

Türkiye'deki İş Kazalarının Zaman Serisi Analiz Teknikleri ve Yapay Sinir Ağları Tekniği İle İncelenmesi

Investigation of Work Accidents in Turkey with Time Series Analysis and Neural Network Technique

Barış ERGÜL

ÖZET

İş kazaları sonucunda ölüm ve iş göremezlik verileri yıllara göre kaydedilmektedir. Yıllar bazında kaydedilen veriler zaman serisi analizi ile modellenmektedir. Bu çalışmada, Türkiye'deki iş kazaları sonucu ölüm sayıları ve sürekli iş göremezlik sayıları, Box-Jenkins (ARIMA) Tekniği ile modellenmiştir. Ayrıca aynı veriler Yapay Sinir Ağları ile de modellenmiştir. Her iki yöntem sonucunda elde edilen modeller, tahmin bakımından karşılaştırılmıştır. 2016-2020 yılları için yapılan tahminlere göre, Yapay Sinir Ağları ile kurulan model daha doğru tahmin değerleri vermiştir. ARIMA Tekniğine göre, Türkiye'de ölüm sayıları ve iş göremezlik sayılarının 2016-2020 dönemi için azalacağı tahmin edilmiştir. YSA göre, Türkiye'de ölüm sayıları ve iş göremezlik sayılarının 2016-2020 dönemi için artacağı ön görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İş Kazası, Ölüm, İş göremezlik, ARIMA, Türkiye

ABSTRACT

As a result death and permanent absence from work are recorded according to years. Data recorded for several years are modeled by time series analysis. In this study, the result of the number of deaths and the number of permanent absence from work in Turkey, using Box-Jenkins (ARIMA) Technique modeled. The same data are also modeled with Artificial Neural Networks. The models obtained as a result of both methods have been compared in terms of estimation. According to estimates for 2016-2020, the model established with Artificial Neural Networks gave more accurate estimates. According to the ARIMA technique, the number of deaths and number of permanent absence from work in Turkey is expected to decrease for the 2016-2020 period. According to ANN, the number of deaths and number of permanent absence from work in Turkey will increase foreseen for the 2016-2020 period.

Keywords: Work Accident, Death, Absence from work, ARIMA, Turkey

I. GİRİŞ

İş kazaları ve meslek hastalıkları, çalışma hayatının en önemli sorun alanları arasındadır. Küreselleşmenin bir sonucu olarak, sanayileşmenin artması beraberinde ciddi sorunlar meydana getirmektedir. Özellikle üretim ağırlıklı sektörlerin gelişmiş ülkelerden gelişmekte olan ülkelere kayması beraberinde çok fazla sorunu da bu ülkelere kaydırmıştır. Gelişmekte olan ülkelerdeki iş kazası sayısı, buna bağlı olarak ortaya çıkan meslek hastalıkları sayısı ve ölüm oranı hızla artmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde kırsal kesimden kente hızlı göç, eğitim seviyesi düşük işçilerin istihdamı, uygun işlere uygun işçilerin uyarlanamaması, uluslararası firmaların ağı işletmelerinde olumsuz koşullarda çalışma, yetersiz iş denetimi, iş kazaları ve meslek hastalıkları sayısının artmasına neden olmaktadır [1]. İş sağlığı, çalışanların beden, ruh ve sosyal iyileştirmelerini sağlamak ve sürdürmek, çalışanların çalışma koşullarından kaynaklanabilecek riskli durumlardan korunmasını ve sağlıklarının bozulmasını önlemek, çalışanların kendilerine uygun işlere yerleştirmesini ve iş ortamına uyumunu sağlamak olarak tanımlanmıştır [2]. İş güvenliği, çalışanları korumak, rahat ve güvenli bir ortamda çalışmalarını sağlamak, işletme güvenliğini sağlayarak tehlikeli durumları ortadan kaldırmak olarak tanımlanabilir [3]. İş Sağlığı ve Güvenliği ise, çalışanların, işyerlerinde işin yürütülmesi nedeniyle oluşacak tehlikelerden korunması, işyeri çevresindeki çalışma koşullarının iyileştirilmesi ve çalışanların huzur içinde çalışmalarını sağlamak amacıyla yapılan sistemli çalışmalardır [4]. İş kazası, belirli bir zarara ya da yaralanmaya neden olan, beklenmeyen bir zamanda meydana gelen ve önceden planlanmamış bir olay olarak tanımlanmıştır [5]. Dünya Sağlık Örgütü'nün tanımına göre iş kazası, önceden planlanmamış, çoğu kez kişisel yaralanmalara ve üretimin belli bir süre durmasına yol açan bir olaydır [6].

Türkiye'de iş kazası, 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun 3. maddesinde tanımlı olduğu gibidir. Bu tanım, işyerinde veya işin yürütümü nedeniyle meydana gelen, ölüme sebebiyet veren veya vücut bütünlüğünü ruhen ya da bedenen engelli hale getiren olay biçiminde tanımlanmıştır [7]. İş kazası kavramının ülkemizdeki hukuki yapısının değerlendirilmesinde 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu esas alınmıştır. Bu yasaya göre iş kazası, sigortalının işyerinde bulunduğu sırada; işveren tarafından yürütülmekte olan iş nedeniyle veya görevi nedeniyle, sigortalı kendi adına ve hesabına bağımsız çalışıyorsa yürütmekte olduğu iş veya çalışma konusu nedeniyle işyeri dışında; bir işverene bağlı olarak çalışan sigortalının, görevli olarak işyeri dışında başka bir yere gönderilmesi nedeniyle asıl işini yapmaksızın geçen zamanlarda; emziren kadın sigortalının, çocuğuna süt vermek için ayrılan zamanlarda; sigortalıların, işverence sağlanan bir taşıtla işin yapıldığı yere gidiş geliş sırasında meydana gelen ve sigortalıyı hemen veya sonradan bedenen ya da ruhen özre uğratan olay olarak tanımlanmıştır [8].

Dünya genelinde iş kazaları ve meslek hastalıklarının sayısında artış gözlenmektedir. Son yıllarda, ucuz iş gücü nedeniyle gelişmekte olan ülkelere yapılan teknoloji ve sanayi yatırımlarının arttığı görülmektedir. Buna bağlı olarak bu ülkelerdeki çalışma standartlarının kötü olması, meydana gelen iş kazası sayısını da arttırmaktadır. Türkiye'de son yılların istatistiksel verileri incelendiğinde, iş kazası sonucu ölüm, meslek hastalığı ve sakat kalma vakalarında artış olduğu görülmektedir [9]. Türkiye'de 2016 yılında Sosyal Güvenlik Kurumu verilerine göre, 286.068 adet iş kazası meydana gelmiştir. Bir yıl 300 iş günü olarak kabul edildiğinde, Türkiye de her gün yaklaşık 210 iş kazası olmakta, 7 işçi sürekli iş göremez, çalışamaz hale gelmekte ve yine her gün 5 işçi hayatını kaybetmektedir. Bu değerler, Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) istatistiklerinden

elde edilen resmi sonuçlardır. Yani sadece SGK'ya bildirilen, resmi kayıt altına alınan kazalar için hesaplanan değerlerdir. Meydana gelen her kazanın resmi kayıt altına alınmadığı ve sigortasız olarak çalıştırılan işçilerin ise hiç hesaba katılmadığı düşünüldüğünde olayın boyutları daha da büyüyecektir.

İş kazaları sonucunda iki durum ortaya çıkmaktadır. Bu durumlar, iş kazası sonucu ölüm ve iş kazası sonucu sürekli iş göremezlik halleridir. İş kazası sonucu ölüm, çalışanın kazayı izleyen günden veya kazadan bir gün sonra başlamak üzere, sonraki bir yıl içinde ölümüyle sonuçlanan iş kazası olarak tanımlanır. Aslında, ölümcül kazaların çoğunluğunda ölüm kazanın meydana geldiği zaman veya kazadan birkaç gün veya birkaç hafta sonra oluştuğu görülmektedir. Sürekli iş göremezlik ise, iş kazası sonucu oluşan hastalık ve özürler nedeniyle kurumca yetkilendirilen sağlık hizmeti sunucularının sağlık kurulları tarafından verilen raporlara istinaden kurum sağlık kurulunca meslekte kazanma gücünün en az % 10 oranında azalmış olma durumunu ifade etmektedir [10].

İnce v.d. (2000), ülkemizde iş gücü kaybının ele alındığı yasaların günün koşullarına uygun olarak ve cinsiyet farklılıkları göz önüne alınarak yeniden düzenlenmesi gerektiğini ve tüm çalışanlar için standartlaştırılmasının önemini vurgulamışlardır [11]. Yılmaz (2009b), ülkemizde çalışan sayısının artmasıyla iş kazalarının artış gösterdiğini belirtmiştir. Küreselleşmenin olumsuz etkilerini azaltmak için ülkemizde katılımcı bir İSG yönetim modelinin benimsenmesi gerekliliği üzerinde durmuştur [12]. Bıyıkçı (2010), diğer ülke örnekleri ile birlikte iş güvenliği uzmanı kavramının mevzuatımıza girişi, iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanmasındaki rolü ve önemini incelemiştir. Ayrıca sağlık ve güvenlik hizmetlerinin yerine getirilmesi sırasında iş güvenliği uzmanının yaşadığı sorunlar için çözüm önerilerinde bulunmuştur [13]. Kılış ve Demir (2012), İSG faa-

liyetleri içinde yer alan işverenin eğitim verme yükümlülüğünü çeşitli ülkeler ile Türkiye arasındaki düzenlenme biçimini incelemeye çalışmışlardır [14]. Ceylan (2012), iş kazalarının önlenmesinde kritik bir öneme sahip olan, Türkiye'deki İSG eğitimini değerlendirmiştir [15].

İş kazaları adli vakalar olduğundan, iş kazası sonucu oluşan meslek hastalıklarının kayıtlarının ayrıntılı bir şekilde tutulması da oldukça önemlidir. İlman (2015), Türkiye'de meslek hastalıklarının tarihi gelişimini, meslek hastalıklarına sebep olan etkenleri ve ilgili mevzuata göre tarafların yükümlülüklerindeki değişimleri ele almıştır [16]. Ceylan (2016b), Türkiye'de ve dünya'da meydana gelen çoklu ölümlü iş kazalarını incelemiştir [17]. Tawiah ve Mensah (2016), madencilik sektöründeki yöneticilerin, çalışanların sağlık ve güvenliklerini korumaya yönelik yatırım yapmaları gerektiğini belirtmişlerdir [18]. Çetin ve Gögül (2015), rekabete dayalı sürdürülebilir bir büyüme için piyasa ekonomisinin hukuksal zemininin bir an önce yaratılmasının zorunlu olduğunu belirtmişlerdir [19]. Ceylan (2016a), Türkiye'de iş kazalarından kaynaklanan ölüm ve iş göremezlik vakalarını regresyon analizi kullanarak tahmin etmişlerdir [20]. Alper (2017), sosyal güvenlik reformunun kapsamı ilgili hedeflerini değerlendirmiştir [21].

Literatüre bakıldığında son zamanlarda iş kazalarının ve buna bağlı olarak meydana gelen ölüm ve sürekli iş göremezlik sayılarının modellenmesine ilişkin çalışmaların arttığı görülmektedir. Bu değişkenlerin modellenmesi ve tahmini, sadece maddi kayıplar için değil manevi kayıpların önlenmesi için alınacak tedbirler içinde gereklidir. Ceylan ve Avan (2013), yapay sinir ağları yardımıyla iş kazası, ölüm ve sürekli iş göremezlik sayılarını 3 farklı senaryo ile öngörmüşlerdir [22]. Erdugan ve Türkan (2017), çalışmalarında 2015 yılında ülkemizde kayıt altına alınmış iş kazalarını log-lineer analiz yöntemini kullanarak istatistiksel olarak anlamlı bir model önermişlerdir [23].

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, zamana bağlı olarak kaydedilen iş kazası, ölüm ve işgörmezlik sayılarının, gözlemler arasında bağımsızlık gerektiren yöntemler yardımıyla analiz edildiği görülmektedir. Veriler arasında otokorelasyon bulunması durumunda regresyon analizi etkin sonuçlar vermemektedir. Dolayısıyla buna bağlı olarak yapılacak tahminler gerçeği yansıtmayacaktır. Bir zaman serisi, belirli bir değişkenin zamana göre aldığı değerlerin sıralanması ile oluşur. Zaman serisi analizi ise, geçmiş gözlem değerleri yardımıyla ilgili değişkenin gelecek değerlerinin öngörülmesi ile ilgilidir. Öngörü için çeşitli modeller geliştirilerek, serinin trendi ve özellikleri belirlenmeye çalışılır. Doğrusal zaman serilerinde Box-Jenkins tekniği oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Ayrıca 1980'li yılların sonundan itibaren zaman serilerine ilişkin öngörüler için Yapay Sinir Ağları yöntemi de yaygın olarak kullanılmaktadır [24]. Doğru bir öngörü sonucunda alınacak kararlarda o denli doğru ve başarılı olacaktır. İnsan yaşamını konu alan iş kazalarının sayısının modellenmesi ve öngörülmesinde de doğru yöntemin seçimi, elde edilecek öngörülerin doğruluğunu arttıracaktır.

Bu çalışmada zaman serisi öngörü tekniklerinden biri olan Box-Jenkins (ARIMA) tekniği ve yapay sinir ağları kullanılarak, Türkiye'deki iş kazaları sonucu ölüm sayıları ve sürekli iş göremezlik süreleri modellenmeye çalışılmıştır.

II. YÖNTEM

A. Zaman Serileri Analizi

Zaman serileri; kesikli, doğrusal ve stokastik süreç içeriyorsa Box-Jenkins modeli olarak adlandırılır. Otoregresif (AR-AutoRegressive) modeller Yule tarafından düşünülmüştür. AR(p) modeli aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \epsilon_t \quad \epsilon_t \sim N(0, \sigma^2) \quad (1)$$

y_t ; gelecekteki değerleri öngörülme çalışılan bağımlı değişkeni ifade etmektedir. ϕ_1, \dots, ϕ_p ; denkleminin sağ tarafında bağımlı değişken y_t 'nin p. dereceye kadar olan gecikmeli değerleri için parametre kestirim değerlerini ifade eder. ϵ_t ; normal dağılıma sahip hata terimini ifade eder.

Diğer bir model, hareketli ortalama (MA-Moving Average) modeli ilk defa Slutsky tarafından ortaya atılmıştır. MA(q) modeli aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$y_t = \epsilon_t + \theta \epsilon_{t-1} + \dots + \theta_q \epsilon_{t-q} \quad \epsilon_t \sim N(0, \sigma^2) \quad (2)$$

y_t ; gelecekteki değerleri öngörülme çalışılan bağımlı değişkeni ifade etmektedir. θ ; denkleminin sağ tarafında bağımlı değişken y_t 'nin q. dereceye kadar olan gecikmeli değerleri için parametre kestirim değerlerini ifade eder. ϵ_t ; normal dağılıma sahip hata terimini ifade eder.

AR ve MA modellerinin karışımı olan Otoregresif Hareketli Ortalama (ARMA AutoRegressive Moving Average) modelleri ilk defa Wold tarafından geliştirilmiştir. ARMA (p,q) modeli ise,

$$y_t = \alpha + \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \epsilon_t - \theta_1 \epsilon_{t-1} - \theta_2 \epsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \epsilon_{t-q} \quad (3)$$

olarak ifade edilmektedir.

AR, MA, ARMA modelleri en genel doğrusal, durağan Box-Jenkins modelleridir [25].

Gelecekte alacağı değerlerin tahmin edilmeye çalışıldığı seri, durağan değilse seriyi durağan hale getirmek için serinin önce logaritması sonra da uygun dereceden farkı alınır. ARMA (p,q) modelinde kullanılan serinin durağan hale getirilmesi için d kez farkı alınarak model, (p,d,q) dereceden Otoregresif Bütünleşik Hareketli Ortalama (ARIMA) biçiminde ifade edilir. Bu model Box-Jenkins modeli olarak da adlandırılır. Box-Jenkins modellerinde amaç; zaman serisine en iyi uyan, en az parametre içeren doğrusal modeli belirlemektir [26]. ARIMA modelleri için en önemli aşama p, d ve q değerlerinin bulunması aşamasıdır. ARIMA mo-

delinin seçilmesi için bazı stratejiler ortaya konulmuştur ve bu amaçla dört basamaktan oluşan bir deneme - yanılma süreci verilmiştir. İlk aşamada, zaman serisi orjinal gözlemlerinin incelenmesi aşamasıdır. Genel olarak orjinal zaman serisi verileri durağan değildir. İkinci aşamada, farkı alınan serinin AR(p), MA(q) veya ARMA(p,q) sürecinden hangisine uyduğunun belirlenmesi için zaman serinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonundan yararlanılmaktadır. Kısaca, otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon grafiklerinin incelenmesi aşaması olarak da bilinmektedir. Sonraki aşamada, BIC (Bayesian Bilgi Kriteri) değerleri belirlenir.

$$BIC = N \log \hat{\sigma}_{MV}^2 + k \log N \quad (4)$$

Burada, N ; örneklem hacmini, k ; parametre sayısı ve $\hat{\sigma}_{MV}^2$; varyansın en çok olasılırlık kestiricisini göstermektedir.

Denenen geçici modellerde, BIC değerlerinin olabildiğince küçük olması istenir. Geçici model belirlendikten sonra, parametrelerin anlamlılığı ve modelin anlamlılığı test edilir. Modelin genel anlamlılığı, Ljung-Box Q test istatistiği ile sınanır. Son aşamada ise, anlamlı olduğuna karar verilen model yardımıyla ileriye yönelik tahmin yapılır [27,28].

B. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi mevcut duruma uygulayarak genelleme yapmak, bağımsız değişkenlerden yola çıkarak ilgili problemleri çözmeye çalışan bir sistem olarak tanımlanır. Bir sinir ağının davranışı, bağlantıda olduğu hatların ağırlık değerleri ile ölçülmektedir. Bu ağırlıklar sayesinde ağ öğrenmeye başlar ve sonrasında genelleme yapar [29]. Daha ayrıntılı bir ifadeyle, bağımsız değişkenler belli ağırlıklarla

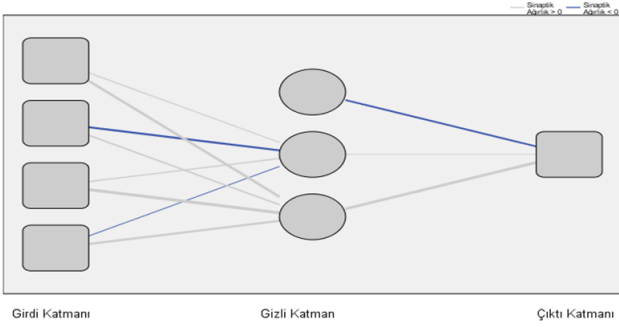
çarpılır ve -1 ila +1 arasında değişen eşik değeri ile toplanarak bağımlı değişken oluşturulur. Aktivasyon fonksiyonunda bağımlı değişken üzerinde işlem yapılarak hücre çıktısı istenilen aralıklara getirilmeye çalışılır. Hesap edilen bu bağımlı değişken değeri, gözlenen bağımlı değişken değeri ile karşılaştırılarak bir hata oranı bulunur. Bu hata oranına göre yapay sinir ağı hücresi, bağımsız değişkenler için yeni ağırlık oranlarını günceller. Böylece daha doğru sonuçlar alabilmemiz için bir döngü sağlanmaktadır. Ağın öğrenme olayı da bu ağırlıkların güncellenmesi ile meydana gelir [22].

Türkiye’de meydana gelen iş kazaları sonucu ölüm sayıları ve iş kazası sonucu iş göremezlik tahmin değerleri için Şekil 1’deki Yapay Sinir Ağları modelleri kullanılarak bulunmuştur. İlk katman girdi değişkenlerinden oluşan giriş veya girdi katmanıdır. Son katman çıktılarının yer aldığı çıktı katmanıdır. Arada bulunan gizli katman ise dış ortam ile bağlantısı olmayan nöronlardan oluşur ve bu nöronlar girdi katmanındaki sinyalleri çıktı katmanına gönderirler. Yapay Sinir Ağlarının işleyiş aşamaları daha ayrıntılı biçimde aşağıdaki gibidir: Girdiler, veri üzerinde hiçbir matematiksel işlem yapmadan sadece bir iletim görevi yapmaktadırlar. Girdiler, yapay sinir ağlarının dış dünya ile ilişki halinde olan iki elemanından biridir. Yapay sinir ağına girilen veriler, ağırlıklar aracılığı ile hücrelere girerek bulunduğu girdiyi etkiler. Ağırlıklar bir nevi matematiksel katsayı olarak görev yaparlar. Bir hücreye gelen net girdileri hesaplayan fonksiyon sayesinde net girdiler toplama fonksiyonu aracılığı ile bulunur. Hücreye gelen net girdiyi işleyerek, ilgili girdiyeye karşılık üreteceği çıktıyı hesaplama işlemi aktivasyon fonksiyonu sayesinde hesaplanır. Aktivasyon fonksiyonu tarafından çıktı belirlenir. Yapay Sinir Ağlarındaki işlemci elemanların ağırlık değerlerinin belirlenmesi ile ağ eğitilmektedir. Başlangıçta bu ağırlık değerleri rassal olarak atanırken, ağa eklenen örnekler ile ağırlık değerleri

değiştirilir. Ağ doğru değere ulaştığı zaman, genelleme olanağı doğmaktadır [30].

Çalışmada, başlangıç öğrenme oranı 0,4; epochsdaki indirgenmiş öğrenme oranı 10, dengeleme aralığı 0,5 ve iterasyon sayısı 1000 olarak belirlenmiştir.

Şekil 1: Türkiye’de İş Kazası Sonucu Ölüm Sayısı ve İş Göremezlik İçin YSA Modeli



Box-Jenkins ve Yapay Sinir Ağları ile bulunan modellerin karşılaştırılmasında, RMSE (Root Mean Square Error-Ortalama Hata Kareleri Karekökü) kriteri kullanılmıştır. Literatürde RMSE kriterinden başka, MSE (Mean Square Error-Hata Kareler Ortalaması), MAE (Mean Absolute Error- Ortalama Mutlak Hata) ve SSE (Sum of Squared Error- Hata Kareler Toplamı) gibi bir çok kriter kullanılmıştır. Bu çalışmada, RMSE kriteri kullanılmasının sebebi, literatürde sıklıkla bu kriterin kullanılmış olmasıdır. RMSE aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_i^2} \quad (5)$$

Burada, N ; örneklem hacmini ve e_i hata terimlerini göstermektedir [24].

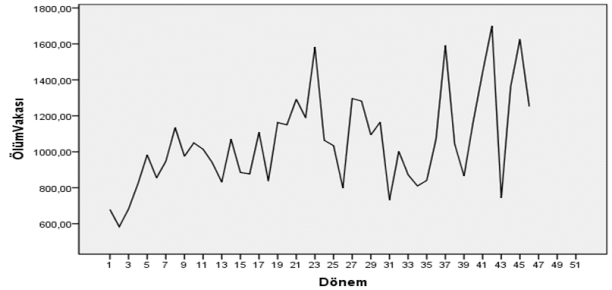
III. BULGULAR

1970-2015 yılları arasında Türkiye’de meydana gelen iş kazaları sonucu ölüm sayıları, TÜİK ve SGK web sayfala-

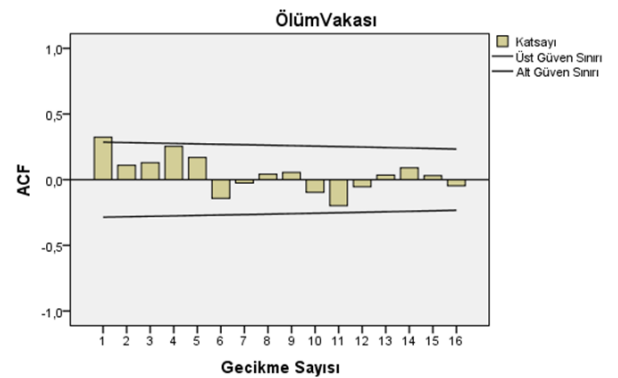
rından alınmıştır. İstatistik Analizler SPSS 18.0 kullanılarak yapılmıştır. Box-Jenkins tekniğinde uygun modelin belirlenmesinde ilk aşama olan geçici modelin saptanması için iş kazası sonucu ölüm sayısı zaman serisinin grafiği ile otokorelasyon fonksiyonu grafiği ve kısmi otokorelasyon fonksiyonu grafikleri Şekil 2-4’te görüldüğü gibidir.

Türkiye’de İş Kazası Sonucu Ölüm Sayıları zaman serinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon grafikleri incelendiğinde, ilk birkaç otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon değerlerinin sınırlar dışında yer aldığı ve diğer gecikme değerlerinin de sınırlar içinde yer aldığı görülmektedir. Serinin durağan olduğuna karar verilmiştir. Şekil 3 ve Şekil 4 incelendiğinde, ilk gecikme değerlerinin anlamsız olduğu görülmüştür.

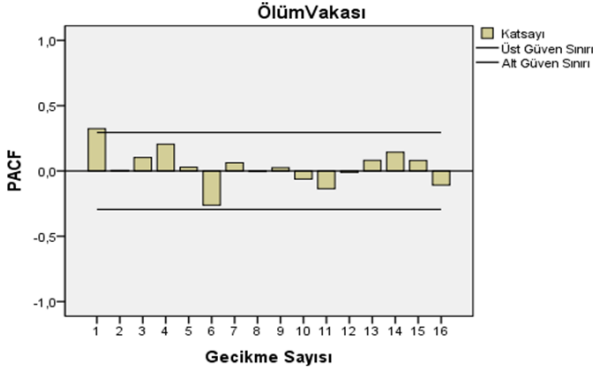
Şekil 2: Türkiye’de İş Kazası Sonucu Ölüm Sayısı Grafiği



Şekil 3: Türkiye’de İş Kazası Sonucu Ölüm Sayısı ACF Grafiği



Şekil 4: Türkiye’de İş Kazası Sonucu Ölüm Sayısı PACF Grafiği



Daha sonraki aşamada ise ilgili zaman serisi için çeşitli ARIMA modelleri denenmiştir. Sonuçlar Tablo 1’de verildiği gibidir. Tablo 1 ve Tablo 2 incelendiğinde ARIMA (1,0,0) modelinin BIC kriterine göre en düşük değeri alan model olduğu görülmektedir. Ayrıca modelin parametre tahminlerinin anlamlılığını test etmek için hesaplanan olasılık değeri (p), $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyinden küçük olduğundan parametre tahminleri de anlamlıdır. Bu nedenle ARIMA(1,0,0) modelinin geçici uygun model olduğu düşünülmüş ve işlemlere devam edilmiştir.

Tablo 1: Türkiye’de İş Kazası Sonucu Ölüm Sayıları İçin Farklı ARIMA Modelleri ve BIC Değerleri

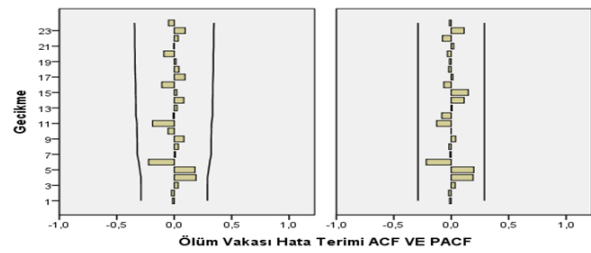
ARIMA Modelleri	BIC Değerleri
ARIMA(1,0,0)	11.208
ARIMA(1,0,1)	11.296
ARIMA(1,1,1)	11.213
ARIMA(0,0,1)	11.220
ARIMA(1,1,0)	11.431
ARIMA(0,1,1)	11.129

ARIMA (1,0,0) modeli için hata terimleri otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonu grafikleri Şekil 5’de çizilmiştir. Grafikler incelendiğinde, hata terimlerinin sınırlar içinde kaldığı görülmektedir.

Tablo 2: Türkiye’de İş Kazası Sonucu Ölüm Sayıları İçin ARIMA (1,0,0) Parametre Kestirim Değerleri

Parametre	Kestirim	SE	t	p
Sabit	1052.590	54.776	19.216	0.000
AR	0.336	0.143	2.358	0.023

Şekil 5: Türkiye’de İş Kazası Sonucu Ölüm Sayıları İçin ARIMA(1,0,0) Hata Terimleri ACF ve PACF



Geçici modelin uygunluğu, Ljung-Box testi ile test edilir. Ljung-Box testi sonucu Tablo 3’te gösterilmiştir.

Tablo 3: Türkiye’de İş Kazaları Sonucu Ölüm Sayıları İçin ARIMA(1,0,0) LJUNG-BOX İstatistikleri

İstatistik	df	p
11.646	17	0.821

Geçici modelin uygun model olduğuna Ljung-Box istatistiği ile karar verilir ($p > 0,05$).

ARIMA (1,0,0) modeli kullanılarak, yıllar itibariyle Türkiye’deki iş kazası sonucu ölüm sayıları zaman serisinin değerlerine ilişkin 2016-2020 dönemi için öngörüler yapılmıştır. İleriye yönelik tahmin değerleri Tablo 4’de verilmiştir. Bu dönem için öngörü yapılmasının nedeni ARIMA modellerinin kısa dönem öngörüsünde başarılı sonuçlar vermesidir.

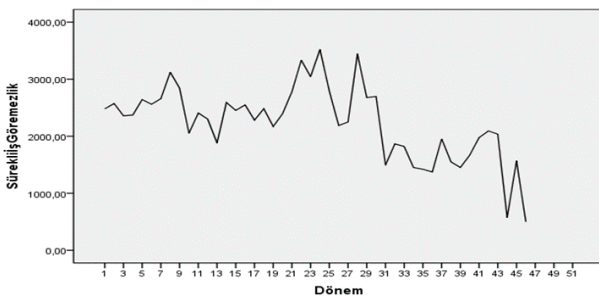
1970-2015 yılları arasında Türkiye’de meydana gelen iş kazaları sonucu sürekli iş göremezlik sayıları modellenmiştir. Box-Jenkins tekniğinde uygun modelin belirlenmesin-

Tablo 4: Türkiye’de İş Kazaları Sonucu Ölüm Sayıları ARIMA ile İleriye Yönelik Tahmin Değerleri

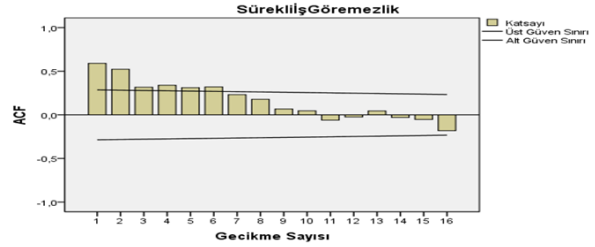
Dönem	Ölüm Sayısı Tahmin Değeri	Ölüm Sayısı Üst Limit	Ölüm Sayısı Alt Limit
2016	1120	1622	618
2017	1075	1605	545
2018	1060	1593	527
2019	1055	1588	521
2020	1053	1585	519

de ilk aşama olan geçici modelin saptanması için iş kazası sonucu sürekli iş göremezlik zaman serisinin grafiği ile otokorelasyon fonksiyonu grafiği ve kısmi otokorelasyon fonksiyonu grafikleri Şekil 6-8’de görüldüğü gibidir. Türkiye’de İş Kazası Sonucu İş Göremezlik sayıları zaman serinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon grafikleri incelendiğinde, ilk birkaç otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon değerlerinin sınırlar dışında yer aldığı görülmüştür. Serinin durağan olmadığına karar verilmiştir. Şekil 7 ve Şekil 8 incelendiğinde, ilk 6 gecikme değerine ait otokorelasyon değerlerinin anlamsız olduğu ancak bu değerlerin azalması nedeni ile mevsimsellik olmadığına karar verilmiştir. Ek olarak ilk gecikme için kısmi otokorelasyon değerinin anlamsız olması da mevsimsellik olmadığını desteklemektedir. Daha sonraki aşamada ise ilgili zaman serisi için çeşitli ARIMA modelleri denenmiştir. Sonuçlar Tablo 5’de verildiği gibidir.

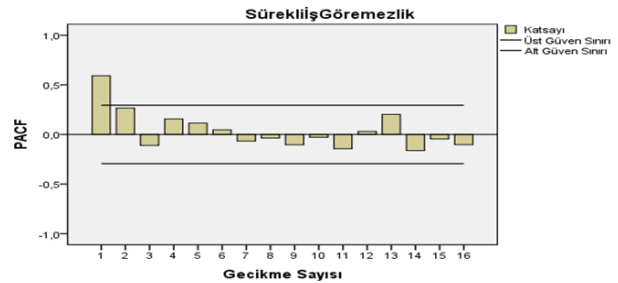
Şekil 6: Türkiye’de İş Kazası Sonucu Sürekli İş Göremezlik Sayıları Grafiği



Şekil 7: Türkiye’de İş Kazası Sonucu Sürekli İş Göremezlik Sayıları ACF Grafiği



Şekil 8: Türkiye’de İş Kazası Sonucu Sürekli İş Göremezlik Sayıları PACF Grafiği



Tablo 5 ve Tablo 6 incelendiğinde ARIMA (1,1,0) modelinin BIC kriterine göre en düşük değeri alan model olduğu görülmektedir. Ayrıca modelin parametre tahminlerinin anlamlılığını test etmek için hesaplanan olasılık değeri (p), $\alpha = 0,05$ anlamlılık düzeyinden küçük olduğundan parametre tahminleri de anlamlıdır. Bu nedenle ARIMA(1,1,0) modelinin geçici uygun model olduğu düşünülür.

Tablo 5: Türkiye’de İş Kazası Sonucu İş Göremezlik Sayısı İçin Farklı ARIMA Modelleri ve BIC değerleri

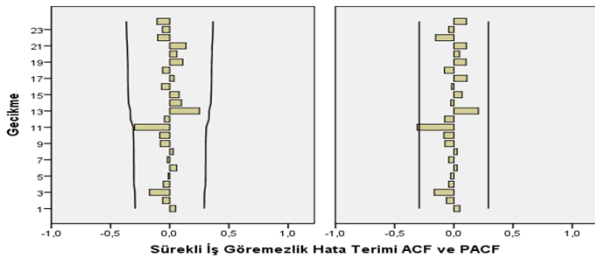
ARIMA Modelleri	BIC Değerleri
ARIMA(1,0,0)	12.611
ARIMA(1,0,1)	12.640
ARIMA(1,1,1)	12.636
ARIMA(0,0,1)	12.877
ARIMA(1,1,0)	12.575
ARIMA(0,1,1)	12.540
ARIMA(0,1,2)	12.643
ARIMA(1,1,2)	12.743

Tablo 6: Türkiye’de İş Kazası Sonucu İş Göremezlik İçin ARIMA (1,1,0) Parametre Kestirim Değerleri

Parametre	Kestirim	SE	t	p
Sabit	-38.240	22.721	-1.683	0.049
AR	-0.405	0.146	-2.764	0.008
Fark	1			

lerek işlemlere devam edilmiştir. ARIMA (1,1,0) modeli için hata terimleri otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonu grafikleri Şekil 9’da çizilmiştir. Grafikler incelendiğinde, hata terimlerinin sınırlar içinde kaldığı görülmektedir.

Şekil 9: Türkiye’de İş Kazası Sonucu İş Göremezlik Süre İçin ARIMA(1,1,0) Hata Terimleri ACF ve PACF



Geçici modelin uygunluğu, Ljung-Box testi ile test edilir. Test sonucu Tablo 7’de verilmiştir. Geçici modelin uygun model olduğuna Ljung-Box istatistiği ile karar verilir ($p > 0.05$).

Tablo 7: Türkiye’de İş Kazaları Sonucu İş Göremezlik Sayı İçin ARIMA(1,1,0) LJUNG-BOX İstatistikleri

İstatistik	df	p
16.245	17	0.507

ARIMA (1,1,0) modeli kullanılarak, yıllar itibariyle Türkiye’deki iş kazası sonucu iş göremezlik sayıları zaman serisinin değerlerine ilişkin 2016-2020 dönemi için öngörüler yapılmıştır. Tahmin değerleri Tablo 8’de görüldüğü gibidir. Bu dönem için öngörü yapılmasının nedeni ARI-

MA modellerinin kısa dönem öngörüsünde başarılı sonuçlar vermesidir.

Tablo 8: Türkiye’de İş Kazaları Sonucu İş Göremezlik Sayı İçin ARIMA ile İleriye Yönelik Tahmin Değerleri

Dönem	İş Göremezlik Tahmin Değeri	İş Göremezlik Üst Limit	İş Göremezlik Alt Limit
2016	880	1876	117
2017	672	1831	487
2018	702	2087	582
2019	636	2184	595
2020	609	2315	576

Benzer şekilde, 1970-2015 yılları arasında Türkiye’deki çalışan sayıları, iş yeri sayıları ve iş kazaları sayıları Box-Jenkins ARIMA modelleri ile modellenmiş ve 2016-2020 dönemi için öngörüler yapılmıştır. Çalışan Sayısı için ARIMA (1,1,1), İş Yeri Sayısı için ARIMA (1,1,0) ve İş Kazası Sayısı için ARIMA (0,2,1) modelleri ile bulunan tahmin değerleri Tablo 9’da gösterilmiştir. Analiz sonucunda belirlenen ARIMA modelleri doğrultusunda 2016-2020 yılları için ileriye yönelik tahmin yapılmıştır. İki zaman serisi için tahmin değerleri Tablo 9’da gösterilmiştir.

Tablo 9: Türkiye’de İş Kazaları Sonucu Ölüm Sayıları ve İş Göremezlik İleriye Yönelik ARIMA Tahmin Değerleri

Dönem	Ölüm Sayısı Tahmin Değeri	İş Göremezlik Tahmin Değeri
2016	1120	880
2017	1075	672
2018	1060	702
2019	1055	636
2020	1053	609

2016 dönemi için Türkiye’de iş kazaları sonucu ölüm sayısı 1120 olarak tahmin edilmiştir. Yine aynı dönem için iş göremezlik sayısı tahmin değeri 880 olarak bulunmuştur. Analiz sonuçlarına göre, Türkiye’de ölüm sayıları ve iş göremezlik sayılarının 2016-2020 dönemi için azalacağı ön-

görülmüştür.

Tablo 10: Türkiye'deki Çalışan Sayıları, İş Yeri Sayıları ve İş Kazası İçin İleriye Yönelik Tahmin Değerleri

Dönem	Çalışan Sayısı Sayısı Tahmin Değeri	İş Yeri Sayısı Sayısı Tahmin Değeri	İş Kazası Sayısı Sayısı Tahmin Değeri
2016	14675571	1801984	278868
2017	15322804	1865404	319959
2018	15943942	1930322	365056
2019	16541102	1996611	414396
2020	17116231	2064174	468223

Sonraki aşamada aynı veriler kullanılarak YSA yapılmıştır. Bu aşamada, Tablo 10 'da bulunan ilgili zaman serileri değerleri bağımsız değişken olarak kullanılıp YSA ile iş kazaları sonucu ölüm sayıları ve iş göremezlik sayıları tahmin edilmiştir. İlgili tahmin değerleri Tablo 11'da verilmiştir.

Tablo 11: Türkiye'de İş Kazaları Sonucu Ölüm Sayıları ve İş Göremezlik İleriye Yönelik YSA Tahmin Değerleri

Dönem	Ölüm Sayısı Tahmin Değeri	İş Göremezlik Tahmin Değeri
2016	1360	1704
2017	1373	2051
2018	1384	2082
2019	1393	2015
2020	1399	1944

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 1970-2015 dönemi arasında Türkiye'de meydana gelen iş kazaları sonucu ölüm ve iş göremezlik için zaman serisi verileri ARIMA tekniği ile analiz edilmiştir. Analiz sonucunda belirlenen ARIMA modelleri doğrultusunda 2016-2020 yılları için ileriye yönelik tahmin yapılmıştır.

2016 dönemi için Türkiye'de iş kazaları sonucu ölüm

sayısı 1120 olarak tahmin edilmiştir. Yine aynı dönem için iş göremezlik sayısı tahmin değeri 880 olarak bulunmuştur. Analiz sonuçlarına göre, Türkiye'de ölüm sayıları ve iş göremezlik sayılarının 2016-2020 dönemi için azalacağı ön görülmüştür.

1970-2015 dönemi arasında Türkiye'de meydana gelen iş kazaları sonucu ölüm ve iş göremezlik için zaman serisi verileri, YSA kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda belirlenen YSA doğrultusunda 2016-2020 yılları için ileriye yönelik tahmin yapılmıştır. 2016 dönemi için Türkiye'de iş kazaları sonucu ölüm sayısı YSA modeli ile 1360 olarak tahmin edilmiştir. Yine aynı dönem için iş göremezlik sayısı tahmin değeri 1704 olarak bulunmuştur. Analiz sonuçlarına göre, Türkiye'de ölüm sayıları ve iş göremezlik sayılarının 2016-2020 dönemi için artacağı ön görülmüştür.

Türkiye'de İş Kazaları sonucu ölüm sayıları ve iş göremezlik sayıları için RMSE değerleri Tablo 12'de gösterilmiştir. Ölüm sayısı için hesaplanan RMSE değerleri karşılaştırıldığında, YSA modeli için RMSE değeri en küçük bulunmuştur. Benzer şekilde, iş göremezlik RMSE değerleri karşılaştırıldığında en uygun modelin YSA modeli olduğu söylenir. Burada dikkat çeken bir diğer husus da, ARIMA modelleri için bulunan RMSE değerleri, Yapay Sinir Ağları ile oluşturulan modellerden daha büyük bulunmuştur. ARIMA modelleri yerine Yapay Sinir Ağları ile tahmin yapmak daha doğru sonuçlar verecektir.

Tablo 12: Türkiye'de İş Kazaları Sonucu Ölüm Sayıları ve İş Göremezlik İleriye Yönelik ARIMA ve YSA Tahmin Değerleri için RMSE

RMSE	ARIMA	YSA
Ölüm Sayısı	249.883	207.428
İş Göremezlik	480.659	392.794

KAYNAKLAR

- [1] Karadeniz, O. (2012). Dünya'da ve Türkiye'de İş Kazaları ve Meslek Hastalıkları ve Sosyal Koruma Yetersizliği. *Çalışma ve Toplum*, Cilt:3.
- [2] Yılmaz, F. (2009). *Avrupa Birliği ve Türkiye'de İş Sağlığı ve Güvenliği: Türkiye'de İş Sağlığı ve Güvenliği Kurullarının Etkinlik Düzeyinin Ölçülmesi*. İstanbul Üniversitesi SBE, Basılmamış Doktora Tezi, İstanbul.
- [3] Ünsar, S. (2003). *Türkiye'de İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Uygulamalarının Mevcut Durumu ve Konuyla İlgili Yapılan Bir Araştırma*. ş.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Basılmamış Doktora Tezi, İstanbul.
- [4] Topak, O. (2004). İşçiden İş Kavramına Geçiş ve Değişikliğin Gizli İdeolojisi. *Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi*, Türk Tabipler Birliği Yayını.
- [5] Jorgensen, K. (1998), Accidents and Safety Management Chapter 56: Accident Prevention, Concepts of Accident Analysis. *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety*, 4th Ed., Geneva, ILO Publication, Vol: 2, Part VIII.
- [6] World Health Organization, (2007). *Declaration on Occupational Health for All*.
- [7] Erginel, N. & Toptancı, Ş. (2017). İş Kazası Verilerinin Olasılık Dağılımı İle Modellenmesi. *Journal of Engineering Sciences and Design*.
- [8] Karaman, E.A., Çivici, T. & Kale, S. (2011). *İş Sağlığı ve İş Güvenliğinin İnşaat Sektöründeki Yeri ve Önemi*. 3. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, Çanakkale.
- [9] Çavuş, A. & Taçgın, E. (2015). Türkiye'de İnşaat Sektöründeki İş Kazalarının Sınıflandırılarak Nedenlerinin İncelenmesi. *APJES*, Vol:4, Issue:2.
- [10] Sosyal Güvenlik Kurumu, (2016). *İş Kazası ve Meslek Hastalıkları İstatistikleri*.
- [11] İnce, H., İnce, N. & Tüzün, B. (2000). İş Kazaları ve Çalışma Gücü Kayıplarının Türkiye'deki Yasal Düzenlemeleri. *Adli Tıp Bülteni*, Cilt: 5, Sayı:1.
- [12] Yılmaz, F. (2009). Küreselleşme sürecinde gelişmekte olan ülkelerde ve Türkiye'de iş sağlığı ve güvenliği. *Uluslararası Bilim Dergisi*, Cilt:6, Sayı:1.
- [13] Bıyıkçı, E.T. (2010). *İş Sağlığı ve Güvenliğinin Sağlanmasında İş Güvenliği Uzmanlığı*. Uludağ Üniversitesi SBE, Yüksek Lisans Tezi.
- [14] Kılış, İ. & Demir, S. (2012). İşverenin İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi Verme Yükümlülüğü Üzerine Bir İnceleme. *Çalışma ve Toplum Dergisi*, Cilt:3, Sayı:1.
- [15] Ceylan, H. (2012). Türkiye'deki İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi Sorunlar ve Çözüm Önerileri. *Electronic Journal of Vocational Colleges*.
- [16] İlman, E.Z. (2015). Türkiye'de Meslek Hastalıkları. *Uluslararası Sağlık Yönetimi ve Stratejileri Araştırma Dergisi*, Cilt:1, Sayı:1.
- [17] Ceylan, H. (2016). 2014 Yılında Türkiye'de Meydana Gelen Ölümlü İş Kazalarının Analizi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, Cilt:8, Sayı:1.
- [18] Tawiah, K. & Mensah, J. (2016). Occupational Health and Safety and Organizational Commitment: Evidence from the Ghanaian Mining Industry. *Safety and Health At Work*, Vol: 7.
- [19] Çetin, M. & Göğül, P. (2015). *Türkiye'deki İş Kazaları ve İşçi Ölümünün Ekonomik Boyutu ve Politika Önerisi*. Sosyoloji Konferansları.
- [20] Ceylan, H. (2016). Türkiye'de İş Kazalarından Kaynaklanan Ölüm ve Sürekli İş Göremezlik Vakalarının Regresyonla Tahmini. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, Cilt:8, Sayı:2.
- [21] Alper, Y. (2017). *Sosyal Güvenlik Reformu (2008-2016): Kapsamla İlgili Gelişmeler*. Sosyal Siyaset Konferansları, Sayı: 68.
- [22] Ceylan, H. & Avan, M. (2013). Türkiye'deki İş Kazalarının Yapay Sinir Ağları ile 2025 Yılına Kadar Tahmini. *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol.4, No.1.
- [23] Erdugan, F. & Türkan, A.H. (2017). Üç Yönlü Kontenjans Tablolarında Log-Lineer Model ile İş Kazası Verilerinin İncelenmesi. *Karaelmas Fen ve Müh. Derg.*, 7(2), 462-468.
- [24] Ataseven, B. (2013). Yapay Sinir Ağları ile Öngörü Modellemesi. *Öneri Dergisi*, Cilt: 10, Sayı: 39, 101-115.
- [25] Priestley, M.B. (1991). *Non-Linear and Non-Stationary Time series Analysis*. Academic Press, London.
- [26] Hamzaçebi, C. & Kutay, F. (2004). Yapay sinir ağları ile Türkiye elektrik enerjisi tüketiminin 2010 yılına kadar tahmini. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt:19, No.3.
- [27] Akgül, İ. (2003). *Zaman Serilerinin Analizi ve ARIMA Modelleri*. Der Yayınları, İstanbul.
- [28] Kadılar, C. (2005). *SPSS Uygulamalı Zaman Serileri Analizine Giriş*. Bizim Büro Basımevi, Ankara.
- [29] Karaatlı, M., Güngör, İ. & Demir, Y. (2005). Hisse Senedi Fiyat Hareketlerinin Yapay Sinir Ağları Yöntem-

-
- mi ile Tahmin Edilmesi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, Cilt:2, Sayı:3.
- [30] Karahan, M. (2011). *İstatistiksel Tahmin Yöntemleri: Yapay Sinir Ağları ile Ürün Talep Tahmini Uygulaması*. Selçuk Üniversitesi SBE, Basılmamış Doktora Tezi, Konya.