

## Zaman Serileri Analizi ve Trafik Kazası Verilerine Uygulanması

Şenol ÇELİK<sup>1</sup>

**ÖZET:** Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de trafik kazalarının zaman serileri ile analizi edilmesi ve en uygun zaman serisi modelinin belirlenerek gelecek döneme ait kaza sayısı tahmininin yapılmasıdır. TÜİK kayıtlarından 1955-2012 yılları arasındaki Türkiye’de trafik kaza sayısı verilerinden bir zaman serisi oluşturulmuştur. Çalışmada, serinin otokorelasyon fonksiyonu grafiğinden kendisi ve birinci farkının durağan olmadığı, ikinci fark alındıktan sonra serinin durağan hale geldiği görülmüştür. Durağanlık testi için genişletilmiş Dickey-Fuller testi kullanılmıştır. Model uygunluğunun belirlenmesi için otokorelasyon grafiğinin beyaz gürültüye sahip olup olmadığına ve Box-Ljung testinin sonuçlarına bakılmıştır. Denenen modellerden parametre tahminleri anlamlı bulunan ve Akaike bilgi kriteri (AIC) ile Schwartz Bayesci bilgi kriteri (BIC) değerleri en küçük olan model tahminleri yapılmıştır. Trafik kazaları için belirlenen en uygun tahmin modeli ARIMA (0, 2, 3) şeklinde ifade edilen bütünleşik üçüncü dereceden hareketli ortalama modelidir. Bu modele göre 2013-2020 yılları arasında Türkiye’de trafik kazalarının devamlı artış göstererek 2013 yılında 1421791 ve 2020 yılında ise 2049307 olacağı tahmin edilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Zaman serileri, otokorelasyon, ARIMA, trafik kazaları



## Time Series Analysis and Its Applications to Data on Traffic Accidents

**ABSTRACT:** The purpose of this study is to analyze the road traffic accidents in Turkey through time series and to predict the number of the prospective road traffic accidents by determining the most appropriate time series model. A time series was created with the data from the records of Turkish Statistical Institute related to the numbers of the road traffic accidents happened in Turkey between 1955 and 2012. It was seen in the study that the difference of the series itself and its first difference from the autocorrelation function graph were not stable and the series became stable after the second difference was taken. Augmented Dickey-Fuller test was carried out for the stability test. In order to define the model appropriateness, whether the autocorrelation graph had white noise or not and the results of Box-Ljung test were taken into consideration. Model predictions were made from previously tested models whose parameter predictions were significant and Akaike Information Criterion (AIC) and Schwartz Bayesian Information Criterion (BIC) values were the lowest. The most appropriate prediction model defined for the road traffic accidents is the one called ARIMA (0, 2, 3) which is an integrated moving average model with a third degree mobility. In accordance with this model, it is predicted that the road traffic accidents in Turkey will increase consistently from 2013 to 2020 and the number in 2013 will be 1421791 and 2049307 in 2020.

**Keywords:** Time series, autocorrelation, ARIMA, traffic accidents

<sup>1</sup> Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zootekni, Ankara, Türkiye  
Sorumlu yazar/Corresponding Author: Şenol ÇELİK, senolcelik95@myinet.com

## GİRİŞ

Zaman serileri, istatistik, ekonomi, jeofizik, meteoroloji, tıp, tarım, biyoloji alanlarında elde edilen zaman bağılı verilerin analizinde yaygın kullanılan bir analiz yöntemidir. Aylık trafik kaza sayısı, aylık enflasyon oranı, yıllık ihracat ve ithalat miktarları, yıllık yatırım ve GSMH gelirleri, yıllık işsizlik oranı, aylık yağış miktarı, hayvan sayısı gibi veriler zaman serilerine birer örnektir. Bütçe hazırlıklarında elde edilen tahminler bir sonraki yıl için bütçe planı hazırlanması açısından gereklidir. Faiz oranı ile enflasyon arasındaki ilişkiyi incelemek için zaman serilerinden faydalanılır. Her türlü devlet, yatırım ve ekonomik büyüme programlarını belirlemek için ekonomik verilerin zaman serilerine uygulanmasıyla elde edilen sonuçlara göre belirlemek ister. Bir bölgede yetiştirilen ürünlerin mevsimlere göre üretim ve satış miktarları belirlenerek buna göre üretim ve satış planlaması yapmak daha uygun olur. Ayrıca trafik kazası verilerinde de zaman serisi modelleri uygulanarak sonraki yıllar için kazanın azaltılması yönünde çalışmalar yapılabilir.

Zaman serilerinde amaca ulaşmak için çok sayıda ve güvenilir veriye ihtiyaç duyulur. Bu verilerden iyi sonuç çıkarmak için, zaman serileri için gerekli varsayımların sağlanması gerekir. Zaman serileri ile ilgili olarak şimdiye kadar ekonomide, borsada, dış ticarete, tarımda, hayvancılıkta, meteorolojide, ulaşımda, trafikte ve diğer birçok alanda çeşitli verilerle yapılmış çalışmalar mevcuttur.

Zaman serileri çalışmasında modelin iyi belirlenmesi ve belirlenen modelin veriye uygunluğu önemlidir. Yanlış belirlenen bir model iyi sonuçlar vermez. Model belirleme aşamasından sonra belirlenen modelin veriye uygunluğu test edilmelidir. Uygun modelin oluşturulmasıyla sağlıklı tahminlerde (öngörülebilir) bulunulabilir.

Verdiği zarar göz önüne alındığında, diğer ülkelerde olduğu gibi ülkemizin de en önemli sorunlarından biri trafik kazalarıdır. Trafik kazaları her yıl binlerce insanın ölmesine ve yüzbinlerce insanın yaralanmasına neden olmaktadır. Trafik güvenliğini sağlamak için doğru ve tam hazırlanmış trafik istatistikleri; trafik kazalarını azaltmaya yönelik etkinliklere yol gösterici olacaktır. Bu da yapılacak istatistik analizlerle mümkün olmaktadır.

Örneğin Akkaya ve Altıntaş'ın (2001) çalışmalarında, karayollarında kazaların ve hasarların

zaman serisi analizleri ile yıllık ortalama artış trendleri bulunmuş; ayrıca kaza sayıları ile yolcu ve taşıt sayıları arasında karayolları için regresyon analizleri yapılmıştır. 1989-1999 dönemi için yapılan istatistik zaman serisi analizi sonuçlarına göre, son 11 yılda trafik kazaları yılda ortalama yüzde 17 oranında artış göstermiştir. Atalay, Tortum ve Gökdağ'ın (2012) çalışmalarında, 1977-2006 yılları arasında meydana gelen aylık trafik kaza verileri (şehir içi ve şehir dışı toplamı) kullanılarak zaman serisi analiz yöntemi ile modelleme yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda çalışma döneminde kullanılan verilere göre en uygun modelin ARIMA (4, 1, 4) olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmanın amacı Türkiye'de trafik kazalarının zaman serilerinin analizinin yapılması, uygun zaman serisi modelinin belirlenmesi ve geleceğe yönelik kaza tahmininin yapılmasıdır. Kaza tahmininin belirlenmesi, ülkemizde trafik kazalarının azaltılması, trafik güvenliğinin sağlanması ve trafik için yapılacak projelerle ilgili genel trafik politikasına yön verilmesi açısından önemlidir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Materyal

Araştırmanın materyali Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)'nin internet adresinde yer alan ve yayınlanmış olan "İstatistik Göstergeler 1923-2011" ve "Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri" adlı kaynaklarda bulunan 1955-2011 yılları arası trafik kazalarıdır. 2012 yılına ait bilgiler [www.trafik.gov.tr](http://www.trafik.gov.tr) internet adresinden derlenmiştir.

### Yöntem

Bu çalışmada yıllık verilere ilişkin olarak ARIMA modelleri kullanıldığından, söz konusu modeller için kısa bir açıklama yapılacaktır. Zaman serileri kesikli, doğrusal ve stokastik süreç içeriyorsa ARIMA modeli olarak adlandırılır (Özmen, 1989; Kutlar, 2005). Bu modeller otoregresif, hareketli ortalama ve otoregresif hareketli ortalama modeli olarak 3 şekildedir. Otoregresif model,

$$X_t = f_1 X_{t-1} + f_2 X_{t-2} + \dots + f_p X_{t-p} + e_t$$

şeklinde (Wei 2006), hareketli ortalama modeli (MA),

$X_t = m + e_t - q_1 e_{t-1} - q_2 e_{t-2} - \dots - q_q e_{t-q}$   
şeklinde (Montgomery et al., 1990) ve otoregresif

hareketli ortalama modeli ise, hem AR (p) hem de MA(q) bileşenleri olmak üzere ARMA (p, q) modeli olarak (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010)

$$X_t = f_1 X_{t-1} + f_2 X_{t-2} + \dots + f_p X_{t-p} + e_t - q_1 e_{t-1} - q_2 e_{t-2} - \dots - q_q e_{t-q}$$

şeklinde gösterilir (Cryer, 1986). Zaman serileri analizinin uygulanabilmesi için serilerin durağan olması ve tahmin edilen modelin hata terimlerinin beyaz gürültü (white noise) özelliğini sağlaması gerekir.  $e_t$  her biri sıfır ortalamalı ve  $s^2$  varyanslı bir rasgele değişkenler dizisi ise,  $e_t$  aynı kovaryans fonksiyonlu olarak bağımsız

ve aynı dağılıma sahip seriler beyaz gürültü serisidir ve  $e_t \sim WN(0, s^2)$  ile gösterilir (Brockwell and Davis, 1996). Herhangi bir  $X_t$  zaman serisi,  $E(X_t) = m$ ,  $V(X_t) = s^2$  ve  $Cov(X_t, X_{t+h})$  kovaryansı sadece h'ye bağlı ise durağandır (Günay ve ark., 2007). Durağan bir zaman serisinin otokorelasyon fonksiyonu (ACF)

$$r(h) = \frac{\sum_{t=h+1}^n (X_t - \bar{X}_t)(X_{t+h} - \bar{X}_t)}{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2}$$

şeklinde (Akdi, 2010), h'nci kısmi otokorelasyonu (PACF) ise

$$P_h = \frac{g(h) - a_1 g(h-1) - a_2 g(h-2) - \dots - a_{h-1} g(1)}{g(0) - a_1 g(1) - a_2 g(2) - \dots - a_{h-1} g(h-1)} = \frac{r(h) - a_1 r(h-1) - a_2 r(h-2) - \dots - a_{h-1} r(1)}{1 - a_1 r(1) - a_2 r(2) - \dots - a_{h-1} r(h-1)}$$

şeklinde (Wei, 2006) tanımlanır.

Durağan olmayan bir zaman serisini durağan hale getirmek için serinin genellikle 1 veya 2 defa farkı alınır. Böyle serilere uygulanan modellere entegre

modeller denir. Otoegresif entegre hareketli ortalama modeli ARIMA (p, d, q) şeklinde gösterilir (Box ve Jenkins 1976). Genel olarak ARIMA (p, d, q) modeli

$$(1 - f_1 B - f_2 B^2 - \dots - f_p B^p)(1 - B)^d X_t = (1 - q_1 B - q_2 B^2 - \dots - q_q B^q) e_t$$

şeklinde olmaktadır (Kadılar, 2009). Daha açık şekilde, ARIMA(p,d,q) süreci

$$X_t = (1 + f_1)X_{t-1} + (f_2 - f_1)X_{t-2} + (f_3 - f_2)X_{t-3} + \dots + (f_p - f_{p-1})X_{t-p} - f_p X_{t-p-1} + e_t - q_1 e_{t-1} - q_2 e_{t-2} - \dots - q_q e_{t-q}$$

şeklinde yeniden yazılabilir (Cryer, 1986).

Modelin uygunluğu için, en çok kullanılan testlerden Box ve Ljung tarafından önerilen Box-Ljung

Q testi,  $Q = n(n+2) \sum_{h=1}^k \frac{\hat{r}^2(h)}{n-h}$  ile yapılır (Brockwell

and Davis, 2006). Burada h, gecikme sayısını, p ve q ise ARIMA modelinin derecesini, n gözlem sayısını,  $\hat{r}^2(h)$  ise kalıntıların otokorelasyon katsayısını ifade eder (Bowerman and O'Connell, 1993). Hesaplanan kalıntıların Q istatistiği n-p-q serbestlik derecesi ile  $c^2$

dağılımına sahiptir (Pindyck and Rubinfeld, 1991). Modelin belirlenmesinde, seriye en uygun modelin seçimi için Akaike bilgi kriteri (AIC) ve Schwartz Bayesci bilgi kriteri (BIC) gibi kriterler geliştirilmiştir. Akaike bilgi kriteri,  $AIC = n \ln \hat{\sigma}_e^2 + 2M$  formülü ile (Wei, 2006), Schwartz Bayesci bilgi kriteri (BIC),  $BIC = n \ln \hat{\sigma}_e^2 + M \ln n$  formülüyle (Cooray, 2008) veya  $BIC = \ln \hat{\sigma}_e^2 + M \ln n/n$  şeklinde verilmektedir (Shumway and Stoffer, 2006). Burada, M modelin parametre sayısıdır ve  $M=p+q+1$ 'dir. Denenen modellerin içinde hangisinin AIC ve BIC değeri küçükse en uygun model kabul edilir. Verilere uygun bir modelde öngörüler yapılırken geçmiş zamanlardaki gözlem değerleri kullanılarak rasgele değişkenin gelecekte alacağı değerler için tahminde bulunulur.

Zaman serisinde durağanlığı belirlemek için birim kök testlerinin de uygulanmasında fayda vardır. En yaygın olarak kullanılan birim kök testlerinden biri Genişletilmiş Dickey-Fuller testi (ADF)'dir. ADF eşitliğinin genel hali Dickey ve Fuller (1981) tarafından

$$\text{ele alınan } \nabla X_t = b_0 + b_1 t + g_1 X_{t-1} + \sum_{i=1}^h g_{2i} \nabla X_{t-i} + e_t \text{ denklemdir.}$$

## BULGULAR

Türkiye'de 1955-2012 yılları arasındaki trafik kazası sayılarının zaman serisi modeli incelenmektedir. Önce zaman serisinin grafiği verilmiştir (Şekil 1). Şekil 1'de serinin bir trende sahip olduğu görülmektedir. Daha net sonuç alabilmek için Şekil 2 ve Şekil 3'de serinin ACF ve PACF grafikleri verilmiştir. ACF grafiğinden serinin trende sahip olduğu görülmektedir. Seriyi trendden arındırmak için serinin birinci farkları alınmıştır. Şekil 4 ve Şekil 5'de verilen serinin birinci farklarının ACF ve PACF grafikleri elde edilir. Serinin birinci farkının ACF grafiğinden serinin trendden arınmadığı ve serinin durağan hale gelmediği görülmektedir. Bu nedenle serinin ikinci farkının da alınması gerekir. İkinci farkı alınan serinin ACF ve PACF grafikleri Şekil 6 ve Şekil 7'de sunulmuş olup ACF grafiğine göre serinin durağan hale geldiği görülmektedir. Serinin ikinci farkı alındığı için  $d=2$  olmaktadır. ACF grafiğinde ilk 3 değer güven sınırlarını aştığından önemli olup 4'ncü gecikme değerinden itibaren düşüşe geçmektedir. PACF grafiğinde ise 1'nci gecikmeden 2'nci gecikmeye geçildiğindeki ilişki miktarı azalmaktadır. Ancak ACF

grafiğindeki ilişki miktarını azalışı ve sifıra yaklaşması PACF grafiğine göre daha hızlıdır. Bu nedenle model hareketli ortalama (MA) modelidir. Bu nedenle  $p=0$  ve  $q=3$  olmaktadır. Dolayısıyla ACF ve PACF grafiklerine göre seriye uygun model ARIMA (0, 2, 3) olmaktadır. Ayrıca durağanlığı test etmek için Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) testi yapılmıştır. ADF testine göre benzer şekilde orijinal serinin (Çizelge 1) ve serinin birinci farkının (Çizelge 2) durağan olmadığı yani birim kök içerdiği, serinin ikinci farkının ise durağan hale geldiği yani birim köklü seri olmadığı görülmüştür (Çizelge 3). Çizelge 1'de 1955-2012 dönem aralığında Türkiye için trafik kazaları serisi birim kök içermektedir. Yapılan analizlerin istatistiksel anlamda güvenli olabilmesi için serinin birim kökten arındırılması gerekmektedir. Bunun için trafik kazası serisinin birinci dereceden farkı alındıktan sonra yapılan birim kök testi sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Yapılan birim kök testi sonuçlarına göre, p değerinin yine büyük olduğu görülmektedir. Bu durumda serinin birim kökten arınmadığı ve ikinci farkının alınması gerekmiştir. Serinin ikinci dereceden farkı alındıktan sonra yapılan birim kök testi sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir. Trafik kazası serisinin ikinci dereceden farkı alındıktan sonra yapılan birim kök testi sonuçlarına göre, p değeri küçülmüştür. Dolayısıyla seri birim kökten arındırılmıştır yani durağan hale gelmiştir.

ARIMA (0, 2, 3) modelinin parametrelerini oluşturan katsayılar Çizelge 4'de verilmiştir. Bu çizelgeye göre MA terimi yani q'nın bütün katsayılarının anlamlılık değeri 0.05'ten küçük olduğu için parametre değerleri anlamlı bulunmuştur. Serinin hata terimleri güven sınırları içinde yer aldığından beyaz gürültü serisidir (Şekil 8). Bu durumda seriye uygun olan ARIMA (0, 2, 3) modeline ait denklem,

$$(1 - B)^2 X_t = (1 - q_1 B - q_2 B^2 - q_3 B^3) e_t$$

şeklinde olup, açık şekli ise,

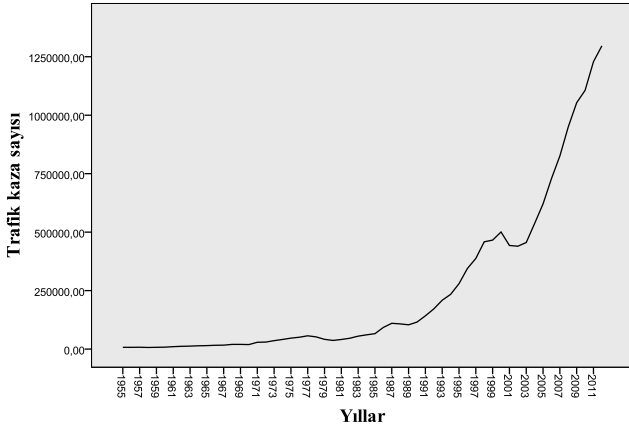
$$X_t = 2X_{t-1} - X_{t-2} + e_t - q_1 e_{t-1} - q_2 e_{t-2} - q_3 e_{t-3}$$

dir. Elde edilen bilgiler denklemde yerine konduğunda,

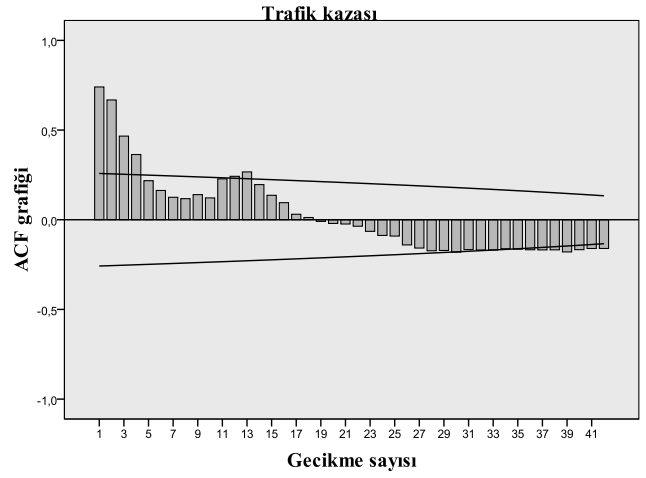
$$X_t = 2X_{t-1} - X_{t-2} - 0.405e_{t-1} + 0.365e_{t-2} - 0.679e_{t-3} + e_t$$

şeklindeki bütünleşik üçüncü dereceden hareketli ortalama modeli elde edilir.

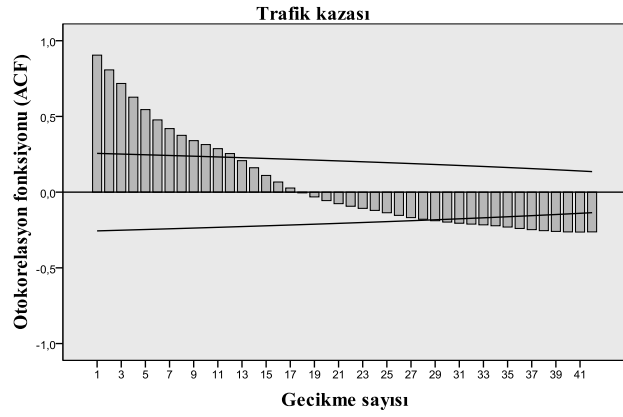
Bu modele göre, 2013-2020 yılları arası trafik kazası tahminleri Çizelge 7'te verilmiştir.



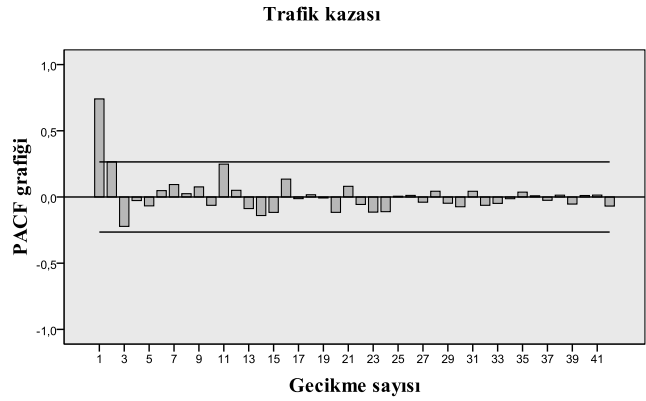
Şekil 1. Türkiye’de 1955-2012 yılları arası trafik kazaları serisinin zaman serisi grafiği



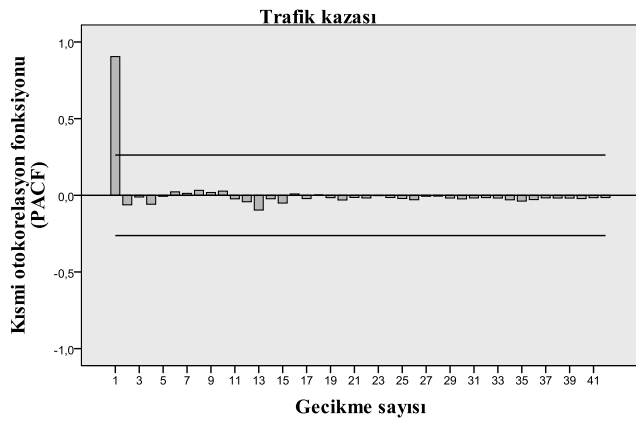
Şekil 4. Türkiye’de 1955-2012 yılları arası trafik kazası serisinin birinci farkının ACF grafiği



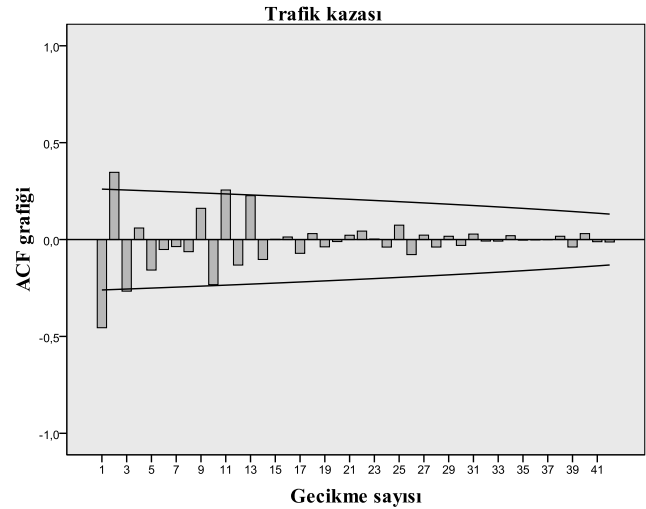
Şekil 2. Türkiye’de 1955-2012 yılları arası trafik kazası serisinin ACF grafiği



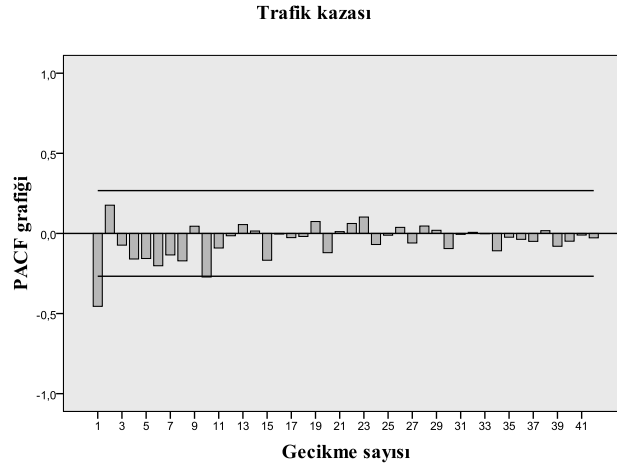
Şekil 5. Türkiye’de 1955-2012 yılları arası trafik kazası serisinin birinci farkının PACF grafiği



Şekil 3. Türkiye’de 1955-2012 yılları arası trafik kazası serisinin PACF grafiği



Şekil 6. Türkiye’de 1955-2012 yılları arası trafik kazası serisinin ikinci farkının ACF grafiği



Şekil 7. Türkiye’de 1955-2012 yılları arası trafik kazası serisinin ikinci farkının PACF grafiği

Çizelge 1. Trafik kazaları serisi birim kök testi

	t istatistiği	Olasılık değeri*
Genişletilmiş Dickey-Fuller test istatistiği	3.444763	1.0000
Test kritik değerleri		
% 1 düzeyinde	-3.557472	
% 5 düzeyinde	-2.916566	
% 10 düzeyinde	-2.596116	

\*MacKinnon (1996) tek taraflı p değerleri

Çizelge 2. Trafik kazaları birinci fark serisi birim kök testi

	t istatistiği	Olasılık değeri*
Genişletilmiş Dickey-Fuller test istatistiği	-1.841239	0.3571
Test kritik değerleri		
% 1 düzeyinde	-3.557472	
% 5 düzeyinde	-2.916566	
% 10 düzeyinde	-2.596116	

\*MacKinnon (1996) tek taraflı p değerleri

Çizelge 3. Trafik kazaları ikinci fark serisi birim kök testi

	t istatistiği	Olasılık değeri*
Genişletilmiş Dickey-Fuller test istatistiği	-11.85570	0.0000
Test kritik değerleri		
% 1 düzeyinde	-3.555023	
% 5 düzeyinde	-2.915522	
% 10 düzeyinde	-2.595565	

**Çizelge 4.** Uygun modelin parametre tahminlerinin anlamlılığı

Parametreler	Katsayılar	Standart hata	tta	Anlamlılık (p<0,05)
Sabit	1661.968	831.205	1.999	0.051
Fark	2			
MA (1) ( $q_1$ )	0.432	0.114	3.798	0.000
MA (2) ( $q_2$ )	-0.360	0.127	-2.846	0.006
MA (3) ( $q_3$ )	0.693	0.126	5.512	0.000

ARIMA (0, 2, 3) modeline ilişkin hata değerlerinin yani artıkların otokorelasyon değerleri aşağıdaki gibidir.

Bu otokorelasyon değerlerinden yararlanarak 0.05 önemlilik düzeyinde Box-Ljung testi ile modelin uygunluğu test edilmiştir.

**Çizelge 5.** Hata terimlerinin otokorelasyon değerleri

h	1	2	3	4	5	6	...	18
$\hat{r}(h)$	-0.036	0.045	0.011	0.061	-0.081	-0.149	...	0.028

$$Q = n(n+2) \sum_{h=1}^k \frac{\hat{r}^2(h)}{n-h} = 58(60)(0.0039) = 13.381$$

$c_{0,025;9}^2 = 19.023$  dir. Çizelge 5'te verilen hata terimlerinin otokorelasyon değerleri ile ilgili verilenler

formülde yerine konarak hesaplandığında  $13,381 < 19,023$  olduğundan sıfır hipotezi kabul edilir ve modelin uygun olduğu sonucuna ulaşılır. Çizelge 4'te verilen parametre tahminlerinin anlamlılığı ile birlikte serinin hangi modele uygun olduğunun daha açık belirlenmesi için AIC ve BIC değerleri hesaplanarak Çizelge 6'te verilmiştir.

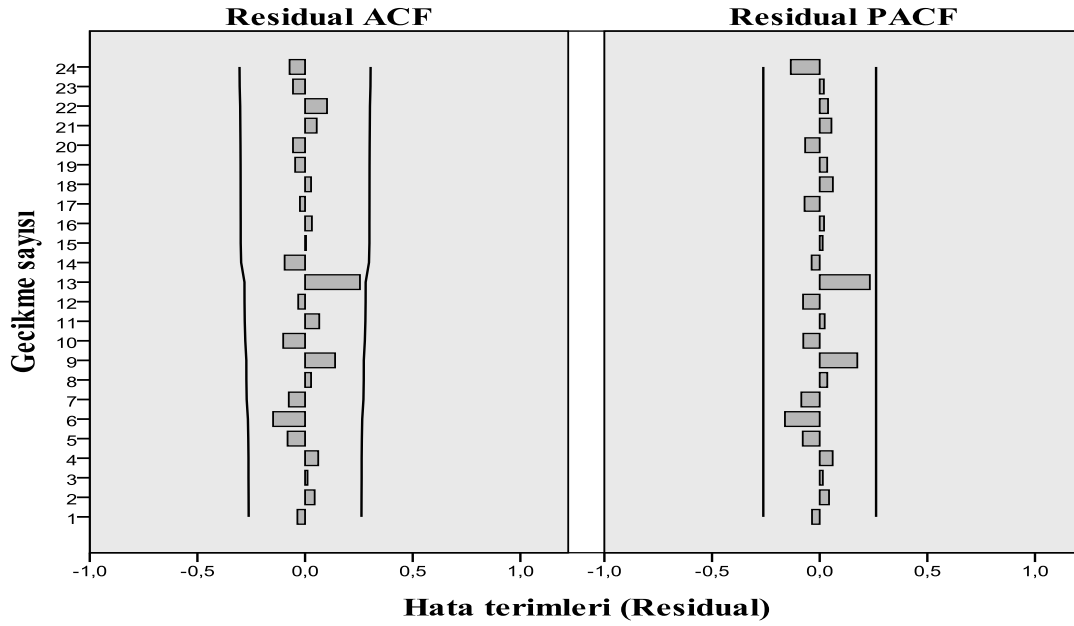
**Çizelge 6.** Modeli belirlemede hesaplanan AIC ve BIC değerleri

ARIMA Modeli	AIC	BIC
(0,2,1)	23.061	23.134
(0,2,2)	23.033	23.141
<b>(0,2,3)</b>	<b>22.763</b>	<b>22.908</b>
(1,2,0)	22.972	23.009
(2,2,0)	22.995	23.105
(3,2,0)	23.034	23.182
(1,2,1)	22.979	23.089
(1,2,2)	22.984	23.130
(2,2,1)	23.025	23.173
(2,2,2)	23.016	23.201

Bu sonuçlara göre AIC veya BIC değerleri en küçük olan ARIMA (0, 2, 3) modeli, seri için en uygun modeldir.

Çizelge 7. 2012-2020 yılları arası trafik kazası tahmini (öngörüsü)

Yıllar	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Tahmin	1421	14996	15870	16761	17669	18594	19535	20493
	791	17	77	99	83	29	37	07



Şekil 8. Hata serisinin ACF ve PACF grafikleri

## SONUÇ

Bu çalışmada, trafik kazalarına ilişkin zaman serisi analizi yapılarak kaza modeli oluşturulmuş ve geleceğe dönük kaza tahmininde bulunulmuştur. Araştırmanın sonuçları aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

Zaman serileri analizi olan ARIMA modelleri ile elde edilen bulgularda, 1955-2012 dönemi için trafik kazaları ARIMA (0, 2, 3) şeklinde modellenmiştir. Serinin otokorelasyon fonksiyonu grafiğine bakılarak serinin ve serinin birinci farkının durağan olmadığı, ikinci farkı alındıktan sonra durağan hale geldiği görülmüştür. Daha iyi sonuç alabilmek amacıyla serinin durağan olup olmadığını belirlemek için Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) birim kök testi yapılmıştır. ADF testi sonucunda serinin ve birinci farkının birim köklü olduğu ancak ikinci farkının birim kökten arındırıldığı yani durağan olduğu görülmüştür. İkinci farkı alınan seri için belirlenen ARIMA (0, 2, 3) modeline ait parametre tahminleri anlamlı bulunmuştur. İkinci fark serisinin, hata terimleri otokorelasyon grafiğinden beyaz gürültü serisi olduğu ve Box-Ljung testine göre elde edilen modelin uygun bir model olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca p ve q parametrelerine 0-3 arasında çeşitli değerler

vererek çeşitli modeller denenmiştir. Denenen modeller arasında parametre tahminleri anlamlı bulunan ve AIC ve BIC değerleri en küçük olan ARIMA (0, 2, 3) modelidir. Bütünleşik üçüncü dereceden hareketli ortalama modeli olarak ifade edilen model

$$X_t = 2X_{t-1} - X_{t-2} - 0.432e_{t-1} + 0.360e_{t-2} - 0.693e_{t-3} + e_t$$

şeklinde dir.

Bu modele göre trafik kazalarının 2013 yılında 1421791, 2014 yılında 1499617 ve 2020 yılında 2049307 olacağı tahmin edilmektedir (Çizelge 7). Bu sonuçlara göre trafik kazalarının her yıl artış göstereceği ve kazaların önlenmesi için çok ciddi önlemler alınması gerektirdiği anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada, döneme ait en uygun zaman serisi modeli ARIMA (0, 2, 3) şeklinde  $X_t = 2X_{t-1} - X_{t-2} - 0.432e_{t-1} + 0.360e_{t-2} - 0.693e_{t-3} + e_t$  olarak belirlenirken, Ögüt ve İyınam (1998)'ın çalışmasında, 1977-1996 dönemi aylık trafik kazalarının zaman serileri ile modellenmesi için AR(1), MA(1) ve ARMA(1,1) modelleri geliştirilmiş ve bunlardan  $X_t = e_t + 0.442e_{t-1}$  şeklindeki MA(1)



modelinin daha uygun olduğu belirlenmiştir. Akkaya ve Altıntaş (2001)'in çalışmasında, 1989-1999 dönemi için yapılan istatistik zaman serisi analizi sonuçlarına göre, döneme ait trafik kazaları yılda ortalama yüzde 17 oranında artış göstermiştir. Bayata ve Hınıslioğlu (2010)'nun çalışmasında, zaman serisi analizinde kurulan modeller arasında belirlenen en

uygun modelin  $ARIMA(0, 1, 1)(0, 0, 2)_{12}$  olduğu anlaşılmıştır. Elde edilen model ile gelecek aylarda meydana gelmesi muhtemel trafik kazalarının güvenilir bir şekilde tahmin edilebileceği görülmüştür. Çodur ve ark. (2013) çalışmalarında, karayolu güvenliğinin değerlendirilmesinde Genelleştirilmiş Lineer Regresyon Modeli ile mevcut bölünmüş yollarda kazaya karışan ağır araçların yüzdesi, yaz mevsiminde olan kazaların yüzdesi ve yatay kurp sayısı arttığında kaza sayılarının azaldığı; buna karşın düşey kurp sayısının, yol kesim kilometresinin ve YOGT (Yıllık ortalama günlük trafik)'nin artması ile kaza sayılarının arttığı bulunmuştur.

Sonuç olarak, bu çalışmada ve benzer çalışmalarda görüldüğü gibi, trafik kazaları zaman serileri ile modellenabilmektedir. Çalışmada oluşturulan  $ARIMA(0, 2, 3)$  modeli ile ileriye yönelik kaza tahmini yapılabilmektedir. Trafik ile ilgili ülkesel projeksiyonlarda yararlı olması umulur.

## KAYNAKLAR

- Akdi, Y., 2010. Zaman Serileri Analizi (Birim Kökler ve Kointegrasyon). Gazi Kitabevi, Ankara, 27.
- Akkaya, Ş., Altıntaş, H., 2001. Türkiye'de karayolu trafik kazaları istatistik analizi: 1989-1999. V. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu, 12-19 Eylül 2001, Adana.
- Anonim, 2013. Genel kaza istatistikleri. <http://www.trafik.gov.tr/Sayfalar/Istatistikler/Genel-Kaza.aspx>
- Atalay, A., Tortum, A., Gökdağ, M., 2012. Türkiye'de 1977-2006 yılları arasında meydana gelen aylık trafik kazalarının zamansal analizi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(3):221-229.
- Bowerman, B.L., O'Connell, R.T., 1993. Forecasting and Time Series: An Applied Approach. Duxbury Press. Box, G.E. P., Jenkins, G. M., 1976. Time series analysis forecasting and control revised edition. San Francisco: Holden Day, p. 25-36.
- Brockwell, P.J., Davis, R.A., 2006. Time series: Theory and methods. Springer, New York, 78, 310-312.
- Brockwell, P. J., Davis, R.A., 1996. Introduction time series and forecasting. Springer Texts in Statistics, Springer Verlag New York Inc., 35.
- Çodur, M. Y., Tortum, A., Çodur, M., 2013. Genelleştirilmiş Lineer Regresyon ile Erzurum Kuzey Çevre Yolu Kaza Tahmin Modeli, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 3(1): 79-84.

- Cooray, T.M.J.A., 2008. Applied time series. Analysis and forecasting. Narosa Publishing House Pvt. Ltd., pp. 136-138.
- Cryer, J. D., 1986. Time series analysis. PWS Publishing, USA, pp. 52-110.
- Dickey, D. A., Fuller, W. A., 1981. Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root *Econometrica*, 49(4): 1057-1072.
- Günay, S., Eğrioğlu E., Aladağ, Ç. H., 2007. Tek değişkenli zaman serileri analizine giriş. Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara, 77.
- Hınıslioğlu, S., Bayata, H. F., 2010. Aylık Trafik Kazalarının İstatistiksel Modellenmesi. Karayolu Güvenliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 6-8 Mayıs 2010, Ankara.
- Kadılar, C., 2009. SPSS uygulamalı zaman serileri analizine giriş. Bizim Büro Yayınevi, Ankara, 222-233.
- Kutlar, A., 2005. Uygulamalı Ekonometri, 2. Baskı, Nobel Yayınları, Ankara.
- Montgomery, D. C., Johnson, L. A., Gardiner, J. S., 1990. Forecasting and time series analysis. Second Edition, New York, McGraw-Hill.
- Öğüt, K. S., İyınam, F., 1998. Türkiye'de Trafik Kazalarının Modellenmesi. 2. Uluslararası Ulaşım Sempozyumu, İstanbul.
- Özmen, A., 1989. Mevsimler Dalgalanmalar içermeyen Zaman Serilerinde Kısa Dönem Öngörü Amaçlı Box-Jenkins (ARIMA) Modellerinin Kullanımı, Fen-Edebiyat Fakültesi Dergisi, 2(1):105-120.
- Pindyck, R.S., Rubinfeld, D.L., 1991. Econometric models and economic forecasts.
- Sevüktekin, M., Nargeleçekenler, M., 2010. Ekonometrik zaman serileri analizi EViews uygulamalı. Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti., s. 79, 263-264.
- Shumway, R. H., Stoffer, D. S., 2006. Time series analysis and its applications with R examples. Springer, New York, 53-54, 108.
- TÜİK, 2012. İstatistik Göstergeler 1923-2011. Yayın No: 3890, Türkiye İstatistik Kurumu Matbaası, Ankara.
- TÜİK, 2012. Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri 2011. Yayın No: 3698, Türkiye İstatistik Kurumu Matbaası, Ankara.
- TÜİK, 2012. Türkiye İstatistik Yılığ 2011. Yayın No: 3665, Türkiye İstatistik Kurumu Matbaası, Ankara.
- Wei, W. W. S., 2006. Time series analysis, Addison Wesley Publishing Company.