



ARAŞTIRMA MAKALESİ (Research Article)

**METEOROLOJİK FAKTÖRLERİN GEMİ EGZOZ GAZI EMİSYONU
KONSANTRASYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Aydın TOKUŞLU^{1,*}

¹Türk Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, Ankara, aydintokuslu78@gmail.com, ORCID:0000-0002-5851-6902

Geliş Tarihi:21.03.2020

Kabul Tarihi: 16.06.2020

ÖZ

Mevsimsel değişikliklere bağlı olarak ortaya çıkan meteorolojik faktörler (hava sıcaklığı, yağış, nisbi nem, rüzgar ve hava basıncı), soluduğumuz havanın kalitesini (temiz veya kirli) etkilemede önemli bir etkiye sahiptir. Hali hazırda İstanbul Boğazı çevresinde yaşayan insanlar, geçiş yapan transit ve yerel gemi trafiğinden kaynaklı egzoz gazı emisyonları kirliliğine her gün maruz kalmaktadır. Gemi egzoz gazı emisyonları içinde insan sağlığına direk zararlı etkisi bulunan NO_x, SO_x ve PM emisyonları ile meteorolojik faktörler arasında bir ilişki olup olmadığının incelenmesi, meteorolojik faktörlerin emisyonların yayılmasındaki rolünün incelenmesi bu açıdan çok önemlidir. Bu çalışmada, İstanbul Boğazı'ndaki bir yıllık gemi trafiği emisyon konsantrasyonu (NO_x, SO_x ve PM) ile meteorolojik faktörler arasında bir ilişkinin olup olmadığı ortaya koyan adımsal çoklu doğrusal regresyon analizi ve korelasyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizi sonucunda NO_x, SO_x ve PM emisyonları ile nisbi nem ve hava basıncı arasında “doğru orantılı” bir ilişki, yağış, rüzgar ve sıcaklık arasında “ters orantılı” bir ilişki tespit edilmiştir. Yapılan korelasyon analizinin sonucunda NO_x, SO_x ve PM ile yağış ve rüzgar arasında “güçlü bir ilişki” bulunmuş, hava basıncı, nisbi nem ve sıcaklık arasında “zayıf bir ilişki” bulunmuştur. Yağış ve rüzgarın arttığı zamanlarda kirletici konsantrasyonların etkisinin azalacağı, tersi durumda ise artacağı tespit edilmiştir. Yapılan tüm analizlerin sonucunda Boğaz çevresindeki hava kirliliğinin etkilerinin azaltılması için, transit ve yerel gemi trafiğinin hava basıncı ve nisbi nemin yüksek olduğu zamanlarda yavaşlatılmasının faydalı olacağı değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: *Gemi trafiği, Hava kirliliği, İstanbul Boğazı, Meteorolojik faktörler, Regresyon analizi*

**INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF METEOROLOGICAL FACTORS ON SHIP
EXHAUST GAS EMISSIONS CONCENTRATION**

ABSTRACT

The meteorological factors (air temperature, precipitation, relative humidity, wind, and air pressure) that occur depending on the seasons changes have an important effect on the quality (clean or dirty) of the air we breathe. People currently living around the Istanbul Strait are daily exposed to the pollution of exhaust gas emissions from transit and domestic ship traffic. In this respect, it is very important to examine whether there is a relationship between meteorological factors and ship exhaust gas

emissions (NO_x, SO_x, and PM) which have a direct harmful effect on human health. In this study, a stepwise multiple linear regression analysis and correlation analysis was conducted, which reveals whether there is a relationship between the meteorological parameters and the one-year ship-borne air emission results (NO_x, SO_x, and PM) in the Istanbul Strait. As a result of the regression analysis, a "directly proportional" relationship between NO_x, SO_x and PM emissions, and air pressure and relative humidity was found and "an inversely proportional" relationship was detected between precipitation, wind and temperature. As a result of the correlation analysis, a "strong relationship" was found between NO_x, SO_x and PM, and precipitation and wind, and a "weak relationship" between air pressure, relative humidity and temperature. It has been determined that the effect of pollutants concentrations will decrease when the precipitation and wind increase, and vice versa. As a result of all analyses, it is considered that it will be beneficial to slow down the ship traffic (transit and domestic) in times of high air pressure and relative humidity in order to reduce the effects of air pollution around the Istanbul Strait.

Keywords: *Vessel traffic, Air pollution, Istanbul Strait, Meteorological parameters, Regression analysis*

1. GİRİŞ

Gemilerden kaynaklanan egzoz gazı emisyonları temel olarak, azot oksit (NO_x), sülfür oksit (SO_x), karbondioksit (CO₂), karbonmonoksit (CO), partiküler madde (PM), uçucu organik bileşikler (VOC) ve hidrokarbonlar (HC)'dir. Bu emisyon kirliliklerinden NO_x, SO_x ve PM'lerin insanların yaşadığı kıyı ve sahil kesimlerinde insanlar ve çevre üzerinde doğrudan zararlı etkisi bulunmakta, karbondioksit (CO₂) ve karbonmonoksit (CO) emisyonlarının ise küresel seviyede zararlı etkisi bulunmaktadır [1]. Deniz ticaret filosu gemilerinin yaklaşık %80'i zamanlarını ya limanda veya demir durumunda, %55'i ise zamanlarını kıyıya yakın bölgede seyir yaparak geçirmekte ve bu faaliyetler boyunca ortaya çıkardığı baca gazı emisyonları boğazlar, kanallar, körfezler ve liman alanları boyunca yoğunlaşmaktadır [2]. Gemi emisyonlarının etkileri insan sağlığı üzerinde astım, solunum yolu hastalıkları, kardiyovasküler hastalık, akciğer kanseri ve bebeklerde erken ölüm olarak ortaya çıkmaktadır [1,3,4]. Dünya Sağlık Örgütü'nün yayımladığı bir çalışmada, küresel seviyede dış ortam hava kirliliğinin her yıl 1,3 milyon prematüre ölüme neden olduğu ve bunun 800.000 kadarının Asya kıtasında meydana geldiği belirtilmiştir [5]. Kalkınma ve Ekonomik İşbirliği Örgütü tarafından 2012 yılında yapılan bir projeksiyonda PM'nin neden olduğu bebeklerdeki erken ölümlerin 2050 yılına kadar iki kattan fazla artacağı ve yılda 3,6 milyon kişinin ölmesine sebep olacağı hesaplanmıştır. Bu ölümlerin en fazla yaşanacağı ülkelerin başında Çin ve Hindistan geleceği öngörülmüştür. Dünyada PM_{2.5} kirliliği nedeniyle yılda 500.000 den fazla insanın yaşamını kaybettiği öngörülmektedir [4-6]. Mevsimsel değişikliklere bağlı olarak ortaya çıkan atmosferik parametreler (hava sıcaklığı, yağış, nisbi nem, rüzgar ve hava basıncı), soluduğumuz havanın kalitesini (temiz veya kirliliği) etkilemede önemli bir etkiye sahiptir ve kirletici konsantrasyonların havada dağılmasında ve uzak mesafelere taşınmasında önemli bir rol oynamaktadır [7-11]. Hali hazırda İstanbul Boğazı çevresinde yaşayan insanlar, geçiş yapan transit ve yerel gemi trafiğinden kaynaklı egzoz gazı emisyonlarının kirletici etkilerine her gün maruz kalmaktadır ve NO_x, SO_x ve PM emisyonlarının insan sağlığı üzerinde zararlı etkileri hissedilmektedir. NO_x'ler asidik karakterli uçucu gazlar olması sebebiyle rüzgar yardımı ile çok uzun mesafelere taşınabilmektedir. Atmosferde kalma süresi yaklaşık 1 gündür. İnsan sağlığına etkisi büyük olup, solunum yolu hastalıklarına sebebiyet vermektedir [2,5]. SO_x'ler yanıcı olmayan renksiz bir gaz olup, atmosferde kalma süresi yaklaşık 40 gündür ve bu süre yağmur yağışı ile beraber 43 günü bulmaktadır. Bu gazlar solunum yolu rahatsızlıklarının ortaya çıkmasına sebep

olur [2,5]. PM, NO_x ve SO_x gazlarına göre daha tehlikeli olup, insan sağlığına zararlı etkisi çok fazladır, üst yolunum yolu rahatsızlıkları ile astım, bronşit olarak etkisini göstermektedir. PM, toz şeklinde çok küçük (2,5 mm, 10 mm) parçalar şeklinde olması sebebiyle atmosferde uzun süre asılı kalabilmekte, rüzgar ve hava akımları yardımı ile kilometrelerce mesafeye taşınabilmektedir [2,5]. Gemi egzoz gazı emisyonları (NO_x, SO_x ve PM) konsantrasyonları ile meteorolojik faktörler arasında bir ilişki olup olmadığının incelenmesi, meteorolojik faktörlerin emisyonların yayılmasındaki rolünün tespit edilmesi bu açıdan çok önemlidir. Bu ilişkinin bulunmasıyla meteorolojik faktörlerin yoğunlaştığı zamanlarda Boğaz'daki gemi trafiğinin işleyişinde gerekli düzenlemelere gidilebilecektir. Meteorolojik faktörlerin hava kirliliği ile olan ilişkisine baktığımızda;

a. Hava sıcaklığı: İstanbul ilinde hava sıcaklığının en yüksek olduğu aylar Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları olup, yıllık ortalama güneş süresi 2.460 saattir [12]. Hava sıcaklığının azalmasıyla beraber havadaki NO_x, SO_x ve PM emisyonları konsantrasyonu artmakta, havanın yoğunlaşmasına sebep olarak hava basıncı yükselmektedir. Hava sıcaklığının arttığı zamanlarda kirletici konsantrasyonlarında düşüş gözlenmektedir. Bunun sebebi, sıcaklığın artmasıyla ısınma amaçlı kullanılan yakıt tüketiminin azalması, bunu sonucunda ısınma kaynaklı evsel emisyonların düşmesidir. Bunun tam tersi durumda havaların soğumasıyla birlikte ısınma amaçlı yakıt tüketiminin artmasıyla evsel emisyonların artmasıdır [13].

b. Yağış: hava kirliliğine sebep olan kirletici konsantrasyonlar yağışların artması ile birlikte azalmaktadır. Yağışlar havanın temizlenmesini sağlayarak kirletici konsantrasyonların zararlı etkilerini sınırlamaktadır. İstanbul ilinde çoğunluğu kış mevsiminde olmak üzere yıllık 124 yağışlı gün bulunmaktadır [12]. Kış mevsimindeki yağışlar yeterli seviyede olmadığı için hava gerektiği oranda kirletici konsantrasyonlardan temizlenememektedir [14].

c. Nisbi nem: İstanbul ilinde nem miktarı aylık ortalama %75 oranında olup, kışın bu ortalama %80'nin üzerine çıkmaktadır. Nisbi nem etkisini sonbahar ve kış aylarında (Eylül, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart) daha fazla göstermektedir [12]. Hava sıcaklığının azalması sonucu nisbi nem yoğunlaşarak havada sis tabakasını oluşturmakta ve oluşan sis tabakasını havada asılı halde bulunan SO_x emisyonların sülfürik asite dönüşmesini sağlayarak hava kirliliğinin insan sağlığına zararlı etkilerini artırmaktadır. Aynı zamanda nisbi nemin yüksek olduğu zamanlarda güneş ışınları yerküreye ulaşmakta ve bunun sonucunda hava sıcaklığının dolaylı olarak artmamasına sebebiyet vermektedir. Nisbi nem oranı yükseldikçe SO_x ve PM kirletici konsantrasyonları da atmosferde daha fazla kalıcı hale gelmektedir [14].

ç. Rüzgar: İstanbul ilinde rüzgar yıllık ortalama 2,8 m/s hızla esmekte ve yönü genel olarak kış mevsiminde kuzeybatılı (karayel) ve güneybatılı (lodos) yönde, yaz mevsiminde ise kuzeyli (poyraz) yönlerdedir [12]. Rüzgarlar yönü ve şiddeti ile havanın temizlenmesinde, kirletici konsantrasyonların dağılmasında veya uzaklaştırılmasında önemli bir yere sahiptir [14]. İstanbul ilindeki mevcut rüzgar sürati (2,8 m/s) havanın temizlenmesinde yeterli etkiye sahip değildir. Rüzgar şehir içinde aynı şiddette ve sürekli esmediği için hava kirliliğinin zararlı etkileri şehir üzerinde temizlenememektedir.

d. Hava basıncı: İstanbul'da hava basıncının yüksek olduğu aylar genel olarak Ekim, Kasım, Aralık ve Ocak ayları olup, bu aylar aynı zamanda hava kirliliğinin (NO_x, SO_x, ve PM) ve solunum yolu hastalıklarının da en fazla görüldüğü aylardır. Yüksek hava basıncı, kirletici konsantrasyonlarının havada asılı kalmasına sebebiyet vermekte ve atmosferde dağılmasına engel olmaktadır. Alçak hava

basıncı hava kirliliğinin azalmasını sağlayarak hava sıcaklığının artmasına ve nisbi nemin azalmasına katkıda bulunmaktadır [14].

Meteorolojik faktörler ile hava kirliliğinin arasındaki ilişkiyi ortaya koyan çeşitli bilimsel çalışmalar [15-29] literatürde mevcuttur. Özcan ve Çubukcu [15], 2007-2010 yılları arasında İzmir iline bağlı 6 ilçeye ait verileri kullanarak astım vakaları ile sülfür dioksit (SO₂) ve partiküler madde (PM₁₀) arasındaki ilişkiyi tespit etmek amacıyla regresyon analizi yapmış ve astım vakaları ile sülfür dioksit (SO₂) ve partiküler madde (PM₁₀) arasında “kuvvetli” bir ilişki saptamıştır. Dursun ve İbrahimova [16] tarafından Bakü Şehir Merkezinde SO₂ konsantrasyonu ile meteorolojik faktörler (sıcaklık, nem, basınç, yağış ve rüzgâr) arasındaki ilişki araştırılmıştır. Çalışma dönemi içinde en yüksek SO₂ değeri 0,035 mg/m³ günlük ortalama olarak bulunmuş ve meteorolojik faktörler ile SO₂ arasında korelasyon analizinin negatif yönde olduğu hesaplanmıştır. Çapraz vd. [17] İstanbul ilinde 2007-2012 yılları arasındaki verileri kullanarak hava kirliliği ile şehirdeki ölüm oranları arasındaki ilişkiyi ortaya koyan bir lineer model kullanmış ve modelde hava kirleticiler (PM₁₀, SO₂, NO₂) ile meteorolojik faktörler (sıcaklık, nisbi nem) değerlendirmeye katılmıştır. Yapılan analiz sonucunda, hava kirliliği ile kardiyovasküler (kalp-damar) hastalıkları ve solunum kaynaklı günlük ölümler arasında önemli ilişkiler bulunmuştur. Zhang vd. [18] tarafından hava kirleticileri ile meteorolojik faktörler arasında korelasyon analizi yapılmıştır. Rüzgar hızı ile kirleticiler arasında ters bir korelasyon, sıcaklık ile kirleticiler arasında doğru bir korelasyon olduğu gözlemlenmiştir. Kunt ve Dursun [19] Türkiye’de birinci derecede önemli hava kirliliğinin yaşandığı Konya il merkezine ait bazı meteorolojik parametreler ile kükürt dioksit ve partikül madde arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Sari ve Esen [20] tarafından 2017 yılında Türkiye’de 103 ölçüm istasyonundaki veriler yardımıyla ölçülen PM₁₀ ve SO₂’lerin konsantrasyon seviyeleri değerlendirilmiştir. Kirletici konsantrasyonları ile meteorolojik faktörlerin haritalandırılması sonucunda, sıcaklık oranı ile rüzgar hızının kirletici konsantrasyonların dağılımında etkili olduğu tespit edilmiştir.

Yaklaşık 15 milyon insanın yaşadığı İstanbul ili nüfusunun %35’i İstanbul Boğazı’na yaklaşık 4/5 km mesafede yaşamaktadır [21]. Gemiler tarafından atmosfere salınan baca gazlarından NO_x, SO_x ve PM emisyonlarının insan sağlığı ve çevre üzerinde doğrudan zararlı etkileri bulunmaktadır [2,3,5,7]. Bu çalışmada Boğaz’daki mevcut gemi trafiğinin ortaya çıkardığı baca gazı emisyonları ile Boğaz bölgesindeki meteorolojik faktörler arasında bir ilişki olup olmadığı, meteorolojik faktörlerin emisyonların yayılmasındaki rolü araştırılmış, aralarındaki ilişkinin yönü ve derecesi yapılan regresyon ve korelasyon analizi ile ölçülmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada, sadece Boğaz’daki gemi trafiğinin ortaya çıkardığı emisyonların konsantrasyonları ile meteorolojik faktörler arasındaki ilişki araştırmış olup, İstanbul ilindeki diğer emisyon kaynakları (araç trafiği emisyonları, evsel ısınma, sanayi vb.) incelemeye dahil edilmemiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve DEĞERLENDİRME

2.1. Regresyon ve Korelasyon Analizi

Meteorolojik faktörler ile egzoz gazı emisyonu (NO_x, SO_x, ve PM) konsantrasyonları arasında bir ilişkinin bulunup bulunmadığının tespit edilmesi için regresyon ve korelasyon analizleri yapılması gerekmektedir. Regresyon analizi, farklı değişken parametreler arasında bir ilişki olup olmadığını anlamamıza yardımcı olan bir analiz yöntemidir [30]. Hali hazırda yaptığımız çalışmada analiz için elimizde çok fazla parametre (meteorolojik faktörler ile hava kirliliği emisyonları (NO_x, SO_x ve PM) olması sebebiyle adimsal çoklu doğrusal regresyon analizini (stepwise multiple linear regression analysis) yapılması daha uygundur. Bu analizde meteorolojik parametreler (hava sıcaklığı, yağış,

nisbi nem, rüzgar ve hava basıncı) bağımsız değişken (X1, X2, X3, X4, X5 vb.), hava kirliliğine neden olan emisyonlar (NO_x, SO_x ve PM) ise bağımlı değişkenlerdir (Y1, Y2, Y3) [30]. Her bir emisyon kirliliğinin meteorolojik faktörlerle analizinin sırayla yapılması gerekmektedir. Buna göre NO_x için ortaya çıkacak formül Eş. 1’de gösterilmiştir. Bu formülün aynısı diğer hava kirliliği emisyonları (SO_x, PM) için de kullanılacaktır. Regresyon analizi, Microsoft Office Excel’deki veri çözümleme bölümünden regresyon analizinin seçilmesiyle ve bağımlı ve bağımsız değişkenlerin tabloya girilmesiyle yapılmaktadır.

$$Y (\text{NO}_x) = A (\text{intercept}) + B1*\text{Hava sıcaklığı} + B2*\text{Yağış} + B3*\text{Nisbi nem} + B4*\text{Rüzgar} + B5 * \text{Hava basıncı} + E (\text{hata derecesi}) \quad (1)$$

Korelasyon analizi, iki farklı değişken arasında regresyon analizine göre ortaya çıkan ilişkinin birlikteliğini ve yönünü belirlemek için kullanılan bir istatistik yöntemidir. Korelasyon değer aralığı $-1 < R^2 < +1$ arasında değişir ve $R^2=0$ değeri doğrusal bir ilişki olmadığını, R^2 değerinin 0’a yaklaşmasıyla doğrusal ilişkinin zayıf bir ilişki olduğunu, + 1’e yaklaşmasıyla pozitif yönlü bir ilişki olduğunu, - 1’e yaklaşmasıyla negatif (ters) yönlü bir ilişki olduğunu belirtmektedir. Korelasyon katsayılarının ilişki dereceleri Çizelge 1’de sunulmuştur. Korelasyon katsayısına göre bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki oran %50’ye kadar ise bu değişkenler arasında zayıf seviyede bir ilişkinin bulunduğunu, %51-%70 arasında ise bu değişkenler arasında orta seviyede bir ilişkinin bulunduğunu, %71-%100 arasında ise kuvvetli seviyede bir ilişkinin bulunduğunu belirtmektedir [30]. Korelasyon analizi, Microsoft Office Excel’deki veri çözümleme bölümünden korelasyon analizinin seçilmesiyle ve çıkan tabloya bağımlı ve bağımsız değişkenlerin girilmesiyle yapılmaktadır.

Çizelge 1. Korelasyon katsayılarının ilişki dereceleri [30].

Korelasyon Katsayısı (%)	İlişki Derecesi
0	İlişki yok
01-10	Çok zayıf
11-20	Nispeten çok zayıf
21-30	Zayıf
31-40	Nispeten zayıf
41-50	Çok az zayıf
51-60	Çok az güçlü
61-70	Nispeten güçlü
71-80	Güçlü
81-90	Nispeten çok güçlü
91-100	Çok güçlü

Regresyon analizi sonucunda elde ettiğimiz Düzeltilmiş R Kare (Adjusted R Square) değeri, korelasyon analizinde kullanılmaktadır ve elde ettiğimiz değer % karşılığına göre Tablo 1’den yapılan analizin ilişki derecesi ortaya çıkarılmaktadır. Bu ilişki derecesi, analizini yaptığımız bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin derecesini ve yönünü (pozitif/negatif) anlamamıza yardımcı olmaktadır [30]. Yaptığımız analizlerde kullanılmak üzere İstanbul Boğazı’ndaki gemi trafik bilgilerine Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü’nden, Boğaz bölgesindeki meteorolojik verilere Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden ulaşılmıştır [21]. Analizlere sağlık istatistikleri de eklenmek

istenmiş ancak hastanelerin ellerindeki verileri (solunum sistemi ve dolaşım sistemi hastalıklarına maruz kalmış hasta sayıları vb.) paylaşmaması sebebiyle bu bölüm analizlere dahil edilememiştir.

2.2. Gemi Emisyon Analizi

Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü'nden ve yerel deniz trafiğini oluşturan firmalarından elde ettiğimiz veriler ışığında Carlo Trozzi ve Rita Vaccaro isimli iki akademisyen tarafından geliştirilen gemi hareketlerine dayalı emisyon analiz metodolojisi [31-33], Boğaz bölgesindeki gemi egzoz gazı emisyonlarının hesaplanmasında kullanılmıştır. Metodolojide gemilerin operasyonel durumlarına (seyir, manevra ve liman) göre her gemi tipi için emisyon faktörleri oluşturulmuştur. Gemi tiplerine göre gemilerin tam yükte harcadıkları yakıt, yaptıkları seyir, manevra ve liman durumlarına göre ortaya çıkardıkları baca gazı emisyonları (CO₂, NO_x, SO_x, CO, VOC ve PM) metodolojide hesaplanabilmektedir. Metodolojide kullanılan veriler; gemi tipi, gemi tonajı, geminin gittiği mesafe, geminin ana ve yardımcı makine tipi ve ana ve yardımcı makine gücüdür [31-33]. Bu verilerle birlikte metodolojideki formüller Microsoft Office Excel içerisinde VBA (Visual Basic Applications) ile birleştirilerek emisyon analizi programı oluşturulmuş ve Boğaz bölgesindeki yerel ve transit gemi trafiğinin ortaya çıkardığı baca gazı emisyonlarının detaylı analizi yapılmıştır. Boğaz bölgesindeki gemi emisyonlarının emisyon hesaplaması bu metodoloji ile Tokuşlu [21] tarafından yapılmıştır.

2.3. Yerel Gemi Trafiği

İstanbul Boğazı'nda yerel deniz trafiğini, şehir hatları, deniz otobüsleri ve yolcu taşımacılığında kullanılan özel yolcu motorları oluşturmaktadır. Yerel trafiği oluşturan tüm gemilerin yıllık ortalama 515.160 adet sefer yaptığı hesaplanmıştır [21]. Bu seferlerin hemen hepsi, Avrupa ve Anadolu kıyısında karşılıklı yapılan yolcu taşımacılığı faaliyetleridir. Yerel trafiği oluşturan firmaların sefer sayılarına göre günlük yoğunluklarını (%) incelediğimizde;

- İstanbul Şehir Hatları Turizm San. ve Tic. A.Ş., 28 adet gemi ile günlük 464 sefer (% 33),
- Turyol Turizm ve Yolcu Taşıyıcılar Kooperatifi, 52 adet gemi ile günlük 460 sefer (% 32),
- Mavi Marmara Kooperatifi, 29 adet gemi ile günlük 156 sefer (% 11),
- Dentur Deniz Taşımacılığı A.Ş., 41 adet gemi ile günlük 144 sefer (% 10),
- Beyden Deniz Ulaşım Hizmetleri Turizm ve Ticaret Ltd.Ş., 22 adet gemi ile günlük 120 sefer (% 8),
- İstanbul Deniz Otobüsleri Sanayi ve Ticaret A.Ş., 21 adet gemi ile günlük 61 sefer (% 4),
- Boğaziçi Yolcu ve Turizm Kooperatifi, 20 adet gemi ile günlük 26 sefer (% 2) yaptığı görülmüştür [21].

Yerel trafiğin 2015 yılında ortaya çıkardığı baca gazı emisyonları 315.310 ton CO₂, 4.101 ton NO_x, 3.566 ton SO_x, 2.372 ton CO, 767 ton VOC, 330 ton PM olmak üzere toplam emisyon 326.446 tondur [21]. En çok emisyon ortaya çıkaran firmalar, İstanbul Şehir Hatları Turizm San. ve Tic. A.Ş., Turyol Turizm ve Yolcu Taşıyıcılar Kooperatifi, Mavi Marmara Kooperatifi, Dentur Deniz Taşımacılığı A.Ş. ve diğerleridir [21].

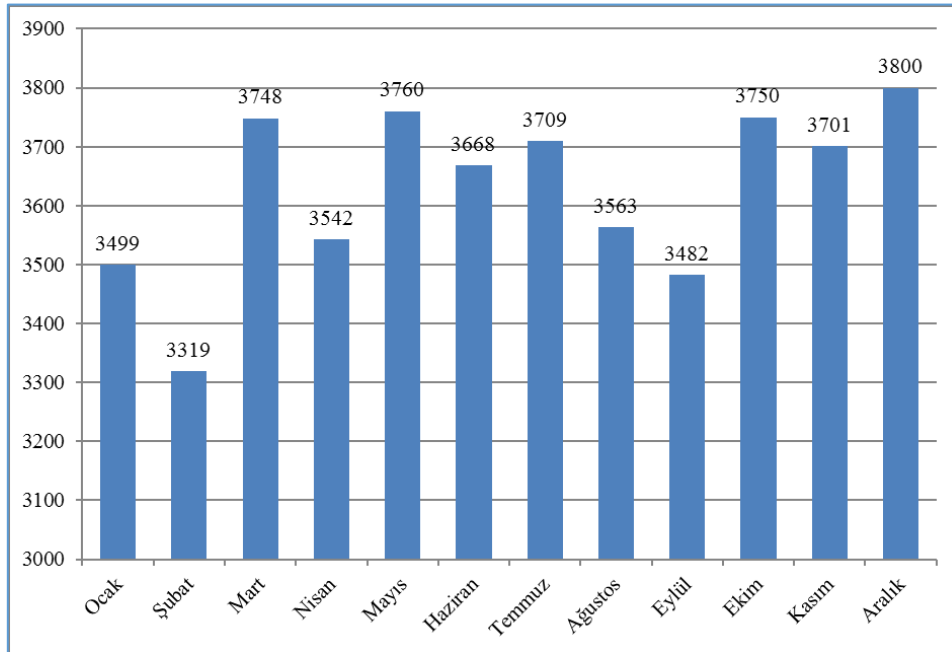
2.4. Transit Gemi Trafiği

İstanbul Boğazı'ndan 2015 yılında 43.541 adet gemi transit geçiş yapmıştır [34]. Transit gemilere ait bilgiler Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü'den temin edilmiştir. Transit gemilerin tipleri, sayıları ve genel ortalamadaki yoğunlukları (%) incelendiğinde;

- 22.412 adet kuru yük gemisi (%51),

- 8.633 adet tanker gemisi (%20),
- 7.494 adet dökme yük gemisi (%17),
- 2.664 adet konteyner gemisi (%6),
- 889 adet yolcu, ro-ro ve kargo Gemisi (%2),
- 413 adet hizmet gemileri (%1),
- 382 adet römorkör (%1),
- 321 adet askeri gemi (6 adet Denizaltı) (%1),
- 429 adet yolcu gemisi, yelkenli gemi ve diğer tip gemilerdir (%1) [34].

Transit gemi geçişin en çok olduğu ay, Aralık ayı olup, bu ayda gemi geçişinin 3.800 adet olduğu, ikinci en çok gemi geçişinin Mayıs ayında olduğu ve sayısının 3.760 olduğu Şekil 1’de gösterilmiştir. Boğaz’dan en az transit gemi geçişi Şubat ayında gerçekleşmiş olup, sayısı 3.319 olarak kayıt edilmiştir. Boğaz aylık transit gemi geçiş ortalaması 3.628 gemidir. Hava kirliliği aylık konsantrasyonlarının transit gemi geçiş sayılarına paralel olarak artıp azalacağı değerlendirilmektedir. 2015 yılında İstanbul Boğazı’ndan geçiş yapan transit gemilerin ortaya çıkardığı egzoz gazı emisyonları 937.017 ton CO₂, 18.324 ton NO_x, 5.294 ton SO_x, 2.138 ton CO, 693 ton VOC, 692 ton PM olmak üzere toplam emisyon 964.158 tondur [21]. En çok hava kirliliğine sebep olan gemi tipleri ise kuru yük gemileri, tanker gemileri, dökme yük gemileri, konteyner gemileri ve diğer tip gemilerdir.



Şekil 1. Transit gemi geçişlerinin aylara göre dağılımı [21].

İstanbul Boğazı’nda toplam (yerel ve transit) gemi kaynaklı egzoz gazı kirliliği 18.324 ton NO_x, 2.138 ton CO, 937.017 ton CO₂, 693 ton VOC, 692 ton PM ve 5.294 ton SO_x’dir [21]. Yapacağımız

regresyon ve korelasyon analizinde, yerel ve transit gemi trafiğinin ay ay ortaya çıkardığı SO_x, NO_x ve PM emisyon oranları bağımlı değişken olarak hesaplamaya katılmıştır.

2.5. Meteorolojik Parametreler

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen İstanbul Boğaz bölgesi 2015 yılı aylık meteorolojik parametreler (yağış, hava basıncı, nisbi nem, rüzgar, sıcaklık) Çizelge 2'de sunulmuştur. Elimizdeki verilere göre yağışın en yüksek olduğu ay, Şubat ayı (123,6 mm), yağışın en düşük olduğu ay, Temmuz ayı (26,4 mm) olarak görülmüştür. Hava basıncının en yüksek olduğu ay, Aralık ayı (1026,1 hPa), en düşük olduğu ay, Ağustos ayıdır (1009,9 hPa). 1013 hPa üstü yüksek hava basıncı olarak kabul edilmekte olup, yüksek basıncın görüldüğü aylar Ocak, Mart, Nisan, Ekim, Kasım ve Aralık aylarıdır. Nisbi nemin en yüksek olduğu ay, Şubat ayı (%83,6), en düşük olduğu ay ise Nisan ayıdır (%72,7). Rüzgarın en yüksek olduğu ay, Şubat ayı (3,6 knot), en düşük olduğu ay, Mayıs ayıdır (2,2 knot). Sıcaklığın en yüksek olduğu ay ise Ağustos ayı (26,1 °C), en düşük olduğu ay Ocak ayıdır (6,9 °C). Regresyon ve korelasyon analizinde aylık meteorolojik parametreler, bağımsız değişken olarak analizlere katılmıştır.

Çizelge 2. Aylık meteorolojik parametreler [12].

Aylar	Yağış (mm)	Hava Basıncı (hPa)	Nisbi Nem (%)	Rüzgar (knot)	Sıcaklık (°C)
Ocak	99,6	1014,8	77,7	3,5	6,9
Şubat	123,6	1012,3	83,6	3,6	7,0
Mart	61,2	1013,5	83,3	2,4	8,0
Nisan	62,2	1013,9	72,7	2,7	11,3
Mayıs	56,0	1011,0	80,0	2,2	17,4
Haziran	71,4	1010,9	82,3	2,4	20,8
Temmuz	26,4	1011,1	75,7	2,8	24,3
Ağustos	48,9	1009,9	76,1	3,0	26,1
Eylül	96,1	1011,6	80,1	3,0	23,3
Ekim	116,5	1015,9	82,3	3,0	17,5
Kasım	55,7	1015,8	78,7	2,9	14,5
Aralık	40,8	1026,1	79,3	2,9	8,8

2. SONUÇLAR

İstanbul Boğazı'ndaki gemi trafiğinin ortaya çıkardığı egzoz gazı emisyonu konsantrasyonu ile meteorolojik faktörler arasında bir ilişkinin mevcut olup olmadığını anlamak için regresyon ve korelasyon analizi yapılmıştır. Yapılan analizlerde elimizdeki meteorolojik faktörler (hava sıcaklığı, yağış, nisbi nem, rüzgar ve hava basıncı) bağımsız değişken, gemi egzoz gazı emisyonları (NO_x, SO_x ve PM) ise bağımlı değişkenler olarak hesaplamaya katılmıştır. Gemi trafiğinin (yerel ve transit gemi) ortaya çıkardığı baca gazı emisyonları (NO_x, SO_x ve PM) miktarları ve meteorolojik faktörler ay ay hesaplanarak analize katılmıştır. Yaptığımız adimsal çoklu doğrusal regresyon analizi ve korelasyon analizinde kullanılan bağımlı ve bağımsız değişkenler, Çizelge 3'te sunulmuştur.

Çizelge 3. Adımsal çoklu doğrusal regresyon analizi bağımlı ve bağımsız değişkenler [12, 21].

Aylar	Bağımlı değişkenler			Bağımsız değişkenler				
	NO _x (Ton)	SO _x (Ton)	PM (Ton)	Yağış (mm)	Hava Basıncı (hPa)	Nisbi Nem (%)	Rüzgar (knot)	Sıcaklık (°C)
Ocak	1.793	708	81	99,6	1014,8	77,7	3,5	6,9
Şubat	1.734	710	82	123,6	1012,3	83,6	3,6	7,0
Mart	1.906	769	90	61,2	1013,5	83,3	2,4	8,0
Nisan	1.840	738	86	62,2	1013,9	72,7	2,7	11,3
Mayıs	1.940	770	90	56,0	1011,0	80,0	2,2	17,4
Haziran	1.907	758	88	71,4	1010,9	82,3	2,4	20,8
Temmuz	1.913	754	88	26,4	1011,1	75,7	2,8	24,3
Ağustos	1.812	701	80	48,9	1009,9	76,1	3,0	26,1
Eylül	1.796	708	81	96,1	1011,6	80,1	3,0	23,3
Ekim	1.898	735	85	11,5	1015,9	82,3	3,0	17,5
Kasım	1.938	750	87	55,7	1015,8	78,7	2,9	14,5
Aralık	1.951	769	90	40,8	1026,1	79,3	2,9	8,8

Yaptığımız analizlerde öncelikle NO_x bağımlı değişkeni için, NO_x ile meteorolojik faktörler arasında adımsal çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmış, sonra sırasıyla SO_x ve PM bağımlı değişkenleri ile meteorolojik faktörler arasında regresyon analizi yapılmıştır. NO_x ile meteorolojik faktörler arasında yapılan regresyon analizine göre ortaya çıkan formül Eş. 2’de gösterilmiştir.

$$Y (\text{NO}_x) : -6405,21 - 0,818 * \text{Yağış} + 8,151 * \text{Hava Basıncı} + 2,675 * \text{Nisbi Nem} - 56,535 * \text{Rüzgar} - 1,331 * \text{Sıcaklık} \quad (2)$$

Bu formüle göre ortaya çıkan regresyon analizinin anlamı; NO_x ile hava basıncı ve nisbi nem arasında “doğru orantılı” bir ilişki, yağış, rüzgar ve sıcaklık arasında “ters orantılı” bir ilişki mevcuttur. Yani hava basıncı ve nisbi nem değerlerinde ortaya çıkacak bir birimlik artış NO_x değerinin artmasına, yağış, rüzgar ve sıcaklık değerlerinde ortaya çıkacak bir birimlik artış ters orantılı olarak NO_x değerinin azalmasına neden olacaktır. Bu analiz ile elimizdeki meteorolojik faktörlerin değerlerinin girilmesiyle istenilen güne ait NO_x emisyon kirliliği bulunabilecektir. Yaptığımız regresyon analizi sonucu Çizelge 4’te gösterilmiştir. Analizde düzeltilmiş R kare değeri 0,6186222 olarak bulunmuş olup, bu değere göre korelasyon analizi açısından NO_x ile meteorolojik faktörler arasında “nispeten güçlü bir ilişki” tespit edilmiştir. Bu değere göre, NO_x ile meteorolojik faktörler arasında %62’lik bir oranda ilişki bulunduğu, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin birbirlerini bu yüzdelik oranda etkiledikleri, %38’lik farkın başka sebeplerden kaynaklandığını değerlendirilmiştir. Anova tablosundaki Anlamlılık (significance) F değeri 0,045843679 bulunmuş olup, bu değer 0,05 değerinden küçük olduğu için regresyon analizi “bütün” olarak anlamlıdır ve bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında istatistiksel bir ilişki mevcuttur.

Çizelge 4. NO_x, SO_x, PM ile meteorolojik faktörler arasında çoklu doğrusal regresyon analizi sonucu.

Regresyon Analizi Sonucu	Adımsal Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi		
	NO _x ile Meteorolojik Faktörler Çoklu Regresyon Analizi	SO _x ile Meteorolojik Faktörler Çoklu Regresyon Analizi	PM ile Meteorolojik Faktörler Çoklu Regresyon Analizi
Çoklu R (Multiple R)	0,8899302	0,913972743	0,9031815
R Kare (R Square)	0,7919757	0,835346176	0,8157368
Düzeltilmiş R Kare (Adjusted R Square)	0,6186222	0,698134655	0,6621842
Anlamlılık (Significance) F	0,045843679	0,024051059	0,032868079
Kesişim Noktası (Intercept)	-6405,207	-691,8363529	-97,142966
Yağış	-0,818194	-0,403500571	-0,0595223
Hava Basıncı	8,1507025	1,381005645	0,1773208
Nisbi Nem	2,6752216	1,828126874	0,2470211
Rüzgar	-56,53531	-23,39019684	-3,2457635
Sıcaklık	-1,330613	-1,113727747	-0,1847121

Yaptığımız regresyon analizine göre NO_x'in, meteorolojik faktörler ile arasındaki ilişki durumu ve derecesi ortaya koyan korelasyon analizi sonucu Çizelge 5'te sunulmuştur. Buna göre NO_x ile yağış ve rüzgar arasında “nispeten güçlü bir ilişki” bulunduğu, yağış ve rüzgarın ters orantılı olarak NO_x üzerinde artma veya azalma yönünde etkisinin bulunduğu, yağış ve rüzgar arttığında NO_x'in azaldığı, yağış veya rüzgarın azaldığı durumlarda NO_x'in arttığı görülmüştür. NO_x ile hava basıncı, nisbi nem ve sıcaklık ile arasında “zayıf bir ilişki” olduğu, NO_x üzerinde bir etkilerinin bulunmadığı anlaşılmıştır. Hava basıncı ile NO_x arasında “nispeten zayıf bir ilişki” olduğu, bu ilişkinin özellikle kış aylarında kendisini fazlasıyla gösteren yüksek basınç (1013 hPa) sebebiyle ortaya çıktığı değerlendirilmiştir.

Çizelge 5. NO_x ile meteorolojik faktörler arasındaki korelasyon analizi.

Kirletici Etken (Bağımlı Değişken)	Bağımsız Değişkenler	R ² (R Kare) (%)	İlişkinin Derecesi
NO _x	Yağış	-0,633522698	Nispeten Güçlü
	Hava Basıncı	0,382957461	Nispeten Zayıf
	Nisbi Nem	-0,015454634	İlişki Yok
	Rüzgar	-0,683196346	Nispeten Güçlü
	Sıcaklık	0,12679405	Nispeten Çok Zayıf

İkinci olarak SO_x ile meteorolojik faktörler arasında yaptığımız regresyon analizine göre ortaya çıkan formül Eş. 3'te gösterilmiştir.

$$Y (SO_x) : - 691,836 - 0,404 * Yağış + 1,381 * Hava Basıncı + 1,828 * Nisbi Nem - 23,390 * Rüzgar - 1,114 * Sıcaklık \quad (3)$$

Bu formüle göre ortaya çıkan SO_x regresyon analizi, NO_x regresyon analizi ile paralellik arz etmektedir. SO_x ile hava basıncı ve nisbi nem arasında “doğru orantılı” bir ilişki, yağış, rüzgar ve

sıcaklık arasında “ters orantılı” bir ilişki mevcuttur. Hava basıncı ve nisbi nem değerlerinin artmasıyla SO_x değerleri de artacak, tam tersi olarak hava basıncı ve nisbi nem değerlerinin azalmasıyla SO_x değerleri de azalacaktır. Yağış, rüzgar ve sıcaklık değerlerinde ortaya çıkacak bir birimlik azalış ters orantılı olarak SO_x değerinin artmasına sebep olacaktır. Bu analiz ile elimizdeki meteorolojik verilerin formüle girilmesiyle birlikte istenilen güne ait SO_x emisyon kirliliği değeri bulunabilecektir. Yaptığımız regresyon analizi sonucu Çizelge 4’te gösterilmiştir. Düzeltilmiş R Kare değeri 0,698134655 olarak bulunmuş olup, bu değer sonucuna göre korelasyon analizi açısından SO_x ile meteorolojik faktörler arasında “nispeten güçlü bir ilişki” olduğu tespit edilmiştir. Bu değere göre, SO_x ile meteorolojik faktörler arasında %70’lik bir oranda ilişki bulunduğu, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin birbirlerini bu yüzdelik oranda etkiledikleri, %30’luk farkın başka sebeplerden kaynaklandığını değerlendirilmiştir. Anova tablosundaki Anlamlılık (significance) F değeri 0,024051059 bulunmuş olup, bu değer 0,05 değerinden küçük olduğu için regresyon analizi “bütün” olarak anlamlıdır ve bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında istatistiksel bir ilişki mevcuttur.

Yaptığımız regresyon analizine göre SO_x’in, meteorolojik faktörler ile arasındaki ilişki durumu ve derecesi ortaya koyan korelasyon analizi sonucu Çizelge 6’da sunulmuştur. Buna göre SO_x ile yağış ve rüzgar arasında” güçlü bir ilişki” bulunduğu, yağış ve rüzgarın arttığı zamanda SO_x’in azaldığı, yağış ve rüzgarın azaldığı durumlarda SO_x’in arttığı görülmüştür. SO_x ile hava basıncı, nisbi nem ve sıcaklık arasında “çok zayıf bir ilişki” olduğu, SO_x üzerinde bir dikkate değer bir etkilerinin bulunmadığı anlaşılmıştır. Hava basıncı ile SO_x arasında “nispeten zayıf bir ilişki” olduğu, bu ilişkinin yüksek basınç (1013 hPa) sebebiyle ortaya çıktığı değerlendirilmiştir.

Çizelge 6. SO_x ile meteorolojik faktörler arasındaki korelasyon analizi.

Kirletici Etken (Bağımlı Değişken)	Bağımsız Değişkenler	R ² (R Kare) (%)	İlişkinin Derecesi
SO _x	Yağış	-0,564590027	Çok Az Güçlü
	Hava Basıncı	0,335292608	Nispeten Zayıf
	Nisbi Nem	0,133455897	Nispeten Çok Zayıf
	Rüzgar	-0,71905995	Güçlü
	Sıcaklık	-0,134320315	Nispeten Çok Zayıf

Son olarak PM ile meteorolojik faktörler arasında yaptığımız regresyon analizine göre ortaya çıkan formül Eş. 4’te gösterilmiştir.

$$Y \text{ (PM)} : -97,143 - 0,060 * \text{Yağış} + 0,177 * \text{Hava Basıncı} + 0,247 * \text{Nisbi Nem} - 3,246 * \text{Rüzgar} - 0,185 * \text{Sıcaklık} \quad (4)$$

PM regresyon analizinde elde ettiğimiz sonuç, NO_x ve SO_x regresyon analiz sonuçları ile paralellik arz etmektedir. PM ile hava basıncı ve nisbi nem arasında “doğru orantılı” bir ilişki, yağış, rüzgar ve sıcaklık arasında “ters orantılı” bir ilişki mevcuttur. Hava basıncı ve nisbi nem değerlerinin artmasıyla PM değerleri de artacak veya tam tersi olarak azalacaktır. Yağış, rüzgar ve sıcaklık değerlerinde ortaya çıkacak bir birimlik azalış veya artış ters orantılı olarak PM değerinin artmasına veya azalmasına sebep olacaktır. İstenilen güne ait PM emisyon kirliliği oranı, elimizdeki meteorolojik verilerin formüle girilmesiyle hesaplanabilmektedir. PM için yaptığımız regresyon analizi sonucu Çizelge 4’te gösterilmiştir. Düzeltilmiş R Kare değeri 0,6621842 olarak hesaplanmış olup, bu değere göre korelasyon analizi açısından PM ile meteorolojik faktörler arasında “nispeten güçlü bir ilişki”

bulunmuştur. PM ile meteorolojik faktörler arasında %66'lık bir oranda ilişki bulunduğu, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin birbirlerini bu yüzdeler oranda etkiledikleri, %34'lük farkın başka sebeplerden kaynaklandığını değerlendirilmiştir. Anova tablosundaki Anlamlılık (significance) F değeri 0,032868079 bulunmuş olup, bu değer 0,05 değerinden küçük olduğu için regresyon analizi “bütün” olarak anlamlıdır ve bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında istatistiksel bir ilişki mevcuttur.

Yapılan regresyon analizine göre elde edilen korelasyon analiz sonucu Çizelge 7’de sunulmuştur. Korelasyon analizi sonucuna göre PM ile yağış ve rüzgar arasında “güçlü bir ilişki” bulunduğu, yağış ve rüzgar arttığında PM’nin azaldığı, yağış ve rüzgarın azaldığı zamanlarda PM değerinin arttığı görülmüştür. PM ile hava basıncı, nisbi nem ve sıcaklık arasında “çok zayıf bir ilişki” olduğu veya dikkate değer bir etkilerinin bulunmadığı anlaşılmıştır. Yüksek hava basıncı (1013 hPa) nedeniyle, hava basıncı ile PM arasında “nispeten zayıf bir ilişkisi” olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 7. PM ile meteorolojik faktörler arasındaki korelasyon analizi.

Kirletici Etken (Bağımlı Değişken)	Bağımsız Değişkenler	R ² (R Kare)(%)	İlişkinin Derecesi
PM	Yağış	-0,558736061	Çok Az Güçlü
	Hava Basıncı	0,339056365	Nispeten Zayıf
	Nisbi Nem	0,121091423	Nispeten Çok Zayıf
	Rüzgar	-0,692195078	Nispeten Güçlü
	Sıcaklık	-0,167245561	Nispeten Çok Zayıf

3. TARTIŞMA

Gemiler tarafından atmosfere salınan baca gazlarından azot oksit (NO_x), sülfür oksit (SO_x) ve partiküler madde (PM) emisyonlarının insan sağlığı ve çevre üzerinde doğrudan zararlı etkileri bulunmaktadır [1,3,4]. Yaklaşık 15 milyon insanın yaşadığı İstanbul ilinin nüfusunun %35’i İstanbul Boğazı’na yaklaşık 4/5 km mesafede yaşamaktadır [21]. Boğaz’daki mevcut gemi trafiği emisyonu konsantrasyonlarının bölgedeki meteorolojik faktörler ile arasındaki ilişkinin incelenmesi ve bu ilişkinin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin tespit edilmesi çok önemlidir. Bu çalışmada İstanbul Boğazı’ndaki bir yıllık gemi trafiği emisyon sonuçları (NO_x, SO_x ve PM) ile meteorolojik faktörler arasındaki ilişki durumu, adimsal çoklu doğrusal regresyon analizi ve korelasyon analizi yapılarak incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda gemi emisyonu konsantrasyonları ile meteorolojik faktörler arasında bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan regresyon analizinde ortaya çıkan ortak sonuca göre NO_x, SO_x ve PM emisyonları ile nisbi nem ve hava basıncı arasında “doğru orantılı” bir ilişki, yağış, rüzgar ve sıcaklık arasında “ters orantılı” bir ilişki ortaya çıkmıştır. Hava basıncı ve nisbi nem değerlerinde ortaya çıkacak bir birimlik artış veya azalış NO_x, SO_x ve PM emisyonlarının etkisinin artmasına veya azalmasına, yağış, rüzgar ve sıcaklık değerlerinde ortaya çıkacak bir birimlik artış veya azalış ters orantılı olarak NO_x, SO_x ve PM emisyonlarının etkisinin azalmasına veya artmasına sebep olacaktır. Hava basıncı ve nisbi nemin kış ve ilkbahar aylarında yüksek seviyede görülmesi ve emisyonlarla doğru orantılı bir ilişkisinin ortaya çıkması sebebiyle, diğer şehir emisyonlarının (taşıt trafiği, sanayii ve evsel ısınma vb.) da bu aylarda artış gösterdiği düşünüldüğünde gemilerden salınan NO_x, SO_x ve PM emisyonlarının şehir üzerinde zararlı etkisini daha fazla göstereceği değerlendirilmiştir. Yağış, rüzgar ve sıcaklık ile

emisyonlar arasındaki ortaya çıkan “ters orantılı” ilişkinin sebebi, bu meteorolojik faktörlerin artması ile kirletici konsantrasyonların azalması, zararlı etkisini kaybetmesidir.

Korelasyon analizlerinde de benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Buna göre NO_x, SO_x ve PM ile yağış ve rüzgar arasında “güçlü bir ilişki” bulunmuş, meteorolojik faktörlerin ters orantılı olarak NO_x, SO_x ve PM üzerinde artma veya azalma yönünde etkisinin bulunduğu görülmüştür. NO_x, SO_x ve PM ile hava basıncı, nisbi nem ve sıcaklık arasında “zayıf bir ilişki” ortaya çıkmıştır. Hava basıncı, nisbi nem ve sıcaklık değerlerinin zayıf bir ilişkiye sahip olmasının sebebi, havadaki kirletici konsantrasyonların temizlenmesine katkı sağlayacak kadar bu meteorolojik faktörlerin etkisinin yüksek seviyede görülmemesidir. Yağış ve rüzgar arttığında kirletici konsantrasyonlar havadan temizlenecek ve zararlı etkileri azalacaktır.

PM’ler hava kirliliğini oluşturan önemli bir bileşenlerden biridir ve insan sağlığı, çevre ve iklim değişikliği üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle küresel seviyede endişe uyandırmaktadır [35-38]. NO_x ve SO_x emisyonlarını azaltıcı tedbirler (emisyon kontrol alanları, sülfür emisyon kontrol alanları, yakıttaki sülfür oranının düşürülmesi, dizel makinelerde konfigürasyon vb.) Uluslararası Denizcilik Örgütü tarafından yürürlüğe konulmasına rağmen, PM’lerin zararlı etkilerinin ortadan kaldırılmasına yönelik bir tedbir bulunmamaktadır. Bu durum da PM’lerin emisyonlardaki olumsuz etkisinin kaybolmamasına sebebiyet vermektedir. PM’lerin toz şeklinde olması ve atmosferde uzun süre asılı kalabilmesi sebebiyle insan sağlığına zararlı etkisi diğer emisyon türlerine (NO_x, SO_x) göre daha fazladır [37,39]. PM’lerin büyüklüğüne göre (2,5 mm, 10 mm) üst solunum yolu rahatsızlıkları, akciğer rahatsızlıkları, astım, bronşit vb. ortaya çıkmaktadır [40,41]. Emisyonların sonbahar ve kış aylarında daha fazla artması sonucu bu rahatsızlıklar da daha fazla görülmektedir. İlkbahar aylarında Cezayir, Libya ve Tunus çöllerinden kalkıp İstanbul’a gelen sahra tozu taşınımlarının [21] da ayrı bir PM kirliliği kaynağı olduğunu düşündüğümüzde, İstanbul ili üzerinde hemen hemen bütün yıl boyunca PM kirliliği ve zararlı etkileri görülmektedir.

Yapılan tüm analizlerin sonucunda gemi emisyonları konsantrasyonları ile meteorolojik faktörler arasında doğru orantılı ve güçlü bir ilişki bulunduğu, emisyonların zararlı etkilerinin artması veya azalması yönünde birbirlerini etkiledikleri görülmüştür. Boğaz çevresindeki hava kirliliğinin etkilerinin azaltılması için, gemi trafiğinin meteorolojik faktörler göz önünde bulundurularak hava basıncı ve nisbi nemin yüksek olduğu zamanlarda yavaşlatılmasının gerekli olduğu değerlendirilmektedir. Bunun yanında İstanbul ilinin diğer hava kirliliği kaynakları olan taşıt trafiği, sanayii ve evsel ısınma ile meteorolojik faktörler arasındaki ilişkinin araştırılmasının ve ortaya çıkacak ilişki durumuna göre hava kirliliği konsantrasyonlarının zararlı etkilerinin azaltılmasını amaçlayan bir eylem planı hazırlanmasının gerekli olduğu kıymetlendirilmektedir.

TEŞEKKÜR

Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı Journal of Scientific Reports-B Dergisi editör ve hakemlerine çok teşekkür ederim.

KAYNAKÇA

- [1] Natural Resources Defense Council (NRDC). (2004). Harboring Pollution: Strategies to Clean up U.S. Ports. New York, USA: The Natural Resources Defense Council, 97p.

- [2] The International Council on Clean Transportation (ICCT). (2007). Air Pollution and Greenhouse Gas Emissions from Ocean-Going Ships: Impacts, Mitigation Options and Opportunities for Managing Growth. Washington, USA: The International Council on Clean Transportation Publications. 102p.
- [3] Rai, A.C., Kumar, P., Pilla, F., Skouloudis, A.N., Di Sabatino, S., Ratti, C., Yasar, A. and Rickerby, D. (2017). End-User Perspective of Low-Cost Sensors for Outdoor Air Pollution Monitoring. *Science of The Total Environment*, 607-608, 691-705.
- [4] Franchini, M. and Mannucci, P.M. (2018). Mitigation of Air Pollution by Greenness: A Narrative Review. *European Journal of Internal Medicine*, 2018.
- [5] World Health Organization. (2011). Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide for Global update 2005. Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe. ISBN 92-890-2192-6, 484p.
- [6] Wang, J.F., Hu, M.G., Xu, C.D., Christakos, G. and Zhao, Y. (2013). Estimation of citywide air pollution in Beijing. *PLoS One*, 8 (1).
- [7] Barbulescu, A. and Barbes, L. (2017). Mathematical Modeling of Sulfur Dioxide Concentration in the Western Part of Romania. *Journal of Environmental Management*, 204 Part 3, 825-830.
- [8] Biancofiore, F., Busilaccchio, M., Verdecchia, M., Tomassetti, B., Aruffo, E., Bianco, S., Di Tommaso, S., Colangelli, C., Rosatelli, G. and Di Carlo, P. (2017). Recursive Neural Network Model for Analysis and Forecast of PM₁₀ and PM_{2.5}. *Atmospheric Pollution Research*, 8, 652-659.
- [9] Bari, MD. and Kindzierski, W.B. (2015). Fifteen-Year Trends in Criteria Air Pollutants in Oil Sands Communities of Alberta, Canada. *Environmental International*, 74, 200-208.
- [10] Zafra, C., Ángel, Y. and Torres, E. (2017). ARIMA Analysis of the Effect of Land Surface Coverage on PM₁₀ Concentrations in a High-Altitude Megacity. *Atmospheric Pollution Research*, 8, 660-668.
- [11] Asl, F.B., Leili, M., Vaziri, Y., Arian, S.S., Cristaldi, A., Conti, G.O. and Ferrante, M. (2018). Health Impacts Quantification of Ambient Air Pollutants Using Airquality Model Approach in Hamadan, Iran. *Environmental Research*, 161, 114-121.
- [12] Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2019). Meteorolojik veriler, <http://www.mgm.gov.tr>, 2019.
- [13] Öztürk, M. (2009). Çevre Komisyonu Raporu: Hava kirliliğini artıran sıcaklık inversiyon. Çevre ve Şehir Kütüphanesi Yayınları, Ankara, 18s.
- [14] Müezzinoğlu, A. (2000). Hava kirliliği ve kontrolünün esasları. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, ISBN 9756981369, İzmir, 328s.

- [15] Özcan, N.S. and Çubukcu, K.M. (2014). Evaluation of air pollution effects on asthma disease: the case of Izmir. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 202, 448-455.
- [16] Dursun, Ş. ve İbrahimova, İ. (2014). Bakü Hava Kirlenmesinde SO₂'nin Rolü ve Meteorolojik Olaylarla İlişkisinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Cilt. 1, No. 3, S. 84-91, Haziran 2014.
- [17] Çapraz, Ö., Efe, B. and Deniz, A. (2014). Study on the association between air pollution and mortality in Istanbul, 2007-2012. *Atmospheric Pollution Research*, 7, 147-154.
- [18] Zhang, H., Wang, Y., Hu, J., Ying, Q. and Hu, X.M. (2015). Relationships between meteorological parameters and criteria air pollutants in three mega cities in China. *Environmental Research*, 140 (2015), 242-254.
- [19] Kunt, F. ve Dursun, Ş. (2018). Konya Merkezinde Hava Kirliliğine Bazı Meteorolojik Faktörlerin Etkisi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, Sayı 1(1): 54-61 (2018).
- [20] Sari, M.F. ve Esen, F. (2019). PM₁₀ ve SO₂ Konsantrasyonları ve Meteorolojik Parametrelerin Konsantrasyonlar Üzerine Etkileri. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 8, Sayı 2, (2019), 689-697. doi: 10.28948/ngumuh.598226.
- [21] Tokuşlu, A. (2019). İstanbul Boğazı'nda Gemi Kaynaklı Hava Emisyonlarının Analizi ve Etkilerinin Ortaya Konulması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul, 189s.
- [22] Nastase, G., Serban, A., Nastase, A.F., Dragomir, G. and Brezeanu, A.I. (2018). Air Quality, Primary Air Pollutants and Ambient Concentrations Inventory for Romania. *Atmospheric Environment*, 184, 292-303.
- [23] Tokuşlu, A. (2020). Assessing the Environmental Costs of Port Emissions: The Case of Trabzon Port. *Journal of International Environmental Application & Science*, Vol. 15(2): 104-111 (2020).
- [24] Mersin, K., Bayırhan, I. and Gazioğlu, C. (2019). Review of CO₂ Emission and Reducing Methods in Maritime Transportation. *Thermal Sciences*, 1-8.
- [25] Bozkurt, Z., Üzmen, Ö.Ö., Döğeroğlu, T., Artun, G. and Gaga, E.O. (2018). Atmospheric Concentrations of SO₂, NO₂, Ozone and VOCs in Düzce, Turkey Using Passive Air Samplers: Sources, Spatial and Seasonal Variations and Health Risk Estimation. *Atmospheric Pollution Research*, 9, 1146-1156, 2018.
- [26] Bayırhan, İ., Mersin, K., Tokuşlu, A., Gazioğlu, C. (2019). Modelling of Ship Originated Exhaust Gas Emissions in the Strait of Istanbul (Bosphorus). *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 6 (3), 238-243. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.457184>.
- [27] Belusic, A., Herceg-Bulic, I. and Klaic, Z.B. (2015). Using a Generalized Additive Model to Quantify the Influence of Local Meteorology on Air Quality in Zagreb. *Geofizika*, 32, 47-77.

- [28] Yin, Q., Wang, J., Hu, M. and Wong, H. (2016). Estimation of Daily PM_{2.5} Concentration and Its Relationship with Meteorological Conditions in Beijing. *Journal of Environmental Sciences*, 48, 161-168.
- [29] Avşar, E., Alp, K. ve Toröz, İ. (2015). Balıkesir İli Burhaniye İlçesi (İskele Mahallesi) Hava Kalitesinin Değerlendirilmesi. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 4, 68–82.
- [30] Norusis, M.J. (1990). *SPSS Base System User's Guide*. Chicago, USA: SPSS Inc. 520p.
- [31] Trozzi, C. and Vaccaro, R. (1998). European Commission Under the Transport RTD Programme of the 4th Framework Programme Technical Report: Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships. Roma, Italy:Techne.
- [32] Trozzi, C. and Vaccaro, R. (2006). Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships: a 2006 update. *Environment & Transport 2th International Scientific Symposium including 15th conference Transport and Air Pollution, Proceedings 108, 425, 12-14 June 2006, Reims, France*.
- [33] Trozzi, C. (2010). *Techne Consulting Report: Emissions estimate methodology for maritime navigation*. San Antonio, Texas:Techne.
- [34] Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2019). *Denizcilik İstatistikleri*, https://atlantis.udhb.gov.tr/istatistik/istatistik_filo.aspx, 2019.
- [35] West, J.J., Cohen, A., Dentener, F., Brunekreef, B., Zhu, T., Armstrong, B., Bell, M.L., Brauer, M., Carmichael, G., Costa, D.L., Dockery, D.W., Kleeman, M., Krzyzanowski, M., Kunzli, N., Liousse, C., Lung, S.C.C., Martin, R.V., Poschl, U., Pope, C.A., Roberts, J.M., Russell, A.G. and Wiedinmyer, C. (2016). What we breathe impacts our health: improving understanding of the link between air pollution and health. *Environment Science Technology*, 50, 4895–4904.
- [36] Fan, Q.Z., Zhang, Y., Ma, W.C., Ma, H.X., Feng, J.L., Yu, Q., Yang, X., Ng, S.K.W., Fu, Q.Y. and Chen, L.M. (2016). Spatial and seasonal dynamics of ship emissions over the Yangtze River Delta and East China Sea and their potential environmental influence. *Environment Science Technology*, 50, 1322–1329.
- [37] Liu, H., Fu, M.L., Jin, X.X., Shang, Y., Shindell, D., Faluvegi, G., Shindell, C. and He, K.B. (2016). Health and climate impacts of ocean-going vessels in East Asia. *Nature Climate Change*, 6 (11). <http://dx.doi.org/10.1038/NCLIMATE3083>.
- [38] Xie, M., Liao, J.B., Wang, T.J., Zhu, K.G., Zhuang, B.L., Han, Y., Li, M.M. and Li, S. (2016). Modeling of the anthropogenic heat flux and its effect on regional meteorology and air quality over the Yangtze River Delta region, China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16 (10):6071–6089. <http://dx.doi.org/10.5194/acp-16-6071-2016>.
- [39] Pérez, N., Pey, J., Reche, C., Cortes, J., Alastuey, A. and Querol, X. (2016). Impact of harbour emissions on ambient PM₁₀ and PM_{2.5} in Barcelona (Spain): evidences of secondary aerosol

Tokuşlu, A., Journal of Scientific Reports-C, Sayı 1, 38-54, Haziran 2020.
Tokuşlu, A., Journal of Scientific Reports-C, Number 1, 38-54, June 2020.

formation within the urban area. Science of the Total Environment, 571:237–250.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.025>.

- [40] Scerri, M., Kandler, K., Weinbruch, S., Yubero, E., Galindo, N., Prati, P., Caponi, L. and Massabo, D. (2018). Estimation of the contributions of the sources driving PM_{2.5} levels in a Central Mediterranean coastal town. Chemosphere, 211, 465.
- [41] Du, W.J., Zhang, Y.R., Chen, Y.T., Xu, L.L., Chen, J.S., Deng, J.J., Hong, Y.W. and Xiao, H. (2017). Chemical characterization and source apportionment of PM_{2.5} during spring and winter in the Yangtze River Delta, China. Aerosol Air Quality Research, 17, 2165–2180.