

# Tarihi Yarımada Yayalaştırma Projesi Öncesi ve Sonrasının Bölge Hava Kalitesine Etkilerinin Araştırılması

**Yürütücü:** Doç. Dr. Ferhat Karaca,

**Araştırmacılar:** Abdülkadir Yıldız, Feyza Özdemir, Pınar Köse, Sera Tolgay

2015



Bu rapor İstanbul Tarihi Yarımada bölgesinde uygulaması yapılan yayalaştırma projesinin bölge halk sağlığı ve çevresel etkiler açısından kazanımlarını değerlendirmek üzere tasarlanmış bir araştırma projesinin bulgularını, sonuçlarını ve değerlendirmelerini içermektedir. Yayalaştırma projesinin öncesini ve sonrasını değerlendirildiği bu raporda; 2010 ve 2014 yıllarında 23 ayrı izleme noktasında gerçekleştirilen hava kalitesi ölçüm sonuçları kullanılmıştır.

(boş)

# Tarihi Yarımada Yayalaştırma Projesi Öncesi ve Sonrasının Bölge Hava Kalitesine Etkilerinin Araştırılması

---

Bu rapora konu olan çalışma EMBARQTürkiye tarafından önerilmiş ve finanse edilmiştir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Çevre Koruma Dairesi Başkanlığı tarafından desteklenmiş ve teknik yardım sağlanmıştır. Örnekleme, veri analizi ve bilimsel değerlendirme süreçleri Doç. Dr. Ferhat Karaca tarafından yürütülmüş ve rapor olarak sunulmuştur.

Emeği geçen tüm araştırmacılara ve proje ekibine teşekkür ederiz (FK).

(boş)



<i>İÇİNDEKİLER TABLOSU</i> .....	iii
YÖNETİCİ ÖZETİ .....	v
1 GENEL DEĞERLENDİRMELER .....	1
1.1 Araştırma hipotezi ve gerekçesi .....	1
1.2 Örneklem gerekçeleri ve parametre seçimi .....	2
1.2.1 Niçin pasif örnekleme? .....	2
1.2.2 Niçin NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , NH <sub>3</sub> , ve asit gazlar? .....	3
1.3 Örnekleme noktalarının seçimi ve istasyon bilgileri .....	4
1.4 Kampanya bilgileri .....	6
1.5 Karşılaşılan sorunlar ve aksaklıklar .....	6
2 BULGULAR VE TARTIŞMALAR .....	8
2.1 Tanımlayıcı istatistikler .....	8
2.2 Literatür ve yasal mevzuat .....	9
2.2.1 Literatür (diğer kentler) değerlendirmesi .....	9
2.2.2 Mevzuat (USA, EU, TR) açısından değerlendirme .....	11
2.3 Halk sağlığı risk değerlendirmesi .....	11
2.4 Kirleticilerin kaynaklarının belirlenmesi .....	14
2.5 Kampanyalar arası NO <sub>2</sub> ilgileşim seviyeleri .....	17
2.6 Yüzey yayılım modellemesi .....	19
2.6.1 Kalitatif trafik değerlendirmesi .....	19
2.6.2 Kirleticilerin yayılımı (Co-Kriging) .....	20
2.6.3 Araç profili ve trafik akışının kirlilik etkileri .....	22
2.6.4 Öncesi ve sonrası .....	23
3 KAYNAKÇA .....	26



## YÖNETİCİ ÖZETİ

*İstanbul'un 'Sur-u Sultani' olarak bilinen, Topkapı Sarayı, Gülhane Parkı ve Sirkeci Garı'nı da içine alan ve eski surlarla sınırlandırılmış bölgesine tarihi yarımada ismi verilmektedir. İstanbul'un var olma nedeni bir yarımada, o yarımada'nın 'tarihi' ismini almasının nedeni coğrafi konumudur. Tarihi Yarımada'nın günlük insan trafiği 1.5 milyon kişinin üzerinde olup sadece bu bölgede yaşayan ve çalışan insanların nüfusu bile yüzbinlerle ifade edilmektedir.*

*İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından yarımada üzerinde yayalaştırma faaliyetlerine başlanmış ve 2010 sonrasını kapsayan dönemde bölgede önemli bir alan sadece yayalarla birlikte resmi ve izinli araçların kullanımına uygun hale getirilmiştir.*

*Bu rapor, yayalaştırma faaliyetlerinin öncesinde ve sonrasında hava kalitesi açısından oluşan muhtemel değişimleri incelemek üzere tasarlanmış bir bilimsel araştırma çalışmasının bulgularını içermektedir. Bölgedeki hava kalitesinin öncesine ait hava kirliliği verileri, 2009-2011 yıllarında TÜBİTAK destekli bir ulusal proje kapsamında elde edilmiştir. Yayalaştırma projesinin sonrası olarak isimlendirdiğimiz dönem ise 2014 yılının son çeyreğini kapsamaktadır. Bu çerçevede öncesi dönemde örnekleme yapılan istasyonlar ile aynı yer ve pozisyonlara hava kalitesi izleme noktaları kurulmuştur. Böylelikle toplam 23 ayrı noktada pasif örnekleyiciler kullanılarak bölgenin hava kalitesi ikinci defa izlenmiştir. Sonrası dönemde yürütülen bu izleme çalışmaları birbirini takip eden 5 ayrı kampanya ile yürütülmüştür. İzlenen hava kalitesi parametreleri NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub> ve HCl ve HF kirleticileridir.*

*Bu raporun ilk bölümü, çalışmasının hipotezini, kullanılan yöntem ve metotların neye dayalı olarak ve niçin seçildikleri gibi soruların cevaplarını ve seçilen araştırma döneminin gerekçelerinin tartışıldığı "Genel Değerlendirmeler" ile başlamaktadır.*

*İkinci Bölüm olan "Bulgular ve Tartışmalar" kısmında elde edilen tüm veriler, öncesi ve sonrasını da dikkate alınacak şekilde istatistiksel yöntemler ile değerlendirilmiş, çeşitli model çalışmaları ise desteklenmiş ve bölgenin özellikle trafik ile ilgili hava kalitesi değişim profilini net bir şekilde ortaya koymuştur. Bu bölümde elde edilen bulgular arasında; halk sağlığı risk değerlendirmesi, kirleticilerin yüzey dağılım modelleri ve sıcak kirlilik bölgelerinin tespiti, kirleticilerin kaynaklarının belirlenmesine yönelik kaynak araştırma çalışmaları, kirlilik profillerinin öncesinin ve sonrasının karşılaştırıldığı dağılım modelleri ve farklı trafik modlarının ve taşıt türlerinin potansiyel bölgesel etkilerinin araştırıldığı bölümler bulunmaktadır. Her bir alt bölüm literatür taraması ile desteklenmiş ve elde edilen bulgular durumu net bir şekilde gözler önüne koyacak şekilde raporlanmıştır.*

*Elde edilen bulgular kısaca özetlenecek olursa;*

- Tarihi yarımada bölgesinde trafik kaynaklı hava kirliliği profilinde, yayalaştırma projesi öncesi ve sonrasında, noktasal kirlilik seviyelerinde ve kirliliğin yer seviyesi yayılımı profilinde anlamlı değişimler olduğu belirlenmiştir.*
- Öncesi dönemde yapılan çalışmada NO<sub>2</sub> ortalama değerinin (86 µg/m<sub>3</sub>) Avrupa'nın bölge ve şehir ortalamalarından oldukça yüksek olduğu Tarihi Yarımada bölgesinin kısmı yayalaştırma sonrasında ölçülen ortalama NO<sub>2</sub> değerinin azaldığı ancak Avrupa şehirlerine göre hala yüksek olduğu ortadadır.*
- Sonrası dönemde azot dioksit seviyesi bölge atmosferinde %42 oranında azalmıştır. Kükürt dioksit ise kent arka plan seviyesine gerileyerek neredeyse tamamen giderilmiştir.*
- Tarihi yarımada'da ölçülen ortalama kükürt dioksit değerinin Avrupa ülkelerine benzer bir davranış ile ciddi anlamda azalma gösterdiği gözlenmiştir.*
- NO<sub>2</sub> seviyesi nispeten kirlilik düzeyi yüksek Avrupa şehirlerine (mesela; Barselona) yakınen NH<sub>3</sub> seviyesindeki yaklaşık 4 katlık farkın İstanbul'un Tarihi Yarımada bölgesinde İngiltere örneğinde olduğu gibi eski nesil sistemle çalışan araçlardan, halk otobüslerinden veya düşük hızlı (trafik yoğunluğu nedeniyle) gerçekleşen trafik modlarından kaynaklanıyor olması*

---

muhtemeldir.

- *Yayalaştırma projesi sonrası NO<sub>2</sub> ortalama değerinin değer aralığı incelendiğinde (37,1-101 µg/m<sup>3</sup>) bir çok noktada limit aşımı (AB limitlerine göre) olduğu belirlenmiştir.*
  - *Yapılan halk sağlığı risk değerlendirmesine göre bölge, sadece bir noktada (17 nolu örnekleme noktası yani Topkapı Sarayının giriş bölgesi) hava kalitesi açısından temiz hava sınıfına girmektedir.*
  - *Unkapanı ve Eminönü noktalarındaki istasyonların etrafında kalan alanlar ise (1 ve 3 numaralı) bölgedeki en kirli ve riskli dış ortam hava sahasının olduğu sıcak alanlardır.*
  - *Bölgenin kirli hava olarak tanımlanmış olan bölgesi ise Tarihi Yarımada'nın tam da yerleşim alanlarının bulunduğu bölgelerin üzerinde gözlenmektedir.*
  - *Kaynak araştırması bulgularına göre; Tarihi Yarımada bölgesinde izlenen kirleticilerden NO<sub>2</sub> ve NH<sub>3</sub> ağırlıklı olarak trafik kaynaklıdır, ancak trafiğin farklı unsurları tarafından farklı oranlarda atmosfere salınmaktadır.*
  - *SO<sub>2</sub> ve HCl değerlerinin ağırlıklı olarak ortak kaynaktan (evsel ısınma) geldiği ve muhtemel kaynaklarının fosil yakıtların yakılması işlemine dayalı bölgedeki kömür kullanımı olduğu belirlenmiştir.*
  - *2014 dönemi yer seviyesi NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) dağılım değerleri incelendiğinde Tarihi Yarımada'nın uç kısmı olarak tabir edebileceğimiz bölge ve antik sit alanında kapsayan Topkapı Sarayı bölgesi, azot dioksit kirliliği açısından en düşük seviyelerin gözleendiği alan olarak görülmektedir.*
  - *Yayalaştırma projesinin uygulandığı bölgelerde de benzer şekilde trafik kaynaklı kirleticilerin nispeten düşük seviyeli olduğu söylenebilir.*
  - *En yüksek kirlilik düzeylerinin, trafiğinde en yoğun olduğu Unkapanı hattı; Galata Köprüsü'ne uzanan yol hattı; ve Laleli ve Yedikule yol hatları olduğu görülmektedir.*
  - *Bölgenin kuzey tarafında bulunan yerleşim alanları ise trafik kaynaklı kirlilikten en çok etkilenen bölge olarak belirlenmiştir*
  - *Öncesi ve sonrasını verileri bir arada incelendiğinde ise Tarihi Yarımada'nın uç kısımlarında iç kısımlarına doğru anlamlı bir miktarda kirlilik azalması olduğu rahatlıkla söylenebilir. Yayalaştırma alanlarının olduğu bölgelerde de anlamlı düşüşler gözlenmiş yani 2014 değerleri 2010 değerlerine göre anlamlı miktarda azalma göstermişlerdir.*
-



# 1 GENEL DEĞERLENDİRMELER

## 1.1 Araştırma hipotezi ve gerekçesi

İstanbul'un tarihi yarımadası olarak tanımlanmış olduğumuz (tanımlanmış olan) ve tarihi ve kültürel yapılarını neredeyse en önemli bölümünün üzerinde bulunduğu yarımada bölgesinde UNESCO'nun Dünya Kültür Mirası listesine girmiş dört ayrı bölgesi bulunmaktadır. Bu bölgeler arkeolojik park olarak tanımlanan tarihi yarımada'nın uç bölgesi, Süleymaniye Külliyesi ve etrafı, Zeyrek Külliyesi ve etrafı ve tarihi surlardır. UNESCO'nun resmi web sitesinde tarihi şehrin kötü yapılanma ve çevresel faktörler nedeniyle ciddi risk altında olduğu belirtilmektedir. Bu bölge sadece bu dört alanla sınırlı değil, içerisinde yüzlerce eseri barındıran, dünya çapında eşsiz bir kültür ve tarih hazinesidir. Tarihi Yarımada için bu çerçevede çok özel yönetim stratejilerinin üretilmesi bir zorunluluktur.

Tarihi yarımada günlük iş ve ziyaret amaçlı erişim trafiğinin çok yoğun olan bir bölgedir. Bölgedeki alışveriş mekânlarının zenginliği, bölgenin tarihi ve kültürel kimliği, burayı tam bir cazibe merkezi haline getirmiştir. 2009 verilerine göre bölgenin yerleşik nüfusu 433 796; istihdam sayısı 276 809 ve günlük insan trafiği 1,5 milyon kişinin üzerindedir. Tarihi Yarımada bölgesinde oluşması beklenen günlük insan trafiği 2023 yılında İstanbul'daki tüm yolculuk sayısının %5,5'i, bölgenin nüfusunun ise toplam nüfusun %2,7'si kadar olacağı öngörülmektedir [1]. Görüldüğü üzere bölge sadece tarihi ve kültürel miras açısından değil aynı zamanda da halk sağlığı, sosyal ve toplumsal refah açısından da son derece önem arz etmektedir.

Bir kent atmosferinde bütünlük bir risk yönetim sistemi için hava kirliliğinin muhtemel akut ve kronik etkilerinin yanı sıra maruziyet etkilerinin de araştırılması bilim insanlarının üzerinde ortak görüş bildirdikleri bir konudur. Amerikan Çevre Koruma Ajansının (EPA) risk yönetimi ile ilgili yapmış olduğu stratejik plan önerilerinde, maruziyet araştırmalarının bütünlük bir risk yönetim planının en önemli halkalarından birisi olduğu vurgulanmaktadır. Bütünlük bir hava kirliliği risk yönetim planı için (mesela; tarihi yapılar veya halk sağlığı üzerine) bilim insanları ve araştırma kurumları ile birlikte, yerel yönetimler, yetkili kurum ve kuruluşlar, kanun yapıcılar ve karar alma yetkisi bulunan tüzel ve özel kişilikler birlikte koordinasyon içerisinde çalışmalıdır. Bu tip bir yönetim planı temelde risk oluşturan kirliticilerin belirlenerek maruziyet etkilerinin araştırılması aşaması ile başlamalı, etki-tepki (doze-response) çalışmaları ile desteklenmeli ve devam etmeli, sonrasında da risk değerlendirmeleri ve yönetim planları oluşturulmalıdır [2].

İstanbul Büyükşehir Belediyesi 2010 yılından sonra bölgede yayalaştırma projesinin uygulamalarına İstanbul İl Çevre Düzeni Planı ile İUAP Hedefleri arasında bulunan "Öncelikle tarihi yarımada olmak üzere kentin tarihi dokularında lastik tekerlekli araç trafiğinin azaltılması, yaya ulaşım akslarının oluşturulması" ve "Egsoz salınımını minimize edecek alternatifler geliştirerek tarihi yarımada'da yer alan tarihi ve kültürel varlıkların korunması" gerekçeleri [1] kapsamında başlamıştır. Bu çerçevede bir dizi yol araç trafiğine kapatılarak yayalaştırma uygulamaları yapılmaktadır.

Tarihi Yarımada yayalaştırma projesi benzeri trafik yönetim stratejileri ve planlamaları uygulamanın, gerçekleştirildiği bölge üzerinde ilk olarak bu uygulamaların toplumun ve sosyal hayatın değişmesine etkileri olması beklenir. Bunu takiben yaşam alanlarında yapısal ve sosyolojik değişimler de gözlenmeye başlanabilir. Bölgede ticaret ve iş yapış üzerinde de hatırı sayılır etkiler oluşturabilecek bu tip uygulamaların çevresel anlamda oluşturacağı en önemli etki ise bölgenin **hava kalitesi** ile ilgili

olacaktır. Bu durum günümüzde kent atmosferlerindeki temel kirletici kaynağının trafik emisyonları olmasıyla ilgilidir. Son yıllarda fosil yakıtlardaki kalite artırımları ve doğal gazın yaygın olarak kullanılması ile kent atmosferlerinde baskın kirletici kaynağı olarak trafik kaynaklı emisyonlar ön plana çıkmıştır.

Tarihi Yarımada bölgesinde de adı geçen stratejik plan çerçevesinde bölgesel ve yerel yönetimlerce uygulanan yayalaştırma projesinin, bölge hava kalitesi açısından bir takım etkilerinin olması beklenmektedir. Bu güne kadar bu etkinin alıcı ortamlarda yapılan izleme ve ölçme yöntemlerinin kullanılarak araştırıldığı ve bilimsel değerlendirmelerin yapılmış olduğu bir çalışma bulunmamaktadır. Kısaca söylemek gerekirse; tarihi yarımada bölgesinin hava kalitesi açısından yaşadığı değişimlerin yayalaştırma projesi öncesi ve sonrasını bir arada değerlendiren kantitatif, ölçme ve izleme yöntemine dayalı kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır.

Yukarıda bahsi geçen değerlendirmeler ve gerekçeler ışığında, İstanbul'un Tarihi Yarımada bölgesinde yayalaştırma çalışmalarının öncesinin ve sonrasının göz önünde bulundurulması suretiyle; hava kalitesinin araştırılmasına, yapılan stratejik planlama ve uygulamaların ortamda oluşturduğu çevresel etkilerin ölçülmesine ve halk sağlığı etkilerinin bir arada değerlendirilmesine ihtiyaç olduğu ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışma anılan gerekçe ve ihtiyaç üzerine tasarlanmış bir çalışmadır. Çalışmanın amacı;

- Tarihi Yarımada bölgesinde çok noktalı hava kalitesi izleme istasyonları kurularak eş zamanlı olarak trafik kaynaklı kirleticilerin izlenmesi,
- Elde edilen verilerin 2010 öncesi yapılmış olan benzer referans bir diğer çalışmadaki veriler ile kıyaslanması ve
- Yayalaştırma projesinin çevresel ve halk sağlığı etkilerinin projenin öncesi ve sonrasını da dikkate almak sureti ile değerlendirilmesidir.

## 1.2 Örneklem gerekçeleri ve parametre seçimi

### 1.2.1 Niçin pasif örnekleme?

Yer seviyesi hava kirliliği seviyelerinin izlenmesinde ve belirlenmesinde kullanılan aktif hava izleme sistem ve cihazlarının kurulması ve işletilmesi zor ve yüksek maliyetlidir. Öte yandan yer seviyesindeki kirlilik yayılım ve dağılım özelliklerinin ve bu dağılımın emisyon kaynakları ile olan ilişkisinin araştırılması için mümkün olduğunca çok sayıda örnekleme noktasının sistematik bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Ne kadar çok örnekleme noktası olursa yayılım ve dağılım profilleri de o kadar doğru olacaktır. Dolayısıyla bir araştırma bölgesinde yüzey kirlilik profilinin çıkarılabilmesi için çok sayıda istasyon kurulmasının ekonomik yükü de son derece fazla olmaktadır. Son yıllarda bu ikilem pasif örnekleme tekniklerinin kullanılmasıyla aşılmıştır. Pasif örnekleme cihazları oldukça ucuz olduğundan, pasif örnekleme yöntemi kirletici düzeylerinin bölgesel esasa belirlenmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Kirletici konsantrasyonlarının pasif örnekleme yaklaşımıyla ölçülmesinde karşılaşılan en büyük sorun, söz konusu teknik ile kısa süreli ölçüm yapılmasının mümkün olmamasıdır. Alana yerleştirilen pasif örnekleme cihazları üzerinde daha sonra yapılacak analizlerde gözlemlenebilecek kadar kirletici toplanabilmesi için, bunların alanda 7 ila 14 gün arasında durması

gerekmektedir. Dolayısıyla bu tüpler kullanılarak ancak kirleticilerin haftalık veya 15 günlük ortalama konsantrasyonlarının ölçülmesi mümkün olmaktadır. Bu durum bizim önermiş olduğumuz proje içeriği ile son derece uyumludur ve bir problem teşkil etmemektedir. Zira bizim amacımız olan “uzun süreli bölgesel maruziyetlerin belirlenmesi” için anlık aktif örnekleme yerine uzun dönemli pasif örnekleme daha iyi bir uygulama alternatifi olarak görülmektedir.

Yukarıda bahsi geçen mali, teknik ve bilimsel gerekçelere ilave olarak, gerek EPA tarafından gerekse de ulusal yönergelerimizde belirtildiği üzere, “bir bölgenin hava kalitesinin araştırılmasında” pasif örnekleycilerin kullanılmasının tavsiye edilmesi [3] bu yöntemin benimsenmesinde etkin olmuştur.

### 1.2.2 Niçin NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>, ve asit gazlar?

Önceki dönemde yapılan çalışma bölgenin trafik kaynaklı kirliliğe maruz kaldığını ve diğer kirlilik kaynaklarının baskın olmadıklarını ortaya koymuştur. Yayalaştırma projesi kapsamında da beklenen fayda trafik kaynaklı kirleticilerle doğrudan ilgilidir. Isınma, taşınma ve endüstriyel etkilerin yayalaştırma projesi ile önemli bir ilgisi olmadığı için özellikle trafik kaynaklı olduğu iyi bilinen ve pasif örneklem yoluyla izlenebilen NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> bu proje kapsamında öncelikli olarak izlenmesi hedeflenen iki kriter kirleticidir. Bu iki kirletici Karaca'nın 2011 yılında tamamladığı çalışmada da izlenmiş iki parametredir. Dolayısı ile yayalaştırma projesi öncesindeki seviyelerin sonrasındaki seviyeler ile doğrudan karşılaştırılabilmesi mümkün olabilecektir.

Trafik kaynaklı bir diğer kirletici olan ve aynı zamanda kriter kirletici listesinde bulunana karbon monoksitin (CO) ve solunabilen partiküler maddelerin (PM<sub>10</sub>) dış ortam değerleri maalesef henüz kabul görmüş standart bir pasif yöntemle izlenememektedir. Bu nedenle bu iki kriter kirletici izleme listesine eklenmemiştir.

Trafik kaynaklı emisyonlarla ilgili yakın zamanda yapılan çalışmalar NH<sub>3</sub> emisyonlarının özellikle eski petrol yakıtlı (benzin motorlu) araçlarda ve otobüslerde önemli olduğunu ortaya koymaktadır [4, 5]. Pasif örnekleme yöntemi ile başarılı bir şekilde izlenebilen bu kirletici gaz da bu nedenle çalışma kapsamına dahil edilmiştir. Elde edilecek veriler ile bölge üzerinde eski model araçların ve otobüslerin (SCR teknolojili motorlu çalışanlar) diğer araçlara oranla ne tür bir etki oluşturduğunun anlaşılması açısından önemlidir. Bu noktada amonyağın ve diğer iki kriter kirleticinin baskın olarak trafik kaynaklı olduğunun belirlenmesi de önemlidir, zira gerek SO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub> ve gerekse de amonyak atmosfere sadece trafik kaynaklı olarak değil bol miktarda diğer (mesela endüstriyel) kaynaklardan da yayılabilir. Bu durumda proje kapsamında benimsediğimiz hipotez; trafik ile ilgisi az olan ve endüstriyel emisyonlarla doğrudan ilgili olan asit gazlardan HCl ve HF parametrelerinin de eş zamanlı olarak izlenmesidir. Bu parametrelerin her ikisi bir pasif örnekleme tüpü ile izlenebildiği için örnekleme kampanyalarına dâhil edilmişlerdir. Takip eden bölümlerde bölge üzerindeki endüstriyel ve evsel amaçlı yanma (kömür) etkisinin değerlendirilmesinde kullanılmışlardır. Bu şekilde ortamdaki trafik kaynaklı olduğunu varsaydığımız NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> seviyelerinin gerçekte ne ölçüde trafik ile ilgili olduğu da daha doğru ve net bir şekilde belirlenebilmiştir.

İzlenen son parametre ozondur (O<sub>3</sub>). Trafik kaynaklı emisyonlardan atmosfere bırakılan kirleticiler bir dizi reaksiyon sonrasında farklı kimyasal formlara oksitlenmektedir. Güneş ışığının şiddeti, nem, hava sıcaklığı, aerosollerin varlığı ve coğrafi konum gibi etmenler bu işlem içerisinde önem taşımaktadır. Güneş ışığının şiddetinin fazla olduğu dönemlerde nem, hava sıcaklığı ve aerosollerin varlığı gibi

faktörlerinde etkisiyle atmosferde diğer mevsimlere oranla daha baskın olarak fotokimyasal tepkimelerin gerçekleştiği görülmektedir. Fotokimyasal olarak ışığı emerek SO<sub>2</sub> ile OH (radikal) gibi yüksek enerjili radikaller arasında yüksek reaksiyon olmaktadır. Ayrıca trafik ve endüstriyel kaynakların olduğu bölgelerde ozon oluşumuna veya titrasyonuna neden olan diğer önemli kirleticiler NO<sub>x</sub> ve UABler olup bunların ortamdaki mevcudiyeti fotokimyasal reaksiyonların hızla teşekkül etmesine ve bir dizi karışık kimyasal dönüşümün meydana gelmesine neden olmaktadır. Bu nedenle bölgede trafik kaynaklı gazların fotokimyasal oksidasyon yoluyla ozon oluşumunda etkisini de anlamak amacıyla bölgede ozon parametresinin de ölçülmesine karar verilmiştir.



### 1.3 Örneklemeye noktalarının seçimi ve istasyon bilgileri

Bu proje kapsamında elde edilen bilgilerin yayalaştırma projesinin öncesini ve sonrasını bir arada değerlendirilmesine yönelik bir hedefi vardır. Bu kapsamda projenin öncesine ait değerlendirmelerde esas alınacak mastır doküman Karaca'nın 2011 yılında tamamladığı TÜBİTAK projesidir [2, 6]. Bu projede veri senkronizasyonu için daha önce kullanılan istasyonlarla aynı yerler istasyon noktası olarak seçilmiştir. Bu kapsamda örneklemeye bölgesi olan tarihi yarımada üzerinde 23 ayrı noktada istasyon kurulmuş ve bu istasyonlarda örneklemeye işlemleri 5 ayrı kampanya kapsamında yürütülmüştür. İstasyonların yer bilgileri, koordinatları ve sıra numaraları Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de verilen koordinatlar Küresel Pozisyon Sistemi (GPS) kullanılarak 1 m hassasiyetle tayin edilmiş ve sonrasında Coğrafi Bilgi Sistemine (CBS) veri olarak girilmiştir. İstasyonların bölge üzerindeki dağılımı Şekil 1'de harita üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 1. Örneklemeye istasyonlarının konumu

Tablo 1. Örneklerin toplandığı istasyonların, yer ve koordinat bilgileri



İstanton kodu	Yer tanımı ve tarifi	Koordinatlar	Koordinatlar (Google Maps Formatı)	109Y174 projesi kodu [6]
1	Unkapanı Bozburun Kemerli Sağlık Daire Başkanlığı karşısı	41°00'60.0"N 28°57'22.5"E	41.016655, 28.956255	28
2	Unkapanı kavşağı, üst geçit yakını	41°01'19.4"N 28°57'42.4"E	41.022067, 28.961783	8
3	Eminönü İstanbul Ticaret Üniversitesinin gerisindeki 3 üncü orta direk (Küfette karşısı)	41°01'08.5"N 28°57'57.1"E	41.019033, 28.965867	9
4	Eminönü Yeni Cami karşısı tramvaya yakın direk	41°01'03.2"N 28°58'20.6"E	41.017550, 28.972400	10
5	Eminönü boğaz iskelesinin karşısı, Motor iskelesi yazan direk	41°01'00.6"N 28°58'33.4"E	41.016832, 28.975950	11
6	Kennedy Cad. Harem İskelesi arabalı vapurların olduğu, trafik ışıklarına gelmeden bir önceki çiçeksiz direk	41°00'57.7"N 28°58'42.7"E	41.016017, 28.978533	13
7	Gülhane Parkının girişindeki orta refüj	41°00'58.3"N 28°59'07.5"E	41.016199, 28.985429	16
8	Gülhane Parkı set üstü çay ocağı	41°00'53.4"N 28°59'09.4"E	41.014830, 28.985958	15
9	Sirkeci Garının girişi karşısındaki durağının yanındaki yeşil direk	41°00'55.8"N 28°58'35.0"E	41.015500, 28.976400	12
10	Süleymaniye Cami girişi cafelerin önü	41°00'56.4"N 28°57'47.6"E	41.015657, 28.963237	45
11	Şehzade Cami İBB binası arasında orta direk	41°00'49.5"N 28°57'21.5"E	41.013743, 28.955965	1
12	Fevzi Paşa Cad. Vezneciler Polis Merkezi karşısı kamera direği	41°00'38.6"N 28°57'41.9"E	41.010733, 28.961633	27
13	Nuri Osmaniye Cami girişi	41°00'36.5"N 28°58'16.4"E	41.010149, 28.971207	39
14	Cağaloğlu İstanbul Valiliği, Ankara Cd. ve Cağaloğlu Yokuşu kesişimi	41°00'41.5"N 28°58'30.5"E	41.011538, 28.975134	38
15	Gülhane Parkı girişi, Alemdar Cd üstü	41°00'37.7"N 28°58'43.4"E	41.010476, 28.978712	14
16	Yerebatan Sarnıcın yanındaki, Yücel Kültür Evi yanı tahta direk	41°00'30.3"N 28°58'41.1"E	41.008425, 28.978097	36
17	Topkapı Sarayının ana girişi	41°00'30.1"N 28°58'51.3"E	41.008367, 28.980917	37
18	Cankurtaran Sosyal Tesisleri önü Aybıyık otobüs durağının önündeki direk	41°00'16.1"N 28°58'59.2"E	41.004475, 28.983101	17
19	Sultanahmet Cami bahçesindeki soldaki ilk direk, Derwish in karşısı	41°00'23.1"N 28°58'42.0"E	41.006417, 28.978333	35
20	Çemberlitaş Hamamı karşısındaki dur işaretinin olduğu direk	41°00'30.2"N 28°58'18.1"E	41.008400, 28.971700	34
21	Beyazıt Cami, Beyazıt Meydanı otobüs durağının karşısı, trafik ışıklarının olduğu direk,	41°00'32.5"N 28°57'58.0"E	41.009017, 28.966100	33
22	Laleli Cami karşısı Crowne Plaza karşısı Buyem'in önündeki direk	41°00'34.3"N 28°57'26.6"E	41.009533, 28.957400	32
23	Yenikapı İskelesi kavşağı, göbük ortasındaki direk	41°00'11.6"N 28°57'14.9"E	41.003217, 28.954133	18

## 1.4 Kampanya bilgileri

Yayalaştırma projesi öncesi dönemde ve sonrası dönemde yapılan ölçümler Aralık-Ocak dönemini temsil edecek şekilde yapılmıştır. Sonrası dönemde yürütülen çalışmadaki ölçümler ise Eylül-Aralık ayları arasında yapılmıştır. 2014 ölçümlerinin ilk kampanya örnekleme boyunca ortalama sıcaklık 17,4 derece iken hava sıcaklığı örnekleme kampanyaları boyunca 2-3 derecelik düşüşler göstermiştir. Yapılan son kampanyada hava sıcaklık ortalaması 9,6 derece olarak ölçülmüştür. Yürütülen projenin örnekleme takvimi, örnekleme süreleri ve örnekleme süresi boyunca hava sıcaklıkları ortalamaları bilgiler Tablo 2’de verilmiştir. Bu bilgiler proje kapsamında örnekleme yapılan NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>, HCl ve HF analizlerinin hepsi için geçerlidir.

Tablo 2. Kampanyalara ait başlangıç, bitiş tarihi ve sıcaklık bilgileri

Bilgiler	2010-2011 (Aralık-Ocak)	2014-2015 Kampanya 1 (Eylül-Ekim)	2014-2015 Kampanya 2 (Ekim)	2014-2015 Kampanya 3 (Ekim-Kasım)	2014-2015 Kampanya 4 (Kasım- Aralık)	2014-2015 Kampanya 5 (Aralık)
<b>Başlama Tarihi</b>	30.12.2010	29.09.2014	14.10.2014	30.10.2014	13.11.2014	02.12.2014
<b>Bitiş Tarihi</b>	06.01.2011	14.10.2014	30.10.2014	13.11.2014	02.12.2014	17.12.2015
<b>Ortalama örnekleme süresi (dakika)</b>	10 370	21 480	23 040	20 100	27 360	21 600
<b>Ortalama Sıcaklık (°C)</b>	5,7	17,4	15,4	13,1	10,6	9,6

## 1.5 Karşılaşılan sorunlar ve aksaklıklar

Yapılan çalışmanın dış ortamda insan yoğunluğunun ve çeşitliliğinin oldukça fazla olduğu bir alanda yapılması nedeniyle bazı aksaklıklarla karşılaşılması kaçınılmazdı. Zira, bizler de daha önce yaptığımız çalışmalarda edindiğimiz tecrübelerle bu duruma hazırlıklıydık. Bu tip aksaklıkları minimize etmek için arazi çalışmalarında belediyenin resmi bir aracı talep edilmiş ve beş kampanyaya bu tip bir araçla birlikte belediye personeli de refakat etmişlerdir. Belediye personelinin refakati ile trafiğe kapalı alanlara (sadece yetkililerin araçla girebildiği) örnekleme için rahat bir şekilde yerleştirme imkânı edinilmiştir. Ayrıca İstanbul Büyük Şehir Belediyesi amblemi örnekleme için koruyucularına yapıştırılarak halk merakının ve vandalizm’in minimize edilmesi amaçlanmıştır. Buna rağmen 1. Kampanyada 5 numaralı istasyona ait O<sub>3</sub>, 4. Kampanyada ise 5 ve 11 numaralı istasyona ait örnekleme tüpleri, 5. Kampanyada 21 numaralı istasyonda O<sub>3</sub> tüpü kaybolmuştur. Bu kayıplar meraklı bazı kişilerden kaynaklanabileceği gibi meteorolojik bazı etkenlerden de olabileceği ihtimaller dâhilindedir. Bu tip çalışmalarda %20 oranındaki kayıplar kabul edilebilir bir düzeydir.

Kullanılan marka tüpler bu çalışma ile ilk defa ekibimiz tarafından kullanılmış olup ürün kullanım şartı ürünü aldığımız firmaya sorularak teyit ettirilmiştir. Kendi beyanlarında ozon tüpüne ait kullanım şartı ile ilgili yanlış bilgi verilmesi sonucunda ozon örnekleme sistematik bir hata yapılmıştır. Ozon örnekleme yapılmış ancak difüzyon katsayısını belirleyen filtre kapağının çıkarılmış olmasından dolayı sonuçların hata oranı kabul edilebilir düzeyin üzerine çıkmıştır. Analizi yapan firmanın gönderdiği raporda difüzyon parçasının açık olmasından dolayı ozon verisinin güvenilirliğinin düşük

olacağı da belirtilmiştir. Bu hatayı giderebilmek adına beşinci örnekleme kampanyasında seçilen 5 noktaya difüzyon kapakları kapalı ve açık olarak paralel ozon tüpleri yerleştirilmiştir. 5 istasyonda eş zamanlı ölçülen kapakları açık ve kapalı ozon örnekleri arasındaki korelasyona göre 1,36 düzeltme katsayısı belirlenmiştir. Analizler sonucunda elde edilen ozon verileri bu katsayı ile düzeltilerek sonuçlar bir nebze kabul edilebilir değerlere ötelenmiştir. Bu rağmen ozon sonuçlarının güvenilirliğinin yapılan sistematik hatadan dolayı düşük olduğunu not edilmesi gerekmektedir.



## 2 BULGULAR VE TARTIŞMALAR



### 2.1 Tanımlayıcı istatistikler

Çok istasyonlu ve değişik zaman aralıklarında yürütülen ölçüm kampanyalarının birbiri ile olan ilişkilerinin araştırılmasında tanımlayıcı istatistikler önemlidir. Bu çerçevede veri gruplarının (öncesi ve sonrası olacak şekilde) ortalama, geometrik ortalama, standart sapma, değişim oranı (CoV), çarpıklık, basıklık ve veri aralıkları [min, max] hesaplanarak Tablo 3’de verilmiştir. Bu tablodaki 2014-2015 dönemini (sonrası) temsil eden değerler, beş ayrı kampanyanın ortalama değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 3’de hesaplanan değerlere göre yayalaştırma faaliyetleri öncesinde gözlenen birincil kirleticiler olan NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> parametrelerinin ana kaynağı bölge için trafik olarak belirtilmiştir [2, 6]. Bu iki kirleticinin ortalama değerlerinin uygulama sonrasında yürütülen kampanyaların ortalama değerlerine göre daha düşük olduğu görülmüştür. Buna göre; azot dioksit seviyesi bölge atmosferinde %42 oranında azalmıştır. Kükürt dioksit ise kent arka plan seviyesine gerileyerek neredeyse tamamen giderilmiştir.

Ölçülen kirleticilerden her iki dönemde de izlenen bir diğer parametre ozondur. Ozon ikincil bir kirletici olup, kent atmosferine herhangi bir kaynaktan salınmaz. Atmosferde fotokimyasal oksidasyon sonrasında meydana gelir. Bu süreç bir dizi karmaşık kimyasal dönüşüm zincirinden oluşmaktadır. Dış ortamda ozon seviyesini belirleyen en önemli faktörler; ortamın güneş ışımaya ne ölçüde maruz kaldığı, ortamdaki ozon öncülerinin (mesela azot oksitler ve uçucu organik bileşenler) seviyeleri ve aralarındaki kimyasal denge, ortam sıcaklığı ve ortam nemi seviyesidir. Bu açıdan bakıldığında iki dönem arasında yapılacak bir ozon mukayesesi, bölgenin hava kirliliği profili veya dinamikleri açısından anlamlı bir sonuç vermeyecektir. Buna rağmen, her iki örneklem dönemi incelendiğinde 2014-2015 dönemine karşılık gelen kampanyalarda ozon seviyelerinin önceki döneme göre dikkate değer seviyede yüksek olduğu görülmüştür. Öte yandan sonrası dönemde ozon örneklemelerinde yapılan sistematik örnekleme hatası\* nedeniyle bu değerlendirmenin güvenilirlik seviyesinin düşük olduğunun da not edilmesi yerinde olacaktır.

Bu çalışma kapsamında yürütülen 5 örnekleme kampanyası (sonrası olarak isimlendirdiğimiz dönem) kapsamında yukarıda anılan 3 kirleticiye ilave olarak amonyak ve asit gazlardan HF ve HCl seviyeleri de izlenmiştir (Bakınız: Bölüm 1.2: Örneklem gerekçeleri ve parametre seçimi). Amonyak ve asit gazların bölge atmosferindeki yayılımı normal dağılıma uymaktadır (geometrik ortalama değerleri ortalama değerlerine çok yakın veya eşit, basıklık ve çarpıklık değeri  $\pm 2$  sınırları içerisinde ve CoV değeri  $\leq 25$ ). Bu durumda bölgede bu kirleticilerin sabit bir kaynağının olmadığı çok rahat bir şekilde söylenebilir. Bu kirleticiler hareketli kaynakların emisyonları ile ilgili olabilir. Bu kirleticilerin trafik kaynaklı olup olmadıkları takip eden bölümde detaylı bir şekilde incelenecektir.



Tablo 3. Yayalaştırma projesi öncesi ve sonrası hava kalitesi ölçümlerinin tanımlayıcı istatistik değerleri. Tüm ölçümler



	(2010- 2011)			(2014-2015)					
	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub> *	NH <sub>3</sub>	HF	HCl
Ort. (µg/m <sup>3</sup> )	82	23	9,20	56	3	29	24	2,01	2
Geo. Ort. (µg/m <sup>3</sup> )	79	23	5	54	3	26	24	1,98	2
Std Sap. (µg/m <sup>3</sup> )	22	6	5,28	15	1	19	4	0,42	1
CoV	%27	%25	%57	%30	%20	%50	%20	%21	%21
Çarpıklık	1,22	0,79	-0,07	1,38	-0,26	1,37	0,26	1,05	0,34
Basıklık	1,70	0,79	0,09	2,47	1,09	2,51	-1,29	0,79	0,22
Veri aralığı (µg/m <sup>3</sup> )	[53,6-144,1]	[15,9-38,6]	[0-20,4]	[37,1-101]	[1,5-4,2]	[12,7-71,7]	[18,4-30,8]	[1,4-3,1]	[1,2-3,4]

\* Bu değerler pasif örnekleme yapılırken koruyucu kapaklar açık bırakıldığı için (1,36 katsayısına bölünerek) düzeltilmiştir (Detaylar için bakınız Bölüm 1.5. Karşılaşılan sorunlar ve aksaklıklar). Bu nedenle yapılan ozon analizlerinin örnekleme sürecine bağlı olarak hata ve belirsizlik oranının çok yüksek olduğu göz önünde bulundurulmalıdır

## 2.2 Literatür ve yasal mevzuat

### 2.2.1 Literatür (diğer kentler) değerlendirmesi

Avrupa'nın genel NO<sub>2</sub> profilini ortaya koymak amacıyla yürütülen bir çalışma sonucunda elde edilen bulgulara göre ortalama NO<sub>2</sub> değerleri ortalamaları Kuzey Avrupa da 38,2 µg/m<sup>3</sup>, Batı Avrupa'da 50,1 µg/m<sup>3</sup> ve Avrupa'nın güneyinde 67,2 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte İstanbul tarihi yarımada yürütülen çalışma NO<sub>2</sub> konsantrasyonunun maksimum ve minimum veri aralığı 37,1-101 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Barselona için bu aralık 13.8-109.0 µg/m<sup>3</sup> Londra için 7.3-102.7 µg/m<sup>3</sup> ve Paris için 6.8-96.8 µg/m<sup>3</sup> aralığında olup İstanbul tarihi yarımada bölgesinde ölçülen NO<sub>2</sub> konsantrasyonunun trafiğin oldukça yoğun olduğu diğer Avrupa metropollerine benzer karakterde olduğu söylenebilir. Söz konusunu şehirlerin ortalama NO<sub>2</sub> emisyon değerlerinin ,Barselona (54.7 µg/m<sup>3</sup>), Londra (35.8 µg/m<sup>3</sup>) ve Paris (33.8 µg/m<sup>3</sup>), tarihi yarımada sonrası dönemde ölçülen NO<sub>2</sub> ortalama değerinden (56 µg/m<sup>3</sup>) düşük olmakla birlikte, Barselona şehrine ait ortalama değerine oldukça yakın olduğu söylenebilir [7]. 2010-2011 tarihleri arasında yapılan çalışmada NO<sub>2</sub> ortalama değerinin (86 µg/m<sup>3</sup>) Avrupa'nın bölge ve şehir ortalamalarından oldukça yüksek olduğu tarihi yarımada bölgesinin kısmı yayalaştırma sonrasında ölçülen ortalama NO<sub>2</sub> değerinin azaldığı ancak Avrupa şehirlerine göre hala oldukça yüksek olduğu ortadadır.

Yapılan bazı çalışmalar NO<sub>x</sub> emisyon değerinin trafikteki araç yoğunluğu kadar mevcut araçların hızlarının da bu kirlenici emisyon miktarında etkin olduğunu göstermektedir. Bu ilişkiye göre; araç hızı düştükçe salımı yapılan NO<sub>x</sub> değeri yükselmekte böylece havadaki NO<sub>x</sub> konsantrasyonuna yaptığı katkı artmaktadır [8, 9]. Mevcut bölgedeki genel trafik hızının da ölçülen NO<sub>2</sub> emisyon değerinin yükselmesine katkısının olduğu düşünülmektedir. Bu bölge hem tarihi ve kültürel dokusundan dolayı turistlerin oldukça yoğun bulunduğu hem de kentsel yaşamın oldukça etkin olduğu bir alan olması nedeniyle nerdeyse günün her saati trafik sorunu yaşayan veya trafik yoğunluğu nedeniyle trafiğin oldukça yavaş aktığı bir bölgedir.

Yürütülen çalışmada kükürt dioksit ortalama değeri 2010-2011 yılları ve sonrası için 23 µg/m<sup>3</sup> ve 3 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Bölgede kükürt dioksit değerindeki ciddi düşüş dünya trendlerinde olduğu

gibi kükürt içeriği çok düşük veya kükürtsüz yakıt kullanımının atması ile açıklanabilir. Araçlarda kullanılan benzin kalitesinin iyileştirilmesi ile Avrupa genelinde kükürt dioksit emisyonun azaldığı yapılan birçok çalışma ile ortaya konulmuştur[7]. Bununla birlikte ısınma amaçlı, endüstriyel faaliyetler sonucunda ve kalitesiz benzin kullanımı ile bir miktar SO<sub>2</sub> salımı hala olmaktadır. Avrupa'da yürütülen bir çalışmada 1993- 2009 tarihleri arasında SO<sub>2</sub> trendleri izlenmiş ve kükürt dioksit değerlerindeki düşüş ortaya konulmuştur. İstanbul tarihi yarımada bölgesi SO<sub>2</sub> konsantrasyonunun Barselona (24,6 µg/m<sup>3</sup> – 3 µg/m<sup>3</sup>), Londra (37 µg/m<sup>3</sup> - 2,7 µg/m<sup>3</sup>), Paris (18,8 µg/m<sup>3</sup> -3,4 µg/m<sup>3</sup>) şehirlerinde olduğu gibi %80 civarlarında düştüğü tespit edilmiştir [10]. Tarihi yarımada ölçülen ortalama kükürt dioksit değerinin Avrupa ülkelerine benzer bir davranış ile ciddi anlamda azalma gösterdiği gözlenmiştir.

Yayalaştırma projesi kapsamında ölçümü yapılan NH<sub>3</sub>, HCl ve HF gazları için herhangi bir limit değer bulunmamaktadır. Atmosferik NH<sub>3</sub> emisyonunun temel kaynağı Avrupa'da olduğu gibi ülkemizde de tarımsal faaliyetlerdir [11, 12]. Ancak kent ortamı için temel emisyon kaynakları trafik, endüstriyel faaliyetler, kanalizasyon sistemleri, çöp depolama alanları ve kömürün yakılmasıdır [13]. Trafik kaynaklı emisyonların ise eski teknoloji benzin tüketen araçlar ve seçici katalitik reaktör(SCR) sistemi kullanılan dizel araçlardır. Bu çerçevede İngiltere'de araçların NH<sub>3</sub> emisyonlarının araştırıldığı bir çalışmada en önemli emisyon kaynağının eski nesil katalitik sistemli petrol kullanan araçlar ve SCR sistemine sahip otobüsler olarak belirtilmiştir [4, 14]. Tarihi yarımada bölgesinde sonrası dönemde yürütülen çalışmada NH<sub>3</sub> maksimum ve minimum değer aralığı 18,4 µg/m<sup>3</sup> -30,8 µg/m<sup>3</sup> ortalama değeri ise 24 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. NO<sub>2</sub> konsantrasyon değeri tarihi yarımada bölgesinde sonrası dönemde ölçülen değere çok yakın olan Barselona'da NH<sub>3</sub> değeri 4,5 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüş ayrıca İspanyanın 6 şehrinde yapılan araştırmada en yüksek NH<sub>3</sub> seviyesinin Barselona olduğu belirtilmiştir. Pekin'de yapılan bir araştırmada şehrin ortalama NH<sub>3</sub> değeri 16,6 µg/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Yayalaştırma projesi sonrası ölçülen NH<sub>3</sub> seviyesinin İspanya ve Pekin de ölçülen değerlerden yüksektir. NO<sub>2</sub> seviyesi Barselona şehrine bu kadar yakinken NH<sub>3</sub> seviyesindeki yaklaşık 4 katlık farkın İstanbul'un Tarihi Yarımada bölgesinde İngiltere örneğinde olduğu gibi eski nesil sistemle çalışan araçlardan ve halk otobüslerinden kaynaklanıyor olması muhtemeldir.

Sonuç olarak yapmış olduğumuz mukayeseli literatür araştırmasına göre;

- Yayalaştırma projesi öncesinde AB ülkelerindeki büyük kentlere göre daha yüksek seviyede olan NO<sub>2</sub> değerlerinin gerileyerek AB ortalamalarına yaklaştığı;
- SO<sub>2</sub> düzeyinin son 5 yıl içerisinde tüm AB ülkelerinde olduğu gibi alınan yakıtsal tedbirler sonrasında, kentsel arka plan seviyesine kadar düştüğü ve neredeyse yok denilecek seviyeye kadar indiği;
- Kentsel amonyak seviyesinin ise AB şehirlerinden oldukça yüksek olduğu,
- NO<sub>2</sub> ve NH<sub>3</sub> arasındaki denge dikkate alındığında amonyak yönündeki dengesizliğin; İstanbul'un araç yaşının AB şehirlerine göre daha fazla olmasıyla ve otobüs filolarının trafikte daha ağırlıklı olarak bulunmaları ile ilgili olabileceği belirlenmiştir.

## 2.2.2 Mevzuat (USA, EU, TR) açısından değerlendirme

Yürütülen çalışmada ölçümü yapılan NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> kriter hava kirleticilerinden olup bu kirleticiler için dünya genelinde hava kalitesi için belli limitler getirilmiştir. Avrupa Birliği ülkelerince kabul edilen ve yürürlüğe konulan Avrupa için Hava Kalitesi ve Temiz Hava direktifinde<sup>1</sup> yıllık NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> limiti sırası ile 40 µg/m<sup>3</sup> ve 20 µg/m<sup>3</sup> olarak verilmektedir. O<sub>3</sub> ortalama değerini ise günlük 8 saatlik ortalama limiti 120 µg/m<sup>3</sup> olarak belirtilmektedir. EPA tarafından yayınlanan Amerika Ulusal Hava Kalitesi Standardına (National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)) göre NO<sub>2</sub> anlık limit değeri 53 ppb (~100 µg/m<sup>3</sup>) ve saatlik SO<sub>2</sub> limiti 75 ppb (~200 µg/m<sup>3</sup>), O<sub>3</sub> limiti ise 0,075ppm (~160 µg/m<sup>3</sup>) olarak belirtilmiştir [15]. Dünya Sağlık Örgütü 2005 yılında yayınladığı Hava Kirliliği Yönergesinde O<sub>3</sub> için 8 saatlik ortalama 100 µg/m<sup>3</sup>, NO<sub>2</sub> için anlık ortalama 40 µg/m<sup>3</sup>, saatlik ortalama 200 µg/m<sup>3</sup>, SO<sub>2</sub> içinse 24 saatlik ortalama 20 µg/m<sup>3</sup> olarak belirtilmiştir. Yayalaştırma projesi sonrası ölçülen kriter kirletici konsantrasyonlarının bu limitlerin altında kaldığı belirlenmiştir[16].

2013 yılında yayınlanan Hava Kalitesi ve Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği(HKDYY) genelgesinde belirtildiği üzere 2014 yılından itibaren AB hava kalitesi limitlerine uyum süreci başlatılmıştır. Bu uyum sürecinde göre 2013- 2019 yılları arasında belirlenen kirleticilere ait konsantrasyon değerleri kademeli olarak azaltılacaktır. Yürütülen çalışma 2014 yılı sonunda yapılmış olması nedeniyle bakanlıkça yayınlanan HKDYY'nin 2015 limit değerleri göz önüne alınacak olunursa; SO<sub>2</sub> limiti yıllık ve kış dönemi için 20 µg/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir [17]. Yayalaştırma projesi sonrası SO<sub>2</sub> ortalama(3 µg/m<sup>3</sup>) ve maksimum- minimum değer aralığının (1,5-4,2 µg/m<sup>3</sup>) bu limitlerin oldukça altında kaldığı açıktır. NO<sub>2</sub> yıllık limit ise 56 µg/m<sup>3</sup> olarak belirtilmiştir. Yayalaştırma projesi sonrası NO<sub>2</sub> ortalama değeri yıllık limit değerinde iken; değer aralığı incelendiğinde (37,1-101 µg/m<sup>3</sup>) bazı noktalarda limit aşımı olduğu belirlenmiştir.

## 2.3 Halk sağlığı risk değerlendirmesi

Kent ortamlarında yapılan dış ortam hava kalitesi araştırmaları, azot dioksitin temelde trafik kaynaklı olduğunu ortaya koymaktadır. Literatürde azot oksitlerin halk sağlığı üzerine olan etkilerinin incelendiği çalışmalara bakıldığında bu kirleticinin türevleri arasından özellikle NO<sub>2</sub> kirleticisinin referans alındığı görülmektedir [18]. Bunun temel sebebi, azot oksit türü türevlerinde atmosferik süreç içerisinde azot dioksite dönüşmesidir. Bu çalışmada Tarihi yarımada bölgesinde gözlenen NO<sub>2</sub> seviyelerinin halk sağlığı açısından oluşturdukları muhtemel risk ve tehlikeler için Costa ve diğ. (2014) yaptıkları değerlendirme çalışmasındaki kriterler dikkate alınabilir. Detaylar için okuyucuların ilgili kaynağa bakmaları önerilir [18].

Bu kirleticiyi halk sağlığı açısından kritik bir konuma yerleştiren temel faktörlerden birisi ise son yıllarda diğer kriter kirleticilerin aksine azot dioksit Avrupa ve Amerika'nın bir çok şehrinde azalma değil anlamlı miktarlarda artış göstermektedir. Öte yandan adı geçen referansta verilen bilgilere göre NO<sub>2</sub> seviyesinde azalmaların gözlendiği (mesela İtalya, Roma) şehirlerde, halk sağlığı açısından fark edilebilir seviyelerde iyileşmeler (yola yakın yaşayan kişi başına 3.4 günlük ömür artışı şeklinde) gözlendiği de rapor edilmiştir. Benzer şekilde, NO<sub>2</sub> seviyesindeki her 10 µg/m<sup>3</sup> konsantrasyon artışının bu kirleticinin dolaşım sistemi için oluşturduğu risk seviyesinde, sırasıyla; 15, 15-64 ve 64 üstü yaş grupları için %0,8, %0,5 ve %2,2'lik bir risk artışı anlamına geldiği ifade edilmiştir.

<sup>1</sup> Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe (CAFE) Directive (2008/50/EC)

Hava kalitesi ve halk sağlı arasındaki ilişkiyi değerlendirebilmek için EPA ve diğer evre ajanslarının önerdiği yöntemlerden birisi Hava Kalitesi İndeks (AQI) yöntemidir. Bu yöntem, temelde atmosferde bulunan ve izlenmesi zorunlu olan kriter kirleticilerin seviyelerini bir arada değerlendirmeye yarayan ve muhtemel sinerjik sağlık etkilerinin oluşturacağı risklerle ilişkilendirilebilecek olan bir temel birime dönüştürme mantığına dayanmaktadır. AirNow (USA) tarafında uygulanmakta olan AQI için izlenen bir kirleticinin indeks değerine olan katkısını hesaplamak için çevrim içi çalışan bir hesaplama aracı bulunmaktadır<sup>2</sup>. Tarihi Yarımada bölgesinde kriter kirleticilerden sadece azot dioksit ve ozon izlendiği için AQI değeri tam olarak hesaplanamaz ancak her bir kirleticinin bu indeks değerine yaptıkları katkı ayrı ayrı değerlendirilebilir. Bu çalışmanın amacı trafik kaynaklı kirleticilerin halk sağlığına olan etkileri olduğu için sadece NO<sub>2</sub> için ölçülen seviyelerin AQI değerine olan katkıları hesaplanmıştır. Buna göre Bölgedeki veri grubunun yüzdelik dilimlerine karşılık gelen NO<sub>2</sub> değerlerinin AQI katkıları Tablo 4’da verilmiştir. Bu değerlere göre iyi hava kalitesi sınırı olan 50 skoruna sadece azot dioksit tek başına önemli bir katkı yapmaktadır. Mesela; veri dağılımının dörtte biri olan %25’lik yüzdelik değeri için, yani her dört istasyon noktasından en az birisinde iyi hava kalitesi sınır değerinin aşılması noktasında sadece NO<sub>2</sub> tek başına +42 oranında katkıda bulunmaktadır. Bu indekse diğer kriter kirleticilerin katkılarının da eklenmesi gerektiği unutulmamalıdır. Ayrıca bizim buradaki değerlendirme de kullandığımız ortalama değerler haftalık ortalamalardır, aslen kullanılması gereken değer saatlik ortalamalar olduğundan, elde edilen bulguların sadece fikir verme amaçlı olabileceği unutulmamalıdır. Saatlik ortalamaların her zaman uzun dönem ortalamalarından çok daha yüksek olması gerektiği not edilmelidir.

**Tablo 4. NO<sub>2</sub> için ölçülen seviyelerin AQI değerine olan katkıları**

Yüzdelik dilimi	NO <sub>2</sub> seviyesinin (μg/m <sup>3</sup> )	AQI indeksine olan katkı
25%	45	21
50%	53	26
75%	62	31
97%	98	49

Tablo 4’de verilen yüzdelik dilimler incelendiğinde, bölge için arka plan kabul edebileceğimiz seviyenin (%25’lik dilim) hali hazırda limit değeri aştığını görmekteyiz. Buna göre bölgenin genel olarak (bir istasyon noktası hariç tüm bölge) halk sağlı açısından risk oluşturduğu söylenebilir.

Tek başına sadece trafik kaynaklı kirleticilerden olan azot dioksit değerleri için bir halk sağlığı risk değerlendirmesi yapmak da mümkündür. Avrupa Birliği tarafından uygulanan NO<sub>2</sub> yıllık ortalama limit değeri, 40 μg/m<sup>3</sup>, halk sağlığı kriterlerine göre belirlenmiştir. Bizim örneklerimizde pasif yöntemle toplandığı için (yukarıdaki AQI bahsinde kullanılan saatlik ortalama değerinden daha çok) yıllık ortalama seviyesine yakındır. Bu nedenle risk değerlendirmesinde yıllık ortalamaları esas alan sınır değerlerin referans alınması daha doğru bir yaklaşım olacaktır. AB’nin sınır değeri referans alındığında Tarihi Yarımada bölgesinde hava kalitesi risk bölgeleri bilimsel açıdan daha doğru bir şekilde tanımlanabilir. Burada izlediğimiz değerlendirme yöntemi benzer bir çalışmada uygulanmış [19] ve ülkemizin hava

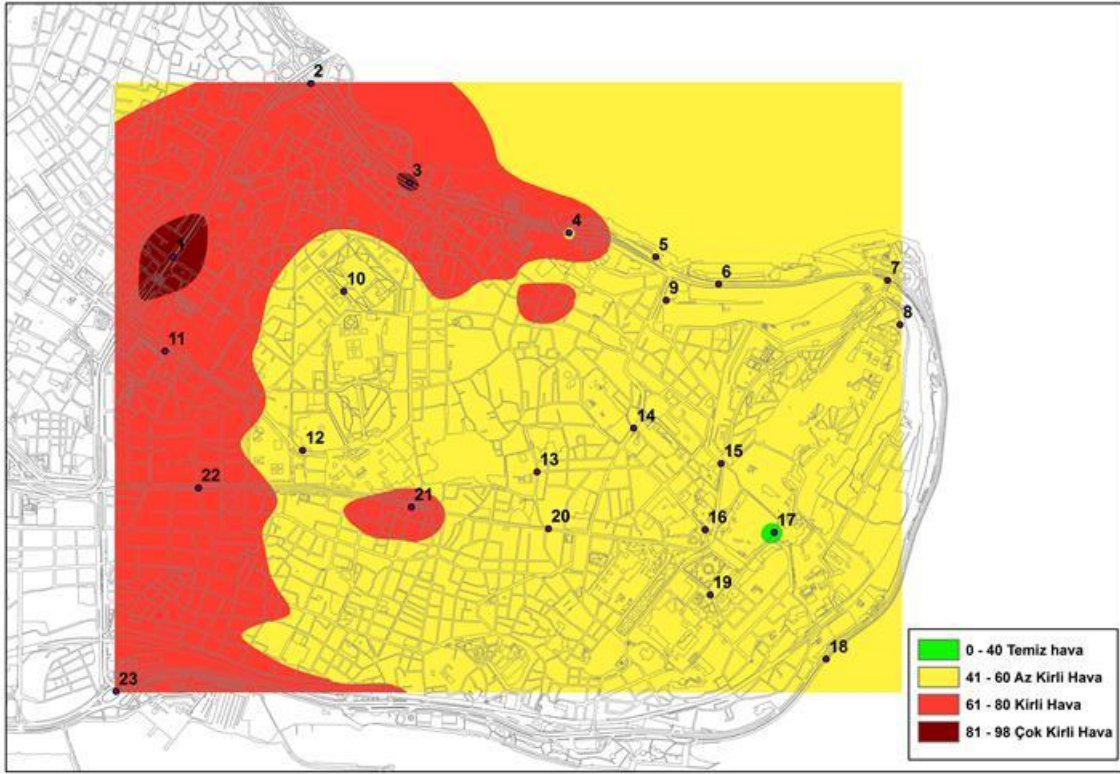
<sup>2</sup> AQI Calculator: Concentration to AQI

kalitesinin atmosferik partikül madde seviyeleri açısından araştırılması için kullanılarak elde edilen bulgular yayınlamıştır. NO<sub>2</sub> için risk seviyeleri sınır değerinin %50, %100 ve üzeri aşıldığı durumlar referans alınarak Tablo 5’de sınıflanmıştır. Bu sınıflandırma kullanılarak bölgenin NO<sub>2</sub> seviyeleri risk gruplarını ifade edecek şekilde bölgelere ayrılmıştır. Burada kullanılan NO<sub>2</sub> yüzey yayılım modeli takip eden bölümde CBS sistemi kullanılarak Co-Kriging tekniği ile oluşturulmuştur (Şekil 2). Detaylar için bakınız: Bölüm 2.6. Yüzey yayılım modellemesi.

**Tablo 5. Tarihi Yarımada bölgesi için bu çalışmada referans alınan hava kalitesi tanımlamaları**

NO <sub>2</sub> seviyeleri [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Hava Kalitesi Tanımlama
<40	Temiz hava
40-60	Az kirli hava
60-80	Kirli hava
>80	Çok kirli hava

Şekil 2’de Tarihi yarımada üzerindeki pasif örnekleme yoluyla izlenen azot dioksit seviyelerinin esas alındığı ve bölge üzerinde yapılan risk sınıflandırması gösterilmiştir. Bu şekilden de görüleceği üzere sadece bir noktada (17 nolu örnekleme noktası yani Topkapı Sarayının giriş bölgesi) hava kalitesi açısından temiz hava sınıfına girmektedir. Unkapanı ve Eminönü noktalarındaki istasyonların etrafında kalan alanlar ise (1 ve 3 numaralı) bölgedeki en kirli ve riskli dış ortam hava sahasının olduğu sıcak alanlardır. Bölgenin kirli hava olarak tanımlanmış olan bölgesi ise Tarihi yarımada tam da yerleşim alanlarının bulunduğu bölgelerin üzerinde gözlenmektedir. Bu bölgelerde trafik kaynaklı kirliliğin istenmeyen seviyede yüksek olması yerleşim alanlarını çevreleyen ve yüksek trafik yoğunluğuna sahip ana ulaşım arterleridir (E5 ve Yenikapı ve Eminönü İskeleleri arası). Yayalaştırma projesinin bu az kirli hava bölgesi içerisinde kaldığı görülmektedir. Bu nedenle bölgede uygulanan yayalaştırma projesinin en azından tarihi ve turistik faaliyetlerin yoğun olduğu bu bölge üzerinde olumlu bir etkisinin olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 2. Tarihi Yarımada NO<sub>2</sub> kirliliği risk bölgeleri

## 2.4 Kirleticilerin kaynaklarının belirlenmesi

Bu çalışmada ölçümleri yapılan 6 kirleticinin muhtemel ortak kaynakları korelasyon analizi ve faktör analizi kullanılarak araştırılmıştır (source apportionment study). Bu iki yöntemin sonuçlarının birlikte değerlendirilmesine dayalı olan yöntem harici literatürde en sık kullanılan yöntemlerdendir [20-23].

İlk olarak 2014-2015 döneminde ölçülen kirleticilerin bir birleri ile olan ilişkilerinin anlaşılabilmesi için veri grubunun korelasyon tablosu hesaplanarak Tablo 6'de verilmiştir. Burada raporlanan değerler Person korelasyon katsayılarıdır (R). Değer bire (1) yaklaştıkça çok kuvvetli doğrusal bir ilişki ifade ederken; katsayının eksi bir (-1) değerine yaklaşması aralarında ters bir ilişki olduğunu gösterir. Yani, eğer iki parametre arasında kuvvetli bir pozitif ilişki varsa bunların ortak bir kaynaktan yayılması veya ortamda benzer davranışları göstermesi muhtemeldir denilir. Öte yandan aralarında negatif bir ilişki olması birinin diğerini ortamdaki uzaklaştırdığı (titration) veya oluşmasına neden olduğu (formation), ya da tamamen farklı kaynaklardan ortama yayıldıkları sonuçları çıkarılabilir.

Bu değerlendirmeye göre azot dioksitinin en ilgili olduğu kirletici 0,46 ilişki katsayısı ile amonyaktır. Öyle görülüyor ki bu ikili tarihi yarımada üzerinde benzer ve ilgili bir yayılım ve dağılım özelliği göstermektedirler. Ancak aralarındaki ilişimin p değeri 0,012 olup bu ilişki seviyesinin orta şiddette olduğunu düşündürmektedir. Sonuç olarak bu iki kirleticinin tamamen aynı kaynaklardan yayıldığını söylemek veya tamamen benzer bir davranış gösterdiklerini iddia etmek için yeterli bir istatistiksel bulgu yoktur. Daha doğru yaklaşım bunların kısmen ilgili olabilecekleri veya her iki grubun ortak bazı emisyon kaynaklarının olabileceği şeklindedir. Mesela trafik içinde önemli rol oynayan

otobüslerin hem amonyak hem de azot dioksit yaymaları ancak yeni teknoloji ile çalışan araçların sadece azot dioksit yaymaları durumunda olduğu gibi. NO<sub>2</sub> kirleticisi ise negatif korelasyon gösteren kirleticiler ise HF ve ozondur.

Ozonun atmosferde fotokimyasal oksidasyonun bir yan ürünü olarak ortaya çıktığı ve azot oksitleri titre ettiği yani giderdiği bilinen bir reaksiyondur [24].[24]. Esasen bu reaksiyon tek yönlü olmadığı için her zaman bu şekilde de sonuçlanmamakta, bazen ozon oluşumu sonrasında tekrar azot oksit oluşumları da gözlenmektedir. Atmosferde ozon dengesi oldukça kompleks dinamikler ve reaksiyonlarla değişmektedir. Burada elde edilen bu negatif ilişki bölge atmosferinde gözlenen ozon seviyelerinin bölgedeki azot oksit seviyeleri ile negatif ilgili olduğunu yani azot oksit miktarı arttıkça ozon seviyesinin azaldığını veya ozon seviyesi arttıkça azot oksit seviyesinin azaldığını göstermektedir. Bu önerilerden ikinci atmosferik reaksiyonlar açısından kabulü daha mantıklı olan bir öneridir. Yani bölgede gün içerisinde fotokimyasal oksidasyonun etkisi ile azot dioksit ozona dönüşmektedir. Netice olarak da azot dioksit değerleri azalırken ozon seviyeleri yükselmektedir. Reaksiyon ne kadar kuvvetli ve etkili olursa NO<sub>2</sub> seviyesi de o denli azalmakta ve ozon seviyesi artmaktadır.

HCl ve HF türü asidik gazlarında benzer şekilde ozon oluşum ve giderim reaksiyonlarında etkin oldukları bilinmektedir [24]. Bu kirleticilerin tipik kaynağı ise endüstriyel faaliyetlerdir ve trafikten çok etkin bir şekilde atmosfere salınmazlar. Her iki gazın da ozona benzer şekilde NO<sub>2</sub> ve HN<sub>3</sub> değerleri ile negatif ilişki göstermeleri, bu kirleticilerin bölge atmosferinde azot dioksit ve amonyak ile ortak bir kaynaktan yayılmadıklarını hatta bunların azalmasına neden olduklarını göstermektedir. Korelasyon analizi sonuçlarına göre;

- NO<sub>2</sub> ve NH<sub>3</sub>'ün ortak kaynaklarının olabileceğini (benzer davranış gösteriyorlar),
- Ozon seviyelerinin bunlardan kaynaklı artış gösterebileceğini,
- Asit gazların da endüstriyel kaynaklardan yayılması gerektiği ve bölgede etkin bir endüstriyel kaynak olmadığı için; bölgeye taşınmış olabileceklerini (urban background)
- Dolayısıyla NO<sub>2</sub> ve NH<sub>3</sub>'ün bölgedeki emisyon kaynaklarının ağırlıklı olarak trafik kaynaklı olması gerektiğini söylenebilir.

Korelasyon analizi verilerin davranışlarına önemli ölçüde ışık tutmasına rağmen veri davranışını ve etkin faktör gruplarını anlayabilmek için bu bölümde Faktör Analizi yapılmıştır. Ancak Faktör analizi öncesinde veri setinin bu analize uygunluğunu araştırmak için Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) ölçütü hesaplanmış (0,47) ve Bartlett'in testi uygulanmıştır (p =0,02<). KMO ölçütünün tatmin edici bir Faktör Analizi için 0,5 değerinden büyük olması beklenir, bizim değerimiz bu seviyeye oldukça yakın fakat küçüktür. Bu durumda parametrelerden birisinin kaynak araştırmasında veri bütünlüğünü bozan bir davranış gösterdiği düşünülebilir. Zira Bartlett test sonucuna göre korelasyon matrisinin tanımlama matrisine %95 güven aralığında benzer olmadığı görülmüştür. KMO seviyesinin güvenli bir seviyeye çekilebilmesi için analizin doğasına uygun olmayan bir parametre varsa bunun çıkarılması, yapılacak analiz sonucunun daha doğru olmasını sağlayacaktır. Ölçülen parametrelerden sadece ozon birincil kaynaklı bir kirletici değildir. Bir kaynak araştırmasında bu parametreye bakılması veya bu parametrenin FA analiz grubuna koyulması veri setinin kaynak araştırmasına yönelik anlamını bozabilmekte ve netice de ortaya daha düşük seviyeli bir KMO değerinin çıkmasına neden olabilmektedir. Ozon ölçümleri FA veri grubundan çıkarılıp tekrar Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) ölçütü

hesaplandığında ve Bartlett'in testi yapıldığında değerlerin 0,54 ve 0,005 olarak güvenilir bir seviyeye ve daha iyi bir istatistiksel güven düzeyine çıktığı görülmüştür.

Yapılan Faktör Analizinde Eigenvalue değeri 1 ve üzerinde olan faktörler Varimax rotasyonu sonrasında hesaplanmış ve tüm veri değişimindeki varyasyonun %72'si iki bileşenle açıklanabilmiştir. FA sonucuna göre hesaplanan bileşen değerleri her iki bileşen için bir matris grafiği içerisinde Şekil 3'de gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre NO<sub>2</sub> ve NH<sub>3</sub> parametreleri oldukça yüksek faktör yüklenme skorları alarak aynı faktör grubuna düşmüş ve tüm veri setindeki değişim %42'isini tek başına açıklayabilmiştir. Bu ikilinin Tarihi Yarımada bölgesi için ortak kaynağının trafik olduğu söylenebilir. Diğer bileşen ise SO<sub>2</sub> ve HCl'in birlikte buldukları iki nolu bileşendir. Bu grubun ortak emisyon kaynağı ise fosil yakıt yanması ile ilgili olduğundan [25, 26] trafik harici bölgedeki ikinci muhtemel ve minör hava kirliliği kaynağı olan evsel ısınma olarak belirlenmiştir. HF kirleticisi ise herhangi bir faktör grubu ile eşleştirilmemiştir.

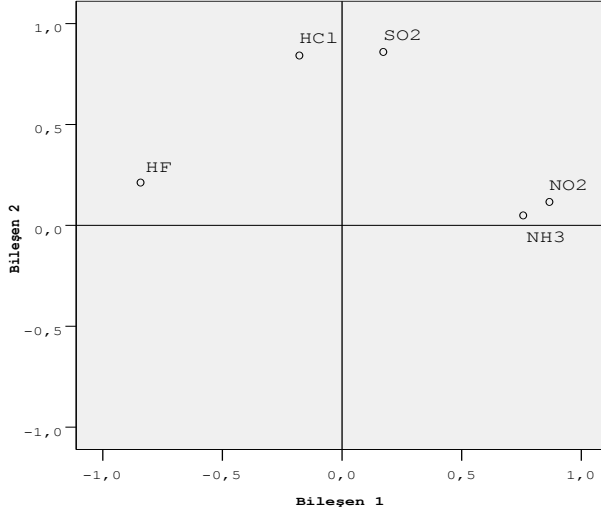
Bu bölümde yapılan kirleticilerin kaynak ilişkilerinin araştırılmasına yönelik yapılan analizlerin sonuçları şu şekilde özetlenebilir;

- Tarihi Yarımada bölgesinde izlenen kirleticilerden NO<sub>2</sub> ve NH<sub>3</sub> ağırlıklı olarak trafik kaynaklıdır. Ancak trafiğin farklı unsurları tarafından farklı oranlarda atmosfere salınmaktadır. Bu durumda FA sonucuna göre bu iki kirleticinin ortak kaynaklarının trafik olduğu (mesela; tüm taşıtlardan NO<sub>2</sub> yayılması), ancak ilgileşim değerleri incelendiğinde her taşıtlardan aynı oranlarda salınmadıkları (yani birisinin daha fazla veya daha az salınması durumu, mesela; otobüslerden daha fazla amonyak yayılırken benzinli araçlardan daha fazla azot dioksit yayılması gibi) anlaşılmıştır.
- SO<sub>2</sub> ve HCl değerlerinin ağırlıklı olarak ortak kaynaktan (evsel ısınma) geldiği ve muhtemel kaynaklarının fosil yakıtların yakılması işlemine dayalı bölgedeki kömür kullanımı olduğu belirlenmiştir.
- Ölçümü yapılanlar arasında ozon ile ortak kaynağı olan bir kirleticinin olmadığı, bu kirleticinin diğerlerinin aksine atmosferde ikincil yollarla meydana geldiği ve bu süreç esnasında atmosferdeki azot dioksitin giderilmesine de katkıda bulunduğu belirlenmiştir.
- HF diğer kirleticilerden hiç birisi ile temel de ortak kaynağı olmayan, trafik grubu ile ters orantılı olarak artış veya azalma gösteren ve bölge atmosferine başka yerlerden taşınarak veya arka plan oluşturacak şekilde doğal yollarla biriktiğini düşündüğümüz bir kirleticidir.

**Tablo 6. 20014-2015 döneminde ölçülen parametrelerin korelasyon tablosu**

	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>	HF
NO <sub>2</sub>					
SO <sub>2</sub>	0,08				
O <sub>3</sub>	-0,57	0,22			
NH <sub>3</sub>	0,46	0,10	-0,05		
HF	-0,61	0,17	0,35	-0,45	
HCl	-0,10	0,14	0,10	0,00	0,19





Şekil 3. Faktör Analizi bileşen matrisi

## 2.5 Kampanyalar arası NO<sub>2</sub> ilgileşim seviyeleri

Bu bölümde yapılan analizler, örnekleme dönemleri arasında trafik kaynaklı tipik emisyon olan azot dioksit verisinin bir birleri ile ne ölçüde benzeşim gösterdiklerini araştırmak amacıyla yapılmıştır. Buradaki temel hipotez örnekleme dönemleri arasında trafik kaynaklı bölgesel hava kalitesinde veya emisyon değerlerinde anlamlı bir değişim olup olmadığının araştırılmasıdır. Bu çerçevede iki temel istatistiksel analiz yapılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda sırasıyla tartışılmıştır.

Örnekleme istasyonları tüm analiz süreçlerinde aynı noktalar olduğu ve toplanan örnek sayısı da (kayıp ve DL (Detection Level) altı ölçümler ihmal edildiğinde) bir birine eşit olduğu için sonuçların farklı kampanya dönemleri arasındaki davranış benzeşimleri (veya ilgileşimleri) Pearson korelasyon katsayıları (R) yardımıyla net olarak anlaşılabilir. Ancak, bu analiz kampanyalar arasında ortalama değerlerin veya ölçüm değişimlerinin (varyans) ne ölçüde benzeştiğini açıklamak için yeterli olmayacaktır. Takip eden bölümde ise bu ölçümlerin ortalama ve varyans ilişkileri değerlendirilecektir. Bu kapsamda ilk olarak parametreler arasında çaprazlama olarak hesaplanan korelasyon tablosu Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7'de elde edilen sonuçlara göre Tarihi Yarımada yayalaştırma projesi öncesinde ölçülen azot dioksit değerleri 2014-2015 döneminde yani yayalaştırma projesi sonrasında yapılan analizlerle düşük seviyede ilgileşim göstermiştir. İlgileşim değerleri 0,48 ila 0,58 bandında değişim göstermektedir. Bu durum bölgede trafik emisyonları ve trafik kompozisyonunda veya daha genel bir ifade ile bölgenin trafik kaynaklı kirlilik profilinde anlamlı bir değişimin gözlemlendiğini ortaya net olarak koymaktadır. Öte yandan 2014-2015 döneminde yani yakın zamanda yapılmış olan 5 ayrı örnekleme kampanyasının korelasyon sonuçları 0,87-0,98 bandında (çok kuvvetli) bir ilgileşim seviyesi göstermişlerdir. Bu durum bölgede yayalaştırma sonrası ölçüm yapılan dönemlerde ağırlıklı olarak trafik kaynaklı olduğunu düşünülen NO<sub>2</sub> seviyelerinin ve değişimlerinin yüksek seviyede ilgileşim gösterdiğini ortaya koymuştur.

Tablo 7. Tüm ölçüm kampanyalarının NO<sub>2</sub> değerleri arasındaki korelasyon değerleri

	2010- 2011	2014 #1	2014 #2	2014 #3	2014 #4	2014 #5
<b>2010- 2011</b>	1,00					
<b>2014 #1</b>	0,52	1,00				
<b>2014 #2</b>	0,48	0,87	1,00			
<b>2014 #3</b>	0,48	0,90	0,97	1,00		
<b>2014 #4</b>	0,58	0,91	0,97	0,98	1,00	
<b>2014 #5</b>	0,55	0,91	0,94	0,97	0,98	1,00

Alt atmosfer bölgesinde (troposfer) NO<sub>2</sub>, NO ve O<sub>3</sub> arasındaki temel fotokimyasal reaksiyon döngüsü üç temel süreçle dönüşüm denklemi ile tanımlanabilir;

Yukarıda yapılan analize ilave olarak t-test analizleri yapılmak sureti ile örnekleme dönemlerinin sonuçlarının birbiri ile ne ölçüde benzeştikleri araştırılmıştır. Buna göre örnek çiftleri arasında karşılıklı olarak iki örnekli eşit olmayan varyans (two samples assuming unequal variances, heteroscedastic) analizi yapılmış ve hesaplanmış olan, P(T<=t) two-tail, değerleri Tablo 8'de verilmiştir. Tabloda verilen ve anlamlılık değeri olan bu değerler 0,05'den küçük olduğu zaman iki grup arasında anlamlı bir fark vardır denilebilir. Bu değerlere göre; yayalaştırma projesi öncesindeki ölçümlerin (2010-2011) uygulama sonrasındaki tüm ölçüm kampanyaları ile %95 güven aralığında istatistiksel anlamda farklı olduğu belirlenmiştir. 2014 1 nolu kampanyanın (uygulama sonrası ilk ölçüm) sonraki tüm kampanyalarla istatistiksel açıdan benzeşim gösterdiği, ya da daha teknik bir ifade ile; birbirlerini temsil edilebilecek benzerlikte veri grupları oldukları sonucuna varılmıştır.

Tablo 8. Tüm ölçüm kampanyalarının NO<sub>2</sub> değerleri arasındaki t-test sonuçları

	2010- 2011	2014 #1	2014 #2	2014 #3	2014 #4	2014 #5
<b>2010- 2011</b>						
<b>2014 #1</b>	0,00					
<b>2014 #2</b>	0,00	0,37				
<b>2014 #3</b>	0,00	0,07	0,04			
<b>2014 #4</b>	0,00	0,05	0,11	0,00		
<b>2014 #5</b>	0,00	0,10	0,19	0,00	0,34	

Yukarıda detaylı bir şekilde verilen korelasyon ve t-testi analiz sonuçlarına göre elde edilen temel bulgular şunlardır;

1. Tarihi yarımada bölgesinde trafik kaynaklı hava kirliliği profilinde, yayalaştırma projesi öncesi ve sonrasında, noktasal kirlilik seviyelerinde ve kirliliğin yer seviyesi yayılımı profilinde anlamlı değişimler olduğu belirlenmiştir.
2. Yayalaştırma sonrası yapılan ölçümlerin (5 kampanya) ölçüm sonuçları birbirlerini temsil edebilecek düzeyde benzer ve ilgilidir. Dolayısı ile genel değerlendirmelerde bu 5 kampanyanın ortalama değerleri proje sonrası NO<sub>2</sub> değerleri olarak kullanılabilir.

## 2.6 Yüzey yayılım modellemesi

Çok istasyonlu verilerin kullanılmasıyla üretilen yüzey yayılım haritaları, son yıllarda Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) ve bu sistemlerde kullanılan modellerin gelişmesiyle oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlayan risk değerlendirme araçlarıdır. Halk sağlığı etkileri başta olmak üzere bir bölgede yaşayan insanların veya çevresel unsurların hava kalitesinden nasıl etkilendiklerinin araştırılmasında, genel olarak kullanılan üç unsur vardır. Bunlardan birisi maruziyet seviyeleri, diğeri riskin ortaya çıkma olasılığı veya prevalansı ve üçüncü olarak da ortaya çıkacak tehlikenin oluşturacağı etki ve şiddetidir. Bunların arasında hava kalitesi açısından araştırılması ve raporlanması en önemli olan faktör bölgenin hava kalitesi raporları ve kirlilik seviyesinin yer seviyesindeki yayılım ve davranış özellikleridir. Bu suretle, mesela yaşam alanlarında veya yoğun nüfus olan bölgelerdeki, maruziyet seviyeleri anlaşılabilir ve muhtemel riskler belirlenebilir. Dolayısıyla bölgelerin hava kalitesini görsel olarak açıklayan yüzey yayılım haritaları, risk seviyelerinin ölçülmesi ve kantitatif veya kalitatif olarak değerlendirilebilmesi için oldukça etkin araçlardır.

Araştırmanın bu bölümünde izlenen kirleticilerin CBS üzerinde Co-Kriging yöntemi ile yüzey modellemesi yapılmış ve elde edilen bulgular risk değerlendirmesi kapsamında kullanılmıştır. Kullanılan yöntemin tüm detayları Karaca'nın [2] yaptığı referans çalışmada bulunmaktadır. Detaylar için okuyucuların bu kaynağı incelemeleri önerilir. Bu raporda yöntemin detaylarına fazlaca değinilmeyecek ancak yapılan analizlerin daha rahat anlaşılabilmesi için uygulanan metodun ana hatları ve genel prensipleri verilecektir. Buna göre Co-Kriging yöntemi ile trafik kaynaklı kirleticilerin yüzey yayılımının başarılı bir şekilde modellenmesi amacıyla ilk olarak bölgenin trafik yoğunluk seviyeleri belirlenmiştir. Sonrasında yayalaştırma projesinin öncesi ve sonrasının anlaşılabilmesi için yüzey yayılım modeli çalıştırılarak bölgesel kirlilik haritaları oluşturulmuştur.

### 2.6.1 Kalitatif trafik değerlendirmesi

Yüzey yayılım modellemesinde ihtiyaç duyduğumuz trafik emisyon verilerinin oluşturulması oldukça zor ve detaylı bir iştir. Bu çalışmada daha genel ve kalitatif bir yaklaşım kullanılarak bölge için muhtemel olan bir trafik emisyon haritası yerine bölgenin trafik yoğunluğu bilgisi kullanılmıştır. Bu haritanın çıkarılması için İstanbul Trafik Koordinasyon Merkezinden (TKM)<sup>3</sup> 2010 ve 2014 yılına ait trafik sayım verileri kullanılmıştır. Aynı zamanda EMBARQ'nın daha önce bölge için hazırladığı yayalaştırma projesi raporundaki [27] ölçüm değerleri de referans alınmıştır.

Trafik altlığı oluşturulurken anılan sayım ve ölçüm verileri kullanılmış ve her yol için ölçülen araç sayıları o yola ait trafik yoğunluğu değeri olarak CBS sistemine girilmiştir. Sonrasında CBS Kernel algoritması kullanılarak taşıt sayılarının esas alındığı "kalitatif trafik yükleri haritası" oluşturulmuştur. Bu haritanın gerçek emisyon değerlerinden farklılıklar arz edebileceği unutulmamalıdır. Burada izlediğimiz yöntem temelde emisyon kaynaklarının ve olası şiddetlerini belirlenmesi ve bu verinin takip eden bölümdeki model için bir altlık olarak kullanılabilmesidir. Daha detaylı olarak hesaplanacak emisyon değerleri kullanılarak ( mesela trafikteki araçların detaylı özellikleri, kilometre başına hız değerleri, motor tipleri, vs) daha yüksek doğrulukta altlık üretmek de mümkündür. Ancak bu çalışma için yeterli veri olmadığı için bu detayda bir çalışma yapılamamıştır. Co-Kriging yöntemi buradaki trafik yoğunluğu haritasını altlık (yardımcı verileri) olarak kullanacak ve enterpolasyon yaparken bu

<sup>3</sup> <http://tkm.ibb.gov.tr/yoldurumu/yogunlukharitasi.aspx>

haritayı bir emisyon kaynağı haritası gibi değerlendirmek sureti ile dikkate alacaktır. Dolayısıyla kullanılan altlığın kantitatif olarak doğru sayısal değerlerde olmaması anlamlı bir hata oluşmasına neden olmayacaktır. Bu nedenle bölgenin potansiyel trafik yükleri için için kalitatif (0-1 aralığında) bir emisyon kaynağı (trafik yoğunluğu) haritası üretilmiştir ve Şekil 4'te gösterilmiştir. Bu harita 10 m çözünürlükte olup trafik için etkin emisyon yayılım mesafesi 175 m olarak alınmıştır.

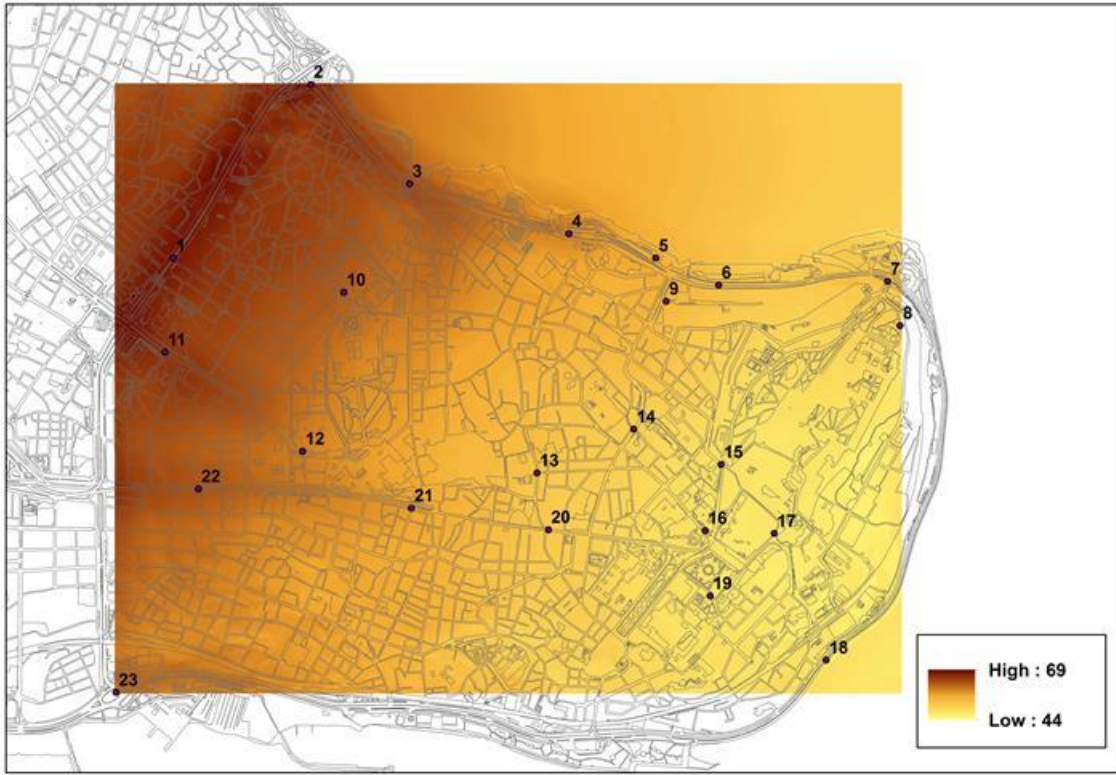


Şekil 4. Tarihi Yarımada'nın trafik yoğunluğu haritası

### 2.6.2 Kirleticilerin yayılımı (Co-Kriging)

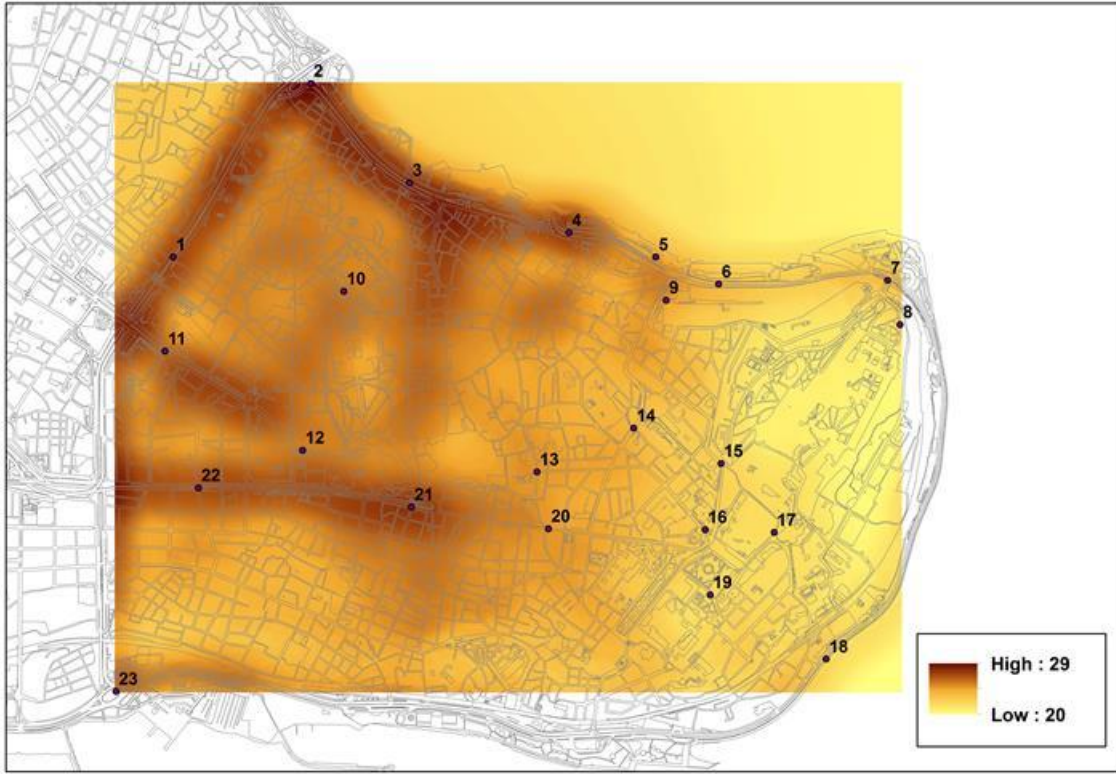
Bu çalışmanın amacı İstanbul Tarihi Yarımada bölgesinde trafik kaynaklı kirleticilerin durumunun ve muhtemel etkilerinin değerlendirmesidir. Bu nedenle önceki bölümlerde trafik kaynaklı olduğu net bir şekilde ortaya konulmuş olan azot dioksit ve amonyak için yer seviyesi yayılım haritaları çıkarılmıştır. Bu haritalarda referans altlık olarak i) bölgenin trafik yoğunluğu verisi ve ii) topoğrafya verisi kullanılmıştır. Trafik yoğunluğunun gerekliliği ve nasıl hazırlandığı önceki bölümde açıklanmıştır. Topoğrafya ise kirliliğin bir bölgede yayılması için ikinci seviye de önem arz etmektedir. Zira kirleticiler bir akışkan oldukları için (hava içerisindeki davranışları açısından) bir bölge üzerinde yayılım gösterirken o bölgenin yer seviyesi özellikleri ne göre davranabilmektedirler. Mesela vadilerde daha fazla kirlilik birikimi olurken, yüksek ve açık alanlarda kirlilik daha kolay bir şekilde dağılabilmektedir. Bir kanyon içerisinde ortama salınan kirlenici ilk olarak kanyon içerisinde yayılmakta sonrasında kanyonun dışına taşmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada Co-Kriging yönteminin ikinci referans altlığı bölgenin topoğrafyası olarak kullanılmıştır.

Şekil 5'te 2014 dönemi yer seviyesi NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) dağılım değerleri verilmiştir. Burada elde edilen bulgular incelendiğinde Tarihi Yarımada'nın uç kısmı olarak tabir edebileceğimiz 7 ve 8 numaralı istasyonların olduğu bölge ve antik sit alanına yakın olan 15, 16 ve 17 numaralı istasyonların bulunduğu bölgeler, azot dioksit kirliliği açısından en düşük seviyelerin gözlemlendiği bölge olarak görülmektedir. Yayalaştırma projesinin uygulandığı bölgelerde de benzer şekilde trafik kaynaklı bu kirleticinin nispeten düşük seviyeli olduğu söylenebilir. En yüksek kirlilik düzeylerinin, trafiğinde en yoğun olduğu 1 ve 2 numaralı istasyonların bulunduğu Unkapanı hattı; 2, 3 ve 4 numaralı istasyonların bulunduğu Galata Köprüsü'ne uzanan yol hattı; ve 22 ve 23 numaralı istasyonların bulunduğu Laleli ve Yedikule yol hatları olduğu görülmektedir. Bölgenin kuzey tarafında bulunan yerleşim alanları ise trafik kaynaklı NO<sub>2</sub> seviyelerinden en çok etkilenen bölge olarak belirlenmiştir.



Şekil 5. 2014 dönemi yer seviyesi NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) dağılım değerleri

Şekil 6'da 2014 dönemi yer seviyesi NH<sub>3</sub> (µg/m<sup>3</sup>) dağılım değerleri verilmiştir. Burada elde edilen değerler azot dioksit verisi ile benzerlik arz etmektedir. Ancak bu haritadaki veri dağılım aralığını çok dar bir alanda gözlemlendiğinin (20-29 µg/m<sup>3</sup>) özellikle not edilmesi gereken bir durumdur. Her ne kadar şekil üzerinde sanki yolların olduğu bölgelerde seviyeler yüksek gibi görünse de bu kirleticinin bölge atmosferinde azot dioksit oranla daha homojen bir dağılım gösterdiğini söylemek gerekir. Amonyak emisyonları da azot dioksit benzer şekilde bölgedeki aktif uç trafik bölgesinde ve yol çevresinde yoğunlaşmaktadır. Trafiğe kapalı alanlardaki seviyelerin düşüklüğü dikkat çekmektedir.

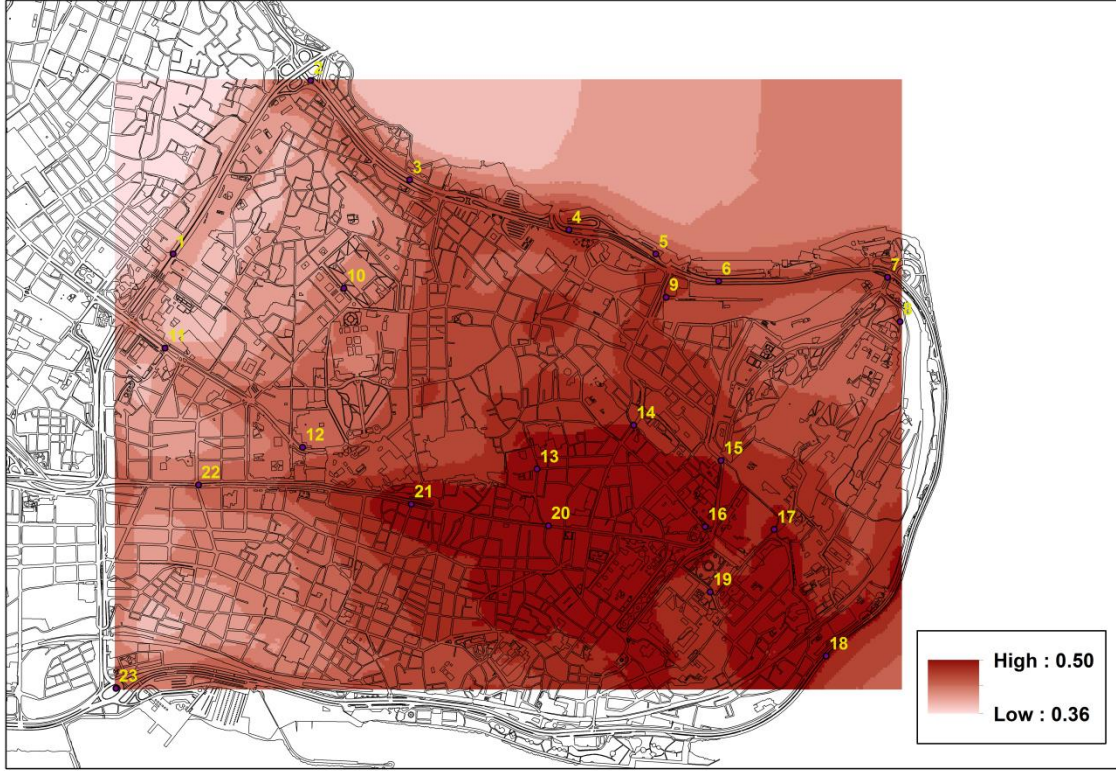


Şekil 6. 2014 dönemi yer seviyesi  $\text{NH}_3$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dağılım değerleri

### 2.6.3 Araç profili ve trafik akışının kirlilik etkileri

Çalışmanın bu bölümü bölgede gözlenen amonyak ve azot dioksit seviyeleri arasındaki farkların değerlendirilmesi yoluyla bölgedeki muhtemel araç profillerinin etkilerini araştırmaya yönelik değerlendirmeleri içermektedir. Daha önceki bölümlerde bahsedildiği üzere özellikle eski teknoloji benzinli araçların ve SCR teknolojisi ile çalışan otobüslerin amonyak emisyonlarının yüksek olduğu belirtilmişti. Buna göre bölgede yüzey yayılım özellikleri belirlenen  $\text{NH}_3$  değerlerinin  $\text{NO}_2$  değerlerine bölümüyle elde edilen oranlar, hangi noktalarda daha fazla amonyak salımı yapan araçların aktif ya da fazla olarak bulunduğunu ortaya koyabilecek bir parametredir. Buna göre  $\text{NH}_3/\text{NO}_2$  oranları hesaplanarak bu değerlerin bölgedeki dağılım haritası Şekil 7’de verilmiştir.

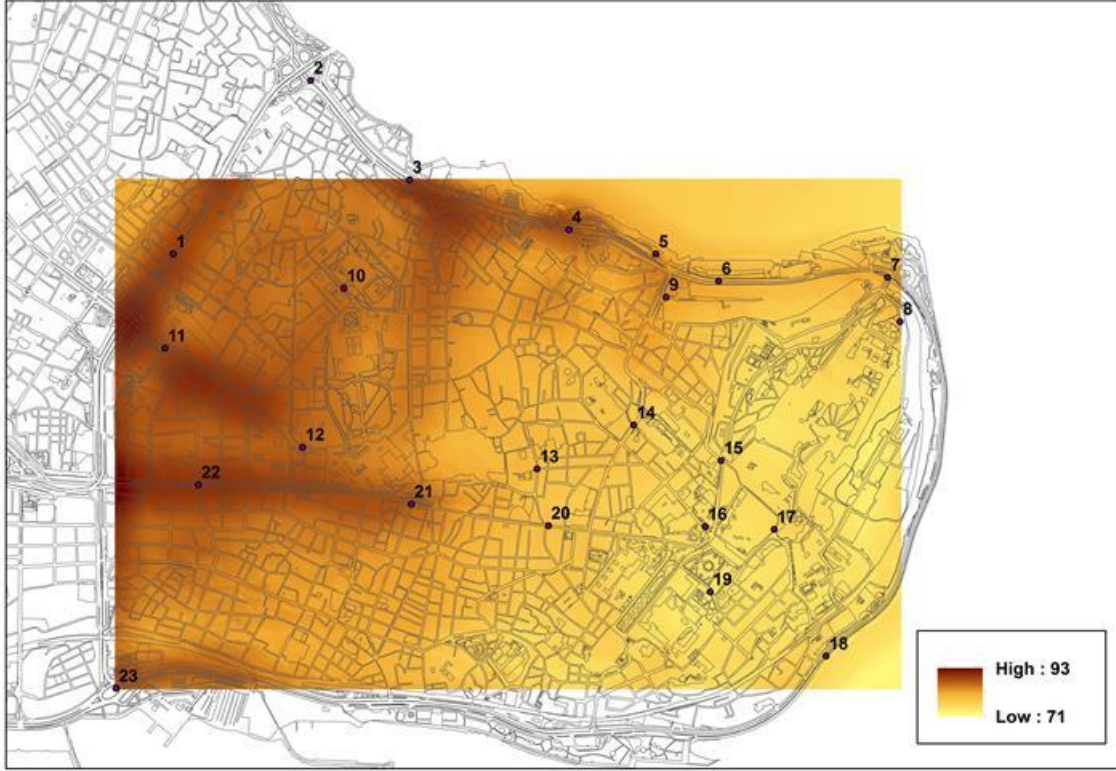
Şekil 7 incelendiğinde Tarihi Yarımada’nın iç bölgesi olan ve 13 ila 21 istasyonları arasında kalan bölgenin amonyak seviyelerinin azot dioksit seviyelerine göre daha yüksek olduğu net bir şekilde görülebilmektedir. Bunun temelde iki nedeni olabilir; birincisi bu bölgede eski teknoloji araçlar ve otobüs (SCR) tarzı taşıtlar daha yoğun olarak bulunuyor olabilirler; ikincisi ise bu bölge diğer yollara göre trafiğin daha yavaş işlediği ve trafik akış hızının ana yollara göre çok daha yavaş olduğu bir bölge olduğu için düşük motor devrinde veya rölanti durumda oluşan emisyon değerlerindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Literatürdeki çalışmalarda da trafik hızının amonyak emisyonları üzerinde çok etkili olmadığı ancak farklı hızların azot oksit emisyonlarında etkin bir faktör olabileceği rapor edilmektedir [28]. Yayalaştırma uygulamasının yapıldığı bölgede bu oranın nispeten yüksek olduğu dikkat çekmektedir.



Şekil 7. Tarihi Yarımada üzerinde  $\text{NH}_3/\text{NO}_2$  oranlarının dağılımı

#### 2.6.4 Öncesi ve sonrası

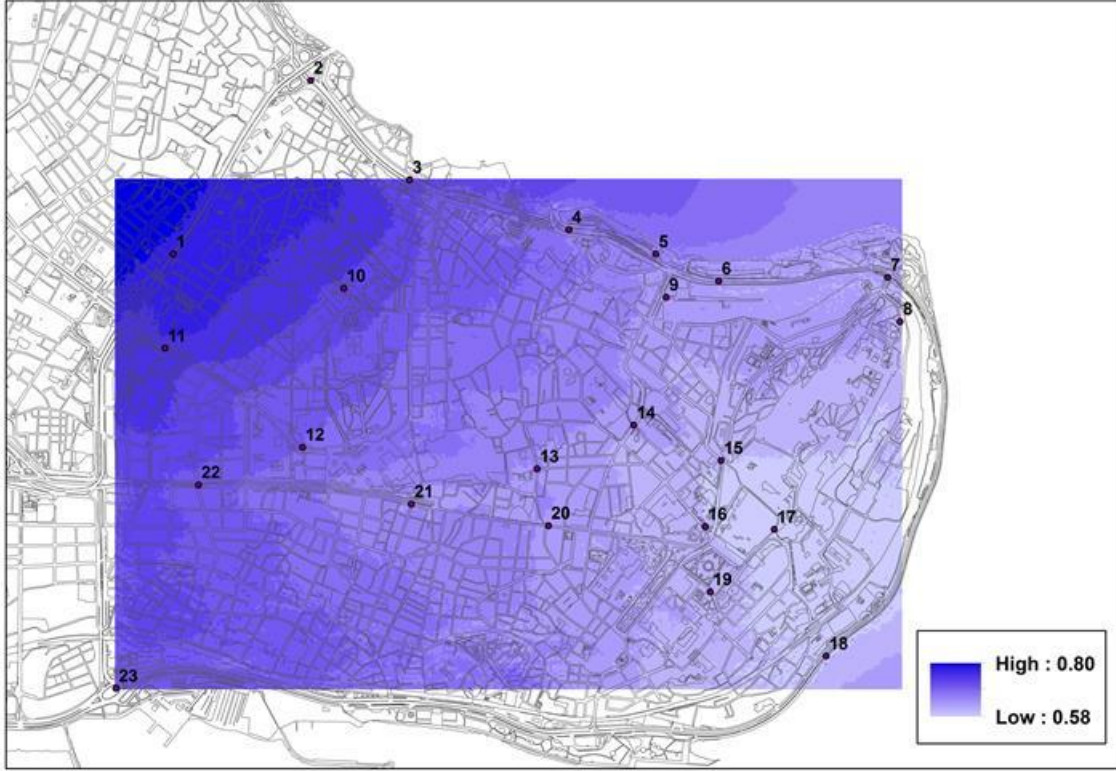
Buprojenin önemli hedeflerinden birisi bölgedeki yayalaştırma projesinin öncesinin ve sonrasının trafik emisyonları açısından değerlendirilmesidir. Bu çerçevede 2010 yılındaki  $\text{NO}_2$  ölçümlerinin de yer seviyesi dağılım haritası çıkarılmış ve Şekil 8’de verilmiştir. 2010 dönemi 2014 dönemi ile birçok açıdan benzerlik arz etmektedir. Ana yollar her iki dönem boyunca bölgedeki kirliliğin temel nedeni olarak görülmekte ancak 2010 yılında bu dağılımın tüm yollar etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. 2014 yılında ise kirlilik yarımadaın uç ve iç bölgelerinden E-5 tarafına doğru bir kayma göstermiştir. Şekil 5 ve Şekil 8 arasındaki farkların daha net anlaşılabilmesi için 2014 yılındaki verilerin 2010 yılındaki verilere, yani Şekil 5’te verilen raster görüntüsünün Şekil 8’deki yüzey dağılım profiline, bölünmesi yoluyla bir karşılaştırma haritası hazırlanmıştır. İki dönem arasındaki farkların daha doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için hazırlanan bu öncesi ve sonrasının karşılaştırıldığı dağılım haritası Şekil 9’de verilmiştir.



Şekil 8. 2010 dönemi yer seviyesi NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) dağılım değerleri

Şekil 9 incelendiğinde bölgedeki trafik kaynaklı emisyonların yayalaştırma projesi öncesi ve sonrasında nasıl bir değişim gösterdiği net olarak görülmektedir. Bu şekildeki koyu renkli değerler daha yüksek bir orana açık renkli değerler ise daha düşük bir orana işaret etmektedir. Yani, koyu renkli alanlarda giderim daha az seviyede gözlenirken açık renkli alanlarda trafik kaynaklı kirlilik giderimi (veya azalımı) daha yüksek düzeydedir. Buna göre Tarihi Yarımada'nın uç kısımlarında iç kısımlarına doğru anlamlı bir miktarlarda kirlilik azalması olduğu rahatlıkla söylenebilir. Bu azalmanın 22 ve 17 numaralı istasyonlar arasında kalan ana ulaşım yolu boyunca da dikkat çekici bir seviyede olduğunu söyleyebiliriz. Yayalaştırma alanlarının olduğu bölgelerde de daha düşük oranlar gözlenmiş yani 2014 değerleri 2010 değerlerine göre anlamlı miktarlarda azalma göstermişlerdir.





Şekil 9. Trafik kaynaklı azot dioksit emisyonlarının öncesi ve sonrası (NO<sub>2</sub> (2014)/ NO<sub>2</sub> (2010))

### 3 KAYNAKÇA

1. İBB, *İstanbul Meropoliten Alanı Kentsel Ulaşım Ana Planı (İUAP)*. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Ulaşım Daire Başkanlığı, Ulaşım Planlama Müdürlüğü, 2011.
2. Karaca, F., *Mapping the corrosion impact of air pollution on the historical peninsula of Istanbul*. Journal of Cultural Heritage, 2013. **14**(2): p. 129-137.
3. Yeşilyurt, C. and N. Akcan, *Hava Kalitesi İzleme Metodolojileri ve örneklem Kiriterleri*. Rapor: T.C, Sağlık Bakanlığı, Refik Saydam Hıfzıssıhha Merkezi Başkanlığı, Çevre Sağlığı Araştırma Müdürlüğü 2001.
4. Carslaw, D.C. and G. Rhys-Tyler, *New insights from comprehensive on-road measurements of NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub> and NH<sub>3</sub> from vehicle emission remote sensing in London, UK*. Atmospheric Environment, 2013. **81**(0): p. 339-347.
5. Carslaw, D.C., et al., *The importance of high vehicle power for passenger car emissions*. Atmospheric Environment, 2013. **68**(0): p. 8-16.
6. Karaca, F., *TÜBİTAK Proje Raporu (No: 109Y174): İstanbul Tarihi Yarımadasında NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, VOC ve Ozonun Yer Seviyesi Yayılımının Araştırılması ve Risk Değerlendirilmesi* 2011.
7. Cyrus, J., et al., *Variation of NO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> concentrations between and within 36 European study areas: Results from the ESCAPE study*. Atmospheric Environment, 2012. **62**: p. 374-390.
8. Baldasano, J.M., et al., *Air pollution impacts of speed limitation measures in large cities: The need for improving traffic data in a metropolitan area*. Atmospheric Environment, 2010. **44**(25): p. 2997-3006.
9. Beevers, S.D., et al., *Trends in NO<sub>x</sub> and NO<sub>2</sub> emissions from road traffic in Great Britain*. Atmospheric Environment, 2012. **54**: p. 107-116.
10. Henschel, S., et al., *Ambient air SO<sub>2</sub> patterns in 6 European cities*. Atmospheric Environment, 2013. **79**: p. 236-247.
11. Agency, E.E., *European Union emission inventory report 1990–2010 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP)*. 2013. <http://www.eea.europa.eu/publications/eu-emission-inventory-report-1990-2010>.
12. Cetinturk Gurtepe, K., *Ulusal Hava Kirleticileri Emisyon Envanteri*. Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi, 2014. **3**: p. 22 – 28.
13. M.A. Sutton, U.D., Y.S. Tang, D. Fowler, *Ammonia emissions from non-agricultural sources in the UK*. Atmospheric Environment, 2000. **34**: p. 855-869.
14. Heeb, N.V., et al., *Trends of NO-, NO<sub>2</sub>-, and NH<sub>3</sub>-emissions from gasoline-fueled Euro-3- to Euro-4-passenger cars*. Atmospheric Environment, 2008. **42**(10): p. 2543-2554.
15. EPA. *National Ambient Air Quality Standards*. 2010 [cited 2015].
16. Guidelines, A.Q., *World Health Organization Regional Office for Europe*. 2005.
17. Yönetmeliği, H.K.D.v.Y., *T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*. 2013.
18. Costa, S., et al., *Integrating Health on Air Quality Assessment—Review Report on Health Risks of Two Major European Outdoor Air Pollutants: PM and NO<sub>2</sub>*. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B, 2014. **17**(6): p. 307-340.
19. Karaca, F., *Determination of air quality zones in Turkey*. Journal of the Air & Waste Management Association, 2012. **62**(4): p. 408-419.
20. Guo, H., T. Wang, and P.K.K. Louie, *Source apportionment of ambient non-methane hydrocarbons in Hong Kong: Application of a principal component analysis/absolute principal component scores (PCA/APCS) receptor model*. Environmental Pollution, 2004. **129**(3): p. 489-498.
21. Juda-Rezler, K., M. Reizer, and J.-P. Oudinet, *Determination and analysis of PM<sub>10</sub> source apportionment during episodes of air pollution in Central Eastern European urban areas: The case of wintertime 2006*. Atmospheric Environment, 2011. **45**(36): p. 6557-6566.
22. Swietlicki, E., et al., *Urban air pollution source apportionment using a combination of aerosol and gas monitoring techniques*. Atmospheric Environment, 1996. **30**(15): p. 2795-2809.

23. Tauler, R., et al., *Chapter Fifteen Identification, Resolution and Apportionment of Contamination Sources*, in *Developments in Integrated Environmental Assessment*, A.A.V.A.E.R. A.J. Jakeman and S.H. Chen, Editors. 2008, Elsevier. p. 269-284.
24. Seinfeld, J.H. and S.N. Pandis, *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. 2nd Edition ed. 2006: Wiley.
25. Brassard, P., et al., *Comparison of the gaseous and particulate matter emissions from the combustion of agricultural and forest biomasses*. *Bioresource Technology*, 2014. **155**(0): p. 300-306.
26. Xie, W., et al., *Interaction between emissions of SO<sub>2</sub> and HCl in fluidized bed combustors*. *Fuel*, 1999. **78**(12): p. 1425-1436.
27. Embarq, *İstanbul Tarihi Yarımada Yayalaştırma Projesi, Mevcut Durum Değerlendirmesi*. 2014, Embarq Türkiye.
28. International, I., *Multi-Pollutant Emissions Benefits of Transportation Strategies, Final Report* 2006, Federal Highway Administration p. p. 2-2.