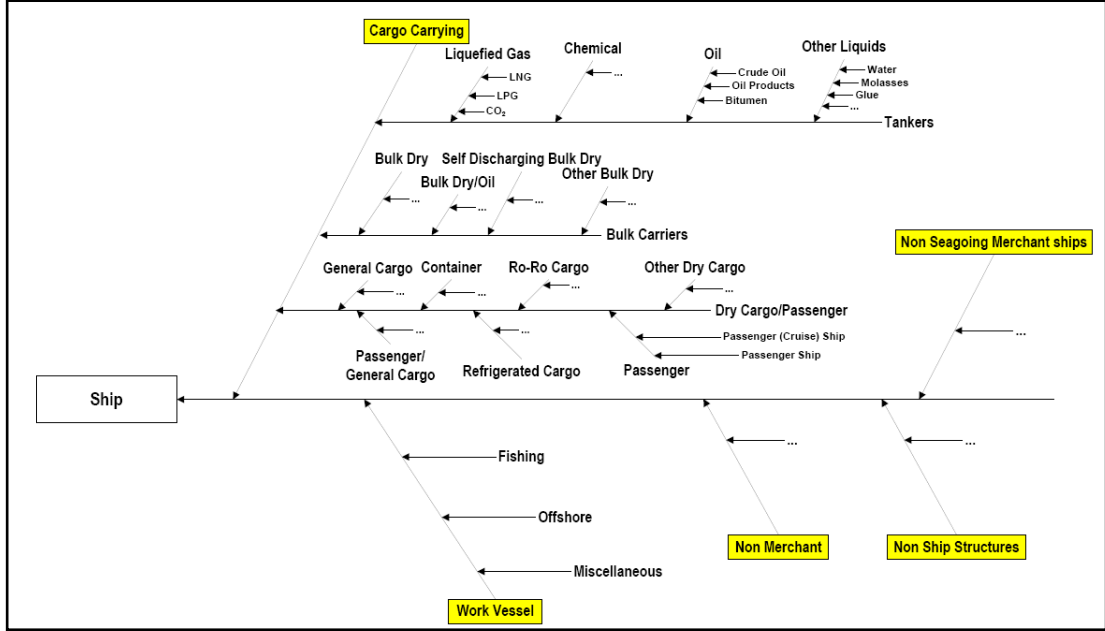
	Ana Mak Yükü (%)	Jeneratör Sayısı	Jeneratör Yükü (%)
Seyir	80	1	75
Manevra	40	2	75
Liman	0	1	75

Gemilerden kaynaklanan emisyonların hesaplanabilmesi için emisyon faktörlerine ihtiyaç bulunmaktadır. Emisyon faktörleri gemi makinelerinin türü, kullandıkları yakıt, makine yükü gibi çok sayıda etkene bağlıdır. Makinelerde yapılan emisyon ölçümleri esas alınarak emisyon faktörleri hesaplanmaktadır. Emisyon faktörleri gemilerin yakıt tüketimlerine veya makinelerin kullandıkları enerji miktarına (kWh) bağlı olarak kullanılabilir.

Bu iki yöntemin dışında, kullanımı yaygın olmasa da, gemi türü, tonajı ve makine türüne göre emisyon faktörü değişen makine işletim zamanına bağlı emisyon hesaplama yöntemi de bulunmaktadır (DNV, 1999). Bu çalışmada gemi makinelerinin enerji tüketimlerine göre belirlenmiş emisyon faktörleri kullanılmıştır (Entec, 2005).

Gemilerin ana ve yardımcı makine güçlerine ait AIS verilerinde bilgi bulunmaması sebebiyle, Çizelge A.2' de gösterilen gemi türü ve grt sine göre varsayılan değerler kullanılmıştır (Lavender, 2006).

Literatürdeki varsayılan gemi türleri ile AIS verilerindeki gemi türlerinin tam olarak birbiriyle örtüşmemesi üzerine Çizelge 2.27’ de görüldüğü üzere kabullenmeler yapılmıştır. Fairplay veritabanına göre gemilerin sınıflandırma Şekil 2.27’ de gösterilmektedir.



Şekil 2.27 : HIS Fairplay veritabanındaki gemi türleri (Lloyd's Register).

AIS verilerindeki gemi türleri Lloyd’ un II. Seviye gemi sınıflandırmasını kullanırken, varsayılan makine güçlerinin bulunduğu tabloda gemi türleri Lloyd’ un III. Seviye sınıflandırmasına göre düzenlenmiştir (Url-9). AIS verisindeki gemi türlerinin makine güçleri ve emisyon faktörlerinin bulunması için benzer gemi türlerinin ortalamaları kullanılmıştır (Çizelge 2.7).

AIS veri tabanı kayıtlarında gemi türü (type) bilinmeyen gemilerin gross tonaj (grt) bilgilerinin de bulunmadığı görülmüştür. Bu gemiler için tüm gemi türlerinin ortalama değerleri kullanılmıştır. Farklı gemi türleri için kullanılan makine güçleri Çizelge A3’ te bulunmaktadır. Çalışma bölgesindeki gemi türleri için kabul edilen ana ve yardımcı makine güçleri Çizelge A.4’ te gösterilmiştir.

Emisyon faktörleri olarak (Entec, 2005)' te bulunan 2000 yılına ait değerler baz alınmıştır (Çizelge A.5). 2009 yılı itibariyle dünya ortalama kükürt değeri olan %2.7, aynı zamanda Entec 2000 yılı senaryosunda kabul edilen kükürt oranıdır. Gemi kaynaklı emisyonlar düşünüldüğünde, NMVOC, toplam HC emisyonunun % 99' unu, PM_{2.5} ise toplam PM emisyonunun % 90' ını meydana getirmektedir (Entec, 2007).

Çizelge 2.7 : Gemilerin makine güçleri için sınıflandırılması.

AIS Verileri	Lavender
Bulk Carriers	Bulk Dry Cargo
Dry Cargo / Passenger	General Cargo
	Passenger / General Cargo
	Container
	Refrigerated Cargo
	Ro-Ro Cargo
	Passenger / Ro-Ro
	Passenger
	Other Dry Cargo
Fishing	Other Fishing
Miscellaneous	Other Activities
Non-Merchant Ships	Hesaplanmadı
Non-Propelled	Hesaplanmadı
Non-Ship Structures	Hesaplanmadı
Offshore	Offshore
Tankers	Liquified Gas Tanker
	Chemical Tanker
	Other Tankers
Unknown	Tüm gemiler

Çizelge 2.8' de, Entec' e ait emisyon faktörlerindeki belirsizlik oranları gösterilmektedir. Bu faktörler, az sayıda seçilen gemi örneklemelerindeki ölçüm sonuçları kullanılarak bulunduğu, meydana gelen emisyon miktarını doğrudan etkileyen bu faktörlerde belli oranda hatalar mevcuttur. PM emisyon faktörü toplam partiküler maddeyi temsil etmekte olup, bunun %90' ını PM_{2.5} oluşturmaktadır (Entec, 2005).

Çizelge 2.8 : Emisyon faktörleri belirsizlik oranları (Entec, 2002).

Emisyon	% Belirsizlik		
	Seyir	Manevra	Liman
NO _x	20	40	30
SO _x	10	30	20
NM VOC	25	50	40
PM	25	50	40
Yakıt Tüketimi	10	30	20

Trozzi (1998), ağır devirli dizel motorlarında NO_x emisyon faktörünü 84 kg (emisyon) / ton (yakıt) olarak belirtirken, CO ve VOC için faktörler sırasıyla 9 ve 2.5 kg / tondur. Entec (2002)' de CO ve VOC emisyon faktörleri bulunmadığından, bu emisyon türlerinin hesabında bu katsayılardan faydalanılmıştır. Ayrıca Entec (2002)' de PM değerinin toplam partiküler maddeyi temsil etmesi ve dizel motorlarında PM₁₀' un toplam partiküler maddenin %10' unun meydana getirmesi sebebiyle PM₁₀ miktarının hesabında da bu oran göz önünde bulundurulmuştur.

Çalışma alanı Marmara Denizi, Türk Boğazları, Karadeniz ve Ege Denizi' nin bir bölümünü kapsamaktadır. Çalışma alanının Marmara Denizi' nden daha büyük seçilmesinin sebebi, boğazlardan çıkan gemilerin rotaları ve meydana getirdikleri emisyonların miktarlarını görebilmektir. Trakya ve Güney Marmara bölümleri de çalışma alanına dahil edilerek, daha sonra yapılması düşünülen hava kalitesi model çalışmalarında bölgedeki gemi kaynaklı emisyonların karasal bölgeler üzerindeki dağılımları da incelenebilecektir.

Çizelge 2.9' da çalışma bölgesinde bulunan gemilerin profili listelenmiştir. Bölgeye gelen birbirinden farklı 10087 geminin yaklaşık %40' ının gemi türü, AIS verilerindeki eksiklikler nedeniyle bilinmemektedir. Dry Cargo / Passenger, Bulk Carriers ve Tanker gemileri toplam gemi sayısının sırasıyla % 32.3, % 14.7 ve % 11.2' sini oluşturmaktadır.

Gemilerden AIS statik verilerini kendilerinin girmesi istenmektedir, dolayısıyla AIS verilerinin önemli bir kısmında gemi türü ve tonajı hakkında bilgi bulunmamaktadır. Bu tür gemilerin türleri Unknown olarak tanımlanmış olup, tüm hesaplarda gerekli faktörler için tüm gemi türlerinin ortalama değerleri kullanılmıştır.

Unknown gemi türünün de bilinen gemi türleri ile aynı profile sahip olduğu kabul edilirse, Bulk Carriers, Dry Cargo Passenger ve Tanker gemileri toplam GRT nin %

99.76' sını oluşturmaktadır. Tanker ve Bulk Carrier gemileri ortalama GRT si en yüksek iki gemi türüdür.

Çizelge 2.9 : Çalışma bölgesindeki gemi profili.

Gemi Türü	Gemi Adedi	Toplam GRT	Ortalama GRT
Bulk Carriers	1,479	37,347,387	25,252
Dry Cargo / Passenger	3,261	31,964,628	9,802
Fishing	18	27,565	1,531
Miscellaneous	85	91,353	1,078
Non-Merchant Ships	27	80,789	2,992
Non-Propelled	1	1,505	1,505
Non-Ship Structures	1	11,317	11,317
Offshore	17	28,551	1,679
Tankers	1,130	30,364,020	26,871
Unknown	4,068	-	-

Gemilerin operasyon moduna karar verebilmek için, gemi hızının bilinmesi gerekmektedir. Türk Boğazları' nda akıntı hızının 5 Knot' a kadar çıkması, bir çok gemi türünün servis hızının 8 Knot olması sebebiyle, verilerdeki zaman ve konum değerleri kullanılarak hesaplanan hız 3 Knot' un üzerinde seyir, 1 – 3 Knot arasında manevra ve 1 Knot hızın altında ise liman operasyon modu olarak kabul edilmiştir. AIS verilerine göre, çalışma bölgesinde gemiler zamanlarının yarıya yakın bölümünü hotelling modunda geçirmektedir. Seyir modunda geçen süreler de yarıya yakındır. Manevra modu ise tüm zamanlarının %5-10' unun oluşturmaktadır. İzmit Körfezi ve Kartal açıklarında gemilerin hotelling modundaki süreleri %80 civarındadır.

Gemilerin hızlarına karar verebilmek için uygun zaman ve konum bilgilerine ihtiyaç bulunmaktadır. Çalışma bölgesinde 1 derecelik enlem farkı 60 Nm, boylam farkı da 45.60 Nm olarak kabul edilmiştir. Hesaplamalar enlem ve boylamda 0.01 derecelik çözünürlükte yapılmıştır.

Enlem ve boylamlar arasındaki mesafeler dikkate alındığında, tek bir grid yatayda 844.512 metre, düşeyde 1111.2 metre olmak üzere, 0.94 km² lik bir alana sahiptir. Çalışma bölgesindeki tüm alt bölgeler için gemi trafik yoğunluğu tespit edilmiştir. Tüm gemilerin AIS sistemine gönderdiği sinyal sayılarının çalışma bölgesine göre dağılımları Şekil A.1-11' de görülmektedir.

Şekil A.1’ de grafiğin colormap değeri düşürüldüğünde tüm gemi kayıtları görülmektedir. Bu sayede karasal bölgelerde bulunan yanlış gemi kayıtları da tespit edilmiştir. Deniz alanlarının tamamına yakını gemiler tarafından kullanılmaktadır.

Gemi trafik verilerinin konuma bağlı sonuç dosyalarında grid veri sayıları Çizelge 2.10’ da gösterilmektedir. Bu veriler her bir gemi türünün konum verilerine ait tekil kayıtlar içeren dosyaların satır sayıları kullanılarak elde edilmiştir. Çalışma alanının %46.36’ sı gemiler tarafından kullanılmaktadır.

Çizelge 2.10 : Gemi trafik grid verileri.

Gemi Türü	Grid Verisi Sayısı	% Grid Verisi	% Tüm Gemiler
Bulk Carriers	46,758	26.04	56.17
Dry Cargo / Passenger	67,390	37.53	80.96
Fishing	19,390	10.80	23.29
Miscellaneous	26,776	14.91	32.17
Non-merchant Ships	14,674	8.17	17.63
Non-propelled	661	0.37	0.79
Non-ship Structures	1,322	0.74	1.59
Offshore	10,350	5.76	12.43
Tankers	50,200	27.96	60.31
Unknown	67,176	37.41	80.70
Tüm Gemiler	83,239	46.36	100.00
Çalışma Alanı Toplam Grid	179,550	100.00	

Dry Cargo / Passenger ve Unknown (Türü bilinmeyen) gemiler toplam çalışma alanının % 37’ den fazlasında seyir yapmakta, tüm gemilerin kullandığı deniz alanının da %80’ inden fazlasında bulunmaktadır.

Tüm gemilerin trafik yoğunluğuna bakıldığında, gemi trafiğinin Türk Boğazları ve Marmara geçiş bölgesinde gerçekleştiği görülmektedir (Şekil A.1). Çizelge 2.11’ deki bölgeler, Şekil A1-A11 de gösterilen gemi trafik haritalarına göre belirlenmiştir.

Çizelge 2.11 : Gemi türlerinin yoğun bulundukları bölgeler.

Gemi Türü	Çalışma Bölgesi
Bulk Carriers	Kartal ve Darıca
Dry Cargo / Passenger	Bandırma, Gemlik, Kartal, İzmit Körfezi
Fishing	Bandırma, İzmit Körfezi, Kartal, Trakya Kuzey, Tuzla
Miscellaneous	Kartal, Silivri, Tekirdağ
Non-merchant Ships	Marmara, Karadeniz de taktik seyirler
Non-propelled	Sadece uğraksız, tek yönde kuzeye
Non-ship Structures	Sadece uğraksız, iki yönde
Offshore	Marmara ve Karadeniz
Tankers	İzmit Körfezi, Kartal ve Tekirdağ
Unknown	İstanbul Anadolu, İzmit, Bandırma, Silivri, Edincik

Tüm gemi türleri bu bölgeler haricinde yoğun olarak Marmara geçiş bölgesini ve Türk Boğazları' nı kullanmaktadırlar. Gemi aktivitelerinin bölgelere göre dağılımları Çizelge 2.12' de gösterilmiştir.

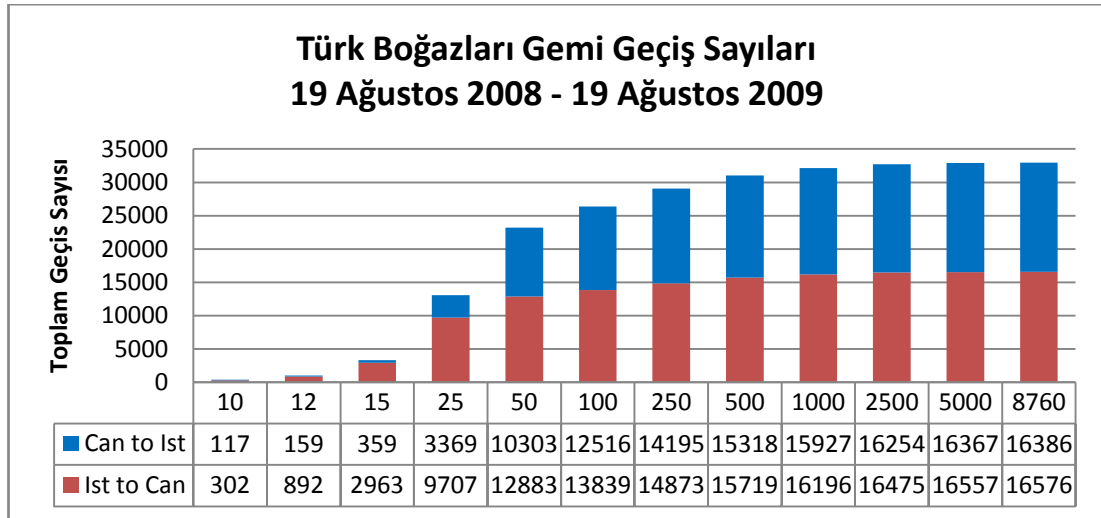
Çizelge 2.12 : Gemilerin bölgelerdeki aktivite oranları.

	<i>Liman</i>	<i>Manevra</i>	<i>Seyir</i>	<i>Toplam</i>
Karadeniz	5.9	0.9	10.1	16.8
İstanbul Boğazı	4.3	0.2	3.7	8.2
Marmara	27.2	2.6	23.4	53.2
Ambarlı Limanı	1.8	0.1	0.7	2.6
Gemlik Körfezi	0.1	0.0	0.0	0.1
İzmit Körfezi	4.5	0.2	1.2	5.9
Çanakkale Boğazı	2.6	0.1	6.3	9.0
Ege	2.1	0.3	10.4	12.8
ÇB	42.0	4.1	53.9	100.0

Gemi aktivitelerinin yarısının Marmara Denizi içinde olduğu ve Marmara Denizi' ndeki gemi aktivitelerinin yarısının da limanlar, tersaneler veya demirleme alanlarında meydana geldiği görülmektedir. Manevralarda geçen sürelerin ise son derece az olduğu söylenebilir.

Şekil 2.28' de AIS verilerine göre Türk Boğazları' ndan gemilerin geçiş sayıları verilmiştir.

Şekilde görüldüğü üzere, 50 saatin üzerindeki zaman dilimlerinde İstanbul → Çanakkale ile Çanakkale → İstanbul yönlerindeki uğraksız gemi geçiş sayıları birbirine eşitlenmektedir.



Şekil 2.28 : AIS verilerine göre Türk Boğazları'ndan geçiş sayıları.

Daha kısa süreler öncesinde Çanakkale → İstanbul yönlü trafiğin az olmasının sebepleri olarak, gemilerin boğaz trafik düzenlemesi gereğince Yenikapı açıklarında bekletilmeleri, yüzeydeki deniz akıntılarının kuzeyden güneye olması ya da deniz ticaretinin etkileriyle kapalı bir deniz olan Karadeniz' den ziyade dış bölgelerden gelen gemilerin Çanakkale Boğazı' nı geçerek Marmara' daki Türk Limanları' na uğramış olma ihtimali sayılabilir.

Marmara Denizi ve Türk Boğazları' nı içine alan bölgede yıllık tüm ticari gemi hareketlerinden meydana gelen emisyonların miktarları gemi türlerine, bölgelere ve zamana göre hesaplanmıştır.

Çalışma bölgesi olarak seçilen 39.15-42.00 derece enlem ve 24.50-30.80 derece boylamları arasındaki alanda 2008-08-19 09:24:50.000 ile 2009-08-18 11:43:01.000 tarihleri arasında 10,087 adet farklı gemiden kaynaklanan yıllık emisyonlar hesaplanmıştır (Çizelge 2.13).

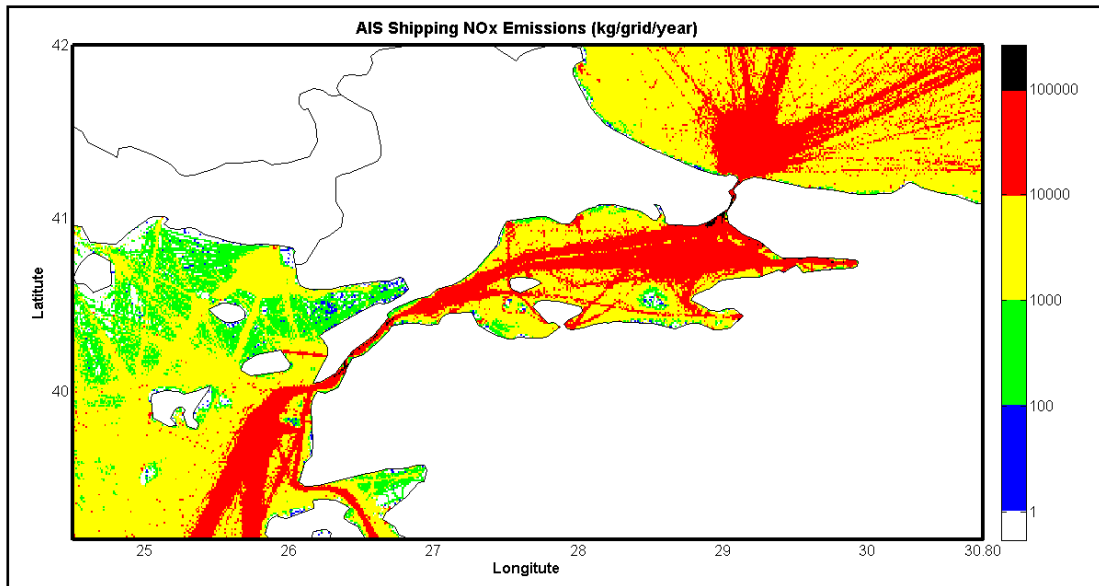
Çizelge 2.13 : Gemi türüne göre yıllık toplam emisyonlar (kton).

Gemi Türü	NO _x	SO ₂	CO ₂	HC	PM	FC
Dry Cargo / Passenger	256	209	12,477	11	22	3,923
Tankers	88	78	4,695	4	9	1,485
Bulk Carriers	70	46	2,691	3	7	846
Diğer	191	163	9,766	8	16	3,071
Toplam	605	495	29,629	26	53	9,325

Çalışma bölgesindeki gemi kaynaklı yıllık NO_x emisyonunun %42.3' ünü dry cargo/passenger (Kuru Yük/Yolcu), %31.4' ünü unknown, %14.6' sını tankerler, %11.6' sını da bulk carrier (Dökmeci) gemileri meydana getirmektedir. Çizelge A.6' da, çalışma bölgesindeki yıllık toplam emisyonlar dünyanın farklı yerlerindeki gemi emisyonları ile karşılaştırılmıştır.

Çalışma bölgesinin alt bölgeleri Çizelge A.7' de gösterilen sınırlara göre belirlenmiştir. Çizelge A.8-15' te, emisyon türlerinin alt bölgelerdeki dağılımları incelenmiştir. Çizelge A.16-22' de ise, her emisyon türünün gemi türüne bağlı olarak alt bölgelere dağılımı gösterilmiştir.

Gemi trafiğinin çok yoğun olduğu gridlerde diğer gridlere oranla çok miktarda emisyon meydana gelmesi sebebiyle, gridlere bağlı emisyonlar çalışma bölgesi haritasında çizdirildiğinde, çok sınırlı sayıda grid dışındaki verilere ait renk kodları görülememektedir. Çalışma bölgesinde gemilerden meydana gelen yıllık toplam NO_x emisyonunun gridlere bağlı olarak doğal logaritması alındıktan sonra elde edilen sonuçlar Şekil 2.29' da gösterilmektedir. Çalışma bölgesindeki emisyonlar x ve y grid değerleri kullanılarak alt bölümlere ayrılmıştır, böylece belli başlı kıyı tesisleri, boğazlar, körfezler ve uğraksız hat üzerindeki emisyonların miktarları hesaplanmıştır.



Şekil 2.29 : AIS verilerine göre gemi kaynaklı yıllık toplam NO_x emisyonu.

AIS verileri ile çalışma bölgesinde yıllık gemi kaynaklı CO_2 emisyonu miktarı 29.6 milyon ton olarak tahmin edilmektedir.

Buna karşılık, EDGARv4.2 veritabanı 2008 yılı için Türkiye' deki tüm sektörlerden meydana gelen insan kaynaklı emisyon miktarını 38.2 milyon ton olarak belirtmektedir. Dolayısıyla, gemilerin aynı zamanda küresel ısınma açısından da çok önemli etkileri bulunmaktadır.

EMEP' in 2008 yılı için Türkiye' ye ait emisyon verilerinde Türkiye 98-123 arası yatay, 49-85 arası dikey gridlerle temsil edilmektedir. Çalışma Bölgesi' nin EMEP grid sistemindeki karşılığı ise yatayda 98 ila 106, düşeyde ise 49 ila 59 arasındır.

EMEP' in 50x50 km lik çözünürlükteki veriden derlenerek hazırlanan çalışma bölgesi, Türkiye ve EU-25 ülkelerinin denizcilik sektörünün de içinde bulunduğu 8. sektör ve tüm sektörlerin yıllık emisyon miktarları Çizelge 2.14' te gösterilmiştir.

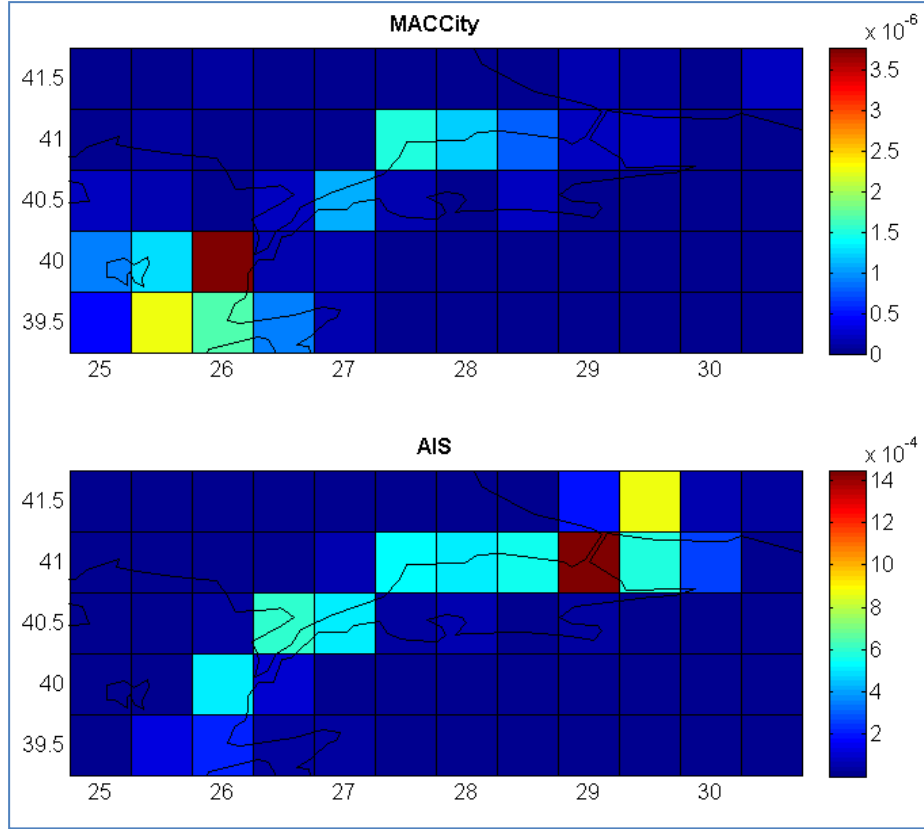
Çizelge 2.14 : EMEP 2008 emisyon envanteri (kton).

	CO	NH3	NMVOC	NOx	PM2.5	SOx
Sekizinci Sektör (Denizcilik ve Demiryolları)						
Çalışma Bölgesi	32	0	6	41	3	1
Türkiye	189	0	37	239	12	7
EU-25	1,922	1	451	1,663	162	283
Tüm Sektörler						
Çalışma Bölgesi	610	27	224	206	64	136
Türkiye	3,552	409	1,307	1,200	247	1,491
EU-25	27,276	3,796	8,302	10,391	1,490	5,867
Çalışma Bölgesi (Gemi - Bu Çalışma)	65		18	605	48	495

MACCity veritabanından elde edilen gemi kaynaklı emisyon sonuçları AIS verileriyle karşılaştırıldığında, MACCity değerlerinin olması gerekenden hem daha düşük, hem de yersel dağılım açısından gerçeklikten uzak olduğu görülmektedir (Şekil 2.30).

Şekil 2.29' daki AIS verilerinin dağılımına bakıldığında, Gökçeada ile Gelibolu yarımadası arasında sadece tek bir gemi hattı bulunmasına rağmen, MACCity veritabanı bu bölgeyi en fazla gemi emisyonu meydana gelen bölge olarak ifade etmektedir.

Bir diğer husus ta, MACCity, yılda 50 bin geminin geçtiği Türk Boğazları ile, 50' ye yakın liman tesisinin bulunduğu İzmit Körfezi' ni dikkate almamıştır.



Şekil 2.30 : AIS ve MACCity yıllık toplam NO_x emisyonu karşılaştırması.

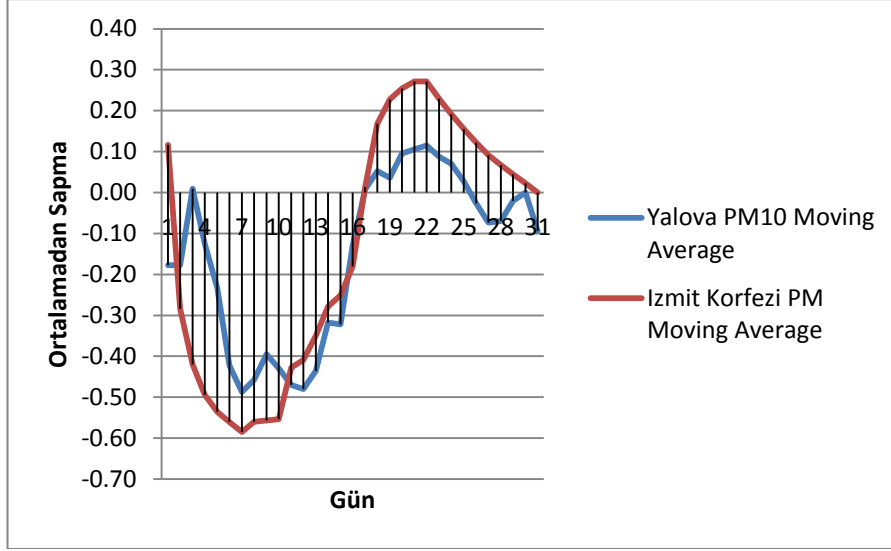
Bunun sebebi, diğer çalışmalarda kaba tahminler yapılırken, AIS verilerin de ise gemilerin tüm hareketlerinin tespit edilebilmesidir (Şekil 2.15).

Çizelge 2.15 : Marmara Bölgesi'nde gemi kaynaklı emisyonlar (kton).

	NO _x	SO ₂	CO ₂	HC	PM	FC	Veri Yılı	Kaynak
Marmara Denizi	308	253	15,145	13	27	4,767	2008-2009	Bu çalışma
Marmara Denizi*	111	87	5,451	-	5	-	2003	Deniz (2008)
İstanbul Boğazı	52	44	2,656	2	4	836	2008-2009	Bu çalışma
İstanbul Boğazı	7	-	344	-	145	-	1998	Kesgin (2001)
Çanakkale Boğazı	54	42	2,537	2	5	798	2008-2009	Bu çalışma
Çanakkale Boğazı	9	-	337.6	-	~0	-	1998	Kesgin (2001)
İzmit Körfezi	28	25	1,480	1	3	466	2008-2009	Bu çalışma
İzmit Körfezi	5	4	254	~0	1	80	2005	Kılıç (2010, a)
Ambarlı	16	14	811	1	1	255	2008-2009	Bu çalışma
Ambarlı	0.9	~0	79	-	< 0.1	25	2005	Deniz (2010, a)

* Bu çalışmadaki toplam emisyonlara Türk Boğazları'ndaki emisyonlar da dahildir.

Şekil 2.31' de, Ekim 2008' de, Yalova' daki hava kalitesi ölçüm istasyonunun PM10 ölçüm değerleri ile aynı dönemde AIS verilerine göre İzmit Körfezi'nde meydana gelen PM emisyonlarının normalize edilerek karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada "moving average" yöntemi kullanılmıştır. Ölçüm ve emisyon tahmini oldukça yüksek oranda birbiriyle örtüşmektedir.



Şekil 2.31 : Yalova PM10 ve İzmit Körfezi PM emisyonu (Ekim 2008).

Marmara ve Türk Boğazları' ndaki yıllık toplam NO_x emisyon miktarı tüm çalışma bölgesinin %68.4' ünü meydana getirmektedir.

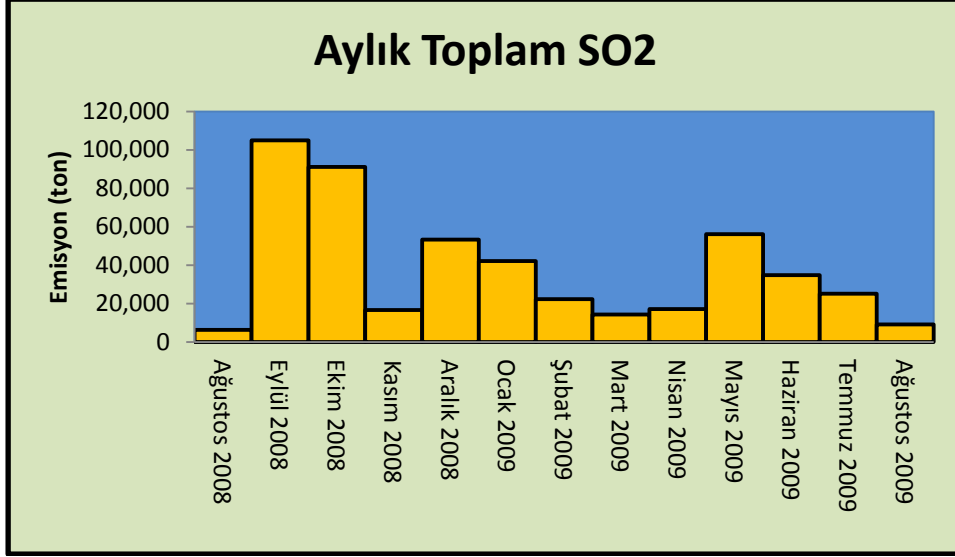
Uğraksız geçiş yapan gemiler, Marmara geçiş bölgesinde Marmara Denizi ve Türk Boğazları' nda meydana gelen toplam NO_x emisyonunun %88.5' unu oluşturmaktadır.

İstanbul Boğazı' nı içine alan 28.92-29.18 boylamları ve 40.99-41.23 enlemleri arasındaki bölgede gemi kaynaklı yıllık NO_x , SO_2 , CO_2 , HC ve PM emisyonları sırasıyla 52,033 ton, 44,375 ton, 2,656,247 ton, 2,214 ton ve 4,405 tondur.

Bu durumda, gemi kaynaklı emisyonlar kara bazlı toplam NO_x emisyonunun %34' ü, SO_2 emisyonunun da %63' ü kadar İstanbul' un emisyon yükünü arttırmaktadır. Bu miktarlara hava taşımacılığından kaynaklanan emisyonlar dahil değildir.

En yüksek emisyon miktarı Eylül 2008' de meydana gelmiştir, daha sonra meydana gelen düşüşlerin bu tarihlerde meydana gelen küresel ekonomik krizlerin etkisine ve yük taşımacılığındaki mevsimselliğe bağlı olduğu düşünülmektedir.

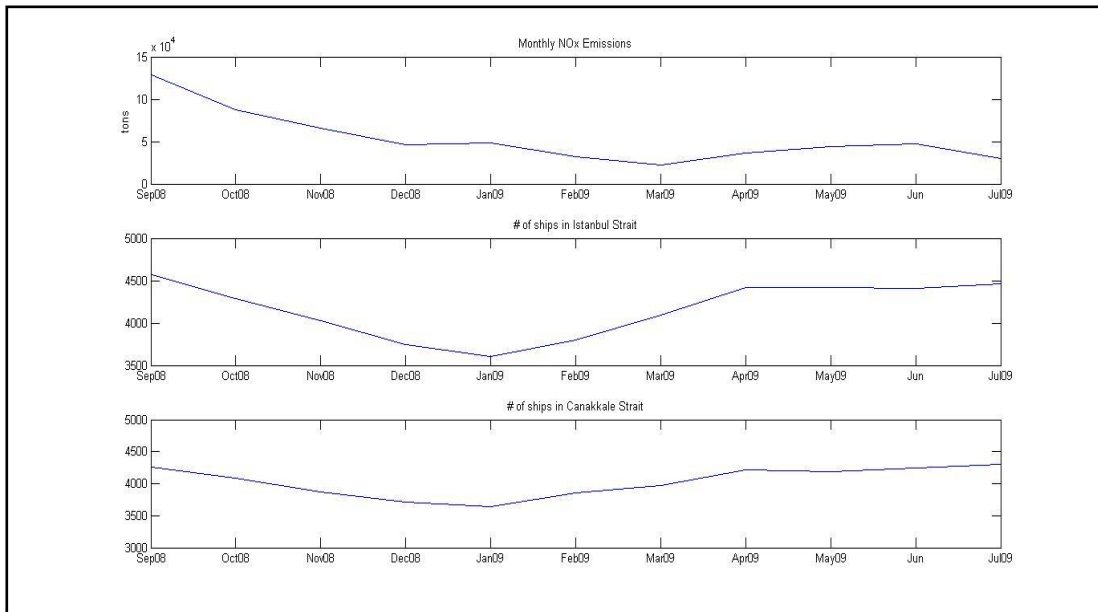
Tüm gemi türlerinin ayrı ayrı aylık toplam emisyonları incelendiğinde, tüm gemilerin toplam emisyonlarının aylık dağılımına uyması bu kanıyı güçlendirmektedir (Şekil 2.32).



Şekil 2.32 : Aylık toplam SO₂ emisyonları.

Aylık toplam emisyonların yaz ve kış döneminde artış gösterdiği, bahar dönemlerinde ise nispeten daha az meydana geldiği söylenebilir. En yüksek boğaz geçişleri 2007 yılında meydana gelmiş olup, 2013 yılı itibariyle her yıl belli oranlarda azalmaya devam etmektedir.

Şekil 2.33' de, gemi kaynaklı toplam NO_x emisyonlarının Türk Boğazları gemi geçiş sayıları ile ilişkisi gösterilmektedir. İstanbul ve Çanakkale Boğazlarındaki gemi geçiş sayıları arasında yüksek korelasyon bulunmaktadır, bu da gemilerin uğraksız geçiş yapan gemiler olduklarını düşündürmektedir. Aylık NO_x emisyonundaki azalış ve artışlar, gemi geçiş istatistikleri ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 2.33 : Aylık NO_x emisyonları ile Türk Boğazları gemi geçiş sayıları.

AIS verileri kullanılarak gemi kaynaklı emisyonlar "bottom-up" yöntemi ile hesaplanmıştır. Bu yöntemde emisyonlar, gemilerin makine güçleri, gemi türleri ve operasyon türlerine göre tahmin edilmektedir.

Yapılan hesaplamaların doğrulanmasını sağlamak üzere, küresel ölçekli emisyon hesaplarının kolayca yapılabildiği "top-down" yöntemine dayanan bir yöntem kullanılmıştır.

Marpol Ek 6' ya ek olarak gelen Bölüm 4 (Regulations on energy efficiency for ships), gemilerde enerji verimliliğini arttırmak amacıyla yeni inşaa edilecek gemiler için 1 Ocak 2013' ten itibaren zorunlu olarak Energy Efficiency Design Index (EEDI) getirmektedir (MEPC 63/INF.2).

EEDI, gemilerin katettiği ton-mil başına ürettikleri CO2 emisyonu türünden verimliliği ifade eder. Geminin verimliliği arttıkça, ton-mil başına yaktığı yakıt ve dolayısıyla CO2 emisyonu düşmektedir.

IHS Fairplay veri tabanındaki gemi türlerine göre, her gemi türü için deadweight tonajlarına bağlı olarak bir referans noktası belirlenmektedir. Bu referans noktaları da, veritabanındaki gemilere ait verilerin kullanılarak oluşturulan regresyon parametrelerine uymaktadır (Çizelge 2.16).

Çizelge 2.16 : EEDI referans değer parametreleri(MEPC.203(62)).

Gemi Türü	a	b	c
Bulk Carrier	961.79	DWT	0.477
Gas Carrier	1120.00	DWT	0.456
Tanker	1218.80	DWT	0.488
Container Ship	174.22	DWT	0.201
General Cargo Ship	107.48	DWT	0.216
Refrigerated Cargo Carrier	227.01	DWT	0.244
Combination Carrier	1219.00	DWT	0.488

Referans değerler, aşağıdaki formül gereğince hesaplanacaktır: (2.1)

Referans Değer = $a \times b^{-c}$

AIS verilerine göre hesaplanan emisyonlar, başlıca Bulk Carrier, Dry Cargo/Passenger, Tanker ve Diğer gemi türleri için hesaplanmıştır.

EEDI referans çizelgesinde sadece Bulk Carrier ve Tankerler için regresyon parametreleri bulunduğundan, doğrulama için bu iki gemi türü kullanılmıştır. Dry Cargo/Passenger gemi türü içinde birçok gemi türü bulunan geniş bir tanımdır.

Gemilerin çalışma bölgesi içinde katettikleri mesafeler Çizelge 2.17' de gösterilmiştir.

Çizelge 2.17 : Gemilerin katettiği mesafeler (Deniz mili x 10³).

	Bulk Carrier	Dry Cargo Passenger	Tanker	Diğer	Toplam
Karadeniz	963	4,096	1,471	27,366	33,896
Istanbul Bogazi	162	1,001	218	73,476	74,857
Marmara Denizi	2,498	13,864	3,687	115,786	135,834
Ambarli	36	443	111	7,081	7,671
Bandirma	2	36	2	1,024	1,064
Gemlik Korfezi	2	89	3	42	136
Izmit Korfezi	58	638	301	9,467	10,464
Tekirdag	<0.8	27	<0.3	7	36
Marmara Transit	2,398	12,631	3,270	98,164	116,463
Canakkale Bogazi	517	2,465	566	76,149	79,697
Ege Denizi	1,103	5,613	1,473	49,607	57,796
Toplam	5,342	28,273	7,833	360,003	401,451

Gemi türlerinin meydana getirdiği toplam ton-mil taşıma hacimleri Çizelge 2.18' de gösterilmektedir.

Çizelge 2.18 : Gemilerin katettiği taşıma kapasiteleri (milyon ton-mil).

	Bulk Carrier	Dry Cargo Passenger	Tanker	Diğer	Toplam
Karadeniz	20,210	24,576	42,328	248,603	335,718
Istanbul Bogazi	3,299	7,379	4,903	665,029	680,609
Marmara Denizi	55,127	120,667	88,434	1,045,323	1,309,551
Ambarli	827	6,709	1,176	64,531	73,244
Bandirma	44	117	10	9,324	9,495
Gemlik Korfezi	62	1,172	17	379	1,629
Izmit Korfezi	1,198	4,412	2,142	85,025	92,776
Tekirdag	11	110	1	65	187
Marmara Transit	52,986	108,147	85,087	886,000	1,132,220
Canakkale Bogazi	11,056	25,305	13,826	681,100	731,286
Ege Denizi	23,554	54,941	37,158	449,744	565,397
Toplam	60,260	124,720	101,561	2,203,799	2,490,341

Dökme yük ve tanker gemilerinin çalışma bölgesinde ve ana bölgelerde meydana getirdiği yıllık CO2 emisyon miktarları Çizelge 2.19' da gösterilmiştir.

Çizelge 2.19 : Bulk Carrier ve Tanker gemilerinin CO2 emisyonları (ton/yıl).

	Bulk Carrier	Tanker
Karadeniz	510,065	965,710
İstanbul Boğazı	90,875	130,152
Marmara	1,351,930	2,321,079
Çanakkale Boğazı	255,712	395,488
Ege	481,774	882,088
Toplam	2,690,356	4,694,517

AIS verilerine göre, Marmara Denizi' ndeki Bulk Carrier ve Tanker gemilerinin olması gereken ortalama EEDI referans değerleri ile gemilerin oluşturdukları CO2 emisyonlarına göre performans değerleri Çizelge 2.20' de gösterilmiştir.

Çizelge 2.20 : Bulk Carrier ve Tanker gemilerinin EEDI performansları.

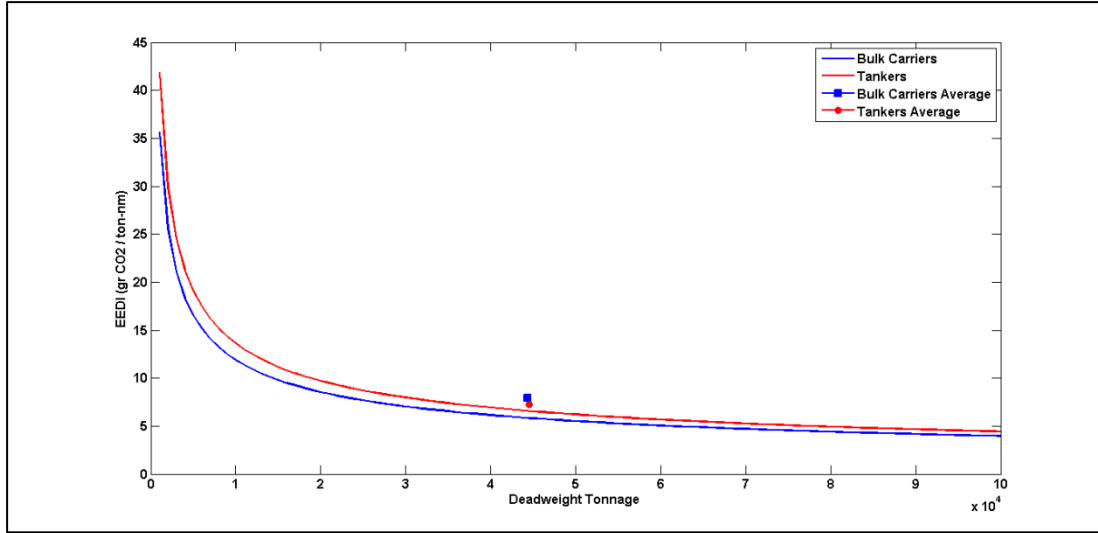
	Ort Grt	Dwt/Grt	Ort Dwt	EEDI Ref	CO2	Dwt-Nm	CO2/Dwt-Nm
Bulk Carriers	26,102	1.70	44,373	5.84	641	80	7.96
Tankers	25,445	1.75	44,529	6.57	986	136	7.26

Emisyon hesaplamalarında makine güçleri %80 yüke göre hesaplanmış ancak EEDI %75 yüke göre tasarlanmıştır. Bunun haricinde, emisyon faktörlerinde yakıt tüketimi (SFC) için %10 belirsizlik bulunmaktadır (Entec,2002).

Tüm bu oranlar Çizelge A.23' teki karşılaştırmalara yansıtılmıştır. Buna rağmen AIS ile hesaplanan CO2 emisyon değeri bölgeden bölgeye ve gemi türüne bağlı olarak EEDI' ın biraz üzerinde bulunmaktadır.

IMO tarafından öngörülen EEDI sınır değerleri, günümüzde mevcut olan gemilere dayanarak hazırlanan regresyon eğrisinin ortalama değerlerine göre hazırlanmıştır. IMO' nun Bulk Carrier ve Tanker gemileri için öngördüğü EEDI sınır değerleri ile, aynı tür gemilerin Marmara Denizi için elde edilmiş ortalama EEDI değerleri Şekil 2.34' te gösterilmiştir.

Bulk Carrier ve Tanker gemileri için regresyon eğrisini oluşturan gemilere ait bilgiler bulunmadığından, Marmara Denizi' ndeki ortalama tonajlar civarındaki standart sapmalar bilinmemektedir. Dolayısıyla sonuçların ana kütle dağılımının ne oranda saptığı söylenememektedir. Ancak, tankerlerin EEDI ortalamalarına daha yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 2.34 : Bulk Carrier ve Tanker gemilerinin EEDI değerleri.

Marmara Denizi' ndeki EEDI hesapları seyir halindeki gemiler için yapılmıştır. Gemilerin operasyon modlarının tayinleri de gemi hızlarına göre yapılmıştır. Seyir modu için kabul edilen hız değerinin değişimi halinde de, seyirde meydana geldiği tahmin edilen CO2 miktarını, dolayısıyla da ortalama EEDI değerini değiştirebilir.

Ancak, gemi inşaa ile ilgili otoriteler, EEDI sınırlamalarının gereğinden çok aşağıda olduğu, EEDI' in tam olarak uygulanması durumunda temel gemi inşaa prensiplerinin çiğneneceği konusunda görüş bildirmektedirler. Bu sebeple, EEDI sınır parametrelerinde aşağı yönlü değişiklikler öngörülmektedir.

Dizel motorlarından 450 farklı çeşit emisyonun meydana gelmesi, emisyonların dışsal maliyetinin sadece önemli zararlar meydana getiren NO_x, SO₂, CO₂, HC, VOCs, PM gibi belli başlı emisyonlar için tanımlanmış olması, marjinal maliyetlerin belirlenmesinde veri bulunamaması sebebiyle emisyon türlerinin bazı zararlarının maliyet hesabına alınamaması yüzünden tahmin edilen maliyetlerin olması gerekenden düşük olduğu tahmin edilmektedir.

Bu yapılan çalışma ve dünyanın diğer bölgelerinde yapılmış bulunan çalışmalar sonucunda toplam dışsal maliyetlerde en büyük payın sırasıyla SO₂ olması ve kükürt emisyonunun doğrudan yakıtın içindeki kükürt oranıyla bağlantılı olması, ayrıca, kükürt oranının NO_x azaltımı için kullanılan SCR sisteminin verimini de düşürmesi ve PM_{2.5} emisyonu miktarını da arttırması sebebiyle, Marmara Denizi ve Türk Boğazları' nın kükürt emisyonu için ECA ilan edilmesi gereklidir.

Dışsal maliyetlerin gemi işletmeciliğindeki maliyetlerle birlikte değerlendirilerek vergilendirme ve denetimler sayesinde içselleştirilmesi, böylece kamunun toplam yararının gözetilmesi gereklidir.

2. 6. 2 Hava Taşımacılığında Kaynaklanan Hava Kirliliği

Dünya hava taşımacılığı gün geçtikçe gelişmektedir. Yolcu miktarı 2011 yılında bir önceki yıla göre %6,5 oranında artmıştır. Uçak seferleri de %3.6 artışla 30 milyona ulaşmıştır. Tahminlere göre, ticari hava taşımacılığı önümüzdeki 20 yıl içinde iki katına çıkacaktır (ICAO).

Atatürk Uluslararası Havaalanı, yılda 37,5 milyon yolcunun kullandığı Türkiye' nin en büyük havaalanı olup önemli bir emisyon kaynağıdır. İstatistiklere göre, 2011 yılında Atatürk Havaalanı' ndaki uçak operasyonu miktarı bir önceki yıla göre %12,8 oranında artış göstermiştir (Tük, 2012).

Havayolu kaynaklı emisyon türleri SO_x, NO_x (NO₂ ve NO), VOC (NMHC ile birlikte), CO, PM_{2.5} ve PM₁₀' dir. Havayolu emisyonları hava kalitesinin yanında küresel ısınmaya da sebep olmaktadır.

Uçak motorları küresel ısınmaya neden olan CO₂ ve su buharı da üretmektedir. Sadece uçaklar değil, yer hizmetlerinde kullanılan araçlar ve hava taşımacılığı ile bağlantılı kara taşımacılığı da hava kalitesine etki etmektedir.

Havaalanı civarındaki yerleşimlerin artışı sebebiyle de hava kalitesine olan etkiler daha da önem kazanmaktadır.

Havaalanı yakınına yerleştirilmiş bulunan Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) alıcısı ile uçaklara ait uçuş verileri dakika dakika kaydedilmektedir. Bu verilerde, uçuş numarası, enlem ve boylam, yükseklik başta olmak üzere çok sayıda bilgi bulunmaktadır. Uluslararası Havacılık Örgütü (ICAO) veritabanı, uçakların motor türü, uçuş moduna göre emisyon faktörleri ve yakıt harcamı bilgilerini içermektedir (Çizelge 2.21).

ICAO veritabanında, uçakların motorlarından meydana gelen HC, CO ve NO_x emisyonlarının miktarları yakılan yakıt miktarına göre verilmiştir. Yakıt harcamı da saniyede tüketilen kg yakıt olarak belirtilmektedir.

Eksik yanma ürünleri olan HC ve CO emisyon faktörleri, motorların tam yükte çalışmadığı idle modunda yüksek iken, yüksek yanma sıcaklığının görüldüğü T/O ve C/O modlarında NOx emisyon faktörü fazladır. Aynı şekilde idle modunda NOx emisyon faktörü düşüktür.

Çizelge 2.21 : Uçakların ICAO emisyon faktörleri.

		HC (g/kg)				CO (g/kg)			
Aircraft	ICAO ENGINE UID NO	T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle
A310	1GE016	0,08	0,10	0,23	10,48	0,57	0,55	2,94	46,01
		NOx (g/kg)				Fuel Flow (kg/second)			
		T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle
		27,93	20,69	9,44	3,95	2,117	1,745	0,580	0,189

Uçakların emisyon faktörleri MongoDB ile işlenmeden önce json formatına çevrilmiştir (Şekil 2.35). JSON (JavaScript Object Notation) hafif bir veri değişim formatıdır. İnsanların okuyup yazabilmesi, makinelerin tarayıp yaratabilmesi kolaydır.

JSON, tamamen programlama dillerinden bağımsız, ancak C türevi dillere (C, C++, C#, Java, JavaScript, Perl, Python ve daha pek çoğu), yazılış bakımından çok benzeyen bir veri tanımlama formatıdır. Bu özellikler, JSON'u veri değiş tokuşu için ideal hale getirmektedir.

```

[{"Aircraft": "A109", "ICAO_ENGINE_UID_NO": "250B17", "T/O_HC": 0.14, "C/O_HC": 0.16, "App_HC": 1.47, "Idle_HC": 14.08, "T/O_CO": 0.14, "C/O_CO": 0.16, "App_CO": 1.47, "Idle_CO": 14.08, "T/O_NOx": 0.14, "C/O_NOx": 0.16, "App_NOx": 1.47, "Idle_NOx": 14.08}, {"Aircraft": "A124", "ICAO_ENGINE_UID_NO": "NULL", "T/O_HC": 0.14, "C/O_HC": 0.16, "App_HC": 1.47, "Idle_HC": 14.08, "T/O_CO": 0.14, "C/O_CO": 0.16, "App_CO": 1.47, "Idle_CO": 14.08, "T/O_NOx": 0.14, "C/O_NOx": 0.16, "App_NOx": 1.47, "Idle_NOx": 14.08}, {"Aircraft": "A139", "ICAO_ENGINE_UID_NO": "NULL", "T/O_HC": 0.14, "C/O_HC": 0.16, "App_HC": 1.47, "Idle_HC": 14.08, "T/O_CO": 0.14, "C/O_CO": 0.16, "App_CO": 1.47, "Idle_CO": 14.08, "T/O_NOx": 0.14, "C/O_NOx": 0.16, "App_NOx": 1.47, "Idle_NOx": 14.08}, {"Aircraft": "A140", "ICAO_ENGINE_UID_NO": "NULL", "T/O_HC": 0.14, "C/O_HC": 0.16, "App_HC": 1.47, "Idle_HC": 14.08, "T/O_CO": 0.14, "C/O_CO": 0.16, "App_CO": 1.47, "Idle_CO": 14.08, "T/O_NOx": 0.14, "C/O_NOx": 0.16, "App_NOx": 1.47, "Idle_NOx": 14.08}, {"Aircraft": "A148", "ICAO_ENGINE_UID_NO": "NULL", "T/O_HC": 0.14, "C/O_HC": 0.16, "App_HC": 1.47, "Idle_HC": 14.08, "T/O_CO": 0.14, "C/O_CO": 0.16, "App_CO": 1.47, "Idle_CO": 14.08, "T/O_NOx": 0.14, "C/O_NOx": 0.16, "App_NOx": 1.47, "Idle_NOx": 14.08}, {"Aircraft": "A225", "ICAO_ENGINE_UID_NO": "NULL", "T/O_HC": 0.14, "C/O_HC": 0.16, "App_HC": 1.47, "Idle_HC": 14.08, "T/O_CO": 0.14, "C/O_CO": 0.16, "App_CO": 1.47, "Idle_CO": 14.08, "T/O_NOx": 0.14, "C/O_NOx": 0.16, "App_NOx": 1.47, "Idle_NOx": 14.08}, {"Aircraft": "A306", "ICAO_ENGINE_UID_NO": "1GE020", "T/O_HC": 0.07, "C/O_HC": 0.08, "App_HC": 0.20, "Idle_HC": 8.99, "T/O_CO": 0.07, "C/O_CO": 0.08, "App_CO": 0.20, "Idle_CO": 8.99, "T/O_NOx": 0.07, "C/O_NOx": 0.08, "App_NOx": 0.20, "Idle_NOx": 8.99}, {"Aircraft": "A310", "ICAO_ENGINE_UID_NO": "1GE016", "T/O_HC": 0.08, "C/O_HC": 0.10, "App_HC": 0.23, "Idle_HC": 10.48, "T/O_CO": 0.08, "C/O_CO": 0.10, "App_CO": 0.23, "Idle_CO": 10.48, "T/O_NOx": 0.08, "C/O_NOx": 0.10, "App_NOx": 0.23, "Idle_NOx": 10.48}, {"Aircraft": "A318", "ICAO_ENGINE_UID_NO": "7CM048", "T/O_HC": 0.10, "C/O_HC": 0.10, "App_HC": 0.90, "Idle_HC": 6.50, "T/O_CO": 0.10, "C/O_CO": 0.10, "App_CO": 0.90, "Idle_CO": 6.50, "T/O_NOx": 0.10, "C/O_NOx": 0.10, "App_NOx": 0.90, "Idle_NOx": 6.50}, {"Aircraft": "A319", "ICAO_ENGINE_UID_NO": "3CM028", "T/O_HC": 0.20, "C/O_HC": 0.20, "App_HC": 0.60, "Idle_HC": 5.50, "T/O_CO": 0.20, "C/O_CO": 0.20, "App_CO": 0.60, "Idle_CO": 5.50, "T/O_NOx": 0.20, "C/O_NOx": 0.20, "App_NOx": 0.60, "Idle_NOx": 5.50}, {"Aircraft": "A320", "ICAO_ENGINE_UID_NO": "1CM008", "T/O_HC": 0.23, "C/O_HC": 0.23, "App_HC": 0.40, "Idle_HC": 1.40, "T/O_CO": 0.23, "C/O_CO": 0.23, "App_CO": 0.40, "Idle_CO": 1.40, "T/O_NOx": 0.23, "C/O_NOx": 0.23, "App_NOx": 0.40, "Idle_NOx": 1.40}, {"Aircraft": "A321", "ICAO_ENGINE_UID_NO": "3CM025", "T/O_HC": 0.10, "C/O_HC": 0.20, "App_HC": 0.50, "Idle_HC": 3.50, "T/O_CO": 0.10, "C/O_CO": 0.20, "App_CO": 0.50, "Idle_CO": 3.50, "T/O_NOx": 0.10, "C/O_NOx": 0.20, "App_NOx": 0.50, "Idle_NOx": 3.50}, {"Aircraft": "A332", "ICAO_ENGINE_UID_NO": "1GE032", "T/O_HC": 0.05, "C/O_HC": 0.07, "App_HC": 0.14, "Idle_HC": 9.68, "T/O_CO": 0.05, "C/O_CO": 0.07, "App_CO": 0.14, "Idle_CO": 9.68, "T/O_NOx": 0.05, "C/O_NOx": 0.07, "App_NOx": 0.14, "Idle_NOx": 9.68}, {"Aircraft": "A333", "ICAO_ENGINE_UID_NO": "2RR022", "T/O_HC": 0.25, "C/O_HC": 0.38, "App_HC": 0.84, "Idle_HC": 1.08, "T/O_CO": 0.25, "C/O_CO": 0.38, "App_CO": 0.84, "Idle_CO": 1.08, "T/O_NOx": 0.25, "C/O_NOx": 0.38, "App_NOx": 0.84, "Idle_NOx": 1.08}, {"Aircraft": "A342", "ICAO_ENGINE_UID_NO": "NULL", "T/O_HC": 0.14, "C/O_HC": 0.16, "App_HC": 1.47, "Idle_HC": 14.08, "T/O_CO": 0.14, "C/O_CO": 0.16, "App_CO": 1.47, "Idle_CO": 14.08, "T/O_NOx": 0.14, "C/O_NOx": 0.16, "App_NOx": 1.47, "Idle_NOx": 14.08}, {"Aircraft": "A343", "ICAO_ENGINE_UID_NO": "NULL", "T/O_HC": 0.14, "C/O_HC": 0.16, "App_HC": 1.47, "Idle_HC": 14.08, "T/O_CO": 0.14, "C/O_CO": 0.16, "App_CO": 1.47, "Idle_CO": 14.08, "T/O_NOx": 0.14, "C/O_NOx": 0.16, "App_NOx": 1.47, "Idle_NOx": 14.08}, {"Aircraft": "A345", "ICAO_ENGINE_UID_NO": "6RR041", "T/O_HC": 0.00, "C/O_HC": 0.00, "App_HC": 0.00, "Idle_HC": 0.10, "T/O_CO": 0.00, "C/O_CO": 0.00, "App_CO": 0.00, "Idle_CO": 0.10, "T/O_NOx": 0.00, "C/O_NOx": 0.00, "App_NOx": 0.00, "Idle_NOx": 0.10}, {"Aircraft": "A346", "ICAO_ENGINE_UID_NO": "6RR041", "T/O_HC": 0.00, "C/O_HC": 0.00, "App_HC": 0.00, "Idle_HC": 0.10, "T/O_CO": 0.00, "C/O_CO": 0.00, "App_CO": 0.00, "Idle_CO": 0.10, "T/O_NOx": 0.00, "C/O_NOx": 0.00, "App_NOx": 0.00, "Idle_NOx": 0.10}, {"Aircraft": "A388", "ICAO_ENGINE_UID_NO": "NULL", "T/O_HC": 0.14, "C/O_HC": 0.16, "App_HC": 1.47, "Idle_HC": 14.08, "T/O_CO": 0.14, "C/O_CO": 0.16, "App_CO": 1.47, "Idle_CO": 14.08, "T/O_NOx": 0.14, "C/O_NOx": 0.16, "App_NOx": 1.47, "Idle_NOx": 14.08}, {"Aircraft": "A3ST", "ICAO_ENGINE_UID_NO": "NULL", "T/O_HC": 0.14, "C/O_HC": 0.16, "App_HC": 1.47, "Idle_HC": 14.08, "T/O_CO": 0.14, "C/O_CO": 0.16, "App_CO": 1.47, "Idle_CO": 14.08, "T/O_NOx": 0.14, "C/O_NOx": 0.16, "App_NOx": 1.47, "Idle_NOx": 14.08}, {"Aircraft": "A400", "ICAO_ENGINE_UID_NO": "NULL", "T/O_HC": 0.14, "C/O_HC": 0.16, "App_HC": 1.47, "Idle_HC": 14.08, "T/O_CO": 0.14, "C/O_CO": 0.16, "App_CO": 1.47, "Idle_CO": 14.08, "T/O_NOx": 0.14, "C/O_NOx": 0.16, "App_NOx": 1.47, "Idle_NOx": 14.08}, {"Aircraft": "AA5", "ICAO_ENGINE_UID_NO": "NULL", "T/O_HC": 0.14, "C/O_HC": 0.16, "App_HC": 1.47, "Idle_HC": 14.08, "T/O_CO": 0.14, "C/O_CO": 0.16, "App_CO": 1.47, "Idle_CO": 14.08, "T/O_NOx": 0.14, "C/O_NOx": 0.16, "App_NOx": 1.47, "Idle_NOx": 14.08}, {"Aircraft": "AC11", "ICAO_ENGINE_UID_NO": "IO360", "T/O_HC": 0.14, "C/O_HC": 0.16, "App_HC": 1.47, "Idle_HC": 14.08, "T/O_CO": 0.14, "C/O_CO": 0.16, "App_CO": 1.47, "Idle_CO": 14.08, "T/O_NOx": 0.14, "C/O_NOx": 0.16, "App_NOx": 1.47, "Idle_NOx": 14.08}

```

Şekil 2.35 : JSON formatındaki uçak emisyon faktörleri.

Uçakların uçuş bilgilerinin bulunduğu veritabanı verileri ile birlikte emisyon faktörleri yardımıyla meydana gelen emisyon miktarları mongo veritabanı programı kullanılarak hesaplanmıştır.

MongoDB, büyük verileri satır satır işleyebilen yüksek performanslı bir veritabanı programıdır. MongoDB altında birden fazla veritabanı tutulabilir. Veritabanlarının altında collection yapıları, bunların altında da document yapıları bulunmaktadır. Document yapıları, dinamik yapılar olup, aynı collection altındaki documentlarda farklı türdeki field veya structure yapıları tutulabilmektedir.

MongoDB ile aşağıdaki kod yardımıyla çalışma bölgesinin (lat: 39.15-42.00, long: 24.50-30.80) herhangi bir noktasından geçen tüm uçakların toplam uçuş emisyonları aşağıdaki Mongo kodu ile hesaplanmıştır.

```
from pymongo import MongoClient
client = MongoClient()
db = client.emissions
flights = db.flights
factors = db.factors
db_cache = {}
generated_results = 0
aircrafts = 0
emission_entries = []
for flight in flights.find():
    aircraft_type = flight['aircraft_type']
    if aircraft_type in db_cache:
        generated = db_cache[aircraft_type]['generated']
        hc_idle = db_cache[aircraft_type]['hc_idle']
        hc_takeoff = db_cache[aircraft_type]['hc_takeoff']
        hc_cruise = db_cache[aircraft_type]['hc_cruise']
        hc_ascend_descend = db_cache[aircraft_type]['hc_ascend_descend']
        nox_idle = db_cache[aircraft_type]['nox_idle']
        nox_takeoff = db_cache[aircraft_type]['nox_takeoff']
        nox_cruise = db_cache[aircraft_type]['nox_cruise']
        nox_ascend_descend = db_cache[aircraft_type]['nox_ascend_descend']
        co_idle = db_cache[aircraft_type]['co_idle']
        co_takeoff = db_cache[aircraft_type]['co_takeoff']
        co_cruise = db_cache[aircraft_type]['co_cruise']
        co_ascend_descend = db_cache[aircraft_type]['co_ascend_descend']
        ff_idle = db_cache[aircraft_type]['ff_idle']
        ff_takeoff = db_cache[aircraft_type]['ff_takeoff']
        ff_cruise = db_cache[aircraft_type]['ff_cruise']
        ff_ascend_descend = db_cache[aircraft_type]['ff_ascend_descend']
    else:
        aircrafts += 1
```

```

factors_single = factors.find_one({'Aircraft': aircraft_type})
generated = factors_single['Generated']
hc_idle = factors_single['Idle_HC']
hc_takeoff = factors_single['T/O_HC']
hc_cruise = factors_single['C/O_HC']
hc_ascend_descend = factors_single['App_HC']
nox_idle = factors_single['Idle_NOx']
nox_takeoff = factors_single['T/O_NOx']
nox_cruise = factors_single['C/O_NOx']
nox_ascend_descend = factors_single['App_NOx']
co_idle = factors_single['Idle_CO']
co_takeoff = factors_single['T/O_CO']
co_cruise = factors_single['C/O_CO']
co_ascend_descend = factors_single['App_CO']
ff_idle = factors_single['Idle_FF']
ff_takeoff = factors_single['T/O_FF']
ff_cruise = factors_single['C/O_FF']
ff_ascend_descend = factors_single['App_FF']
db_cache[aircraft_type] = {
    'generated': generated,
    'hc_idle': hc_idle,
    'hc_takeoff': hc_takeoff,
    'hc_cruise': hc_cruise,
    'hc_ascend_descend': hc_ascend_descend,
    'nox_idle': nox_idle,
    'nox_takeoff': nox_takeoff,
    'nox_cruise': nox_cruise,
    'nox_ascend_descend': nox_ascend_descend,
    'co_idle': co_idle,
    'co_takeoff': co_takeoff,
    'co_cruise': co_cruise,
    'co_ascend_descend': co_ascend_descend,
    'ff_idle': ff_idle,
    'ff_takeoff': ff_takeoff,
    'ff_cruise': ff_cruise,
    'ff_ascend_descend': ff_ascend_descend
}
if generated:
    generated_results += 1
#Emission calculations
emission_points = []
prev_point = None
prev_time_delta = 0
for point in flight['points']:
    if prev_point is None:
        prev_point = point
        continue
    flight_mode = prev_point['flight_mode']
    time_diff = (point['time_delta'] - prev_time_delta) * 60
    prev_time_delta = point['time_delta']

```

```

if flight_mode == 'TXI' or flight_mode == 'TXF':
    hc_emission = hc_idle * ff_idle * time_diff
    nox_emission = nox_idle * ff_idle * time_diff
    co_emission = co_idle * ff_idle * time_diff
elif flight_mode == 'TOF':
    hc_emission = hc_takeoff * ff_takeoff * time_diff
    nox_emission = nox_takeoff * ff_takeoff * time_diff
    co_emission = co_takeoff * ff_takeoff * time_diff
elif flight_mode == 'ASC' or flight_mode == 'DSC' or flight_mode == 'LAN':
    hc_emission = hc_ascend_descend * ff_ascend_descend * time_diff
    nox_emission = nox_ascend_descend * ff_ascend_descend * time_diff
    co_emission = co_ascend_descend * ff_ascend_descend * time_diff
else:
    hc_emission = hc_cruise * ff_cruise * time_diff
    nox_emission = nox_cruise * ff_cruise * time_diff
    co_emission = co_cruise * ff_cruise * time_diff
emission_point = {
    'altitude': prev_point['flight_level'],
    'location': {
        'lat': prev_point['latitude'],
        'lon': prev_point['longitude']
    },
    'time_delta': time_diff,
    'time_over': prev_point['time_over'],
    'flight_mode': prev_point['flight_mode'],
    'HC_emission': hc_emission,
    'NOx_emission': nox_emission,
    'CO_emission': co_emission
}
emission_points.append(emission_point)
emission_entry = {
    '_id': {
        'document_id': flight['day_name'],
        'flight_num': flight['flight_num']
    },
    'aircraft_id': flight['aircraft_id'],
    'aircraft_type': flight['aircraft_type'],
    'emission_points': emission_points
}
emission_entries.append(emission_entry)
print "Generated results rate is {0}% and number of aircrafts investigated is {1}."\
    format(100 * generated_results / flights.count(), aircrafts)
emissions = db.emissions
emissions.drop()
emissions.insert(emission_entries)
print "Results are saved to {0} ".format("emissions.emissions")

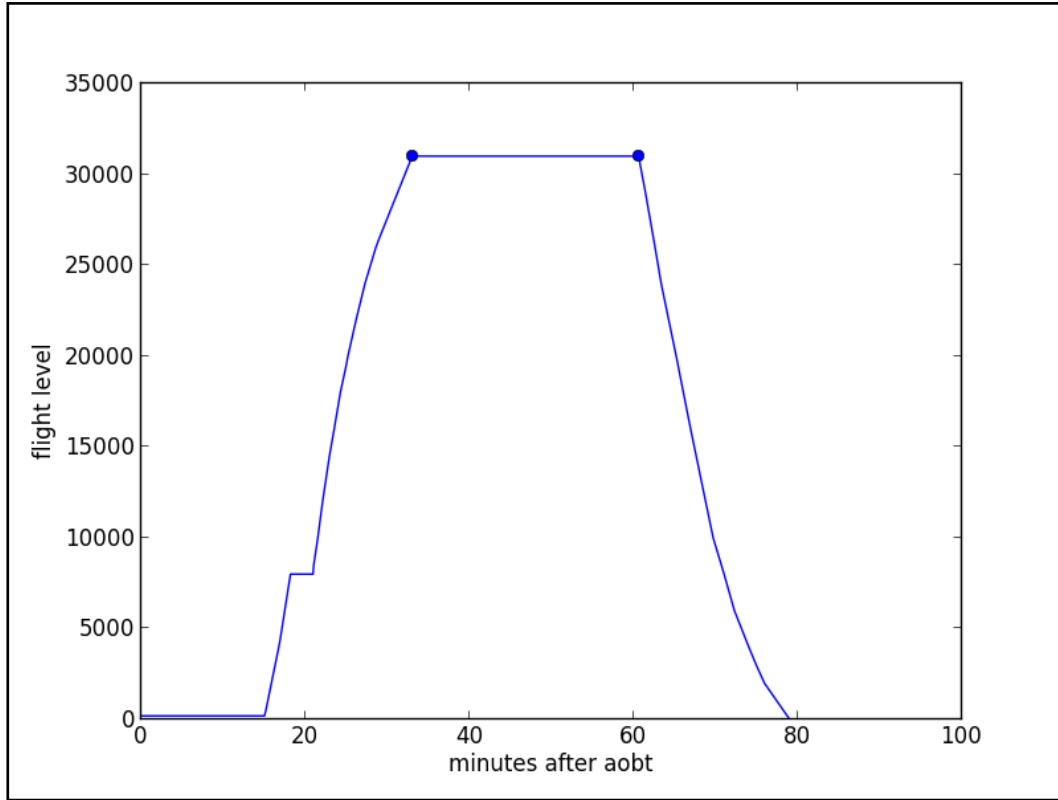
```

Uçaklara ait her bir kayıt Çizelge 2.22' de gösterildiği üzere sonuçlandırılmıştır.

Çizelge 2.22 : Uçak emisyonlarının sonuçları.

Document Id	Flight Number	Time Over	Time Delta	Latitude	Longitude
20110301	1071	01.03.2011 05:07	255	40.24888889	29.54944444
Altitude(ft)	Flight Mode	HC(g)	NOx(g)	CO(g)	
800	TXI	53.295	131.835	527.34	

Emisyon faktörlerine ulaşamayan uçaklar için diğer tüm uçakların ortalama değerleri kullanılmıştır. Bir uçağın zamana bağlı yükseklik ve uçuş modlarına göre profili Şekil 2.36' da gösterilmektedir. Actual Off-Blocks Time (aobt), uçağın kapılarının kapatıldığı ve uçuşa hazır olduğu zamanı ifade etmektedir.



Şekil 2.36 : Bir uçağın uçuş modları.

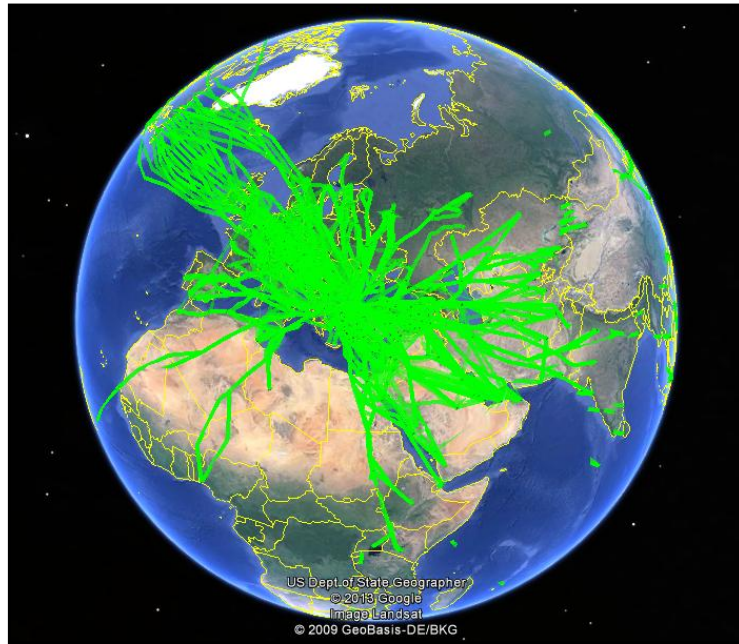
Toplam emisyonların %12 si generated verilerden hesaplanmıştır. 1-3 Mart 2013 tarihleri arasındaki 3 gün boyunca kaydı bulunan 303 adet farklı uçak 5105 adet uçuş gerçekleştirmiş olup, bu uçaklardan 101 tanesi çalışma bölgesinden geçmiştir. Çalışma bölgesi içinde yüksekliğe bağlı olarak meydana gelen toplam emisyonlar aşağıda gösterilmektedir. Çalışma bölgesi için filtrelenmeden önce, uçuş yüksekliğinin 56,000 feet civarına kadar çıktığı tespit edilmiştir. Ancak çalışma bölgesi içinde uçuş yüksekliği en fazla 2,600 ft'e çıkmaktadır (Çizelge 2.23).

Çizelge 2.23 : Uçak emisyonlarının toplam sonuçları (kg).

Altitude (ft)	# of Record	Σ HC	Σ NO _x	Σ CO
0	2220	229.8	64.9	703.0
100	944	66.3	24.5	227.8
200	86625	9,579.3	8,056.7	48,511.9
300	27552	1,161.6	1,619.8	8,463.6
600	577	95.1	37.7	354.2
800	342	81.0	32.0	321.9
2600	259	24.3	8.7	87.0
Toplam	118,519	11,237	9,844	58,669

Uçaklara ait veri sayılarına bakıldığında, uçuşlarının herhangi bir anında çalışma bölgesinden geçen uçakların toplam uçuş kayıtları 400 bine ulaşırken, sadece çalışma bölgesindeki uçuş kayıtları 118 bin civarındadır.

Çalışma bölgesinde 1-3 Mart 2013 tarihleri arasında bulunan uçuşların dünya üzerindeki yerleri Şekil 2.37 ve Şekil 2.38' de gösterilmektedir.



Şekil 2.37 : Çalışma bölgesinden geçen uçuşlar.

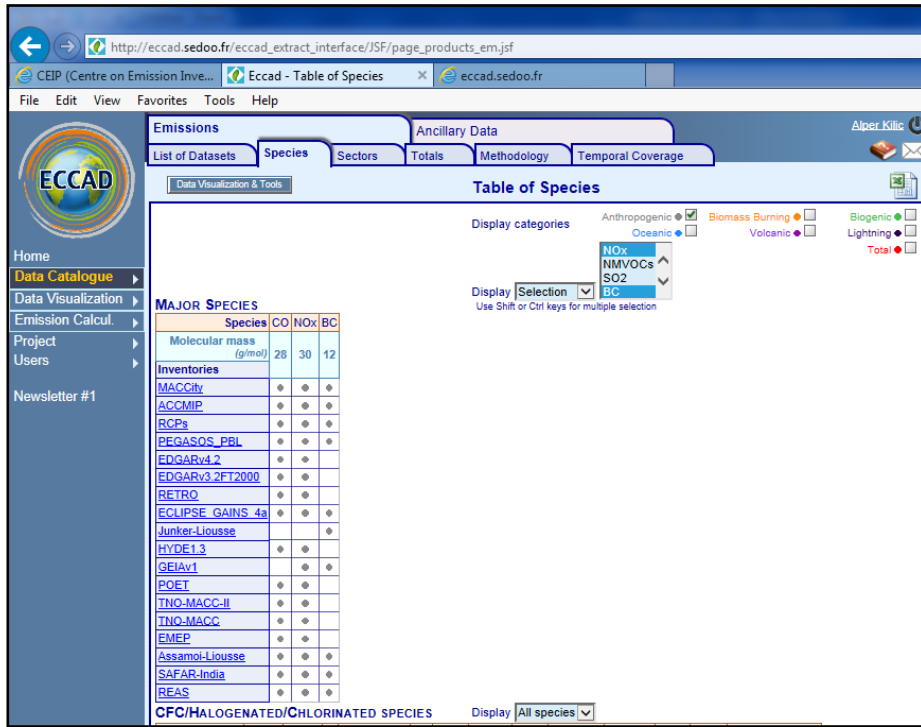
Emissions of atmospheric Compounds & Compilation of Ancillary Data (ECCAD) içerisinde küresel ve bölgesel ölçeklerde emisyon envanteri veritabanları bulunmaktadır.

MACCity veritabanında, "aviation" kaynaklı NO_x emisyon envanteri tutulmaktadır.



Şekil 2.38 : Çalışma bölgesinden geçen uçuşlar.

MACCity veritabanından 2008-10-01 ila 2008-10-31 tarihleri arasındaki uçaklardan kaynaklanan NO_x emisyon envanteri çalışma bölgesini kapsayan 39-42 lat, 24.5-31 lon arasındaki bölge için filtrelenerek analiz edilmiştir (Şekil 2.39).



Şekil 2.39 : ECCAD veri kataloğu.

MACCity veritabanına göre, 2008 Ekim ayında çalışma bölgesi içinde uçaklardan yaklaşık olarak toplam 1.2 ton NO_x oluşmaktadır. Günlük olarak NO_x miktarı 38.8 kg olarak belirtilmektedir.

Tüm uçuş modları için NO_x emisyon faktörü 12.2 g/kg yakıt, yakıt tüketimi ise tüm uçuş modları için ortalama 0.5 kg/saniyedir. Dolayısıyla NO_x emisyonu yaklaşık 6.1 g/saniye, ya da 0.0061 kg/saniye olacaktır.

Günlük emisyonu elde etmek için çalışma bölgesi içinde 6361 saniye, yani günde sadece 1.77 saat uçuş gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu da, MACCity veritabanındaki uçaklardan kaynaklanan NO_x emisyonunun olması gerekenden çok düşük olduğunu göstermektedir.

Aynı yöntemle; MongoDB ile alınan sonuçlara göre çalışma bölgesindeki NO_x emisyonu günlük 3281 kg olarak meydana gelmekte, bu da aynı varsayımlarla günlük 149 saatlik uçuşa karşılık gelmektedir.

3. HAVA KİRLİLİĞİNİ AZALTMA YÖNTEMLERİ

Kirletici emisyonlar türlerine göre farklı şekillerde oluştuğu gibi, oluşan bu emisyonları oluşumlarından önce veya oluşuktan sonra azaltmak için yine farklı yöntemler bulunmaktadır.

Emisyonların azaltılması için en önemli yöntem, miktarı sonsuz kabul edilen yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaktır. En önemli yenilenebilir enerji kaynakları olarak, güneş enerjisi, jeotermal enerji, hidroelektrik enerjisi, rüzgar enerjisi, dalga enerjisi, biyokütle kullanılması gibi tabiatın sunmakta olduğu enerjiler sayılabilir. Bu tür doğal enerjilerin kullanımı ve yaygınlaşması, başta küresel ısınmaya yol açan CO₂ olmak üzere, birçok zararlı emisyonların salınımını azaltmaktadır.

Hava kirliliğini önlemenin bir diğer yolu da, enerji tasarrufu yapmaktır. Özellikle ısıl proseslerde yeni bir uygulama olarak da kojenerasyon uygulamaları gelmektedir. Endüstri sektöründe kojenerasyon uygulamaları yapılarak 2020 yılına kadar %11 oranında enerji tasarrufu sağlanabilecektir (Atikol ve Güven, 2003).

Denizcilik sektörü açısından, sadece gemiler değil, limanda kullanılan ekipmanlar ve enerji kullanımları da önemli emisyon kaynaklarıdır. Limanlarda kullanılan ekipmanların tür ve sayıları ile operasyonlarının optimizasyonu da, önemli ölçüde enerji kullanımı ve enerji tüketimini düşürmektedir (Esmemr vd., 2010).

Gemilerden kaynaklanan emisyonları azaltmak için her gemi ve emisyon türü için çok çeşitli yöntemler vardır. Meydana gelen emisyonların miktarları, özellikle CO₂ emisyon miktarı doğrudan yakıt tüketimine de bağlı olduğundan, gemilerde yakıt ekonomisi sağlamak için; geminin tekne tasarımı, makine tasarımı, pervane sistemi, diğer teknolojik tasarımlar ile gemi işletim yöntemlerinde iyileştirmeler yapılmalıdır (OECD, 2009).

Gemi dizel motorlarında meydana gelen emisyonları azaltmak için farklı yöntemler bulunmaktadır.

Bunlar; motor optimizasyonu, motor modifikasyonları, egzoz gazlarının arıtılması, alternatif yakıtların kullanılması, limanlarda uygulanan emisyon azaltma yöntemleri, gemilerin verimli işletilmesi ve piyasa mekanizmalarının kullanılması gibi yöntemlerdir.

Denizcilik sektöründe emisyonların kontrolü için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, sahil elektrik bağlantısı yapılması, gemi formlarının optimize edilmesi, geminin toplam enerji ekonomisinin iyileştirilmesi, CO₂ indeksi ile gemilerin performanslarının ölçülmesi, filo yönetiminin daha etkin kullanımıyla gereksiz gemi hareketlerinin önlenmesi, gemi yakıtlarının vergilerinin arttırılması, emisyon ticareti uygulamalarına geçilmesi, limanlarda CO₂ bazlı ücret alınması, soğutucu gazların kaçaklarına sıkı yaptırımların getirilmesi, HC ve NO_x un da küresel ısınmaya sebep olan gazlar sınıfına sokulması gibi yaptırımlar üzerinde halen tartışılmaktadır.

Küresel ısınma ve iklim değişikliğine sebep olan CO₂ emisyonu için ise, uzun ve kısa dönemde olmak üzere, teknik, operasyonel ve piyasa mekanizmaları tabanlı bir takım azaltma mekanizmaları önerilmektedir.

Limanlarda gemi kaynaklı emisyonları azaltmak için cold ironing metot (gemilere limandayken sahilden elektrik verilmesi) ve cloud chamber scrubbing (gemi bacalarından egzozun alınarak sahile verilmesi) yöntemleri mevcuttur.

Tekne tasarımı konusunda gemi boyutlarında iyileştirmeler yapmak (gemi boyutu arttıkça birim emisyon düşmektedir), düşük balastlı seyir için uygun gemi inşa etmek, boş tekne ağırlığını (lightweight) düşürmek, optimum gemi ölçülerinde gemi tasarlamak (gemi boyunun uzaması yakıt tüketimini düşürür), teknenin su altındaki açıklıkları (bow thruster ve kinistin sandıkları gibi) türbülans yapmayacak şekilde tasarlamak gibi yöntemler önerilmektedir. Gemi tasarımı, pervane, makine, operasyon ve yakıt olarak ana hatlarıyla sınıflandırılan yöntemlerin kullanılmasıyla %80 NO_x, %90 PM, %70 SO_x, %70 CO₂ azaltımı mümkündür (Miola, 2010).

Önerilen diğer teknolojilerden bazıları ise değişken hızda çalışan elektrik motorları kullanımı, güneş ve rüzgar enerjisinin gemilere uyarlanması sayılabilir. Gemilerin işletimiyle ilgili olarak ta, optimum seyir planlaması yapmak, teknenin su altı temizliğini yapmak, yakıt katkıları kullanmak, optimum trimde seyir yapmak gibi yöntemler bulunmaktadır.

2020 yılı gemi emisyonları miktarına göre yapılan çalışmada, Avrupa için, SO₂ ve NO_x emisyonlarını azaltma yöntemlerinin maliyetleri ile bu yöntemlerin uygulanması ile meydana gelen fayda karşılaştırılmıştır. Buna göre, çevresel faydası en yüksek yöntem SCR yöntemi ile birlikte kükürt oranının % 0.5' e düşürülmesi olarak öngörülmesine karşılık, fayda-maliyet oranı en yüksek yöntem ise motorlarda HAM yönteminin uygulanması olarak görülmektedir (Sieber).

Dizel motorlarının silindir içi parametrelerin kontrol edilerek emisyon azaltılması ve yakıt ekonomisinin iyileştirilmesi, yanma odası geometrisinin optimizasyonu, yanma süresinin optimizasyonu, yakıt püskürtme sistemlerindeki gelişimler, yanma işlemine su, üre, amonyak (NH₃) eklenmesi, yanma odasına yüksek basınçlı su püskürtülmesi, düşük kükürt oranlı yakıtların egzoz gazlarının re-sirküle edilerek tekrar yanmaya katılması ve yıkama sistemlerinin kullanılmasıyla NO_x emisyonlarının azaltılması, yanma odası veya yanma odasından hemen sonra egzoz gazına üre veya NH₃ enjekte edilmesi, oksitleme reaktörleri ile eksik yanma ürünü olan CO ve HC gazlarını yeniden yakarak CO₂ ve H₂O moleküllerine çevrilmesi, alternatif yakıt kullanımları olarak sayılabilir.

Alternatif yakıt olarak LPG, LNG, CNG, metanol, etanol ve hidrojen kullanılabilir. İstanbul'da kullanılan doğal gazın kükürt oranı 110 mg/m³ tür. 20 °C ve 100 kPa'da gaz yoğunluğu 0.71 kg/m³ olduğundan, ağırlıkça kükürt oranı % 0.0155 olmaktadır. Dolayısıyla günümüz gemi yakıtlarının ortalama kükürt oranı %2.7 ile kıyaslandığında gemi yakıtlarının % 0.6' sı kadar kükürt ihtiva etmektedir. Otomobil motorlarında doğal gaz kullanımıyla NO_x' ta %80, CO' da %76, benzende %97, ozona zarar veren hidrokarbonlarda %90, PM' de %99 azalma görülmektedir (Url-20).

Canakci vd. (2009), dizel motorlarında 5 farklı biyodizel yakıtı motorun farklı devir sayısı ve yükünde deneyerek, motor performansı ve meydana gelen emisyonlar konusunda çalışmışlardır.

Çalışmada yapay sinir ağı modeli kullanılarak farklı biyodizel karışımların performans ve emisyon çıktıları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Ancak, silindir içindeki karmaşık yanma proseslerine göre oluşan CO, NO_x ve UHC emisyonu miktarı için modelin yüksek seviyede hata verdiği tespit edilmiştir.

Gumus ve Kasifoglu (2010), yakıt içeriğine düşük konsantrasyonlarda kayısı tohumunun çekirdeğindeki yağdan elde edilen metil esterin katılmasıyla motor performansı ve egzoz emisyonlarında iyileşme görüldüğünü belirtmektedirler.

Sayin vd. (2009), 4 zamanlı bir dizel motorunda, dizel yakıta %15'e varan oranlarda metanol karıştırarak deney yapmışlar, Bsfc, NO_x ve CO₂ emisyonları BTE ile birlikte artarken, duman opaklığı (smoke opacity), UHC ve CO emisyonlarının azaldığını tayin etmişlerdir.

Kumar vd., 2013 yılındaki çalışmalarında, metanol ve etanol kullanımına nazaran, bütanolün üstün yakıt özelliği sayesinde kullanımının daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmektedirler.

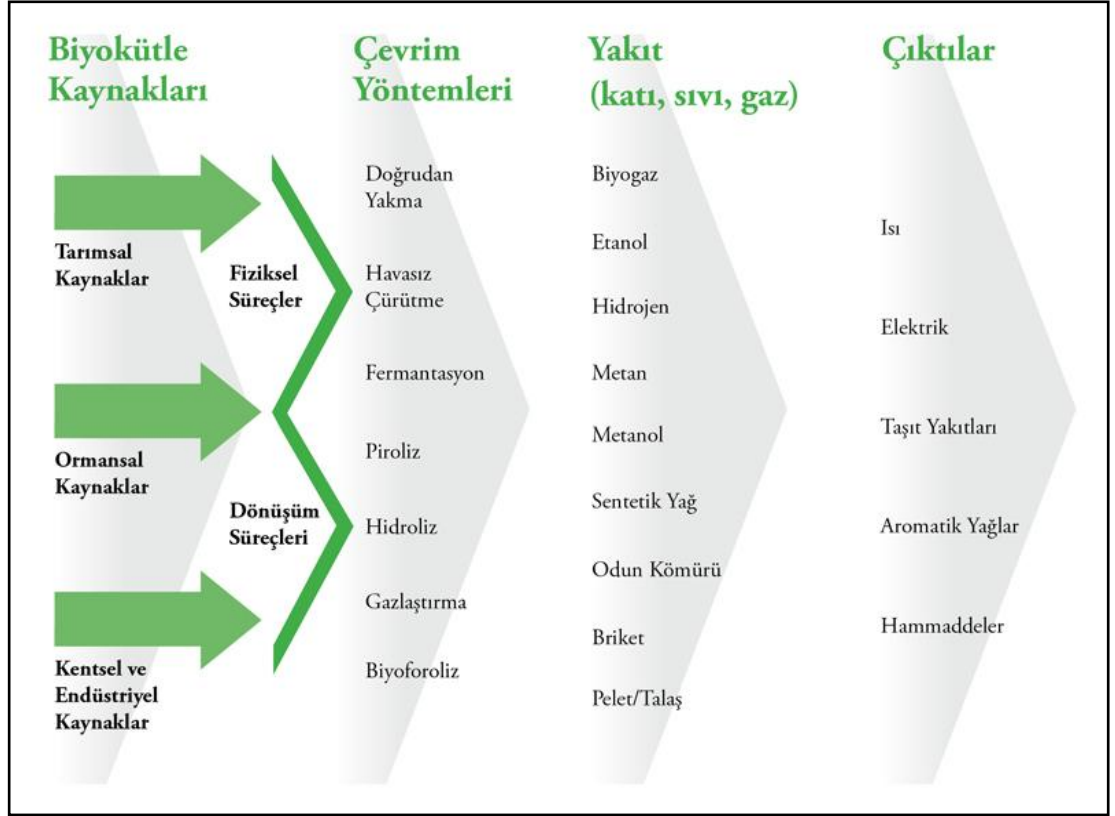
Sadece yakıt türü ve içeriği değil, makinenin yanma parametrelerini değiştirecek herhangi bir etki de makinelerin emisyon faktörlerini değiştirebilir. Sayin vd. (2008), motor silindirindeki yakıt püskürtme zamanlamasını değiştirdiklerinde NO_x ve CO₂ emisyonlarının arttığını, buna karşın HC ve CO emisyonlarının azaldığını belirlemişlerdir.

Dizel motorlarından meydana gelen çok farklı emisyonlar, farklı proseslere bağlı olarak gerçekleştikleri için, bir emisyon türünü azaltmak için yapılan bir çalışma, farklı bir emisyon türündeki artışa neden olabilmektedir.

Dizel motorlarında günümüzde görülen en yaygın araştırma konularından birisi biyodizel uygulamalarıdır. Yakıt içeriğinde kullanılan bitkisel kökenli bazı kimyasalların motor performansı ve emisyonlarına olan etkileri incelenmektedir.

Türkiye'nin 2013-2020 yılları arasında enerji verimliliği, yenilenebilir enerjiler ve katı atık yönetimi konularındaki emisyon azaltımı potansiyeli 1071 milyon ton CO₂'e eşdeğerdir ve bu azaltımlarla 19775~33386 milyon dolar kazanç sağlayabilir (Ari, 2013).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli türlerinden biri olarak görülen biyokütle enerji kaynakları; kaynağa yönelik üretim ve çevrim teknolojilerinin iyi bilinmesi, her ölçekte enerji verimi için uygun olması, çevre ile dost olması, sürdürülebilir enerji üretimini ve çevre yönetimini sağlaması ve kalkınmayı hedefleyen özellikleri ile tüm dünyada geniş bir uygulama alanı bulmuştur (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Biyokütle enerjisi üretim yöntemleri (Url-31).

Türkiye Kyoto Protokolü' ne 24 Mayıs 2004 tarihi itibarıyla taraf olmuştur. Türkiye, 26 Şubat 2009 tarihinde Kyoto Protokolü' nü imzalayarak iklim değişikliğini önlemek üzere, enerji verimliliğini arttırmak ve sera gazı salınımlarını azaltmak üzere politikalar üretmeyi ve uygulamayı kabul etmiştir.

Uluslararası iklim değişikliği rejimi sırasıyla, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS-1992), Kyoto Protokolü (1997) ve 2012 Sonrası İklim Değişikliği Rejimi İçin Yeni Uluslararası Anlaşma (2009) ile sonuçlanan süreçler geçirmiştir.

GHG emisyon azaltım oranlarının alınıp satıldığı kredi sistemine emisyon (karbon) ticareti denmektedir. UNFCCC' deki görüşmelere göre Türkiye sadece gönüllülük esasına dayalı olarak karbon ticareti uygulayabilir.

Denizcilik faaliyetlerini kontrol eden IMO (International Maritime Organization) 'nun da çevre koruma alt komitesi (MEPC-Marine Environmental Protection Committee) de gemi kaynaklı emisyonların azaltılması için gerekli kuralların çıkarılması için çalışmalar yapmaktadır.

Bu emisyonların her birinin azaltılması için ayrı emisyon azaltım yöntemleri bulunmakta, bir emisyon türünü azaltmak için yapılan bir yöntem, diğer bir emisyon türünün miktarının artmasına yol açabilmektedir. Örneğin, NO_x emisyonu miktarı için makine silindirlerindeki yanmaya yapılan müdahale makinenin yakıt tüketiminin artmasına ve dolayısıyla başta kükürt oksitler ve karbondioksit olmak üzere diğer emisyon miktarlarının artmasına neden olabilmektedir.

Dolayısıyla, emisyon azaltım yöntemlerinin sonuçlarının toplam maliyetlerde meydana getireceği azalmanın yakıt maliyetlerindeki artışlarla yeni uygulanacak teknolojinin getireceği maliyetlerle kıyaslanması sürdürülebilir denizcilik faaliyetleri için gerekli kuralların belirlenebilmesi için yapılması gereken çalışmalardır.

Gemilerden kaynaklanan hava kirliliği ile ilgili olarak en temel düzenleme IMO tarafından çıkarılan deniz kirliliğini önleme hakkındaki MARPOL konvansiyonunu VI. Ekidir. MARPOL 1973 yılında çıkarılmış olup, 1978 ve 1997 yıllarında değişiklikler geçirmiştir.

MARPOL, Dünya deniz ticaret filosu tonajının %99' una hitab etmektedir. Ek 6 1997 yılında MARPOL' e dahil olmuş, 2005 yılında yürürlüğe girmiş, 2008 yılında yeniden düzenlenerek 1 Ocak 2010 tarihinden itibaren de zorunlu hale gelmiştir (Url-8).

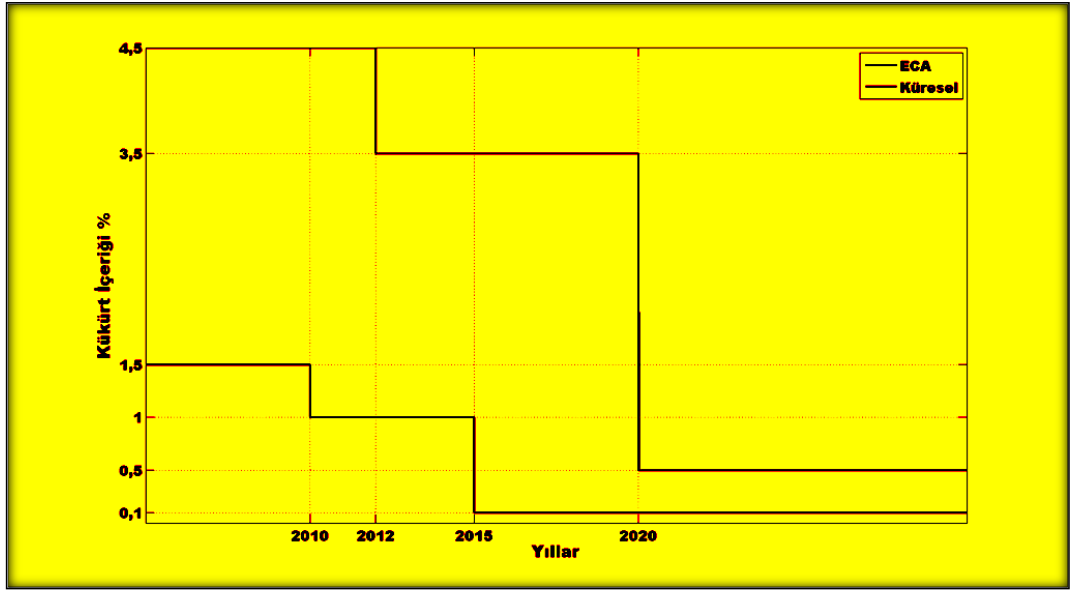
Dünya üzerindeki belli bölgeler oşinografik, ekolojik konumları ve gemi trafiği göz önünde bulundurularak emisyon kontrolü için özel alan ilan edilmiştir. Baltık Denizi 19 Mayıs 2006, Kuzey Denizi 22 Kasım 2007 ve Kuzey Amerika' nın kıyıda 200 mil mesafesi 1 Ağustos 2012' den geçerli olmak üzere özel alanlardır (Url-15). Baltık ve Kuzey Denizi sadece kükürt emisyonu için kontrol alanı iken, Kuzey Amerika hem kükürt hem azot emisyonları için kontrol bölgesidir.

IMO, gemi yakıtlarının kükürt içeriğini 14. regülasyonda belirlemiştir. Buradaki gemi yakıtları kapsamına ana ve yardımcı makineler, yardımcı kazan ve inert gaz jeneratöründe kullanılan tüm yakıtlar girmektedir. Gemilerde kullanılan yakıtların kükürt içeriğinin kontrolü kapsamına gemiye alınan bunker yakıtları da girmektedir.

ECA bölgelerinde kükürt içeriğinin 1 Temmuz 2010 tarihine kadar %1.5, bu tarihten sonra %1.0 ve 1 Ocak 2015' ten sonra da %0.1 olması kurala bağlanmıştır.

ECA dışındaki bölgelerde ise, 1 Ocak 2012 tarihine kadar %4.5, bu tarihten sonra %3.5 ve 1 Ocak 2020' den sonra da %0.5 olması kararlaştırılmıştır. Gemi yakıtlarının kükürt içeriğinin yıllara göre değişimi Şekil 3.2' de gösterilmektedir.

İkinci bir kontrol yöntemi olarak, (MEPC.184(59)) kodlu klavuzu yürürlüğe girmiştir. Bu klavuza göre, eğer gerekli sınır değerlere ulaşabiliyorsa, egzoz temizleme sistemi bulunan gemilerin aldıkları bunker yakıtlarındaki kükürt oranlarında bir kısıtlamaya gidilmeyecektir (Url-16).



Şekil 3.2 : Gemi yakıtlarının kükürt içeriği.

Bazı Akaryakıt Türlerindeki Kükürt Oranının Azaltılmasına İlişkin Yönetmelik' in yürürlüğe konulması; Çevre ve Orman Bakanlığının 18/9/2009 tarihli ve 7756 sayılı yazısı üzerine, Bakanlar Kurulu'nca 29/9/2009 tarihinde 15478 nolu karar ile kararlaştırılarak, 06 Ekim 2009 tarihinde 27368 sayılı Resmi Gazete' de yayınlanmıştır.

Bu yönetmeliğin ardından, 2009/15667 sayılı karar ile Bazı Akaryakıt Türlerindeki Kükürt Oranının Azaltılmasına İlişkin Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik yayınlanmıştır. Bu Yönetmelik; Türkiye Cumhuriyeti topraklarında, deniz yetki alanlarında ya da belirlenen kirlilik kontrol alanlarında, bazı akaryakıt türlerinin kükürt içeriğinin sınırlandırılması veya kükürt dioksit emisyonlarının azaltılması ile bazı akaryakıt türlerinin denetimini, numune alınmasını ve raporlanmasını kapsamaktadır.

Yönetmeliğe göre; %0.1 kükürt oranı sınırlaması, 1 Ocak 2012 tarihi itibarıyla, tüm iç su araçları ile bayrağına bakılmaksızın, rıhtımdaki gemilerin kullandığı yakıtlara uygulanmaktadır. %1.5 kükürt oranı sınırlaması, 1 Ocak 2012 tarihi itibarıyla, bayrağına ve sefere başlangıç noktasına bakılmaksızın, düzenli sefer yapan tüm yolcu gemilerine uygulanmaktadır.

Türkiye Cumhuriyeti deniz yetki alanlarından uğraksız geçiş yapan yolcu gemileri ve uğraksız geçiş yapmak üzere demirleme yerlerinde bekleyen gemiler, uğraksız geçiş durumlarını bozmadıkça, Yönetmelik'in kapsamı dışındadır. Rıhtımdaki gemiler, herhangi bir liman sınırları içerisinde yükleme, boşaltma veya konaklama faaliyetlerinin yapıldığı sürelerde veya yük operasyonları yapılmaksızın geçen zamanlarda güvenli bir şekilde bağlı veya demirli olan gemileri kapsar.

Gemilerin yayımlanmış tarifeye göre, iki saatten az süreyle limanda bağlı ya da demirli bulunması durumları, 1974 tarihli Denizde Can Emniyeti Uluslararası Sözleşmesinin son haline uyumlu olduğunu gösteren bir sertifikaya sahip iç su araçlarının denizde bulundukları durumlar ve rıhtımdaki gemilerin makinelerinin çalışmadığı ve karadan elektrik ile beslendiği durumlar kapsam dışında bırakılmıştır.

Yönetmelik'e göre, rıhtımdaki gemiler yapılan her yakıt değişim operasyonunu gemi jurnallerine kaydedecek olup, gemi mürettebatına gemilerin limana varmasını müteakip mümkün olan en kısa zamanda ve limandan ayrılmadan önceki en geç sürede yakıt değişim operasyonlarını tamamlaması için gerekli zaman İdare tarafından sağlanacaktır. İç su araçları, tabii ve suni göller, baraj gölleri, dalyan ve nehirlerde yük ve yolcu taşımak için kullanılan her türlü tekne ile balıkçı gemilerini kapsamaktadır.

IMO' nun gemilerden kaynaklanan NO_x emisyonunu kontrol için geliştirdiği yöntem ise, NO_x Technical Code 2008 (resolution MEPC. 177(58)) deki regülasyonlar 13.8 ve 5.3.2 gereğince, dizel motorlarının azot emisyonlarının ölçülmesi ve zorunlu EIAPP sertifikasının düzenlenmesi ile sağlanmaktadır (Url-17). Bu kural 1 Ocak 2000 tarihinden sonra inşa edilmiş gemilere donatılan ve fren gücü 130 kW üzerindeki gemi dizel motorları ile bu tarihten sonra büyük çaplı dönüşümler geçiren makineleri kapsamakta olup, acil durumlar için kullanılan makineleri kapsamamaktadır.

Çizelge 3.1' de, kademeli olarak gerçekleştirilecek olan azot oksit kontrol aşamaları gösterilmektedir.

Çizelge 3.1 : Azotoksit Kontrol Aşamaları (Url-17).

Aşama	Gemi inşaa tarihi (> =)	Emisyon miktarı (g / kWh) n = makine devri (rpm)		
		n < 130	n < 130-1999	n > = 2000
I	1 Ocak 2000	17.0	$45 \cdot n^{-0.2}$	9.8
II	1 Ocak 2011	14.4	$44 \cdot n^{-0.23}$	7.7
III	1 Ocak 2016	3.4	$9 \cdot n^{-0.2}$	2.0

Aşama II ve III' e dahil gemiler NO_x Technical Code 2008' e tabi iken, Aşama I' e dahil gemiler 1997 yılına ait koda tabidir ve sertifikaları makine ömürleri kadar geçerliliğini koruyacaktır. Aşama III sadece NO_x emisyonu için kabul edilen ECA için gerekli olacaktır (Url-17).

Marpol Ek – VI' nın uygulanması ile Çizelge 3.2' de gösterildiği şekilde emisyonlarda azalma olması beklenmektedir.

Çizelge 3.2 : Beklenen emisyon azaltım oranları (Buhaug).

	Küresel	ECA
NO _x (g / kW-h)	15-20 %	80 %
SO ₂ (g / kW-h)	80 %	96 %
Pm (g / kW-h)	73 %	83 %

IMO, bir bölgenin özel alan ilan edilmesi için yapılacak müracatlar için bazı koşullar öngörmektedir. Yapılan müracatlar emisyonların önlenmesi, azaltılması ve kontrolü için gerekli düzenlemelerin belirlenmesi için IMO tarafından değerlendirilmektedir.

Müracat edilen bölge şu şartları sağlamalıdır :

- Özel alanın açık şekilde haritada çizilmesi.
- Kontrolü amaçlanan emisyon türü (NO_x, SO_x ve PM veya her üçü gibi).
- Gemi emisyonlarından etkilenme riski altında bulunan nüfus ve çevrenin tanımlanması.

- Gemi kaynaklı emisyonların hava kalitesine etkileri ve çevreye olan olumsuz etkilerinin değerlendirilmesi, emisyonların insan ve çevreye (karasal ve denizel ekosistemler, doğal üretim alanları, kritik doğal ortamlar, su kalitesi, insan sağlığı, kültürel öneme sahip alanlar gibi) etkileri tanımlanmalı, ilgili meteoroloji verileri ve hesaplama yöntemleri belirlenmelidir.
- Emisyon kontrol bölgesindeki gemi trafiğinin yapısı, şekli ve yoğunluğu belirlenmelidir.
- Risk altındaki bölgelerde insan sağlığı ve çevreyi etkileyen kara bazlı SO_x, NO_x ve PM emisyonları için uygulanan kontrol önlemlerinin tanımlanması
- Gemi kaynaklı emisyonların azaltılması için gerekli maliyetlerin karasal emisyon kontrol yöntemlerine göre bağıl maliyetlerinin ve gemilerin içinde bulunduğu uluslararası ticaret üzerindeki etkilerinin belirlenmesi.
- ECA içindeki yakıt miktarının değerlendirilmesi, gerekli yakıt ikmalinin sağlanması.
- Bunlara ek olarak, ECA bölgesinin coğrafi sınırlarının tayini, gemilerin meydana getirdiği trafiğin yoğunluğuna, rüzgar alanlarına, gemi kaynaklı emisyonlar ve birikimlerine göre yapılacaktır (IMO, 2008).

The U.S. Environmental Protection Agency (EPA), IMO ve MEPC' deki Birleşik Devletler delegasyonuna üyedir. EPA çok çeşitli türdeki gemi makineleri için birçok standart geliştirmiştir. Bu standartlar uygulanmaya başladıkları tarihten sonra imal edilmiş makineler için geçerlidir. Gemi makineleri için Code of Federal Regulations (CFR) isimli kurallar bulunmaktadır.

Birleşik Devletler ve Kanada, ülke kıyılarının ECA ilan edilmesi için IMO' ya başvuruda bulunmuşlardır.

Bunun haricinde, Californiya, Kuzey Amerika ECA bölgesi uygulamaya geçene kadar kendine ait bulunan devlet kurallarını uygulamaya devam edecektir.

IMO, düşük kükürt içeriği bulunan yakıtların kullanılmasına alternatif olarak egzoz temizleme sistemlerinin gemilere donatılmasına müsaade etmesine rağmen, EPA, ECA bölgesine giren Birleşik Devletler sularında yüksek kükürtlü yakıtların satılmasını yasaklamak üzere bir kanun teklifi sunmuştur.

Kuzey Amerika ECA bölgesi, Birleşik Devletler ve Kanada' nın kıyılarında, bir başka devletin egemenlik sınırına girmediği takdirde, karadan 200 deniz milini kapsayan bölge için geçerlidir. Bu iki devletin ECA olmak için verdikleri öneride, uzakyol seferi yapan gemilerin toplam taşıma hacminin % 20' si bu iki ülkede yapılan taşımacılık faaliyetlerinin oluşturduğu belirtmişlerdir. ABD limanlarına yılda 64 bin gemi uğrarken, Kanada limanlarına yılda 29 bin gemi uğramaktadır.

IMO' nun tahminlerine göre, ECA bölgelerinde tüketilen yakıt, küresel yakıt miktarının %8' ini meydana getirmektedir.

EPA 1 Haziran 2014' ten geçerli olmak üzere % 0.1' in üzerinde kükürt içeren yakıtların üretimi, ithalatı, satışı, tedariki, dağıtımı, depolanması ve taşınmasını yasaklayan bir standart yayınlamıştır. Tüketim amacı dışında ECA bölgesinde bulunacak yüksek kükürtlü yakıtlar için, taşınması ve dokümantasyonu sırasında bu yakıtların kükürt sınırlarına uymadığının açıkça markalanmasını da şart koşmaktadır.

1 Temmuz 2009 tarihinde California Air Resources Board (ARB), Kaliforniya sahillerinin 24 mil açığına kadar olan bölgede uzakyol gemilerinin ana ve yardımcı makineleri ile kazanlarında kullanılan MGO için %1.5, MDO için ise %0.5 kükürt sınırlaması getirmiştir. Bu oranlar 1 Ocak 2012 tarihinden itibaren her iki yakıt türü için de %0.1' e düşürülecektir (Sustainable Shipping).

Birleşik Devletler, Karayip Denizi' ndeki Porto Riko ve Virjin Adaları' nın da ECA ilan edilmeleri için müracat etmiştir. Bu sayede bölgedeki gemi kaynaklı NO_x, SO_x ve PM emisyonları kontrol edilecektir.

Bölgenin ECA ilan edilmesi ile birlikte, yılda 11 bin ton NO_x, 3.3 bin ton PM_{2.5} ve 31 bin ton SO_x emisyon azaltılması öngörülmektedir. Bu rakamlar 2020 yılı emisyon tahminlerine göre sırasıyla %27, %86 ve %96 emisyon azaltımı sağlayacaktır. Bölgenin ECA ilan edilmesinin maliyetinin 70 milyon USD olacağı tahmin edilmektedir (EPA, 2010).

EPA, gemi makinelerini çıkış güçleri ve silindir başına hacimlerine göre 5 sınıfta gruplandırmaktadır. Üçüncü kategori (C3) gemi makineleri uzakyol gemilerinde donatılan ana makinelere karşılık gelen 37 kW tan büyük ve silindir başına hacmi 30 litreden fazla olan makineleri kapsamaktadır. Bu makineler için istenen standartlar Annex VI' nın standartlarının aynısıdır (EPA, 2004).

Avrupa Birliği, 'kirleten öder' ve 'kullanan öder' prensipleri gereğince, emisyonların dışsal maliyetlerinin de taşımacılık maliyetlerine yansıtılmasını istemektedir. Ancak, her bir emisyon türünün miktarı farklı teknolojilere ve kullanıcılara göre değişkenlik göstermesi, hukuksal alt yapı sorunları gibi sebeplerde dışsal maliyetlerin dahil edilmesi zor bir konudur.

Bu sebeple, yere, zamana ve kullanıcıya bağlı olmayan CO₂ emisyonu ve oluşturduğu küresel ısınmanın maliyetleri üzerinde durulmaktadır.

AB komisyonu, IMO' nun 2009 yılından itibaren bir takım çalışmalar yaparak 2012 sonrası bu konuda adımlar atmasını beklemekte, aksi takdirde AB karasularında yaptırımlar uygulanması için harekete geçeceğini bildirmektedir (COM, 2008).

Gemilerden kaynaklanan emisyon miktarları ve küresel emisyonu etkileri düşünüldüğünde, CO₂ en önemli GHG olduğu görülmektedir. Orta vadeli emisyon senaryoları göstermektedir ki, eğer herhangi bir önlem alınmaz ve yaptırım uygulanmazsa 2050 yılında gemi kaynaklı sera gazı miktarının günümüze oranla %150 ila %250 arasında artacağı, GHG' lerin azaltımı için teknik ve işletimsel önlemler alındığında %25 ila %75 arasında emisyon azaltımı sağlanabileceği öngörülmektedir (Buhaug, 2009).

Yeni enerji verimliliği kuralları (EEDI, SEEMP vb.), gemilerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltılması konusu MEPC'de yoğun tartışmalara neden olmuştur.

Bazı devletlerin, sera gazları konusunun MARPOL Ek VI içinde ele alınmaması, ayrı bir sözleşme ile kural haline getirilmesi yönündeki çabaları sonuçsuz kalmıştır. Devletle arasındaki yoğun tartışmalar nedeniyle, ancak oylama yapılarak yeni enerji verimliliği kurallarının “adopt” edilebilmesi sağlanmıştır.

Özellikle gelişmekte olan devletlerin uyarıları sonucunda, “Gerekli Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi” (Required EEDI) ve “Ulaşılabilir Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi” (Attained EEDI) kuralları ile ilgili olarak İdarelere kuralın uygulanış tarihlerinden en fazla 4 yıl sonrasına kadar uygulama yapmama yönünde esneklik getirilmiştir.

Komitenin bu kararı ile birlikte MARPOL Ek VI’ya yeni bir bölüm (bölüm 4) eklenmiş ve aşağıdaki kurallar kabul edilmiştir. 01.01.2013 tarihinden itibaren inşa edilen, 400 GT’den büyük, uluslararası sefer yapan tüm yeni gemiler için “Ulaşılabilir Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi” (Attained EEDI) değeri hesaplanacaktır.

Bu değerin, IMO’nun istatistiki çalışmalar sonucunda belirlemiş olduğu “Gerekli Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi” (Required EEDI) değerinin altında olması gerekmektedir. “Gerekli Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi” (Required EEDI) değeri Çu an için 7 gemi tipi için tanımlanmış durumdadır.

Ancak bazı küçük tonajlı gemiler için (örneğin 4000 DWT’den küçük tankerler, 3000 DWT’den küçük genel kargo gemileri vb.) “Gerekli Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi” (Required EEDI) değeri yoktur. Bu boyuttaki gemiler için “Ulaşılabilir Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi” (Attained EEDI) hesaplanacak ancak herhangi bir değerle kıyaslama yapılmayacaktır.

Gemilerin işletilmeleri sırasında enerji verimliliğinin dikkate alındığının doğrulanabilmesi için tüm gemilerde “Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı” (Ship Energy Efficiency Management Plan – SEEMP) bulunması gerekecektir.

Türkiye henüz MARPOL sözleşmesinin Annex VI ekine taraf olmamıştır. Türkiye kıyıları henüz ECA bölgesine sahip olmamakla birlikte, Marmara Denizi ve Türk Boğazları’ nın ECA ilan edilmesi için çalışmalar devam etmektedir.

4. HAVA KALİTESİNİN MODELLENMESİ

Hava kalitesi modelleri ile farklı kaynakların hava kalitesine etkileri ve hava kalitesiyle ilgili senaryolar oluşturulabilir. Sadece belli noktalardan hava kalitesi ölçümleri ile bu etkilerin belirlenmesi gerçekleştirilemez. Dahası, ölçümler tek bir noktanın değerlerini belirttiğinden, ölçüm noktasının seçimi de çok önemlidir.

Hava kirliliği simülasyon modelleri çevre politikaları, kuralları ve araştırmaları için kullanılan önemli araçlardır. Hem çevresel hem de kontrol maliyetlerini en uygun seviyede belirleyebilmek için hava kirliliği kontrol yöntemlerini kullanmak gereklidir.

Ancak, atmosferde meydana gelen olayların karmaşıklığını temsil edecek hava kalitesi modelleri de fiziksel ve kimyasal olarak hayli karmaşıktır. Hava kalitesi modelleri küresel (global), bölgesel (mesoscale) ve yerel (local) ölçeklerde yapılmaktadır. Hava kalitesi modelleri, uygulandıkları alanların merkezinde daha iyi çözümler sunarken, sınır noktalarında hata payları artmaktadır. Sınır noktaları, karasal etkilerden kaçınabilmek için daha çok denizler üzerinde seçilmektedir.

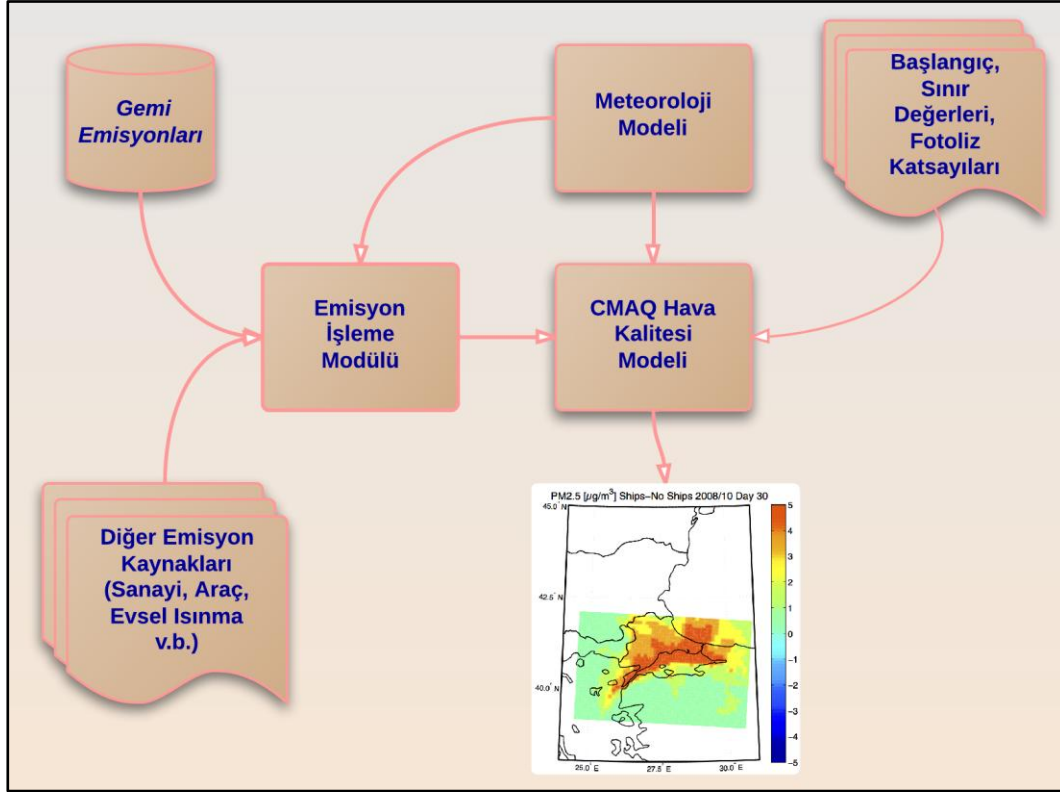
Marmara Denizi ve Türk Boğazları' nı içine alan bölgedeki yıllık ticari gemi emisyonlarının hava kalitesine etkilerini görmek amacıyla CMAQ modeli kullanılmıştır.

Hava kalitesi çalışmalarının düzlemdeki çözünürlüğü çok önemlidir. Çözünürlük arttıkça bilgisayarların yapması gereken işlemler artmaktadır. Avrupa kıtasını içine alan bölgede (domain) çözünürlük 30 km x 30 km, Balkanlarda 10 km x 10 km iken, İstanbul için çözünürlük 2 km x 2 km' ye düşmektedir.

Dış domain' deki model sonuçları, iç domain' lerde girdi olarak kullanılmaktadır. Bölgesel (mesoscale) modellerin sınır değerleri için ise, uydu verileri veya küresel modellerin çıktıları kullanılmaktadır.

Gemi kaynaklı emisyonların hava kalitesi üzerinde meydana getirdiği etkilerin belirlenebilmesi için Şekil 4.1' deki yöntem uygulanmıştır.

Çözünürlüğün 1 km x 1 km' nin altına düştüğü durumlarda atmosferdeki rassal (random) olayların varlığı nedeniyle, hatalar büyümekte, bu hatalar da katlanarak artmaktadır.



Şekil 4.1 : Emisyonların hava kalitesine etkilerini belirleme yöntemi.

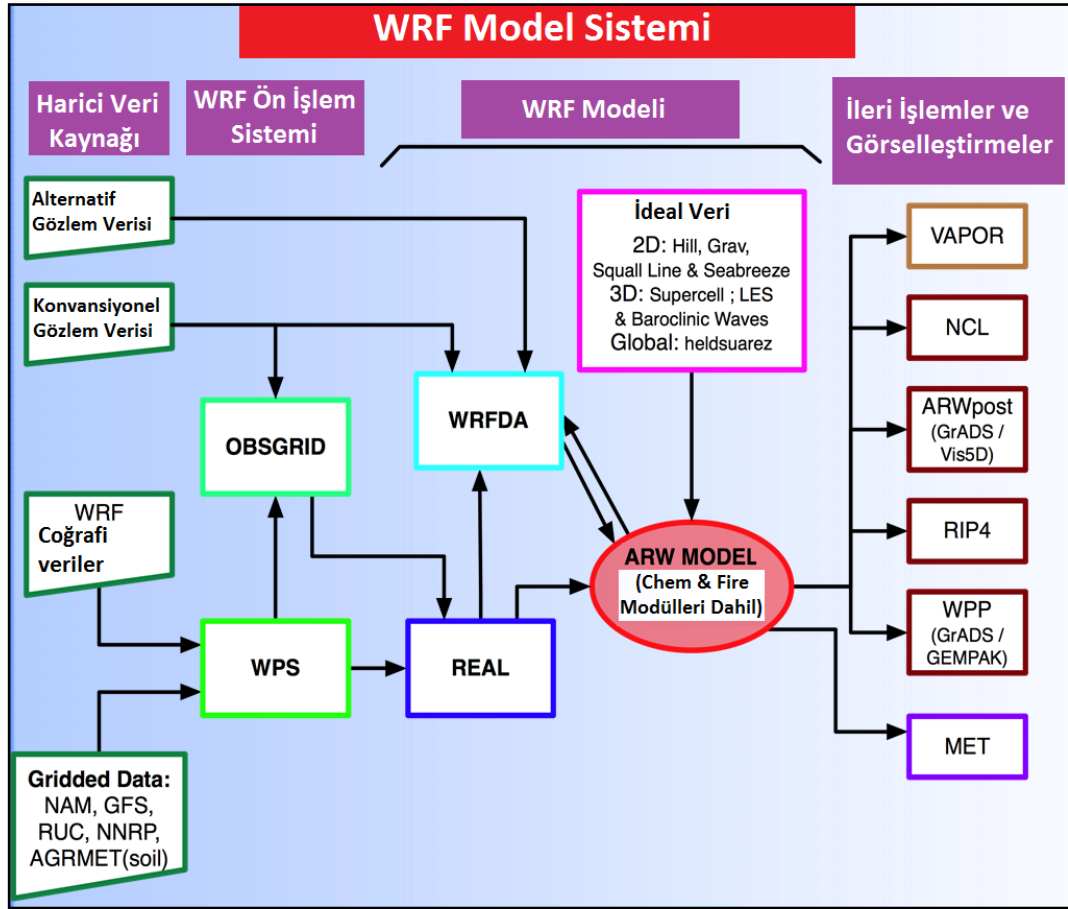
4. 1 WRF modeli

The Weather Research and Forecasting (WRF) modeli, yeni nesil bölgesel ölçekli hava tahmin sistemi olup hava tahmin ve atmosfer araştırmalarının ihtiyaçlarına hizmet etmektedir. WRF, metreden binlerce kilometreye kadar olan geniş bir spektrumdaki uygulamalar için uygun bir modeldir. Çoklu dinamik yapıdaki 3 boyutlu değişken değer asimilasyon sistemi (3DVAR) ve paralel hesaplama izin veren yazılım mimarisine sahiptir.

WRF modelinin geliştirilmesinde National Center for Atmospheric Research (NCAR), the National Oceanic and Atmospheric Administration (the National Centers for Environmental Prediction (NCEP), the Forecast Systems Laboratory (FSL), the Air Force Weather Agency (AFWA), the Naval Research Laboratory, Oklahoma Üniversitesi ve Federal Aviation Administration (FAA) kuruluşları etkin rol almaktadır.

WRF modeli, gerçek veri veya ideal durumlar için simülasyonlar yapılmasına izin vermektedir. WRF ileri derecede fiziksel, numeric ve araştırma kuruluşları tarafından karşılanan veri asimilasyonları sunmakta, verimli ve esnek bir hesaplama ve tahmin sağlamaktadır (Url – 28).

WRF ARW için denklem seti tamamen sıkıştırılabilir, eulerian ve run-time hidrostatik seçeneği bulunan non-hidrostatiktir. Model en üstte sabit basınç yüzeyine sahip hidrostatik basınca bağlı düşey koordinata sahiptir. Yatay grid Arakawa-C grid' dir. Şekil 4.2' de WRF model sisteminin genel yapısı görülmektedir.



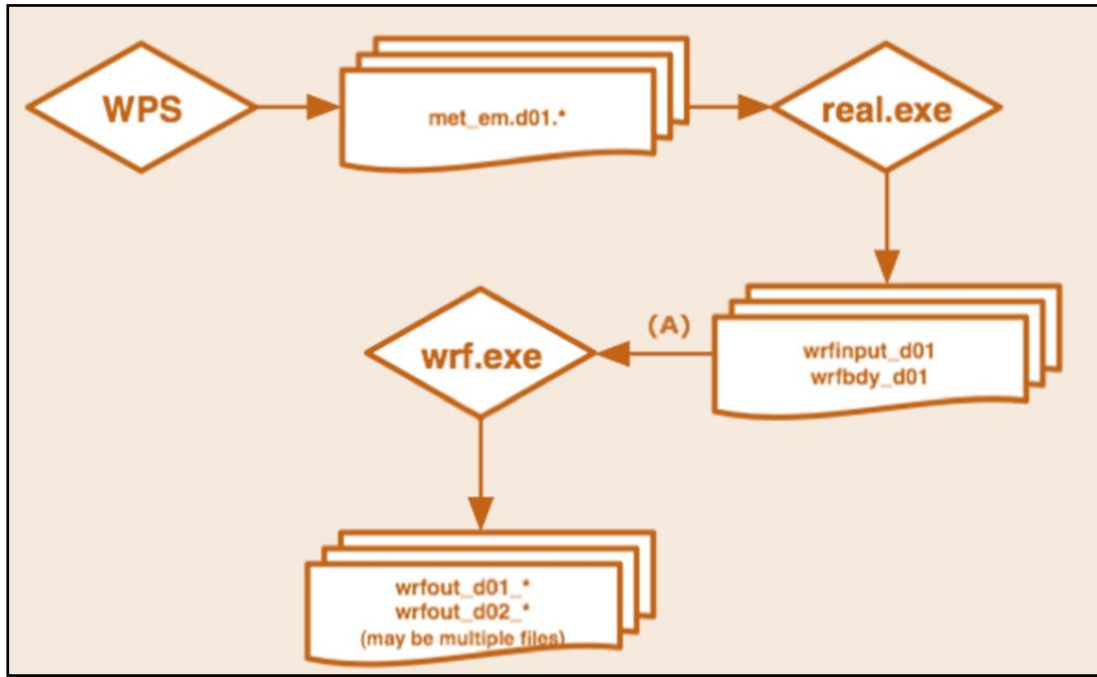
Şekil 4.2 : WRF model sistemi (Url-28).

Modeldeki zaman integrasyon şeması 3. derece Runge-Kutta şemasını kullanırken, alansal ayrımlaştırma 2. ve 6. derece şemalara dayanır. Model ideal ve gerçek veri uygulamalarını içerir. Ayrıca tek yollu, iki yollu ve hareketli yuvalama seçenekleri de bulundurulur. Ideal.F ve real_em.F programlarının amacı WRF modeli için başlangıç şartlarını oluşturmaktır. Hidrostatik denge ayarlaması ve WRF değişkenleri için başlangıç 3. ve 2. alanların kurulmasını da içerir.

WPS' in işlevi, WRF gridinin belirlenmesi, WRF için harita, yükseklik ve yersel bilgilerin oluşturulması, diğer modelden gerçek very analiz ve tahminlerinin alınması ve WRF grid sistemine bu verilerin enterpolasyonunun yapılmasıdır. Zamana bağlı alanlar 3 boyutlu rüzgar, potansiyel sıcaklık, su buharı ve 2 boyutlu alanlar içermektedir.

WRF-Var ile gözlem değerleri modelin başlangıç şartları içine asimile etmek için kullanılabilir. WPS, real ve WRF modelinin çıktıları netCDF formatında bulunmakta olup, NCAR Graphics NCL, GrADS veya RIP4 gibi programlarla görsel hale getirilebilirler.

WRF ARW için denklem seti tamamen sıkıştırılabilir, eulerian ve run-time hidrostatik seçeneği Şekil 4.3' te, tek bir girdi dosyası ile iki yollu ve nested WRF model sisteminin işleyişi gösterilmektedir.



Şekil 4.3 : Tek girdi dosyası ile iki yollu ve nested WRF sistemi (Url-28).

Bu yöntemde, dıştaki büyük domain çıktıları küçük domain içine aktarılır. Böylece, iç domain için yeni bir girdi dosyasına ihtiyaç bulunmaz, yuvalanan domain istenen zaman dilimi için çalıştırılabilir. (A) noktasına kadar tek domain sistemine göre akış görülmektedir. Namelist.input dosyası yuvalamalı işlem için uygun şekilde düzenlenerek bu işlem için girdiler oluşturulur.

WPS' in çıktıları olarak metgrid.exe programı ile oluşturulan met_em.d01 dosyaları kullanılarak real.exe programı çalıştırılır ve wrfinput_d01 ve wrfbdy_d01 dosyaları oluşturulur. wrfinput_d01 dosyasında; modelin Eta düşey seviyelerine interpolate edilmiş 3 boyutlu başlangıç zaman değeri bulunmaktadır.

wrfbdy_d01 dosyasında; sonuncusu hariç her tahmin zamanı için N/S/W/E sınırları için ayrı ayrı değerleri bulunmaktadır. Ancak, iç içe yuvalanmış domain çalışmalarında, iç domain için bu değerler oluşturulmaz, çünkü iç domain, dış domain den gelen değerleri kullanır. NetCDF dosyaları olarak oluşturulan bu veriler ncdump veya ncview gibi araçlar kullanılabilir. Daha sonra wrf.exe çalıştırılarak, wrfout_d01 ve wrfout_d02 gibi her bir domain için program çıktıları elde edilir. Bu dosyalar da yine ncdump, ncview veya NCL, RIP4 veya ARWpost gibi programlar ile değerlendirilebilir.

4. 2 CMAQ Modeli

CMAQ, hava kalitesi modellemelerinde troposferik ozon, asit birimi, görünürlük ve hava kirletici maddelerin konsantrasyonları için kullanılan güçlü bir model sistemidir. Model, 1990' lı yılların başından itibaren EPA' nın Atmosfer Modelleme ve Analiz Bölümünün liderliğinde North Carolina' daki National Exposure Research Laboratory (NERL)' de geliştirilmektedir (CMASIE, 2010).

CMAQ, one atmosphere modeli olarak, tüm kaynaklardan meydana gelen tüm kirleticileri içermektedir.

Hava kirliliği modelleri sadece tek bir çeşit kirletici madde üzerinde kullanıldığında, emisyon denetimi sağlansa bile, bu kirletici ile alakalı diğer kirleticilerin miktarlarında beklenmedik artışlar meydana gelebilir. Atmosferdeki kirleticiler çok sayıda taşınım ve dönüşümlere maruz kalmaktadırlar. Bu taşınım ve dönüşümler atmosferin bileşiminin ve diğer kirleticilerin derişimlerine de bağlıdır. Örneğin, emisyon azaltımına yönelik modellemele göstermektedir ki; ozon seviyesini düşürmek için VOC ve NO_x emisyonunun azaltılması PM ve asit birikiminin artmasına sebep olmaktadır (Byun, 1999).

Birinci nesil hava kalitesi modelleri yerel ölçeklerde basit kimyasal modeller içeren ve Gauss modelini temel alan modellerdir. İkinci nesil modeller, yerel ve bölgesel ölçeklerde tek çeşit kirleticiyi modellemekteydiler, ancak bacadan çıkan duman birden fazla kirletici içerir ve zamana bağlı olarak tüm bölgeyi etkiler, bu sebeple etkin ve en az maliyetli kirlilik denetimi için tüm kirleticileri modelleyen sistemlere ihtiyaç bulunmaktadır. Üçüncü nesil modeller çoklu kirleticileri aynı anda kıtasal veya daha büyük ölçeklerde işleyebilirler.

CMAQ modeli, hava kalitesini gerçek kimyasal ve fiziksel oluşumları matematiksel olarak simüle eden ve üç boyutlu sabit Euler grid sistemini kullanan Fortran-90 tabanlı, Linux işletim sisteminde çalışan bir modeldir. Her grid hücre içindeki taşınım ve kimyasal dönüşümlere göre kütle korunumunu sağlar ve iki temel girdi olan meteoroloji ve emisyon bilgilerini kullanır. Meteorolojik model olarak MM5 veya WRF modelleri ile uyumludur. “Community” model olması dolayısıyla modelin geliştirilmesi geniş bir kitle tarafından gerçekleştirilmektedir. Modelin dahili ve harici veri akışı Input/Output Applications Programming Interface (I/O API) kütüphanesi ile, giriş-çıkış dosya formatları da Common Data Form (netCDF)’ in uyarlanmış versiyonu ile gerçekleştirilmektedir. Çıkış dosyaları I/O API ve netCDF’ in karmaşı şekliindedir. Modelin modüler yapısı simülasyonların oluşturulması sırasında çok sayıda bilimsel yapılandırma seçenekleri sunmaktadır.

Ülke bazında yıllık emisyon envanterinden SMOKE ve CONCEPT modelleri ile CMAQ modeline emisyonlarla ilgili veri girişleri büyüklük, yer ve zamana bağlı olarak yapılabilmektedir. CMAQ model sistemi 5 ana ve 3 yardımcı programdan oluşmaktadır.

The initial conditions processor (ICON): Simülasyonun birinci saati için modelin uygulandığı alandaki kimyasal durumu gridlenmiş binary netCDF dosyası şeklinde oluşturur. Bunu ya CMAQ ile gelen ve düşey derişim kesitini içeren ASCII dosyasından, ya da mevcut olan CMAQ Chemistry-Transport Model (CCTM) çıkış dosyasından oluşturur.

The boundary conditions processor (BCON): Modelin uygulama alanında yatay sınırlardaki kimyasal durumu gridlenmiş binary netCDF dosyası olarak oluşturur. Bu sınır şartları statik veya zamana bağlı dinamik olarak, aynı ICON gibi düşey derişim kesitini içeren ASCII dosyasından veya mevcut CCTM dosyasından elde edilebilir. Dinamik sınır şartları CCTM dosyasından elde edilir. ASCII dosyasından hem statik hem de dinamik veri elde edilse de, genellikle statik veriler için kullanılır.

The clear-sky photolysis rate calculator (JPROC): Belli bir yükseklikte, güneş açısında ve absorbtion cross section and quantum yield (CSQY) dosyasında çizelgelenmiş enlem bandlarındaki açık hava fotoliz oranlarını hesaplar. JPROC dosyasının çıktısı fotoliz oranını gösteren ASCII tablosu olup, bu tablo CCTM tarafından gaz fazındaki kimyasal reaksiyonlar ve kirletici derişimlerini hesaplamak için kullanılmaktadır.

The meteorology-chemistry interface processor (MCIP): MM5 ve WRF meteoroloji modellerinin çıktılarından SMOKE ve CMAQ tarafından kullanılmak üzere netCDF formatında meteoroloji girdi dosyalarını oluşturur. Buna ek olarak, CCTM tarafından kullanılmak üzere zamana ve kirletici türüne bağlı kuru birikim hızlarını hesaplar. MCIP meteorolojik model tarafından tanımlanmış alanın yataydaki sınırlarını (horizontal boundary of the domain) düzgün olarak küçültmek (trim cells off) için kullanılabilir. Ayrıca 'layer collapsing' metoduyla meteoroloji verisinin düşeydeki çözünürlüğünü düşürebilir. MCIP için şu seçenekler düzenlenebilir: meteoroloji çıktı verilerinin zaman süreci, yatay ve dikey grid tanımlamaları, kuru birikim (dry deposition) hızları ve MCIP çıkışına uydu bulut gözlemlerinin birleştirilmesi.

The CMAQ Chemistry-Transport Model (CCTM): Bu model JPROC, BCON, ICON MCIP ön işleme programları çıktılarına ek olarak CMAQ' e emisyon girdisi sağlayan programların (örn SMOKE) çıktılarını birleştirerek atmosfer kimyasının şartlarını sürekli simülasyonunu gerçekleştirir. Zamana ve konuma bağlı gaz ve aerosol türleri, kuru ve yaş birikim değerleri, görüş gibi bilgileri netCDF dosyaları olarak çıkarır. CCTM için; zamana bağlı simülasyon, kimyasal mekanizmalar, kirletici taşınımının fiziksel modellemesi gibi seçenekler düzenlenebilmektedir.

The code builder / manager (M3BLD): C programlama diliyle yazılmış tek birimdir. CSV kaynak kodu ile Fortran 90 compiler için bir arayüz sağlar.

CMAQ' in MCIP hariç tüm executable dosyalarını oluşturmak için gerekli olduğundan, CMAQ kaynak kodu sisteme yüklendikten sonra gerekli olan ilk programdır. Bunu haricinde UNIX makefile oluşturur, böylece CMAQ kodunun denenmesi ve hata gidermek için bir geliştirme ortamı sunar.

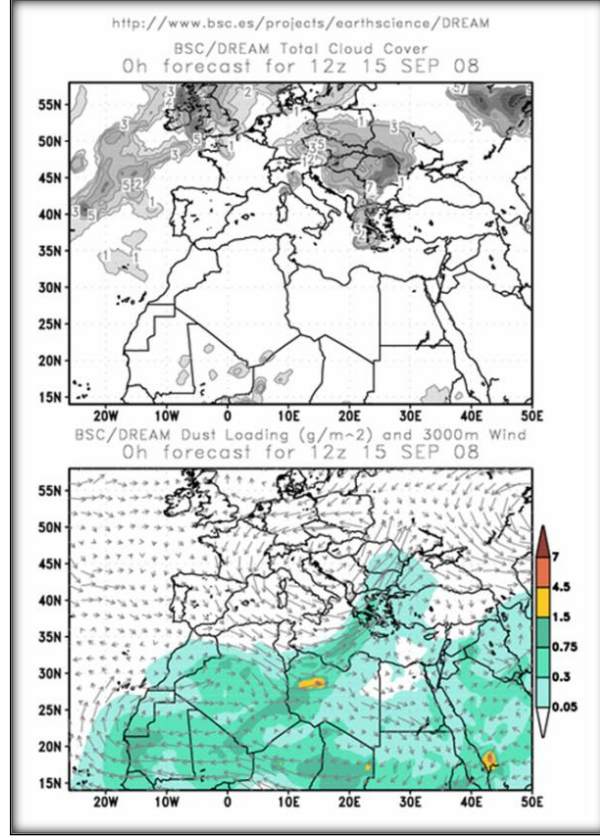
The chemical mechanism compiler (CHEMMECH): Bu program kimyasal mekanizma dosyası (INCLUDE) oluşturur. CMAQ' te kimyasal mekanizmalar fotokimyasal mekanizmaları tanımlayan mekanik ve kinetik sabitleri içeren INCLUDE dosyaları serisi ile temsil edilmektedir. CHEMMECH, INCLUDE dosyalarını anlık olarak kimyasal reaksiyona girenler, çıkanlar ve reaksiyon hızları bilgilerini içeren ASCII mekanizma-tanım dosyalarından elde eder. Bu program mevcut mekanizmaların kinetiğini belirlemek ve yeni reaksiyonlara yeni türler eklemek için gereklidir.

The process analysis preprocessor (PROCAN): İşlem analizi simülasyon sürecince kimyasal türlerin kaynaklarını takip etmede kullanılan bir tekniktir. PROCAN, işlem oranı ve reaksiyon hızını hesaplayan CCTM' nin bir versiyonunu oluşturmak üzere kullanılan Fortran INCLUDE dosyalarını üretir. Bu ön işlemci, istenen işlem analiz seçeneklerini düzenlemek üzere bir düzenleme dosyası kullanır.

4.3 Marmara Gemi Emisyonları için WRF Modelinin Uygulanması

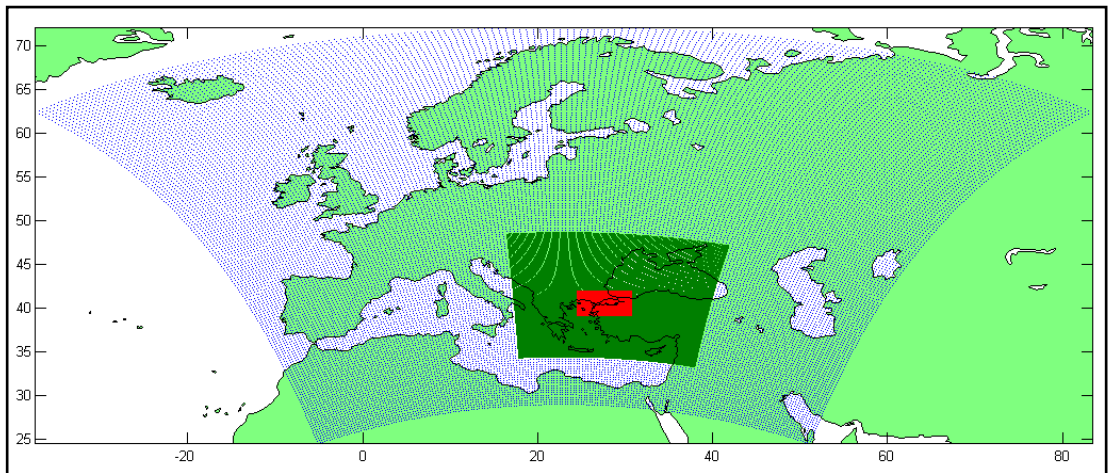
Çalışma bölgesindeki tüm alt bölgeler için gemi trafik yoğunluğu tespit edilmiştir. Gemi kaynaklı SO₂ emisyonlarının saatlik verileri ile hava kalitesi istasyon verileri arasında bir paralellik bulunmaya çalışılmıştır. Özellikle 14-30 Eylül 2008 tarihleri arasında İstanbul Boğazı gemi emisyonları ile aynı tarihlerdeki boğaz kenarındaki Beşiktaş, Üsküdar ve Sarıyer istasyonları arasında bir paralellik gözlenmiştir. Ancak bu tarihler arasında taşınımlar bulunduğundan, İstanbul Boğazı' na gemi kaynaklı emisyonlarla hava kalitesi değerleri arasında doğrudan ilişkiyi gösteren bir episod belirlenememiştir. Aynı şekilde, Mart 2009' da Tekirdağ' da SO₂ konsantrasyonlarında artış olmasına karşın, Tekirdağ' daki gemi emisyonlarında bu ay içinde bir artışa rastlanmamıştır. Dolayısıyla, çalışma bölgesi içinde gemi kaynaklı emisyonların yoğun olduğu Ekim ayı seçilerek, bu aylar için WRF ve CMAQ modelinin çalıştırılmasına karar verilmiştir [Url-21,25,26,27].

Şekil 4.4' te görüldüğü üzere, Eylül 2008' de Kuzey Afrika' daki sahra bölgelerinden Marmara Bölgesi üzerine yoğun toz taşınımı olduğundan ve bu taşınımlar da PM emisyonlarını etkilediğinden, episode olarak Ekim 2008 seçilmiştir.



Şekil 4.4 : Marmara Denizi' ndeki taşınımlar [Url-26].

Şekil 4.5' te, EMEP' in 30 km ve 10 km' lik domain alanları ile Marmara domain alanı görülmektedir.



Şekil 4.5 : REF_EU_30, REF_EU_10 ve Marmara AIS domain sistemleri.

European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP), tüm Avrupa, Türkiye, Rusya, Orta Asya' nın bir bölümü ve Kuzey Afrika' yı içine alan bölge için 0.5x0.5 lat/lon derecesi (~50x50 km) çözünürlükte ülkelerin yıllık emisyonlarını 11 ayrı sektöre göre tutmaktadır. Kayıt altına aldığı kirleticiler sırasıyla CO, NH₃, NO_x, SO_x, NMVOC, PM_{2.5} ve Pmcoarse' dır. Sektörler sırasıyla;

S1=Combustion in energy and transformation industries;

S2=Non-industrial combustion plants;

S3=Combustion in manufacturing industry;

S4=Production processes;

S5=Extraction & distribution of fossil fuels and geothermal energy;

S6=Solvent and other product use;

S7=Road transport;

S8=Other mobile sources and machinery;

S9=Waste treatment and disposal;

S10=Agriculture;

S11=Other sources and sinks

olarak sıralanır.

Denizcilik kaynaklı emisyonlar S8 kodlu diğer mobil kaynaklar ve makineler sektör altında tutulmaktadır.

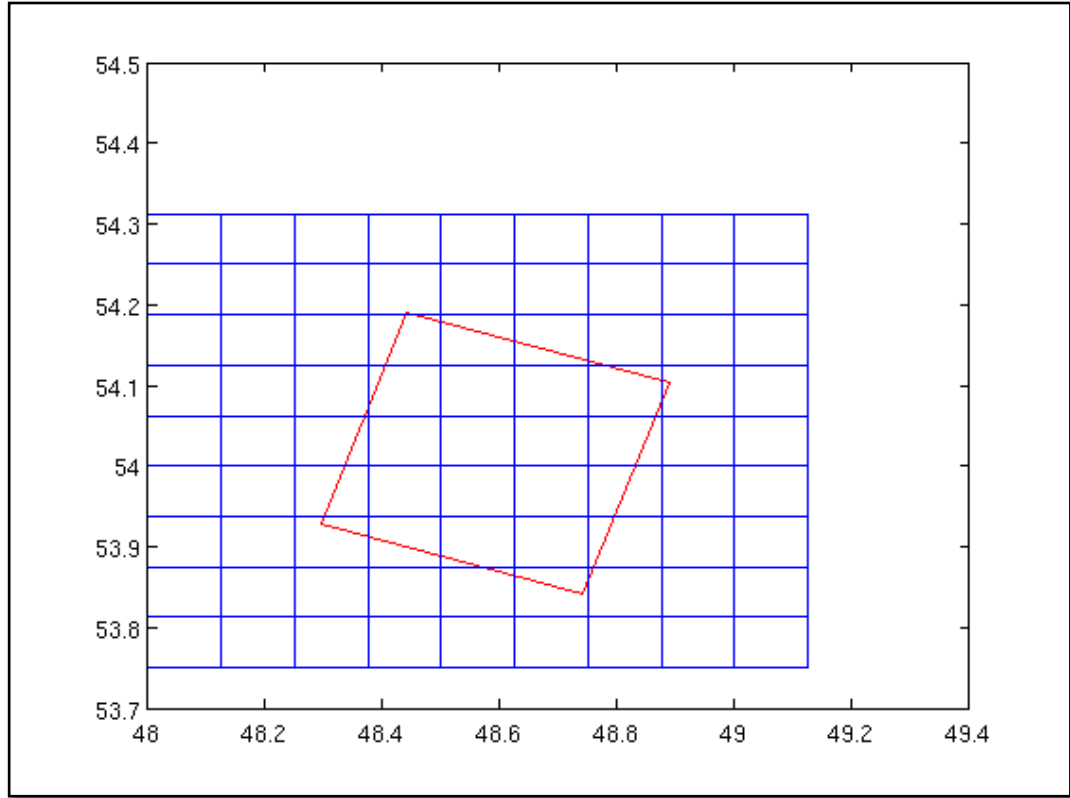
“Uzun Menzilli Sınırlarötesi Hava Kirlenmesi Sözleşmesi”ne göre her yıl toplam emisyonlar, beş yılda bir gridlenmiş veriler EMEP’e sunulmalıdır. Türkiye 1983’de Sözleşme’yi imzalamıştır.

INERIS (CityZen Project); EMEP emisyon envanterine dayanır. Globcover isimli 300 metre çözünürlüğe sahip küresel veri tabanı kullanılarak, EMEP’ in 0.5°x0.5° lik gridleri 0.1°x0.1° lon/lat’ a(~10x10 km) dönüştürülmüştür.

Türkiye'yi tamamen kapsamaz, doğu sınırı 40° E boylamına kadardır. 1998-2007 yılları arasındaki yıllık emisyonları içermektedir. Kirleticiler ve sektörler EMEP ile aynıdır.

TNO/MACC, EMEP' ten farklı olarak gridlenmiştir, bu sebeple emisyonların alansal dağılımında ciddi farklılıklar bulunması beklenmektedir. Türkiye dahil tüm Avrupa' yı içine alır. Çözünürlüğü, 1/8°x1/16° enlem/boylam derecesi olup, grid boyu yaklaşık 7x8 km dir. 2005 yılına ait yıllık emisyonlar bulunmaktadır. Kirletici ve sektörleri EMEP ile aynıdır.

Şekil 4.6' daki gibi farklı domain yapıları arasında yapılan geçişlerde emisyonlar intersection' a tabi tutulurlar.

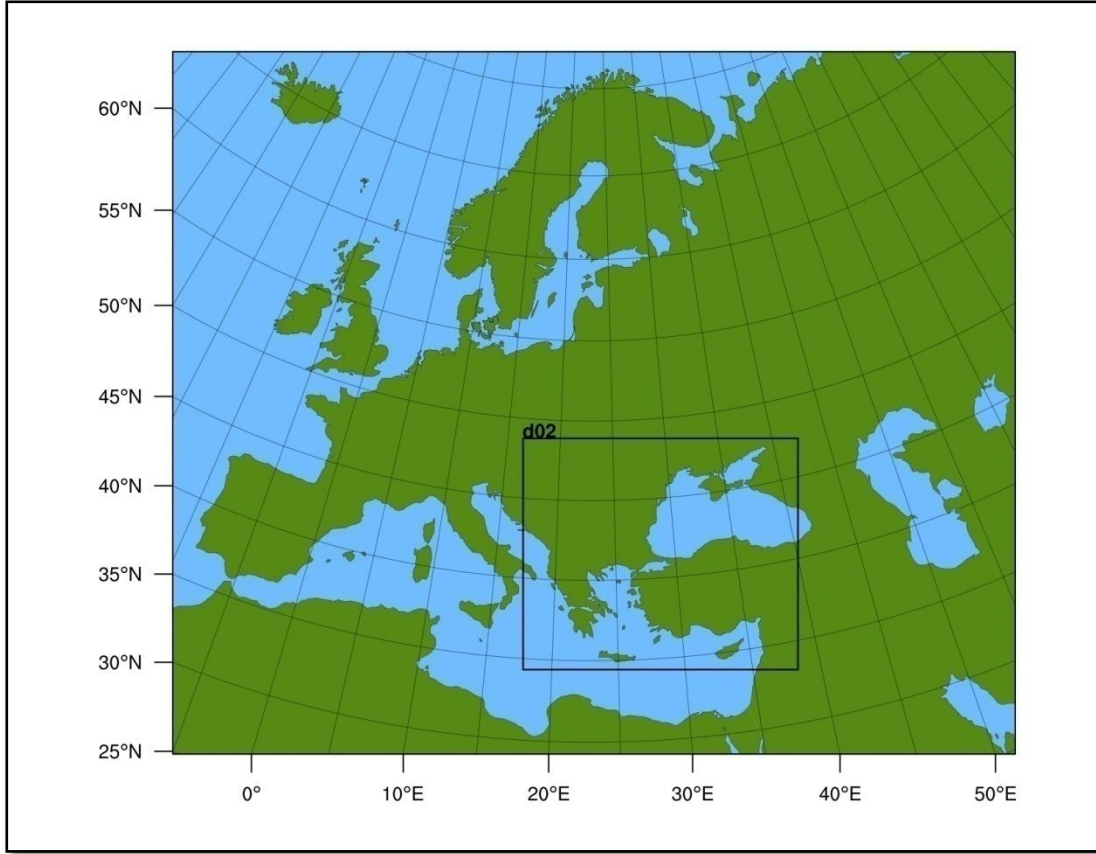


Şekil 4.6 : Farklı grid sistemleri arasındaki intersection uygulaması.

$$E_{yenigrid}(i,j) = \sum_{x=1, nx} E_{orijinal}(x) * f_A(x) \quad (7.1)$$

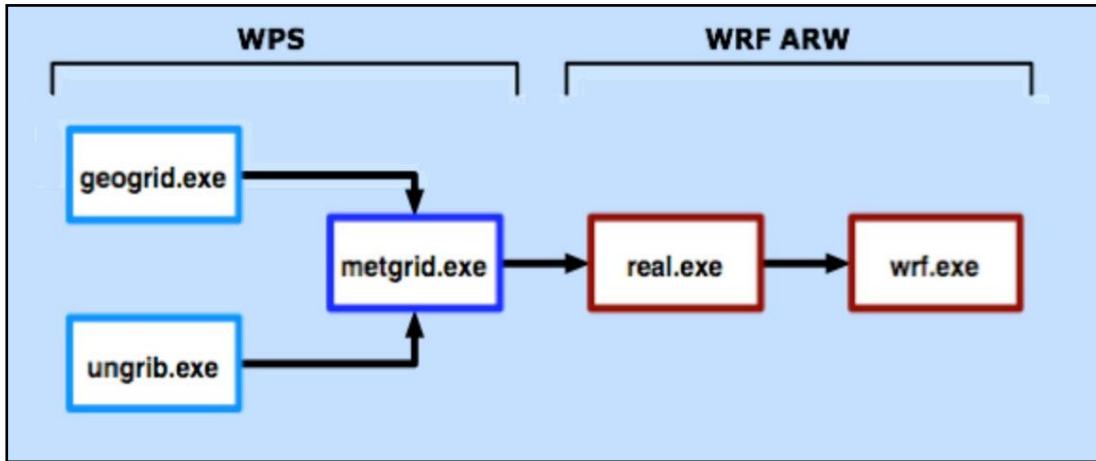
Avrupa için kullanılan domain sistemi Şekil 4.7' de gösterilmektedir.

Referans domain 30 x 30 km lik gridler halinde olup, 190 x 158 adettir. D02 domaini ise, 10 x 10 km çözünürlükte olup, 186 x 156 hücreden oluşmaktadır.



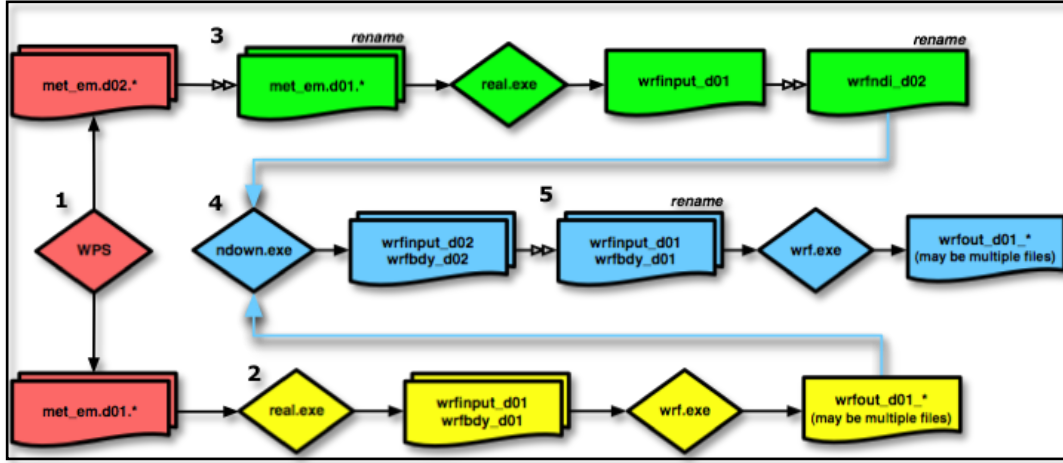
Şekil 4.7 : Modeller için kullanılan domain sistemi.

CMAQ modeli için gerekli olan The meteorology-chemistry interface processor (MCIP) dosyalarının elde edilebilmesi için WRF modeli çalıştırılmıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 : WRF modeli genel yapısı (Url-28).

Modelde, Case studies → Nested Model Runs → 1-way using ndown sekmeleri seçilerek, Şekil 4.9’ da gösterilen yapıda meteorolojik model çalıştırılmaktadır.



Şekil 4.9 : WRF ndown model yapısı.

4. 3. 1 Ndown aşaması

NDOWN aşamasında sırasıyla aşağıdaki işlemler yapılır:

Her domain için WPS çalıştırılır.

D01 için real.exe ve wrf.exe çalıştırılır.

D02 için real.exe çalıştırılır.

İkinci ve üçüncü aşamaların çıktıları kullanılarak ndown.exe çalıştırılır.

Dördüncü aşamanın çıktısı, D02 için çalıştırılan wrf.exe için kullanılır.

Bu yöntemde, model, D01 ve D02 için 2 defa çalıştırılır. Ndown.exe programı, her iki domain için çalıştırılan wrf.exe programları arasında kullanılmaktadır. Bu yöntemin farklı aşamalarında aynı isme sahip dosyalar kullanıldığından, namelist dosyaları da dahil olmak üzere, dosyalar uygun zamanlarda kopyalanmalı ve yeniden adlandırılmalıdır, böylece bir önceki aşamaya ait dosyanın üzerine yazılarak kaybolması önlenmelidir.

4.3.2 D01 için real.exe ve wrf.exe' nin çalıştırılması

“ln -sf ../../../../WPS/met_em.d01.2008-10* .”

Komutu kullanılarak, birinci domain' e ait WPS ile elde edilmiş dosyaların çıktıları sembolik olarak linklenir.

Burada kullanılan `-f` ifadesi, çalışılan klasörde daha önceden bulunan aynı isimli dosyaların silinmesi içindir. Sembolik link kullanıldığında, link dosyası üzerinde yapılan değişikliklerden orijinal dosyanın etkilenmemesi sağlanmaktadır.

“`nano namelist.input`” komutu ile, `namelist.input` dosyası düzenlenir. “`namelist.input`” dosyası oluşturulduktan sonra, “`nohup mpirun -np 8 ./real.exe > real_log_d01 &`” komutu ile “`wrfinput_d01`” ve “`wrfbdy_d01`” dosyaları elde edilir. Bu dosyalardan “`wrfinput_d01`” içinde, Eta düşey seviyelerine enterpole edilmiş 3 boyutlu başlangıç zaman verileri bulunurken, bu dosya `input_from_file = .true.` olarak belirlenen her domain için oluşturulmaktadır.

“`wrfbdy_d01`” dosyasında da, sonuncusu hariç her tahmin zamanı için sınır durumları verileri bulunmakta olup, kuzey, güney, doğu ve batı için ayrı ayrı bu bilgiler tutulmaktadır.

Wrf için gerekli dosyalar oluşturulduktan sonra, “`nohup mpirun -np 8 ./real.exe > real_log_d01 &`” komutu ile her zaman dilimi için “`wrfout_d01_2008-10-01_00:00:00`” şeklinde dosyalar elde edilir.

4.3.3 D02 için wrf.exe’ nin çalıştırılması

Öncelikle, `namelist.input` dosyası üzerinde değişiklikler yapılacağından, daha önce oluşturulmuş bulunan `namelist.input` dosyası aşağıdaki komut ile “`namelist.input_d01`” adıyla yedeklenir. Bu dosyadaki bilgilere daha sonra ihtiyaç olacaktır.

“`cp namelist.input namelist.input_d01`”

Daha sonra, `namelist.input` dosyası, tek bir domain için çalıştırılmış gibi tek bir sütun halinde ikinci domain için yeniden düzenlenir:

<code>start_year</code>	<code>=</code>	<code>2008,</code>
<code>start_month</code>	<code>=</code>	<code>10,</code>
<code>start_day</code>	<code>=</code>	<code>01,</code>
<code>start_hour</code>	<code>=</code>	<code>00,</code>
<code>end_year</code>	<code>=</code>	<code>2008,</code>

end_month	=	11,
end_day	=	01,
end_hour	=	00,
interval_seconds	=	21600,
e_we	=	187,
e_sn = 157,		

Bu düzenlemede, “e_we” ve “e_sn” değerleri ikinci domain için sınır değerler olmalıdır. “interval_seconds” değeri de model sonuç dosyaları 6 saatlik veriyi temsil edecek şekilde 21600 saniye olarak verilmiştir. Bu değer, modelin real durumunda çalıştırılması için gelen gerçek verilerin zaman aralığını gösterir. Aynı zamanda daha sonra kullanılacak sınır şartlarını içeren dosyaların da zaman aralığıdır. İkinci domain için modelin çalışma başlangıç ve bitiş değerleri, birinci domain için de aynı olmalıdır.

Daha önce WPS ile oluşturulmuş ikinci domain dosyaları, isimleri değiştirilerek birinci domain’ e aitmiş gibi linklenir:

```
“ln -sf ../../WPS/met_em.d02.2008-10-01_00:00:00.nc met_em.d01.2008-10-01_00:00:00.nc”
```

Çoklu dosyaların linklenmesi için notepad gibi bir editörde her dosya için bu komut alt alta oluşturulduktan sonra satırlar kopyalanıp linux terminaline yapıştırılarak bu işlem hızlı şekilde yapılabileceği gibi, shell script kullanılarak ta:

```
$ ./coklu_dosya_linkle.sh ↵
```

komutu ile bu işlem gerçekleştirilebilir. Bu dosyaları yeniden adlandırarak kullanmak yerine yeni isimle linkleyerek üzerlerine yazılmasının önüne geçilir. Daha sonra “real.exe” çalıştırılarak “wrfinput_d01” dosyası elde edilir. Aslında bu dosyada ikinci domain e ait veriler bulunmaktadır. “mv wrfinput_d01 wrfndi_d02” komutu ile, bu dosyanın ismi değiştirilir.

4.3.4 Ndown.exe’ nin çalıştırılması

Bu aşamada girdi olarak, ikinci aşamada elde edilen “wrfout_d01_<date>” ve üçüncü aşamadaki “wrfndi_d02” dosyası kullanılmaktadır.

İkinci domain için değiştirilmiş namelist.input dosyasının saklanması için ismi “namelist.input_d02” olarak aşağıdaki komut ile değiştirilir:

“mv namelist.input namelist.input_d02”. Daha sonra, “cp namelist.input_d01 namelist.input” komutu ile, daha önce saklanmış input dosyası yeniden geri alınır. Bu dosyada her iki domain için ayrı sütunlara ait bilgiler bulunur. Her iki sütunun da model tarafından dikkate alınması amacıyla, max_dom = 2 olarak değiştirilir. Bundan sonra;

“nohup mpirun -np 8 ./ndown.exe > ndown_log &” komutu ile ndown programı çalıştırılır.

4.3.5 WRF’ in çalıştırılması

Öncelikle “wrfout_d01_<date>” dosyaları farklı bir adla kaydedilerek korumaya alınır.

“cp namelist.input_d02 namelist.input” ile, ikinci domain için kullanılan veriler namelist.input dosyasına alınır. Daha sonra namelist.input dosyası yeniden düzenlenir. Bu aşamada model tek domain için çalışacağından, bu dosyanın sadece birinci sütunu düzenlenmeli ve;

max_dom = 1 ve time_step = 60 (örneğin 6 x km cinsinden grid boyu) şeklinde değişiklikler yapılmalıdır. Son olarak; “nohup mpirun -np 8 ./wrf.exe > wrf_log_d02 &” komutu ile,

“wrfout_d01_<date>” ikinci domain için wrf model çıktıları elde edilir. Burada her ne kadar d01 ifadesi olsa da, bu dosyalar aslında ikinci domain dosyalarıdır. Daha sonra bu dosya isimleri ikinci domain için yeniden adlandırılırlar.

Tüm bu aşamalarda oluşturulan netCDF çıktı dosyalarının sonuçları “ncdump -h wrfout_d01_2008-10-01_00:00:00 ” komutu ile veya ncview programı ile değerlendirilebilir.

4.3.6 Meteorology-Chemistry Interface Processor (MCIP)

MCIP, MM5 veya WRF meteoroloji modellerinin çıktılarını kullanarak, SMOKE ve CMAQ modelleri için netCDF dosya formatında çıktı üretir.

MCIP, SMOKE ve CCTM için gerekli tüm meteorolojik alanları hazırlar ve bu ikisi için tanınır hale getirir. Ayrıca, MCIP, CCTM için gerekli, zamana ve kirletici türüne bağlı kuru birikimlerin hızlarını hesaplamak için de kullanılır. MCIP, meteoroloji modeli tarafından tanımlanmış domain in yatay sınırlarının düzgün olarak kırılması için de kullanılabilir. MCIP ayrıca “layer collapsing” yoluyla düşey çözünürlüğün azaltılması için de uygundur. Ancak bu seçenek dikkatli kullanılmazsa, veri kalitesinde düşmeye neden olabilir. MCIP için seçenekler; zamana göre meteoroloji model çıktılarından hangi verilerin kullanılacağı, yatay ve düşey grid tanımları ve kuru birikim hızlarının hesaplanması için seçimler ile MCIP çıktı dosyaları ile uydu bulut gözlemlerinin birleştirilmesi şeklindedir.

Server bilgisayarında;

```
/disk3/cmaq4.7.1/work/scripts_akilic/mcip
```

Konumunda oluşturulan data klasörü altında her iki domain için ayrı ayrı REF_EU_30 ve REF_EU_10 klasörü oluşturulduktan sonra, bunların her birisinin altına da, out, terrain ve wrf klasörleri oluşturulur.

Wrf klasörü içine, ilgili domain için çalıştırılan wrf çıktı dosyaları (örn: wrfout_d01_2008-10-16_00:00:00) sembolik olarak linklenir. Terrain klasörü altına da, geo_em_d01.nc dosyası link edilir.

MCIP programının çalıştırılması için “nohup ./run.mcip > mcip_log_d01 &” komutu kullanılabilir. MCIP programı, her iki domain için de çalıştırılacağından, programın hangi dosyaları kullacağını belirlemek için “nano run.mcip” ile text dosyası olarak açıldıktan sonra, kullanılacak klasörler aşağıdaki gibi belirlenmelidir:

```
#-----
```

```
set APPL      = 200810
```

```
set CoordName = REF_EU_10 # 16-character maximum
```

```
set GridName  = REF_EU_10 # 16-character maximum
```

```
set DataPath  = $cwd/data/REF_EU_10
```

```
##set InMetDir = ${DataPath}/mm5
```

```
set InMetDir = ${DataPath}/wrf
```

```
set InTerDir = ${DataPath}/terrain
```

```
##set InSatDir = ${DataPath}/goes
```

```
set OutDir = ${DataPath}/out
```

```
set ProgDir = $cwd/src
```

```
set WorkDir = $OutDir
```

```
#-----
```

Bundan başka, kullanılacak wrf çıktı dosyaları aşağıdaki gibi belirtilir:

```
#-----
```

```
set InMetFiles = ( $InMetDir/wrfout_d02_2008-10-01_00:00:00 \
```

```
    $InMetDir/wrfout_d02_2008-10-02_00:00:00 \
```

```
    $InMetDir/wrfout_d02_2008-10-03_00:00:00 \
```

```
    ..... \
```

```
    ..... \)
```

```
set IfTer = "T"
```

```
set InTerFile = $InTerDir/geo_em.d02.nc
```

```
set InSatFiles = ( )
```

```
#-----
```

Aşağıdaki gibi, MCIP' in çalışacağı zaman aralığı ve çıktıların dakika cinsinden frekansı belirtilir.

```
#-----
```

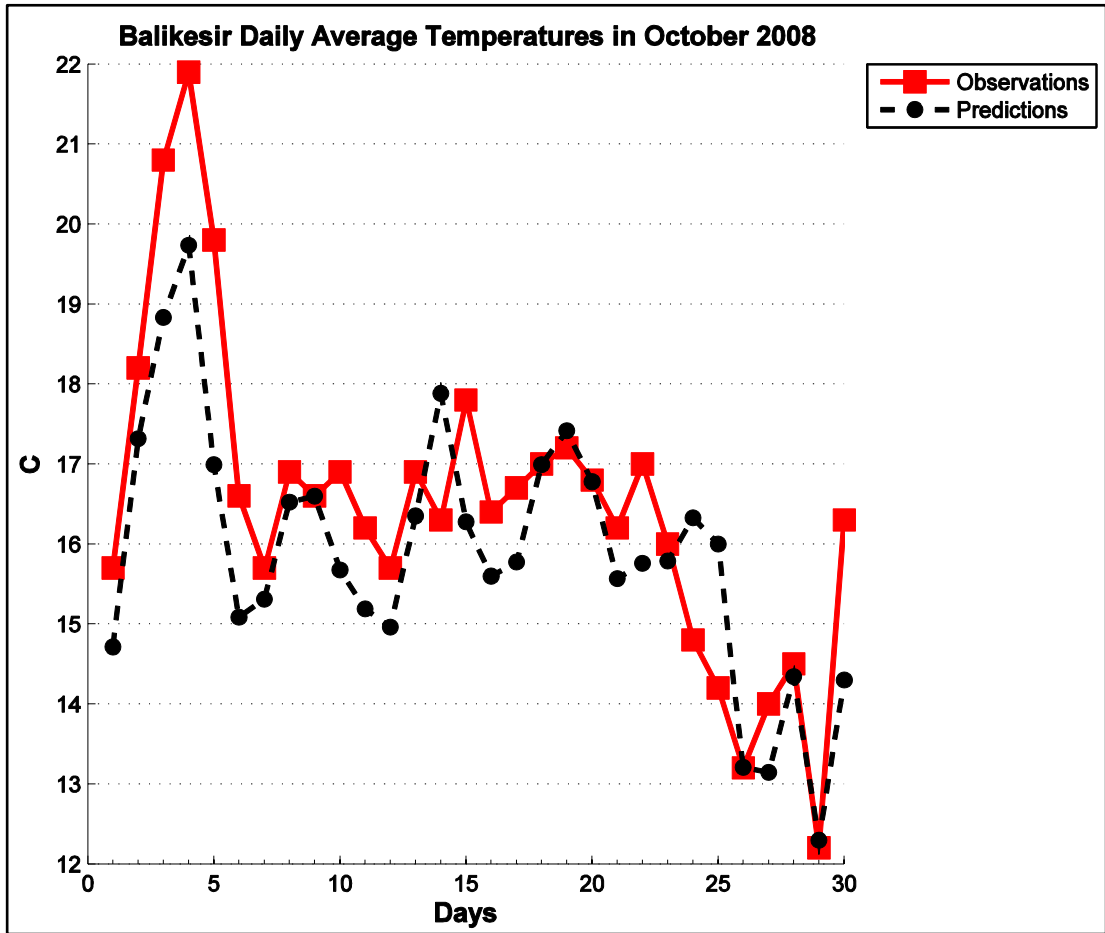
```
set MCIP_START = 2008-10-01-00:00:00.0000 # [UTC]
```

```
set MCIP_END = 2008-10-31-00:00:00.0000 # [UTC]
```

```
set INTVL = 60 # [min]
```

```
#-----
```

Daha sonra, program içinde dosyalar fortran da işlenmek üzere Fortran birimlerine linklenmektedir. Oluşturulan sonuç dosyalarının da neler olacağı da belirlendikten sonra, program çalıştırılır. MCIP programı çıktıları da program tarafından out klasörüne oluşturulur. Bu dosyalar GRIDBDY2D_200810, GRIDCRO2D_200810, GRIDDESC, GRIDDOT2D_200810, METBDY3D_200810, METCRO2D_200810, METCRO3D_200810, METDOT3D_200810 ve namelist.mcip olarak farklı çıktılar içermektedir.



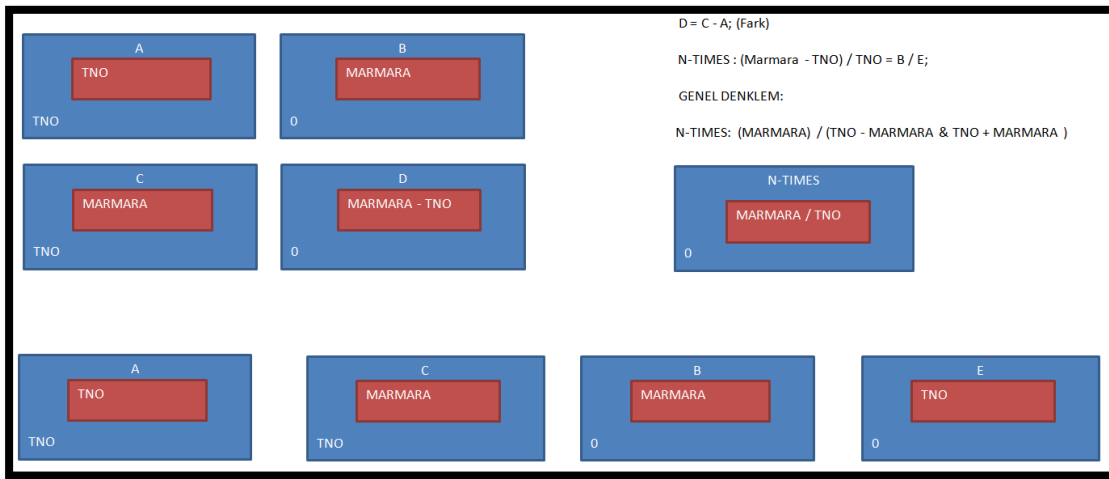
Şekil 4.10 : Balıkesir İstasyonu ile WRF sıcaklık tahmin sonuçları.

Bu işlemler, diğer domain için de yapılarak ayrı domain klasörleri içine aynı klasörler oluşturularak aynı dosyalar elde edilir.

Çalışma Bölgesini içeren alanda Ekim 2008 epizodu için WRF çalıştırılarak CMAQ için gerekli sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma Bölgesi içerisindeki meteoroloji istasyonlarının ölçüm değerleri ile modelin tahminleri karşılaştırıldığında, CMAQ için yeterli performansı sağladığı görülmüştür (Şekil 4.10). Model sonuçları ile ölçüm değerleri Balıkesir istasyonu için örtüşmektedir.

4.4 Marmara Gemi Emisyonları için CMAQ Modelinin Uygulanması

Meteoroloji modelinin sonuçları elde edildikten sonra, TNO domain yapısı içine AIS verilerini yerleştirebilmek için TNO (10x10 km) ve çalışma bölgesi için oluşturulan domain yapıları kullanılarak intersection işlemi yapılmıştır. TNO domain sistemine AIS verilerinin etkilerini göstermek üzere Şekil 4.11’ deki yapı oluşturulmuştur.



Şekil 4.11 : TNO ve AIS verileri için intersection sonuçları.

Şekil 4.11’ deki yapıya göre meydana gelen emisyonların toplamı ve AIS verilerinin TNO domain yapısına etkileri Çizelge 4.1’ de gösterilmiştir.

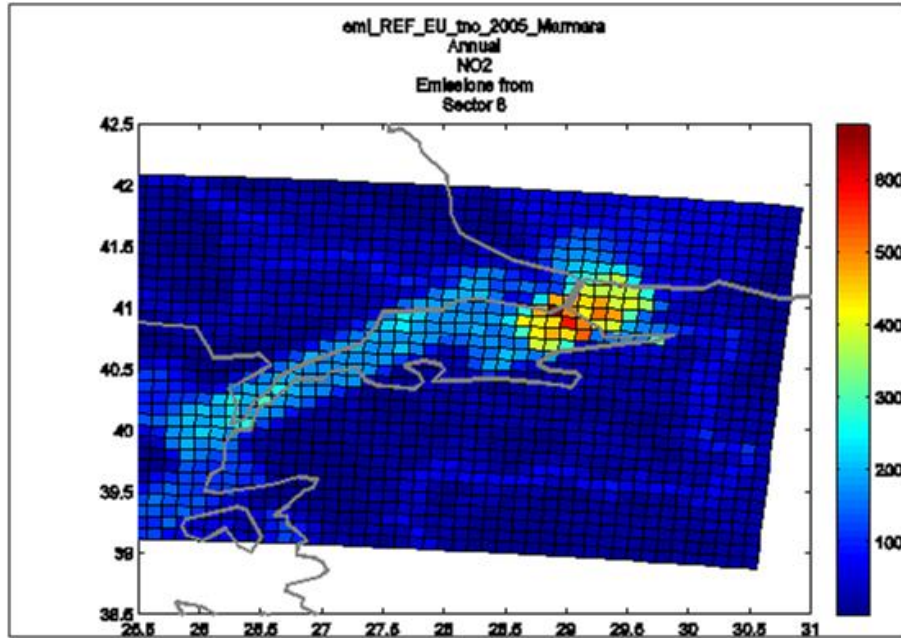
Çalışma bölgesine TNO yerine AIS sonuçları koyulduğunda, emisyon türüne bağlı olarak 1.3 ila 13.1 kat fark oluşmaktadır. Emisyon envanteri çalışmalarında MACCity sonuçları ile AIS sonuçları da karşılaştırılmış, aynı oranda farklı sonuçlar görülmüştür.

AIS veya TNO verilerinin doğruluğu, bu iki envanterin kullanıldığı CMAQ model sonuçlarının değerlendirilmesi ile de yapılabilecektir.

Çizelge 4.1 : TNO ve Marmara yapıları için intersection sonuçları.

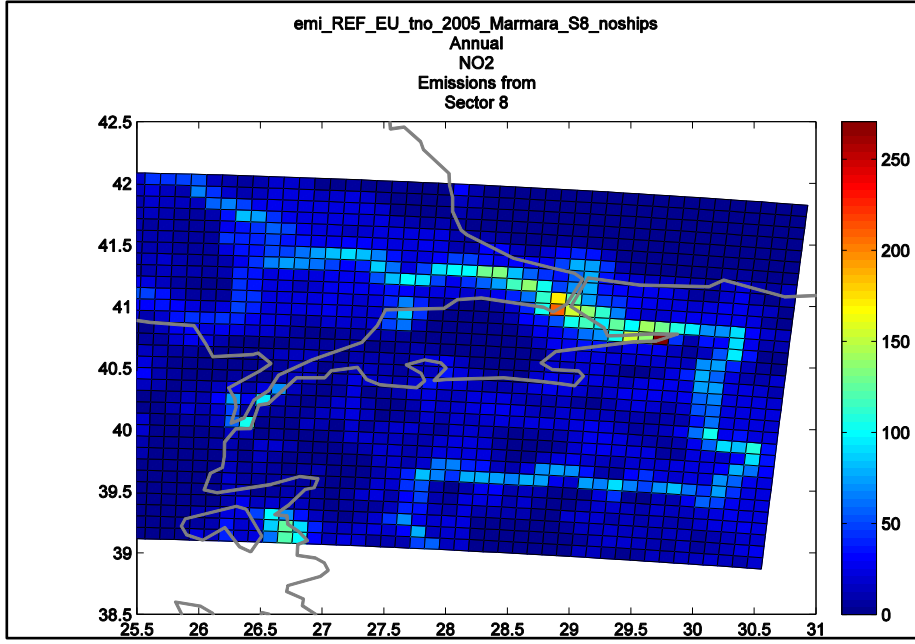
	CO			NH3			NMVOC			NOx		
	min	max	toplam	min	max	toplam	min	max	toplam	min	max	toplam
Marmara	0	1,041	16,718	0	6	100	0	624	10,031	0	37,677	605,210
TNO	0	16,898	486,310	0	3	635	0	189	103,980	0	692	1,049,500
Marmara & TNO	0	16,898	494,920	0	6	728	0	624	106,350	0	37,677	1,549,400
(Marmara & TNO - TNO)	-104	1,034	8,615	0	6	93	-26	621	2,366	-303	37,597	499,970
n katı			2.1			13.1			1.3			5.8
	SOx			PMco			PM25					
	min	max	toplam	min	max	toplam	min	max	toplam			
Marmara	0	32,498	494,680	0	321	5,329	0	2,890	47,961			
TNO	0	643	581,720	0	3	5,353	0	44	88,510			
Marmara & TNO	0	32,498	1,019,600	0	321	10,181	0	2,890	127,490			
(Marmara & TNO - TNO)	-194	324,460	437,880	-1	321	4,828	-26	2,884	38,984			
n katı			8.7			10.6			5.3			

TNO' nun 10 km çözünürlükteki domain yapısına, farklı senaryolar için oluşturulmuş gemi emisyon değerleri yerleştirilerek elde edilen yıllık toplam emisyonlar bölge üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.12-4.17).



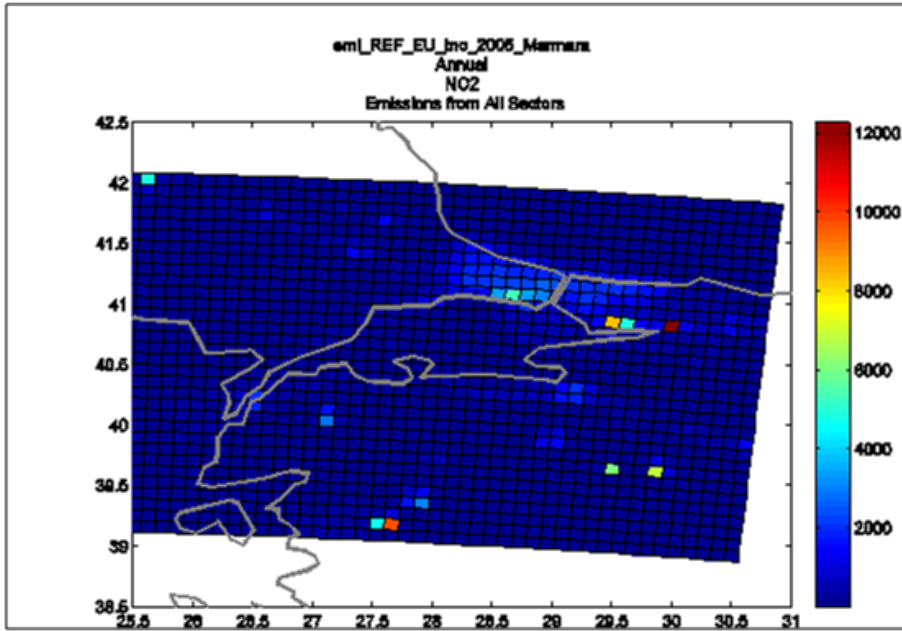
Şekil 4.12 : TNO Sector 8 emisyon verileri.

TNO Sector 8, gemiler dahil tüm mobil emisyonları kapsamaktadır. Şekil 4.12' teki mobil emisyonlardan gemiler çıkarıldığında, Şekil 4.13 ortaya çıkmaktadır. Şekiller, tüm mobil emisyon kaynaklarındaki gemi emisyonlarının önemini göstermektedir.



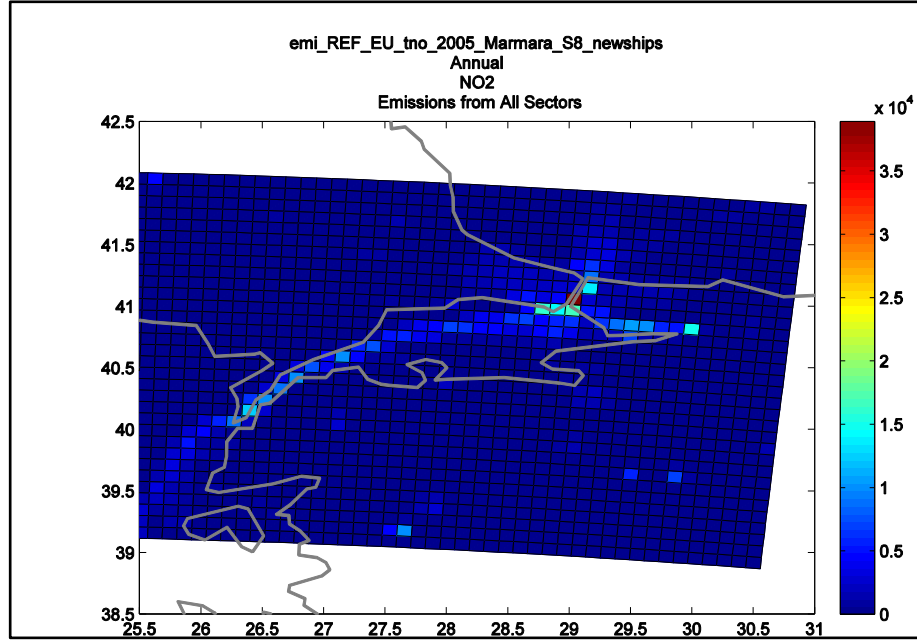
Şekil 4.13 : TNO Sector 8 emisyon verileri (gemiler hariç).

TNO' nun tüm sektörlerinin toplamı, Şekil 4.14' te gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, gemi kaynaklı azotoksit emisyonu olması gerektiği kadar dikkat çekici değildir.



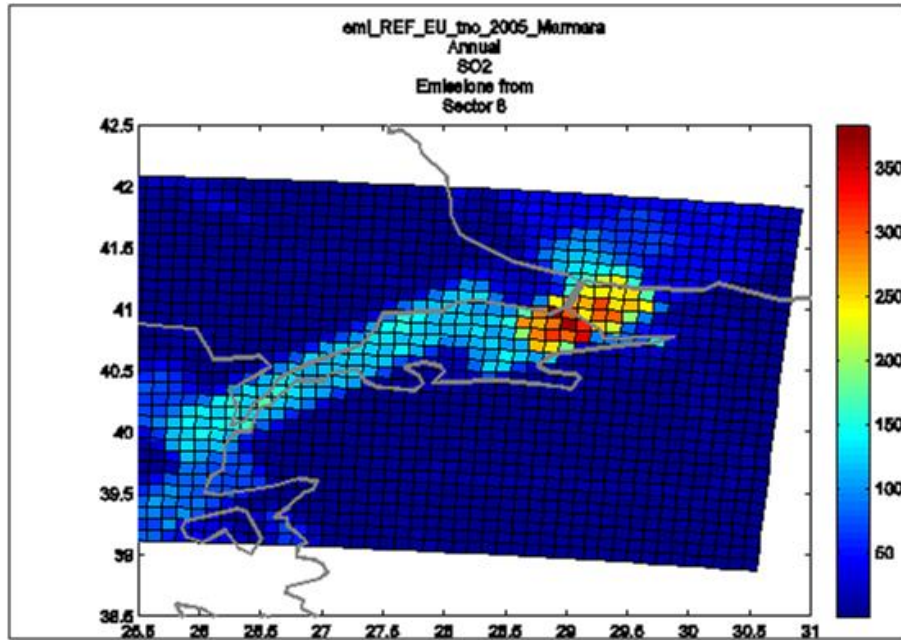
Şekil 4.14 : TNO tüm sektörlerden kaynaklanan emisyon verileri.

Ancak, TNO' nun tüm sektörlerinden yine TNO' ya ait gemi kaynaklı emisyonlar çıkarıldıktan ve yeni AIS verileri (new_ships) yerleştirildikten sonra, meydana gelen toplam emisyonlar Şekil 4.15' te gösterilmektedir.



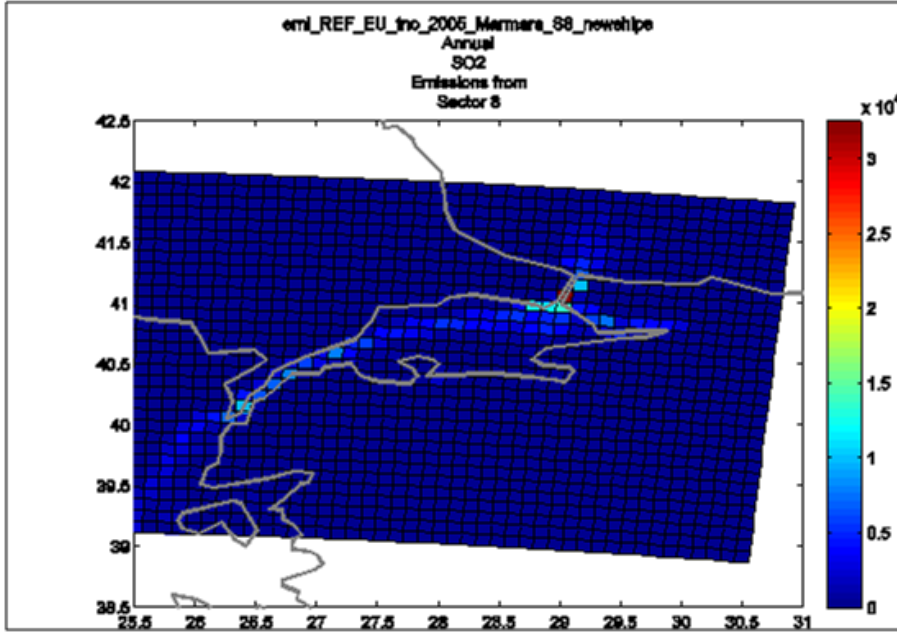
Şekil 4.15 : TNO tüm sektörler & AIS emisyon verileri.

Marmara Bölgesi' nin ECA ilan edilmesi durumunda yıllar itibari ile meydana gelecek emisyon miktarları için oluşturulan senaryoda kükürt oranlarına bağlı olarak mevcut deniz trafiği şartları için emisyon miktarlarının şu şekillerde oluşacağı öngörülmektedir.



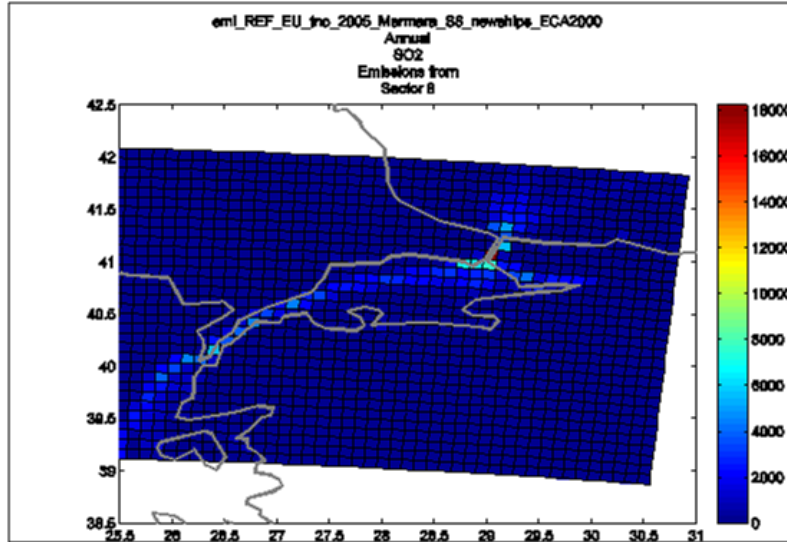
Şekil 4.16 : TNO Sector 8 emisyon verileri.

TNO Sector 8 verilerindeki gemiler yerine AIS konduktan sonra meydana gelen grafik Şekil 4.17' de gösterilmiştir.



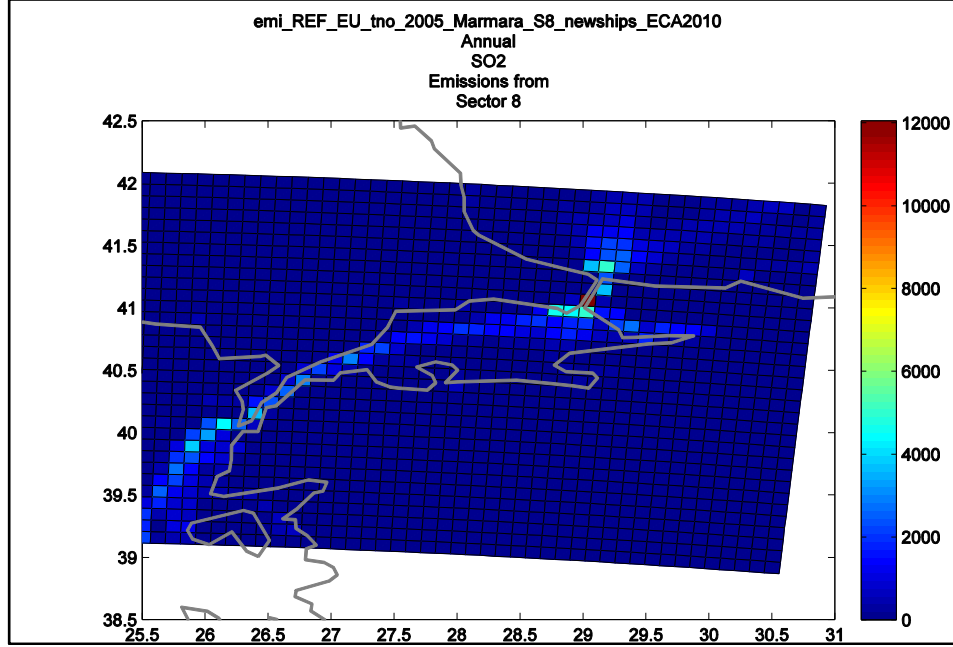
Şekil 4.17 : TNO Sector 8 & AIS 2000 yılı öncesi emisyon verileri (S=%2.7).

TNO' ya göre de kükürtoksit emisyonunun başlıca sorumlusu deniz taşımacılığı olarak görülmesine rağmen, daha yüksek çözünürlükte yapılmış olan bu çalışma, kükürtoksit emisyonu miktarının büyüklüğünü gözler önüne sermektedir. Sektör 8' deki yeni AIS verilerinin kükürt oranı azaltımlarına göre oluşan yeni durum aşağıda gösterilmektedir.



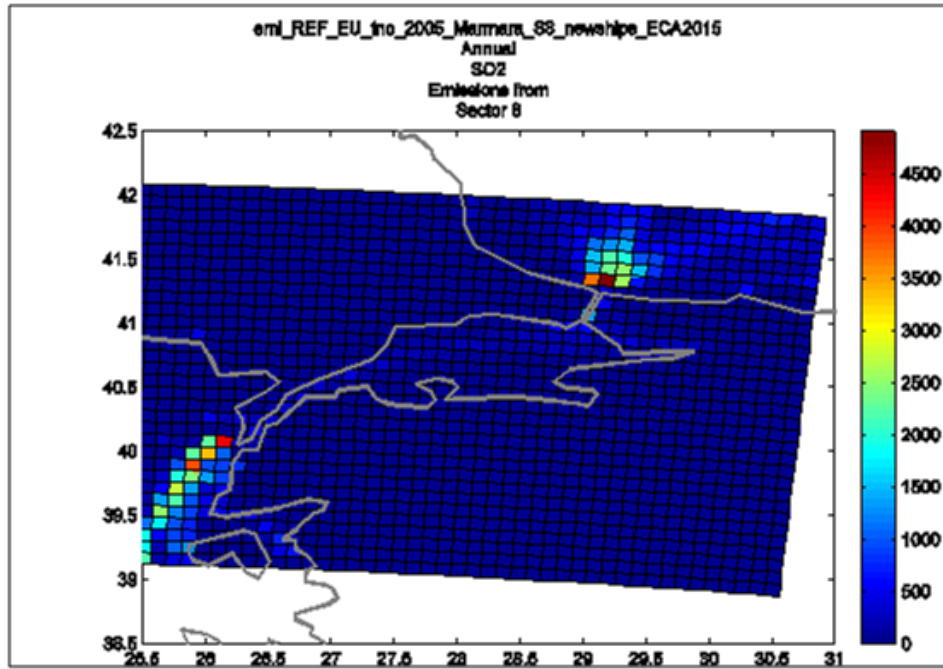
Şekil 4.18 : TNO Sector 8 & AIS 2000 yılı emisyon verileri (S=%1.5).

ECA bölgelerinde 2000 yılından itibaren kükürt oranı %1.5' a düşürülmüştür. Kükürt oranının %1' e düşürülmesi durumunda meydana gelecek değişimler Şekil 4.19' da gösterilmektedir.



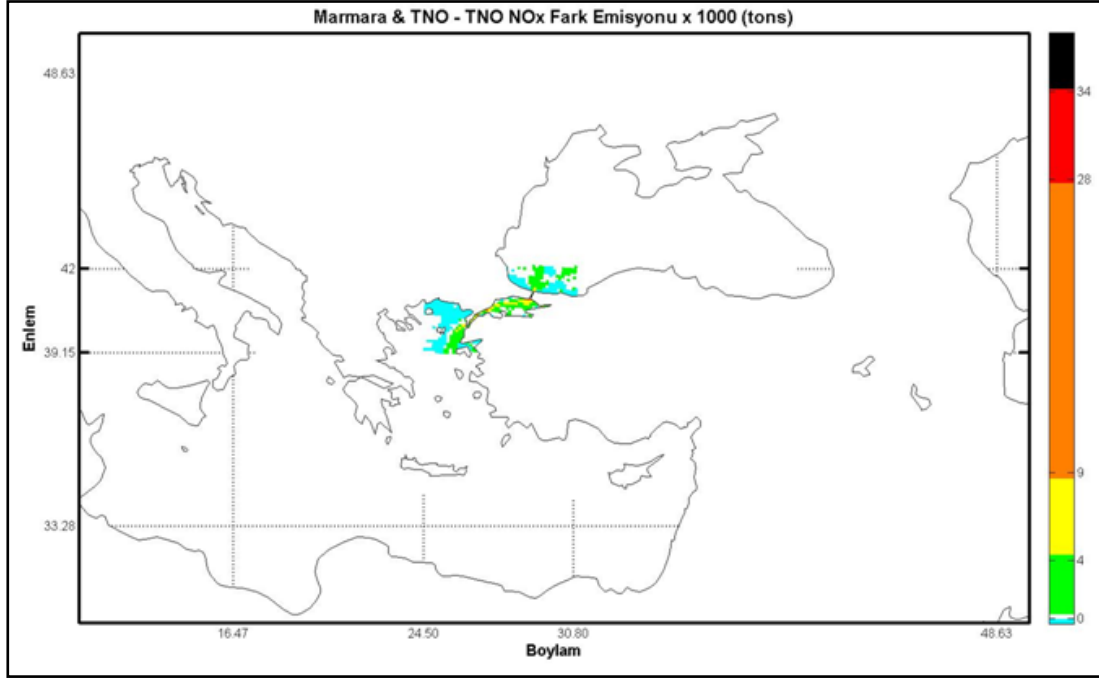
Şekil 4.19 : TNO Sector 8 & AIS 2010 yılı emisyon verileri (S=%1.0).

Son olarak ta, 2015 yılı sonrası için planlanan %0.1 kükürt oranına göre oluşturulan senaryonun emisyon miktarına etkileri Şekil 4.20' de gösterilmektedir.



Şekil 4.20 : TNO Sector 8 & AIS 2015 yılı emisyon verileri (S=%0.1).

AIS verilerinden TNO verileri çıkarıldığında Şekil 4.21' deki grafik elde edilmektedir. Bu grafik gerçek gemi aktivitelerine bağlı AIS verilerinin genel kabullere göre ne derece farklı olduğunu göstermektedir.

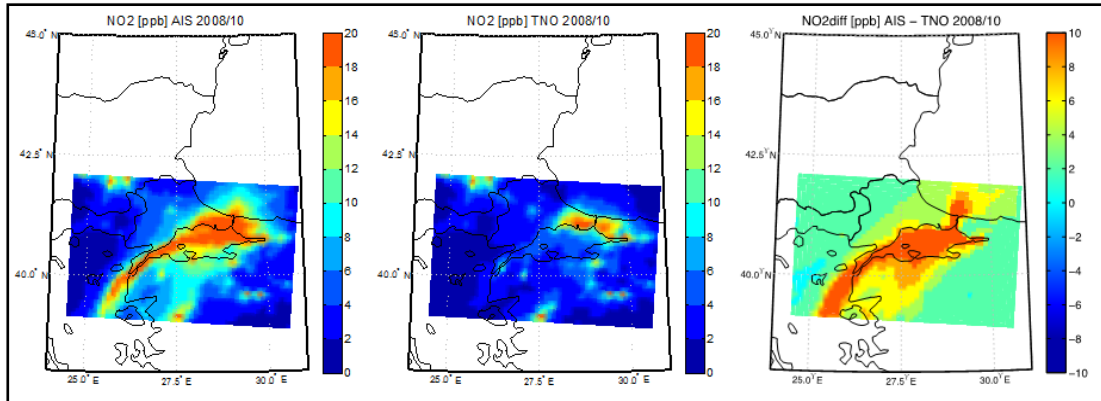


Şekil 4.21 : TNO tüm sektörler & AIS emisyon verileri.

Tüm emisyon senaryo değerleri CMAQ ile işlendikten sonra elde edilen konsantrasyonlar ve sonuçları diğer bölümde tartışılmıştır.

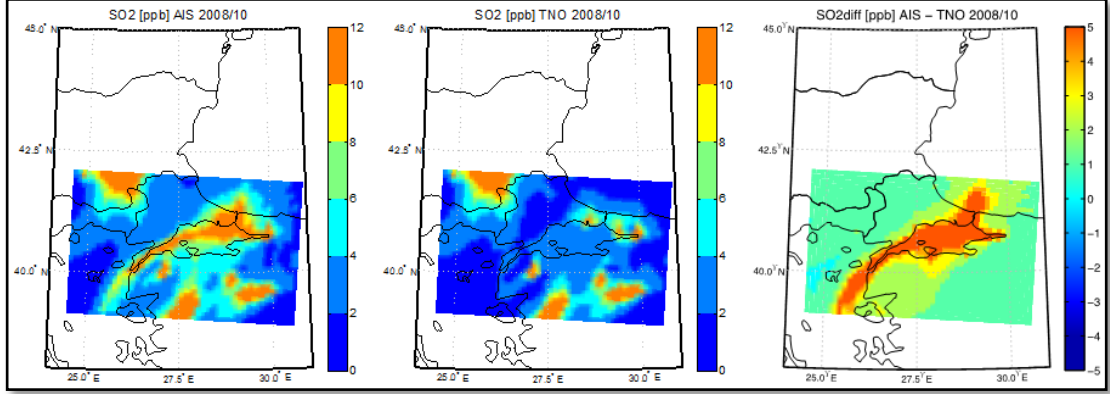
4.5 CMAQ Modelinin Sonuçları

TNO verileri ile AIS verileri kullanılarak çalıştırılan CMAQ modelinin NO₂ çıktıları Şekil 4.22' de gösterilmiştir.



Şekil 4.22 : TNO ve AIS verileri için CMAQ NO₂ sonuçları.

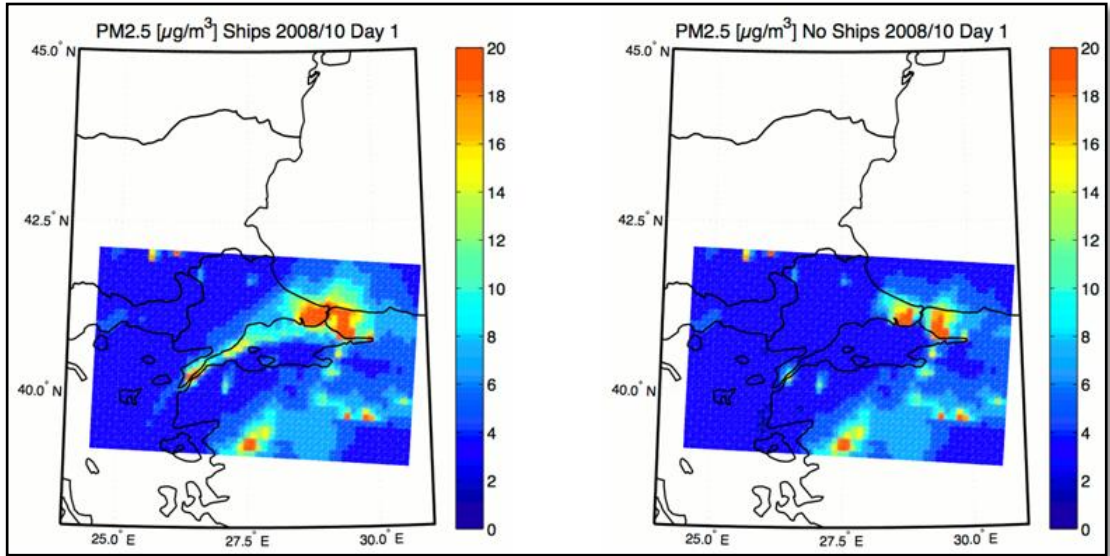
Her iki emisyon verisinin farklarından dolayı meydana gelen konsantrasyon farkları belirgin olarak görülmektedir. Benzer konsantrasyon farkı SO₂ için de meydana gelmiştir (Şekil 4.23).



Şekil 4.23 : TNO ve AIS verileri için CMAQ SO₂ sonuçları.

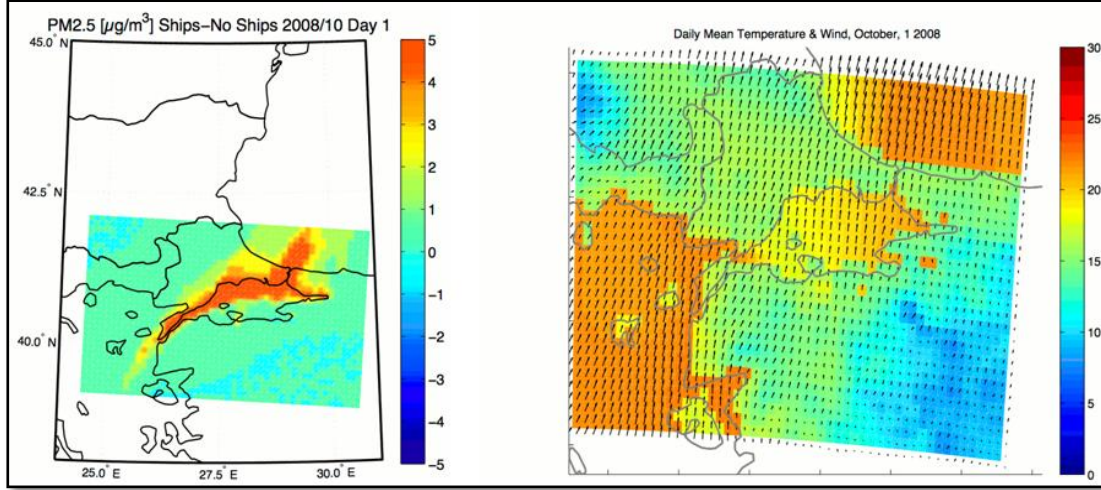
Gemilerin PM_{2.5} konsantrasyonu üzerindeki etkileri Şekil 4.24’ te gösterilmiştir. İstanbul civarında gemi emisyonları bulunmasa da PM_{2.5} konsantrasyonları önemli düzeydedir.

PM emisyonları kükürt oksit emisyonlarına da bağlı olduğundan, karasal bölgelerde de önemli emisyon kaynakları bulunmaktadır. Özellikle termik santral bölgelerinden belirgin şekilde PM emisyonu meydana gelmektedir. Gemi emisyonları sebebiyle Çanakkale Boğazı’ nda önemli konsantrasyon artışı meydana gelmiştir.



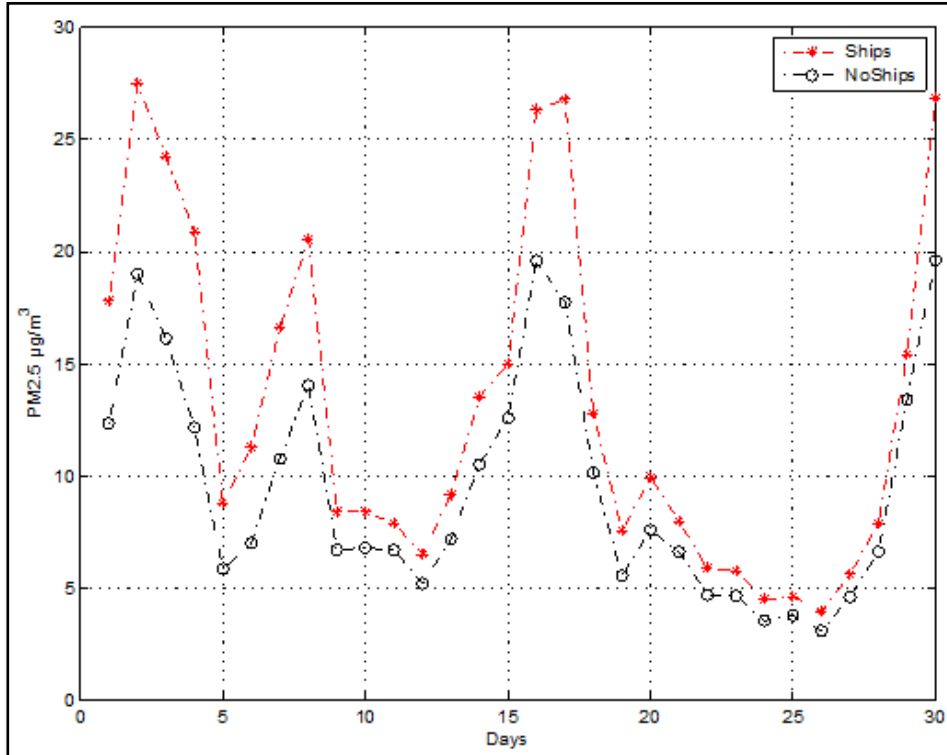
Şekil 4.24 : Gemi emisyonlarının PM_{2.5} konsantrasyonuna etkileri.

Meteorolojik şartların $PM_{2.5}$ emisyonunun bölgedeki dağılımına etkileri Şekil 4.25’ te gösterilmektedir. Basınç ve sıcaklık dağılımlarının, bölgedeki $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun İstanbul Boğazı’ na doğru yayılmasına neden olduğu görülmektedir.



Şekil 4.25 : Meteorolojik şartların $PM_{2.5}$ dağılımına etkileri.

Gemi aktivitelerinin bölgedeki $PM_{2.5}$ konsantrasyonuna etkileri Şekil 4.26’ da görülmektedir. Bölgedeki gemi hareketlerinin $PM_{2.5}$ konsantrasyonunu %20 oranında arttırdığı tespit edilmiştir.

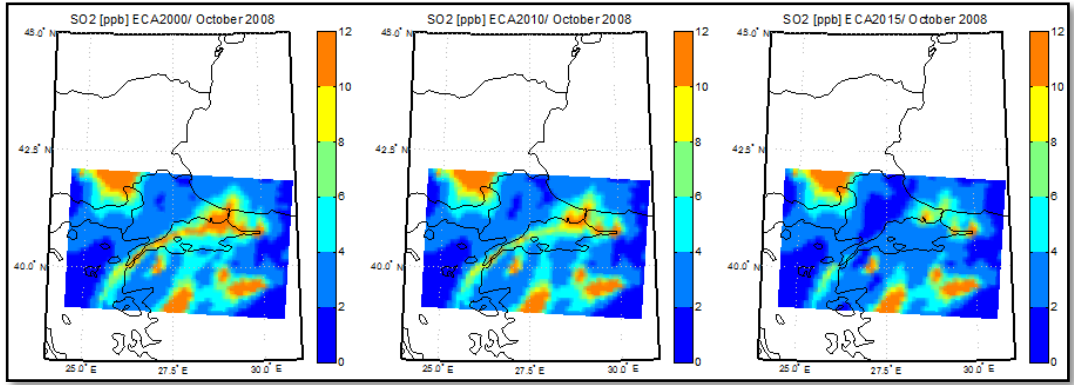


Şekil 4.26 : Gemilerin $PM_{2.5}$ konsantrasyonuna etkileri.

Gemi aktivitelerinin bölgedeki PM2.5 konsantrasyonunu arttırdığı saptanmıştır. Marpol Ek VI' ya göre gemilerin kükürt oranlarındaki azaltım miktarlarına göre yapılan senaryo analizleri Şekil 4.27' de görülmektedir.

ECA bölgeleri için 2000, 2010 ve 2015 yılları için istenen sırasıyla %1.5, %1.0 ve %0.1 kükürt oranlarına göre elde edilen CMAQ model sonuçlarına göre, %0.1 kükürt oranına düşüldüğünde SO2 konsantrasyonunda ciddi bir azalma olacağı öngörülmektedir.

Gemi yakıtlarının kükürt oranlarının düşürülmesinin etkileri daha çok deniz alanları ile İstanbul ve Çanakkale boğazları üzerinde meydana gelmektedir.



Şekil 4.27 : ECA kükürt oranlarına göre senaryo analizleri.

CMAQ model sonuçlarının performansının denetlenmesi amacıyla, Çalışma Bölgesi' ndeki tüm hava kalitesi ölçüm istasyonları belirlenerek, modelin çalıştırıldığı Ekim 2008 ayı için istasyonların günlük ortalama değerleri ile, yine CMAQ modelinin bu istasyonların mevkileri için öngördüğü konsantrasyonlar karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.2' de, çalışma bölgesi içinde bulunan ölçüm istasyonları hakkında özet bilgiler bulunmaktadır. Çalışma bölgesi içindeki 25 adet ölçüm istasyonunda ölçülen değerler gösterilmektedir. Aynı zamanda bu istasyonların enlem ve boylam bilgileri de çizelgede verilmektedir.

Model sonuçlarının performans analizinin yapılabilmesi için istasyonlara ait enlem-boylam ve ölçüm değerleri kullanılmaktadır.

CMAQ modeli 2008 Ekim ayı için çalıştırıldığından, çalışma bölgesindeki istasyonlara ait konsantrasyon değerleri de yine bu ay için elde edilmiş ve performans analizleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.2 : Çalışma Bölgesindeki hava kalitesi ölçüm istasyonları.

No	İstasyon Adı	Enlem	Boylam	NO2	O3	SO2	PM10
1	Balikesir	39.634	27.896			√	√
2	Bilecik	40.141	29.978			√	√
3	Bolu	40.733	31.602			√	√
4	Bursa	40.234	29.038			√	√
5	Canakkale	40.137	26.406			√	√
6	Edirne	41.659	26.585			√	√
7	Eskisehir	39.781	30.501			√	√
8	Istanbul (Aksaray)	41.015	28.955	√		√	√
9	Istanbul (Alibeykoy)	41.073	28.946	√	√	√	√
10	Istanbul (Besiktas)	41.054	29.010	√		√	√
11	Istanbul (Esenler)	41.038	28.888	√		√	√
12	Istanbul (Kadikoy)	40.992	29.034	√	√	√	√
13	Istanbul (Kartal)	40.890	29.208			√	√
14	Istanbul (Sariyer)	41.129	29.050			√	√
15	Istanbul (Umraniye)	41.014	29.162	√		√	√
16	Istanbul (Uskudar)	41.015	29.025			√	√
17	Istanbul (Yenibosna)	40.999	28.827			√	√
18	Kirklareli	41.724	27.215			√	√
19	Kocaeli	40.764	29.946			√	√
20	Kocaeli (Dilovasi)	40.785	29.541	√	√		
21	Kocaeli (OSB)	40.777	29.527	√		√	√
22	Kutahya	39.419	29.986			√	√
23	Sakarya	40.755	30.391			√	√
24	Tekirdag	40.976	27.513				√
25	Yalova	40.653	29.260				√

Çizelge 4.3' te, her bir istasyonun ölçüm sonuçlarına göre, deniz kaynaklı emisyonlar için TNO verisi yerine AIS verisi kullanıldığında, CMAQ sonuçlarının hangi oranda daha iyi sonuçlar verdiğini gösteren tablo bulunmaktadır. TNO verisi yerine AIS verisinin kullanılması neticesinde, kirletici türüne göre hava kalitesi model performansında %96' ya varan oranlarda iyileşmeler görülmektedir.

CMAQ modelinin performans analizi yapılırken, modelin istasyonun bulunduğu bölge için öngördüğü konsantrasyon değeri ile o bölgede ölçülen gerçek değer arasındaki fark kullanılmıştır.

Performans analizinde mutlak değer yerine, işlem kolaylığı açısından kareli ortalamalardan faydalanılmıştır. Analizde, AIS veriyle çalıştırılan model sonuçlarının gerçek değere hangi oranda yaklaştığı değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.3 : Çalışma Bölgesindeki hava kalitesi ölçüm istasyonları.

İstasyon	NO2	O3	SO2	PM10
Balikesir	NA	NA	40	9
Bilecik	NA	NA	25	3
Bolu	NA	NA	41	9
Bursa	NA	NA	37	4
Canakkale	NA	NA	36	6
Edirne	NA	NA	28	1
Eskisehir	NA	NA	21	10
Istanbul (Aksaray)	13	NA	34	6
Istanbul (Alibeykoy)	96	44	41	8
Istanbul (Besiktas)	28	NA	37	6
Istanbul (Esenler)	29	NA	39	7
Istanbul (Kadikoy)	10	31	40	6
Istanbul (Kartal)	NA	NA	37	4
Istanbul (Sariyer)	NA	NA	40	8
Istanbul (Umraniye)	73	NA	42	5
Istanbul (Uskudar)	NA	NA	38	6
Istanbul (Yenibosna)	NA	NA	39	7
Kirklareli	NA	NA	38	5
Kocaeli	NA	NA	42	4
Kocaeli (Dilovasi)	-45	20	NA	NA
Kocaeli (OSB)	-169	NA	40	6
Kutahya	NA	NA	29	4
Sakarya	NA	NA	43	7
Tekirdağ	NA	NA	NA	1
Yalova	NA	NA	NA	11

5. HAVA KİRLİLİĞİ MARUZİYET ANALİZLERİ

Hava kirliliğinin erken ölümler gibi olumsuz etkilerini gösteren birçok çalışma yapılmıştır. Gemilerdeki kükürt oranlarının ECA' nın öngördüğü kükürt oranına düşürülmesinin sağlığa etkilerinin belirlenebilmesi için, Anenberg ve arkadaşlarının 2010 ve 2012' de yaptıkları çalışmalar kullanılmıştır.

Kardiyovasküler ve solunum kaynaklı ölümlerle ilişkilendirilen yer seviyesindeki O₃ ve PM_{2.5} konsantrasyonları sanayi öncesi zamanlardan beri kentsel ve kırsal bölgelerde artış göstermektedir. O₃ ve PM_{2.5} konsantrasyonları sanayileşmiş bölgelerde daha çok artmış olmasına rağmen, gözlemler konsantrasyonların sanayiden uzak bölgelerde de arttığını göstermektedir (Akimoto 2003;. Schultz ve ark 2006;. Staehelin ve ark 2001, Vingarzan 2004, Volz ve Kley 1988).

Cohen vd. (2004) dünya çapında yılda yaklaşık 800.000 erken ölümün, diğer bir ifadeyle tüm ölümlerin % 1.2' sinin, PM_{2.5} ile ilişkili olduğunu tahmin etmiştir.

Kirletici konsantrasyonlarındaki değişiklikler ile ölümler arasındaki değişiklikleri hesaplayan sağlık etki fonksiyonu bulunmaktadır. Epidemik çalışmalara göre, sağlık etki fonksiyonu bağıl risk (RR) ile çalışmalarda ortaya çıkan konsantrasyonlar arasında log-linear bir ilişki bulunmaktadır (Jerrett vd. 2009, Krewski vd 2009).

$$RR = e^{\beta\Delta X}, \quad (5.1)$$

Burada; β : derişim yanıt faktörü (CRF) olup konsantrasyon ile mortalite arasındaki log-linear ilişkinin tahmini eğimini verirken, ΔX konsantrasyondaki değişimdir. Kirletici konsantrasyon kaynaklı bağıl riskin ölümler üzerindeki oranı (AF) da:

$$AF = (RR - 1) / RR = 1 - e^{-\beta\Delta X} \quad (5.2)$$

olarak tanımlanabilir. Bu oran, temel ölüm oranı (Y_0) ve nüfus (Pop) ile çarpıldığında, kirlilik kaynaklı fazladan ölümler elde edilebilir:

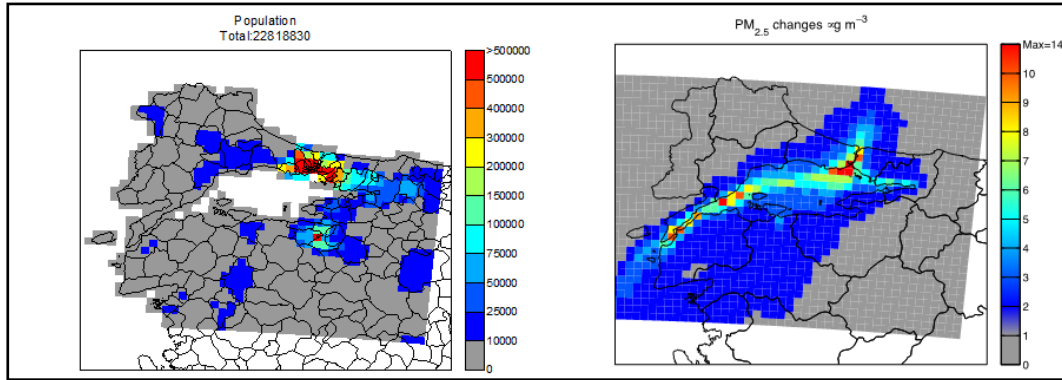
$$\Delta Mort = Y_0 (1 - e^{-\beta\Delta X}) Pop \quad (5.3)$$

Fazladan ölümlerden kaynaklanan yaşam süresi kayıpları da:

$$\Delta YLL = \Delta Mort YLL_0 / Y_0 \quad (5.4)$$

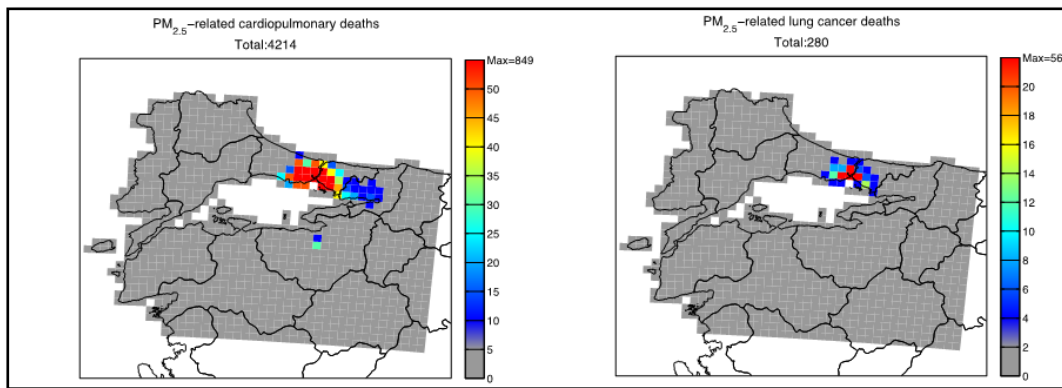
denklemini ile hesaplanabilir.

Şekil 5.1’ de, Marmara Denizi ve Türk Boğazları’ nın ECA ilan edilmesi durumunda meydana gelecek PM_{2.5} derişimindeki değişim gösterilmektedir.



Şekil 5.1 : ECA’ nın PM_{2.5} üzerindeki etkisi ve nüfus yoğunluğu.

Marmara Bölgesi ve Türk Boğazları’ nın ECA ilan edilmesi durumunda meydana gelecek PM_{2.5} konsantrasyon farkı ve nüfus yoğunluğu dikkate alındığında, özellikle İstanbul’ da, PM_{2.5} kaynaklı kardiyovasküler ve akciğer kanserine bağlı ölümlerde azalmalar meydana geleceği görölmektedir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 : ECA ile PM_{2.5} konsantrasyon azaltımının sağlık etkileri.

Marmara Bölgesi ECA ilan edilene kadar, gemi kaynaklı emisyonlar sebebiyle kalp-damar ve akciğer kanserine bağlı olarak yılda yaklaşık 4500 kişi fazladan hayatını kaybetmeye devam edecektir.

6. SONUÇLAR VE GENEL DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada hava kirliliği ile ilgili çalışmalar gözden geçirilmiştir. Özellikle hava kirliliği ile ilgili çalışmalarda önemli bir yer tutan envanter çalışmalarının bu bölge için yetersiz olduğu tespit edilmiş, denizcilik ve havacılık sektörü ile ilgili detaylı bir envanter çalışması gerçekleştirilmiştir.

Marmara Denizi ve Türk Boğazları' nı içine alan bölgede yıllık emisyonlar hesaplanmış ve hava kirliliğine etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmada, sadece AIS cihazı bulunan 300 grt ve üzeri gemilerden gelen veriler kullanılmıştır. AIS sistemi hakkında detaylı bilgilere de çalışmada yer verilmiştir.

AIS verisindeki gemilere ait statik verilerin gemiler tarafından tanımlanması dolayısıyla verinin önemli bir bölümünde gemi türü ve tonajı gibi çok gerekli olan bilgilere ulaşamamaktadır. Bu sebeple gemilerin eksik veri girişlerinin önüne geçilmesi gereklidir.

Gemi kaynaklı emisyonlarla ilgili daha önce yapılmış olan uluslararası kabul görmüş küresel, bölgesel, yerel ölçekli envanter çalışmalarındaki yöntemler ve sonuçlar incelenmiştir. Bölgesel ölçekli envanter çalışmalarının günümüzde AIS verileri kullanılarak yapılmakta olduğu, daha önceki yöntemlere göre yapılmış çalışmalara göre, oldukça yüksek çözünürlükte ve gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği, yeni yöntemle yapılan çalışmaların sonuçlarının, top-down yöntemi veya diğer basit kabullenmelere göre yapılan çalışmalardan önemli ölçüde farklı olduğu görülmüştür. Aynı zamanda bu çalışmalar, gemi emisyonlarının, daha önceki yöntemlere göre, çok daha önemli miktarlara ulaşmakta olduğunu da göstermektedir.

Sadece envanter çalışmaları değil, aynı zamanda gemilerin hava kalitesine, çevre ve sağlık üzerindeki etkileri konusundaki çalışmalar da incelenmiş, özellikle Avrupa kıtası için yapılmış nispeten kabataslak rakamlara dökülmüş çok sınırlı sayıdaki dışsal maliyet çalışmaları da yöntem ve sonuçları bakımından değerlendirilmiştir.

Gemi kaynaklı emisyonlar çok farklı kimyasallar içermekte, bunların her biri farklı koşullara bağlı olarak meydana gelmektedir. Bu sebeple, her tür emisyon için etkin olabilen tek bir yöntem bulunmamaktadır.

Makine teknolojisinden bağımsız gerçekleşen kükürt emisyonunu kontrol edebilmek için yakıt içeriğindeki kükürt oranlarının sınırlandırılabilmesi için gerekli yasal zorunluluklar üzerinde durulmuştur.

Marmara Bölgesi' nin coğrafi özellikleri ve denizcilik faaliyetleri araştırılarak, bölgedeki endüstrileşme ile birlikte önemli bir yer tutan gemi trafiğinin bölgedeki yoğun nüfus üzerindeki muhtemel etkileri işaret edilmiştir. Gemi trafiği ile ilgili anlık veriler değerlendirilerek, gemi türüne, bölgelere, zamana ve oluştukları yere göre, önemli kirletici türlerinin yıllık toplamı yüksek çözünürlükte hesaplanmıştır. Gemi trafik yoğunluğu tespit edilerek, yapılan envanter çalışması sonuçları da, farklı yöntemlerle doğrulanmıştır.

Gemilerin çalışma bölgesinde geçirdikleri zamanların önemli bir bölümünü hotelling modu oluşturmaktadır. Yine benzer şekilde oluşan emisyonun önemli miktarı hotelling zamanlarında meydana gelmektedir. Bu sebeple, hava kirliliğinin önlemenin bir yolu da, gemilerin bekleme zamanlarını azaltmak üzere liman operasyonlarının azaltılması, sefer optimizasyonlarının yapılması gerekmektedir. Limanlarda beklerken meydana gelen yüksek miktardaki emisyonların önüne geçmek için cold ironing metodu ya da egzoz bacalarına cloud chamber scrubbing yöntemi uygulanabilir.

Gemi Emisyonları, Marmara bölgesi için özellikle NO_x ve SO₂ emisyonları açısından ciddi bir kaynak oluşturmaktadır. Bunlara bağlı olarak partikül madde konsantrasyonları çalışılan dönem için 50%'ye varan artışlara sebep olmuştur.

Gemi kaynaklı emisyonlar, diğer sektörlerden meydana gelen emisyonlarla birlikte mevcut meteorolojik koşullara göre hava kalitesi modeliyle değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelerde, IMO' nun ECA bölgeleri için öngördüğü kükürt oranı azaltımlarına bağlı olarak farklı senaryolara göre sonuçlar elde edilmiştir. Hava kalitesi modeli sonuçları, bölgedeki ölçüm istasyonlarının sonuçları ile karşılaştırıldığında, AIS verilerine göre elde edilen gemi emisyonlarının, literatürdeki mevcut emisyon verilerinden daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür.

Ayrıca, kükürt oranlarına göre yapılan hassasiyet analizlerine göre, kükürt oranlarının ECA sınırlarına çekilmesi durumunda kirletici konsantrasyonlarının ciddi şekilde azalacağı tespit edilmiştir.

Gemi emisyonları sebebiyle Marmara Bölgesi' nde ölüm oranlarında ciddi artış (yılda 4,500) olmaktadır. Bu sebeple, Marmara Bölgesi' nin Emisyon Kontrol Alanı (ECA) olarak ilan edilmesi, kazanılacak yararlar düşünüldüğünde acil bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışma, bölgenin ECA ilan edilmesi için ciddi bir bilimsel dayanak oluşturmaktadır.

Marmara Bölgesi' nin ECA ilan edilmesi sonucunda sınır değerlerin altında SO_x salınımını sağlamak üzere, egzoz bacalarına scrubber sistemlerinin donatılması için gerekli arge çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

Uçaklardan kaynaklanan emisyonların miktarlarına bakıldığında, gemi emisyonları sonuçlarında olduğu gibi, uçak hareketlerini temel alan hesaplamalar, küresel ve bölgesel emisyon envanteri verilerine oranla çok daha doğru sonuçlar vermektedir.

Gemilerde tüketilen önemli miktarda yakıt sebebiyle meydana gelen CO₂ emisyonu neticesinde, küresel ısınma ve iklim değişikliği açısından önemli bir GHG kaynağı olduğu da ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple, IMO tarafından oluşturulan gemilerde enerji verimliliği konusundaki EEDI, EEOI ve SEEMP gibi yöntemlerin uygulamaya geçirilmesi, teknik, operasyonel ve market tabanlı (Emisyon ticareti vb. gibi) mekanizmaların yürürlüğe konması gerekmektedir.

Doğal ve insan kaynaklı tüm emisyon kaynaklarının Marmara Bölgesi ve civarındaki etkilerini belirlemek üzere yapılan bu çalışmanın en önemli sonucu, gemi emisyonların diğer sektörlerden çok daha önemli olmasıdır.

KAYNAKLAR

- Akimoto H.** (2003). Global air quality and pollution. *Science*, 302,1716–1719.
- Akpınar, A., Kömürcü, M. İ., Kankal, M., Özölçer, İ. H. and Kaygusuz, K.** (2008). Energy situation and renewables in Turkey and environmental effects of energy use, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12 (8), 2013-2039.
- Altay, M. C., Sivri, N., Onat, B., Şahin, Ü., Zorağa, M. and Altay, H. F.** (2011). Recycle of metals for end-of-life vehicles (ELVs) and relation to Kyoto protocol. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (5), 2447-2451.
- Altınay, G.** (2007). Short-run and long-run elasticities of import demand for crude oil in Turkey. *Energy Policy*, 35 (11), 5829-5835.
- Anenberg SC, Horowitz LW, Tong DQ, West JJ.** (2010). An estimate of the global burden of anthropogenic ozone and fine particulate matter on premature human mortality using atmospheric modeling. *Environ Health Perspect*, 118,1189-1195.
- Anenberg SC, Schwartz J, Shindell D, Amann M, Faluvegi G, Klimont Z, Janssens-Maenhout G, Pozzoli L, Van Dingenen R, Vignati E, Emberson L, Muller NZ, West JJ, Williams M, Demkine V, Hicks WK, Kuylenstierna J, Raes F, Ramanathan V.** (2012). Global air quality and health co-benefits of mitigating near-term climate change through methane and black carbon emission controls, *Environ Health Perspect*, 120(6), 831-839.
- Ari, İ.** (2013). Voluntary emission trading potential of Turkey. *Energy Policy*, 62, 910-919.
- Atıkol, U. and Güven, H.** (2003). Impact of cogeneration on integrated resource planning of Turkey, *Energy*, 28 (12), 1259-1277.
- Atkinson, R., Anderson, H., Sunyer, J., Ayres, J., Baccini, M., Vonk, J., Boumghar, A., Forastiere, F., Forsbert, B., Touloumi, G., Schwartz, J. and Katsouyanni, K.** (2001). “Acute effects of particulate air pollution on respiratory admissions: results from APHEA 2 project, *Am J Respir Crit Care Med*, 164, 1860-1866.
- Avol, EL., Gauderman, W.J., Tan, S.M., London, S.J. and Peters, J.M.** (2001). Respiratory Effects of Relocating to Areas of Differing Air Pollution Levels. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 164 (11), 2067-2072.
- Baidya, S. and Kleefeld, J. B.** (2009). Atmospheric emissions from road transportation in India. *Energy Policy*, 37, 3812-3822.
- Bayram, H., Dörtbudak, Z., Fişekçi, F. E., Kargın, M. ve Bülbül, B.** (2006). Hava kirliliğinin insan sağlığına etkileri, dünyada, ülkemizde ve bölgemizde hava kirliliği sorunu, *Dicle Tıp Dergisi*, 33 (2), 105-112.

- Benli, H.** (2013). Potential of renewable energy in electrical energy production and sustainable energy development of Turkey: Performance and policies, *Renewable Energy*, 50, 33-46.
- Bilgen, S., Keleş, S., Kaygusuz, A., Sarı, A. and Kaygusuz, K.** (2008). Global warming and renewable energy sources for sustainable development: A case study in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12 (2), 372-396.
- Bourry, C., Chazallon, B., Charlou, J. L., Donval, J. P., Ruffine, L., Henry, P., Geli, L., Çagatay, M. N., İnan, S. and Moreau, M.** (2009). Free gas and gas hydrates from the Sea of Marmara, Turkey: Chemical and structural characterization. *Chemical Geology*, 264 (1–4), 197-206.
- Buhaug, Ø., Corbett, J.J., Endresen, Ø., Eyring, V., Faber, J., Hanayama, S., Lee, D.S., Lee, D., Lindstad, H., Markowska, A.Z., Mjelde, A., Nelissen, D., Nilsen, J., Palsson, C., Winebrake, J.J., Wu, W.Q., and Yoshida, K.** (2009). Second IMO GHG study, *International Maritime Organization (IMO)* London, UK.
- Byun, D. W. and Ching, J. K. S.** (1999). Science algorithms of the EPA Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System, EPA.
- CAFE (Clear Air For Europe)**, (2005). Damages per tonne emissions of PM_{2.5}, NH₃, SO₂, NO_x and VOCs from each EU25 member states (excluding Cyprus) and surrounding seas.
- Canakci, M., Ozsezen, A. N., Arcaklioglu, E. and Erdil, A.** (2009). Prediction of performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with biodiesel produced from waste frying palm oil. *Expert Systems with Applications*, 36 (5), 9268-9280.
- Celik, A. N.** (2011). Review of Turkey's current energy status: A case study for wind energy potential of Çanakkale province. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (6), 2743-2749.
- CMASIE.** (2010). Operational guidance for the community multiscale air quality (CMAQ) modeling system, Version 4.7.1, University of North Carolina.
- COM.** (2008). Strategy for the internalisation of external costs, *COM(2008) 435 final*, Brussels.
- Corbett, J., Fischbeck, P., and Pandis, S.** (1999). Global nitrogen and sulfur inventories for oceangoing ships, *Journal of Geophysical Research*, 104, 3457-3470.
- Corbett, J. J., and Koehler, H.W.** (2003). Updated emissions from ocean shipping, *Journal of Geophysical Research*, 108(D20) , 4650.
- Corbett, J. J., Winebrake, J.J., Green, E. H., Kasibhatla, P., Eyring, V. and Lauer, A.** (2007). Mortality from shipping: A global assessment, *Environmental Science and Technology*, 41.
- Çapik, M., Yılmaz, A. O. and Çavuşoğlu, İ.** (2012). Present situation and potential role of renewable energy in Turkey, *Renewable Energy*, 46, 1-13.

- Dalsøren, S.B., Eide, M.S., Endresen, Ø., Mjelde, A., Gravir, G., and Isaksen, I.S.A.** (2008). Update on emissions and environmental impacts from the international fleet_the contribution from major ship types and ports, *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 8, 18323-18384.
- Danışman, İ. K.** (2013). Ege bölgesi balıkçı filosunun sınıflandırılması ve balıkçılık kapasitesinin barınak bazlı alansal dağılımı, *Journal of ETA Maritime Science*, 1 (1), 1-6.
- Davies, M.E., Plant, G., Cosslett, C., Harrop, O., and Petts, J.W.** (2000). Study on the economic, legal, environmental and practical implications of a European Union system to reduce ship emissions of SO₂ and NO_x, *Final Report for European Commission*.
- De Meyer, P., Maes, F., and Volckaert, A.** (2008). Emissions from international shipping in the Belgian part of North Sea and Belgian seaports, *Atmospheric Environment*, 42, 196-206.
- Deniz, C., Durmuşoğlu, Y.** (2008). Estimating shipping emissions in the region of the sea of Marmara, *Science of the Total Environment*, 390, 255-261.
- Deniz, C., Kılıç, A.** (2010, a). Estimation and assessment of shipping emissions in the region of Ambarli Port, Turkey, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 29 (1), 107-115.
- Deniz, C., Kılıç, A., Cıvkaroğlu, G.** (2010,b). Estimation of shipping emissions in Candarli Gulf, Turkey, *Environmental Monitoring & Assessment*, 171, 219-228.
- Dincer, F. and Elbir, T.** (2007). Estimating national exhaust emissions from railway vehicles in Turkey. *Science of the Total Environment*, 374, 127-134.
- DNV.** (1999). Reference values for ship pollution, *Technical Report*, No : 99-2034 Rev No: 0.
- Dong, C., Huang, K-L., Chen, C-W., Lee, C-W., Lin, H-Y., and Chen, C-F.** (2002). Estimation of air pollutants emissions from ships in the Kaohsiung harbour area, *Aerosol and Air Quality Research*, 2 (1), 31-40.
- Durkee, P. A., Chartier, R. E., Brown, A., Trehubenko, E. J., Rogerson, S. D., Skupniewich, C., Nielsen, K. E, Platnick, S., King, M. D.** (1999). Composite ship track characteristics, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 57, 2542-2553.
- European Environment Agency (EEA),** (2012). Air quality in Europe, *Report No: 4/2012*.
- Elbir, T., Mangir, N., Kara, M., Simsir, S., Eren, T., Ozdemir, S.** (2010). Development of a GIS-based decision support system for urban air quality management in the city of Istanbul, *Atmospheric Environment*, 44, 441-454.
- EMEP.** (2009). Inventory Review, *Emission Data Reported under the LRTAP Convention and NEC Directive*.

- EMEP.** (2012). Inventory Review 2012, *Emission Data Reported under the LRTAP Convention and NEC Directive*.
- ENTEC.** (2002). Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community *Final Report*, Entec UK Limited.
- ENTEC.** (2005). European Commission Directorate General Environment Service Contract on Ship Emissions: Assignment, Abatement and Market-based Instruments, *Final Report*, Entec UK Limited.
- ENTEC.** (2007). Ship Emissions Inventory-Mediterranean Sea, *Final Report*.
- EPA.** (2010). Proposal of Emission Control Area to Reduce Emissions from Ships in the U.S. Caribbean, EPA.
- EPA.** (2004). Overview of EPA's Emission Standards for Marine Engines, Office of Transportation and Air Quality, EPA.
- Erdem, Z. B.** (2010). The contribution of renewable resources in meeting Turkey's energy-related challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (9), 2710-2722.
- Esmemr, S., Ceti, I. B. and Tuna, O.** (2010). A Simulation for Optimum Terminal Truck Number in a Turkish Port Based on Lean and Green Concept. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 26 (2), 277-296.
- Evirgen, F., Unal, A., Kindap, T., Pozolli, L., Bahçivan, Z., İnalhan, G. and Mangır, N.** (2012). Quantification of the impact of Ataturk International Airport emissions on air quality. 4th International Symposium and IUAPPA Regional Conference, 10-13 September 2012 Istanbul - Turkey.
- EXTERNE.** (2003). External cost research results on socio-environmental damages due to electricity and transport.
- Eyring, V., Köhler, H. W., van Aardenne, J. And Lauer, A.** (2005). Emissions from international shipping: 1. The last 50 years, *Journal of Geophysical Research*. Vol 110.
- Eyring, V., Stevenson, D. S., Lauer, A., Dentener, F. J., Butler, T., Collins, W. J., Ellingsen, K., Gauss, M., Hauglustaine, D. A., Isaksen, I. S. A., Lawrence, M. G., Richter, A., Rodriguez, J. M., Sanderson, M., Strahan, S. E., Sudo, K., Szopa, S., van Noije, T. P. C. And Wilde, O.** (2007). Multi-model simulations of the impact of international shipping on atmospheric chemistry and climate in 2000 and 2030, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7, 757-780.
- Fann, N., Lamson, A. D., Anenberg, S. C., Wesson, K., Risley, D. and Hubbell, B. J.** (2012). Estimating the national public health burden associated with exposure to ambient PM_{2.5} and ozone. *Risk Analysis*, 32 (1), 81 - 95.
- Fournier, A.** (2006). Controlling air emissions from marine vessels: problems and opportunities.

- Fridell, E., Ferm, M. and Ekberg, A.** (2010). Emissions of particulate matters from railways – Emission factors and condition monitoring. *Transport Research Part D*, 15, 240-245.
- Fridell, E.** (2011). Fuel consumption in the maritime sector, emissions consequences, trends. IVL Swedish Environmental Research Institute.
- Friedrich R., Bickel, P., Krewitt, W.** (1998). External Costs of Transport. Final report of the Project *ExternE Transport*, Stuttgart.
- Gallagher, K. P.** (2005). International trade and air pollution: estimating the economic costs of air emissions from waterborne commerce vessels in the United States, *Journal of Environmental Management*, (77), 99-103.
- Géli, L., Henry, P., Zitter, T., Dupré, S., Tryon, M., Çağatay, M. N., Mercier de Lépinay, B., Le Pichon, X., Şengör, A. M. C., Görür, N., Natalin, B., Uçarkuş, G., Özeren, S., Volker, D., Gasperini, L., Burnard, P., Bourlange, S.** (2008). Gas emissions and active tectonics within the submerged section of the North Anatolian Fault zone in the Sea of Marmara. *Earth and Planetary Science Letters*, 274 (1–2), 30, 34-39.
- Guaderman, W., McConnell, R., Gilliland, F., London, S., Thomas, D., Avol, E., Vora, H., Berhane, K., Rappaport, E.B., Lurmann, F., Margolis, H.G. and Peters, J.** (2000). Association between air pollution and lung function growth in southern California children, *Am J Respir Crit Care Med*, 162, 1383-1390.
- Guenther, A., Geron, C., Pierce, T., Lamb, B., Harley, P. and Fall, R.,** (2000). Natural emissions of non-methane volatile organic compounds, carbon monoxide, and oxides of nitrogen from North America, *Atmospheric Environment*, 34 (12-14), 2205 - 2230.
- Gumus, M. and Kasifoglu, S.** (2010). Performance and emission evaluation of a compression ignition engine using a biodiesel (apricot seed kernel oil methyl ester) and its blends with diesel fuel. *Biomass and Bioenergy*, 34 (1), 134-139.
- Günindi, M. and Tasdemir Y.** (2010). Atmospheric polychlorinated biphenyl (pcb) inputs to a coastal city near the Marmara Sea, *Marine Pollution Bulletin*, 60, 2242 - 2250.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB).** (2009). İstanbulda kentsel hava kalitesi yönetimi için CBS tabanlı karar destek sisteminin geliştirilmesi, LIFE06-TCY/TR/000283.
- International Council on Clean Transportations (ICCT).** (2007). Air pollution and greenhouse gas emissions from ocean-going ships: Impacts, mitigation options and opportunities for managing growth.
- IHS Fairplay,** October 2010.
- International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA).** (2007). Analysis of Policy Measures to Reduce Ship Emissions in the Context of the Revision of the National Emissions Ceilings Directive, IIASA Contract No. 06-107, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.

- İlkiliç, C.** (2012). Wind energy and assessment of wind energy potential in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (2), 1165-1173.
- İm, U., Tayanç, M. and Yenigün, O.** (2008). Interaction patterns of major photochemical pollutants in Istanbul, Turkey. *Atmospheric Research*, 89 (4), 382-390.
- İm, U., Markakis, K., Unal, A., Kindap, T., Poupkou, A., Incecik, S., Yenigun, O., Melas, D., Theodosi, C. and Mihalopoulos, N.** (2010). Study of a winter PM episode in Istanbul using the high resolution WRF/CMAQ modeling system. *Atmospheric Environment*, 44 (26), 3085-3094.
- İm, U., Poupkou, A., Incecik, S., Markakis, K., Kindap, T., Unal, A., Melas, D., Yenigun, O., Topcu, S., Odman, M. T., Tayanc, M. and Guler, M.** (2011). The impact of anthropogenic and biogenic emissions on surface ozone concentrations in Istanbul. *Science of The Total Environment*, 409 (7), 1255-1265.
- İm, U., Incecik, S., Guler, M., Tek, A., Topcu, S., Unal, Y. S., Yenigun, O., Kindap, T., Odman, M. T. and Tayanc, M.** (2013). Analysis of surface ozone and nitrogen oxides at urban, semi-rural and rural sites in Istanbul, Turkey. *Science of The Total Environment*, 443, 920-931.
- IMO.** (2003). Guidelines for the installation of a shipborne Automatic Identification System (AIS), SN/Circ.227.
- IMO.** (2008). MARPOL Annex VI: Proposed Criteria and Procedures for the Designation of Emission Control Area, MEPC 58/5/7, 1 August 2008.
- Internalisation Measures and Policies for All External Cost of Transport (IMPACT).** (2008). Handbook on estimation of external costs in the transport sector, IMPACT Report, Version 1.1.
- Iowa Waste Recovery Center (IWRC).** (2006). Emissions for coal fired power plants, fact sheet.
- Jakobson, M. Z.** (2002). Atmospheric pollution, history, science and regulation, Cambridge University Press.
- Kanakidou, M., Mihalopoulos, N., Kindap, T., Im, U., Vrekoussis, M., Gerasopoulos, E., Dermitzaki, E., Unal, A., Koçak, M., Markakis, K., Melas, D., Kouvarakis, G., Youssef, A. F., Richter, A., Hatzianastassiou, N., Hilboll, A., Ebojie, F., Wittrock, F., von Savigny, C., Burrows, J. P., Ladstaetter-Weissenmayer, A. and Moubasher, H.** (2011). Megacities as hot spots of air pollution in the East Mediterranean. *Atmospheric Environment*, 45 (6), 1223-1235.
- Karaca, F.** (2013). Mapping the corrosion impact of air pollution on the historical peninsula of Istanbul. *Journal of Cultural Heritage*, 14 (2), 129-137.
- Karakoç, T. F., Tolun, L., Henkelmann, B., Klimm, C., Okay, O. and Schramm K. W.** (2002). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) distributions in the Bay of Marmara sea: Izmit Bay, *Environmental Pollution*, 119, 383 - 397.

- Karademir, A.** (2006). Evaluation of the potential air pollution from fuel combustion in industrial boilers in Kocaeli, Turkey, *Fuel*, 85 (12–13), 1894-1903.
- Katsouyanni, K., Touloumi, G., Samol, E., Gryparis, A., Tertre, A.L., Monopolis, Y., Rossi, G., Zmirou, D., Ballester, F., Boumghar, A., Anderson, H.R., Wojtyniak, B., Paldy, A., Braunstein, R., Pekkanen, J., Schindler, C. and Schwartz, J.** (2001). Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA-2 project, *Epidemiology*, 12, 521-531.
- Kaygusuz, K.** (2009). Energy and environmental issues relating to greenhouse gas emissions for sustainable development in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 (1), 253-270.
- Kaygusuz, K.** (2010). Sustainable energy, environmental and agricultural policies in Turkey, *Energy Conversion and Management*, 51 (5), 1075-1084.
- Keleş, S. and Bilgen, S.** (2012). Renewable energy sources in Turkey for climate change mitigation and energy sustainability, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (7), 5199-5206.
- Kesgin, U. And Vardar, N.** (2001). A study on exhaust gas emissions from ships in Turkish Straits, *Atmospheric Environment*, 35, 1863-1870.
- Kesgin, U.** (2006). Aircraft emissions at Turkish airports, *Energy*, 31, 372-384.
- Kılıç, A.** (2006). Gemilerden kaynaklanan egzoz emisyonları ve dağılım modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Kılıç, A., Deniz, C., Durmuşoğlu, Y., and Çetin, B.Y.** (2009, a). The Annual exhaust gas emissions from Turkish Flagged ship fleet, *13th Congress of Intl. Maritime Assoc. of MediterraneanIMAM 2009*, İstanbul, Türkiye, 12-15 Oct. 2009
- Kılıç, A., Deniz, C.** (2010, a). Inventory of shipping emissions in Izmit Gulf, Turkey, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 29 (2), 221-232.
- Kılıç, A., Tzannatos, E.** (2010, b). Shipping emissions and externalities of container terminal of Piraeus, Greece, *Maritime Policy and Management*, In review.
- Kindap, T., Ünal, A. And Karaca, M.** (2010). Analysis of the Saharan dust transport to the Anatolian Peninsula: megacity perspective, *Atmospheric Chemistry and physics*. In review.
- Kindap, T., Unal, A., Chen, S. H., Hu, Y., Odman, M. T., and Karaca, M.** (2006). Long-range aerosol transport from Europe to Istanbul, Turkey, *Atmospheric Environment*, 40 (19), 3536-3547.
- Koçak, M., Theodosi, C., Zampas, P., Im, U., Bougiatioti, A., Yenigun, O. and Mihalopoulos, N.** (2011). Particulate matter (PM₁₀) in Istanbul: Origin, source areas and potential impact on surrounding regions. *Atmospheric Environment*, 45 (38), 6891- 6900.

- Kolukirik, M., Ince, O., Cetecioglu, Z., Celikkol, S. and , Ince B. K.** (2011). Spatial and temporal changes in microbial diversity of the Marmara Sea Sediments, *Marine Pollution Bulletin*, 62, 2384 – 2394.
- Kotcioğlu, İ.** (2011). Clean and sustainable energy policies in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (9), 5111-5119.
- Kömürcü, M. İ. and Akpınar, A.** (2009). Importance of geothermal energy and its environmental effects in Turkey, *Renewable Energy*, 34 (6), 1611-1615.
- Kumar, S., Cho, J. H., Park, J. and Moon, I.** (2013). Advances in diesel–alcohol blends and their effects on the performance and emissions of diesel engines, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 46-72.
- Kumbaroğlu, G.** (2011). A sectoral decomposition analysis of Turkish CO₂ emissions over 1990-2007. *Energy*, 36, 2419-2433.
- Lavender, K., Reynolds, G. and Webster, A.** (2006). Emission inventory guidebook, Lloyds Register of Shipping.
- Lonati, G., Cernuschi, S. and Sidi, S.** (2010). Air quality impact assessment of at-berth ship emissions: Case-study for the project of a new freight port, *Science of The Total Environment*, 409 (1), 192-200.
- Lorenzo, R., Kaegi, R., Gehrig, R. and Grobéty, B.,** 2006. Particle emissions of a railway line determined by detailed single particle analysis. *Atmospheric Environment*, 40, 7831-7841.
- Man & BW,** . Emission control two stroke low speed diesel engines.
- Marmer, E., Dentener, F., Aardenne, J., V., Cavalli, F., Vignati, E., Velchev, K., Hjorth, J., Boersma, F., Vinken, G., Mihalopoulos, N., Raes, F.** (2009). What can we learn about shipping emission inventories from measurements of air pollutants over the Mediterranean Sea?, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9, 6815-6831.
- MEPC 63/INF.2.** (2011). Estimated CO₂ emissions reduction from introduction of mandatory technical and operational energy efficiency measures for ships.
- MEPC.203(62).** (2011). Inclusion of regulations on energy efficiency for ships in MARPOL Annex VI.
- Ministry of Transport and Communications (MINTC).** (2003). External costs of traffic, in Finnish) ReportB 29/2003, Helsinki.
- Miola, A., Ciuffo, B., Grovine, E., Marra, M.** (2010). Regulating air emission from ships, JRC Report.
- Mölders, N., Porter, S. E., Tran, T. T., Cahill, C. F.** (2009). Impact of unregulated ship emissions on air and water quality in southern Alaska.
- Muneer, T., Celik, A. N. and Caliskan, N.** (2011). Sustainable transport solution for a medium-sized town in Turkey-A case study. *Sustainable Cities and Society*, 1 (1), 29-37.

- Nawrot, T. and Nemery, B.** (2007). How Relevant is Air Pollution as a Trigger for Myocardial Infarction, *Epidemiology*, 18 (5), 123.
- NETCEN.** (1998). Estimates of the marginal external costs for air pollution in Europe, Version E1.02a, Created for European Commission DG Environment by NETCEN.
- Ntziachristos, L., Samaras, Z.** (2000). COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport. methodology and emissions factors (Version 2.1), EEA, Technical Report No. 49, Copenhagen.
- Natural Resources Defence Council (NRDC).** (2004). Harboring pollution strategies to clean up US ports, New York.
- OECD.** (2009). Greenhouse gas emissions reduction potentials from international shipping, Discussion Paper No : 2009-11.
- Okay, C., Akkoyunlu, B. O. and Tayanc, M.** (2002). Composition of wet deposition in Kaynarca, Turkey, *Environmental Pollution*, 118 (3), 401-410.
- Olesen, H. R., Winther, M., Ellermann, T., Christensen, J., Plejdrup, M.** (2007). Ship emissions and air pollution in Denmark, Environmental Project No: 1307 2009, Danish Ministry of Environment, Environmental Protection Agency.
- Ozen, M and Yaman Tuydes H.** (2013). Evaluation of emissions cost of inefficiency in road freight transportation in Turkey, *Energy Policy*, 62, 625-636.
- Ozkurt, N., Sari, D., Akalin, N., and Hilmioglu, B.,** 2013. Evaluation of the impact of SO₂ and NO₂ emissions on the ambient air-quality in the Çan-Bayramiç region of northwest Turkey during 2007–2008. *Science of The Total Environment*, (456–457), 254-266.
- Özdoğan, S.** (1998). Estimation of CO₂ emission factors of coals. *Fuel*, 77 (14), 1605-1609.
- Pekey, B., Karakas, D. and Ayberk, S.** (2007). Atmospheric deposition of polycyclic aromatic hydrocarbons to Izmit Bay, Turkey. *Chemosphere*, 67 (3), 537-547.
- Perera, F.P., Li, Z., Whyatt, R., Hoepner, L., Wang, S., Camann, D. and Rauh, V.** (2009). Prenatal Airborne Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Exposure and Child IQ at Age 5 Years, *Pediatrics* (doi:10.1542/10.1542/peds.2008-3506).
- Perez, C., Jimenez, P., Jorba, O., Sicard, M. and Baldasano, J. M.,** (2006). Influence of the PBL scheme on high resolution photochemical simulations in an urban coastal area over the Western Mediterranean, *Atmospheric Environment*, 40, 5274 - 5297.
- Poloniecki, J.D., Atkinson, R.W., de Leon, A.P., Anderson, R.H.** (1997). Daily time series for cardiovascular hospital admissions and previous day's air pollution in London, UK, *Occup Environ Med*, 54, 535– 40.

- Pope, C.A. and Dockery, D.W.** (2006). Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines That Connect, *J. Air and Waste Management*, 56, 709-742.
- Pozzoli, L., Unal, A., Kindap, T. and Im, U.** (2010). Evaluation of gaseous and particulate emission inventories over the Eastern Mediterranean basin. Global Emissions Initiative.
- Puget Sound Clean Air Agency (PSCAA).** (2005). 2005 air emission inventory for King, Kitsap, Pierce and Snohomish counties, March 2008.
- Qinbin, L., Jacob, D., Bey, I., Palmer, P., Duncan, B., Field, B., Martin, R., Fiore, A., Yantosca, R., Parrish, D., Simmonds, P., and Oltmans, S.** (2002). Transatlantic transport of pollution and its effects on surface ozone in Europe and North America, *Journal of Geophysical Research*, 107 (D13), 10.1029/2001JD001422, ACH 4.1-ACH 4.21.
- Rahai, H. R. and Hezafi, H.** Emission Control Technologies for Ocean Going Vessels, Center for Energy and Environmental Research and Services, California State University.
- Ren, C. and Tong, S.** (2008). Health effects of ambient air pollution – recent research development and contemporary methodological challenges, *Environmental Health*, 7 (56), doi:10.1186/1476-069X-7-56.
- Richter, A., Eyring, V., Burrows, J.P., Bovensmann, H., Lauer, A., Sierk, B., and Crutzen, P.J.** (2004). Satellite measurements of NO₂ from international shipping emissions, *Geophysical Research Letters*, 31, L23110, doi:10.1029/2004GL020822.
- Ruidavets, J.B., Cournot, M., Cassadou, S., Giroux, M., Meybeck, M., Ferrieres, J.** (2005). Ozone air pollution is associated with acute myocardial infarction, *Circulation*, 111, 563–9.
- Saraçoğlu, H., Deniz, C. and Kılıç, A.** (2013). An Investigation on the Effects of Ship Sourced Emissions in Izmir Port, Turkey. *The Scientific World Journal*, vol. 2013, Article ID 218324, 8 pages, 2013. doi:10.1155/2013/218324.
- Sayin, C., Uslu, K. and Canakci, M.** (2008). Influence of injection timing on the exhaust emissions of a dual-fuel CI engine. *Renewable Energy*, 33 (6), 1314-1323.
- Sayin, C., Ilhan, M., Canakci, M. and Gumus, M.** (2009). Effect of injection timing on the exhaust emissions of a diesel engine using diesel-methanol blends. *Renewable Energy*, 34 (5), 1261-1269.
- Schreier, M., Kokhanovsky, A. A., Eyring, V., Bugliaro, L., Mannstein, H., Mayer, B., Bovensmann, H. and Burrows, J. P.** (2006). Impact of ship emissions on the microphysical, optical and radiative properties of marine stratus: a case study, *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 6, 1023-1071.
- Schürmann, G., Schäfer, K., Jahna, C., Hoffmann, H., Bauerfeind, M., Fleuti, E. and Rappenglück, B.** (2007). The impact of NO_x, CO and VOC emissions on the air quality of Zurich airport. *Atmospheric Environment*, 41, 103-118.

- Schultz M, Textor C, Kinne S, Balkanski Y, Bauer S, Bernsten T, et al.** (2006). Radiative forcing by aerosols as derived from the AeroCom present-day and pre-industrial simulations. *Atmos Chem Phys*, 6, 5225–5246.
- Sieber, N. and Kummer, U.** Environmental costs of maritime shipping in Europe.
- Simkhovich, B.Z., Kleinman, M.T. and Kloner, R.A.** (2008). Air Pollution and Cardiovascular Injury: Epidemiology, Toxicology, and Mechanisms, *J. American College of Cardiology*, 52 (9).
- Sinha, P., Hobbs, P.V., Yokelson, R.J., Christian, T.J., Kirchstetter, T.W., and Bruintjes, R.** (2003). Emissions of trace gases and particles from two ships in the Southern Atlantic Ocean, *Atmospheric Environment*, 37, 2139-2148.
- Sippula, O.** (2010). Fine particle formation and emissions in biomass combustion, Doktora Tezi, Department of Environmental Science Faculty of Science and Forestry University of Eastern Finland Kuopio, Finland.
- Sweedish EPA (SMHI).** (2010). A dynamic emission database for shipping-phase 1, Report Nr 2010-37.
- Staehelin J, Harris NRP, Appenzeller C, Eberhard J.** (2001). Ozone trends: a review. *Rev Geophys*, 39, 231–290.
- Stipa, T., Jalkanen, J-P., Hongisto, M., Kalli, J. and Brink, A.** (2007). Emissions of NO_x from Baltic shipping and first estimates of their effects on air quality and eutrophication of the Baltic Sea, ShipNOEm project, Finnish Ministry of Transport and Communication, Finnish Maritime Administration.
- Sustainable Shipping.** (2009). Emission Control Areas (ECAs) What you need to know, A SustainableShipping.com Briefing Paper, August 2009.
- Şahin, M.** (2008). İklim değişikliği ve Türkiye, Çevre ve Orman Bakanlığı, 11 Eylül 2008, Ankara.
- Şekercioğlu, Ç. H., Anderson, S., Akçay, E., Bilgin, R., Can, Ö. E., Semiz, G., Tavşanoğlu, Ç., Yokeş, M. B., Soyumert, A., İpekdağ, K., Sağlam, İ. K., Yücel, M. and Dalfes, H. N.** (2011). Turkey's globally important biodiversity in crisis, *Biological Conservation*, 144 (12), 2752-2769.
- Tağıl, Ş.** (2007). Balıkesir' de hava kirliliğinin solunum yolu hastalıklarının mekansal dağılışı üzerine etkisini anlamada jeo-istatistik teknikler, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 5 (1), 37-56.
- Taşkın, Ö. S., Aksu, A. and Balkıs, N.** (2011). Metal (Al, Fe, Mn and Cu) distributions and origins of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the surface sediments of the Marmara Sea and the coast of Istanbul, Turkey, *Marine Pollution Bulletin*, 62, 2568 - 2570.
- TC Çevre ve Orman Bakanlığı (TCCOB).** (2008). Hava kalitesi değerlendirme ve yönetimi yönetmeliği.
- TC Çevre ve Orman Bakanlığı (TCCOB).** (2009). Egzoz gazı emisyonu kontrolü yönetmeliği.

- Tiris, M. and Alper, E.** (1994). Past and projected carbon dioxide emissions due to energy utilization in Turkey. *Energy*, 19 (4), 499-500.
- Tiris, M., Ekinçi, E. and Okutan, H.** (1996). Modelling of SO₂ pollution changes with fuel shifting in Gebze, Turkey, *Energy*, 21 (5), 371-375.
- Tiris, M., Dilmac, S., Tiris, C. and Ekinçi, E.** (1997). Modelling of SO₂ pollution changes with improving thermal performance of buildings in Gebze, Turkey, *Energy*, 22 (5), 477-480.
- Toklu, E.** (2013). Overview of potential and utilization of renewable energy sources in Turkey, *Renewable Energy*, 50, 456-463.
- Trozzi, C., Vaccaro, R.** (1998). Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships, Techne Report, MEET Rf 98.
- Tunç, G. İ., Aşık, S. T. and Akbostancı, E.** (2009). A decomposition analysis of CO₂ emissions from energy use: Turkish case. *Energy Policy*, 37, 4689-4699.
- Tzannatos, E.** (2009). The cost and benefits of reducing SO₂ emissions from shipping in Greek seas, ICABE, 1-3 October 2009, Kavala, Greece.
- Tzannatos, E.** (2010, a). Cost assessment of ship emission reduction methods at berth: the case of the Port of Piraeus, Greece, *Maritime Policy and Management*, 37 (4), 427-445.
- Tzannatos, E.** (2010, b). Ship emissions and their externalities for the port of Piraeus-Greece, *Atmospheric Environment*, 44, 400-407.
- Unal, A., Hu, Y., Chang, M. E., Odman, M. T. and Russell A. G.** (2005). Airport related emissions and impacts on air quality: Application to the Atlanta International Airport. *Atmospheric Environment*, 39, 5787-5798.
- Unal, A., Davis, N., Lents, J., Mangir, N., Koyluoglu, S. and Pandis, M.** (2007). The Road Map For Clean Air: A Mobile Source Emissions Inventory for Istanbul. EMBARQ Interim Report.
- Unal, Y. S., Toros, H., Deniz, A., and Incecik, S.** (2011). Influence of meteorological factors and emission sources on spatial and temporal variations of PM₁₀ concentrations in Istanbul metropolitan area, *Atmospheric Environment*, 45 (31), 5504-5513.
- Url-1** <http://tr.wikipedia.org/wiki/Marmara_b%C3%B6lgesi> alındığı tarih 18.06.2010.
- Url-2** <http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?tb_id=39&ust_id=11> alındığı tarih 18.06.2010.
- Url-3** <http://www.istanbulcevor.gov.tr/sube_detay.asp?id=65&sube=16> alındığı tarih 18.06.2010.
- Url-4** <<http://www.seamanboard.com/forum/index.php?topic=47.0>> alındığı tarih 18.06.2010.
- Url-5** <<http://www.denizcilik.gov.tr/dm/istatistikler/GenelIstatistikler/>> alındığı tarih 18.06.2010.

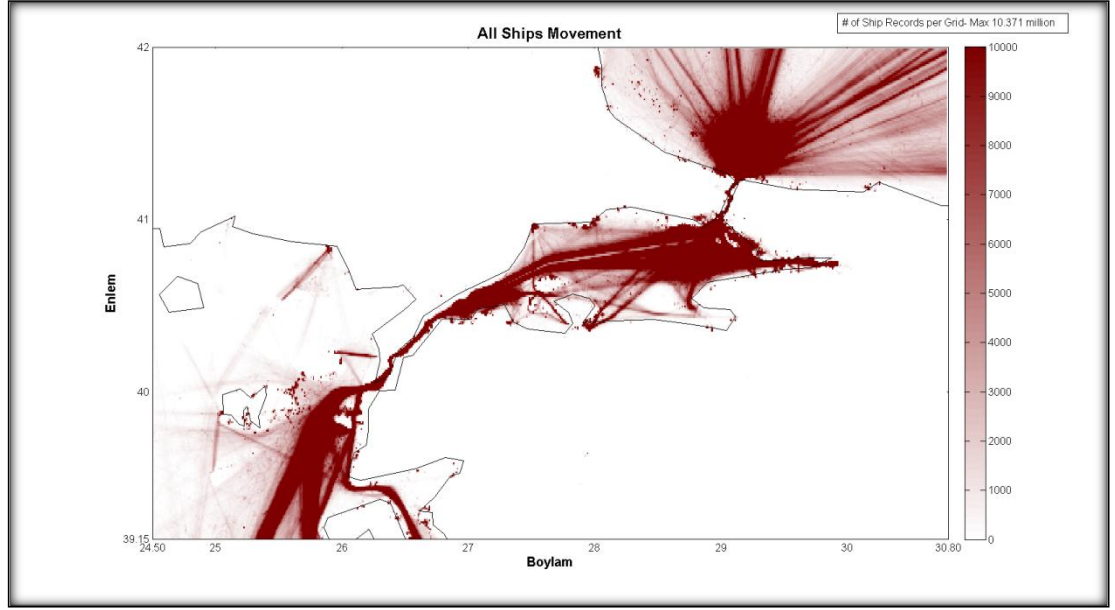
- Url-6** <http://www5.imo.org/SharePoint/mainframe.asp?topic_id=754> alındığı tarih 09.11.2010.
- Url-7** <<http://www.guardian.co.uk/environment/2009/apr/09/shipping-pollution>> alındığı tarih 13.11.2010.
- Url-8** <<http://www.imo.org>> alındığı tarih 13.11.2010.
- Url-9** <http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?http://www2.Mst.dk/udgiv/publikationer/2009/978-87-92548-771/html/bred_eng05.htm> alındığı tarih 17.05.2010.
- Url-10** <<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni>> 22.11.2010.
- Url-11** <<http://www.bankofgreece.gr/Pages/en/Statistics/prices.aspx>> alındığı tarih 16.10.2010.
- Url-12** <http://www.tuik.gov.tr/IcerikGetir.do?istab_id=146> alındığı tarih 25.11.2010.
- Url-13** <http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?tb_id=20&ust_id=6> alındığı tarih 25.11.2010.
- Url-14** <<http://tuikapp.tuik.gov.tr/adnksdagitapp/adnks.zul>> alındığı tarih 26.11.2010.
- Url-15** <<http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/SpecialAreasUnderMARPOL/Pages/Default.aspx>> alındığı tarih 11.12.2010.
- Url-16** <[http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-\(Sox\)---Regulation-14.aspx](http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-(Sox)---Regulation-14.aspx)> alındığı tarih 11.12.2010.
- Url-17** <[http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Nitrogen-oxides-\(Nox\)---Regulation-13.aspx](http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Nitrogen-oxides-(Nox)---Regulation-13.aspx)> alındığı tarih 11.12.2010.
- Url-18** <<http://www.externe.info/>> alındığı tarih 11.12.2010.
- Url-19** <<http://www.epa.gov/oar/airpollutants.html>> alındığı tarih 24.02.2011.
- Url-20** <<http://www.palgaz.com.tr/index.php?contentId=150>> alındığı tarih 16.03.2011.
- Url-21** <<http://www.havaizleme.gov.tr>> alındığı tarih 21.03.2011.
- Url-22** <<http://www.ito.org.tr>> alındığı tarih 24.03.2011.
- Url-23** <<http://www.emep.int>> alındığı tarih 24.03.2011.
- Url-24** <<http://www.egcsa.com/the-science-1.php>> alındığı tarih 31.03.2011.
- Url-25** <<http://www.wunderground.com/>> alındığı tarih 16.06.2011.
- Url-26** <<http://www.bsc.es/projects/earthscience/DREAM>> alındığı tarih 16.06.2011.
- Url-27** <<http://ready.arl.noaa.gov/hysplit-bin/trajtype.pl?runtype=archive>> alındığı tarih 16.06.2011.
- Url – 28** <<http://www.wrf-model.org/index.php>> alındığı tarih 16.02.2012.

- Url – 29** <<http://www.mmm.ucar.edu/wrf/OnLineTutorial/index.htm>> alındığı tarih 18.09.2012.
- Url - 30** <http://www.rshm.gov.tr/index.php?option=com_content&task=view&id=/173> alındığı tarih 18.09.2012.
- Url-31** < <http://www.marmore.com.tr> >.
- Ünlü, S. and Alpar, B.** (2006). Distribution and sources of hydrocarbons in surface sediments of Gemlik Bay (Marmara Sea, Turkey), *Chemosphere*, 64, 764 - 777.
- Vingarzan R.** (2004). A review of surface ozone background levels and trends. *Atmos Environ*, 38, 3431–3442.
- Volz, A. and Kley, D.** (1988). Evaluation of the Montsouris series of ozone measurements made in the nineteenth century. *Nature*, 332, 240–242.
- Vossiniotis, G. and Assimacopoulos, D.** (1999). The marginal environmental costs of transport in Greece, *Global Nest*, 1 (2), 77-89.
- Winebrake, J. J, Corbett, J. J, Green, E., H., Lauer, A. And Eyring, V.** (2009). Mitigating the health impacts of pollution from oceangoing shipping: an assessment of low-sulfur fuel mandates, *Environmental Science & Technology*, 43 (13), 4776-4782
- Wang, C., Corbett, C. C.** (2007). The costs and benefits of reducing SO₂ emissions from ships in the US West Coastal waters, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12 (8), 577-588.
- World Health Organization (WHO).** (2006). Air Quality Guidelines Global Update 2005, *World Health Organization*, ISBN 92 890 2192 6.
- World Health Organization (WHO).** (2008). Air quality and health, Fact Sheet No: 313.
- Yuksel, I.** (2012). Global warming and environmental benefits of hydroelectric for sustainable energy in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (6), 3816-3825.
- Zemmer, F., Karaca, F. and Ozkaragoz, F.** (2012). Ragweed pollen observed in Turkey: Detection of sources using back trajectory models. *Science of The Total Environment*, 430, Pages 101-108.

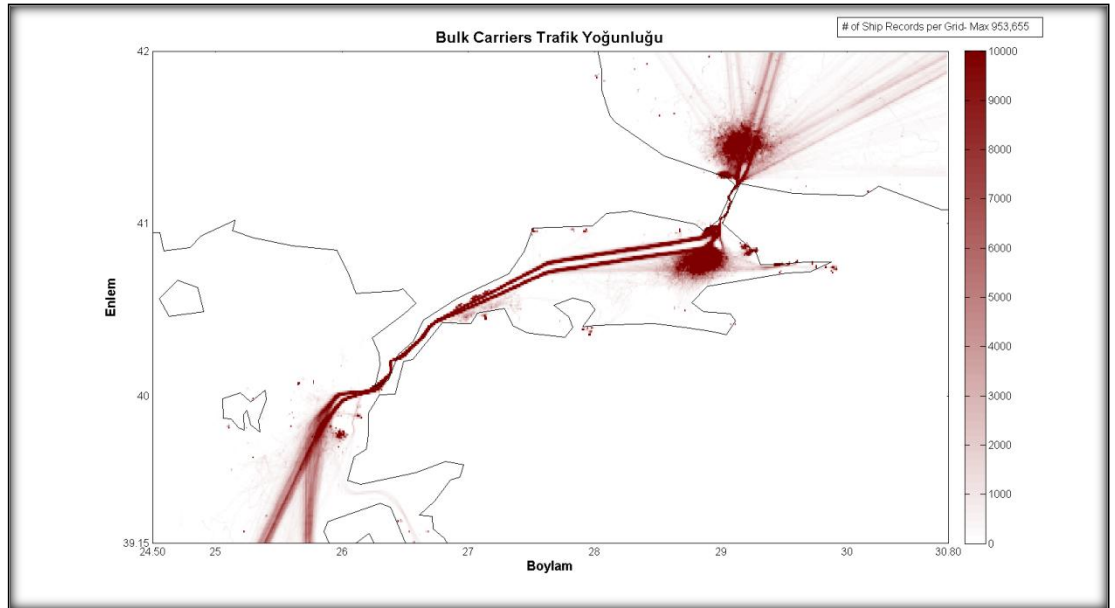
EKLER

Ek A: Gemi Emisyon Envanteri Sonuçları.

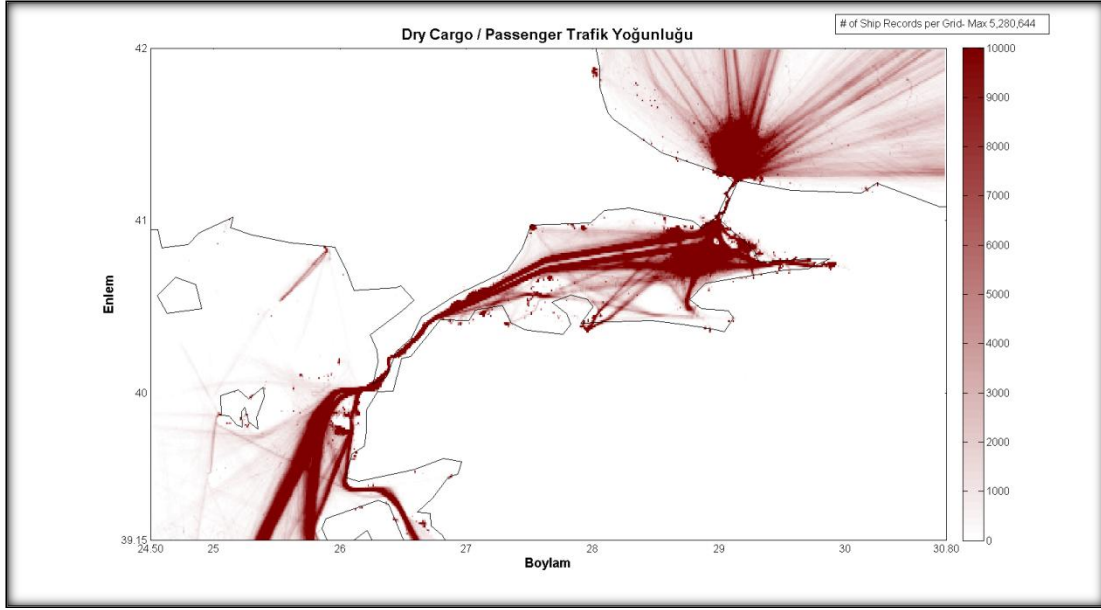
Ek A: Gemi Emisyon Envanteri Sonuçları.



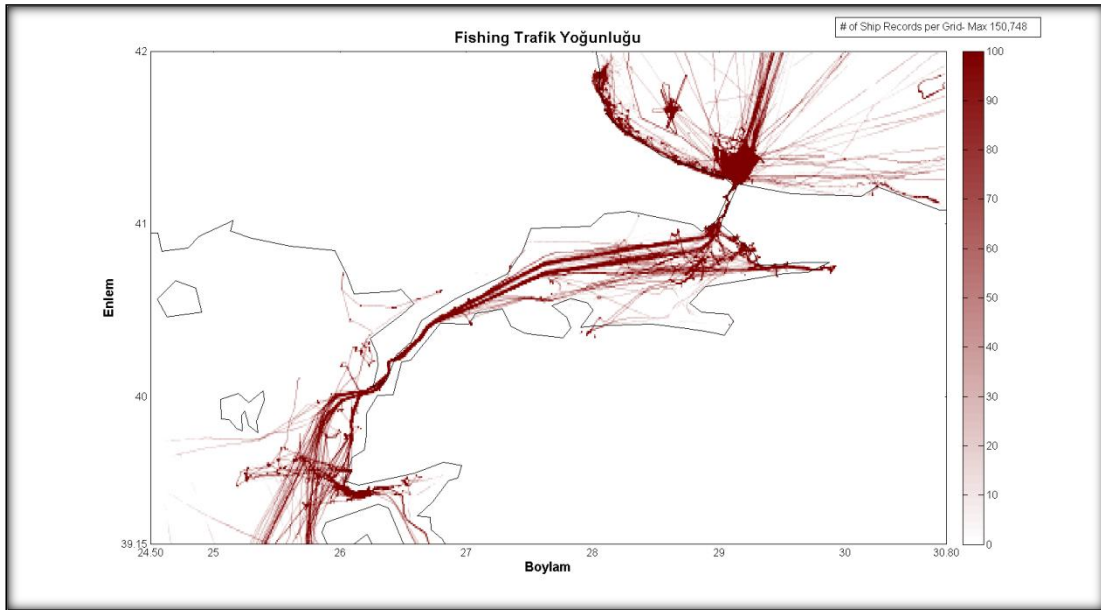
Şekil A.1 : Gemi trafik yoğunluğu – Tüm gemiler.



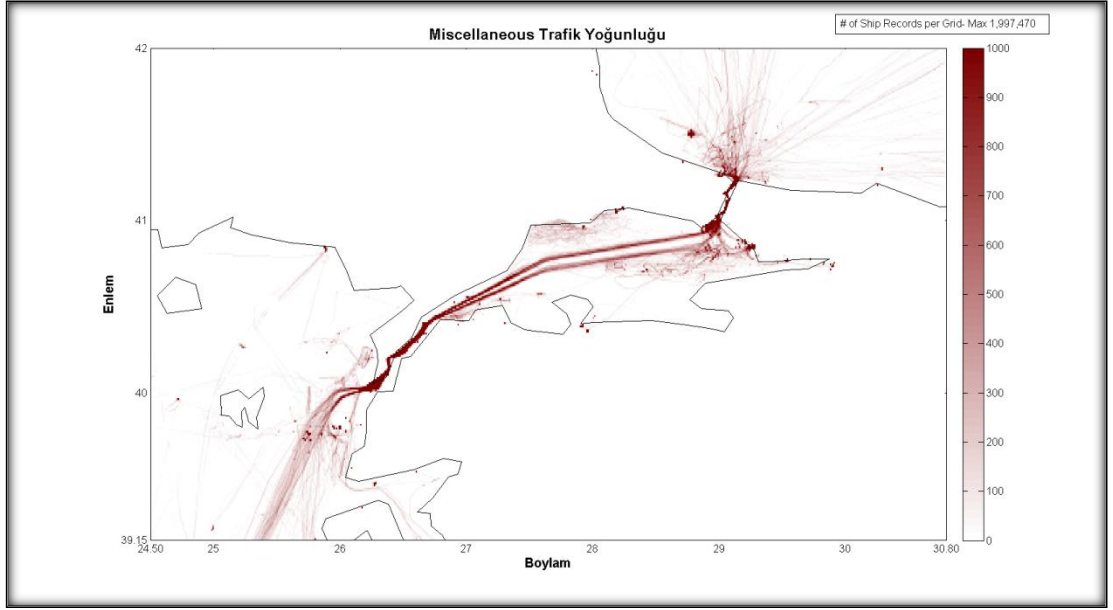
Şekil A.2 : Gemi trafik yoğunluğu – Bulk Carriers.



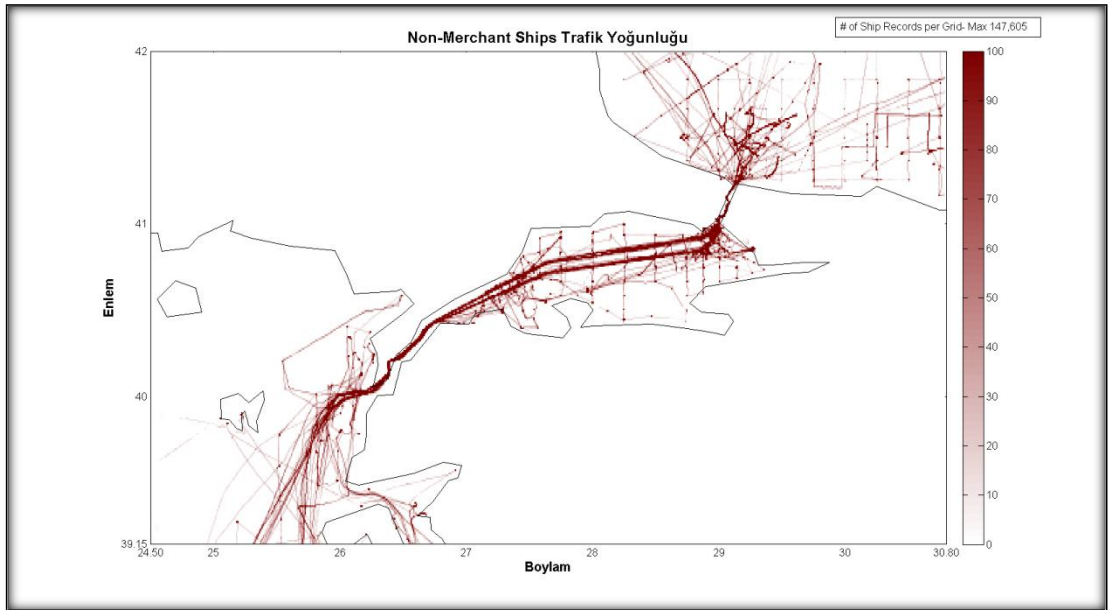
Şekil A.3 : Gemi trafik yoğunluğu – Dry Cargo / Passenger.



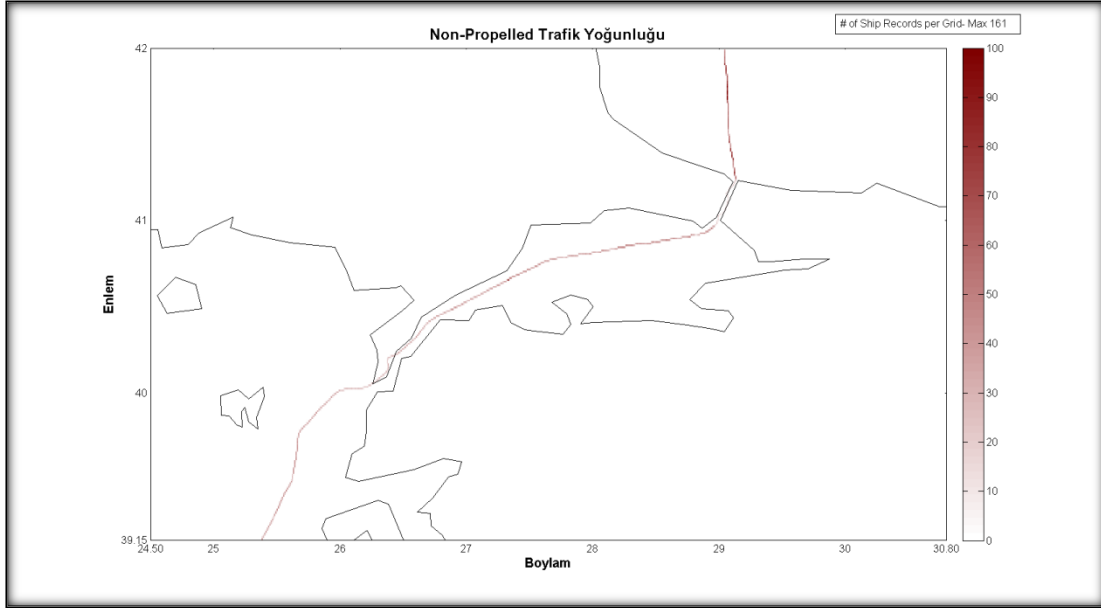
Şekil A.4 : Gemi trafik yoğunluğu– Fishing.



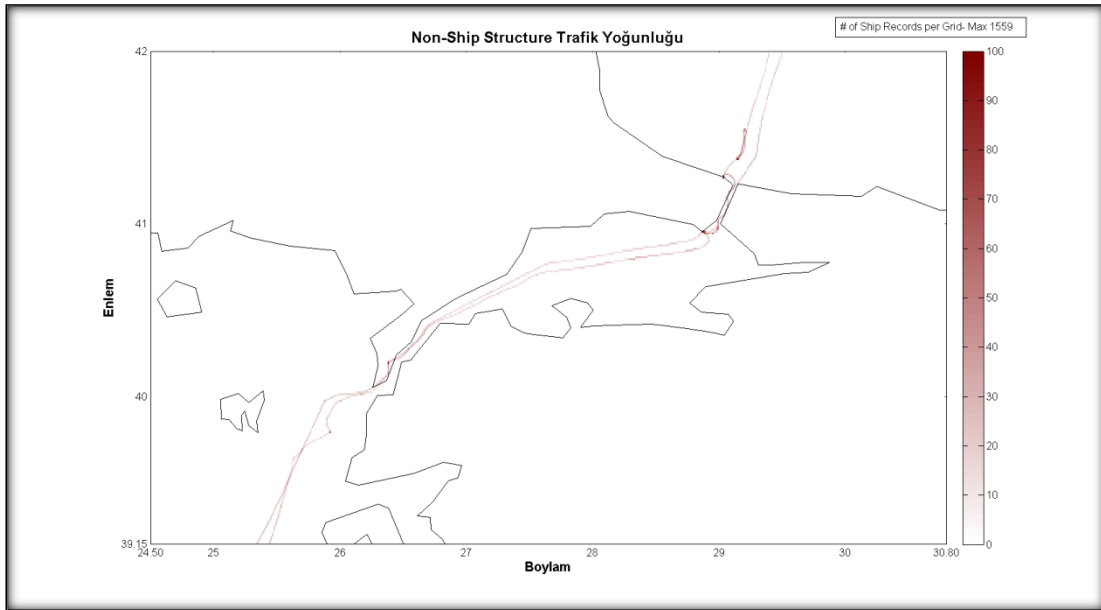
Şekil A.5 : Gemi trafik yoğunluğu– Miscellaneous.



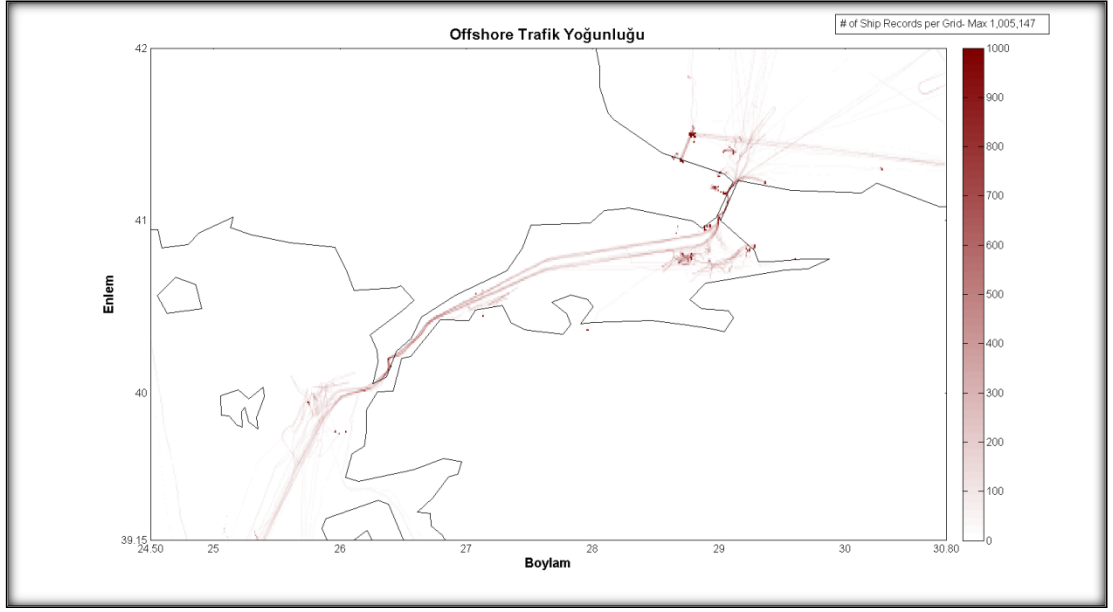
Şekil A.6 : Gemi trafik yoğunluğu – Non-Merchant Ships.



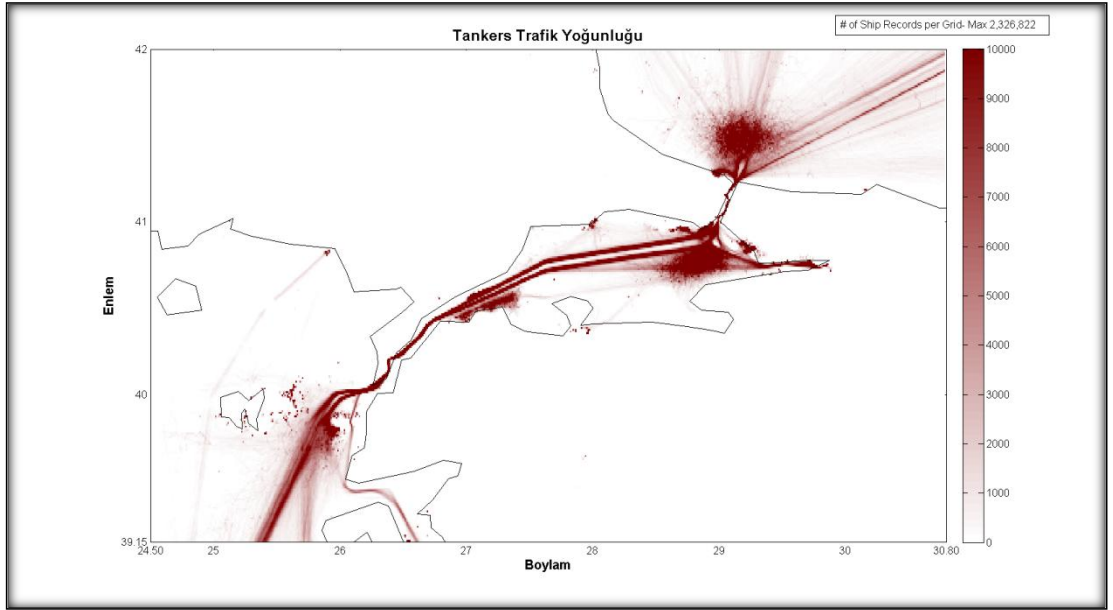
Şekil A.7 : Gemi trafik yoğunluğu – Non-Propelled Ships.



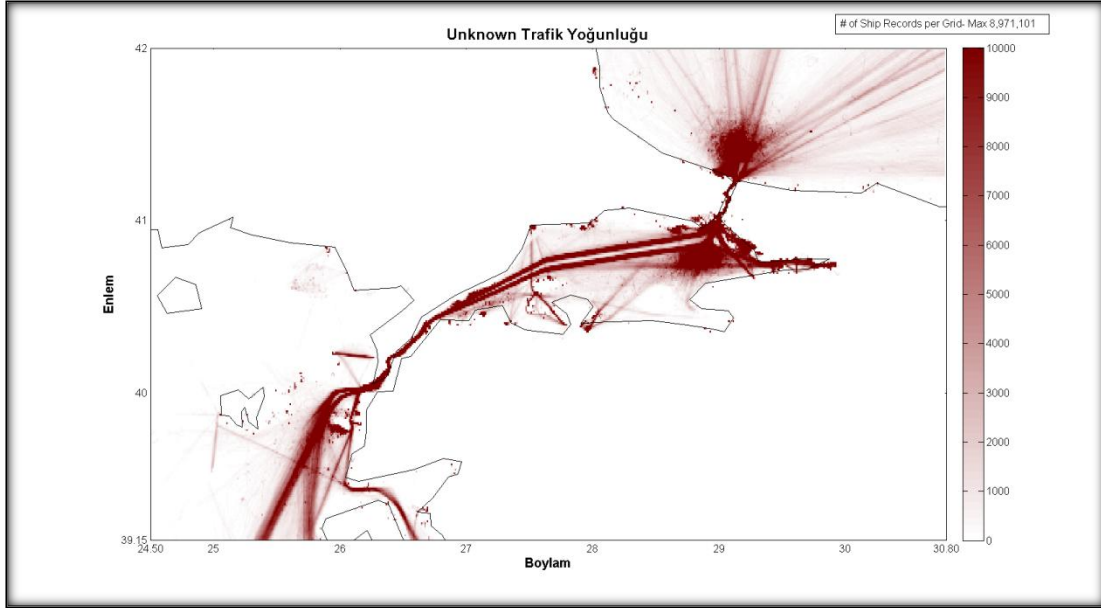
Şekil A.8 : Gemi trafik yoğunluğu – Non-Ship Structures.



Şekil A.9 : Gemi trafik yoğunluğu – Offshore.



Şekil A.10 : Gemi trafik yoğunluğu – Tankers.



Şekil A.11 : Gemi trafik yoğunluğu – Unknown.

Çizelge A.1 : Denizcilik faaliyetlerinin çevresel etkileri.

		Hava					Su		Toprak / Çökelti			Ekosistem		Diğer		
Aktivite / Etkiler		Yerel Hava Kirliliği	Gürültü	Titreşim	Koku	Küresel Hava Kirliliği	Su Kirliliği	Su bulanıklığı	Toprak / Çökelti Kirliliği	Asitlenme	Erozyon	Karasal Alan Tüketimi	Biyolojik Çeşitlilik Kaybı	Habitat Kaybı / Bozulması	İzdiham / Sıkışıklık	Atık Üretimi
Liman	Manevra															
	Yükleme / Boşaltma															
	Hotelling															
	Tarama															
	Karasal Trafik															
	Katı atıklar															
	Liman genişlemesi															
	Yakıt döküntüleri															
	Balast Suyu Boşaltımı															
	Siyah ve gri su atımı															
	Yük taşınımı															
	Endüstriyel Aktiviteler															
	Döküntüler															
Seyir	Seyir															
	Kanunsuz atımlar															
	Siyah ve gri su atımı															
	Döküntüler															
Gemi İnşaa	Tekne Boyaları															
	Metallerin yağdan arındırılması															
	Söküm															

Çizelge A.2 : AIS verileri.

id	Longitude	Latitude	grt	name	TimeDate	type
1	29.535758	40.765101		81ED309588144753FA7F4C3A413D3C9A	09.11.2008 15:07	
2	29.104033	41.200445		F2C34BA8D146E01689785E48CF7291	09.11.2008 15:07	
3	29.357108	40.749126		6F1DD398EF6F5F71A1A7BEBBC4D3DC11A	09.11.2008 15:07	
4	27.584003	40.856061		B0B44898BC16D8BBCD9AAE285EDF1C	09.11.2008 15:07	
5	29.004168	41.00984		ABEFC74BCA718579E652FD96CC6356D	09.11.2008 15:07	
6	29.433575	40.694051		C24BECA2099AAE1949FFDB2451764C	09.11.2008 15:07	
7	29.110363	41.206876		7064D1CE98FA9435E9E94A9F1F9756	09.11.2008 15:07	
8	29.09917	40.886678		702A43898B6D7678F7F7A556E8B15235	09.11.2008 15:07	
9	29.04163	41.063115		4E0D29026537E775B5B0B2BCDD6F5	09.11.2008 15:07	
10	28.996493	41.02508		48E88829E5B0A715EE3AB7C6DD180AB	09.11.2008 15:07	
11	36.18641	36.595386		74B67A3A4E135C925D1EBC6F8E5EF63	09.11.2008 15:07	
12	28.938638	40.985463		13885334A3CF91418E144976EDF8DE	09.11.2008 15:08	
13	28.938638	40.985463		13885334A3CF91418E144976EDF8DE	09.11.2008 15:08	
14	27.464738	40.579191	493	FD55E63EDDAE68AE5DA2E3398E78612	09.11.2008 15:08	Dry Cargo/Passenger
15	28.929561	40.96147		937054E94F8BCC3EC528DAB8645D8B3A	09.11.2008 15:08	
16	27.13511	38.437268		49B4ED02D3BD9272A5956D7563A722	09.11.2008 15:08	
17	29.053585	40.920105		D6B18537C84B01455295915C4AE8945	09.11.2008 15:08	
18	28.88827	40.967433		4CC762353F318D694C9A4F3BC9C3CA47	09.11.2008 15:08	
19	29.053585	40.920105		D6B18537C84B01455295915C4AE8945	09.11.2008 15:08	
20	31.980023	41.593073		75949A44436BE3F75E8CD3D47E6DE6BB	09.11.2008 15:08	

Çizelge A.3 : Makine güçleri tablosu (Lavender, 2006).

Ship Type	Service Speed Nm.h ⁻¹	Estimated Main Engine Power (kW)							Estimated Auxiliary Engine Power (kW)					
		<500	500-999	1000-4999	5000-9999	10000-49999	>50000	ALL	<500	500-999	1000-4999	5000-9999	10000-49999	>50000
Liquefied Gas	16	650	700	2250	5350	11600	15200	5900	75	100	125	300	400	1000
Chemical Tanker	15	1000	-	2000	5000	10250	-	5700	40	50	165	300	435	-
Other Tanker	14	600	950	2200	4300	9600	17200	7900	40	50	165	300	435	530
Bulk Dry Cargo	14	550	750	2700	5000	8800	17000	9100	20	40	175	300	380	500
General Cargo	14	550	950	1800	5500	8500		3300	20	40	175	300	380	-
Passenger / General Cargo	18	450	900	2850	6450	12600		4900	20	40	175	300	380	-
Container	20	1000	1750	2950	6000	17200	35000	16300	40	60	160	500	1400	1400
Refrigerated Cargo	20	900	900	3100	8850	10000		6700	40	140	180	455	580	-
Ro-Ro Cargo	18	1500	1900	4300	7200	11600	12550	7700	100	150	350	1000	2500	4000
Passenger / Ro-Ro	20	600		6500	12300	16650		12800	100	150	350	1000	2500	-
Passenger	20	550		3350	7800	16800	50000	14400	100	150	350	1000	2500	4000
Other Dry Cargo	15	900		2050	4450	17600		5900	20	40	175	300	380	500
Fish Catching	11	-	1050	2500	-	-	-	2200	-	80	200	-	-	-
Other Fishing	15	650	800	2300	5300	5400	-	2600	40	105	180	550	550	-
Offshore	14	1800	2150	3800	7450	11800	-	4000	40	60	150	350	450	-
Research	14	900	1300	3250	5300	8950	-	2900	40	60	150	400	400	-
Tug	11	3000	4050	6450	-	-	-	4400	40	60	150	-	-	-
Dredger	9	400	550	2400	7350	9250	-	4500	40	50	60	130	770	-
Cable	7	1100	-	3850	5950	13400	-	5300	80	-	200	300	-	-
Other Activities	-	500	900	3300	7650	8500	-	3700	40	60	150	300	500	-
Non-propelled	2	-	400	2750	-	-	-	2200	-	-	-	-	-	-
ALL		900	1200	2400	6200	9900	18700		50	80	200	450	900	1750

Çizelge A.4 : Emisyon sorgusunda kullanılan makine güçleri.

Ship Type	Estimated Main Engine Power (kW)						Estimated Auxiliary Engine Power (kW)					
	<500	500-999	1000-4999	5000-9999	10000-49999	>50000	<500	500-999	1000-4999	5000-9999	10000-49999	>50000
Bulk Carriers	550	750	2700	5000	8800	17000	20	40	175	300	380	500
Dry Cargo / Passenger	810	1181	3366	7516	13932	31471	56	96	241	615	1396	1914
Fishing	650	800	2300	5300	5400	0	40	105	180	550	550	0
Miscellaneous	500	900	3300	7650	8500	0	40	60	150	300	500	0
Non-merchant ships	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Non-propelled	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Non-ship structures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Offshore	1800	2150	3800	7450	11800	0	40	60	150	350	450	0
Tankers	751	1003	2160	4854	10376	15997	52	65	153	300	425	761
Unknown			6371						540			

Çizelge A.5 : Emisyon sorgusunda kullanılan emisyon faktörleri (g.kWh⁻¹) .

	Operasyon Modu	NO _x	SO ₂	CO ₂	HC	PM	SFC
Bulk Carriers	Cruising	17.70	10.60	627.00	0.59	1.61	197.00
	Manoeuvring	14.00	11.90	698.00	1.30	1.84	220.00
	Hotelling	13.50	12.20	718.00	0.50	1.00	226.00
Dry Cargo / Passenger	Cruising	14.92	11.20	672.08	0.50	1.15	211.25
	Manoeuvring	12.56	12.23	730.30	0.99	1.63	229.72
	Hotelling	13.30	12.30	723.22	0.50	0.90	227.41
Fishing	Cruising	13.30	12.20	721.00	0.45	1.31	227.00
	Manoeuvring	11.90	12.90	760.00	0.92	1.66	239.00
	Hotelling	13.20	12.40	727.00	0.50	0.90	229.00
Miscellaneous	Cruising	12.50	10.70	706.00	0.42	0.75	222.00
	Manoeuvring	11.20	11.50	755.00	0.96	1.69	237.00
	Hotelling	13.00	11.00	724.00	0.50	0.90	228.00
Offshore	Cruising	13.90	11.00	677.00	0.49	0.79	213.00
	Manoeuvring	12.00	12.00	734.00	1.07	1.75	231.00
	Hotelling	13.20	11.80	723.00	0.50	0.90	227.00
Tankers	Cruising	14.00	11.51	698.65	0.47	1.27	221.32
	Manoeuvring	12.19	12.40	744.58	0.94	1.61	235.59
	Hotelling	12.26	12.35	745.78	0.89	1.53	233.96
Unknown	Cruising	14.49	11.20	677.52	0.48	1.10	213.08
	Manoeuvring	12.38	12.24	734.06	0.99	1.69	230.82
	Hotelling	13.11	12.23	726.80	0.56	1.02	228.56

Çizelge A.6 : Toplam emisyonların diğer çalışmalarla karşılaştırması (kton).

	NO _x	SO ₂	CO ₂	HC	PM	FC	Veri Yılı	Kaynak
Marmara Denizi ve Türk Boğazları	414	340	20,338	18	36	6,401	2008-2009	Bu çalışma
Akdeniz	1,147	863	64,836	-	98	20,426	2005	Entec
Baltık Denizi	370						2006-2007	Stipa, 2007
Danimarka karasuları	170	65	-	-	5.8*		2007	Olesen, 2007

Çizelge A.7 : Bölge Noktaları.

	Nokta	Enlem			Boylam			enlem	boylam	x	y
		d°	d'	s''	d°	d'	s''				
Ambarlı	A1	40	52	30	28	37	30	40.875000	28.625000	413	173
	A2	40	52	30	28	45	0	40.875000	28.750000	425	173
	A3	41	0	0	28	45	0	41.000000	28.750000	425	185
Bandırma	B1	40	28	42	28	2	6	40.478333	28.035000	354	133
	B2	40	23	12	27	53	42	40.386667	27.895000	340	124
	B3	40	22	12	28	2	6	40.370000	28.035000	354	122
Biga İçdaş	Biga1	40	27	54	27	6	0	40.465000	27.100000	260	132
	Biga2	40	25	48	27	10	48	40.430000	27.180000	268	128
Erdek	E1	40	30	0	27	40	48	40.500000	27.680000	318	135
	E2	40	17	24	27	53	24	40.290000	27.890000	339	114
Gemlik Körfezi	GEM1	40	31	36	28	46	48	40.526667	28.780000	428	138
	GEM2	40	23	36	28	46	48	40.393333	28.780000	428	124
	GEM3	40	25	24	29	9	18	40.423333	29.155000	466	127
İzmit Körfezi	İK1	40	50	0	29	18	30	40.833333	29.308333	481	168
	İK2	40	39	0	29	18	30	40.650000	29.308333	481	150
	İK3	40	44	0	30	0	0	40.733333	30.000000	550	158
Karabiga	KB1	40	28	48	27	17	6	40.480000	27.285000	279	133
	KB2	40	21	0	27	21	36	40.350000	27.360000	286	120
Kartal	KT1	40	58	48	29	3	36	40.980000	29.060000	456	183
	KT2	40	46	12	29	18	30	40.770000	29.308333	481	162
Marmara Ereğlisi Botaş	MEB1	40	54	36	27	51	36	40.910000	27.860000	336	176
	MEB2	41	4	12	28	5	24	41.070000	28.090000	359	192
Tekirdağ	T1	40	56	18	27	29	12	40.938333	27.486667	299	179
	T2	40	56	18	27	32	30	40.938333	27.541667	304	179
	T3	40	58	36	27	32	30	40.976667	27.541667	304	183

Çizelge A.8 : Bulk carrier gemilerinin ana bölge emisyon toplamaları.

	NO _x	SO ₂	CO ₂	HC	PM	FC
Karadeniz	12,721	8,645	510,065	545	1,205	160,409
İstanbul Boğazı	2,390	1,539	90,875	100	230	28,572
Marmara	35,179	22,898	1,351,930	1,452	3,346	425,062
Ambarlı	615	417	24,615	29	61	7,742
Bandırma	37	27	1,579	1	3	497
Gemlik Körfezi	59	47	2,778	3	5	874
İzmit Körfezi	1,529	1,200	70,608	94	162	22,230
Tekirdağ	26	23	1,342	1	2	423
Marmara Transit	32,913	21,184	1,251,008	1,323	3,112	393,296
Çanakkale Boğazı	7,020	4,326	255,712	251	647	80,362
Ege	12,982	8,152	481,774	466	1,187	151,421
Finished_1_Bulk_Carriers	70,296	45,562	2,690,466	2,814	6,615	845,860

Çizelge A.9 : Dry Cargo / Passenger gemilerinin ana bölge emisyon toplamaları.

	NO _x	SO ₂	CO ₂	HC	PM	FC
Karadeniz	40,025	33,546	1,999,897	1,750	3,424	628,785
İstanbul Boğazı	9,935	8,256	492,795	438	863	154,938
Marmara	135,326	111,282	6,646,277	5,840	11,648	2,089,576
Ambarlı	9,589	8,246	490,999	447	845	154,384
Bandırma	192	156	9,303	7	15	2,925
Gemlik Körfezi	1,553	1,341	79,880	74	139	25,117
İzmit Körfezi	8,245	7,120	423,785	386	726	133,251
Tekirdağ	390	356	21,132	20	36	6,645
Marmara Transit	115,358	94,061	5,621,178	4,906	9,886	1,767,254
Çanakkale Boğazı	23,187	18,111	1,084,672	879	1,886	340,974
Ege	47,258	37,679	2,252,342	1,827	3,833	708,069
Finished_1_Bulk_Carriers	255,762	208,898	12,477,428	10,735	21,656	3,922,797

Çizelge A.10 : Fishing gemilerinin ana bölge emisyon toplamaları.

	NO _x	SO ₂	CO ₂	HC	PM	FC
Karadeniz	31	30	1,745	1	3	549
İstanbul Boğazı	13	13	742	1	1	234
Marmara	51	48	2,851	2	5	898
Ambarlı	0	0	23	0	0	7
Bandırma	0	0	3	0	0	1
Gemlik Körfezi	0	0	12	0	0	4
İzmit Körfezi	2	2	124	0	0	39
Tekirdağ	0	0	0	0	0	0
Marmara Transit	48	46	2,689	2	4	847
Çanakkale Boğazı	4	4	209	0	0	66
Ege	15	14	820	1	1	258
Finished_1_Bulk_Carriers	115	108	6,389	5	11	2,012

Çizelge A.11 : Miscellaneous gemilerinin ana bölge emisyon toplamaları.

	NO _x	SO ₂	CO ₂	HC	PM	FC
Karadeniz	88	78	5,116	4	7	1,608
İstanbul Boğazı	92	80	5,245	4	6	1,650
Marmara	168	148	9,748	7	13	3,065
Ambarlı	1	0	31	0	0	10
Bandırma	1	1	42	0	0	13
Gemlik Körfezi	0	0	0	0	0	0
İzmit Körfezi	11	9	617	0	1	194
Tekirdağ	0	0	8	0	0	3
Marmara Transit	156	137	9,050	7	12	2,846
Çanakkale Boğazı	86	75	4,939	4	6	1,554
Ege	65	57	3,771	3	5	1,185
Finished_1_Bulk_Carriers	500	437	28,818	21	37	9,063

Çizelge A.12 : Offshore gemilerinin ana bölge emisyon toplamaları.

	NO _x	SO ₂	CO ₂	HC	PM	FC
Karadeniz	79	69	4,245	4	6	1,334
İstanbul Boğazı	67	60	3,687	3	6	1,159
Marmara	93	79	4,875	4	7	1,533
Ambarlı	1	1	34	0	0	11
Bandırma	2	2	95	0	0	30
Gemlik Körfezi	0	0	0	0	0	0
İzmit Körfezi	0	0	11	0	0	3
Tekirdağ	0	0	0	0	0	0
Marmara Transit	90	77	4,735	4	7	1,489
Çanakkale Boğazı	7	5	328	0	0	103
Ege	17	14	858	1	1	270
Finished_1_Bulk_Carriers	262	228	13,986	12	20	4,397

Çizelge A.13 : Tanker gemilerinin ana bölge emisyon toplamaları.

	NO _x	SO ₂	CO ₂	HC	PM	FC
Karadeniz	17,922	15,964	965,710	869	1,871	305,296
İstanbul Boğazı	2,463	2,151	130,152	110	249	41,195
Marmara	43,820	38,351	2,321,079	1,982	4,450	734,428
Ambarlı	1,057	992	59,891	62	120	18,906
Bandırma	21	20	1,195	1	2	377
Gemlik Körfezi	19	18	1,098	1	2	347
İzmit Körfezi	2,353	2,180	131,655	132	262	41,576
Tekirdağ	4	4	231	0	0	73
Marmara Transit	40,366	35,138	2,127,009	1,785	4,062	673,149
Çanakkale Boğazı	7,464	6,537	395,488	340	761	125,206
Ege	16,683	14,572	882,088	747	1,687	279,065
Finished_1_Bulk_Carriers	88,359	77,581	4,694,915	4,049	9,019	1,485,316

Çizelge A.14 : Unknown gemilerinin ana bölge emisyon toplamaları.

	NO _x	SO ₂	CO ₂	HC	PM	FC
Karadeniz	21,172	17,947	1,078,658	912	1,825	339,219
İstanbul Boğazı	37,073	32,277	1,932,751	1,558	3,050	607,813
Marmara	93,624	80,106	4,808,037	3,988	7,923	1,512,041
Ambarlı	4,422	3,927	235,109	207	393	73,936
Bandırma	567	494	29,539	23	45	9,290
Gemlik Körfezi	359	322	19,273	17	32	6,061
İzmit Körfezi	16,232	14,253	853,252	708	1,369	268,330
Tekirdağ	196	181	10,802	10	17	3,397
Marmara Transit	71,849	60,929	3,660,062	3,024	6,066	1,151,028
Çanakkale Boğazı	15,872	13,227	795,329	630	1,296	250,121
Ege	22,321	18,448	1,110,539	893	1,849	349,250
Finished_1_Bulk_Carriers	189,913	161,867	9,717,112	7,975	15,931	3,055,864

Çizelge A.15 : Tüm gemilerinin ana bölge emisyon toplamaları (ton).

	NO _x	SO ₂	CO ₂	HC	PM	FC
Karadeniz	92,039	76,278	4,565,435	4,085	8,341	1,437,201
İstanbul Boğazı	52,033	44,375	2,656,247	2,214	4,405	835,560
Marmara	308,262	252,913	15,144,797	13,276	27,391	4,766,603
Ambarlı	15,684	13,584	810,701	745	1,420	254,996
Bandırma	819	698	41,756	33	66	13,132
Biga	1,090	960	57,098	55	101	17,959
Erdek	646	568	33,993	27	53	10,693
Gemlik Körfezi	1,991	1,729	103,040	95	179	32,402
İzmit Körfezi	28,372	24,765	1,480,051	1,321	2,520	465,624
Karabiga	251	218	13,018	10	20	4,094
Kartal	23,075	20,612	1,227,714	1,008	1,901	386,098
Marmara Ereğli	1,579	1,395	83,405	77	147	26,261
Tekirdağ	616	564	33,516	31	56	10,540
Marmara Transit	234,139	187,820	11,260,504	9,874	20,928	3,544,805
Çanakkale Boğazı	53,640	42,285	2,536,676	2,103	4,597	798,385
Ege	99,342	78,936	4,732,192	3,937	8,563	1,489,519
Tüm Bölgeler	605,206	494,681	29,629,115	25,611	53,290	9,325,309

Çizelge A.16 : NO_x emisyonunun gemi türü ve ana bölgelere göre toplamı.

	Bulk Carriers	Dry Cargo / Passenger	Fishing	Miscellaneous	Offshore	Tankers	Unknown	Toplam
Karadeniz	12,721	40,025	31	88	79	17,922	21,172	92,039
İstanbul Boğazı	2,390	9,935	13	92	67	2,463	37,073	52,033
Marmara	35,179	135,326	51	168	93	43,820	93,624	308,262
Ambarlı	615	9,589	0	1	1	1,057	4,422	15,684
Bandırma	37	192	0	1	2	21	567	819
Gemlik Körfezi	59	1,553	0	0	0	19	359	1,991
İzmit Körfezi	1,529	8,245	2	11	0	2,353	16,232	28,372
Tekirdağ	26	390	0	0	0	4	196	616
Marmara Transit	32,913	115,358	48	156	90	40,366	71,849	260,780
Çanakkale Boğazı	7,020	23,187	4	86	7	7,464	15,872	53,640
Ege	12,982	47,258	15	65	17	16,683	22,321	99,342
Toplam	70,296	255,762	115	500	262	88,359	189,913	605,206

Çizelge A.17 : NO_x emisyonunun bölgelere dağılımı.

	Bulk Carriers	Dry Cargo / Passenger	Fishing	Miscellaneous	Offshore	Tankers	Unknown	Toplam
Karadeniz	2.10	6.61	0.01	0.01	0.01	2.96	3.50	15.21
İstanbul Boğazı	0.39	1.64	0.00	0.02	0.01	0.41	6.13	8.60
Marmara	5.81	22.36	0.01	0.03	0.02	7.24	15.47	50.94
Ambarlı	0.10	1.58	0.00	0.00	0.00	0.17	0.73	2.59
Bandırma	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.14
Gemlik Körfezi	0.01	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.33
İzmit Körfezi	0.25	1.36	0.00	0.00	0.00	0.39	2.68	4.69
Tekirdağ	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.10
Marmara Transit	5.44	19.06	0.01	0.03	0.01	6.67	11.87	43.09
Çanakkale Boğazı	1.16	3.83	0.00	0.01	0.00	1.23	2.62	8.86
Ege	2.15	7.81	0.00	0.01	0.00	2.76	3.69	16.41
Toplam	11.62	42.26	0.02	0.08	0.04	14.60	31.38	100.00

Çizelge A.18 : SO₂ emisyonunun gemi türü ve ana bölgelere göre toplamı.

	Bulk Carriers	Dry Cargo / Passenger	Fishing	Miscellaneous	Offshore	Tankers	Unknown	Toplam
Karadeniz	8,645	33,546	30	78	69	15,964	17,947	76,278
İstanbul Boğazı	1,539	8,256	13	80	60	2,151	32,277	44,375
Marmara	22,898	111,282	48	148	79	38,351	80,106	252,913
Ambarlı	417	8,246	0	0	1	992	3,927	13,584
Bandırma	27	156	0	1	2	20	494	698
Gemlik Körfezi	47	1,341	0	0	0	18	322	1,729
İzmit Körfezi	1,200	7,120	2	9	0	2,180	14,253	24,765
Tekirdağ	23	356	0	0	0	4	181	564
Marmara Transit	21,184	94,061	46	137	77	35,138	60,929	211,572
Çanakkale Boğazı	4,326	18,111	4	75	5	6,537	13,227	42,285
Ege	8,152	37,679	14	57	14	14,572	18,448	78,936
Toplam	45,562	208,898	108	437	228	77,581	161,867	494,681

Çizelge A.19 : CO₂ emisyonunun gemi türü ve ana bölgelere göre toplamı.

	Bulk Carriers	Dry Cargo / Passenger	Fishing	Miscellaneous	Offshore	Tankers	Unknown	Toplam
Karadeniz	510,065	1,999,897	1,745	5,116	4,245	965,710	1,078,658	4,565,435
İstanbul Boğazı	90,875	492,795	742	5,245	3,687	130,152	1,932,751	2,656,247
Marmara	1,351,930	6,646,277	2,851	9,748	4,875	2,321,079	4,808,037	15,144,797
Ambarlı	24,615	490,999	23	31	34	59,891	235,109	810,701
Bandırma	1,579	9,303	3	42	95	1,195	29,539	41,756
Gemlik Körfezi	2,778	79,880	12	0	0	1,098	19,273	103,040
İzmit Körfezi	70,608	423,785	124	617	11	131,655	853,252	1,480,051
Tekirdağ	1,342	21,132	0	8	0	231	10,802	33,516
Marmara Transit	1,251,008	5,621,178	2,689	9,050	4,735	2,127,009	3,660,062	12,675,732
Çanakkale Boğazı	255,712	1,084,672	209	4,939	328	395,488	795,329	2,536,676
Ege	481,774	2,252,342	820	3,771	858	882,088	1,110,539	4,732,192
Toplam	2,690,466	12,477,428	6,389	28,818	13,986	4,694,915	9,717,112	29,629,115

Çizelge A.20 : HC emisyonunun gemi türü ve ana bölgelere göre toplamı.

	Bulk Carriers	Dry Cargo / Passenger	Fishing	Miscellaneous	Offshore	Tankers	Unknown	Toplam
Karadeniz	545	1,750	1	4	4	869	912	4,085
İstanbul Boğazı	100	438	1	4	3	110	1,558	2,214
Marmara	1,452	5,840	2	7	4	1,982	3,988	13,276
Ambarlı	29	447	0	0	0	62	207	745
Bandırma	1	7	0	0	0	1	23	33
Gemlik Körfezi	3	74	0	0	0	1	17	95
İzmit Körfezi	94	386	0	0	0	132	708	1,321
Tekirdağ	1	20	0	0	0	0	10	31
Marmara Transit	1,323	4,906	2	7	4	1,785	3,024	11,050
Çanakkale Boğazı	251	879	0	4	0	340	630	2,103
Ege	466	1,827	1	3	1	747	893	3,937
Toplam	2,814	10,735	5	21	12	4,049	7,975	25,611

Çizelge A.21 : PM emisyonunun gemi türü ve ana bölgelere göre toplamı.

	Bulk Carriers	Dry Cargo / Passenger	Fishing	Miscellaneous	Offshore	Tankers	Unknown	Toplam
Karadeniz	1,205	3,424	3	7	6	1,871	1,825	8,341
İstanbul Boğazı	230	863	1	6	6	249	3,050	4,405
Marmara	3,346	11,648	5	13	7	4,450	7,923	27,391
Ambarlı	61	845	0	0	0	120	393	1,420
Bandırma	3	15	0	0	0	2	45	66
Gemlik Körfezi	5	139	0	0	0	2	32	179
İzmit Körfezi	162	726	0	1	0	262	1,369	2,520
Tekirdağ	2	36	0	0	0	0	17	56
Marmara Transit	3,112	9,886	4	12	7	4,062	6,066	23,150
Çanakkale Boğazı	647	1,886	0	6	0	761	1,296	4,597
Ege	1,187	3,833	1	5	1	1,687	1,849	8,563
Toplam	6,615	21,656	11	37	20	9,019	15,931	53,290

Çizelge A.22 : FC gemi türü ve ana bölgelere göre toplamı.

	Bulk Carriers	Dry Cargo / Passenger	Fishing	Miscellaneous	Offshore	Tankers	Unknown	Toplam
Karadeniz	160,409	628,785	549	1,608	1,334	305,296	339,219	1,437,201
İstanbul Boğazı	28,572	154,938	234	1,650	1,159	41,195	607,813	835,560
Marmara	425,062	2,089,576	898	3,065	1,533	734,428	1,512,041	4,766,603
Ambarlı	7,742	154,384	7	10	11	18,906	73,936	254,996
Bandırma	497	2,925	1	13	30	377	9,290	13,132
Gemlik Körfezi	874	25,117	4	0	0	347	6,061	32,402
İzmit Körfezi	22,230	133,251	39	194	3	41,576	268,330	465,624
Tekirdağ	423	6,645	0	3	0	73	3,397	10,540
Marmara Transit	393,296	1,767,254	847	2,846	1,489	673,149	1,151,028	3,989,909
Çanakkale Boğazı	80,362	340,974	66	1,554	103	125,206	250,121	798,385
Ege	151,421	708,069	258	1,185	270	279,065	349,250	1,489,519
Finished_1_Bulk_Carriers	845,860	3,922,797	2,012	9,063	4,397	1,485,316	3,055,864	9,325,309

Çizelge A.23 : Emisyonların EEDI yöntemi ile doğrulanması.

		# of unique ships	Ortalama GRT	DWT/GRT	Ortalama DWT	a	c	Referans Değeri (gr CO2 / tonmil)		
Bulk Carrier	Karadeniz	974	25,989	1.70	44,181	961.79	0.477	5.85		
	Istanbul Bogazi	959	26,007	1.70	44,212	961.79	0.477	5.85		
	Marmara Denizi	1,037	26,102	1.70	44,373	961.79	0.477	5.84		
	Çanakkale Boğazı	1,032	25,995	1.70	44,192	961.79	0.477	5.85		
	Ege Denizi	1,064	25,734	1.70	43,748	961.79	0.477	5.88		
Tankers	Karadeniz	592	25,539	1.75	44,693	1218.8	0.488	6.56		
	Istanbul Bogazi	600	25,067	1.75	43,867	1218.8	0.488	6.62		
	Marmara Denizi	723	25,445	1.75	44,529	1218.8	0.488	6.57		
	Çanakkale Boğazı	696	26,050	1.75	45,588	1218.8	0.488	6.49		
	Ege Denizi	732	25,290	1.75	44,258	1218.8	0.488	6.59		
		CO2 (milyar-gr) (Seyir) (%80) Yuk	CO2 (milyar-gr) (Seyir) (%75 Yuk)	CO2(milyar-gr) (Seyir-%75 Yuk) (%90)	Ton-mil % Seyir	Toplam milyar GRT-mil	Seyir milyar GRT-mil	Seyir milyar DWT-mil	CO2 (gr) / DWT-mil	% Hata
Bulk Carrier	Karadeniz	320	300	270	87	20	18	30	9.01	54
	Istanbul Bogazi	72	68	61	100	3	3	6	10.95	87
	Marmara Denizi	759	712	641	86	55	47	80	7.96	36
	Çanakkale Boğazı	228	214	193	100	11	11	19	10.26	75
	Ege Denizi	402	377	340	98	24	23	39	8.69	48
Tankers	Karadeniz	574	538	484	89	42	38	66	7.34	12
	Istanbul Bogazi	91	86	77	99	5	5	9	9.05	37
	Marmara Denizi	1,169	1,096	986	88	88	78	136	7.26	11
	Çanakkale Boğazı	262	246	221	100	14	14	24	9.16	41
	Ege Denizi	598	560	504	94	37	35	61	8.29	26

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Alper KILIÇ

Lisans Üniversite: İTÜ Denizcilik Fakültesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü.

Yayın Listesi:

- Halil Saraçoğlu, Cengiz Deniz, and **Alper Kılıç**. (2013). An Investigation on the Effects of Ship Sourced Emissions in Izmir Port, Turkey. *The Scientific World Journal*, vol. 2013, Article ID 218324, 8 pages, 2013. doi:10.1155/2013/218324.
- **Kilic, A.** and Deniz, C. (2010). Inventory of Shipping Emissions in Izmit Gulf, Turkey, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 29 (2), 221 – 232.
- Deniz, C. and **Kilic, A.** (2010). Estimation and Assessment of Shipping Emissions in the Region of Ambarlı Port, Turkey. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 29 (1), 107 – 115.
- Deniz, C., **Kilic, A.** and Civkaroglu, G. (2010). Estimation of Shipping Emissions in Candarli Gulf, Turkey, *Environmental Monitoring & Assessment*, 171, 219 – 228.

