



İZMİR KÖRFEZİNDE DENİZ TAŞITLARINDAN KAYNAKLANAN HAVA KALİTESİNİN AERMOD DAĞILIM MODELİ İLE BELİRLENMESİ

GÖKDENİZ ALKIŞ

Danışman: Prof. Dr. Tolga ELBİR

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü



ÖZET

Bu çalışmada, İzmir Körfezi'ndeki uluslararası ticaret gemileri ile İZDENİZ'e ait vapur ve feribotlardan kaynaklanan NO_x , $PM_{2,5}$ ve CO emisyonları incelenmiştir. Gemi ve vapur/feribotların seyir, manevra ve limanda bekleme gibi farklı operasyonel modları için emisyon envanterleri, EMEP/EEA seviye 3 metodolojisi kullanılarak oluşturulmuştur. Hesaplanan bu emisyonların atmosferik dağılımı, yerel topoğrafik veriler ve 2024 yılı meteorolojik bilgileriyle bütünleştirilerek Amerikan Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından geliştirilen AERMOD atmosferik dağılım modeli ile simüle edilmiştir. AERMOD modelinden elde edilen sonuçlar, ArcGIS yazılımı kullanılarak mekânsal dağılım haritalarına dönüştürülmüştür. Çalışma, denizcilik faaliyetlerinin İzmir'in hava kalitesi üzerindeki etkilerini mekansal olarak değerlendirmeyi, kirliliğin yoğunlaştığı kritik bölgeleri belirlemeyi ve yerel yönetimler için bilimsel bir veri altyapısı sunmayı amaçlamaktadır.

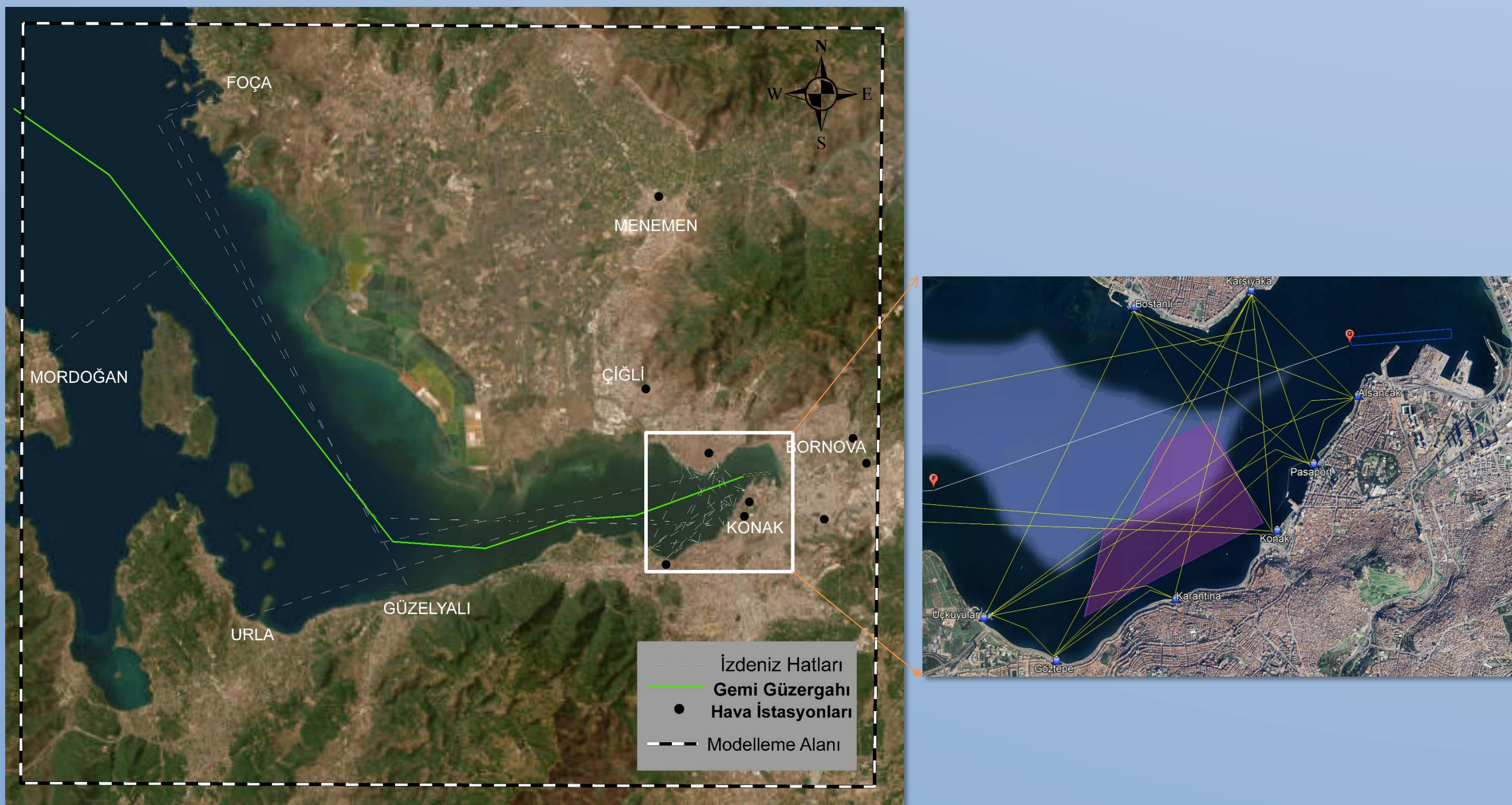
GİRİŞ

Deniz yolu taşımacılığı, küresel ticaretin yaklaşık %80'ini oluşturarak dünya ekonomisinde merkezi bir rol oynamaktadır. Diğer ulaşım modlarına göre birim yük başına daha verimli ve çevreci olmasına rağmen, artan gemi trafiği ve fosil yakıt kullanımı, özellikle liman kentlerinde ciddi hava kirliliği sorunlarına yol açmaktadır. Gemi bacalarından salınan NO_x , SO_x , PM, CO ve VOC gibi kirlleticiler, asit yağmurları, fotokimyasal duman oluşumu gibi çevresel sorunlara neden olmakla birlikte, insan sağlığı üzerinde de astım, kardiyovasküler hastalıklar ve erken ölüm gibi ciddi riskler oluşturmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin en önemli limanlarından olan İzmir Limanı ve yoğun şehir içi deniz trafiğine sahip İzmir Körfezi'ndeki deniz taşıtlarından kaynaklanan NO_x , $PM_{2,5}$ ve CO emisyonlarını hesaplamak ve AERMOD atmosferik dağılım modeli ile bu emisyonların bölge hava kalitesine etkilerini ayrıntılı olarak analiz etmektir.

MATERYAL VE METOT

Çalışma Alanı

Çalışma, Ege Denizi'nin önemli bir iç denizi olan ve yoğun deniz trafiğine ev sahipliği yapan İzmir Körfezi'ni kapsamaktadır. Modelleme alanı, İzmir Limanı'nı, İZDENİZ vapur ve feribot güzergahlarını merkezine alan 50x50 km'lik bir alandır.



Şekil 1. Çalışma alanının uydur görüntüsü ve 50 km X 50 km'lik modelleme alanı

Veri Toplama ve Emisyon Hesaplama

- İZDENİZ'e ait vapurlar ve feribotlar için, resmi sefer tarifeleri ve saha gözlemleri incelenerek her bir hattın sefer sayıları ile operasyonel süreleri (seyir, manevra, bekleme) hesaplanmıştır. Ticari gemiler için ise, anlık Otomatik Tanımlama Sistemi (AIS) verileri, Google Earth Pro ortamında önceden tanımlanmış coğrafi alanlarla (liman, manevra sahası, seyir koridoru) entegre edilmiştir. Bu analiz sayesinde, her geminin seyir, manevra ve bekleme modlarında geçirdiği süreler hassas bir şekilde belirlenmiştir.
- Emisyonlar, EMEP/EEA (2023) kılavuzu temel alınarak, gemilerin motor gücü, yük faktörü, spesifik yakıt tüketimi ve faaliyet süresini dikkate alan en ayrıntılı Seviye 3 (Tier 3) aşağıdan-yukarıya (bottom-up) yaklaşımıyla hesaplanmıştır.

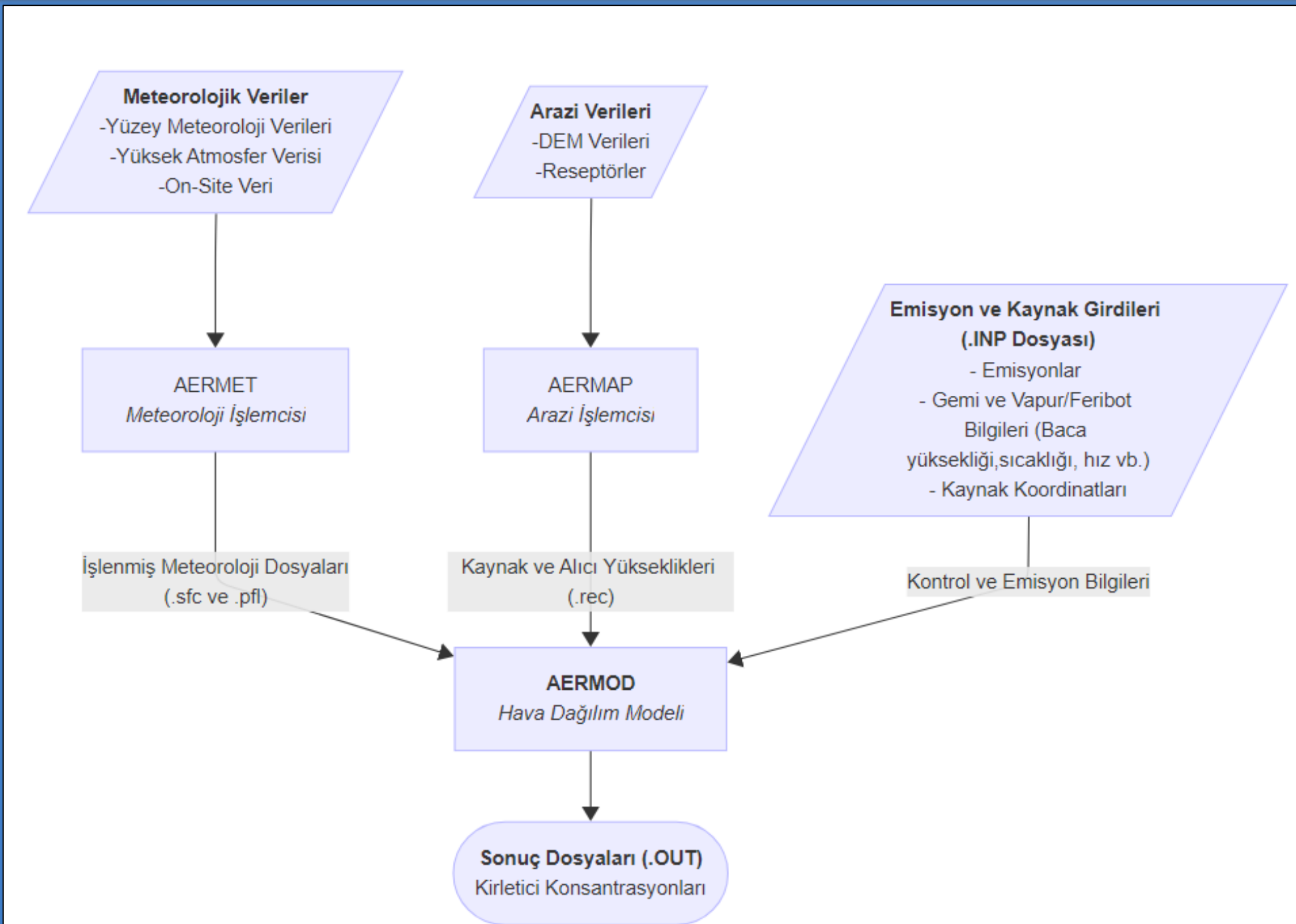
$$E_{sefer} = E_{Bekleme} + E_{Manevra} + E_{Seyir}$$

$$E_{sefer\ i,j,m} = \sum P \left[T_p \sum e (P_e * L F_e * E F_{e,i,j,m,p}) \right]$$

E_{sefer} : Tam bir yolculuk boyunca emisyon (ton),
 LF : Motor yük faktörü,
 EF : Emisyon faktörü (kg/ton),
 P : Motor Gücü (Kw),
 T : Süre (saat)
 e : Motor sınıfı (ana motor, yardımcı motor),
 i : Emisyon çeşidi,
 m : Yakıt çeşidi (MDO/MGO, LNG, GASOLINE, BFO),
 j : Motor çeşidi (Yavaş-Orta ve Hızlı Dizel, Gaz Türbini ve Buhar Türbini),
 p : Gemi operasyonları (seyir, manevra, bekleme).

AERMOD Hava Kalitesi Modellemesi

- Modelleme için gerekli 1 yıllık (2024) meteorolojik veri, WMO 17220 numaralı İzmir Güzelyalı istasyonundan (NOAA arşivi) temin edilerek AERMET ile işlenmiştir. Analizler sonucunda, hakim rüzgar yönü **güneydoğu**, ortalama rüzgar hızı ise **2,5 m/s** olarak belirlenmiştir.
- Bölgenin arazi yapısı, ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumu'ndan (USGS) alınan Ulusal Yükseklik Veri Seti (NED) ile tanımlanmıştır. Modelleme alanı, 1000 metre aralıklarla yerleştirilmiş 50x50'lik düzenli bir alıcı ağı (reseptör grid) ile kaplanmıştır.



Şekil 2. AERMOD hava kalitesi modelleme süreci ve veri akışı

BULGULAR

Tablo 1. Vapur/feribotlardan kaynaklanan emisyonlar

HAT NO	HATLAR	NO _x (ton/yıl)	PM _{2,5} (ton/yıl)	CO (ton/yıl)
1	Bostanlı-Konak	138,4	3	17,3
2	Bostanlı-Üçkuyular	664,6	14,4	83,1
3	Bostanlı-Alsancak	37,6	0,8	4,7
4	Bostanlı-Pasaport	58,3	1,3	7,3
5	Karşıyaka-Üçkuyular	16,9	0,4	2,1
6	Karşıyaka-Göztepe	18,8	0,4	2,3
7	Karşıyaka-Pasaport	107,7	2,2	12,6
8	Karşıyaka-Bostanlı	116,1	2,5	14,5
9	Karşıyaka-Konak	245,6	5,3	30,7
10	Karşıyaka-Karantina	15	0,3	1,9
11	Karşıyaka-Alsancak	84,6	1,8	10,6
12	Alsancak-Üçkuyular	5,3	0,1	0,7
13	Alsancak-Göztepe	5,3	0,1	0,7
14	Alsancak-Pasaport	63,5	1,4	7,9
15	Pasaport-Göztepe	4,4	0,1	0,5
16	Pasaport-Üçkuyular	5,3	0,1	0,7
17	Üçkuyular-Göztepe	3,8	0,1	0,5
18	Üçkuyular-Karantina	6,1	0,1	0,8
19	Göztepe-Karşıyaka	4,2	0,1	0,5
20	Konak-Karşıyaka-Foça	3,7	0,1	0,5
21	Karşıyaka-Konak-Urla	2,2	0	0,3
22	Güzelyalı-Foça	2	0	0,3
23	Karşıyaka-Konak-Mordoğan	3	0,1	0,4
	TOPLAM	1606	35	201

Tablo 2. Gemilerden kaynaklanan emisyonlar

MOD	Toplam Emisyonlar (ton/yıl)		
	NO _x	PM _{2,5}	CO
SEYİR	766	46	25
MANEVRA	45	3	4
BEKLEME	1311	73	116
TOPLAM	2122	122	145

- Tüm kirleticiler için en baskın emisyon kaynağı, toplam emisyonların %41'ini (665 ton NO_x, 83 ton CO, 14 ton PM_{2,5}) tek başına üreten **Bostanlı-Üçkuyular feribot hattıdır**. Bununla birlikte Karşıyaka-Konak, Bostanlı-Konak ve Karşıyaka-Bostanlı hatları da NO_x emisyonları açısından diğer önemli kaynaklardır.
- Ticari gemi emisyonları, varış ve kalkış hareketleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Yapılan analizde, operasyonel modlar arasında en yüksek emisyon payının gemilerin **limanda bekleme** aşamasından kaynaklandığı tespit edilmiştir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tablo 3. Vapur/Feribot kaynaklı en yüksek yıllık ortalama NO_x konsantrasyonları

Sıra	Yıllık Ortalama Konsantrasyon (µg/m³)	Konum (UTM - X)	Konum (UTM - Y)
1	123,2	508500	4256000
2	78,4	506500	4251000
3	65,1	510500	4256000
4	24,7	511500	4256000
5	24,6	509500	4255000

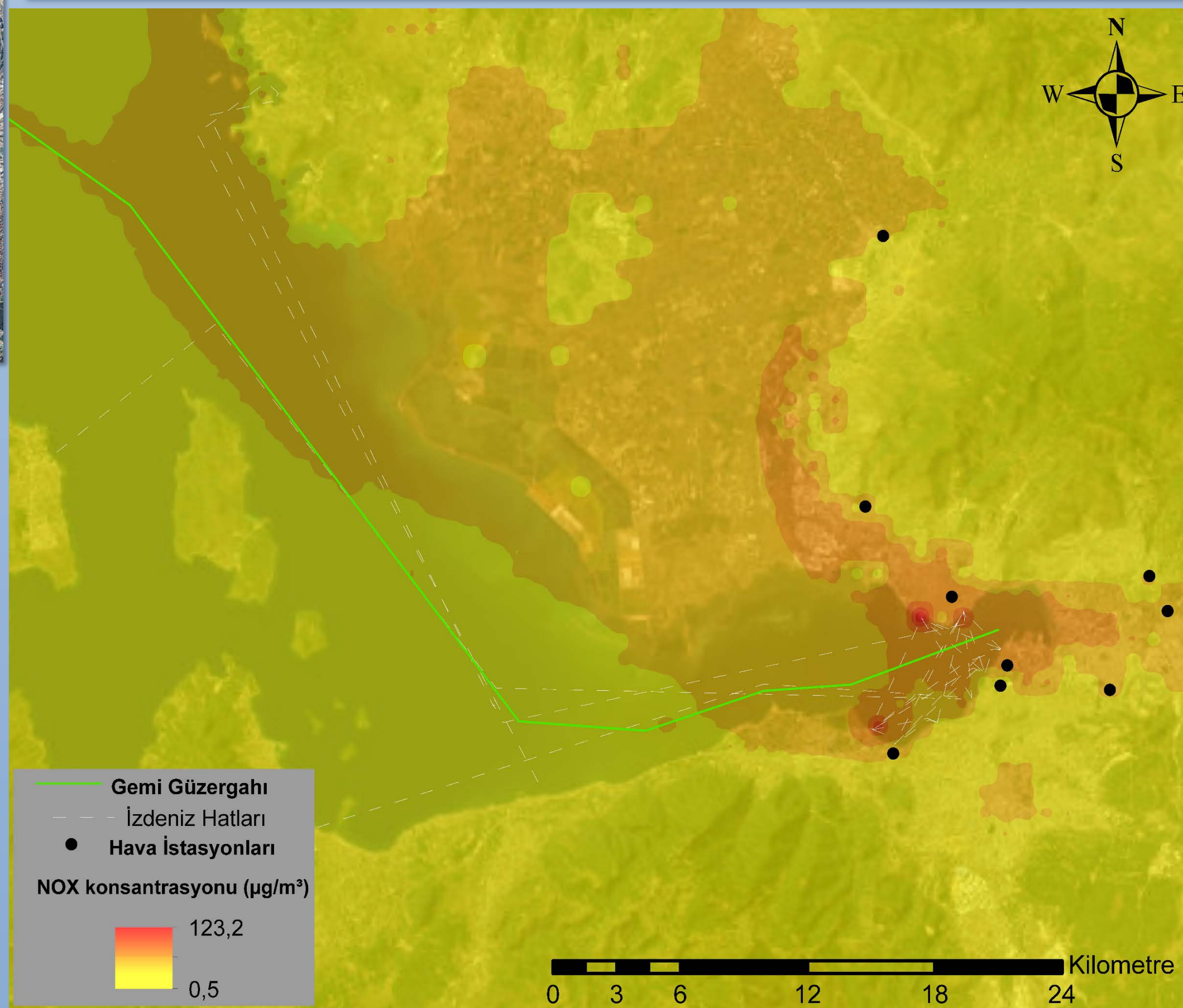
Tablo 4. Gemi kaynaklı en yüksek yıllık ortalama NO_x konsantrasyonları

Sıra	Yıllık Ortalama Konsantrasyon (µg/m³)	Konum (UTM - X)	Konum (UTM - Y)
1	5	514500	4255000
2	4,3	513500	4255000
3	3,7	515500	4255000
4	3,7	469500	4276000
5	3,6	468500	4277000

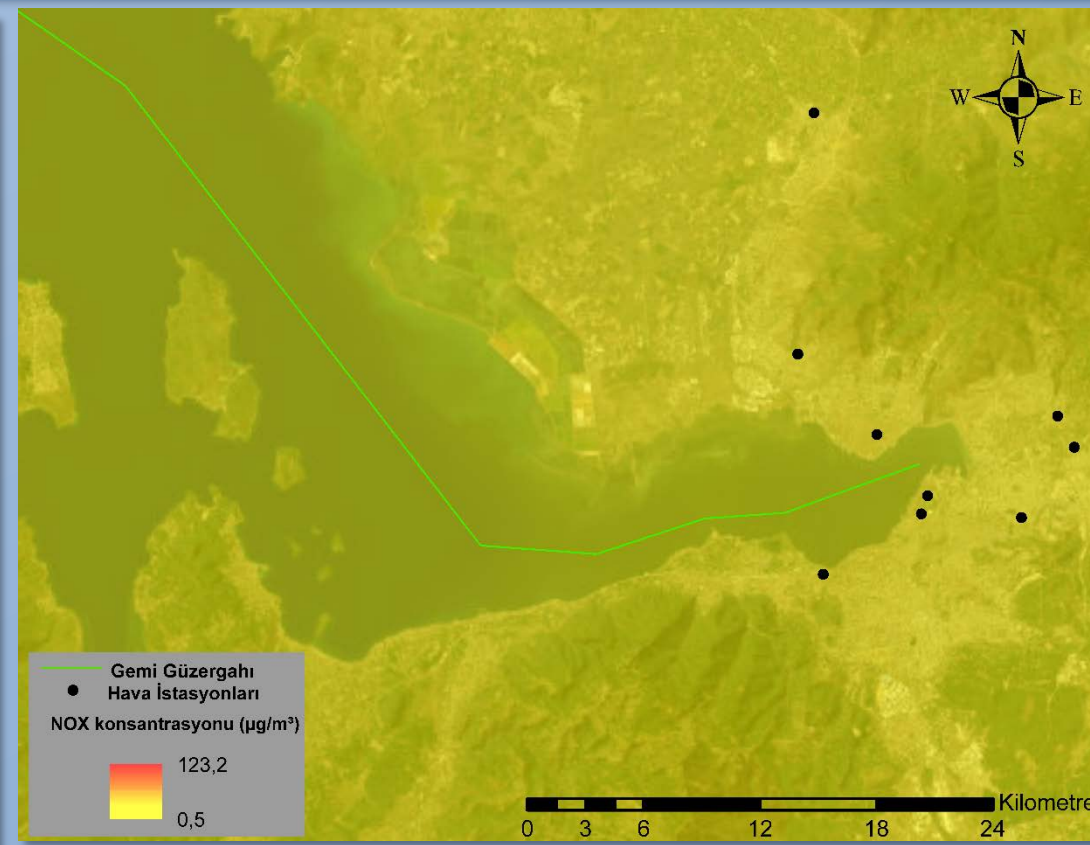
- En yüksek yıllık ortalama NO_x konsantrasyonu **123 µg/m³** olarak **Bostanlı İskelesi** merkezinde tahmin edilmiştir. Bu değer, ticari gemilerin yarattığı maksimum etkiden yaklaşık **25 kat daha yüksektir**. Bu durum, şehir içi vapur ve feribotların özellikle iskele çevrelerindeki lokal hava kalitesine olan etkisini göstermektedir.
- Ticari gemilerden kaynaklanan en yüksek yıllık ortalama NO_x konsantrasyonu, limanın bekleme sahası yakınında **5 µg/m³** olarak tahmin edilmiştir.

ÖNERİLER

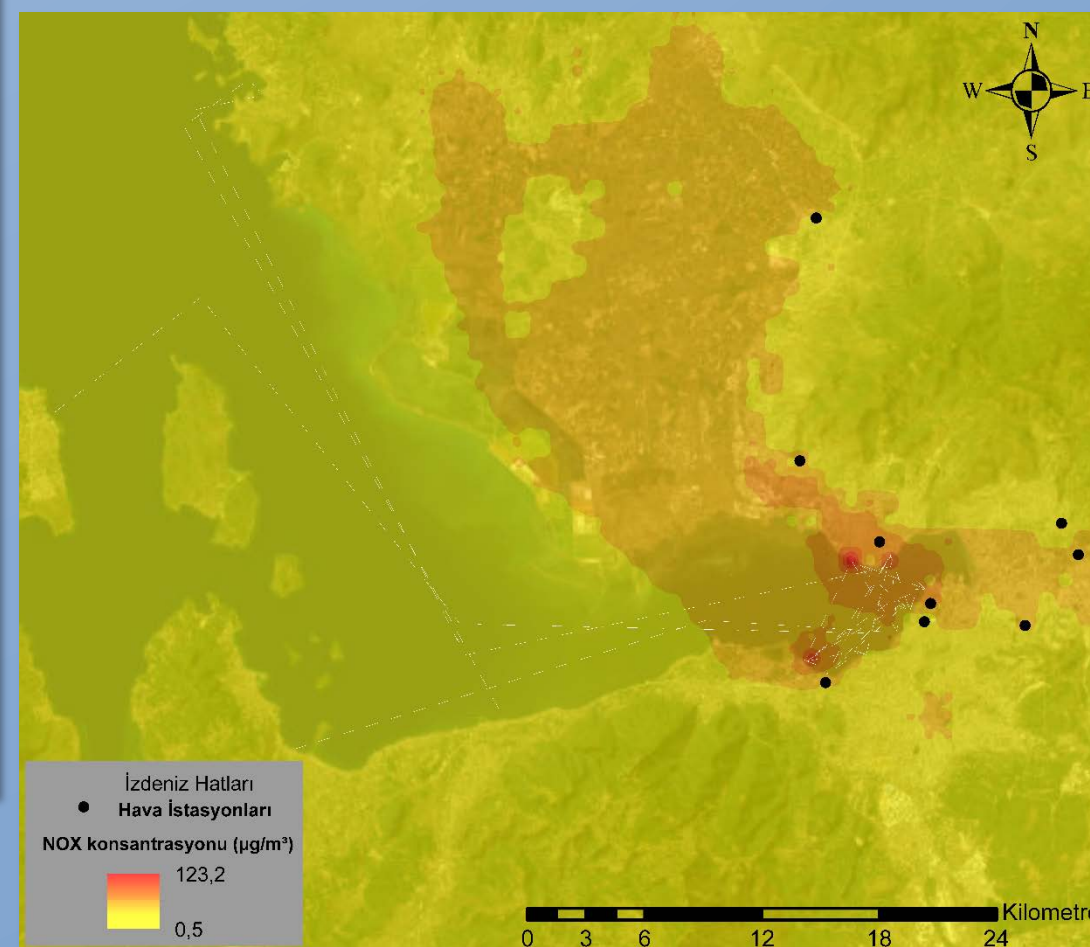
- Gemilerin gereksiz bekleme sürelerini azaltmak için liman işletmeciliği ve gemi acenteleri arası koordinasyonun güçlendirilmesi.
- Ticari gemiler için temiz yakıt (MDO vb.) veya Egzo Gazı Temizleme Sistemleri(Scrubber) kullanımını teşvik edecek liman ücreti indirimleri gibi mekanizmalar geliştirilmesi.
- İZDENİZ filosunun kademeli olarak sıfır emisyonlu elektrikli tahrik sistemlerine dönüştürülmesi.



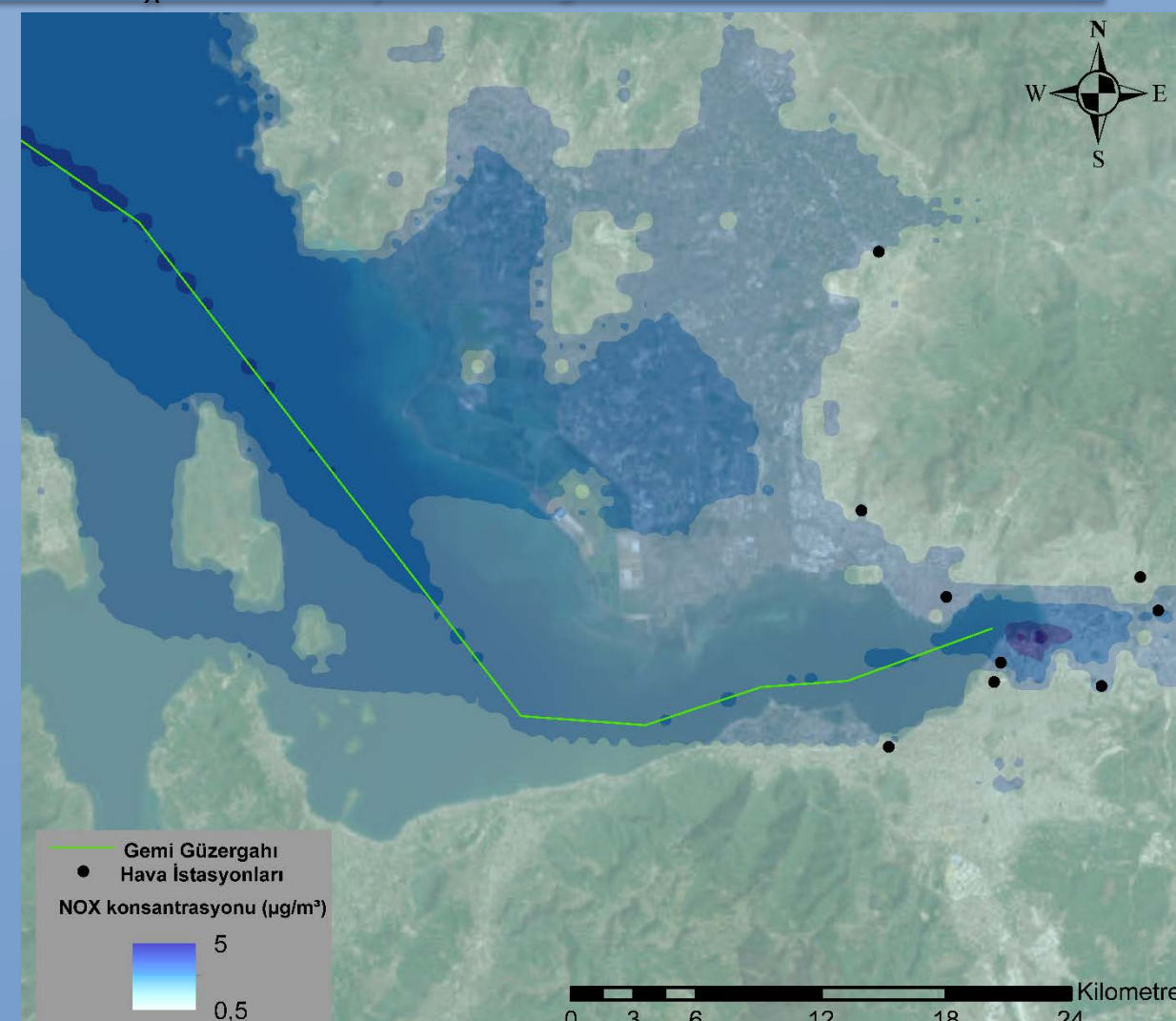
Şekil 3. Gemiler ve Vapur/Feribotlardan birlikte kaynaklanan yıllık ortalama NO_x konsantrasyonları dağılımı



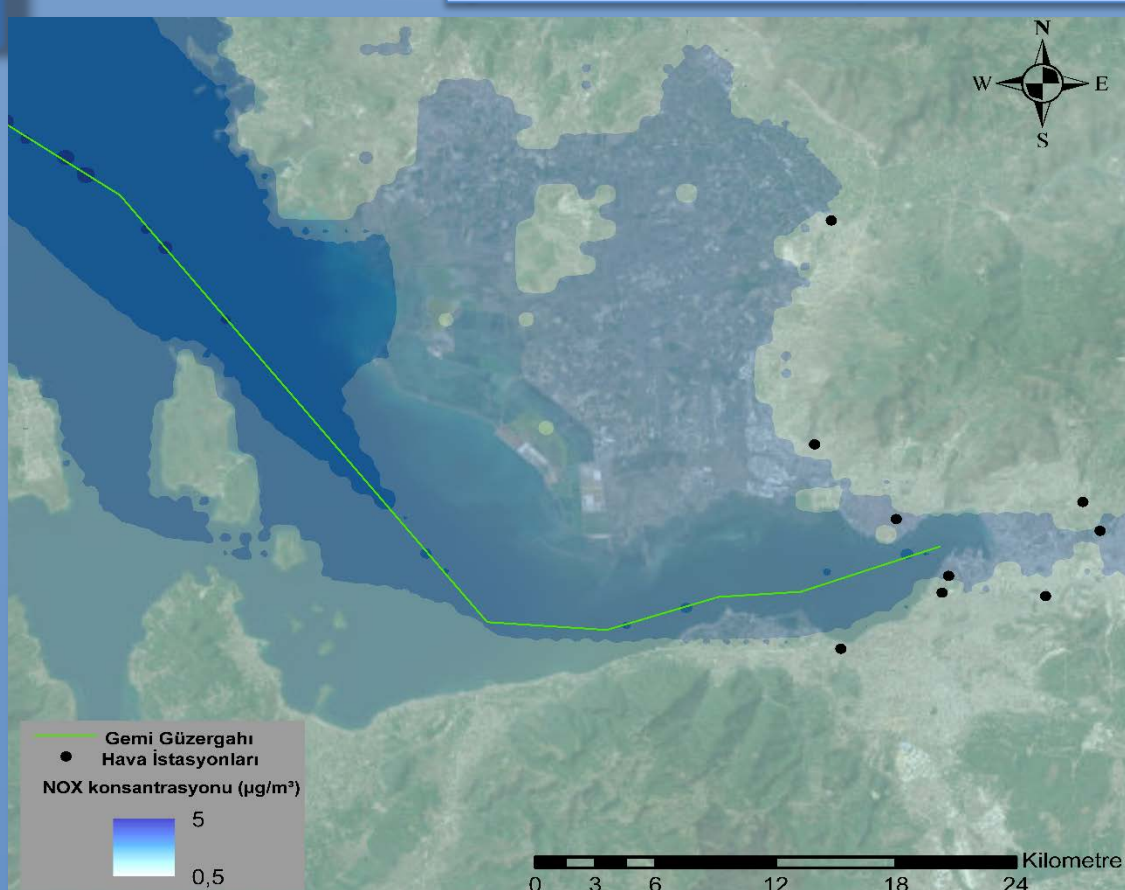
Şekil 4. Gemilerden kaynaklanan yıllık ortalama NO_x konsantrasyonları dağılımı



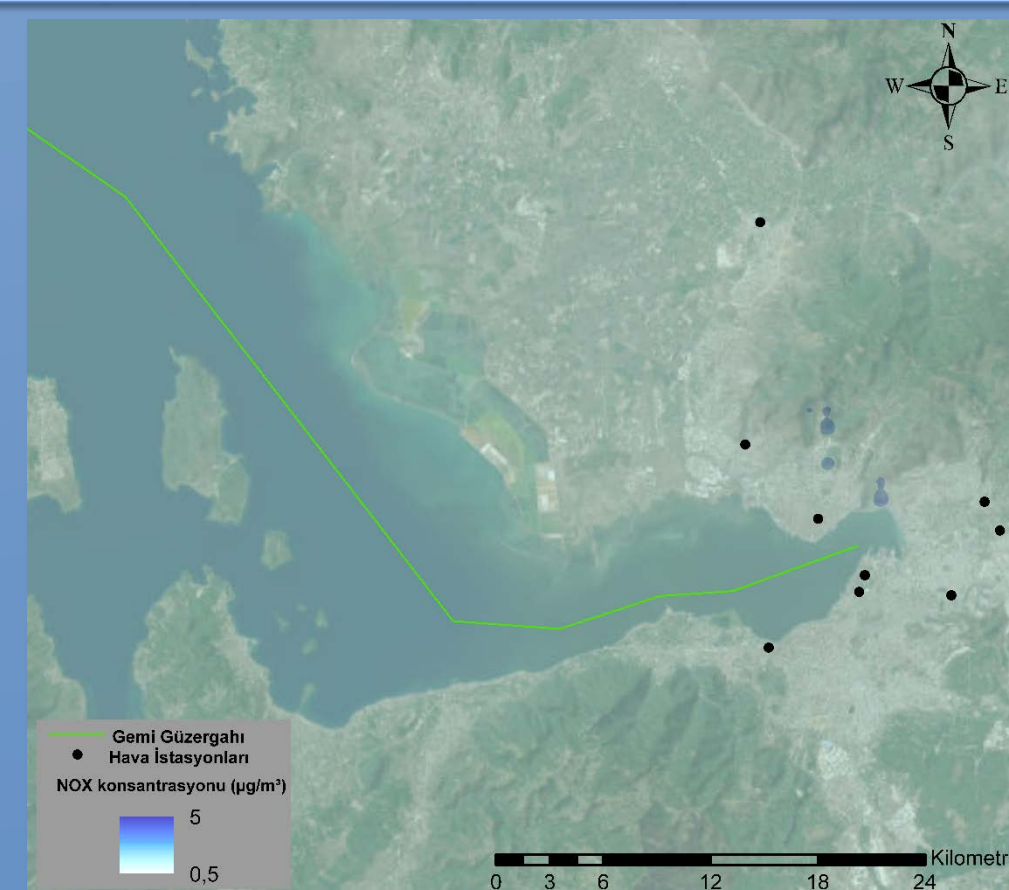
Şekil 5. Vapur/Feribotlardan kaynaklanan yıllık ortalama NO_x konsantrasyonları dağılımı



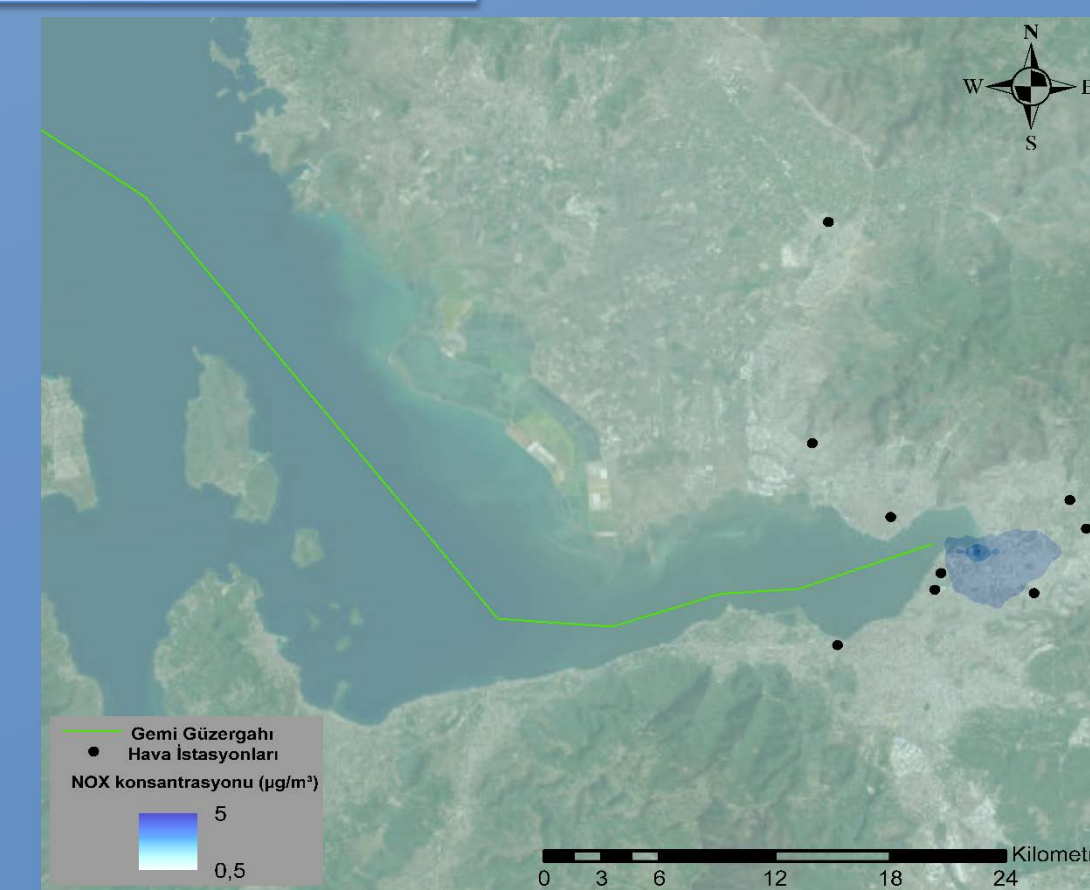
Şekil 6. Gemilerin seyir + manevra + bekleme faaliyetlerinden kaynaklanan yıllık ortalama NO_x konsantrasyonları dağılımı



Şekil 7. Gemilerin seyirleri esnasında oluşan yıllık ortalama NO_x konsantrasyonları dağılımı



Şekil 8. Gemilerin manevraları esnasında oluşan yıllık ortalama NO_x konsantrasyonları dağılımı



Şekil 9. Gemilerin bekleme esnasında oluşan yıllık ortalama NO_x konsantrasyonları dağılımı

BUNU BİLİYOR MUYDUNUZ?

Bu çalışmanın kapsamını göstermek amacıyla, İzmir Körfezi'ndeki hava kalitesi etkilerini hassas bir şekilde simüle edebilmek için AERMOD modelinde her bir kirleticisi (NO_x, PM_{2,5} ve CO) için ayrı ayrı olmak üzere: **41 adet Çizgisel (RUNE), 45 adet Alanal (AREA), 48 adet Noktasal (POINT)** olmak üzere toplam 134 kaynak tanımlanmıştır. Bu 134 kaynak ile 1 km çözünürlüklü 50x50 km² lik alanda gerçekleştirilen bir AERMOD modelleme çalışması için i9-14900K 3,20 Ghz işlemcili ve 32 GB RAM'li bir iş bilgisayarında kesintisiz 60 saat sürmüştür. Tüm kirleticiler, tüm operasyonel modlar ve hatalı model çalışmalarının yenilenmesi dikkate alındığında bu tez çalışması kapsamında bilgisayarda toplam yaklaşık 300 saat model çalıştırılmıştır.