

Markov Zinciri Kullanarak Ankara İli İçin Hava Kirliliği Tahmini

Gamze Özel^{1*}

Özet: Nüfus artışı, plansız yapılaşma, gelişen endüstri ve kentler sonucunda hava kirliliği önemli bir sorun haline gelmiştir. Son yıllarda Ankara’da hava kirliliği partiküler madde ve kükürt dioksit gibi kirleticilerin değerleri standartların üzerindedir. Bu çalışmada, öncelikle Ankara şehir merkezinde bulunan Ocak ile Aralık 2017 tarihleri arasındaki Bahçelievler istasyonuna ait günlük hava kirleticileri PM10, SO₂, NO, NO₂, NOX, CO değerleri ile sıcaklık, rüzgâr hızı ve nemlilik gibi meteorolojik faktörlerin değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Daha sonra PM10 hava kalitesi indeksi değerlerinden yararlanarak Markov zincirleri ile uzun döneme ait hava kirliliği değerlerinin tahmini amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hava kirliliği, meteorolojik faktörler, Markov zinciri, korelasyon

Prediction Of Air Pollution Using Markov Chain

Abstract: Due to the population growth, unplanned construction, international industry and cities, air pollution become a big problem. Recently, air pollution in Ankara is the values of air pollutants such as particulate matter and sulfur dioxide is above of the standards. In this study, the relationship between daily air pollutants PM10, SO₂, NO, NO₂, NOX, CO and meteorological factors such as temperature, wind speed and humidity are investigated for the Bahcelievler station for the time period of January and December 2017. Then, by using PM10 air quality index values, it is aimed to preditc long term air pollution values with Markov chains.

Keywords: Air pollution, meteorological factors, Markov chain, correlation

1. Giriş

Hava kirliliği, çeşitli nedenler ile doğal olarak havanın bileşiminde bulunmayan bazı maddelerin havaya katılması veya havanın bileşimindeki bazı maddelerin yüksek miktarlara erişmesi sonucunda canlıların yaşamlarını olumsuz yönde etkileyen hava durumu olarak tanımlanmaktadır. Hava kirliliği, insan ve çevreye zarar verebilecek miktardaki kirleticilerin atmosfere karışması ile ortaya çıkmaktadır. En önemli hava kirleticileri Partikül Madde (PM), Kükürt dioksit (SO₂), Karbon monoksit (CO), Karbondioksit (CO₂), Azotoksitler (NO_x)’dir. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından bir bölgeye ait hava kirliliğinin düzeyine karar

verebilmek için havanın doğal bileşimini değiştirip, kirliliği kazandıran kirleticilerden kükürt dioksit (SO₂) ve partikül madde (PM) değerlerinin belirlenmesi yeterli bulunmuş ve her ülkede ölçülmesi önerilmiştir.

SO₂, renksiz, boğucu ve asidik bir gaz olup kömür ve fuel-oil’in doğal olarak yapısında bulunan kükürt bileşiklerinin yanması ile açığa çıkmaktadır. SO₂ değerleri genellikle evsel ısıtma amacıyla kömür kullanımının yaygın olduğu şehirlerin merkezi bölgelerinde ve endüstriyel alanların çevrelerinde yüksek değerlerdedir. PM, atmosferdeki ağırlıklarının nedeniyle hızla çökebilen büyük partiküllerin

¹ Hacettepe Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Ankara, Türkiye

*Corresponding author (İletişim yazarı): gamzeozel@hacettepe.edu.tr

Citation (Atıf): Özel Kadılar, G., (2019). Markov Zinciri Kullanarak Ankara İli İçin Hava Kirliliği Tahmini. Bilge International Journal of Science and Technology Research, 3 (2): 144-151

dışında, atmosferde yayılan çok küçük tanecikli katı veya sıvı partiküllerdir. Partiküler madde, yakıtların yanması, dizel motorlar, inşaat ve endüstriyel faaliyetler, bitki polenleri ve yerden kalkan tozlar gibi birçok doğal kaynaktan oluşabilir. Partiküler madde, nitelik ve niceliği bakımından; tanecik boyutları, yoğunluğu, kimyasal bileşimi ve sağlık etkileri potansiyeline bağlı olarak geniş çapta değişim gösterir.

Modern yaşamın getirdiği şehirleşmenin bir sonucu olan hava kirliliği, yerel ve bölgesel olduğu kadar küresel ölçekte de etki alanına sahiptir. Hava kirliliği problemlerini çözmek ve strateji belirlemek için, araştırmacılar atmosferik kirlenici konsantrasyonlarını izlemek ve analiz etmek konusuna odaklanmışlardır (Kyrkilis vd., 2007). Ancak farklı kirlenicilere ait ölçümleri anlamak araştırmacılar açısından mümkün olsa bile halk ve yerel otoriteler için oldukça zor olmaktadır. Bu nedenle, hava kirliliğinin/hava kalitesinin durumunu kamuoyuna açıklarken anlaşılabilir bir sınıflama sistemi kullanılmaktadır. Hava Kalitesi İndeksi (HKİ, Air Quality Index/AQI) denilen bu sınıflama sistemi ile havadaki kirlenicilerin konsantrasyonlarına göre hava kalitesini iyi, orta, kötü, tehlikeli vb. şekilde derecelendirme yapılmaktadır. İndeks belirli kategorilerde farklı tanım ve renkler kullanılarak ifade edilmekte ve ölçümü yapılan her kirlenici için ayrı ayrı düzenlenmektedir.

DSÖ (Devlet Sağlık Örgütü), Avrupa Birliği (AB) ve Türkiye Hava Kalitesini Kontrol Yönetmeliği (HKKY), hava kirliliğinin başladığı düzeyi tanımlayan standartlar ile kirlenicilere yönelik hedef sınır değerler belirlemiştir (Doğan ve Kitapçoğlu, 2007). 2017 yılı hava kirliliği raporuna göre PM ve SO₂ değerleri açısından Türkiye’de en kirli iller arasında İstanbul, Ankara, Adana, Amasya ve Manisa yer almaktadır. Ankara’daki hava kirliliğinin incelenmesi üzerinde literatürde yapılan bazı çalışmalar bulunmaktadır. Durmaz vd. (1993), çalışmalarında Ankara’daki hava kirliliği sorununu ele alarak, teknik ve teknolojik-ekonomik yönden değerlendirerek ileriye dönük olarak uygun yakıt ve yakma sistemlerinin belirlenmesine yönelik kıstaslar üzerinde durmuşlardır. Sungur (1997), çalışmasında Ankara’da hava kirliliğinin en önemli nedeninin şehrin üzerinde oluşan ısı evirmesi olduğunu vurgulamıştır. Turgut ve Temiz (2015), PM₁₀ verilerine Box-Jenkins yöntemini uygulayarak zaman serileri analizi yapılmış ve Ankara’da PM₁₀ kirlenicisinin gelecekte alacağı değerler tahmin edilmiştir. Son olarak, yapay sinir

ağları ile Ankara ilinde hava kalitesi sağlık indeksi tahmini Bozkurt vd. (2015) tarafından yapılmıştır. Ancak bu çalışmalarda Ankara’daki hava kirliliği analizi için Markov zinciri analizi kullanılmamıştır. Bu çalışmanın bir amacı, Ankara’daki hava kirliliği düzey tahmini için Markov zincirlerinden faydalanabileceğini göstermektir.

Hava kirliliği, rüzgar hızı, yönü, sıcaklık, basınç, nem gibi meteorolojik faktörlerden de etkilenmektedir. Atmosferik hava kirliliğinde meteorolojinin en önemli rolü, dağılım, taşınım ve atmosferden ayrılma aşamalarında etkili olmasıdır. Çiçek vd. (2004) tarafından Ankara’da hava kirliliğine neden olan elemanlar ile sıcaklık, rüzgar hızı ve nemlilik gibi iklim elemanları arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Bu nedenle bu çalışmada, meteorolojik faktörlerin de Ankara’daki hava kirliliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Daha sonra Markov zincirleri ile ileri yönelik olarak hava kirliliği tahmini ve kirlilik indeksi değerleri arasındaki geçiş olasılıkları elde edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Yerleşim alanları ve çevresinin coğrafi koşulları ile hava kirliliği arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır. Ankara’da gözlenen hava kirliliği de bu koşullarla bağlantılıdır. Ankara şehir alanı, 39° 50’ ve 40° 00’ kuzey enlemleri ile 32° 35’ ve 33° 00’ boylamları arasında yer almaktadır. Ankara şehri, Ankara Çayı ve yan kollarının oluşturduğu 800 - 850 metre yükseklikteki Ankara Ovası’nda yer almaktadır. Ova çevresinde, ortalama yükseltisi 1250 - 1500 metreler arasında değişen dağlık, tepelik saha yer almaktadır. Ankara Ovası kuzeyden Mire, doğudan İdris Dağı’nın batı uzantıları, güneyden ise Çal Dağı ve Elmadağ tarafından çevrelenmektedir. Ova, batı yönünde açık olup, Mürdet Ovası’na bağlanmaktadır. Buna göre, özellikle şehir merkezi çanak görünümüne sahip bir alanda bulunmaktadır. Bu topografik özellikler bir yandan Ankara’da yerleşme alanlarının dağılımını belirlerken, diğer yandan hüküm süren karasal iklimin üzerinde etkili olmaktadır.

Ankara’da hava kirliliğinin ana kaynağı ısınmada kullanılan fosil yakıtlar ve egzoz gazlarıdır. Kent, topografik özellikleri ve yapılaşma sorunları nedeniyle fazla rüzgar alamamaktadır. Dolayısıyla hava kirliliğini gidermede rüzgardan ziyade kirlenicilerin kontrol altına alınması daha büyük önem taşımaktadır. Son dönemlerde Ankara’da

doğalgaz kullanımı ile birlikte kirlilik azalma eğilimine girmiştir. Bu çalışmada kullanılan Ankara

şehir merkezinde bulunan Bahçeli istasyonuna ait hava kirleticileri Tablo 1’de verilmiştir:

Tablo 1. Bahçeli istasyonuna ait koordinatlar ve ölçülen hava kirleticileri

Koordinatları		Ölçülen Hava Kirleticileri					
Enlem	Boylam	PM ₁₀	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	CO
39.918546°	32.822268°	+	+	+	+	+	-

Bu çalışmada kullanılan meteorolojik değişkenler ve hava kirleticileri T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın kayıtlarına dayanarak elde edilmiştir. Ankara ilinin Bahçelievler istasyonuna ait Ocak-Aralık 2017 aylarına ait günlük hava kirlilik verileri

ve meteoroloji verilerinden faydalanılmıştır. Çalışmanın Markov zinciri oluşturma aşamasında kullanılacak olan Hava kirliliği indeks değerleri ve bu değerlerin açıklaması Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Hava Kirliliği İndeksi Değerleri

HKİ	İndeks	Açıklama
0-50	İyi	Hava kalitesi memnun edici ve hava kirliliği az riskli veya risk teşkil etmiyor
51-100	Orta	Hava kalitesi uygun fakat alışılmadık şekilde hava kirliliğine hassas olan çok az sayıdaki insanlar için bazı kirleticiler açısından orta düzeyde sağlık endişesi oluşabilir
101-150	Hassas	Hassas gruplar için sağlık etkileri oluşabilir. Genel olarak kamunun etkilenmesi olası değildir.
151-200	Sağlıksız	Herkes sağlık etkileri yaşamaya başlayabilir, hassas gruplar için ciddi sağlık etkileri söz konusu olabilir.
201-300	Kötü	Sağlık açısından acil durum oluşturabilir. Nüfusun tamamının etkilenme olasılığı yüksektir.
301-500	Tehlikeli	Sağlık alarmı: Herkes ciddi şekilde sağlık etkileri ile karşılaşabilir.

Hava kirliliği indeks değerlerinin farklı hava kirleticileri için sınıflandırmaları Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Ulusal Hava Kalitesi İndeksi Kesme Noktaları

		SO ₂ (mg/m ³)	NO ₂ (mg/m ³)	CO(mg/m ³)	O ₃ (mg/m ³)	PM ₁₀ (mg/m ³)
HKİ	İndeks	1 Saat Ort.	1 Saat Ort.	8 Saat Ort.	8 Saat Ort.	24 Saat Ort.
0-50	İyi	0-100	0-100	0-5500	0-120	0-50
51-100	Orta	101-250	101-200	5501-10000	121-160	51-100
101-150	Hassas	251-500	201-500	10001-16000	161-180	101-260
151-200	Sağlıksız	501-850	501-1000	16001-24000	181-240	261-400
201-300	Kötü	851-1100	1001-2000	24001-32000	241-700	401-520
301-500	Tehlikeli	>1101	>2001	>32001	>701	>521

2.2. Yöntem

Markov süreçleri ve zincirleri mevcut olasılıkları kullanarak, gelecekteki durum olasılıklarını hesaplamada kullanılan bir yöntemdir (Önalın, 2010). Markov sürecini simgeleyen modellerin kurulabilmesi için, incelenen sistemin içinde bulunabileceği farklı durumların ve bu durumlardan birinden diğerine geçiş olasılıklarının bilinmesi gerekir.. Bu nedenle, Markov süreci için bir önceki durum hariç, sistemin daha önceki durumların ne olduğunun bilinmesine gerek yoktur. Bu özelliğe Markov özelliği adı verilir.

$$P(X_{t_{n+1}} = x_{n+1} | X_{t_1} = x_1, \dots, X_{t_n} = x_n) = P(X_{t_{n+1}} = x_{n+1} | X_{t_n} = x_n) \quad (1)$$

olur. Bu eşitliğe Markov özelliği adı verilir. Eşitlik (1)'de verilen Markov özelliğine sahip bir stokastik sürecin durum uzayında $S = \{0,1,\dots,m\}$ biçiminde sonlu sayıda ya da $S = \{0,1,2,\dots\}$ biçiminde sayılabilir sonsuzlukta kesikli durum varsa,

$$p_{ij} = p_{ij}(1) = p_{ij}^{(1)} = P(X_{m+1} = j | X_{m+1} = i) \quad (2)$$

biçiminde gösterilir. Bu olasılığa **bir-adım geçiş olasılığı** adı verilir. $\forall i \in S$ için $\sum_j p_{ij} = 1$ ve

$\forall i, j \in S$ için $p_{ij} \geq 0$ koşullarını da sağlaması gerekmektedir.

Durum uzayı $S = \{0,1,\dots,N\}$ şeklinde sonlu olduğunda, Markov zinciri için bir-adım geçiş matrisi aşağıdaki gibidir.

$$0 \quad 1 \quad \dots \quad m$$

$$p_{ij} = p_{ij}(1) = p_{ij}^{(1)} = P(X_{m+1} = j | X_{m+1} = i) \quad (4)$$

biçimindedir.

Uzun dönem sonunda Markov zincirinde süreç denge durumuna ulaşır. Bu durumda sürecin geleceği ile ilgili etkili yorumlar yapılabilir. **P** geçiş matrisinin n. kuvveti alındığında elde edilen n-adım geçiş matrisi **Pⁿ** 'de, n değeri büyüdükçe **P_{ij}⁽ⁿ⁾** olasılık değerleri sabit bir değere veya limite yaklaşıyorsa, n-adım geçiş olasılıkları kararlı bir yapıya, diğer bir deyişle denge durumuna, ulaşır. Denge dağılımı aşağıdaki gibi elde edilir.

T parametre uzayındaki n sayıda zaman noktasının herhangi bir $t_1 < \dots < t_n$ kümesi için, $X_{t_1}, X_{t_2}, \dots, X_{t_n}$ 'nin aldığı değerlerler biliniyorken, $X_{t_{n+1}}$ 'nin koşullu dağılımı yalnızca X_{t_n} 'in değerlerine bağlı ise, $\{X_t, t \in T\}$ sürecine Markov süreci adı verilir. Buna göre, herhangi gerçel $x_1 < \dots < x_n$ sayıları için,

$\{X_t, t \in T\}$ Markov sürecine Markov zinciri adı verilir.

Bir Markov zincirinde m. adımda i durumunda bulunan sürecin bir adım sonra j durumunda bulunması olasılığı,

$$P = \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ \vdots \\ m \end{matrix} \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} & \dots & p_{0m} \\ p_{10} & p_{11} & \dots & p_{1m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{m0} & p_{m1} & \dots & p_{mm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Homojen bir Markov zincirinde n-adım geçiş olasılığı,

$$\pi = \pi P \quad (5)$$

Burada π , denge olasılıklarını veren vektördür. Denge durumu, sürecin çok sayıda geçiş yaptıktan sonra hangi durumda olacağına ilişkin olasılık yapısının sürecin başlangıç durumundan bağımsız hale gelmesidir (Hillier ve Lieberman, 2001). Diğer bir ifadeyle, geçiş matrislerinin kuvvetleri alındığında denge durumuna ulaştıktan sonra

satırlarda değişim olmamakta ve geçiş matrisinin her satırı aynı olan bir satır vektörüne dönüşmektedir.

3. Bulgular

Çalışma kapsamında öncelikle hava kirleticileri ile meteorolojik değişkenler arasındaki Pearson korelasyon testi sonuçlarına yer verilmiştir. Tablo 4'te, PM₁₀ ve meteorolojik değişkenler arasındaki Pearson korelasyon testi sonuçları verilmiştir.

Tablo 4. PM₁₀ ve meteorolojik değişkenler arasındaki Pearson korelasyon testi sonuçları

		PM ₁₀	Hava Sıcaklığı	Bağıl Nem	Hava Basıncı
PM ₁₀	Korelasyon	1	0.313**	-0.377**	-0.097**
	Sig. (2-tailed)	-	0.000	0.000	0.010
Hava Sıcaklığı	Korelasyon	0.313**	1	-0.888**	-0.459**
	Sig. (2-tailed)	0.000	-	0.000	0.000
Bağıl Nem	Korelasyon	-0.377**	-0.888**	1	0.369**
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	-	0.000
Hava Basıncı	Korelasyon	-0.097	-0.459**	0.369**	1
	Sig. (2-tailed)	0.010	0.000	0.000	-

** Korelasyon 0.01 anlamlılık düzeyine önemlidir (2-yanlı test)

Buna göre, PM₁₀ ile hava sıcaklığı arasında pozitif yönlü, düşük ancak PM₁₀ ile bağıl nem ve hava basıncı arasında negatif yönlü, düşük yönde anlamlı bir ilişki olduğu 0.01 anlamlılık düzeyinde

söylenbilir. Tablo 5'te SO₂ ve meteorolojik değişkenler arasındaki Pearson korelasyon testi sonuçları verilmiştir.

Tablo 5. SO₂ ve meteorolojik değişkenler arasındaki Pearson korelasyon testi sonuçları

		SO ₂	Hava Sıcaklığı	Bağıl Nem	Hava Basıncı
SO ₂	Korelasyon	1	0.095*	-0.191**	-0.143*
	Sig. (2-tailed)	-	0.011	0.000	0.010
Hava Sıcaklığı	Korelasyon	0.095**	1	-0.888**	-0.459**
	Sig. (2-tailed)	0.011	-	0.000	0.000
Bağıl Nem	Korelasyon	-0.191**	-0.888**	1	0.369**
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	-	0.000
Hava Basıncı	Korelasyon	-0.143*	-0.459**	0.369**	1
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0.000	-

* Korelasyon 0.05 anlamlılık düzeyine önemlidir (2-yanlı test)

** Korelasyon 0.01 anlamlılık düzeyine önemlidir (2-yanlı test)

Tablo 5 incelendiğinde, SO₂ ile hava sıcaklığı arasında 0,05 anlamlılık düzeyinde pozitif yönde zayıf bir ilişki varken, SO₂ ile bağıl nem arasında 0,01 anlamlılık düzeyinde negatif yönde zayıf bir

ilişki vardır. Ayrıca, SO₂ ile hava basıncı arasında 0,05 anlamlılık düzeyinde zayıf yönde negatif bir ilişki vardır. SO₂ arttıkça hava basıncı azalır veya tam tersi söz konudur.

Tablo 6. NO₂ ve diğer meteorolojik değişkenler arasındaki Pearson korelasyon testi sonuçları

		NO ₂	Hava Sıcaklığı	Bağıl Nem	Hava Basıncı
NO ₂	Korelasyon	1	0.012	-0.171**	-0.001
	Sig. (2-tailed)	-	0.755	0.000	0.968
Hava Sıcaklığı	Korelasyon	0.012	1	-0.888**	-0.459**
	Sig. (2-tailed)	0.755	-	0.000	0.000
Bağıl Nem	Korelasyon	-0.171**	-0.888**	1	0.369**
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	-	0.000
Hava Basıncı	Korelasyon	-0.001	-0.459**	0.369**	1
	Sig. (2-tailed)	0.968	0.000	0.000	-

** Korelasyon 0.01 anlamlılık düzeyine önemlidir (2-yanlı test)

Tablo 6'ya göre, NO₂ ile bağıl nem arasında 0,01 anlamlılık düzeyinde negatif yönde zayıf bir ilişki

vardır. NO₂ ile hava basıncı ve hava sıcaklığı arasındaki ilişki ise önemsizdir.

Tablo 7. NO_x ve diğer meteorolojik değişkenler arasındaki Pearson korelasyon testi sonuçları

		NO _x	Hava Sıcaklığı	Bağıl Nem	Hava Basıncı
NO _x	Korelasyon	1	-0.001	-0.160**	0.015
	Sig. (2-tailed)	-	0.984	0.000	0.682
Hava Sıcaklığı	Korelasyon	-0.001	1	-0.888**	-0.459**
	Sig. (2-tailed)	0.984	-	0.000	0.000
Bağıl Nem	Korelasyon	-0.160**	-0.888**	1	0.369**
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	-	0.000
Hava Basıncı	Korelasyon	0.015	-0.459**	0.369**	1
	Sig. (2-tailed)	0.682	0.000	0.000	-

** Korelasyon 0.01 anlamlılık düzeyine önemlidir (2-yanlı test)

Tablo 7 incelendiğinde, NO_x ile hava sıcaklığı arasında ilişki olmadığı görülmektedir. NO_x ile bağıl nem arasında 0,01 anlamlılık düzeyinde negatif yönde zayıf bir ilişki vardır. NO_x ile hava

basıncı arasındaki ilişki önemsizdir. Tablo 8'de NO ve diğer meteorolojik değişkenler arasındaki Pearson korelasyon testi sonuçları verilmiştir.

Tablo 8. NO ve diğer meteorolojik değişkenler arasındaki Pearson korelasyon testi sonuçları

		NO	Hava Sıcaklığı	Bağıl Nem	Hava Basıncı
NO	Korelasyon	1	-0.009	-0.136**	0.025
	Sig. (2-tailed)	-	0.817	0.000	0.503
Hava Sıcaklığı	Korelasyon	-0.009	1	-0.888**	-0.459**
	Sig. (2-tailed)	0.817	-	0.000	0.000
Bağıl Nem	Korelasyon	-0.136**	-0.888**	1	0.369**
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	-	0.000
Hava Basıncı	Korelasyon	0.025	-0.459**	0.369**	1
	Sig. (2-tailed)	0.682	0.000	0.000	-

** Korelasyon 0.01 anlamlılık düzeyine önemlidir (2-yanlı test)

Tablo 8 incelendiğinde, NO ile hava sıcaklığı arasındaki ilişkinin önemsiz olduğu görülmektedir. NO ile bağıl nem arasında 0,01 anlamlılık düzeyinde negatif yönde zayıf bir ilişki olduğu

0.01 anlamlılık düzeyinde söylenebilir. Tablo 9'da CO ile meteorolojik değişkenler arasındaki Pearson korelasyon testi sonuçları verilmiştir.

Tablo 9. CO ve meteorolojik değişkenler arasındaki Pearson korelasyon testi sonuçları

		CO	Hava Sıcaklığı	Bağıl Nem	Hava Basıncı
CO	Korelasyon	1	0.245**	-0.327**	-0.149**
	Sig. (2-tailed)	-	0.000	0.000	0.000
Hava Sıcaklığı	Korelasyon	0.245**	1	-0.888**	-0.459**
	Sig. (2-tailed)	0.000	-	0.000	0.000
Bağıl Nem	Korelasyon	-0.327**	-0.888**	1	0.369**
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	-	0.000
Hava Basıncı	Korelasyon	-0.149**	-0.459**	0.369**	1
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0.000	-

Tablo 9'a göre CO ile hava sıcaklığı arasında 0,01 anlamlılık düzeyinde pozitif yönde zayıf bir ilişki varken CO ile bağıl nem arasında 0,01 anlamlılık düzeyinde negatif yönde zayıf bir ilişki mevcuttur. CO ile hava basıncı arasında 0,01 anlamlılık düzeyinde zayıf yönde negatif bir ilişki olduğu 0.01 anlamlılık düzeyinde söylenebilir.

Çalışmanın ikinci aşamasında hava kirleticilerinden biri olan PM₁₀ değerlerinden yararlanarak Markov zinciri analizi yapılmıştır. Bu amaçla Markov zincirine ait durumlar S1'den S6'ya kadar olan sembollerle gösterilmiş ve Tablo 10'daki gibi hava kalitesi indeksi değerlerine dayanarak sınıflandırılmıştır.

Tablo 10. Hava Kalitesi İndeksi Değerleri ve PM₁₀ Markov Zinciri Durum Uzayı

Hava Kalitesi İndeksi	Sınıf	Durum
0-50	İyi	S1
51-100	Orta	S2
101-150	Hassas	S3
151-200	Sağlıksız	S4
201-300	Kötü	S5
301-500	Tehlikeli	S6

Buna göre, Eşitlik (3)'ten yararlanarak bir-adım geçiş matrisi Tablo 11'deki elde edilmiştir. Tablo 11'de verilen olasılıkların elde edilmesi için günlük olarak yapılan ölçümler sonucu hava kalitesi durumu belirlenmiş ve günlük değişimler kayıt edilmiştir. www.havaizleme.gov.tr adresinden elde edilen Ocak-Aralık 2017 tarihleri arasındaki günlük veriler yardımıyla bu değişimlerin sayısından yararlanılarak olasılıkları veren geçiş matrisine ulaşılmıştır.

Tablo 11. PM₁₀ değerleri için bir-adım geçiş matrisi olasılıkları

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S1	0.40	0.40	0.17	0.03	0	0
S2	0.76	0.24	0	0	0	0
S3	0.76	0.12	0.07	0.03	0.02	0
S4	0.35	0.41	0.12	0.15	0	0
S5	0.44	0.22	0.14	0.08	0.09	0.03
S6	0.02	0.10	0.20	0.10	0.10	0.93

Tablo 11'e göre, Ankara'da hava kalitesi iyi iken ertesi gün havanın iyi olması olasılığı %40, orta sınıf olması olasılığı %40, hassas olması olasılığı %17 ve sağlıksız olması olasılığı %3'tür. Hava kalitesinin orta sınıf olduğu bir günden sonra iyi olması olasılığı %76, orta sınıf olması olasılığı %24'tür. Hava kalitesinin hassas olduğu bir günden sonra iyi olması olasılığı %76'dır. Hava kalitesinin sağlıksız olduğu bir günden sonra orta sınıf olması olasılığı %41 iken havanın kötü olduğu bir günden sonra iyi olması olasılığı %44'tür. Ancak hava kalitesinin tehlikeli olduğu bir günden sonra %93 olasılıkla hava kalitesi tehlikelidir.

Tablo 11'de verilen bir-adım geçiş matrisi incelendiğinde, yutucu ya da kapalı küme oluşturan durumların olmadığı görülmektedir. Bu nedenle, bu Markov zincirinin indirgenemez bir Markov zinciri olduğu ve bir limit ya da denge dağılımı olduğu söylenebilir. Diğer bir deyişle, Ankara şehir merkezindeki PM₁₀ hava kirlilik indeksi değerlerinin belirli zaman sonraki durumu elde edilebilir. Limit dağılımı başlangıç olasılıklarından bağımsız olduğu için başlangıçta ki durum ne olursa olsun değişmemektedir. Markov zincirinin uzun dönem sonrasındaki yapısını gösterecek olan limit dağılımını elde edilebilmek için Eşitlik (5)'ten yararlanılmış ve MATLAB programından yararlanarak denge dağılımına aşağıdaki gibi ulaşılmıştır.

$$p = \begin{matrix} \hat{e} \\ \hat{e} \end{matrix} \begin{matrix} 0.466 & 0.191 & 0.138 & 0.045 & 0.021 & 0.149 \end{matrix} \begin{matrix} \hat{u} \\ \hat{u} \end{matrix}$$

Buna göre, Ankara'da hava kalitesinin uzun dönemde iyi olması olasılığı %46, orta düzeyde olması olasılığı %19, hassas olması olasılığı %14, sağlıksız olması olasılığı %4,5, kötü olması olasılığı %2,1 ve tehlikeli olması olasılığı %15'tir.

4. Sonuç ve Tartışma

Tüm büyük şehirlerde olduğu gibi Ankara'da da hava kirliliği artış göstermektedir. Hava kirlleticileri ile iklim elemanları arasındaki ilişkiler değerlendirildiğinde, düşük düzeyde ancak istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler saptanmıştır. Ankara'da hava kirliliğinin ana kaynağı ısınmada kullanılan fosil yakıtlar ve egzoz gazlarıdır. Kent, topografik özellikleri ve yapılaşma sorunları nedeniyle fazla rüzgâr alamamaktadır. Dolayısıyla hava kirliliğini gidermede iklim değişkenlerinden ziyade kirliticilerin kontrol altına alınması daha büyük önem taşıdığı Çiçek vd. (2004) tarafından da belirlenmiştir. Markov analizi sonuçlarına göre, Ankara'da günlük hava kirlitici seviyesinin tehlikeli olacak derecede olmadığı, uzun dönemde dengede olduğu saptanmıştır. Benzer sonuçlar, Toros vd. (2018) tarafından Ankara iline ait hava kirliliğinin mekânsal dağılımının incelendiği çalışmada; Akyürek vd. (2013) tarafından Kocaeli ili için yapılan çalışmada ve Söyleyici vd. (2001) Konya ili için yapılan çalışmada elde edilmiştir.

Kaynaklar

- Akyürek, Ö., Arslan, O., Karademir, A. (2013). SO₂ ve PM₁₀ hava kirliliği parametrelerinin CBS ile konumsal analizi: Kocaeli örneği, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafî Bilgi Sistemleri Kongresi, Ankara.
- Bozkurt, F., Altay, Ş.Y., Yaganoğlu, M., (2015). Yapay Sinir Ağları İle Ankara İlinde Hava Kalitesi Sağlık İndeksi Tahmini, 2.Ulusal Yönetim Bilişim Sistemleri Kongresi, Erzurum.
- Çiçek, İ., Türkoğlu, N., Gürgen, G. (2004). Ankara'da Hava Kirliliğinin İstatistiksel Analizi, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 14, 2, 1-18.
- Doğan F., Kitapçıoğlu G., (2007). Comparing Air Pollution In Izmir According to Years, Ege Journal of Medicine 46(3): 129- 133, 2007.
- Durmaz, A., Doğu, G., Ercan, Y., Sivrioğlu, M. (1993). Ankara'da Hava Kirliliğinin Nedenlerinin Araştırılması ve Azaltılmasına Yönelik Önlemler, Nato Scientific Affairs Division, Ankara.
- Hillier, F. S., Lieberman, G. J. (2001). Introduction to Operation Research, McGraw-Hill.
- Kyrkilis, G., Chaloulakou, A., Kassomenos, P.A. (2007). Development of an aggregate Air Quality Index for an urban Mediterranean agglomeration: relation to potential health effects. Environ Int. 33(5), 670-676.
- Önalın, Ö. (2010). Stokastik Süreçler, Avcıol Basım Yayın, İstanbul.
- Söyleyici, F.D, Dursun, Ş. (2001). Konya İl Merkezinde Havada Bulunan Kükürtdioksit, Amonyak ve Duman Konsantrasyonlarının Meteorolojik Faktörlerle İlişkisinin Araştırılması, Ulusal Sanayi Çevre Sempozyumu ve Sergisi, Mersin Üniv. Müh. Fak. Çev. Müh. Bl, Mersin.
- Sungur, K., Gönençgil, B. (1997). Çeşitli İklim Elemanlarının Hava Kirliliği Üzerine Etkileri, Ankara Üniversitesi Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi, 6, 337- 345.
- Temiz, İ., Turgut, D. (2015). Time Series Analysis And Forecasting For Air Pollution In Ankara: A Box-Jenkins Approach. Alphanumeric Journal, 3, 131-138.
- Toros, H., Bağış, S., Gemici, Z. (2018). Ankara'da Hava Kirliliği Mekânsal Dağılımının Modellenmesi, Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, Sayı 1(1), 20-53.