

Yayın Geliş Tarihi (Submitted): 10/01/2023

Yayın Kabul Tarihi (Accepted): 09/10/2023

Makele Türü (Paper Type): Araştırma Makalesi – Research Paper

Please Cite As/Atıf için:

Ünal, C. ve Özel, G. (2023), Ankara ili meteoroloji parametrelerinin hava kirliliği üzerindeki etkilerinin regresyon analizi ile incelenmesi, *Nicel Bilimler Dergisi*, 5(2), 135-150. [doi:10.51541/nicel.1231668](https://doi.org/10.51541/nicel.1231668)

ANKARA İLİ METEOROLOJİ PARAMETRELERİNİN HAVA KİRLİLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN REGRESYON ANALİZİ İLE İNCELENMESİ

Ceren Ünal¹ ve Gamze Özel²

ÖZ

Hava kirliliği ile ilişkili riskleri daha iyi anlamak ve yönetmek için, hava kirliliği eğiliminin doğru bir şekilde tahmin edilmesi çok önemlidir. Ankara, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nin merkezinde yer almaktadır. Hızlı nüfus artışı, düzensiz kentleşme ve artan sanayileşme nedeniyle, Ankara'da son yıllarda hava kirliliği ciddi boyutlara ulaşmıştır. Bu çalışma kapsamında, 2018-2021 yılları arasında Ankara iline ait bağıl nem, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, hava sıcaklığı, hava basıncı biçimindeki meteoroloji parametrelerinin, partiküler madde (PM₁₀), kükürt dioksit (SO₂), azot (NO), azot dioksit (NO₂), azot oksit (NO_x), karbon monoksit (CO) biçimindeki hava kirliliği göstergeleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Meteoroloji parametreleri ile hava kirlilik gösterge değerleri arasındaki ilişkilerin istatistiksel anlamlılığı regresyon analizinden yararlanılmıştır. Bu amaçla, PM₁₀, SO₂, NO, NO_x, CO verilerine ayrı ayrı regresyon analizleri, meteoroloji parametreleri bağımsız değişkenler olarak alınarak uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, PM₁₀, SO₂, NO, NO_x, CO düzeyi ile meteorolojik parametreler olan rüzgâr yönü, rüzgâr hızı, bağıl nem, hava sıcaklığı, hava basıncı arasında negatif yönde ilişki olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Regresyon Analizi, Hava Kirliliği, Emisyon, Ankara.

¹Sorumlu yazar, Araş. Gör. Dr., İstatistik, Fen Fakültesi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9357-1771>

²Prof. Dr., İstatistik, Fen Fakültesi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3886-3074>

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF ANKARA METEOROLOGICAL PARAMETERS ON AIR POLLUTION BY REGRESSION ANALYSIS

ABSTRACT

To better understand and manage the risks associated with air pollution, an accurate estimation of the air pollution trend is crucial. Ankara is located in the centre of Turkey's Central Anatolia Region. Due to rapid population growth, irregular urbanization, and increasing industrialization, air pollution has reached serious levels in Ankara in recent years. Within the scope of this study, meteorological parameters in the form of relative humidity, wind speed, wind direction, air temperature, air pressure, particulate matter (PM₁₀), sulphur dioxide (SO₂), nitrogen (NO), nitrogen dioxide, in the province of Ankara between 2018-2021. Nitrogen dioxide (NO₂), nitrogen oxide (NO_x), and carbon monoxide (CO) in the form of air pollution indicators are the form of examining the effects. The statistical significance of the relations between meteorological parameters and air pollution indicator values benefited from the regression analysis. For this purpose, regression analyses were applied to PM₁₀, SO₂, NO, NO_x, and CO data separately, taking meteorological parameters as independent variables. The results showed that there is a negative relationship between PM₁₀, SO₂, NO, NO_x, and CO levels and meteorological parameters such as wind direction, wind speed, relative humidity, air temperature, and air pressure.

Keywords: Regression Analysis, Air Pollution, Emission, Ankara.

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki hızlı artış, düzensiz kentleşme ve artan enerji ihtiyacı, tarım ve sanai gelişme sonucu insan ve doğal çevre arasındaki ilişki dengenin bozulmasına neden olmuştur (Brokamp vd., 2017). Hava kirliliği, bozulan dengenin doğal bir sonucudur. Hava kirliliği genellikle fosil yakıtların enerji dönüştürme cihazlarında sürdürülemez bir şekilde yanmasından kaynaklanmaktadır (Cazorla, 2016). Bu durum, antropojenik faaliyetlerden ve atmosferik kirlleticilerin kaçak emisyon kaynaklarından dolayı ortaya çıkmaktadır. Bu faaliyetler arasında, artan araç trafiği, biokütle yakımı, elektrik enerjisi üretim setlerinin kullanımı, yakma tesislerinden ve alev bacalarından kaynaklanan sızıntıları içermektedir (Ni vd., 2017).

PM10, SO₂, NO, NOX, CO, hava kirliliği indeksi/hava kalitesi indeksi (API/AQI) hesaplamaları için kullanılan hava kirleticileri arasında yer almaktadır (WHO, 2006). Bu kirleticiler, şehir havasındaki her yerde bulunmakta ve konsantrasyonlarını ulusal ve uluslararası düzeylerde düzenlemek için gösterilen ciddi çabalarla, halk sağlığı için potansiyel risk oluşturdukları yaygın olarak kabul edilmektedir (Li vd., 2005). Bu atmosferik kirleticiler, çoğu zaman insan varlığının ve çevre sağlığının gereksinimi olan temiz hava için önemli bir tehdit oluşturan ciddi çevresel sorunlara neden olmaktadır (Wang vd., 2019; Bayram, 2005). Yapılan araştırmalarda kardiyovasküler ve solunum yolu hastalıkları olan hastaların kaza dışı ölüm oranlarının atmosferdeki partikül madde (PM) konsantrasyonu ile yakından ilişkili olduğu (Yu vd., 2016; Bayram vd., 2006) ve karbon seviyelerindeki artışın koroner kalp hastalığına bağlı ölüm oranını artırabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Tai, 2010). Hava kirliliğinin hayvanlar, bitkiler ve insan sağlığı üzerinde doğrudan etkileri olduğu gibi ekosistemler ve malzeme dolaşımı üzerinde dolaylı olumsuz etkileri de vardır.

Partikül kirliliği olarak da bilinen partikül madde (PM) doğal olarak dünyanın yüzeyindeki tozdan, deniz tuzundan ve biyolojik materyallerde oluşmaktadır (Morand ve Maesano, 2004). Ayrıca partikül boyutu tüm canlıların sağlığını etkileyen önemli bir faktördür. Özellikle 10 mikron veya daha küçük parçacıklar burun ve boğazdan geçip mideyi ve kalbi etkileyebileceğinden araştırmacılar için çok önemlidir. PM10, kaba çapı 10 mikrometre veya daha küçük olan parçacıktır. Karbon monoksit (CO) ise, kömür, odun veya doğal gaz gibi yakıtların yanma ürünüdür. Azot (NO), azot dioksit (NO₂), azot oksit (NOX), yüksek sıcaklıkta yanmadan atılmaktadır. Petrol ve kömür genellikle kükürt içerir ve bunların yanması kükürt dioksit (SO₂) üretir. Hava kirliliği tüm bu hava kirleticilerinin varlığından kaynaklanır ve bu kirleticiler, sıcaklık, nem, yağmur, rüzgâr gibi meteorolojik etkilerden etkilenmektedir. Bu etkileri minimize edebilmek için hava sıcaklığı, bağıl nem, yağış, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü meteorolojik parametrelerin ve kirlilik göstergelerinin sensörler tarafından gerçek zamanlı incelemesinin yapılması gereklidir.

Hava kirliliğine sebep olan kirleticilerin canlılar üzerindeki olumsuz etkileri bulunması nedeniyle, zararlı etkileri ve nedenleri geniş çapta araştırılmaktadır (Andersen vd. 2013; Makkonen vd. 2012; Garage vd. 2018). Hava kirliliği tahmini için birçok yöntem geliştirilmiştir. Deterministik modeller, hava kalitesi tahmini alanında bir dizi önemli ilerlemeye olanak sağlamıştır. Hu vd. (2016), çok ölçekli hava kalitesi modelleme sistemi geliştirerek Çin'de şiddetli hava kirliliğini yeniden üretme yeteneğini göstermiştir. Mathur vd. (2017), kuzey yarım küre boyunca ozon ve PM dağılımını simüle etmek için bu sistemi

genişletmiştir. Rafee vd. (2017), Amazon yağmur ormanlarında mobil, sabit ve biyolojik kaynakların hava kirliliğine katkısını değerlendirmek için kimya modeliyle birleştirilmiş araştırma ve tahmin modelini uygulamış ve sonuçlar, Manaus şehrinden gelen hava kirliliği dumanının ağırlıklı olarak batıya ve güneybatıya taşındığını göstermiştir (Rafee vd., 2017).

Hava kalitesi modellerini incelemek için farklı istatistiksel yöntemler de kullanmıştır. Markov modelleri genellikle havadaki kirleticilerin konsantrasyonunu tahmin etmek için kullanılmıştır (Rybarczyk vd. 2018). Bu yöntem, sürecin durumu üzerinde iyi bir etkiye sahiptir, ancak sistemin orta ve uzun vadeli tahmini için uygun değildir. Bazı çalışmalarda hava kalitesi tahmin modelleri oluşturmak için, rasgele orman algoritması kullanılmıştır ancak rastgele ormanların bazı gürültülü sınıflandırma veya regresyon problemlerinde gereğinden fazla uyduğu kanıtlanmıştır (Taheri ve Sodoudi, 2016). Hava kalitesi tahmin modelleri oluşturmak için yapay sinir ağlarını kullanan bazı çalışmalar da mevcuttur. Yapay sinir ağı, tüm problemlerin özelliklerini sayılara çevirerek tüm muhakemeleri sayısal hesaplamalara dönüştürmekte ve kendi muhakeme sürecini ve muhakeme temelini açıklayamamaktadır (Xu ve Ren, 2019). Doğrusal regresyon analizi genellikle hava kalitesi sorunlarını incelemek için kullanılmaktadır. Bu modelin avantajları, basit hesaplamalar gerektirmesi, regresyon katsayılarının kolay yorumlanmasıdır (Mathur vd., 2017; Rafee vd., 2017). Bu çalışmada her bir hava kirleticisi için çoklu regresyon analizinden yararlanarak iklim parametrelerinin kirleticiler üzerindeki etkisi incelenecektir.

Türkiye'de gözlenen hava kirliliğinin sebepleri büyük ölçüde ısınma ve ulaşım amaçlı tüketilen yakıtlara dayandırılabilir. Türkiye, ayrıca Ortadoğu'dan gelen toz fırtınalarından en çok etkilenen ülkelerden biri konumundadır. Toz fırtınaları çoğunlukla çöl bölgelerinden gelen yüksek PM konsantrasyonları ile sonuçlanan süreçlerdir (Jaafari vd., 2018; Wang vd., 2005). Türkiye'nin PM seviyeleri de bu olaylardan olumsuz etkilenmektedir (Jaafari vd., 2018; Miller vd., 2008). Partikül madde maruziyetinin ciddi sağlık etkileri yarattığına dair çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Cekim, 2020; Ozel ve Cakmakyapan, 2015). Bu çalışmalarda, PM'ye kısa süreli maruz kalma farklı sağlık sorunları ile ilişkili bulunmuştur (Goudarzi vd., 2013; Linares vd., 2010; Malig ve Ostro, 2009; Brunekreef ve Forsberg, 2005; Graff vd., 2009; Host vd., 2008; Qiu vd., 2012). Sıkı düzenlemeler ve önlemlerin yardımıyla, PM kirliliği seviyeleri son yıllarda ülkenin çoğunda düşürülmüştür ancak yine de kirlilik değerlerinin incelenmesi ve araştırılması önem taşımaktadır.

Ankara, Türkiye'nin başkenti olup, İç Anadolu Bölgesi'nin merkezinde yer almaktadır. Son dönemlerdeki artan sanayileşme, hızlı nüfus artışı, düzensiz kentleşme nedeniyle hava

kirliliği Ankara'da özellikle kış aylarında ciddi boyutlara ulaşmıştır. Araştırmaya göre, Ankara'da araç kullanım sayısındaki artışında hava kalitesinin düşmesine neden olduğu belirlenmiştir (Dündar vd. 2020). Bu nedenle, bu çalışmada Ankara ilinde hava kirlilik göstergeleri üzerinde meteorolojik parametrelerin etkisinin regresyon analizi ile araştırılması amaçlanmıştır.

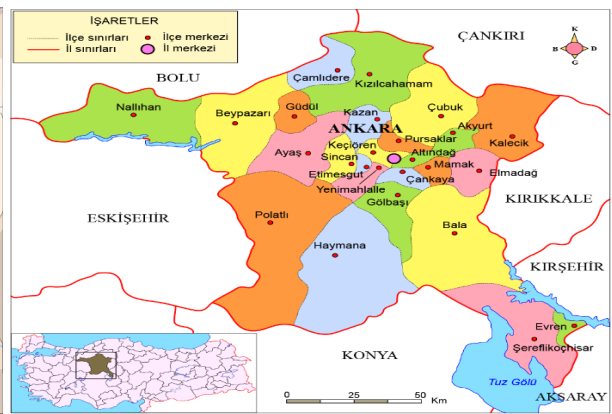
2. ÇALIŞMA ALANI VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı

Ankara ili İç Anadolu'nun kuzeybatısında yer almakta olup, 39° ve 57' kuzey enlemleri ile 32° ve 53' arasında doğu boylamları arasındadır (Şekil 1a). Batısında Eskişehir; doğusunda Kırşehir ve Kırıkkale; kuzey doğusunda Çankırı illeri bulunmaktadır (Şekil 1.b). Denizden yüksekliği seviye 938 metredir. Yüzölçümü 25,706 km²'dir. Ankara şehrinin coğrafi konumu Hatip Ovası'nda tepelerle çevrili bir havzadadır. Şehir zamanla büyümüş ve etrafındaki sırtlara yayılmıştır. Bu nedenle, şehir hem düz hem de yokuşlu bir yerleşim alanına sahiptir. Şehir merkezi genel olarak Ankara Çayı ve kollarının oluşturduğu ova ve ovanın çevresindeki dağlık, engebeli alanda yoğunlaşmaktadır. Bu nedenle, şehir merkezinin kâse benzeri bir alanda yer aldığı söylenebilir. Bu topografik özellikler Ankara'daki yerleşim yerlerinin dağılımını belirlerken, Ankara'da karasal iklim hakimdir (Çicek vd., 2004). Ankara'da yeşil alanlar sistematik ve heterojen olmayan bir dağılıma sahiptir. Kişi başına düşen yeşil alan miktarı semtler dikkate alındığında Çankaya'da 2,8m², Altındağ'da 0,6m², Gölbaşı'nda 1.1m², Etimesgut'ta 2,9m², Keçiören'de 1.6m², Mamak'ta 1.3m² de, Yenimahalle'de 1.6 m² ve Sincan'da 6.0m² biçimindedir (Yeşil, 2006). İlçelere göre kişi başına düşen yeşil alan miktarı incelendiğinde kent içindeki yeşil alanların yeterli olmadığı görülmektedir.



Şekil 1.a. Çalışma alanı konumu



Şekil 1.b. Çalışma alanına ait coğrafi sınırlar

Ankara ili ve çevresinde Köppen iklim sınıflandırmasına göre “BSK” iklim tipi hakimdir. Bu nedenle, Ankara'da yıllık ortalama sıcaklık 18.0 °C'den düşük olup, yarı kurak bir iklim söz konusudur. Yıllık yağış miktarı ise (250-400 mm) düşüktür (Akman, 1990).

2.2. Yöntem

Regresyon analizinde, bir veri kümesinden türetilen özellikler, sürekli değer alan bağımlı değişkeni tahmin etmek için regresyon modelinin bağımsız değişkenleri olarak kullanılır. Bu tür bir tahmin, x bağımsız (girdi) değişkeni ile y bağımlı (çıkıtı) değişkeni arasındaki ilişkiyi öğrenerek elde edilmektedir. Regresyon analizinin en basit durumu, bağımlı değişkenin değerini tahmin etmek için tek bir özelliğin kullanıldığı basit regresyon analizidir. Doğrusal regresyon model denklemi aşağıdaki gibidir:

$$y = \beta_0 + \beta_1x + e$$

Burada y, bağımlı değişken; x, bağımsız değişken, β_i , $i=0, 1$ için tahmin edilecek parametreler ve e hata terimini göstermektedir. Doğrusal regresyon analizinde bağımsız değişkenler ve bağımlı değişken arasındaki ilişki, verilere doğrusal veya doğrusal olmayan bir eğri uydurarak elde edilir. Eğriyi doğru bir şekilde oturtmak için, diğerlerinden daha iyi uyan eğriyi belirlememizi sağlayan uyum iyiliği ölçüsünün tanımlanması gerekir. Basit bir doğrusal regresyon durumunda amaç, uyum iyiliği ölçüsünü en aza indiren eğimin değerini ve doğrunun kesişme noktasını bulmaktır. y, bağımlı değişken; x_i , $i=0,1,\dots,n$ için bağımsız değişkenler, β_i , tahmin edilecek parametreler ve e hata terimi olmak üzere, çoklu doğrusal regresyon modeli aşağıdaki gibidir:

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \dots + \beta_nx_n + e$$

Çoklu regresyon modelinin temel varsayımları bağımlı değişkenin normal dağılması, bağımsız değişkenler arasında çoklu bağlantının sorunun olmaması, hata teriminin ortalamasının sıfır olması, doğrusallık, değişen varyanslılık probleminin ve otokorelasyonun olmaması biçimindedir.

Çoklu doğrusal regresyon modelinde tüm regresyon katsayılarının sıfıra eşit olduğu yokluk hipotezi (H_0) ile ($H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_n$) olarak gösterilirken, en az bir β_i katsayısının sıfırdan farklı olduğu seçenek hipotezi (H_s) ile belirtilir. Çoklu doğrusal regresyon modelinin bütün olarak anlamlılığı için F testi kullanılır. Regresyon parametrelerinin anlamlılıklarının tek başına testi için ise, t-testi kullanılır. Belirtme katsayısı (R^2), bağımlı değişkenin modele dâhil edilen bağımsız değişkenler tarafından açıklanma

yüzdesini temsil etmektedir. Çoklu regresyon modeline eklenen değişken sayısı arttıkça, modelin R^2 değeri artmaktadır. Bu yüzden, çoklu regresyon analizinde düzeltilmiş (adjusted) R^2 değeri kullanılmaktadır.

Regresyon analizinde belirli regresyon seçimi yaklaşımları, tahmin edicileri test etmede yardımcı olur ve böylece analizin etkinliğini artırır. Değişken seçimi için en çok kullanılan yöntem “girdi” yöntemidir. Bu yöntemde tüm bağımsız değişkenler aynı anda denkleme girilir. Az sayıda açıklayıcı değişken kümesiyle uğraşırken ve araştırmacının hangi bağımsız değişkenlerin en iyi tahmin denklemini oluşturacağını bilmediği durumlarda uygun bir analizdir. Her açıklayıcı değişken, diğer tüm bağımsız değişkenler girildikten sonra girilmiş gibi değerlendirilir ve modele girilen diğer değişkenlerin sunduğu tahminlerden farklı olarak bağımlı değişkenin tahminine ne sunduğu ile değerlendirilir.

Değişken seçiminin amacı, açıklayıcı değişkenler kümesini gerekli olanlara indirgemek ve varyansın neredeyse toplam küme tarafından açıklandığı kadarını açıklamaktır. Özünde, seçim, her açıklayıcı değişkenin önem düzeyini belirlemeye yardımcı olur. Ayrıca, diğer açıklayıcı değişkenler istatistiksel olarak ortadan kaldırıldığında etkilerin değerlendirilmesine yardımcı olur. Araştırmanın koşulları, araştırma sorularının doğası ile birlikte açıklayıcı değişkenlerin seçimine rehberlik eder. İleri seçim boş bir denkleme başlar. Bağımlı değişkenle en yüksek korelasyona sahip açıklayıcı değişkenden başlayarak açıklayıcı değişkenler teker teker eklenir. Daha büyük teorik öneme sahip değişkenler önce girilir. Denkleme bir kez, değişken orada kalır. Geriye doğru eleme (veya geriye doğru silme) işlemin tersidir. Denkleme önce tüm bağımsız değişkenler girilir ve regresyon denklemine katkıları yoksa teker teker silinir. Kademeli seçim, önceki iki yöntemin bir varyasyonu olarak kabul edilir. Kademeli seçim, denkleme daha önce girilen bağımsız değişkenin katkısını belirlemek için her adımda analizi içerir. Bu şekilde, önceki değişkenlerin katkısını yeni bir değişken daha eklendiğinde anlamayı mümkün kılar. Değişkenler, istatistiksel katkılarına göre tutulabilir veya silinebilir.

3. BULGULAR

Bu çalışmada hava kalitesi değerleri Ankara'daki sekiz istasyondan (Bahçelievler, Çankaya, Demetevler, Kayaş, Keçiören, Sincan, Siteler ve Sıhhiye) elde edilen 2018-2021 aralığındaki günlük verilere dayanmaktadır. Çalışmada kullanılan veriler, Türkiye Cumhuriyeti, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim

Genel Müdürlüğünden temin edilerek kullanılmıştır (Hava Kalitesi İndeksi, 2018). Meteorolojik veriler ise T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Hava Kalite İzleme İstasyonu Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (UHKİA) kullanılarak elde edilmiştir (Hava Kalitesi İndeksi, 2023).

Çalışmada, Ankara iline ait PM₁₀, SO₂, NO, NO₂, NO_x, CO değerleri sırasıyla bağımlı değişkenler olarak alınmış, bu değişkenler üzerinde hava basıncı, rüzgâr yönü, rüzgâr hızı, hava sıcaklığı ve bağıl nem değişkenlerinin etkisi araştırılmıştır. Tablo 1’de modellere ait R² ve düzeltilmiş R² değerleri verilmiştir:

Tablo 1. Çoklu regresyon modellerine göre R² ve düzeltilmiş R² değerleri

	R ²	Düzeltilmiş R ²
PM ₁₀	0.106	0.102
SO ₂	0.165	0.162
NO	0.143	0.140
NO ₂	0.040	0.036
NO _x	0.081	0.077
CO	0.320	0.325

Yapılan çoklu regresyon analizi sonuçlarına göre, hava basıncı, rüzgâr yönü, rüzgâr hızı, hava sıcaklığı, bağıl nem meteorolojik parametreleri PM₁₀’daki değişimin %10.2’sini; SO₂’deki değişimin %16.2’sini; NO’deki değişimin %14’ünü; NO₂’deki değişimin %3.6’sını; NO_x’deki değişimin %7.7’sini ve CO’deki değişiminin %32.5’ini açıklamaktadır. Buna göre, çoklu regresyon analizinin meteorolojik parametrelerin hava kirlilik göstergeleri arasında en çok CO’deki değişimi açıkladığı söylenebilir.

Tablo 2’de hava kirlilik göstergeleri üzerinde etkisi olabilecek meteorolojik parametrelerin belirlenmesi amacıyla elde edilen çoklu regresyon modellerine ait model anlamlılık test sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 2. Çoklu regresyon modellerine ait anlamlılık testi sonuçları

Bağımlı Değişken		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F-değeri	p-değeri
PM ₁₀	Regresyon	177628.477	5	35525.695	26.792	0.000
	Artık	1499672.974	1131	1325.971		
	Toplam	1677301.451	1136			
SO ₂	Regresyon	6424.407	5	1284.881	44.470	0.000
	Artık	32446.879	1123	28.893		
	Toplam	38871.286	1128			
NO	Regresyon	413483.537	5	82696.707	37.846	0.000
	Artık	2471331.974	1131	2185.086		
	Toplam	2884815.511	1136			
NO ₂	Regresyon	23703.867	5	5740.773	9.411	0.000
	Artık	680890.662	1131	609.983		
	Toplam	718594.530	1136			
NO _x	Regresyon	436512.900	5	87302.580	20.056	0.000
	Artık	4923288.943	1131	4353.041		
	Toplam	5359801.843	1136			
CO	Regresyon	136648398,3	5	27329679,65	110,415	0.000
	Artık	279941876,1	1131	247517,132		
	Toplam	416590274,3	1136			

Tablo 2'ye göre PM₁₀, SO₂, NO, NO₂, NO_x, CO hava kirlilik göstergeleri için elde edilen çoklu regresyon modellerine ait p-değerleri 0,05'ten küçük olduğu için kurulan tüm çoklu regresyon modellerinin 0.05 yanılma düzeyinde anlamlı olduğu söylenebilir. Modeller anlamlı olarak bulunduğu için, kurulan modellerin parametre tahmin değerleri ve anlamlılık değerleri Tablo 3'te verilmiştir:

PM₁₀ üzerinde etkisi olan meteorolojik parametrelerin belirlenmesi için kurulan modelde PM₁₀ bağımlı değişken olarak alındığında, modelde sabit terimin katsayısı 210.405 olarak hesaplanmış ve p-değeri 0.000 olarak bulunmuştur. Buna göre, sabit terimin anlamlı olduğu söylenebilir. Hava sıcaklığının regresyon modeli katsayısı -0.914, rüzgâr yönü regresyon modeli katsayısı -0.342, bağıl nem regresyon katsayısı -0.674 olarak hesaplanmıştır. t testi sonucunda anlamlılık derecesi bu değişkenlerde 0.000 olarak ilişkilidir. Rüzgâr hızı regresyon modeli katsayısı -0.409, hava basıncı regresyon modeli katsayısı -0,015 olarak hesaplanmış ve p değerleri sırayla 0.154 ve 0.144 çıkmıştır. 0.05'ten büyük olduğu için %5 yanılma düzeyinde anlamsızdır.

Tablo 3. Modellere ait parametre tahmin ve anlamlılık değerleri

Bağımlı Değişken	Standartlaştırılmamış Beta Katsayısı	St. Hata	St. Beta Katsayısı	t	p-değeri	
PM ₁₀	Sabit Terim	210.405	15.270	13.779	0.000	
	Sıcaklık	-0.914	0.181	-0.187	-5.059	0.000
	Rüzgâr Yönü	-0.342	0.058	-0.168	-5.873	0.000
	Rüzgâr Hızı	-0.409	0.287	-0.041	-1.425	0.154
	Bağıl Nem	-0.674	0.100	-0.261	-6.757	0.000
	Hava Basıncı	-0.015	0.010	-0.053	-1.462	0.144
SO ₂	Sabit Terim	12.628	2.60	5.589	0.000	
	Sıcaklık	-0.251	0.027	-0.334	-9.344	0.000
	Rüzgâr Yönü	-0.009	0.009	-0.029	-1.054	0.292
	Rüzgâr Hızı	0.277	0.042	0.183	6.529	0.000
	Bağıl Nem	-0.167	0.015	-0.425	-11.327	0.000
	Hava Basıncı	0.009	0.001	0.215	6.129	0.000
NO	Sabit Terim	219.614	19.603	11.203	0.000	
	Sıcaklık	-2.524	0.232	-0.393	-10.877	0.000
	Rüzgâr Yönü	-0.318	0.075	-0.119	-4.250	0.000
	Rüzgâr Hızı	-0.157	0.368	-0.012	-0.427	0.670
	Bağıl Nem	-0.464	0.128	-0.137	-3.627	0.000
	Hava Basıncı	-0.012	0.013	-0.034	-0.967	0.334
NO ₂	Sabit Terim	61.926	10.357	5.979	0.000	
	Sıcaklık	-0.250	0.123	-0.078	-2.039	0.042
	Rüzgâr Yönü	-0.102	0.039	-0.077	-2.586	0.010
	Rüzgâr Hızı	0.607	0.194	0.093	3.120	0.002
	Bağıl Nem	-0.074	0.068	-0.044	-1.089	0.276
	Hava Basıncı	0.035	0.007	0.191	5.104	0.000
NO _x	Sabit Terim	281.265	27.668	10.166	0.000	
	Sıcaklık	-2.777	0.328	-0.317	-8.480	0.000
	Rüzgâr Yönü	-0.421	0.106	-0.116	-3.991	0.000
	Rüzgâr Hızı	0.448	0.520	0.025	0.863	0.388
	Bağıl Nem	-0.539	0.181	-0.117	-2.986	0.003
	Hava Basıncı	0.023	0.018	0.046	1.264	0.206
CO	Sabit Terim	3855.066	208.632	18.478	0.000	
	Sıcaklık	-26.748	2.470	-0.346	-10.830	0.000
	Rüzgâr Yönü	-6.529	0.796	-0.204	-8.206	0.000
	Rüzgâr Hızı	44.018	3.918	0.281	11.236	0.000
	Bağıl Nem	1.630	1.362	0.040	1.196	0.232
	Hava Basıncı	-1.000	0.137	-0.228	-7.295	0.000

hesaplanmıştır. 0.5'ten küçük olduğu için %5 yanılma düzeyinde anlamlıdır. Ancak görüldüğü gibi meteorolojik parametreler hava kirleticisi PM₁₀ ile ters orantılı bir şekilde İkinci olarak SO₂ bağımlı değişken olarak alındığında, modele ait sabit terimin katsayısı 12.628 ve p-değeri 0.000 olarak elde edilmiştir. Bu nedenle, sabit terim anlamlıdır. Hava sıcaklığının regresyon modeli katsayısı -0.251, rüzgâr yönü regresyon modeli katsayısı -0.009, bağıl nem regresyon katsayısı -0.167 olarak hesaplanmıştır. t testi sonucunda

anlamlılık derecesi bu değişkenlerde 0.000 olarak hesaplanmıştır. 0.05'ten küçük olduğu için %5 yanılma düzeyinde anlamlıdır. Meteorolojik parametreler ile SO₂ ters orantılı bir şekilde ilişkilidir. Rüzgâr hızı parametresinin regresyon modeli katsayısı 0.277, hava basıncı parametresinin regresyon modeli katsayısı 0.009 olarak hesaplanmış ve p değerleri sırasıyla 0.000 ve 0.000 olarak 0,05'ten küçük olduğu anlamlıdır.

Bir diğer hava kirleticisi NO bağımlı değişken iken, sabit terimin katsayısı 219.614 ve p-değeri 0.000 olarak elde edilmiştir. Bu durumda sabit terim anlamlıdır. Hava sıcaklığının regresyon modeli katsayısı -2.524, rüzgâr yönü regresyon modeli katsayısı -0.318, bağıl nem regresyon katsayısı -0.464, olarak hesaplanmıştır. t testi sonucuna göre anlamlılık derecesi 0,05'ten küçük olduğu için %95 güven düzeyinde bu değişkenler anlamlıdır. Ancak görüldüğü gibi meteorolojik değişkenler hava kirleticisi (NO) ile ters orantılı bir şekilde ilişkilidir. Rüzgâr hızına ait regresyon modeli katsayısı -0,157, hava basıncına ait regresyon modeli katsayısı -0,012 olarak hesaplanmış ve p değerleri sırayla 0,670 ve 0,334 çıkmıştır. 0,05'ten büyük olduğu için %5 yanılma düzeyinde anlamsızdır.

Meteorolojik parametreler ile NO₂ hava kirlilik parametresi arasındaki ilişkinin belirlenmesi için NO₂ bağımlı değişken olarak alındığında, regresyon modelinde sabit terimin katsayısı 61.926 olarak hesaplanmış ve p değeri 0.000 olarak bulunmuştur. Buna göre modelin sabit terimi anlamlıdır. Hava sıcaklığının regresyon modeli katsayısı -0.250, rüzgâr yönü regresyon modeli katsayısı -0.102, bağıl nem regresyon katsayısı -0.074 olarak hesaplanmıştır. t testi sonucunda anlamlılık derecesi bu değişkenler için 0.000 olarak hesaplanmıştır. 0,05'ten küçük olduğu için %5 anlamlılık derecesinde anlamlı değişkenler olduğu söylenebilir. Ancak görüldüğü gibi meteorolojik değişkenler hava kirleticisi (NO₂) ile ters orantılı bir şekilde ilişkilidir. Rüzgâr hızı için regresyon modeli katsayısı 0.607, hava basıncı için regresyon modeli katsayısı 0.035 olarak hesaplanmıştır. Bağıl nem için p değeri 0.276'tir. 0,05'ten büyük olduğu için %5 yanılma düzeyinde anlamsızdır.

NO_x'in bağımlı değişken olduğu regresyon modelinde sabit terimin katsayısı 281.265 olarak hesaplanmış ve p-değeri 0.000 olarak elde edilmiştir. Modelde yer alan sabit terim anlamlıdır. Hava sıcaklığının regresyon modeli katsayısı -2.777, rüzgâr yönü için regresyon modeli katsayısı -0.421, bağıl nem için regresyon katsayısı -0.539 olarak hesaplanmıştır. t testi sonucunda anlamlılık derecesi bu değişkenler için 0.000 olarak hesaplanmıştır. 0.05'ten küçük olduğu için %5 anlamlılık derecesinde anlamlıdır. Ancak görüldüğü gibi meteorolojik değişkenler hava kirleticisi (NO_x) ile ters orantılı olarak ilişkilidir. Rüzgâr hızına ait regresyon modeli katsayısı 0.448, hava basıncına ait regresyon modeli katsayısı 0.023 olarak

hesaplanmıştır. Rüzgâr hızına ait p-değeri 0.388 ve hava basıncına ait p değeri 0.206'dır. 0.05'ten büyük olduğu için %5 yanılma düzeyinde anlamsızdır.

Son olarak, CO bağımlı değişken olarak alındığında, modele ait sabit terimin katsayısı 3855.066 olarak hesaplanmış ve p-değeri 0.000 olarak bulunmuştur. Sabit terim anlamlıdır. Hava sıcaklığının regresyon modeli katsayısı -26.748, rüzgâr yönünün regresyon modeli katsayısı -6.529, hava basıncının regresyon katsayısı -1.000 olarak hesaplanmıştır. t testi sonucunda anlamlılık derecesi bu değişkenlerde 0.000 olarak hesaplanmıştır. 0.05'ten küçük olduğu için %5 yanılma düzeyinde anlamlıdır. Ancak görüldüğü gibi meteorolojik değişkenler hava kirleticisi (CO) ile ters orantılıdır. Rüzgâr hızı için regresyon modeli katsayısı 44.018, bağıl nem için regresyon modeli katsayısı 1.630 olarak hesaplanmıştır. Bağıl nem p-değeri 0.232'dir. 0.05'ten büyük olduğu için %5 yanılma düzeyinde anlamsızdır.

4. SONUÇ

Kentsel hava kirliliği ciddi bir çevre sorunudur ve kentsel hava kalitesi düştükçe inme, kalp hastalıkları, akciğer kanseri ve astım da dâhil olmak üzere kronik ve akut solunum yolu hastalıkları riski artmaktadır. Hava kirliliği üzerinde yapılan klinik çalışmalarda PM₁₀, SO₂, NO, NO_x, CO gibi kirleticiler ve biyogenik antijenler gibi polen olarak solunum yolu hastalıklarını arttırdığını bildirilmiştir. Gerekli önlemlerin alınması hususunda, yenilenebilir enerji kullanımında artış, ilgili konularda emisyon sınırlandırılma ve denetlenme, temiz yakıt kullanımında teşvik, hava kirliliği etkisi ve zararları hakkında eğitim verme ve bilinçlendirilme çalışmalarının artışı teşvik edilerek hava kalitesinin artırılması sağlanabilir (Atalay ve Neslihanoglu, 2021).

Ankara ilinde meteorolojik göstergeleri olan rüzgâr yönü, rüzgâr hızı, bağıl nem, hava sıcaklığı, hava basıncı) hava kirlilik parametrelerinin PM₁₀, SO₂, NO, NO₂, NO_x, CO üzerindeki etkisi çoklu regresyon yöntemi ile belirlenmeye çalışılmıştır. SO₂, CO, PM₁₀ düzeyi ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişkiler değerlendirildiğinde, hava sıcaklığı, rüzgâr yönü ve hava basıncı ile zayıf düzeyde ve negatif yönlü, rüzgâr hızı ve bağıl nem ile zayıf düzeyde ve pozitif yönlü ilişkilerin varlığı saptanmıştır. PM₁₀ ile sıcaklık arasında orta düzeyde ve negatif yönlü, rüzgâr hızı ile düşük düzeyde ve negatif yönlü ilişki bulunmuştur. Regresyon analizi sonuçlarına göre, PM₁₀ değişkeni ile kurulan model anlamsız bulunurken, SO₂, NO, NO₂, NO_x, CO değişkenleri ile kurulan model anlamlı bulunmuştur.

ETİK BEYAN

“Ankara ili meteoroloji parametrelerinin hava kirliliği üzerindeki etkilerinin regresyon analizi ile incelenmesi” başlıklı çalışmanın yazım sürecinde bilimsel, etik ve alıntı kurallarına uyulmuş, toplanan veriler üzerinde herhangi bir tahrifat yapılmamış ve bu çalışma herhangi başka bir akademik yayın ortamına değerlendirme için gönderilmemiştir.

KAYNAKÇA

- Akman, Y. (1990), *İklim ve Biyoiklim (Biyoiklim Metodları ve Türkiye İklimleri)*, Palme Yayınevi, Ankara.
- Andersen, T.K., Radcliffe, D.E. and Shepherd, J.M. (2013), Quantifying surface energy fluxes in the vicinity of inland-tracking tropical cyclones, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52, 2797-2808.
- Atalay, İ.E. ve Neslihanoglu, S. (2021), Türkiye’deki illerin partikül madde (pm10) miktarının değerlendirilmesi ve r programlama dili ile görselleştirilmesi, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(2), 354-361.
- Bayram, H. (2005), Türkiye’de hava kirliliği sorunu: nedenleri, alınan önlemler ve mevcut durum, *Toraks Dergisi*, 6(2),159-165.
- Bayram, H., Dörtbudak, Z., Fişekçi, E.F., Kargin, M. ve Bülbül, B. (2006), Hava kirliliğinin insan sağlığına etkileri, dünyada, ülkemizde ve bölgemizde hava kirliliği sorunu, *Dicle Tıp Dergisi*, 33(2), 105-112.
- Brunekreef, B. ve Forsberg, B. (2005), Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health, *European Respiratory Journal*, 26, 309–318.
- Brokamp C., Jandarov R., Rao M.B., LeMasters G. ve Ryan P. (2017), Exposure assessment models for elemental components of particulate matter in an urban environment: A comparison of regression and random forest approaches, *Atmospheric Environment*, 151, 1-11.
- Cazorla M. (2016), Air quality over a populated Andean region: Insights from measurements of ozone, NO, and boundary layer depths, *Atmospheric Pollution Research*, 7, 66-74.

- Cekim, H.O. (2020), Forecasting PM10 concentrations using time series models: A case of the most polluted cities in Turkey, *Environmental Science and Pollution Research*, 27(20), 25612-25624.
- Çiçek, İ., Türkoğlu, N. ve Gürgen, G. (2004), Ankara'da Hava Kirliliğinin İstatistiksel Analizi, *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(2), 1-18.
- Dündar, E., Dursun, Ş. ve Toros, H. (2020), Air pollution in Ankara during COVID-19, *Journal of Research in Atmospheric Science*, 2(1), 24-30.
- Hu, J., Chen, J., Ying, Q., and Zhang, H. (2016), One-year simulation of ozone and particulate matter in China using WRF/CMAQ modeling system, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 10333–10350.
- Garaga, R., Sahu, S.K. ve Kota, S.H. (2018), A review of air quality modeling studies in india: local and regional scale, *Current Pollution Reports*, 4, 59-73.
- Graff, D.W., Cascio, W.E., Rappold, A., Zhou, H., Huang, Y.C.T ve Devlin, R.B. (2009), Exposure to concentrated coarse air pollution particles causes mild cardiopulmonary effects in healthy young adults, *Environmental Health Perspectives*, 117, 1089–1094.
- Goudarzi, G., Mohammadi, M., Angali, K.A., Mohammadi, B., Soleimani, Z., Babaei, A., Neisi, A. ve Geravandi, S. (2013), Estimation of number of cardiovascular death, myocardial infarction and chronic obstructive pulmonary disease (COPD) from NO2 exposure using air Q model in Ahvaz City during 2009, *Iranian Journal of Health and Environment*, 6, 91–102.
- Hava Kalitesi İndeksi, <http://www.havaizleme.gov.tr/hava.html>. Erişim tarihi: 03.01.2023.
- Host, S., Larrieu, S., Pascal, L., Blanchard, M., Declercq, C., Fabre, P., Jusot, J.F., Chardon, B., Le Tertre, A., Wagner, V., Prouvost, H. ve Lefranc, A. (2008), Short-term associations between fine and coarse particles and hospital admissions for cardiorespiratory diseases in six French cities, *Occupational and Environmental Medicine*, 5, 544-551.
- Jaafari, J., Naddafi, K., Yunesian, M., Nabizadeh, R., Hassanvand, M.S., Ghozikali, M.G., Nazmara, S., Shamsollahi, H.R. ve Yaghmaeian, K. (2018), Study of PM10, PM2.5, and PM1 levels in during dust storms and local air pollution events in urban and rural sites in Tehran, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 24(2), 482-493.

- Li Y, Chen Q, Zhao H, Wang L. ve Tao R. (2015), Variations in PM10, PM2.5 and PM1.0 in an urban area of the Sichuan basin and their relation to meteorological factors, *Atmosphere*, 6, 150-163.
- Linares, C., Tobías, A. ve Díaz, J. (2010), Is there new scientific evidence to justify reconsideration of the current WHO guidelines for particulate matter during dust intrusions?, *The Science of the Total Environment*, 408(10), 2283–2294.
- Makkonen, M., Berg, M.P., Handa, I.T., Hattenschwiler, S., van Ruijven, J., van Bodegom, P.M. ve Aerts, R. (2012), Highly consistent effects of plant litter identity and functional traits on decomposition across a latitudinal gradient, *Ecology Letters*, 15, 1033-1041.
- Malig, B.J. ve Ostro, B.D. (2009), Coarse particles and mortality: Evidence from a multi-city study in California, *Occupational and Environmental Medicine*, 66,832–839.
- Mathur, R., Xing, J., Gilliam, R., Sarwar, G., Hogrefe, C., Pleim, J., Pouliot, G., Roselle, S., Spero, T.L. ve Wong, D.C. (2017), Extending the Community Multiscale Air Quality (CMAQ) modeling system to hemispheric scales: Overview of process considerations and initial applications, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17, 12449–12474.
- Miller, S.D., Kuciauskas, A.P., Liu, M., Ji, Q., Reid, J., Breed, D., Walker, A. ve Mandoos, A. (2008), Haboob dust storms of the southern Arabian Peninsula, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 113, 1-26.
- Morand, C.P., Maesano, I.A. (2004), Air pollution: from sources of emissions to health effects, *Breathe*, 1(2), 108-119.
- Ni X., Huang H. ve Du W. (2017), Relevance analysis and short-term prediction of PM2.5 concentrations in Beijing based on multi-source data, *Atmospheric Environment*, 150, 146-161.
- Ozel, G. ve Cakmakyapan, S. (2015), A new approach to the prediction of PM10 concentrations in Central Anatolia Region, Turkey, *Atmospheric Pollution Research*, 6(5), 735-741.
- Qiu, H., Yu, I.T.S., Tian, L., Wang, X., Tse, L.A., Tam, W. ve Wong, T.W. (2012), Effects of coarse particulate matter on emergency hospital admissions for respiratory diseases: A timeseries analysis in Hong Kong, *Environmental Health Perspectives*, 120, 572-576.

- Rafee, S.A., Martins, L.D., Kawashima, A.B., Almeida, D.S., Morais, M., Souza, R., Oliveira, M.B.L., Souza, R.A.F., Medeiros, A.S.S. ve Urbina, V. (2017), Contributions of mobile, stationary and biogenic sources to air pollution in the Amazon rainforest: A numerical study with the WRF-Chem model, *Environmental Health Perspectives*, 17, 7977–7995.
- Rybarczyk, Y. ve Zalakeviciute, R. (2018), Machine learning approaches for outdoor air quality modelling: A systematic review, *Applied Sciences*, 8, 2570.
- Taheri Shahraiyini, H. ve Sodoudi, S. (2016), Statistical modeling approaches for PM10 prediction in urban areas; A review of 21st-century studies, *Atmosphere*, 7, 15.
- Tai, A.P.K., Mickley, L.J. ve Jacob, D.J. (2010), Correlations between fine particulate matter (PM_{2.5}) and meteorological variables in the United States: Implications for the sensitivity of PM_{2.5} to climate change, *Atmospheric Environment*, 44, 3976–3984.
- Wang, Z., Feng, J., Fu, Q. ve Gao, S. (2019), Quality control of online monitoring data of air pollutants using artificial neural networks, *Air Quality, Atmosphere and Health*, 12, 1189–1196.
- Wang, S., Wang, J., Zhou, Z. ve Shang, K. (2005), Regional characteristics of three kinds of dust storm events in China, *Atmospheric Environment*, 39, 509–520.
- WHO. (2006), Air quality guideline. global update 2005. Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe.
- Xu, X. ve Ren, W. (2019), Prediction of air pollution concentration based on mRMR and echo state network, *Applied Sciences*, 9(9), 1811.
- Yeşil, A. (2006), *Ankara Metropolitan Alanının Yeşil Alan Sisteminin Analizi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Yu, R., Yang, Y., Yang, L., Han, G. ve Oguti, M. (2016), RAQ—a random forest approach for predicting air quality in urban sensing systems, *Sensors*, 16, 86–104.