



2015.03.02.STAT.07

## TIME SERIES ANALYSIS AND FORECASTING FOR AIR POLLUTION IN ANKARA: A BOX-JENKINS APPROACH

Duygu TURGUT \*

İzzettin TEMİZ †

*Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Gazi University, Ankara  
Assoc. Prof. Dr., Faculty of Maritime, Department of Maritime Business Administration, Mersin University, Mersin*

*Received: 23 October 2015*

*Accepted: 28 December 2015*

### Abstract

Despite the existing public and government measures for monitoring and controlling of air quality in Ankara, in many regions, air quality is not satisfactory. In this paper, PM10 data obtained from Monitoring and controlling of air quality station of Environment and Urban Ministry in Ankara-Sıhhiye. PM10 is a mixture of solid particles and liquid droplets suspended in the atmosphere, which is an abbreviation of particulate matter. This representation contains many pollutants, such as fossil fuels, waste and secondary aerosols, dust and smoke. PM10 leads to many health problems including asthma and premature death. Time series analysis was implemented to the PM10 data by using Box-Jenkins Methodology and the potential future value of PM10 was forecasted consequently in the future PM10 values will be as high as the past values in Sıhhiye, Ankara.

*Keywords: Air Pollution, PM10, Box-Jenkins, ARIMA.*

*Jel Code: C22, C53, Q53*

## ANKARA'DAKİ HAVA KİRLİLİĞİ İÇİN ZAMAN SERİLERİ ANALİZİ VE TAHMİN: BOX-JENKİNS YAKLAŞIMI

### Özet

Ankara'nın pek çok semtinde hava kalitesi kontrol ve ölçüm istasyonları olmasına ve hava kalitesi ölçümüyle ilgili çalışmalar yapılmasına rağmen, hava kalitesi istenilen seviyelerde değildir. Bu çalışmada, Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Ankara-Sıhhiye'deki hava kalitesi ölçüm istasyonundan alınan PM10 hava kirleticisine ait veriler incelenmiştir. PM10, atmosferde asılı duran katı partiküllerin ve sıvı damlacıkların bir karışımı olan partiküler maddenin kısaltmasıdır. Toz, duman, fosil yakıt artığı ve ikincil aerosoller gibi pek çok kirleticiyi içeren bu gösterim, astım ve erken ölümü de içeren pek çok sağlık sorununa neden olmaktadır. Bu PM10 verilerine Box-Jenkins Metodolojisi uygulanarak zaman serileri analizi yapılmış ve PM10 kirleticisinin gelecekte alacağı değerler tahmin edilmiştir. Gelecekte de PM10 hava kirleticisi değerinin Sıhhiye-Ankara'da yüksek olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

*Anahtar Kelimeler : Hava Kirliliği, PM10, Box-Jenkins, ARIMA*

*Jel Kodu : C22, C53, Q53*

\* [duygu.turgut1990@hotmail.com](mailto:duygu.turgut1990@hotmail.com)

† [itemiz@gazi.edu.tr](mailto:itemiz@gazi.edu.tr) (Corresponding author)

## 1. GİRİŞ

Günümüzde hava kirliliği, sanayi, araç kullanımı ve ısınma gibi problemler nedeniyle artan fosil yakıt kullanımı yüzünden insan ve çevre sağlığını büyük ölçüde tehdit etmektedir. Birçok ülke hem ulusal hem de uluslararası anlaşmalarla hava kirliliğini azaltma yönünde çalışmalar yapmaktadırlar. Türkiye’de bu önlemleri almaya çalışan bir ülkedir. Bunun için ülke genelinde pek çok şehirde Çevre ve Şehircilik Bakanlığının yetkili olduğu Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonları kurulmuştur. Bu istasyonlardan saatlik veriler toplanmakta ve analiz edilmektedir. Ankara’nın pek çok semtinde önemli noktalarda istasyonlar mevcuttur. Bu istasyonlardan biri de Sıhhiye’de trafiğin ve kirliliğin çok yoğun olduğu merkez bir noktada bulunmaktadır.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın 28 Şubat 2014 tarihinde, 2013 yılına ait Hava Kalitesi Haber Bülteninde [1] yapılan açıklama ile Türkiye’de 2013 yılı boyunca en yüksek PM10 kirliliğinin Ankara-Sıhhiye istasyonunda ölçüldüğü belirtilmiştir. Bu da Ankaralıların sağlığı tehdit etmektedir. Buna ek olarak Kimya Mühendisleri Odasının, 1 Mart 2014 tarihli Basın Açıklamasında da bu konuya değinilmiş ve acilen yetkililerce önlem alınması gerektiğinden bahsedilmiştir.

Elde edilen bu bilgilerden ve uyarılardan yola çıkarak Ankara’nın Sıhhiye istasyonu ve hava kirleticilerinden PM10 kirleticisinin bu çalışmada kullanılmasına karar verilmiştir. Sıhhiye istasyonunun seçilmesindeki bir başka neden ise en fazla sayıda hastanenin ve hastanın Sıhhiye semtinde bulunmasıdır. Buradaki hava kirliliğinin hastalar açısından daha ciddi etkilere sebep olabileceği gerçeğidir.

PM10 kirleticisi, partiküler maddenin gösterimidir. Partiküler madde atmosferde asılı bulunan katı partiküllerin ve sıvı damlacıkların bir karışımıdır. Toz, duman, is gibi bazı gözle görülebilir partiküller ve gözle görülemeyenler dahil pek çok kaynaktan oluşur. Bunlara örnek vermek gerekirse: fosil yakıt artığı, polenler, yerden kalkan tozlar, inşaat ve endüstrinin neden olduğu tozlar, azot, sülfür ve amonyak oksitlerinin havada reaksiyonu ile oluşan ikincil aerosoller vb. PM10 kısaltmasındaki 10 değeri ise aerodinamik çapları 10 µm’den daha küçük olan partikülleri gösterir ve bu partiküller çok ince partiküller olarak adlandırılır. PM10 kirleticileri akciğerlerin derinliklerine nüfuz ederek astıma ve erken ölümü de içeren pek çok ciddi sağlık sorunlarına neden olmaktadır[16]. Bu nedenle bu çalışmada PM10 değeri üzerinde durulmuştur.

Ülkemizde çevre sağlığı konusunda geçmişte yapılan çalışmalar incelendiğinde görüyoruz ki: Çevre sağlığı konusuna ilk olarak 1930 yılında kabul edilen 1593 sayılı Umumi Hıfzıssıhha Kanunu’nun 268-275. maddelerinde değinilmiştir. 1957 yılında gündeme gelen Ankara’daki

hava kirliliği, farklı hükümet programlarında yer almıştır. 9 Ağustos 1983 tarihinde 2873 sayılı Çevre Kanunu yürürlüğe girmiştir. Bu kanun; çevrenin korunması, iyileştirilmesi, kırsal ve kentsel alanlarda arazinin ve doğal kaynakların en uygun şekilde kullanılması, doğal ve tarihsel zenginliklerin korunarak bugünkü ve gelecek kuşakların sağlık, uygarlık düzeylerini korumak amacıyla alınacak önlemler ve düzenlemeleri kapsamaktadır[7]. Ankara, başkent olması nedeniyle 1950’lerden itibaren hızla bir iç ve dış göçe uğramış, hızlı nüfus artışı ve plansız kentleşme nedeniyle birçok çevre sorunları meydana gelmeye başlamıştır. Ayrıca Ankara’nın topografik yapısı, rüzgâr ve yağış gibi nedenler de hava kirliliğinin hızla artmasına sebep olmuştur. Ankara’daki hava kirliliğinin temel nedenleri: Endüstriyel ve sanayileşmeden kaynaklanan hava kirliliği, ısınma amaçlı kullanılan yakıtlardan kaynaklanan hava kirliliği, taşıma araçlarında kullanılan yakıtların yanmasıyla oluşan hava kirliliği, hızla artan kentleşme ve orman alanlarının azalmasından doğan hava kirliliğidir.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Sungur 1977, çalışmasında Ankara’da hava kirliliğinin en önemli klimatolojik nedeninin şehrin üzerinde oluşan ısı evirmesi olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca ısı evirmesinin etkisini azaltmak veya ortadan kaldırmak için zeminin ısıtılmasının önemi belirtilmiştir[19].

Durmaz vd. 1993, çalışmalarında Ankara’daki hava kirliliği sorununu ele alarak, teknik ve tekno-ekonomik yönden değerlendirmişler, ileriye dönük olarak uygun yakıt ve yakma sistemlerinin belirlenmesine yönelik kistaslar üzerinde durmuşlardır[10].

Çuhadaroğlu ve Demirci 1997, çalışmalarında Trabzon şehrinde hava kirleticilerden SO<sub>2</sub> ve parçacık madde ile meteorolojik parametrelerden sıcaklık, rüzgâr hızı ve bağıl nem arasındaki ilişkiyi SPSS programını kullanarak analiz etmişlerdir. Bu ilişkinin orta ve zayıf düzeyde olduğu belirlenmiştir[8].

Sungur ve Gönençgil 1997, araştırmalarında hava kirliliğinde rüzgar, türbülans, ısı evirmesi, sıcaklık, nispi nem ve yağışın etkilerini ortaya koymuşlar. Özellikle yüksek basınç koşulları, ısı evirmesi ve rüzgârsızlığın havaya katılan kirleticilerin uzaklaşmasını engelleyerek kirlilik yoğunluğunda artışa neden olduğunu belirtmişlerdir[20].

Mayer 1999, Almanya’nın Stuttgart şehrinde hava kirleticilerden NO, NO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> değerlerini ele aldığı makalesinde, motorlu taşıtlardan yayılan kirleticilerin bütün dünyada en önemli kirletici kaynağını oluşturduğunu belirtmiştir. Bu kirleticilerin zaman serileri ve eğilimlerinin hesaplandığı çalışmada dünyadaki büyük

şehirlerdeki hava kalitesi hakkında genel niceliksel değerlendirmeler yapılmıştır[20].

Bouhamra ve Abdul-Wahab 1999, Kuveyt Üniversitesine ait gezici hava kirliliği ölçme laboratuvarı tarafından toplanan verilerin istatistiksel analizini yaptıkları çalışmada trafiğin yoğun olduğu Mansouriya yerleşkesi seçilmiştir. Kirleticilerden  $CO$ ,  $NO$ ,  $NO_2$  ve  $O_3$  değerleri, meteorolojik parametrelerden ise sıcaklık, bağıl nem, basınç, solar radyasyon, rüzgâr hızı ve yönü ele alınmıştır. Çalışmada kirletici seviyelerinin, ABD Çevre Koruma Ajansı'nın yerleşim alanları için tavsiye ettiği limitlerin altında olduğu tespit edilmiştir[4].

Comrie ve Diem 1999, çalışmalarında ABD'nin batısında yüksek hava kirliliğinin çeşitli hava tipleriyle ilişkili olduğunu saptamışlar, yüksek basınca bağlı sakin hava koşullarının kirlilik üzerinde etkili olduğunu belirlemiştir[6].

Çiçek vd. 2004, çalışmalarında Ankara'daki hava kirliliğinin istatistiksel analizini yapmışlardır. Bunun için Kasım 2001 ve Nisan 2002 dönemindeki hava kirliliği ölçüm verilerini kullanmışlardır. Hava kirliliğine neden olan elemanlarla, sıcaklık, rüzgâr hızı ve nemlilik gibi iklim elemanları arasındaki ilişkiyi SPSS Programını kullanarak analiz etmişlerdir. Çoklu regresyon analizi ile elde ettikleri sonuçlarla başlıca hava kirleticileri ile iklim elemanları arasında orta derecede ilişki tespit etmişlerdir[7].

Roberts 2004, çalışmasında Illinois ve Pennsylvania eyaletlerinde 1987-1994 zaman periyodundaki ölüm oranları üzerindeki partiküler hava kirliliğini, sıcaklıkla katmanlaştırarak ve hava kirliliği-sıcaklık etki yüzeyleri bağlantısını kullanarak yaptıkları analizde günlük ortalama sıcaklık ve günlük partiküler hava kirliliği arasında etkileşim tespit etmişlerdir. Bu etkileşimin, hava kirliliği kaynaklı ölüm oranlarının üzerindeki etkisine dikkat çekmişlerdir[17].

Wilson vd. 2004, çalışmalarında 1998-2000 yılları arası Portland, Maine ve 1996- 2000 yılları arasında Manchester, New Hampshire kentlerinde hastanelerin acil servislerine solunum ve astım şikâyetleri ile başvuranların sayılarıyla hava kirleticilerinden sülfür dioksit ve ozonun günlük miktarları ve hava değişiminin arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Mevsimsel etki, tüm değişkenlerden parametrik olmayan yumuşatılmış fonksiyon (LOESS) kullanılarak çıkartılmıştır. Sülfür dioksitin ve ozonun ayrı ayrı çeyrekler arası yükselmesinin, acil servislerde solunum hastalarının sayısını %5 oranında arttırdığını tespit etmişlerdir[21].

Lee vd. 2007, çalışmalarında hava kirliliğinin, Londra'daki erken doğumlar üzerindeki kısa dönem etkilerini zaman serileri regresyon teknikleri ile analiz etmişlerdir. 13 yıl süren bu çalışma sonucunda hiçbir ilişki tespit edilememiştir[14].

Doğan ve Kitapçioğlu 2007, çalışmalarında İzmir ilinin, 1989-2004 yılları arası Hava kirliliği ortalama değerlerini Devlet İstatistik Enstitüsü Başkanlığı kış sezonu hava istatistiklerinden elde ettikleri verilerle tek değişkenli zaman serisi analizi, eğilim eğrisi anlamlılığı testi ve eğilimler arası kırılmanın anlamlılığı testini yapmışlardır. Hava kirleticileri ile ilgili gözlenen düşüşleri istatistiksel olarak anlamlı bulmuşlardır[9].

Anttila ve Tuovinen 2010, çalışmalarında 1994-2007 periyodunda Finlandiya'daki hava kirleticilerinin atmosferik yoğunluklarının trendini hesaplamışlardır. Bunun için ARMA ve en küçük kareler regresyonu yöntemlerinden yararlanmışlardır. Yıllık veriler yerine aylık verilerden yararlanarak en zayıf trendlerin bile belirlenmesini sağlamışlar[2].

Zhang vd. 2011, çalışmalarında, Çin'in Beijing kentinde hava kirleticiler ile Alerjik Rinit şikâyetiyle hastanelere başvuranlar arasındaki yüksek derecede doğrusal olmayan ve durağan olmayan etki-tepki ilişkisini genelleştirilmiş toplamsal model (GAM) ile 2009-2010 periyodu için zaman serileri analizini yapmışlar. Bunun sonucunda hava kirliliği ile Alerjik Rinit şikâyetleri arasında yüksek ilişkinin varlığını belirlemiştir[23].

Ivanov vd. 2014, çalışmalarında Bulgaristan'ın Blagoevgrad şehrindeki hava kirleticilerini faktör analizi yöntemiyle gruplandırıp, şehirdeki hava kalitesini Box Jenkins mevsimsel ARIMA modeliyle analiz etmişlerdir. Sundukları istatistiksel modelin kısa dönem karmaşık olmayan hava kirliliği tahmin modellerinde etkili çözüm verdiğini belirtmişlerdir[12].

Santos vd. 2014, çalışmalarında Ocak 2005'ten Aralık 2010'a kadar olan periyotta Brezilya'nın güneydoğusundaki hava kirleticileri ile 6 yaşından küçük çocukların hastanelere başvuruları arasındaki ilişkiyi belirlemek için çevreyle ilgili zaman serisi analizi yapmışlardır. Bunun için ARMA yönteminden yararlanmışlardır. Hava kirleticileri ve hastaneye başvuran 6 yaşından küçük çocuklar arasındaki ilişki riskinin genelleştirilmiş toplamsal mevsimsel otoregresif model kullanıldığında %3 arttığı, normal genelleştirilmiş toplamsal model kullanıldığında artışın %2 olduğunu saptamışlardır[18].

### 3. UYGULANAN METODOLOJİ

#### 3.1. Box-Jenkins Tahmin Modelleri

Box-Jenkins metodu tek değişkenli bir model olarak geleceği tahmin etme metodlarından biridir. Kısa dönem tahmininde oldukça başarılı olan bu metodun uygulandığı serinin, eşit zaman aralıklarıyla elde edilen gözlem değerlerinden oluşan kesikli ve durağan bir seri olması bu metodun önemli bir varsayımdır. Bu tür serilerde durağanlık kavramı da Box-Jenkins metodunun önemli varsayımlarındandır. Box-Jenkins metodunun ihtiva ettiği

modeller; zamana bağlı tesadüfi karakterde olaylar ve bu olaylarla ilgili zaman serilerinin ise stokastik süreç olduğu varsayımına bina edilerek geliştirilmiştir. Ayrıca iç bağımlılık en etkili biçimde dikkate alınmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı Box-Jenkins modellerine doğrusal durağanstokastik modeller denmektedir. Box-Jenkins modelleri üç grupta incelenebilir. Bunlar; doğrusal durağan stokastik modeller, durağan olmayan doğrusal stokastik modeller ve mevsimlik modellerdir[3].

#### Box Jenkins Model belirleme Adımları:

1. Genel model sınıfının belirlenmesi,
2. Geçici model sınıfının belirlenmesi,
3. Belirlenen geçici modelin parametrelerinin tahmini,
4. Parametreleri hesaplanan geçici modelin verilere uygunluğunun testi,
5. Eğer model verilere uygunsa, modelin tahmin için kullanılması,
6. Eğer model verilere uygun değilse aynı model sınıfından başka bir model için işlemlerin tekrarlanması.

#### 3.1.1. Doğrusal Durağan Stokastik Modeller

Doğrusal durağan stokastik modeller istatistiksel bir dengeyi ifade etmektedir. Gözlem değerleri sabit bir ortalama etrafında değişim gösterir[13].

##### 3.1.1.1. Otoregresif Model [AR(p)]

Bir AR modelinde, bağımlı değişken geçmişteki değerinin bir fonksiyonudur. Birçok zaman serisi verisi de bu süreci içermektedir. Bu durum aşağıdaki gibi bir denklemle ifade edilebilir.

$$x_t = a + a_1 * x_{t-1} + a_2 * x_{t-2} + \dots + \varepsilon$$

Burada,  $a$ , sabit terimi temsil ederken  $a_1$  gibi katsayılarda gecikmeli değerlerin şimdiki değerle olan ilişkisini temsil eder. Ayrıca  $\varepsilon$  hata terimi de rassal şokları tanımlamaktadır. Otoregresif süreç genel olarak  $AR(p)$  şeklinde ifade edilir.

##### 3.1.1.2. Hareketli Ortalama Modeli [MA(q)]

Eğer serinin gecikmeli hata terimi, şimdiki hata terimini etkiliyorsa hareketli ortalama süreci tanımlanır. Bir hareketli ortalama sürecinde değişkenin tahmin değeri hata terimlerinin tahmin değeri ile ilgilidir. Bir hareketli ortalama süreci,

$$x_t = e_t - a_1 e_{t-1} - \dots - a_n e_{t-n}$$

Şeklinde ifade edilebilir. Genel olarak hareketli ortalama süreci  $MA(q)$  şeklinde ifade edilir. Hareketli ortalama sürecinde, her bir gecikmeli hata terimi onun şimdiki değerini etkilemektedir.

##### 3.1.1.3. Otoregresif Hareketli Ortalama Modeli [ARMA(p, q)]

Zaman serisi modellerinde esneklik sağlamak için en az sayıda parametre kullanma ilkesini gerçekleştirmek amacıyla bazı hallerde modele hem otoregresif hem de hareketli ortalama parametrelerinin alınması birçok faydalar sağlamaktadır. Bu düşünce  $ARMA(p, q)$  modelini ortaya çıkarmıştır[13]. Bu modelin, bir zaman serisinin herhangi bir  $t$  dönemine ait  $X(t)$  gözlem değeri, ondan önceki belirli sayıda  $x_{(t-1)}, x_{(t-2)}, \dots, x_{(t-p)}$  gözlem değerlerinin ve  $a_t, a_{t-1}, \dots, a_{t-q}$  hata terimlerinin doğrusal birleşiminden meydana gelmektedir.  $ARMA(p, q)$  sürecinin genel ifadesi:

$$a_t = \phi_1 x_{t-1} + \phi_2 x_{t-2} + \dots + \phi_p x_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (1)$$

$$x_t - (\phi_1 x_{t-1} + \phi_2 x_{t-2} + \dots + \phi_p x_{t-p}) = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (2)$$

şeklinde yazılır.

##### 3.1.2. Durağan Olmayan Doğrusal Stokastik Modeller [ARIMA(p, d, q)]

Durağan olmayan bir zaman serisini durağan hale getirmek için ihtiyaç durumuna göre serinin genellikle 1 veya 2 defa farkı alınır. Fark alma derecesi  $d$  ile gösterilir. Durağan olmayıp farkı alınarak durağan hale getirilmiş serilere uygulanan modellere durağan olmayan doğrusal stokastik modeller veya kısaca bütünleşmiş modeller denir[5].

Bu bütünleşmiş modeller belirli sayıda farkı alınmış serilere uygulanan  $AR$  ve  $MA$  modellerinin birleşimidir. Eğer  $AR$  modelinin derecesi  $p$ ,  $MA$  modelin derecesi  $q$  ve serinin de  $d$  kez farkı alınmışsa bu modele  $(p, d, q)$  dereceden otoregresif bütünleşik hareketli ortalama modeli denir ve  $ARIMA(p, d, q)$  şeklinde gösterilir[5].  $ARIMA(p, d, q)$  modelinin genel ifadesi

$$w(t) = \phi_1 w(t-1) + \phi_2 w(t-2) + \dots + \phi_p w(t-p) + a(t) - \theta_1 a(t-1) - \theta_2 a(t-2) - \dots - \theta_q a(t-q) \quad (3)$$

şeklinde dir. Bu ifadede (5) eşitliğindeki  $x_t, x_{t-1}, \dots, x_{t-p}$  gözlem değerlerinin yerini, farkı alınmış  $w_t, w_{t-1}, \dots, w_{t-p}$  gözlem değerleri almıştır. Yani  $\Delta dx_t = w_t$  dir. Burada:

$\Delta$  = Fark alma operatörü,

$d$  = Fark alma derecesi,

$w_t, w_{t-1}, \dots, w_{t-p}$  = Farkı alınmış seri. Fark derecesi  $d = 0$  ise zaten seri durağandır. Eğer  $d = 1$  ise,

$$\Delta x_t = w_t = x_t - x_{t-1} \quad (4)$$

veya geriye öteleme operasyonu ile,

$\Delta x_t = w_t = (1 - B)x_t$  şeklinde yazılır. Bu ifade  $d$  dereceye genelleştirilirse,

$$\Delta dx_t = w_t = (1 - B)dx_t \quad (5)$$

şeklini alır (Bircan ve Karagöz, 2003).

### 3.2. Durağanlık Testi:

Zaman serileri çözümlemesinde serilerin durağan olması önemlidir. Bir seri eğer durağan değilse farklı veri setlerinde farklı görüntüler sergiler. Bu durumda serinin davranışı diğer dönemlere genellenemez ve geleceği tahmin etmek için yararlı olmaz. Durağanlık aranan bir özellik olduğuna göre, elimizdeki bir zaman serisinin durağan olup olmadığını bilmek isteriz. Uygulamada bir serinin durağan olup olmadığını anlamak çeşitli biçimsel ve biçimsel-dışı yöntemlere konu olur[22].

Bir serinin durağan olup olmadığını anlamının bir yöntemi; korelogram grafiğinin incelenmesidir. Otoregresif süreci gösteren bu korelogramlarda durağan olmayan serilerde istatistiksel olarak sıfırdan anlamlı derecede büyük ve düzenli azalan otoregresif değerler olduğu görülür. Durağan serilerde tüm otoregresif değerlerin sıfıra yakın çıkması beklenir.

Serinin durağan olup olmamanın sınanmasının bir diğer ve en yaygın kullanılan yolu Dickey-Fuller (DF) Birim Kök Sınamasıdır. DF sınamasını uygulamak, olası birim kök sürecinin doğasına ilişkin bazı seçimler yapmayı gerekli kılar. Dolayısıyla, sınama için, aşağıdaki dört ayrı belirtim kullanılabilir:

Sabit terim olmadan:  $\Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + u_t$

Sabit terim ile:  $\Delta Y_t = \beta_1 + \delta Y_{t-1} + u_t$

Sabit terim ve eğilim:  $\Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Y_{t-1} + u_t$

Sabit terim ve üstel eğilim:  $\Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \beta_3 t^2 + \delta Y_{t-1} + u_t$

Yukarıdaki belirtimlerden hangisinin kullanılacağına görsel inceleme sonunda karar verilir.

DF sınamasında  $u_t$  'nin otoregresif olmadığı varsayılmaktadır. Bu çoğunlukla geçerli olmadığı için, yukarıda gösterdiğimiz model belirtimlerinin sonlarına  $\Delta Y_t$  'nin gecikmeli değerleri eklenerek sınama genişletilmiştir. Bu yeni sınamaya “Genişletmeli Dickey-Fuller” (Augmented Dickey-Fuller) ya da kısaca “ADF” sınaması denir. Sabit terimsiz ADF sınama belirtimi şöyledir:

$$\Delta Y_t = \delta Y_t - 1 + \sum_{i=1}^m \alpha_i \Delta Y_{t-i} + u_t$$

Buradaki gecikme derecesi  $m$  genellikle Akaike gibi bilgi ölçütlerine dayanılarak, yaklaşık olarak belirlenmektedir. DF ve ADF sınamalarında  $Y_{t-1}$  'in önündeki  $\delta$  değişkeni büyük örneklerde bile  $t$  dağılımını izlememektedir.

Dickey ve Fuller,  $\delta$  'nın örneklem dağılımına  $\tau$  (tau) adını vermiş ve buna ait kritik değerleri Monte Carlo yöntemi ile bulmuşlardır. Dolayısıyla, ADF sınamasının adımları şöyledir:

Sınanacak zaman serisi incelenir ve var olduğu düşünülen olasılıksal sürece uygun sınama belirtimi

seçilir. Model tahmin edilir ve aşağıdaki  $t$  istatistiği hesaplanır.

$$\tau = \frac{\delta}{\text{ö}h(\delta)}$$

Sıfır ön savı  $H_0: \delta = 0$  ve karşıt ön sav ise  $H_1: \delta < 0$  şeklindedir. Diğer deyişle ADF tek kuyruklu bir sınamadır. Hesaplanan sınama istatistiği çizelgeden bulunan kritik  $\tau$  değerinden büyükse, birim kök sıfır ön savı reddedilir[22].

Dickey- Fuller testindeki yapısal kırılmalar vardır ve seriler üzerinde trendin etkisini ve bu trende bağlı olarak ortaya çıkabilecek hata terimlerinin standart hatasının farklı olmasına bağlı etkiler yoktur. Bu eksiklik Phillips ve Perron tarafından eleştirilmiştir ve yazarlar literatürdeki “Phillips-Perron Testi” olarak bilinen birim kök testini geliştirmişlerdir.

Dickey-Fuller Testi hata terimlerinin istatistiki olarak bağımsız olduklarını ve sabit varyansa sahip olduklarını varsayar. Bu metodoloji kullanılırken hata terimleri arasında etkileşimin olmadığına ve sabit varyansa sahip olduklarına emin olmak gerekir. Phillips ve Perron (1988) Dickey-Fuller'ın hata terimleri ile ilgili olan bu varsayımını genişletmişlerdir[11]. Bu durumu daha iyi anlamak için şu regresyon dikkate alınır.

$$Y_t = a_0 + a_1 Y_{t-1} + \mu_t$$

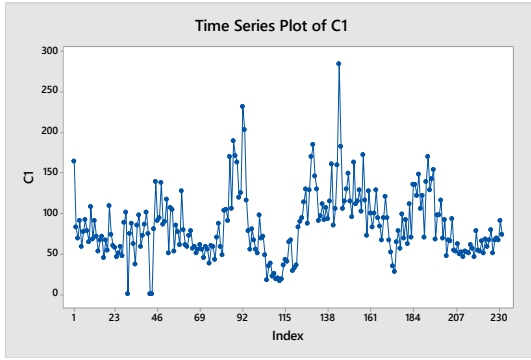
$$Y_t = a_0 + a_1 Y_{t-1} + a_2 \left( t - \frac{T}{2} \right) + \mu_t$$

Burada  $T$  gözlem sayısını  $\mu_t$  hata terimlerinin dağılımını göstermekte olup, bu hata teriminin beklenen ortalaması sıfıra eşittir. Fakat burada hata terimleri arasında içsel bağlantının olmadığı veya homojenlik varsayımı gerekli değildir. Bu açıdan bakıldığında Dickey-Fuller testinin bağımsızlık ve homojenite varsayımları Phillips-Perron testinde terk edilmiş hata terimlerinin zayıf bağımlılığı ve heterojen dağılımı kabul edilmiştir. Böylece Phillips-Perron, Dickey-Fuller  $t$  istatistiklerini geliştirmesinde hata terimlerinin varsayımları konusundaki sınırlamaları dikkate almamıştır[11].

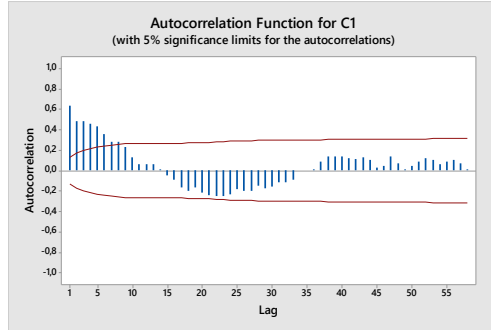
## 4. UYGULAMA

Bu çalışmada, Ankara Sıhhiye istasyonundan ölçülen hava kirliliğine ilişkin PM10 verilerinin 1 Ocak 2010'dan 31 Ekim 2014'e kadar haftalık toplam 232 veri kullanılmıştır.

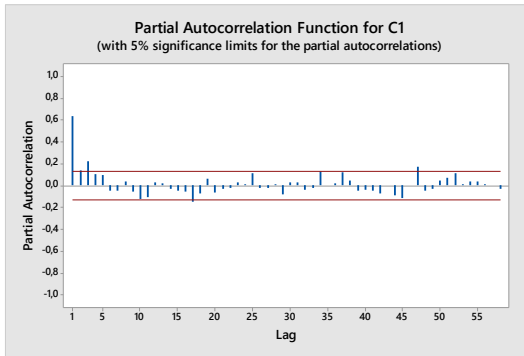
İlk önce 232 veriden oluşan zaman serisinin karakteristiğinin incelenmesi için Minitab paket programı kullanılarak zaman serisi grafiği elde edilmiştir (Şekil 1). Ardından ayrıntılı inceleme için zaman serisinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon grafikleri oluşturulmuş ve incelenmiştir (Şekil 2-3).



Şekil 1. Zaman Serisinin Grafiği



Şekil 2. Zaman Serisinin Otokorelasyon Grafiği



Şekil 3. Zaman Serisinin Kısmi Otokorelasyon Grafiği

Zaman serisinin grafiği, otokorelasyon ve kısmi otokorelasyonları incelendiğinde serinin durağan olduğu ve varyansında bir değişme olmadığı sonucuna varılmıştır. Serinin durağanlığının ispat edilmesi için zaman serisine Genişletilmiş Dickey-Fuller Birim Kök Testi, EViews paket programı kullanılarak uygulanmıştır.

$H_0: \delta = 0$  eğer  $t\delta > \tau$  ise durağan dışıdır.

$H_1: \delta < 0$  eğer  $t\delta < \tau$  ise durağandır.

Tablo 1. Dickey-Fuller Birim Kök Testi Sonucu

Test critical values	t-Statistic
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-4.167251
1% level	-3.998635
5% level	-3.429570
10% level	-3.138293

Dickey-Fuller Birim Kök testine göre kritik değerler, istatistik değerinden büyük oldukları için  $H_0$  hipotezi reddedilmiştir. Yani zaman serisi durağandır veya birim kök içermemektedir.

Zaman serisinin geçici modelini belirlemek için otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon grafikleri incelendiğinde; otokorelasyonların azaldığı, kısmi otokorelasyonların da 3. Gecikmeden sonra kesildiği görülmektedir. Otokorelasyonların azalıyor olması ve kısmi otokorelasyonların da  $p$  gecikmeden sonra kesilmesi  $AR(p)$  modeli olduğunu göstermektedir. Zaman serisinin geçici modeli  $AR(3)$  veya  $ARIMA(3,0,0)$  modelidir. En az parametrelili en uygun modeli belirlemek için  $AR(1)$ ,  $AR(2)$ ,  $AR(3)$ ,  $ARMA(1,1)$  modelleri ile çözülmüş ve sonuçları Tablo 2'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 2. Modellerin Uygunluğunu Karşılaştırma Tablosu

	R-Squared	AIC	SIC	Likelihood	Chi-Square
$ARIMA(1,0,0)$	0.412558	9.745194	9.774999	-1123.570	36,5
$ARIMA(3,0,0)$	0.457745	9.690866	9.750844	-1105.604	23,8
$ARMA(1,1)$	0.436051	9.713039	9.757746	-1118.856	31,9

Tabloda istatistiksel anlamlılık ve durağanlık koşullarını sağlayan modeller listelenmiştir. Daha iyi sonuç elde edilebilir mi diye düşünülerek serinin 1. Dereceden farkı alınarak da işlemler yapılmıştır fakat istatistiksel olarak anlamsız parametrelerin çıktığı görülmüştür. Zaman serisi durağandır ve fark almak daha iyi sonuç vermemektedir.  $AR(2)$  Modelinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlendiği için elenmiştir. Modeller karşılaştırma yapılırken kullanılan kriterler;

- ✓ Minimum SIC
- ✓ Maksimum R KARE
- ✓ Minimum AIC
- ✓ Maksimum Likelihood

Bu kriterleri sağlayan en iyi modelin  $AR(3)$  yani  $ARIMA(3,0,0)$  modeli olduğu görülmektedir

Model belirlendikten sonra  $AR(3)$  modeli ile 232 geçmiş veri kullanılarak Kasım 2014, Aralık 2014 ve Ocak 2015 için tahminde bulunmak amacıyla 232'den 244'e kadar olan veriler Eviews paket programı kullanılarak hesaplanmıştır. (Şekil 5-Şekil 6)

Q İstatistiği Uygunluk testi yapılarak hata terimlerinin birbirinden bağımsız olduğu sonucuna varılmıştır. Hata terimleri normal dağılıma uymaktadır (Şekil 4).

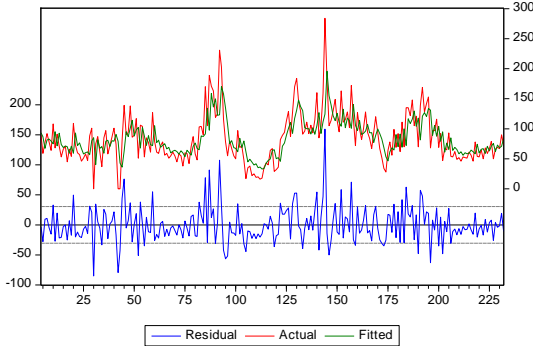
Q istatistiği:  $H_0: \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_k = 0$ ,

$H_1$ : En az bir  $\rho_j \neq 0$  Q(k) değişkeni  $\chi^2$  kare değişkeninden olursa  $H_0$  hipotezi kabul edilir yani hata terimleri birbirinden bağımsızdır.

$Q(53) = 57,154 < \chi^2_{(0,95,50)} = 67,50$   
olduğundan  $H_0$  hipotezi kabul edilmiştir. (Şekil 4)

43	0.074	0.066	39.655	0.617
44	-0.018	-0.067	39.753	0.654
45	-0.089	-0.127	42.068	0.597
46	-0.058	-0.122	43.045	0.597
47	0.151	0.083	49.758	0.364
48	0.023	-0.015	49.912	0.397
49	-0.101	-0.095	52.948	0.324
50	-0.059	-0.068	53.989	0.325
51	0.045	-0.002	54.588	0.340
52	0.077	0.061	56.396	0.314
53	0.050	0.048	57.154	0.324
54	-0.050	0.006	57.917	0.333
55	0.042	0.051	58.463	0.349

Şekil 4. Q Testi Sonuçlarının Bir Kısmı

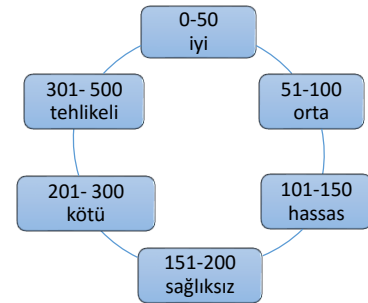


Şekil 5. Gerçek Gözlem Değerleri, Tahmin Değerleri ve Hata Terimleri Karşılaştırmalı Grafiği

Yapılan tahmin işlemlerinden PM10 kirleticisinin alabileceği değerlerin 83.21 ortalamasına yaklaştığı sonucuna varılmıştır. Bu en olası ihtimalle hava kirliliğinin 83.21 PM10 değerlerinde olacağını ve bu değerden daha yüksek değerler de alabileceğini göstermektedir. Hava kirliliği sınıflandırma göstergesinde 83 değeri orta düzeyde kirlilik aralığı olan 51-100 değer aralığında olduğu görülmektedir. (Şekil 7)

obs	Actual	Fitted	Residual	Residual Plot
4	90.0000	93.2552	-3.25521	
5	59.0000	86.7640	-27.7640	
6	77.0000	67.5034	9.49663	
7	92.0000	81.2215	10.7785	
8	78.0000	82.7502	-4.75022	
9	64.0000	79.3767	-15.3767	
10	108.0000	74.9773	33.0227	
11	68.0000	95.2059	-27.2059	
12	91.0000	71.4516	19.5484	
13	71.0000	92.6828	-21.6828	
14	53.0000	73.6917	-20.6917	
15	66.0000	68.8114	-2.81140	
16	71.0000	71.1813	-0.18127	
17	45.0000	70.1263	-25.1263	
18	66.0000	59.1513	6.84867	
19	54.0000	71.0770	-17.0770	
20	109.0000	59.3443	49.6557	
21	73.0000	93.0165	-20.0165	
22	60.0000	71.9680	-11.9680	
23	57.0000	76.4531	-19.4531	
24	46.0000	66.9110	-20.9110	
25	51.0000	58.2056	-7.20564	
26	58.0000	60.0774	-2.07739	
27	47.0000	61.4951	-14.4951	
28	88.0000	56.8076	31.1924	
29	101.0000	80.0128	20.9872	
30	0.00000	85.0954	-85.0954	
31	75.0000	40.3264	34.6736	
32	87.0000	81.7630	5.23705	
33	62.0000	67.3190	-5.31897	
34	37.0000	70.3579	-33.3579	
35	85.0000	59.3085	25.6915	
36	97.0000	79.1485	17.8515	
37	58.0000	80.7662	-22.7662	
38	72.0000	70.5175	1.48249	
39	86.0000	80.0573	5.94274	
40	101.0000	79.2734	21.7266	
41	74.0000	90.4686	-16.4686	
42	0.00000	79.3073	-79.3073	
43	0.00000	42.7821	-42.7821	
44	80.0000	35.9864	44.0136	
45	139.0000	62.6131	76.3869	
46	90.0000	95.0796	-5.07962	
47	94.0000	87.0285	6.97151	
48	138.0000	101.262	36.7376	
49	86.0000	114.167	-28.1667	
50	89.0000	87.9086	1.09141	
51	117.0000	98.3312	18.6688	

Şekil 6. Gerçek Gözlem Değerleri, Tahmin Değerleri ve Hata Terimleri



Şekil 7. Hava Kirliliği Değerleri Sınıflandırma Göstergesi

## 5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Ankara'nın en yüksek PM10 değerlerine sahip olduğu, ilgili bakanlığın 2013 yılındaki açıklamasından yola çıkılarak incelenmeye başlanan Sıhhiye istasyonundan edinilen 5 yıllık zaman dilimindeki veriler kullanılarak bu çalışma yapılmıştır. Sıhhiye bölgesinde hava kalitesinin iyi seviyelerde olmadığı, yapılan hesaplamalarda gelecekte alacağı değerlerin ortalama 83.21 tahmini değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu da PM10 kirleticisinin gelecekte alacağı tahmini değer hava kalitesi 51-100 gösterge aralığına denk geldiği, bu aralığın da hava kalitesi sınıflandırmasında hava kalitesinin orta

düzeyde olduğunu ve Sıhhiye'deki hava kalitesinin geçmişte olduğu gibi gelecekte de bu düzeylerde seyredeceği belirlenmiştir.

Bu çalışma, hava kalitesi kontrol işlemlerinden sorumlu Çevre ve Şehircilik Bakanlığına geleceğe dair bir bilgi vermeyi amaçlamaktadır. Pek çok hastanenin ve hastanın yoğun olarak bulunduğu bu bölgede hava kalitesini artırıcı önlemlerin acilen alınması gerekmektedir. Hava kirleticilerinden özellikle büyük ölçüde kanser yapıcı etkiye sahip olan PM10 değerlerinin azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmalıdır.

## References

- [1]. Ankara Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü-2013 Kentair Hava Kalitesi Değerlendirme Raporu (2013)
- [2]. Anttila P. ve Tuovinen J.P., Trends of primary and secondary pollutant concentrations in Finland in 1994–2007, Atmospheric Environment Volume 44, Issue 1, January 2010, pp. 30-41
- [3]. Bircan, H. ve Karagöz, Y. Box-Jenkins Modelleri ile Aylık Döviz Kuru Tahmini Üzerine Bir Uygulama, Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (6) 2003/2 : 49-62
- [4]. Bouhamra W.S. Abdul-Wahab S.A. (1999) Description of outdoor air quality in typical residential area in Kuwait Environmental Pollution, 105, 221-229
- [5]. Box ve Jenkins: Time Series Analysis Forecasting and Control Lancaster U.K., 1976.
- [6]. Comrie, A.C., Diem, J.E. (1999), Climatology and forecast modeling of ambient carbonmonoxide in Phoenix, Arizona. Atmospheric Environment 33, 5023-5036
- [7]. Çiçek İ, Türkoğlu N., Gürgen G. (2004), Ankara'da Hava Kirliliğinin İstatistiksel Analizi, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt:14, Sayı:2, Sayfa:1-18, 2004.
- [8]. Çuhadaroğlu B, Demirci E. (1997), Influence of some meteorological factors on air pollution in Trabzon City. Energy and Building, 25, 179-184
- [9]. Doğan F., Kitapçıoğlu G., Comparing Air Pollution In Izmir According to Years, Ege Journal of Medicine 46(3): 129- 133, 2007.
- [10]. Durmaz, A., Doğu, G., Ercan, Y., Sivrioğlu, M. (1993) Ankara'da Hava Kirliliğinin Nedenlerinin Araştırılması ve Azaltılmasına Yönelik Önlemler, Nato Scientific Affairs Division, Ankara
- [11]. Enders, Walter, Applied Econometric Time Series, John Wiley and Sons, UK, 1995.
- [12]. Ivanov A.V., Voynikova D.S., Gocheva-Ilieva, G.S., Boyadzhiev D.T., Time series analysis and forecasting for air pollution in small urban area: an SARIMA and factor analysis approach, Stoch Environ Res Risk Assess, (2014) 28:1045–1060
- [13]. Kayım, H., İstatistiksel Ön Tahmin Yöntemleri, H.Ü. İkt. ve İdr. Bil. Fak. Yayınları, No:11, Ankara, 1985.
- [14]. Lee S.J., Hajat S., Steer P.J., Filippi V., A Time-Series Analysis of Any Short-Term Effects of Meteorological and Air Pollution Factors on Preterm Births In London, UK, Environmental Research, 106 (2008) 185-194
- [15]. Mayer, H. (1999), Air pollution in cities. Atmospheric Environment, 33, 4029-4037
- [16]. Özdemir, M. T., Ertaş, S., Desert dust transportation on particulate matter concentrations: A case study in Ankara. Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi. (2011); 68(1): 23 – 34.

Sıhhiye'deki hava kirliliğinin en büyük etkeni oradaki yoğun trafik sorunudur. Bu çalışmada Ankara'da özellikle Sıhhiye'deki hava kirliliği etkenlerinin ilgili devlet kurumları tarafından daha iyi tespit edilmesi ve iyileştirilmesi için önlemler alınması önerilmektedir.

Gelecek çalışmalarda PM10 dışındaki diğer hava kirleticilerinin de etkileri zaman serisi analizine eklenebilir ve çalışma tüm ülke geneline kapsayacak şekilde genişletilebilir.

- [17]. Roberts S., Interactions between Particulate Air Pollution and Temperature in Air Pollution Mortality Time Series Studies, Environmental Research, 96 (2004) 328-337
- [18]. Santos J. M., De Souza J.B., Reisen V. A., Franco G. C., Principal components and generalized linear modeling in the correlation between hospital admissions and air pollution, Rev Saúde Pública, 2014, 48(3):451-458
- [19]. Sungur, K. (1977), Ankara'da Hava Kirlenmesi Bakımından Isı Terselmesinin Rolü, İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi, 22, 119-126.
- [20]. Sungur, K., Gönençgil, B. (1997), Çeşitli İklim Elemanlarının Hava Kirliliği Üzerine Etkileri, Ankara Üniversitesi Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi, 6, 337-345.
- [21]. Wilson A.M., Wake C.P., Kelly T., Salloway J.C., Air Pollution Weather and Respiratory Emergency Room Visits in Two Northern New England Cities: An Ecologic Time Series Study. Environmental Research, 97 (2005) 312-321
- [22]. Yalta, A. T. (2011), "Creative Commons Attribution-Non-Commercial ShareAlike 3.0 Unported" (CC BY-NC-SA 3.0) lisansı altında bir açık ders malzemesidir. Zaman Serileri Ekonometrisine Giriş Sürüm 2.0
- [23]. Zhang F., Wang W., Lv J., Krafft T., Xu J. (2011) Time-series studies on air pollution and daily outpatient visit for allergic rhinitis in Beijing, China, Science of the Total Environment 409 (2011) 2486-2492.