

## HAVA KİRLİTİCİ KONSANTRASYONLARININ METEOROLOJİK PARAMETRELERE DAYALI ÇOKLU-LİNEER REGRESYONLA ANALİZİ: KUZEY KIBRIS ÖRNEĞİ

Ahmad H. ABDULLAHI<sup>1</sup>, Sedef ÇAKIR<sup>1(\*)</sup>

<sup>1</sup> Uluslararası Kıbrıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü,  
Haspolat/KKTC

### ÖZET

Artan araç sayısı, nüfus ve endüstriyel aktiviteler Kuzey Kıbrıs'ta hava kalitesinin kötü yönde değişimine yol açmaktadır. Kirleticilerin kaynaktan salınımı yanında başka bölgelerden ve hatta ülkelerden taşınımı büyük önem arzetmekte ve bölgenin hava kalitesini etkilemektedir. Bu çalışmada atmosferik parametrelerin Kuzey Kıbrıs'ta NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> ve Ozon gibi kirletici konsantrasyonları ile ilişkisi ve çoklu-lineer regresyon yöntemi ile konsantrasyon tahminleri 4 mevsim için ayrı ayrı elde edilmeye çalışılmıştır. Lefkoşa gözlem istasyonunda kaydedilmiş kirletici konsantrasyonları, basınç, sıcaklık, rüzgar hızı ve bağıl nem gibi meteorolojik parametreler ile ilişkilendirildiğinde mevsimsel olarak farklılık gösterse Ozon ve NO<sub>2</sub> için PM<sub>10</sub>'e göre daha başarılı tahminler elde edilmiştir.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Hava kirliliği, meteorolojik parametreler, çoklu-lineer regresyon.

### ABSTRACT

Air quality of the Northern Cyprus have been affected by the increasing numer of vehicles, population and industrial activities. Either the pollutants emitted directly from the sources or transported from the different regions and countries have an effect on air quality of the any region. In this study relationship between meteorological parameters and air pollutants such as NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, Ozone were analysed and concentrations of the pollutants were obtained by multi-linear regression methods for each season. Pollutant concentrations data taken from the ground station observations and atmospheric parameters like pressure, temperature, wind speed and relative humidity taken from the Nicosia meteorology station were used and equations that obtained for the Ozone and NO<sub>2</sub> represents more succesful predictions than the PM<sub>10</sub>.

**KEYWORDS:** Air pollution, meteorological parameters, multi-linear regression.

(\*) scakir@ciu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Partikül madde (PM) ve Ozon (O<sub>3</sub>), NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> gibi bazı zararlı maddelerin atmosferde belirli seviyelerin üzerinde bulunmasıyla tanımlanabilen hava kirliliği, artan endüstrileşme, şehirleşme, ve bunlara paralel artan nüfus ve motorlu araç kullanımıyla birlikte günümüzde daha büyük bir problem haline gelmiştir. Akdeniz'in 9251 km<sup>2</sup> alan ile 3. büyük adası olan Kıbrıs'ın kuzey ve güney kesimlerinde de hava kirliliği ve buna bağlı sorunlar dikkati çekmektedir. 2016 yılı KKTC Çevre Koruma Dairesi raporlarına göre partikül madde konsantrasyonları günlük ortalama sınır değer olan 50 µg/m<sup>3</sup> sınır değerini ülkenin farklı kesimlerinde çok kez aştığı bildirilmiştir. Örneğin Girne İstasyonunda 117 gün, Lefkoşa trafik istasyonunda 109 gün, Gazimağusa istasyonunda 72 gün bu kritik sınır değerini üzerinde kayıtlara rastlanmıştır. Ayrıca Ozon (O<sub>3</sub>) konsantrasyonunun Ada'nın Alevkaya bölgesinde 154 gün sınır değeri aştığı, diğer bölgelerde daha düşük değerlerin kaydedildiği raporda belirtilmiştir (KKTC Turizm ve Çevre Bakanlığı, 2017).

SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, CO, Pb gibi EPA (Çevre Koruma Ajansı, Environmental Protection Agency, ABD) tarafından belirlenen kriter kirleticiler motorlu araçlar, termik santraller, çeşitli fabrikalar, fosil yakıtların kullanıldığı çeşitli sektörlerden atmosfere salındıktan sonra atmosferik şartlara göre kaynak yakınında birikmekte veya kaynaktan uzak mesefelere taşınabilmektedir (Latini vd., 2002). Kirletici konsantrasyonlarının değişimindeki en önemli faktörlerden biri olan meteorolojik şartların (Banerjee vd., 2011) kirletici konsantrasyonlarına etkisi çeşitli çalışmalarla araştırılmaktadır:

Yapılan çalışmalarında Turalioğlu ve arkadaşları (2005), SO<sub>2</sub> ile toplam asılı partikül (TSP) konsantrasyonları ile atmosferik parametreler arasındaki ilişkiyi çoklu lineer regresyon metodu ile elde etmeye çalışmışlar ve SO<sub>2</sub> ile toplam asılı partikül (TSP) madde konsantrasyonlarının düşük sıcaklık, yüksek basınç, yüksek bağıl nem düşük rüzgar hızı ve hafif yağışlarla ilişkili olduğunu ortaya koymuşlardır.

Akpınar ve Oztop (2006) benzer bir çalışmayı Elazığ bölgesi için gerçekleştirerek, sıcaklık, rüzgar hızı, bağıl nem ve basınç gibi meteorolojik parametrelerin SO<sub>2</sub> ve TSP konsantrasyonlarına etkisinde determinasyon katsayısını sırasıyla 0.50 ve 0.40 olarak elde etmişlerdir. Ayrıca bir önceki gün konsantrasyonu ile ilgili kirleticilerin o günkü konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi determinasyon katsayısı ile SO<sub>2</sub> ve TSP için sırasıyla 0.80 ve 0.76 olarak elde etmişlerdir.

He ve arkadaşları (2017) 2014-2015 yılları arasında Çin'deki hava kirliliğindeki değişimin meteorolojik parametrelerden nasıl etkilendiğini ortaya koymaya çalışmışlardır.

Bu çalışmanın amacı giderek artan nüfusu ve araç sayısına bağlı olarak Lefkoşa bölgesindeki hava kalitesini değerlendirirken meteorolojik parametrelerle kirletici konsantrasyonları arasındaki ilişkiyi ortaya koymak ve çoklu-lineer regresyon modeli ile atmosferik parametrelere bağlı kirletici konsantrasyonlarının tahminini gerçekleştirmektir. Her bir mevsim için farklı bağımlı değişkenler istatistiksel anlamlılıkları dikkate alınarak seçilmiştir. Kullanılan veri ve metodla ilgili ayrıntılar 2. Bölümde, elde edilen sonuçlar 3. Bölümde, sonuçların değerlendirilmesi ve tartışma sırasıyla 4 ve 5. Bölümlerde yer almaktadır.

## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1 Materyal

KKTC başkenti ve en yüksek nüfusa sahip Lefkoşa ilçesinde ölçülen günlük ortalama PM10 ve saatlik NO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> konsantrasyonları (µg/m<sup>3</sup>) Çevre Koruma Dairesinden elde edilmiştir. 2012-2014 dönemine ait saatlik veriler günlük ortalamalara dönüştürülmüştür.

Basınç (P), rüzgar hızı (WS), sıcaklık (T), bağıl nem (RH) gibi meteorolojik parametreler de KKTC Meteoroloji Dairesinden 2012-2014 dönemleri için talep edilmiş ve saatlik otomatik istasyon verileri (Lefkoşa İstasyonu) günlük ortalama değerlere dönüştürülerek, kirletici konsantrasyonları verileri ile birlikte kullanılabilir şekilde, gerekli hesaplama ve analizlere hazır hale getirilmiştir. Herhangi bir parametresi eksik olan günler tamamen ihmal edilmiştir.

### 2.2 Metod

Kirleticilerin mevsimsel istatistiksel analizleri yanında herbir meteorolojik parametre ile olan ilişkisi korelasyon katsayısı elde edilerek değerlendirilmiştir. Çalışmanın esas amacı olan herbir kirletici konsantrasyonunun meteorolojik parametrelerle olan ilişkisi dikkate alınarak elde edilecek genel çoklu lineer regresyon modeli aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$Y = A + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_4 + B_5X_5 \quad (1)$$

Burada Y bağımlı değişken, tahmin edilmeye çalışılan parametre (kirletici konsantrasyonu), X<sub>i</sub> i. bağımsız değişken, A regresyon sabiti, B<sub>i</sub> i. bağımsız değişken için regresyon katsayısıdır. Lineer regresyon eşitliğinde, bağımlı değişken değerini en iyi tahmin edecek katsayılar elde etmeye çalışılır (İlten ve Selici, 2008). Bağımsız değişken olarak çalışmamızda sıcaklık, basınç, rüzgar hızı, bağıl nem ve bir önceki gün konsantrasyonu kullanılmıştır. Her bir kirletici ve mevsim için kullanılan bağımsız değişkenler istatistiksel anlamlılıklar dikkate alınarak farklılık göstermiştir. İlerleyen bölümlerde bu değişkenler, katsayıları ile birlikte verilmiştir.

Lineer modelin gerçeği ne kadar iyi temsil ettiği, determinasyon katsayısı olarak da adlandırılan R<sup>2</sup> parametresi ile gösterilmektedir. R<sup>2</sup> nin yüksek değerleri istatistiksel olarak anlamlı bir regresyon denklemi elde edildiğini göstermektedir (İlten ve Selici, 2008). Elde edilen denklemlerin determinasyon katsayıları da bu çalışmada elde edilmiş ve sonuçlarda belirtilmiştir.

Elde edilen denklemler ve bunların ilgili kirleticilerin konsantrasyonlarını belirlemede kullanılabilirliğini veya doğruluğunu göstermek amacıyla aşağıda eşitliği verilen Ortalama hata kareleri kökü (OHKK) kullanılarak hata analizi yapılmıştır.

$$OHKK = \sqrt{\frac{\sum(Gözlenen-Tahmin)^2}{veri\ sayısı}} \quad (2)$$

### 3. SONUÇLAR

Ele alınan herbir kirletici için ortalama, standart sapma gibi istatistiksel analizler ve regresyon analizi sonuçları; elde edilen lineer regresyon modeli ve tahmin edilen konsantrasyonlar ile gözlenen konsantrasyonlar arasındaki hata değerlendirmeleri sırasıyla verilmiştir.

#### 3.1. Kirleticiler için genel istatistiksel analizler

Tablo1’de verilen PM10 konsantrasyonları Lefkoşa bölgesinde kış mevsiminde en yüksek, yaz mevsiminde en düşük ortalama değere sahipken, standart sapma değerlerine göre en büyük değişkenliğin sırasıyla ilkbahar, sonbahar ve kış mevsimlerinde gözlemlendiği saptanmıştır.

O<sub>3</sub> değerlerinin yaz mevsiminde en yüksek ortalama konsantrasyona sahip olduğu ve bunu sırasıyla ilkbahar, sonbahar ve kış mevsimlerinin takip ettiği görülmektedir ve bu değerlerin O<sub>3</sub> oluşumunda sıcaklığın ve güneş radyasyonunun açık etkisini gösterdiği söylenebilir. O<sub>3</sub> konsantrasyonundaki değişkenliğin tüm mevsimlerde yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Yine maksimum değerlerin ilkbahar ve yaz mevsiminde oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Bölgedeki günlük ortalama NO<sub>2</sub> konsantrasyonunun ise kış ve sonbahar mevsimlerinde daha yüksek olduğu, standart sapma değerlerinin de yine aynı mevsimlerde diğer mevsimlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

**Tablo 1.** 2012-2014 yılları PM10, O<sub>3</sub> ve NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının mevsimsel olarak istatistiksel analizleri.

	PM10				O <sub>3</sub>				NO <sub>2</sub>			
	İ.bahar	Yaz	S.bahar	Kış	İ.bahar	Yaz	S.bahar	Kış	İ.bahar	Yaz	S.bahar	Kış
Veri sayısı	206	246	216	261	268	208	138	251	265	258	237	258
Ort.	57.75	42.19	58.79	<b>62.49</b>	59.81	<b>64.92</b>	41.33	30.94	14.75	10.63	26.96	<b>29.09</b>
Std Sap	<b>39.98</b>	12.58	33.01	27.27	11.88	<b>12.48</b>	11.29	11.59	5.23	5.28	9.96	<b>11.49</b>
Min	16.00	18.90	15.80	17.60	30.81	35.10	15.88	9.25	2.76	1.91	2.47	6.70
Mak	276.80	86.50	354.60	222.30	94.78	95.30	70.03	75.60	33.34	23.19	56.23	79.06

#### 3.2 PM10, O<sub>3</sub> ve NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının meteorolojik parametreler ile ilişkileri

İlgili kirleticilerin regresyon analizi ile sıcaklık, rügar hızı, bağıl nem gibi meteorolojik parametrelere bağlı eşitlikleri elde edilmeden önce herbir parametre ile olan ilişkileri pearson korelasyon katsayısı ile elde edilmiş ve Tablo 2’de özetlenmiştir. Bu çalışmada meteorolojik parametreler yanında bir çok çalışmada da (Ocak ve Turalioğlu, 2008; Spellman, 1999) değinildiği gibi bir önceki gün konsantrasyonunun etkisi de regresyon eşitliklerinde elde edilmeye

çalışılmıştır. Bu nedenle her bir gündeki konsantrasyonun bir önceki gün konsantrasyonu ile ilişkisi Tablo 2’de verilmiştir.

Rüzgar hızı ile NO<sub>2</sub> konsantrasyonları arasında tüm mevsimlerde negatif korelasyon elde edilirken, en yüksek korelasyon (-0.52) sonbahar mevsiminde tespit edilmiştir. Rüzgar hızı ile O<sub>3</sub> konsantrasyonları arasında ise, en yüksek kış mevsiminde olmak üzere (0.55), tüm mevsimlerde pozitif korelasyon gözlenmiştir. PM ile rüzgar hızı arasında düşük korelasyon değerleri elde edilmiştir. Monn ve arkadaşları (1995) tarafından yapılan çalışmada da PM10 ile rüzgar hızı arasında yüksek olmayan (-0.15 - -0.3) negatif korelasyonlar elde edilmiştir.

Sıcaklık ile kirletici konsantrasyonları arasındaki ilişkiye bakıldığında; O<sub>3</sub> konsantrasyonlarının sonbahar mevsiminde en yüksek ilişki katsayısı (0,68), yaz ve kış mevsimlerinde çok düşük korelasyon değerleri elde edilmiştir. NO<sub>2</sub> konsantrasyonunun sıcaklık ile ilişkisine bakıldığında sonbahar mevsimi dışında düşük korelasyon değerlerine sahip olduğu, sonbaharda ise nispeten yüksek negatif korelasyon değerleri gözlenmiştir.

Kirletici konsantrasyonlarının bir önceki gün konsantrasyonu ile ilişkileri incelendiğinde NO<sub>2</sub> için tüm mevsimlerde yüksek pozitif katsayılar elde edilirken, O<sub>3</sub> için düşük ve negatif korelasyon katsayıları elde edilmiştir.

**Tablo 2.** Günlük ortalama PM10, O<sub>3</sub> ve NO<sub>2</sub> konsantrasyonu ile meteorolojik parametreler arasındaki Pearson Korelasyon katsayıları (r).

	Kirletici	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış
Basınç (P)	PM10	-0.22	-0.29	0.11	0.26
	O <sub>3</sub>	-0.08	0.12	-0.35	-0.25
	NO <sub>2</sub>	0.06	0.20	<b>0.61</b>	0.29
RH	PM10	0.07	0.01	0.14	0.04
	O <sub>3</sub>	-0.55	-0.58	<b>-0.60</b>	-0.45
	NO <sub>2</sub>	-0.01	-0.15	0.18	0.03
Rüzgar Hızı (WS)	PM10	0.03	0.07	-0.17	-0.23
	O <sub>3</sub>	0.21	0.40	0.48	<b>0.55</b>
	NO <sub>2</sub>	-0.21	-0.08	-0.52	-0.23
Sıcaklık (T)	PM10	-0.04	0.23	-0.06	-0.17
	O <sub>3</sub>	0.39	-0.02	<b>0.68</b>	-0.05
	NO <sub>2</sub>	-0.14	-0.01	<b>-0.71</b>	0.14
Bir önceki gün konsantrasyonu (PD)	PM10	0.33	0.42	0.53	0.42
	O <sub>3</sub>	-0.11	0.10	-0.36	-0.22
	NO <sub>2</sub>	<b>0.55</b>	<b>0.82</b>	<b>0.68</b>	<b>0.62</b>

### 3.3 Regresyon analizleri

Kirleticilerin meteorolojik parametrelere bağlı çoklu lineer regresyon analizleri her mevsim için ayrı ayrı elde edilmiştir.

**PM10 analizleri.** Partikül Madde tahmininde her mevsim için elde edilen regresyon eşitliklerinde kullanılan atmosferik parametreler ve katsayıları aşağıdaki denklemlerde verilmiştir (Denklem 3-5). Sonbahar mevsiminde tüm meteorolojik parametreler için anlamlılık seviyeleri yeterli bulunmadığından ( $p>0,05$ ) sonbahar mevsimi analizleri ihmal edilmiştir.

$$PM_{10} = 1637,29 - 1,57(P) + 0,31(PD) \quad (\text{İlkbahar}) \quad R^2 = 0,14 \quad (3)$$

$$PM_{10} = -5,99 + 1,75 (WS) + 0,91(T) + 0,40(PD) \quad (\text{Yaz}) \quad R^2 = 0,22 \quad (4)$$

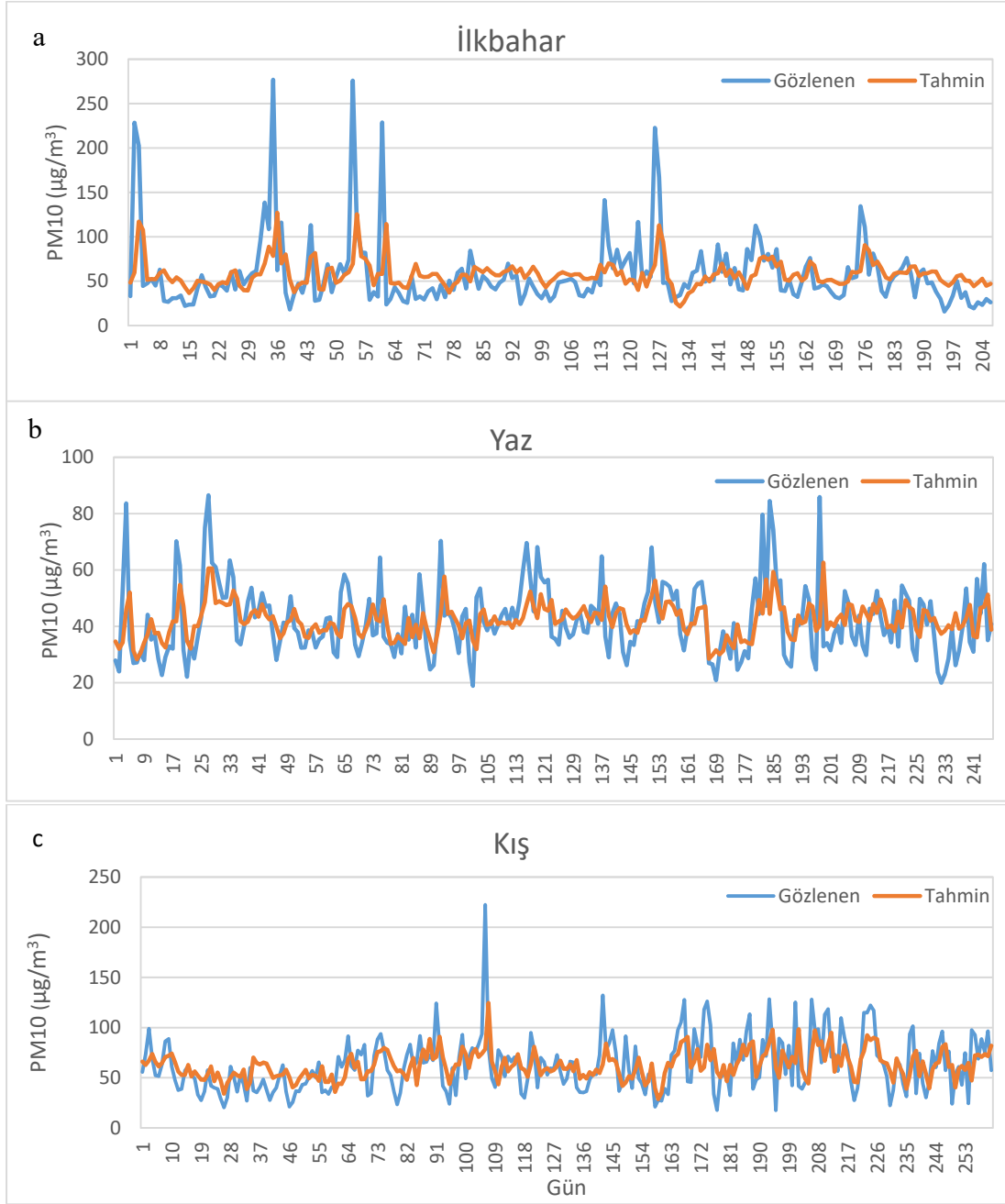
$$PM_{10} = 72,83 - 5,10 (WS) - 2,26 (T) + 0,38 (PD) \quad (\text{Kış}) \quad R^2 = 0,25 \quad (5)$$

İstatistiksel modellerde PM10 tahmini için elde edilen determinasyon katsayıları ( $R^2$ ) her bir mevsim için yüksek olmamakla birlikte ilkbahar, yaz ve kış için sırasıyla 0.14, 0.22 ve 0.25'dir. İlgili istatistiksel modellerin PM10 için yeterince iyi olmadığı görülmüştür. Yaz mevsiminde rüzgar hızı (WS) ile PM10 konsantrasyonu arasındaki ilişki pozitif iken kış mevsiminde bu ilişkinin negatif olduğu yani, artan rüzgar hızıyla birlikte PM10 konsantrasyonunda azalma olduğu tespit edilirken ilkbahar mevsiminde rüzgar hızı bağımsız değişkenler arasında yer almamaktadır. İlkbahar mevsiminde sadece basınç ve bir önceki gün konsantrasyonu ( $p<0.05$ ) sırasıyla negatif ve pozitif katsayılarla PM10 konsantrasyonuna etki etmektedir. Basıncın diğer mevsimlerde bu konsantrasyona etkisi dikkate alınmamıştır ( $p>0.05$ ).

Şekil 1'de herbir mevsim için gözlenen ve regresyon modeli sonucu elde edilen tahmin değerlerinin zamansal grafiği, Tablo 3'de ise ilgili değerlerin her bir mevsim için OHKK değerleri ve aralarındaki korelasyon değerleri verilmiştir. Şekil 1'deki zaman serilerine bakıldığında her üç mevsimde de gözlenen pik değerlerin bir sonraki günün tahminine yansıdığı, ancak tahminlerin gözlenen değerleri yeterince temsil edemediği görülmektedir. Hata değerlerine bakıldığında (Tablo 3) yaz mevsimindeki hata miktarının kışa göre daha az olduğu, korelasyon değerinin ise kışın yaz değerlerine çok yakın olmakla birlikte daha yüksek olduğu görülmektedir.

**Tablo 3.** Gözlenen ve tahmin edilen PM10 konsantrasyonları arasındaki korelasyon katsayıları ve hata değerleri.

	İlkbahar	Yaz	Kış
OHKK	37.03	11.11	17.79
Pearson katsayısı (r)	0.40	0.50	0.51



**Şekil 1.** Gözlenen ve regresyon modeli ile tahmin edilen PM10 konsantrasyonlarının a) İlkbahar, b) Yaz, c) Kış mevsimindeki zamansal dağılımı.

**Ozon analizleri.**  $\text{O}_3$  için elde edilen regresyon denklemlerinden (Denklem 6-9) görüldüğü gibi farklı mevsimlerde farklı meteorolojik parametrelerin etkisi saptanmış, PM10 tahminleri için oluşturulan modellerden farklı olarak RH ve basınç faktörlerinin katkısı da gözlenmiştir. Yaz ve kış mevsiminde basıncın pozitif olarak  $\text{O}_3$  konsantrasyonunu etkilediği, rüzgar hızının da tüm mevsimlerde yine pozitif olarak  $\text{O}_3$  konsantrasyonunun değişimine katkısı olduğu elde edilmiştir.

Bir önceki gün konsantrasyonunun etkisi yine pozitif olarak denklemlerde yer almaktadır. Bağıl nemin tüm mevsimlerde negatif yönde konsantrasyonları etkilediği saptanmıştır. Yani bağıl nemin azalması O<sub>3</sub> konsantrasyonunun artması yönünde katkı koymaktadır.

$$O_3 = 50.72 - 0.36 (RH) + 1.65 (WS) + 0.44(PD) \quad \text{İlkbahar, } R^2 = 0.47 \quad (6)$$

$$O_3 = 537.59 - 0.45 (P) - 0.47(RH) + 2.05 (WS) - 1.33(T) + 0.54(PD) \quad \text{Yaz, } R^2 = 0.70 \quad (7)$$

$$O_3 = 9,67 - 0.14 (RH) + 3.54 (WS) + 0.75(T) + 0.40(PD) \quad \text{Sonbahar, } R^2 = 0.70 \quad (8)$$

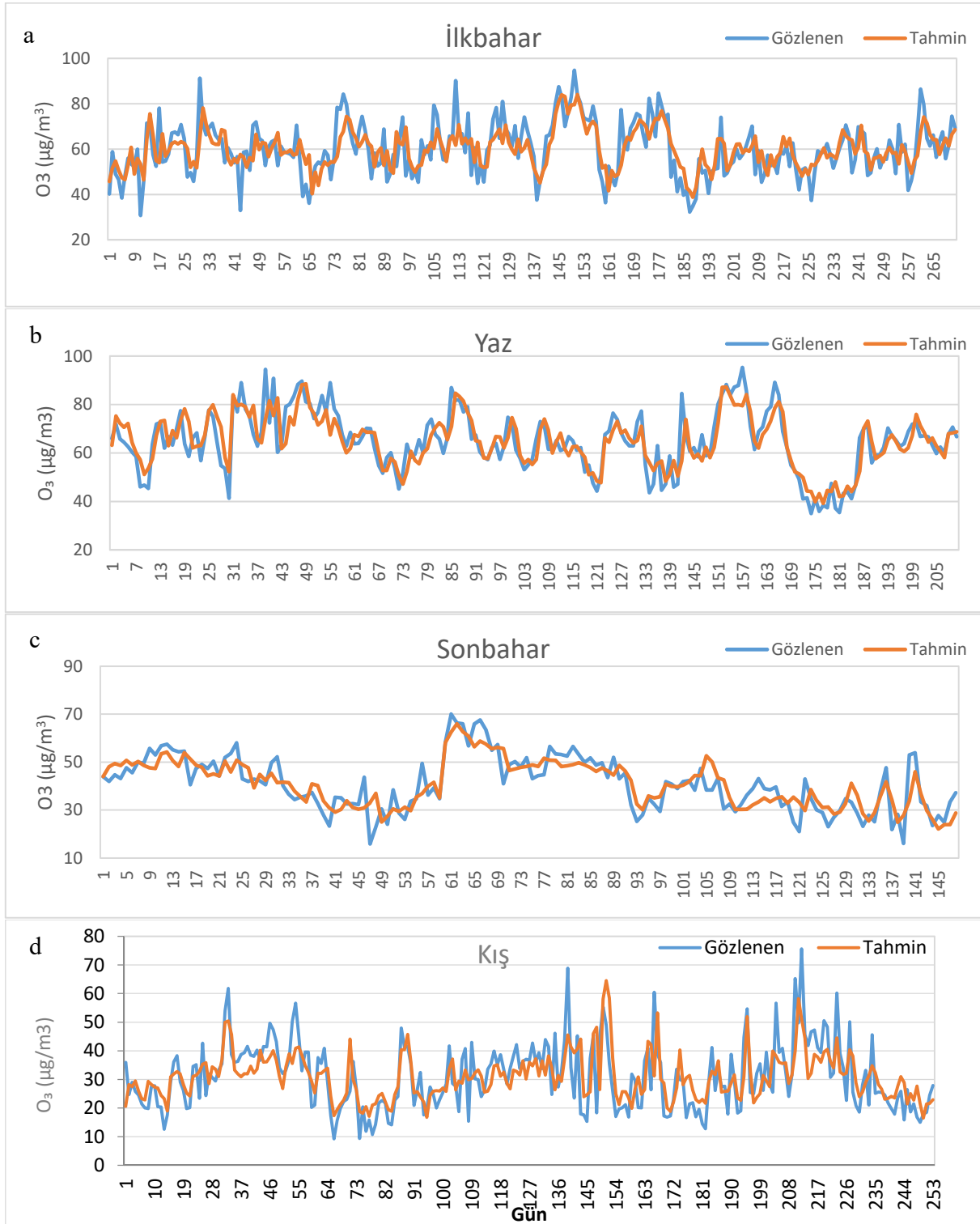
$$O_3 = 283.88 - 0.25 (P) - 0.29 (RH) + 3.17 (WS) + 0.61 (T) + 0.38(PD) \quad \text{Kış, } R^2 = 0.48 \quad (9)$$

Gözlenen günlük ortalama O<sub>3</sub> konsantrasyonları ve regresyon modeli sonucu elde edilen tahmin değerlerinin zamansal grafiği herbir mevsim için Şekil 2’de verilmiştir. Tablo 3’de ise ilgili değerlerin her bir mevsim için OHKK değerleri ve aralarındaki korelasyon değerleri verilmiştir. Yukarıdaki eşitliklerle verilen determinasyon katsayısı (R<sup>2</sup>) değerlerinin yaz ve sonbahar mevsimlerinde ilkbahar ve kış mevsimlerine göre oldukça yüksek olduğu gözlenmektedir. Aynı sonuç pearson korelasyon katsayılarının yaz ve sonbahar mevsimlerinde kış ve ilkbahar mevsimlerine göre yüksek olmasına da yansımıştır (Tablo 4).

**Tablo 4.** Gözlenen ve tahmin edilen O<sub>3</sub> konsantrasyonları arasındaki korelasyon katsayıları ve hata değerleri.

	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış
OHKK	8.61	6.81	6,17	8.34
Pearson katsayısı (r)	0.69	0.84	0.84	0.69





**Şekil 2.** Gözlenen ve regresyon modeli ile tahmin edilen O<sub>3</sub> konsantrasyonlarının a) İlkbahar, b) Yaz, c) Sonbahar, d) Kış mevsimindeki zamansal dağılımı.

**NO<sub>2</sub> analizleri.** Lefkoşa hava kirliliği gözlem istasyonundan elde edilen günlük ortalama NO<sub>2</sub> konsantrasyonları diğer iki kirlenici gibi farklı mevsimler için, meteorolojik parametreler ve bir önceki gün NO<sub>2</sub> konsantrasyonları bağımsız değişkenler olarak kullanılarak lineer regresyon eşitlikleri ile (Denklemler 10-14) tahmin edilmeye çalışılmıştır. Eşitliklerden görüldüğü gibi düşük anlamlılık

$$NO_2 = 16.26 - 0.06 (RH) - 1.26 (WS) - 0.12 (T) + 0.53 (PD) \quad \text{İlkbahar} \quad R^2 = 0.35 \quad (10)$$

$$NO_2 = 7.97 - 0.098 (RH) - 0.961 (WS) + 0.795 (PD) \quad \text{Yaz} \quad R^2 = 0.69 \quad (11)$$

$$NO_2 = 57.23 + 0.14 (RH) - 3.93 (WS) - 1.02 (T) + 0.30 (PD) \quad \text{Sonbahar} \quad R^2 = 0.69 \quad (12)$$

$$NO_2 = 14.87 - 1.70 (WS) + 0.60 (PD) \quad \text{Kış} \quad R^2 = 0.41 \quad (13)$$

Şekil 3’de gözlenen günlük ortalama NO<sub>2</sub> konsantrasyonları ve yukarıdaki eşitliklerle verilen regresyon modeli sonucu elde edilen NO<sub>2</sub> tahmin değerlerinin zamansal grafiği görülmektedir. Genel olarak tüm mevsimlerde gözlenen ve tahmin edilen konsantrasyonların trendinin aynı olduğu, artış ve azalışların gözlenen değerler ile uyum gösterdiği tespit edilmiştir. Tablo 5’den de görüldüğü gibi en düşük hata değerleri sırası ile yaz ve sonbahar mevsimlerinde gözlenmiştir. Tüm mevsimlerde gözlenen ve tahmin edilen konsantrasyonlar arasındaki ilişkinin yüksek değerlerde (0.60-0.83) olduğu gözlenmiştir

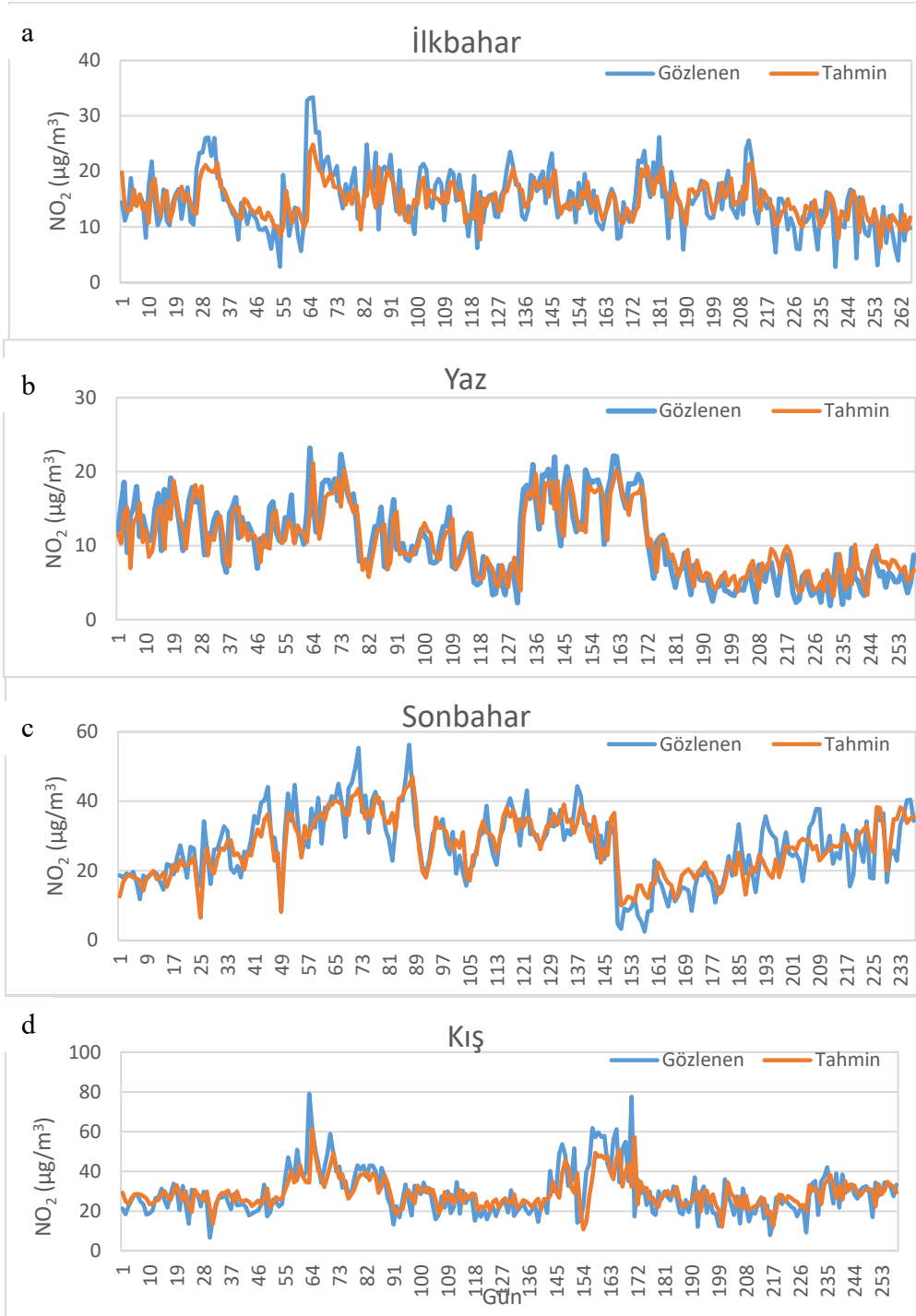
**Tablo 5.** Gözlenen ve tahmin edilen NO<sub>2</sub> konsantrasyonları arasındaki korelasyon katsayıları ve hata değerleri.

	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış
OHKK	4.19	2.95	5.58	8.86
Pearson katsayısı (r)	0.60	0.83	0.83	0.64

#### 4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRMESİ

Hava kirliliği gibi önemli ve güncel çevre sorununun tüm yönleri ile ele alınması oldukça önemlidir. Gerek emisyonların kontrol cihazları ile önceden azaltılması, gerekse hava kalitesinin yeterli ölçüm ağı ile izlenerek gerekli uyarıların yapılması yanında bir bölgedeki kirlenici konsantrasyonları ile bölgenin atmosferik şartları arasındaki ilişkilerin bilinmesi de oldukça önemlidir. Uzun yıllardır bu hususta yapılmış bir çok çalışma mevcuttur. KKTC’de mevcut hava kirliliği ölçüm istasyonlarından, Lefkoşa istasyonuna ait kirlenici konsantrasyon değerleri ile otomatik meteoroloji istasyonundan elde edilen sıcaklık, basınç bağıl nem, rüzgar hızı gibi parametrelerin ilişkilendirilmeye çalışılmış ve kirlenici konsantrasyonlarının elde edileceği çoklu lineer regresyon eşitliklerine bağlı modeller her mevsim için ayrı ayrı oluşturulmaya çalışılmıştır. Her bir kirleniciyi etkileyen meteorolojik faktörlerin mevsimine göre değiştiği denklem sistemlerinde farklı farklı başarılar elde edilmiştir. Özellikle yaz ve sonbahar mevsimlerinde No<sub>2</sub>

ve O<sub>3</sub> kirleticileri için elde edilen denklemlerin determinasyon katsayıları yüksek iken, PM için düşük değerler elde edilmiştir.



Şekil 3. Gözlenen ve regresyon modeli ile tahmin edilen NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının a) İlkbahar, b) Yaz, c) Sonbahar, d) Kış mevsimindeki zamansal dağılımı.

## 5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Çalışmada günlük ortalama PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub> ve NO<sub>2</sub> konsantrasyonları ile meteorolojik faktörler ve bir gün önceki konsantrasyon gibi bağımlı değişkenler kullanılarak çoklu-lineer regresyon eitlikleri elde edilmeye çalışılmıştır. Değişiklik gösteren model sonuçlarının iyileştirilmesi için, KKTC sınırlarındaki ve hatta güney Kıbrıs bölgesinden elde edilecek diğer istasyon verilerinin kullanılması, daha fazla meteorolojik parametrenin kullanılması, günlük ortalamalar yerine saatlik ortalama veriler ile çalışılması daha sağlıklı sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir.

## KAYNAKLAR

- Akpınar, S., Öztop, H.F., 2006. Effects of Meteorological Parameters on Air Pollutant Concentrations in Elazig, Turkey. *International Journal of Green Energy*, 3(4), 407-421.
- Banerjee, T., Singh, S.B., Srivastava, R.K., 2011. Development and performance evaluation of statistical models correlating air pollutants and meteorological variables at Pantnagar, India. *Atmospheric Research*, 99(3), 505-517.
- He, J., Gong, S., Yu, Y., Yu, L., Wu, L., Mao, H., Song, C., Zhao, S., Liu, H., Li, X., Li, R., 2017. Air pollution characteristics and their relation to meteorological conditions during 2014–2015 in major Chinese cities, *Environmental Pollution*, 223, 484-496.
- İlten N., Selici, A.T., 2008. Investigating the impacts of some meteorological parameters on air pollution in Balıkesir, Turkey. *Environ. Monit. Assess.*, 140, 267–277.
- KKTC Turizm ve Çevre Bakanlığı, 2017. Çevre koruma dairesi 2016 yılı hava kalitesi raporunu açıkladı. <https://turizm.gov.ct.tr/Haberler/ArtMID/10673/ArticleID/3465/199EVRE-KORUMA-DA%C4%B0RES%C4%B0-2016-YILI-HAVA-KAL%C4%B0TES%C4%B0-RAPORUNU-A199IKLADI>
- Latini G., Grifoni, R.C., Passerini, G., 2002. Influence Of Meteorological Parameters On Urban And Suburban Air Pollution. *Air Pollution X*, WIT Press, UK, pp. 753-762.
- Monn, C., Braendli, O., Schaeppli, G., Schindler, C., Ackermann, U., Leuenberger, P., 1995. Particulate matter <11m and total suspended particulates in urban, rural and alpine air in Switzerland. *Atmospheric Environment*, 29(19), 2565–2573.
- Ocak, S., Turalıoğlu, F.S., 2008. Effect of Meteorology on the Atmospheric Concentrations of Traffic Related Pollutants in Erzurum, Turkey. *J. Int. Environmental Application & Science*, 3(5), 325-335.
- Ramsey, N.R., Klein, P.M., Moore, B., 2013. The impact of meteorological parameters on urban air quality. *Atmospheric Environment*, 86, 58-67.
- Sati, A.P., Mohan, M., 2014. Analysis of air pollution during a severe smog episode of November 2012 and the Diwali Festival over Delhi, India. *International Journal of Remote Sensing*, 35,
- Spellman, G., 1999. An application of artificial neural networks to the prediction of surface ozone concentrations in the United Kingdom. *Applied Geography*, 19(2), 123-136.