

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SİMÜLASYON ÇIKTILARINDA ZAMAN SERİLERİ ANALİZİ

Mak. Müh. N. Elif MAZLUM

96823

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

“ Makina Yüksek Mühendisi”

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10.02.2000

Tezin Savunma Tarihi : 02.03.2000

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Tülin ARAZ

T. Araz

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Emrullah DEMİRCİ

edemir

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Levent GÜMÜŞEL

Levent Gumusel

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

A. Kadioğlu

**TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Trabzon 2000

ÖNSÖZ

Bu çalışmada simülasyon çıktı verilerinin zaman serileriyle analizi incelenmiştir. Deneylede MINITAB programı kullanılmıştır.

Çalışmanın konusunun belirlenmesi ve gerçekleştirilmesi esnasında yardım ve bilgilerini esirgemeyen değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Tülin Araz'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ayrıca tez çalışmasında bana yardım eden arkadaşım Arş. Gör. M. Serap KAHRAMAN' a teşekkür ederim. Son olarak ömrüm boyunca bana sevgi ve destek veren aileme çok teşekkür ederim.

Trabzon, Mart 2000

N. Elif MAZLUM



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLOLAR DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Tez Çalışmasının Amacı, Bilimsel ve Pratik Önemi.....	2
1.3. Literatür Araştırması.....	3
1.4. Kesikli Sistemlerin Simülasyonu.....	5
1.5. Simülasyon Çıktılarının Analizi.....	8
1.5.1. Performans Ölçüleri ve Diğer Tahminler.....	9
1.5.1.1. Nokta Tahmini.....	9
1.5.1.2. Aralık Tahmini.....	10
1.5.2. Durdurmalı Simülasyon İçin Çıktı Analizi.....	14
1.5.3. Denge Durumu Simülasyonu İçin Çıktı Analizi.....	17
1.5.3.1. Bağımsız Gözlemleri Esas Alan Klasik İstatistik Yöntemleri.....	18
1.5.3.1.1. Yineleme Yöntemi.....	18
1.5.3.1.2. Parti Ortalaması Yöntemi.....	20
1.5.3.1.3. Yenileyici Yöntem.....	21
1.5.3.2. Bağımlı Gözlemleri Esas Alan İleri İstatistik Yöntemleri.....	23
1.5.3.2.1. Spektral Analiz.....	24
1.5.3.2.2. Otoregresiv Analiz.....	24
1.5.4. Zaman Serileri Analizi.....	26
1.5.4.1. Değişmenin Tipleri.....	28
1.5.4.2. Dönüşümler.....	28
1.5.4.3. Dönemlik Dalgalanmalar.....	29
1.5.4.4. Otokorelasyon.....	29
1.5.5. Zaman Serileri İçin Olasılık Modelleri.....	33

1.5.5.1.	Stokastik Süreç.....	33
1.5.5.2.	Durağan Süreç.....	34
1.5.5.3.	Otokorelasyon Fonksiyonu.....	34
1.5.6.	Zaman Serileri İçin Bazı Kullanılabilir Stokastik Süreçler.....	35
1.5.6.1.	Hareketli Ortalama Süreci (MA).....	35
1.5.6.2.	Otoregresiv Süreç (AR).....	37
1.5.6.3.	Karma Model (ARMA).....	42
1.5.6.4.	Bütünleşik Model (ARIMA).....	42
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	45
2.1.	Gözlemlerin Elde Edildiği Simülasyon Modeli.....	45
2.2.	Klasik İstatistik Yöntemlerle Alınan Sonuçlar.....	46
2.3.	MINITAB İstatistik Paket Programı.....	48
2.4.	Zaman Kümesinde Tahminler.....	49
2.4.1.	Otokovaryans ve Otokorelasyon Fonksiyonlarının Tahmini.....	49
2.4.2.	Otoregresiv Süreçlerin Modellenmesi.....	49
2.4.3.	Hareketli Ortalama Sürecinin Modellenmesi.....	50
2.4.4.	Karma ve Bütünleşik Modellerin Tahmini.....	52
2.5.	Deneylerin Yapılışı.....	58
3.	BULGULAR.....	73
3.1.	ENKISA Kuralı Simülasyon Çıktı Verileri İçin Tahminci Model Sonuçları.....	73
3.2.	Yinelemeli ENKISA Kuralı Simülasyon Çıktı Verileri İçin Tahminci Model Sonuçları.....	77
3.3.	İĞÖ Kuralı Simülasyon Çıktı Verileri İçin Tahminci Model Sonuçları.....	80
3.4.	Yinelemeli İĞÖ Kuralı Simülasyon Çıktı Verileri İçin Tahminci Model Sonuçları.....	83
4.	İRDELEME.....	88
5.	SONUÇLAR.....	89
6.	KAYNAKLAR.....	90
7.	EKLER.....	92
8.	ÖZGEÇMİŞ.....	125

ÖZET

Bu tez çalışmasında, kesikli sistem simülasyonunda çıktı analizi yapılmıştır. İlk önce kesikli sistemlerin simülasyonu tanımlanmış, performans ölçüleri ve diğer tahminler belirlenmiştir. Denge durumu ve durdurmalı simülasyon için çıktı analizi belirtilmiştir. Ayrıca klasik istatistiksel yöntemler olan yineleme, parti ortalaması, yineleyici yöntemlerden bahsedilmiştir. Bu çalışmada özellikle zaman serileri üzerinde durulmuş ve otoregresyon ve hareketli ortalama modelinin bütünleşik yaklaşımı olan ARIMA yöntemiyle veriler koşturulmuştur. Bu yöntemi uygularken MINITAB paket programı kullanılmıştır.

Sonuç olarak; ENKISA ARIMA(1, 1, 0) modelinin daha uygun olduğu görülmüştür. ENKISA (1, 1, 1) verileri için uygun model bulunamamıştır. Yinelemeli ENKISA kuralında MA(1) ve MA(2) süreçleri AR(1) ve AR(2) süreçlerine benzer çıkmıştır. İGÖ kuralında χ^2 test istatistiği AR(2) için uyumu daha iyi bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Zaman serileri, Simülasyon, ARIMA

SUMMARY

The Time Series for Output Analysis in Simulation Experiments

In this study, output analysis have been performed in the discrete system simulation. Firstly, discrete system simulation has been described and measures of performance and other estimates are determined. Steady state and non-stationary simulation for output analysis have been emphasized. In addition, classic statistical methods are explained. In this study, especially time series have been explained and data has runned by ARIMA and has used MINITAB.

Finally; the experiments show that the model of ENKISA ARIMA (1, 1, 0) is the most appropriate model. The appropriate model for the outputs of ENKISA (1, 1, 1) can not be found. The process of AR(1) and AR(2) are given the same process of MA(1) and MA(2) for the ENKISA model. For AR(2) the χ^2 test give more appropriate results for İGÖ model.

Keywords: Time Series, Simulation, ARIMA

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Benzetim çalışmasında aşamalar.....	7
Şekil 2.	a) Pozitif otokorelasyon için durağan zaman serileri	13
	b) Negatif otokorelasyon için durağan zaman serileri.....	13
	c) Artan trendli durağan olmayan zaman serileri.....	13
Şekil 3.	Simülasyon çıktılarında başlangıç yanlılığının etkisi ve denge.....	17
Şekil 4.	Süreç kontrol kartı.....	27
Şekil 5.	Nokta sürecinin gerçekleşmesi	27
Şekil 6.	Kısa dönem korelasyonun zaman serisinin korelogramla gösterilmesi.....	31
Şekil 7.	Değişken zaman serilerinin korelogramı.....	32
Şekil 8.	Durağan olmayan zaman serileri için korelogram.....	32
Şekil 9.	Birinci sıralanış otoregresyon sürecinin otokorelasyon fonksiyonu için üç örnek.....	40
Şekil 10.	Box-Jenkins (ARIMA) yönteminin akış diyagramı.....	43
Şekil 11.	ENKISA kuralı için MINITAB paket programı ile alınan klasik istatistiksel analizi.....	47
Şekil 12.	Yinelemeli ENKISA kuralı için MINITAB paket programı ile alınan klasik istatistiksel analizi.....	47
Şekil 13.	İĞÖ ve Yinelemeli İĞÖ kuralı için MINITAB paket programı ile alınan klasik istatistiksel analizleri.....	47
Şekil 14.	AR(1) ve AR(2) modelinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon sabitleri.....	51
Şekil 15.	MA(1) ve MA(2) modelinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon sabitleri.....	53
Şekil 16.	ARIMA(1,1) modelinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon sabitleri.....	55
Şekil 17.	Deneylerde kullanılacak çıktı verileri için toplu istatistiksel değerlendirme.....	58
Şekil 18.	ENKISA kuralı çıktı verilerinin değerlerinin ilerleyen simülasyon zamanında değişimi.....	59

Şekil 19.	ENKISA kuralı çıktı verilerinin otokorelasyon fonksiyonunun korelogramla görünümü.....	59
Şekil 20.	Yinelemeli ENKISA kuralı çıktı verilerinin değerlerinin ilerleyen simülasyon zamanında değişimi.....	60
Şekil 21.	Yinelemeli ENKISA kuralı çıktı verilerinin otokorelasyon fonksiyonunun korelogramla görünümü.....	60
Şekil 22.	İGÖ kuralı çıktı verilerinin değerlerinin ilerleyen simülasyon zamanında değişimi.....	61
Şekil 23.	İGÖ kuralı çıktı verilerinin otokorelasyon fonksiyonunun korelogramla görünümü.....	61
Şekil 24.	Yinelemeli İGÖ kuralı çıktı verilerinin değerlerinin ilerleyen simülasyon zamanında değişimi.....	62
Şekil 25.	Yinelemeli İGÖ kuralı çıktı verilerinin otokorelasyon fonksiyonunun korelogramla görünümü.....	62
Şekil 26.	ENKISA kuralı çıktı verilerinin durağan olmayan otokorelasyon fonksiyonu.....	64
Şekil 27.	ENKISA kuralı çıktı verilerinin farklılık derecesi 1 için düzenlenmiş otokorelasyon fonksiyonu.....	65
Şekil 28.	ENKISA kuralı çıktı verilerinin farklılık derecesi 2 için düzenlenmiş otokorelasyon fonksiyonu.....	66
Şekil 29.	ENKISA kuralı çıktı verilerinin farklılık derecesi 1 için düzenlenmiş kısmi otokorelasyon fonksiyonu	67
Şekil 30.	ENKISA kuralı çıktı verilerinin farklılık derecesi 2 için düzenlenmiş kısmi otokorelasyon fonksiyonu.....	68
Şekil 31.	Farklılık 1 için düzenlenmiş ENKISA kuralı çıktı verilerinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayısı korelogramlarının görünümü.....	70
Şekil 32.	Farklılık 2 için düzenlenmiş ENKISA kuralı çıktı verilerinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayısı korelogramlarının görünümü.....	71
Ek Şekil 1.	Yinelemeli ENKISA kuralı çıktı verilerinin durağan olmayan otokorelasyon fonksiyonu otokorelasyon fonksiyonu.....	107
Ek Şekil 2.	Yinelemeli ENKISA kuralı çıktı verilerinin farklılık derecesi 1 için düzenlenmiş verilerin kısmi otokorelasyon fonksiyonu.....	108

Ek Şekil 3.	Yinelemeli ENKISA kuralı çıktı verilerinin farklılık derecesi 1 için düzenlenmiş verilerin kısmi otokorelasyon fonksiyonu.....	109
Ek Şekil 4.	İGÖ kuralı çıktı verilerinin durağan olmayan otokorelasyon fonksiyonu.....	109
Ek Şekil 5.	İGÖ kuralı çıktı verilerinin farklılık derecesi 1 için düzenlenmiş verilerin otokorelasyon fonksiyonu.....	110
Ek Şekil 6.	İGÖ kuralı çıktı verilerinin farklılık derecesi 1 için düzenlenmiş verilerin kısmi otokorelasyon fonksiyonu.....	111
Ek Şekil 7.	Yinelemeli İGÖ kuralı çıktı verilerinin durağan olmayan otokorelasyon fonksiyonu.....	112
Ek Şekil 8.	Yinelemeli İGÖ kuralı çıktı verilerinin farklılık derecesi 1 için düzenlenmiş verilerin otokorelasyon fonksiyonu.....	113
Ek Şekil 9.	Yinelemeli İGÖ kuralı çıktı verilerinin farklılık derecesi 1 için düzenlenmiş verilerin kısmi otokorelasyon fonksiyonu.....	114
Ek Şekil 10.	Yinelemeli İGÖ kuralı çıktı verilerinin farklılık derecesi 2 için düzenlenmiş verilerin otokorelasyon fonksiyonu.....	115
Ek Şekil 11.	Yinelemeli İGÖ kuralı çıktı verilerinin farklılık derecesi 2 için düzenlenmiş verilerin kısmi otokorelasyon fonksiyonu.....	116
Ek Şekil 12.	Farklılık 1 için düzenlenmiş yinelemeli ENKISA kuralı çıktı verilerinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayısı korelogramlarının görünümü.....	117
Ek Şekil 13.	Farklılık 1 için düzenlenmiş İGÖ kuralı çıktı verilerinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayısı korelogramlarının görünümü.....	118
Ek Şekil 14.	Farklılık 1 için düzenlenmiş yinelemeli İGÖ kuralı çıktı verilerinin Otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayısı korelogramlarının görünümü.....	119
Ek Şekil 15.	Farklılık 2 için düzenlenmiş İGÖ kuralı çıktı verilerinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayısı korelogramlarının görünümü.....	120
Ek Şekil 16.	ENKISA kuralı için kısmi otokorelasyon katsayısı korelogramlarının görünümü.....	121
Ek Şekil 17.	Yinelemeli ENKISA kuralı için kısmi otokorelasyon katsayısı Korelogramlarının görünümü.....	121

Ek Şekil 18. İGÖ kuralı için kısmi otokorelasyon katsayısı korelogramlarının görünümü.....	122
Ek Şekil 19. Yinelemeli İGÖ kuralı için kısmi otokorelasyon katsayısı Korelogramlarının görünümü.....	122



TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo1. ENKISA'da ARIMA(1, 1, 0) Modeli.....	74
Tablo 2. ENKISA'da ARIMA(1, 1, 1) Modeli.....	74
Tablo3. ENKISA'da ARIMA(0, 1, 1) Modeli.....	75
Tablo 4. ENKISA'da ARIMA(2, 1, 0) Modeli.....	75
Tablo 5. ENKISA'da ARIMA(0, 1, 2) Modeli.....	76
Tablo 6. Yinelemeli ENKISA'da ARIMA(1, 1, 0) Modeli.....	77
Tablo 7. Yinelemeli ENKISA'da ARIMA(0, 1, 1) Modeli.....	78
Tablo 8. Yinelemeli ENKISA'da ARIMA(1, 1, 1) Modeli.....	78
Tablo 9. Yinelemeli ENKISA'da ARIMA(0, 1, 2) Modeli.....	79
Tablo 10. Yinelemeli ENKISA'da ARIMA(2, 1, 0) Modeli.....	79
Tablo 11. İGÖ'de ARIMA(1, 1, 0) Modeli.....	80
Tablo 12. İGÖ'de ARIMA(0, 1, 1) Modeli.....	81
Tablo 13. İGÖ'de ARIMA(0, 1, 2) Modeli.....	82
Tablo 14. İGÖ'de ARIMA(1, 1, 1) Modeli.....	82
Tablo 15. İGÖ'de ARIMA(2, 1, 0) Modeli.....	83
Tablo 16. Yinelemeli İGÖ'de ARIMA(1, 1, 0) Modeli.....	84
Tablo 17. Yinelemeli İGÖ'de ARIMA(0, 1, 1) Modeli.....	84
Tablo 18. Yinelemeli İGÖ'de ARIMA(0, 1, 2) Modeli.....	85
Tablo 19. Yinelemeli İGÖ'de ARIMA(1, 1, 1) Modeli.....	85
Tablo 20. Yinelemeli İGÖ'de ARIMA(2, 1, 0) Modeli.....	86
Tablo 21. Durağan olmayan veriler için model tahmini.....	87
Ek Tablo 1. İGÖ kuralı için çıktı verileri.....	92
Ek Tablo 2. ENKISA kuralı için çıktı verileri.....	99

SEMBOLLER DİZİNİ

AR: Otoregresiv

MA: Hareketli ortalama

ARMA : Karma model

ARIMA: Bütünleşik Model

$N(\mu, \sigma^2)$: μ ortalama, σ^2 varyans için normal dağılımlı rassal değişken

X_v^2 : ν serbestlik derecesinde kare rassal değişkeni

T_E : Durdurma zamanı

B: varyans tahmincisinde yanlılık,

S^2 Örnek varyansı

γ_k : kovaryans

γ_0 = kitle varyansı

ρ_k : otokorelasyon

W : iş akış zamanları

σ^2 : varyans

Lag: Gecikme

Corr : Korelasyon katsayısı

k : Gecikme zamanı

MSE : Ortalama hata kareleri

T : t testi için T oranı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Simülasyon yöneylem araştırmasının en fazla uygulama alanı bulan tekniklerinden biri olmaktadır. Simülasyon çalışmalarının amacı modellenen sistemin çeşitli parametre ve çalışma stratejileri ile davranışının incelenmesidir. Simülasyon modeli tarafından oluşturulan gözlemlerden sistem davranışını yansıtan performans ölçütleri için nokta ve aralık tahminlerinde bulunulur.

Simülasyon stokastik olduğu zaman simülasyon modelinin çıktılarından elde edilen gözlem değerleri rassal değişkenler olmaktadır. Çıktı değişkenleri rassal hatalarla hesap edildiğinden uygun bir istatistiksel analiz gereklidir. Bununla birlikte simülasyon hesaplarında model geliştirmeye büyük çaba harcanmasına rağmen çıktının istatistiksel değerlendirilmesine hiç önem verilmediği çeşitli yayınlarda vurgulanmaktadır.

Simülasyon tiplerine göre çıktı analizleri de farklı olmaktadır. Çıktı verilerinin analizinde önemli bir ayrım durdurmalı ve denge durumu simülasyonlar içindir. Bir başka ayrım da, simülasyon modelinin oluşturduğu gözlemlerin birbirinden bağımsız olması veya gözlem değerleri arasında bir ilişkinin varlığının kabul edilmesidir. Birinde analiz için klasik istatistiksel yöntemler kullanılırken, diğesinde parametre tahminleri için farklı zaman serisi yöntemleri kullanılmaktadır.

Simülasyon çalışmalarının son aşaması modelden alınan sonuçların gerçek sisteme uygulanmasıdır. Model davranışını eniyileyen çalışma stratejilerinin sistem davranışını da eniyilemesi çalışmanın amacıdır. Bu da büyük ölçüde simülasyon modelinin güvenilirliğine bağlı olmaktadır. Bir simülasyon modelinin güvenilir olması da modelin doğru ve geçerli olmasıyla sağlanır. Modelin doğruluğu ve geçerliliği için çalışmalar simülasyonun sadece son aşamasında yapılmaz. Adım adım simülasyonun gerçekleştirildiği tüm aşamalarda yapılır. Doğruluk ve geçerliliğin sınanması da güven aralıkları, hipotez testleri, zaman serileri gibi istatistiksel yöntemleri kullanmayı gerektirir [1,2].

Simülasyon çalışmasının başarısı büyük ölçüde doğruluk ve güvenilirlik çalışmalarıyla ölçülür. Sistem davranışını yansıtan performans ölçüleri için yansız nokta ve aralık tahminleri de modelin güvenilirliğini arttıracaktır. Bağımsız gözlemleri esas alan

klasik istatistik yöntemleri her simülasyon deneyi sonunda uygulanmaktadır. Yineleme, parti ortalaması ve yenileyici yöntemler de bağımlı gözlemlerden bağımsız gözlemleri elde edip klasik istatistiksel yöntemlerin uygulanmasını sağlarlar. Bağımlı gözlemleri esas alan ileri istatistik yöntemleri zaman serileri analizinin kullanımını gerektirmektedir. Simülasyon çıktılarının analizinde, bu konuda yapılan çalışmalara yayınlarda daha az rastlanmaktadır. Bu çalışmada, daha önce yapılmış simülasyon çalışmasından elde edilen çıktı verileri için zaman serileri analizi kullanılmıştır. MINITAB istatistik paket programı kullanılarak çıktı verilerinin analizi yapılmıştır. Çalışmada, gözlemleri istatistiksel olarak bağımlı olan zaman serilerinde uygulanan bütünleşik yaklaşım ARIMA yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin uygulanması ve alınan sonuçlar tanıtılmıştır.

1.2. Tez Çalışmasının Amacı, Bilimsel ve Pratik Önemi

Bu tez çalışmasının amacı atölye tipi üretim sisteminin simülasyonundan elde edilen çıktı verilerinin, zaman serilerine uygulanan ARIMA yöntemiyle analiz edilmesidir. Bütünleşik yaklaşım ARIMA otoregresiv süreç ve hareketli ortalama sürecini içermektedir. Yöntemin esası çıktı verilerine uyan otoregresiv model veya hareketli ortama süreci modelini bulmak ve modelden çıktı verileri için nokta ve aralık tahminleri yapmaktır. Yöntem uygulamada uygun otoregresiv model veya hareketli ortalama süreci modeli bulamazsa, bütünleşik modeli kullanır. Bütünleşik model ARIMA' dan bulunan gözlem değerlerine uyan modelden yapılan tahminlerle güven aralıkları belirlenir.

Atölye tipi üretim sisteminin eniyilenmesinde sistem davranışını yansıtan kuyrukta bekleyen iş sayısı, kuyrukta bekleyen iş hacmi, iş akış zamanları, sipariş gecikme zamanları (teslim tarihi) gibi performans ölçütleri tanımlanmaktadır. Bu performans ölçütleri için ilerleyen simülasyon zamanında sabit veya rassal aralıklarda gözlem değerleri elde edilir. Simülasyon çalışmasının geçerliliğinde, performans ölçütleri için elde edilen gözlem değerlerinin tipinin bilinmesi önemli olmaktadır. Yukarıda anıldığı gibi bu konuda ilk ayırım gözlem değerlerinin bağımlı veya bağımsız oluşudur. Atölye tipi üretim sisteminden elde edilen gözlem değerleri çoğunlukla birbiriyle ilişkilidir. Örneğin (t) anında kuyrukta bekleyen iş sayısı (t-1) anında kuyrukta bekleyen iş sayısına bağımlıdır. Performans ölçülerinin yansız tahmini, gözlem değerlerinin tipinin doğru belirlenmesini ve buna uygun istatistiksel analizlerin kullanımını gerektirir. Gözlem değerleri arasındaki ilişki bir kovaryans serisi ile belirlenir. Bu güne kadar yapılan çalışmalarda atölye tipi

üretim sistemi çıktılarının analizi için bağımsız gözlemleri esas alan klasik istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Bu çalışmada bunun devamı olarak bağımsız gözlemleri esas alan ileri istatistik yöntemleri kullanılmıştır.

Gözlem değerlerinin tipinin belirlenmesinde ikinci bir ayrım durağan veya durağan olmayan zaman serileridir. Bu ayrım durdurmalı ve denge durumu simülasyon çıktılarının analizi şeklinde yapılır. Başlangıç değerlerinin neden olduğu durağan olmayan bölümün analiz dışı bırakılmasıyla ilgili çalışmalar daha önce yapılmıştır [3]. İş yükü derecesinin 1 den büyük olduğu simülasyon çalışmaları gibi durumlarda, durağanlık sağlanamadığından durdurmalı simülasyon için çıktı analizi yapılmaktadır. Bütünleşik yaklaşım ARIMA durağan olmayan serileri farklı yaklaşımlarla durağan seriye çevirmektedir. Durağan zaman serilerinden de performans ölçüleri için yansız tahminler yapılabilmektedir.

1.3. Literatür Araştırması

Literatürde simülasyon çıktıların analizi konusunda pek çok çalışma bulunmaktadır. Seila'nın [4] yapmış olduğu çalışmada simülasyonla üretilen verilerin analizi için yöntemler yeniden gözden geçirilmiştir. Çıktı analizinin amaçları ve başvuru istatistik yöntemler için ihtiyaç duyulan örnekler tartışılmıştır. Ayrıca durdurmalı ve denge durumu simülasyonlarında parametrelerin tahmini için yöntemler sunulmuştur. Çok değişkenli tahmin teknikleri tartışılmış ve çıktı analizine ilişkin bazı pratik tavsiyelerde bulunulmuştur [4].

Bu konuda yapılan diğer bir çalışmada simülasyon modelleri için koşum dizaynlarında kullanılan yöntemler ve çıktıların yorumları tanımlanmıştır. İstatistiksel yöntemler mukayese, varyans azaltımı, duyarlı tahmin, metamodel gibi amaçlar için tanımlanmıştır [5].

1996 yılında Banks'ın yaptığı çalışmada çıktıda oluşan performans ölçülerinde değişimi tanımlayan bir örnek verilmiştir. Simülasyon çıktılarından gerçek güven aralıkları geliştirilerek kullanılmıştır. Çıktı özelliklerinin tanımlanması yapılmış ve beş tane simülasyon yazılım ürününün uygunluğu yapılmıştır. Bu makale simülasyon çıktı analizlerine dikkat çekmek ve simülasyon yazılımında uygunluğunu desteklemek için yazılmıştır [6].

B. W. Schmeiser ve W. T. Song 'un yapmış olduğu diğer bir çalışmada denge durumu simülasyon denemeleri için nokta tahmincisine karar vermek için parti yöntemi

kullanılmıştır. Sonuç olarak nokta tahmincisinin şeklini, parti istatistiklerinin tanımını, parti istatistikleri tahmincisinin şeklini, en iyi parti büyüklüğünü ve karar verilen parti büyüklüğünü özetlemiştir [7].

J.S. Carson'nun yapmış olduğu çalışmada ise otostat paket programı ile simülasyon model denemeleri ve çıktıların istatistiksel analizleri desteklenmiştir. Bu paket program yinelemeli çıktıların birleştirilmesine, koşumların otomatik uygulanmasına ve koşumların kurulmasına yardım etmiştir. Otostat ile koşumlar, girdi ve çıktı dosyalarının düzenlenmesi, sonuçların birleştirilmesi ve analizlerin nakledilmesi kolaylaşmıştır [8].

Law'ın tanıttığı çalışmada çıktı verilerinin analizi açısından simülasyon hesapları iki gruba ayrılmıştır. Durdurmalı simülasyon hesapları ve denge durumu simülasyon hesapları. Dengeye erişmenin mümkün olmadığı durumlarda yapılacak durdurmalı simülasyon hesapları için, aynı koşullarda yapılacak birden fazla yinelemeyi önermektedir. Tek simülasyon deneyi çıktısına dayalı yorumlar yerine birden fazla deney sonunda nokta ve aralık tahminleri yapılmaktadır [9].

Çıktı analizinde başlangıç koşullarının neden olduğu istatistiksel yanlılığı ortadan kaldırmanın bir yolu, durağan ve durağan olmayan bölümün gözlemlerini birbirinden ayırmaktır. "Budama" olarak tanımlanan durağan olmayan bölümün analiz dışı bırakılması işlemi sezgisel ve analitik algoritmalarla yapılabilmektedir. Dinçmen, Çebi ve Öztürkoğlu [3] tarafından yapılan çalışmada 6 algoritma ele alınmıştır. Simülasyon çıktısının budama noktasını bulmada bu algoritmalar kullanılmış ve sonuçları tanıtılmıştır. Yine bu çalışmada algoritmaların genel karşılaştırılmaları da yapılmıştır.

Gordon 1 ve Gordon 2 de çıktı gözlemlerinin durağan bölümünü belirlemede kullanılan algoritmalarıdır. Gordon 1 algoritmasında simülasyon süresine bağlı birikimli ortalama değerler hesaplanmaktadır. Bu değer dengeye geldiği görüntüsünü veren an budama noktası olmaktadır. Her biri n uzunluğunda k tane simülasyon hesabına dayalı çizilecek $\log S(n) - \log n$ grafiğinde $-\frac{1}{2}$ eğime geçiş noktası Gordon 2 algoritmasında budama noktası olarak önerilmektedir. Yine aynı yazar tarafından ilişkili gözlem değerleri için zaman serisi yöntemleri tanıtılmaktadır [10].

1.4. Kesikli Sistem Simülasyonu

Karmaşık problemlerin çözümü için uygun bir araç olan simülasyon, gerçek ve düşünsel bir sistemin modelinin kurulması ve model üzerinde deneyler yapılması olarak tanımlanır. Simülasyon modellerinin analitik yöntemlerden çok sayısal yöntemlerle analizi yapılır. Analitik yöntemler modelin çözümü için matematiğin tümden gelimli mantığını kullanır. Sayısal yöntemlerin kullanıldığı simülasyon modellerinde, modeller çözülmez koşuturulur. Koşumdan elde edilen gözlemler gerçek sistemin performans ölçülerini tahmin ve analiz etmek için toplanır.

Sistem sınıflandırmalarına bağılı olarak birbirlerini de içerebilen aşağıdaki sistem simülasyonları verilebilir;

1)Dinamik Sistem Simülasyonu

Dinamik sistem modellerinde, model değişkenleri arasında zamana bağılı etkileşimler incelenir. Kuyruk sistemlerinin simülasyonu örneğinde olduğu gibi.

2) Statik Sistem Simülasyonu

Statik simülasyon modellerinde zamanın bir fonksiyonu olarak herhangi bir etkileşim niteliği görülmez. Değişkenler arası ilişkiler, belirli bir süre için sabit varsayılır.

3) Deterministik Sistem Simülasyonu

Sistem değişkenleri rassal özellikler göstermediğinde söz konusudur. Veya rassal özellikler bulunsa bile problemin çözümünü kolaylaştırmak amacıyla göz önüne alınmaz. Olasılık dağılımları yerine, ortalama beklenen değerler kullanılır.

4) Stokastik Sistem Simülasyonu

Stokastik sistemlerde zamana göre olasılık dağılımı söz konusudur. Sistem öğelerinden en az biri rassal olarak değişir. Gerçek sistem davranışlarında çoğunlukla rassal özellik gözlemlendiğinden, stokastik sistem simülasyonunda rassal sayılar üretilerek deneyler yapılır.

5) Sürekli Sistem Simülasyonu

Sistem değişkenleri zamana bağılı sürekli fonksiyonlarla ifade edilmektedir. Örneğin; bir borudan su akışı gibi.

6) Kesikli Sistem Simülasyonu

Sistem değişkenleri zamana bağılı süreksiz fonksiyonlarla ifade edilmektedir. Üretim sistemlerinin simülasyonu tipik bir örneği olmaktadır.

Analizi yapılacak simülasyon çıktı verileri (gözlemler) kesikli stokastik sistem tanımına uygun atölye tipi üretim sistemi simülasyon modelinden elde edilmiştir. Böyle bir simülasyon çalışması Şekil 1. deki aşamaların gerçekleştirilmesiyle sağlanır [11].

1. Problemin tanımlanması ve çalışmanın planlanması

- Üzerinde çalışılacak nesnelerin belirlenmesi
- Modelleneyecek sistemin, sistem sınırlarının ve çevresinin tanımlanması
- Seçenek sistem tasarımlarının karşılaştırılması için ölçütlerin belirlenmesi

2. Verilerin toplanması ve modelin tanımlanması

- Eğer varsa giriş parametrelerinin ve olasılık dağılımlarının belirlenmesi için ilgili sistem üzerinden verilerin toplanması. (Örneğin; makina tamir sürelerinin dağılımı gibi)
- Modelin geçerliliği için sistem performansı ile ilgili verilerin toplanması.
- Modelin ayrıntı düzeyinin çalışma nesneleriyle belirlenmesi.

3. Geçerli mi?

- Model kurma projesinde, sistem operatörleri ile yakın ilişkide olan kişiler olmalıdır. (Örneğin makina operatörleri, endüstri mühendisi gibi).
- Analizlerin düzenli olarak karar vericilerle etkileşimli olması.

4. Bilgisayar programının yapımı ve doğruluğu.

- Genel amaçlı bir dile veya simülasyon diline karar verilmesi.
- Modeli hatalardan arındırmak için adım adım yürütümün oluşturulması ve izlenmesi.

5. Sınama için deney

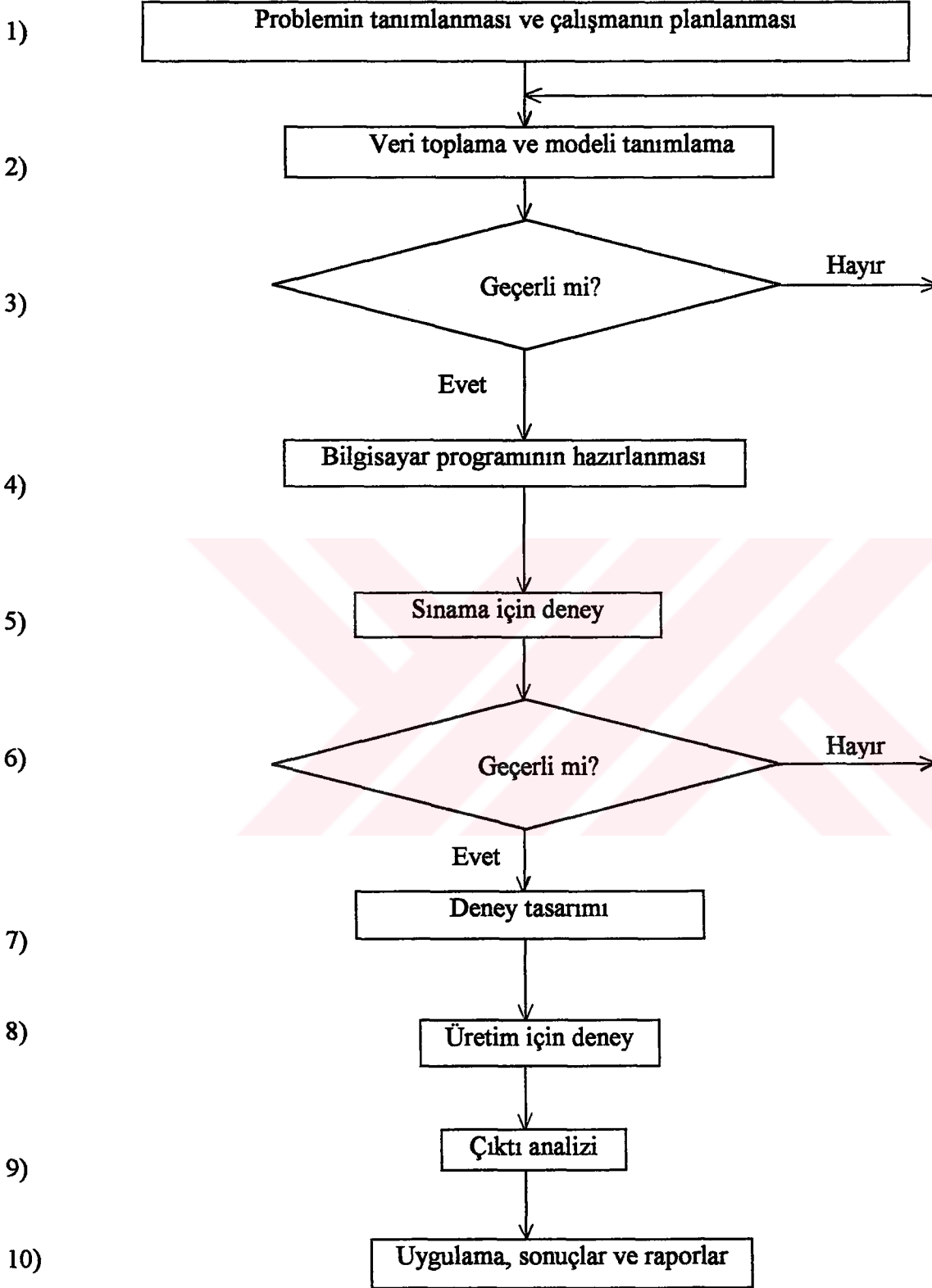
- Aşama 6'daki amacın geçerliliği için kullanılması

6. Geçerli mi ?

- Bir giriş parametresindeki küçük bir değişiklik ile model çıktısının duyarlılığını test etmek için sınama deneyinin yapılması.
- Ele alınan sistemin çıktı verisi ile aynı sistemin sınama deneyindeki çıktı verisinin karşılaştırılması.

7. Deneylerin tasarımı

- Simülasyonu yapılacak sistem tasarımlarının belirlenmesi.
- Her bir seçenek için bağımsız simülasyon deney sayısının belirlenmesi.
- Deney sürelerinin belirlenmesi.



Şekil 1. Simülasyon çalışmasında aşamalar.

- Her bir simülasyon deneyi için başlangıç koşullarının belirlenmesi

8. Üretim için deneylerin yapılması

- Aşama 7'de belirlenen simülasyon deneylerinin yapılması.

9. Çıktı verisinin analizi

- Belli (özel) bir sistem tasarımı için performans ölçülerinin tahmini.

- Bazı performans ölçümlerine göre en iyi sistem tasarımının belirlenmesi.

10. Uygulama sonuçları ve raporlar

- Modelle ilgili varsayımların dökümü

- Uygulama sonuçlarının dökümü

1.5. Simülasyon Çıktılarının Analizi

Simülasyon çıktı verileri analiz yapılırken durdurmalı veya geçici simülasyonlar ile denge durumu simülasyonları arasında bir ayırım yapılmıştır. Durdurmalı bir simülasyonda belirlenen bir E olayı veya olayları tamamlandığında simülasyonun durdurulmasıyla verilen bir T_E zamanı boyunca koşturulması birdir. Örneğin simülasyonu yapılan sistemde iyi belirlenen başlangıç koşulları altında $T = 0$ 'da açılır ve durdurma zamanı T_E ' de kapanır. Durdurmalı sistemlerin simülasyonu yapılırken $T = 0$ ' da sistemin başlangıç koşulları belirlenmeli ve durma zamanı T_E veya alternatif olarak durma olayı E iyi tanımlanmalıdır.

Durdurmalı olmayan sistem, sürekli olarak koşturulan veya uzun zaman süreleri için koşturulan bir sistemdir. Diğer bir deyişle sistem başlangıç koşullarının, simülasyon hesabı süresinin o denli uzun olması sonucu, çıktı değerlerine artık etkili olmadığı simülasyon hesaplarıdır. Seyrek olarak kapatılan montaj hatları, çoğu farklı tiplerin sürekli olarak üretilmesi, telefon ve diğer iletişim sistemleri, hastane acil odaları, itfaiye, sürekli çalıştırılan bilgisayar sistemleri durdurmalı olmayan sistemlere örneklerdir.

Durdurmalı olmayan bir sistemin simülasyonu, analizci tarafından belirlenen başlangıç koşulları altında simülasyon zamanı $T = 0$ ' da başlar ve T_E zamanının belirlenen süresi için koşturulur. Başlangıç ve durma koşullarının belirlenmesine ilişkin problemler simülasyon araştırmacıları tarafından henüz tamamen çözülmemiştir. Genellikle analizciler denge durumu veya uzun koşturulan sistemlerin niteliklerinde çalışmayı isterler. Nitelikler $T=0$

da modelin başlangıç koşulları etkilemez. Bir denge durumu simülasyonu durdurmalı olmayan bir sistemin davranışını, uzun koşum veya denge durumu çalışmalarını amaçlar.

1.5.1. Performans Ölçüleri ve Diğer Tahminler

Bir simülasyon sistemi için θ (veya ϕ) gibi tahmini bir parametre düşünüldüğünde θ (veya ϕ)'nin bir nokta tahminine ve aralık tahminine sahip olması istenilir. Nokta tahmininin doğruluğunun bir ölçüsü aralık tahminin uzunluğudur. Simülasyon çıktı verisi θ tahmini için $\{Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n\}$ veya ϕ tahmini için $\{Y(t), 0 \leq t \leq T\}$ şeklindedir. Örneğin Y_i , i . müşteri için gecikme olabilir veya i . haftada toplam talep olabilir. $Y(t)$, t zamanındaki kuyruk uzunluğu olabilir. θ 'nın olağan ortalaması ϕ 'nin zaman ağırlıklı ortalama olduğu söylenebilir [12].

1.5.1.1. Nokta Tahmini

$\{Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n\}$ verisi için θ 'nin nokta tahmincisi aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$\hat{\theta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \quad (1)$$

$\hat{\theta}$, n örnek büyüklüğünde ortalamadır. $\hat{\theta}$ nokta tahmincisinin beklenen değer θ için yansız olduğu kabul edilirse;

$$E(\hat{\theta}) = \theta \quad (2a)$$

olur.

Genelde;

$$E(\hat{\theta}) = \theta + b \quad (2b)$$

ve

$$b = E(\hat{\theta}) - \theta$$

ise $\hat{\theta}$ nokta tahmininde yanlı olarak adlandırılır. Tahmincilerin yansız ($b = 0$) olması veya bu mümkün değilse θ 'nin büyüklüğüne bağlı olarak b 'nin mümkün olduğu kadar küçük

olması istenir. $\{Y(t), 0 \leq t \leq T\}$ verisi simülasyonun T koşma uzunluğunda ϕ 'nin nokta tahmincisi,

$$\hat{\phi} = \frac{1}{T} \int Y(t) dt \quad (3)$$

dir ve $[0, T]$ üzerinde $Y(t)$ 'nin zaman ortalaması olarak adlandırılır. Genelde;

$$E(\hat{\phi}) = \phi + b \quad (4)$$

ve $b = 0$ ise $\hat{\phi}$ 'nin ϕ için yansız olduğu söylenir. ϕ ve θ , simülasyonu yapılan sistemin performans ölçülerinin ortalaması dikkate alınır. Diğer ölçüler genellikle bu genel yapı içinde ifade edilebilir.

1.5.1.2. Aralık Tahmini

Yansızlığa oranla $\hat{\theta}$ (veya $\hat{\phi}$) nokta tahmincisinin varyans tahminin bir metodu geçerli aralık tahminini gerektirir. $\hat{\sigma}^2(\hat{\theta}) = \text{var}(\hat{\theta})$; $\hat{\theta}$ 'nin nokta tahminin doğru değişkenini gösterebilir ve $\sigma^2(\hat{\theta})$; $\{Y_1, \dots, Y_n\}$ verisinde $\hat{\sigma}^2(\hat{\theta})$ temelini tahminini gösterebilir.

$$E[\hat{\sigma}^2(\hat{\theta})] = B\sigma^2(\hat{\theta}) \quad (5)$$

B varyans tahmincisinde yanlılık diye tanımlanır. $\sigma^2(\hat{\theta})$ nokta tahmincisinin varyansının yansız tahmincisi olduğunun söylendiği $\hat{\sigma}^2(\hat{\theta})$ durumunda $B = 1$ olması arzu edilir. Eğer $\hat{\sigma}^2(\hat{\theta})$ yaklaşık olarak yansızsa ($B \approx 1$), tarafsız genel koşullar altında; istatistik

$$t = \frac{\hat{\theta} - \theta}{\hat{\sigma}(\hat{\theta})}$$

f serbestlik derecesi olmak üzere $t \approx t_f$ olarak gösterilen bazı sayılarla yaklaşık t dağılımlıdır. Bu nedenle θ için tahmini güven aralığı $\%100 (1-\alpha)$ güvenle verilir.

$$\hat{\theta} - t_{\alpha/2, f} \hat{\sigma}(\hat{\theta}) \leq \theta \leq \hat{\theta} + t_{\alpha/2, f} \hat{\sigma}(\hat{\theta}) \quad (6)$$

$t_{\alpha, f}$, f bağımsızlık derecesiyle t dağılımının %100(1- α) noktası $t_{\alpha, f}$ $O(t \geq t_{\alpha, f}) = \alpha$ ile tanımlanır. (1) veya (3) eşitsizliğinin ortalaması olan nokta tahmincisinin sağladığı (6) eşitsizliğindeki güven aralığı yaklaşık olarak doğru olacaktır ve yansız olarak ilişkilidir ($b \approx 0$). Ve $\sigma^2(\hat{\theta})$ için yaklaşık olarak $\hat{\sigma}^2(\hat{\theta})$ varyans tahmincisi yansızdır ($B \approx 0$).

Simülasyon çıktı analizinde önemli bir problem, nokta tahmincisinin varyansı $\sigma^2(\hat{\theta})$ 'nin yaklaşık olarak yansız tahmini içermesidir. İki durum vardır.

Durum 1: Şayet $\{Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n\}$ istatistiksel olarak bağımsız gözlemlerse klasik istatistiksel yöntemlere başvurulabilir. Bu durum Y_i , i yinelemesinin ve bağımsız olarak kullanılan örtüşmesiz rassal sayılar ve bağımsız olarak seçilen başlangıç koşullarıyla yapılan bütün yinelemeler çıktı ölçüleri için ortaya çıkar. Bu durumda (1) eşitliğinden θ hesaplanır ve sonra S^2 örnek varyansı hesaplanır.

$$S^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - \hat{\theta})^2}{n-1} \quad (7)$$

Y_i bağımsız ve benzer şekilde verilirken, örnek varyansı S^2 , $\sigma^2 = \text{var}(Y_i)$ kitle varyansının yansız tahmincisidir ($i=1, \dots, n$ bütün i 'ler için sabittir). $\hat{\theta}$ 'nin varyansı aşağıdaki şekildedir.

$$\sigma^2(\hat{\theta}) = \frac{\sigma^2}{n} \quad (8)$$

$\sigma^2(\hat{\theta})$ 'nin yansız tahmincisine $f=n-1$ serbestlik derecesi ile aşağıdaki formül geliştirilir.

$$\hat{\sigma}^2(\hat{\theta}) = \frac{S^2}{n} \quad (9)$$

Böylece (6) eşitsizliğinde verilen güven aralığı yansız $\hat{\theta}$ nokta tahmini için yaklaşık olarak geçerlidir. $\hat{\sigma}(\hat{\theta}) = \frac{S}{\sqrt{n}}$ şeklinde gösterilen $\hat{\theta}$ nokta tahmincisinin standart hatası olarak adlandırılır. Standart hata bir nokta tahmincisinin doğruluğunun ölçüsüdür.

Durum 2: $\{Y_1, \dots, Y_n\}$ ler istatistiksel olarak bağımsız değilse (9) eşitliğinde verilen S^2/n , $\sigma^2(\hat{\theta})$ nokta tahmincisinin doğru varyansının yanlış bir tahmincisidir. Tek yineleme içinden

çıktı gözlemlerinin serisi $\{Y_1, \dots, Y_n\}$ iken durum hemen hemen budur. Bu durumda Y_1, Y_2, \dots otokorelasyon serisidir.

Otokorelasyonun varyans tahminlerine etkisini sayısallaştırmak amacıyla zaman serileri olan Y_1, Y_2, \dots lerin ortalama θ ile kovaryans durağanı olduğunu varsayalım. Sezgisel olarak durağanlık istatistiksel bir özelliktir. Bu özellik Y_k 'nın Y_1 ile ilişkili olması gibi Y_{i+k} 'da Y_{i+1} ile olasılıklı olmasıdır. Eğer simüle edilen model denge durumunda ise çıktı serileri olası durağandır. Diğer taraftan değişken durumların simülasyonu yapılıyorsa Y_1, Y_2, \dots çıktıları durağan olmayabilir. Yukarı veya aşağı doğru eğilim gösteren herhangi bir veri durağan değildir.

Kovaryans sabitli zaman serileri için Y_1, Y_2, \dots gecikme k kovaryansı aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$\gamma_k = \text{cov}(Y_1, Y_{1+k}) = \text{cov}(Y_i, Y_{i+k}) \quad (10a)$$

$k=0$ için γ_k kitle varyansı olur ve;

$$\gamma_0 = \text{cov}(Y_i, Y_i) = \text{var}(Y_i) \quad (10b)$$

şeklinde ifade edilir. Gecikme k otokorelasyonu aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$\rho_k = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} \quad (11)$$

Gecikme k da herhangi iki gözlem arasındaki korelasyonu verir. Bu da

$$-1 \leq \rho_k \leq 1, \quad k=1, 2, \dots$$

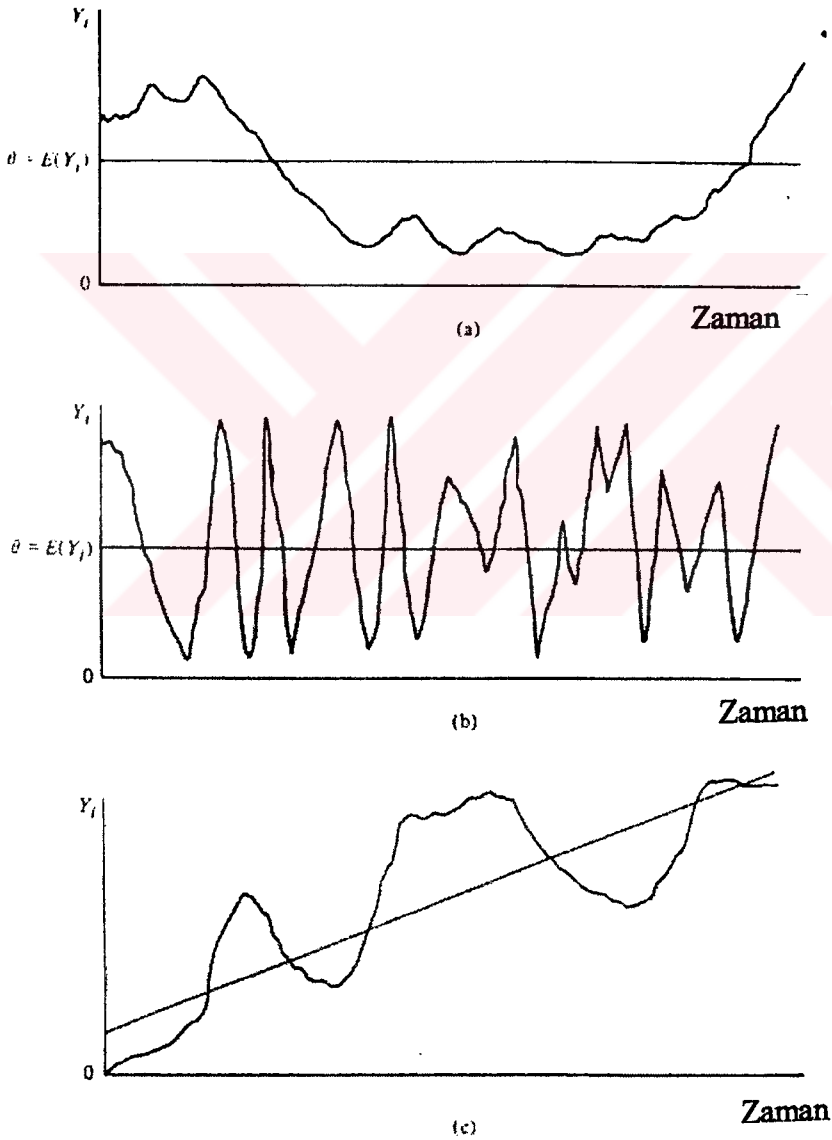
şeklinde gösterilir. Bütün k 'lar için $\rho_k > 0$ olduğunda serilerin kesin olarak otokorelasyonlu olduğu söylenir. Çoğu kuyruk simülasyonlarının çıktı verileri pozitif otokorelasyonludur. Diğer taraftan $\rho_k < 0$ ise Y_1, Y_2, \dots serileri negatif korelasyon karakterlerini gösterecektir. Kesin olan yatırım simülasyonlarının çıktıları bazen negatif otokorelasyon özelliği gösterir. İki hipotezli durağan seriler şekil 2. de gösterilmiştir. Şekil 2. c de yukarı doğru eğilim gösteren durağan olmayan zaman serilerine örnek olarak gösterilmiştir.

(1) eşitliğinde tanımlanan örnek ortalaması $\hat{\theta}$ ile kovaryans durağan zaman serileri Y_i için gösterecek olursak $\hat{\theta}$ 'nın varyansı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\sigma^2(\hat{\theta}) = \text{var}(\hat{\theta}) = \text{var}\left(\frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n}\right) = \frac{\gamma_0}{n} \left[1 + 2 \sum_{k=1}^n \left(1 - \frac{k}{n}\right) \rho_k\right] \quad (12)$$

(11) eşitliğinde ρ_k , gecikme k 'nın otokorelasyonudur ve γ_0 'da (10b) eşitliğinde ifade edilen kitle varyansdır. Eğer Y_i ' ler bağımsız gözlemler olsaydı o zaman $k=1, 2, 3, \dots$ için $\rho_k = 0$ ve (12) eşitliği benzer (8) eşitliği için indirgesidir.

$$E\left(\frac{S^2}{n}\right) = B\sigma^2(\hat{\theta}) \quad (13)$$



Şekil 2. a) Pozitif otokorelasyon için durağan zaman serileri
 b) Negatif otokorelasyon için durağan zaman serileri
 c) Artan trendli durağan olmayan zaman serileri

Burada;

$$B = \frac{(n/c) - 1}{n - 1} \quad (14)$$

ve c , (12) eşitliğindeki parantez içindeki sayısal ifadedir. S^2/n tahmincisinde korelasyonun etkisi (12) ve (14) eşitliklerinde bellidir. Zorunlu iki olanak vardır.

Durum 2a: Eğer ρ_k korelasyonu esas itibariyle pozitifse o zaman $c = 1 + 2 \sum_{k=1}^n [1 - (k/n)] \rho_k > 1$ ve buna bağlı olarak $n/c < n$ ve $B < 1$ dir. Bu durumda S^2/n , $\sigma^2(\hat{\theta})$ tahminindeki gibi düşük olduğu önyargısındadır. Eğer korelasyon ihmal edilirse (6) eşitsizliğinde verilen nominal % $100(1-\alpha)$ güven aralığı çok kısa olabilirdi ve gerçek güven katsayısı $1-\alpha$ 'dan küçük olabilirdi. Pratikteki etkisi, güven aralığının kısa olmasından dolayı nokta tahmininin doğruluğunu açık olarak göstermemesi olabilir. Eğer ρ_k korelasyonu büyük ise B , 0.5 veya 0.25 kadar veya daha küçük olabilir.

Durum 2b: Eğer ρ_k korelasyonu esasen negatifse $c < 1$ (her zaman $c \geq 0$ olmalıdır) ve $B > 1$ dir. Bu durumda S^2/n , $\sigma^2(\hat{\theta})$ için yüksek olduğu önyargısındadır. (6) eşitsizliğindeki nominal % $100(1-\alpha)$ güven aralığında gerçek güven katsayısı $1-\alpha$ 'dan büyük bir değere sahip olabilirdi. Diğer bir deyişle nokta tahmininin gerçek doğruluğu S^2/n varyans tahmincisi tarafından gösterilen değerden daha büyük olabilir. Böyle bir durumda;

$$\sigma^2(\hat{\theta}) < E(S^2/n)$$

dir. Bu hata ilk hatadan daha az öneme sahiptir. Çünkü negatif korelasyon olduğu zaman $\hat{\theta}$ tahmincisi S^2/n varyans tahmincisi tarafından gösterildikten sonra daha fazla doğrulukta bir eğilim gösterecektir.

1.5.2. Durdurmalı Simülasyon İçin Çıktı Analizi

Durdurmalı simülasyon, $[0, T_E]$ zaman aralığında yapılan koşumlarda Y_1, Y_2, \dots, Y_n gözlemlerinin oluştuğu deneylerdir. Örnek büyüklüğü n , sabit sayı veya simülasyonun durma anı olan T_E 'de oluşan gözlemlerin sayısı olarak rassal değişken olabilir.

Simülasyonun amacı performans ölçüleri için nokta veya aralık tahminlerinde bulunmaktır. Simülasyon modeli tarafından oluşturulan gözlemler bağımsız ve aynı dağılımlı iseler klasik istatistik nokta ve aralık tahmin türleri kullanılır. Simülasyon çıktısı gözlemleri genelde ilişkili olduklarından analizde klasik istatistik yöntemleri kullanılacak ise bağımsız gözlemler elde edilmelidir. Bunun için birden fazla deney yapılarak birbirinden bağımsız gözlemler ve normal dağıldığı varsayımından hareket edilir. Durdurmalı bir simülasyon deneyinin aynı başlangıç koşullarında R defa tekrar edildiği düşünölsün. Her tekrarda aynı rassal sayı dizisi kullanıldığından oluşan R sonuç dizisi birbirinden bağımsızdır. Y_{ri} , $i=1,2,\dots,n$ ve $r=1,2,\dots,R$ için r'inci yinelemenin i'inci gözlemi gösterir. Sabit bir r için Y_{r1}, Y_{r2},\dots gözlemleri otokorelasyon gösterse de, farklı yinelemeler için ($r \neq s$) Y_{ri} ve Y_{si} istatistiksel bağımsızdır. Örnek ortalaması $\hat{\theta}_r$ 'nin tanımı her yineleme için aynıdır.

$$\hat{\theta}_r = \frac{1}{n_r} \sum_{i=1}^{n_r} Y_{ri} \quad r=1, 2, \dots, R \quad (15)$$

R örnek ortalamaları $\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_R$ θ 'nin yansız tahmini için istatistiksel olarak bağımsız ve aynı dağılımlıdır.

Durdurmalı Simülasyonda Sabit Sayıda Yineleme İçin Güven Aralığı

Yineleme yöntemi her biri n uzunluğunda R simülasyon çıktısının elde edilmesi olarak tanımlanabilir. $\hat{\theta}_R$ 'ler bağımsız ve aynı dağılımlı olduklarından $\hat{\theta}$ nokta tahmini,

$$\hat{\theta} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \hat{\theta}_r \quad (16)$$

ve $\hat{\theta}$ 'nin varyans tahmini aşağıdaki gibidir.

$$\hat{\sigma}^2(\hat{\theta}) = \frac{1}{(R-1)R} \sum_{r=1}^R (\hat{\theta}_r - \hat{\theta})^2 \quad (17)$$

$f=R-1$ serbestlik derecesiyle $\%100(1-\alpha)$ lik güven aralığı, $\hat{\sigma}(\hat{\theta}) = \sqrt{\hat{\sigma}^2(\hat{\theta})}$ $\hat{\theta}$ nokta tahmininin standart hatasını göstermek üzere;

$$\hat{\theta} - t_{\alpha/2;f} \hat{\sigma}(\hat{\theta}) \leq \theta \leq \hat{\theta} + t_{\alpha/2;f} \hat{\sigma}(\hat{\theta}) \quad (18)$$

şeklindedir. $\hat{\sigma}(\hat{\theta})$ büyüklüğü θ 'nın nokta tahmincisi $\hat{\theta}$ 'nın doğruluğunun bir ölçüsüdür. R büyüdükçe $\hat{\sigma}(\hat{\theta})$ standart hatası o kadar küçülür ve sıfıra yaklaşır.

Eğer çıktı verileri $\{Y_r(t), 0 \leq t \leq T_E\}$, $r=1, 2, \dots, R$ şeklinde ise R yineleme için (15), (16) ve (17) eşitliklerine benzer şekilde hesaplanır.

$$\hat{\phi}_r = \frac{1}{T_E} \int_0^{T_E} Y_r(t) dt, \quad r=1, 2, \dots, R,$$

$$\hat{\phi} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \hat{\phi}_r$$

$$\hat{\sigma}^2(\hat{\phi}) = \frac{1}{(R-1)R} \sum_{r=1}^R (\hat{\phi}_r - \hat{\phi})^2$$

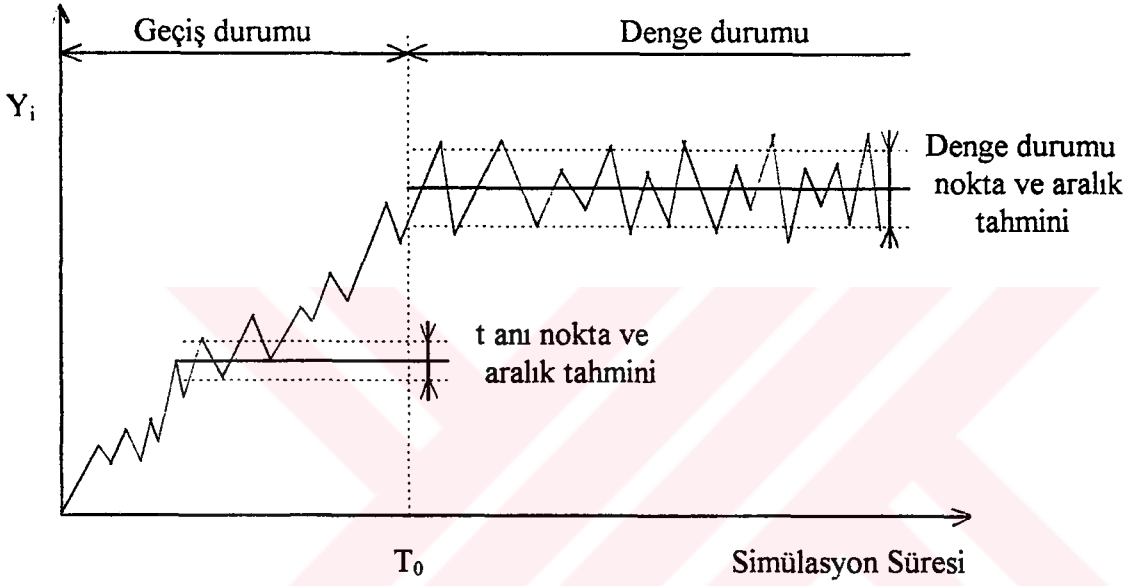
Güven aralığı (18) eşitsizliğindeki gibidir.

$$\phi = E\left(\frac{1}{T_E} \int_0^{T_E} Y_r(t) dt\right)$$

şeklinde tanımlandığında $\hat{\phi}$, ϕ 'nin yansız nokta tahmincisidir. $\hat{\phi}_1, \dots, \hat{\phi}_R$ ler istatistiksel bağımsızdır. $Y_r(t)$ aynı dağılımlı bütün r 'ler için ϕ bağımsızdır ve $\hat{\sigma}^2(\hat{\phi}) = \text{var}(\hat{\phi})$ 'nin yansız tahmincisidir. (18) deki eşitsizliğin güven aralığı $f=R-1$ serbestlik derecesi için geçerlidir.

1.5.3. Denge Durumu Simülasyonu İçin Çıktı Analizi

Modellenen sistemin simülasyonu yapılırken, model parametreleri için başlangıç değerleri seçilmelidir. Başlangıç değerlerinin gözlemlere ait kararlı durum olasılık dağılımına uygun olması arzu edilir. Bu dağılıma ait bilgi simülasyon kullanım nedenini oluşturduğundan başlangıçta bilinmemektedir. Bir simülasyonda yapay ve gerçek dışı başlangıç koşullarının kullanımı denge durumuna erişilmeden önce bir geçiş dönemi gösterir (Şekil 3.).



Şekil 3. Simülasyon çıktılarındaki başlangıç yanlılığının etkisi ve denge durumu

Başlangıç koşullarının neden olduğu yanlılığı, ortaya çıkan nokta tahmin hatasını azaltmanın çeşitli yöntemleri vardır.

Yöntem 1: Sisteme ilişkin verilerin toplanması (eğer mevcut ise) ve bu verilerin uygun başlangıç koşullarının belirtilmesinde kullanılması yöntemidir. Bu yöntem veri toplama önemli bir çabayı gerektirir. Hatta modellenen sistem gerçekte oluşmamış ise bu yöntemin kullanımı mümkün değildir. Bunlara rağmen simülasyoncular, $t=0$ anında sistemin boş olduğu varsaymaktan daha iyi olan varolan sistemler üzerinde mevcut olan verileri kullanmalıdırlar.

Yöntem 2: Yapay ve gerçek dışı başlangıç koşullarının neden olduğu yanlılığı azaltmanın ikinci bir yolu, yeterince uzun simülasyon koşulları yapmaktır. Büyük T_E değerlerinde, başlangıç yanlılığının etkisi azaltılmaktadır. Bunun da yetersiz bellek, fazla koşul maliyeti gibi sakıncaları vardır.

Yöntem 3: Başlangıç koşullarının neden olduğu istatistiksel taraflılığı kaldırmanın bir yolu da, her bir simülasyonu iki aşamada çalışacak şekilde ayırmaktır (şekil 3.). Birinci aşama $t = 0$ anından T_0 anına kadar olan başlangıç aşamasıdır. İkinci aşama ise birinciyi takip edecek şekilde T_0 anında başlar. T_E anında biter. Bu şekilde durağan ve durağan olmayan gözlemler birbirinden ayrılmış olur. Tahminler için gözlemlerin sadece durağan bölümü analizde kullanılır. “ Budama “ olarak tanımlanan gözlemlerin başlangıç koşullarının etkilerini taşıyan bölümün analiz dışı bırakılması işlemine burada yer verilmeyecektir. Budama noktasının sezgisel ve analitik algoritmalarla bulunması bir çok çalışmada tanıtılmaktadır [3,10].

Denge Durumu Simülasyonunda Güven Aralığı

Denge durumu analizi için simülasyon literatürde beş yöntem önerilmiştir [9, 13] . Bunlar iki sınıfa bölünebilir.

1. Bağımsız gözlemleri esas olan bilinen klasik istatistik yöntemler

- Yineleme (Replication)
- Parti ortalaması (Batch - Means)
- Yenileyici yöntem (Regenerative yöntem)

2. Zaman serileri analizi, ileri istatistik yöntemleri gerektirir.

- Spektral analiz
- Otoregresiv analiz

1.5.3.1. Bağımsız Gözlemleri Esas Alan Klasik İstatistik Yöntemleri

Simülasyon çıktılarının analizinde klasik istatistik yöntemleri kullanılacak ise bağımsız gözlemler elde edilmelidir. Bağımsız gözlemlerin elde edilmesinde ve istenen tahminlerin elde edilmesinde üç yaklaşım bulunmaktadır.

1.5.3.1.1. Yineleme Yöntemi

Eğer nokta tahminindeki başlangıç hatası önemsiz bir seviyeye indirilebilirse güven aralığının elde edilmesinde bağımsız yineleme yöntemi uygulanabilir.

Eğer toplam n tane gözlemden d tanesinin silinmesine karar verilirse, θ 'nın nokta tahmini $Y_{r1}, \dots, Y_{r,(n-d)}$ bağımsız, durağan veri dizisi içindir. Esas çıktı verisi $\{Y_{ri}, r=1, \dots, R; i=1, \dots, n\}$ şeklindedir. Budama noktasına kadar olan d silinmiş gözlem sayısı ve gözlem sayısı her yinelemede farklılık gösterir. Kolaylık için her yinelemede d ve n 'nin sabit olduğu kabul edilir. Yineleme yöntemi kullanılırken θ 'yı tahmin etmek için her yineleme ortalaması tek bir gözlem sayılacaktır.

$$\hat{\theta}_{r,(n,d)} = \frac{1}{n-d} \sum_{i=1}^{n-d} Y_{ri} \quad r=1, \dots, R \quad (19)$$

$\hat{\theta}_{1,(n,d)}, \dots, \hat{\theta}_{R,(n,d)}$ birbirinden bağımsız, aynı dağılımlı rassal değişkenlerdir. θ 'nın nokta tahmini

$$\hat{\theta}_{n,d} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \hat{\theta}_{r,i} \quad \text{ve} \quad \theta_{n,d} = E[\hat{\theta}_{r,(n,d)}] \quad (20)$$

Eğer d ve n yeterince büyük seçilirse $\theta_{n,d} \approx \theta$ ve $\hat{\theta}_{n,d}$ de yaklaşık olarak θ 'nın yansız tahmini olur. $\hat{\theta}_{n,d}$ 'deki yanlılık $b = \hat{\theta}_{n,d} - \theta$ dir.

Bölüm 1.5.1. dekine benzer şekilde varyans tahmini ve güven aralığı aşağıdaki şekildedir.

$$\hat{\sigma}^2(\hat{\theta}_{n,d}) = \frac{1}{(R-1)R} \sum_{r=1}^R (\hat{\theta}_{r,(n,d)} - \hat{\theta}_{n,d})^2$$

ve $\hat{\sigma}(\hat{\theta}_{n,d}) = \sqrt{\hat{\sigma}^2(\hat{\theta}_{n,d})}$ niteliği, $\hat{\theta}_{n,d}$ nokta tahmininin standart hatası olarak tanımlanır. θ için %100(1- α) lık güven aralığı

$$\hat{\theta}_{n,d} - t_{\alpha/2,f} \hat{\sigma}(\hat{\theta}_{n,d}) \leq \theta \leq \hat{\theta}_{n,d} + t_{\alpha/2,f} \hat{\sigma}(\hat{\theta}_{n,d}) \quad \text{olur.}$$

$t_{\alpha/2,f}$ t dağılımının $f=R-1$ serbestlik derecesinde %100(1- α) noktasıdır. Bu güven aralığı $\hat{\theta}_{n,d}$ 'nin taraflılığı b 'nin yaklaşık sıfır olduğu sürece geçerlidir.

1.5.3.1.2. Parti Ortalaması Yöntemi

Parti ortalaması yöntemi n uzunluğunda bir simülasyon çıktısını m eşit gözlemden oluşan R adet partiye bölme olarak tanımlanır. d budama noktasına kadar olan gözlem sayısı olmak üzere ;

$R = \frac{n-d}{m}$ parti sayısını gösterir. $Y_1, Y_2, \dots, Y_d, \dots, Y_n$ simülasyonun esas çıktı verisi

olmak üzere Y_d, Y_{d+1}, \dots, Y_n denge durumu gözlem değerleridir.

$$\hat{\theta}_r = \frac{Y_{d+(r-1)m+1} + \dots + Y_{d+rm}}{m} \quad r=1, \dots, R$$

Eğer $\hat{\theta}_r$ r inci partideki m gözlemin ortalaması ise m yeteri kadar büyük seçilirse Y_r 'lerin ilişkisiz olması gerekir. $\hat{\theta}_r$ ler bağımsız ve aynı dağılımlıdır. Bu nedenle bölüm 5.1.1. deki nokta ve aralık tahminleri kullanılır. Güven aralığı da bilinen klasik istatistik yöntemleriyle elde edilir.

$$\theta = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \hat{\theta}_r$$

$$\hat{\sigma}^2(\hat{\theta}) = \frac{1}{(R-1)R} \sum_{r=1}^R (\hat{\theta}_r - \hat{\theta})^2 \quad \hat{\sigma}(\hat{\theta}) = \sqrt{\hat{\sigma}^2(\hat{\theta})}$$

$$\hat{\theta} - t_{\alpha/2, f} \hat{\sigma}(\hat{\theta}) \leq \theta \leq \hat{\theta} + t_{\alpha/2, f} \hat{\sigma}(\hat{\theta})$$

$f=R-1$ serbestlik derecesi ile $\%100(1-\alpha)$ lık güven aralığıdır. Analiz için çıktı gözlemlerini partilere bölmeden geçici durum gözlemleri çıkarılır. Bu şekilde $\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_R$ ler θ 'nın yansız tahmincisi olacaktır.

1.5.3.1.3. Yenileyici Yöntem

Bir çok süreksiz sistemler belirli aralıklarla kendilerini yenilerler. Diğer bir deyişle belli bir dizi parametre, gözlem aynen bir süre sonra da gözlenir. Bu tür sistemlere regenerative (kendini yenileyen) sistemler adı verilir. Aynı dizinin gözlenmeye başladığı anlara “regenerasyon noktaları” adı verilir. İki regenerasyon noktası arasında sistem bir “tur” yapar. Bir turun süresine dönem adı verilir. Atölye tipi üretimde iş yükü derecesi $\rho < 1$ durumunda (iş girişi-işleme alınma-işlenme-iş bitişiyeni iş girişinin beklenmesi-iş girişi) şeklinde turlar oluşur. Genelde sistemin herhangi bir turdaki davranışı diğer herhangi bir turdaki davranışından farklıdır. Bunun sonucu turlardan alınan herhangi bir istatistiksel gözlem birbirinden bağımsız ve aynı dağılımdan alınmış kabul edilebilir. Bir atölye tipi üretim sisteminin sonuçları P tam tur vermiş olsun. Y_j j. turdaki iş akış zamanları toplamı, n_j j. turdaki işlem gören iş sayısı olsun. Akış zamanları regenerasyon prensibine göre Y_j ve n_j birbirinden bağımsız ve aynı tür dağılımın ögeleridirler. Turlar bir anlık göz ardı edildiğinde eldeki N gözlemin iş akış zamanı değerleri W_1, W_2, \dots, W_N alınırsa

$$\bar{W} = \frac{W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_N}{N} \text{ dir.}$$

Tek tek alınmış iş akış zamanlarının bu kez turlar içinde varlığı düşünüldüğünde;

$$\bar{W} = \frac{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_p}{n_1 + n_2 + \dots + n_p} \text{ yazılabilir.}$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p Y_j \text{ ve } \bar{n} = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p n_j \text{ tanımı ile ortalama iş akış zamanının nokta tahmini } \hat{W} = \frac{\bar{Y}}{\bar{n}}$$

olur.

\bar{Y} ve \bar{n} , $E(Y)$ ve $E(n)$ 'nin yansız tahminleri sayılsa da \hat{W} W'nin yansız tahminçisi değildir. $\hat{W} \rightarrow W$ $p \rightarrow \infty$ için \hat{W} , W'nin kuvvetli bir tahminçisidir. W için güven aralığının bulunmasında $V_j = Y_j - Wn_j$ değişkeni tanımlanır. W değeri bilinmeyen bir sabittir. V_j iki rastlantı değişkeni ile $(Y_j - Wn_j)$ doğrusal ilişki içindedir. Y_j ve n_j bağımsız

aynı dağılımlı rassal değişkenler olduğundan V_j de bağımsız aynı dağılımlı rassal değişken olur. Ortalaması 0 ve varyansı;

$$\sigma_v^2 = \sigma_{11} - 2W\sigma_{12} + W^2\sigma_{22} \text{ dir.}$$

O halde eğer $0 < \sigma_v^2 < \alpha$ ise merkezi limit teoremi uygulanabilir. Beklenen değer sıfır

olduğundan standardizasyon değişkeni ($u = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma^2}$, $\bar{x} \sim N(\mu, \frac{\sigma^2}{n})$, $\frac{\bar{V}}{\sqrt{\frac{\sigma_v^2}{p}}} \rightarrow N(0,1)$)

yazılabilir.

\hat{V} 'nın p turda varyans tahmini $\hat{\sigma}_v^2$ olursa ;

$$\hat{\sigma}_v^2 = \hat{\sigma}_{11} - 2\hat{W}\hat{\sigma}_{12} + \hat{W}^2\hat{\sigma}_{22} \text{ ispat edilebilir.}$$

σ_{11}^2 : Y_j 'lerin varyansı

σ_{22}^2 : n_j 'lerin varyansı

σ_{12}^2 : (Y_j, n_j) kovaryansı

$$\sigma_{12} = E \{ [Y_j - E(Y_j)][n_j - E(n_j)] \}$$

$$O \left(-Z_{1-\alpha/2} \leq \frac{\bar{V}}{\sqrt{\frac{\hat{\sigma}_v^2}{p}}} \leq Z_{1-\alpha/2} \right) = 1-\alpha, \quad \bar{V} = \bar{Y} - W\bar{n}$$

$$O \left(-Z_{1-\alpha/2} \leq \frac{\bar{Y} - W\bar{n}}{\sqrt{\frac{\hat{\sigma}_v^2}{p}}} \leq Z_{1-\alpha/2} \right) = 1-\alpha$$

$$O \left(\frac{\bar{Y}}{\bar{n}} + \frac{Z_{1-\alpha/2}\sqrt{\hat{\sigma}_v^2/p}}{\bar{n}} \geq W \geq \frac{\bar{Y}}{\bar{n}} - \frac{Z_{1-\alpha/2}\sqrt{\hat{\sigma}_v^2/p}}{\bar{n}} \right) = 1-\alpha$$

$$\hat{W} = \frac{\bar{Y}}{\bar{n}}$$

$$\hat{W} - \frac{Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\hat{\sigma}_v^2 / p}}{\bar{n}} \leq W \leq \hat{W} + \frac{Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\hat{\sigma}_v^2 / p}}{\bar{n}}$$

W için %100(1- α) lık güven aralığıdır [14].

1.5.3.2. Bağımlı Gözlemleri Esas Alan İleri İstatistik Yöntemleri

Tanıtilen üç yöntem (Yineleme = replication, parti ortalama=batch means, yenileyici yöntem = regenerative yöntem) prensip olarak birbirinden bağımsız gözlemler elde edip klasik istatistiksel yöntemlerin uygulanmasını sağlamaktalar. Diğer bir yaklaşım şekli gözlem değerleri arasında bir ilişki varlığını kabul ederek gözlem ortalaması varyansının kestiriminde kullanılan zaman serisi yöntemleridir [15]. Simülasyonda zaman serisi yöntemini uygulamak için tek simülasyon hesabı sırasında eşit aralıklarla alınan gözlemlerden hareket edilir. Gözlemlerin birim aralıklarla alındığını ve simülasyon hesabının T birim aralığı kadar sürdüğünü düşünürsek T tane gözlem değeri elde etmiş olacağız. Gözlem değerleri arasındaki ilişki bir kovaryans serisi ile belirlenir. İki değişken arasındaki kovaryans değişkenlerinin ölçülmesinde kullanılan birimlere bağlıdır. İlişkinin ölçü birimlerinden arıtılmış bir ifadesi kütle korelasyon katsayısıdır.

$$\rho_{x,y} = \frac{\text{Cov}(x,y)}{x \cdot y} \quad \text{korelasyon katsayısı}$$

Cov(x,y)=0 ise

$\rho_{xy}=0$ olur.

$-1 \leq \rho_{x,y} \leq 1$

İki değişik anda (u ve t anları) yapılmış gözlemler arası kovaryans R_{ut} ;

$$R_{tu} = E(X_t - E(x))(X_u - E(x)) \quad \text{olarak alınabilir.}$$

Eğer $E(x)$ 'in t ve u indislerine bağlı olmadığı varsayılacak olursa x_t ve x_u , t ve u anlarında gözlem değerlerinin rastlantı değişkenleridir. Bu şekilde R_{tu} 'nun yalnızca $S=t-u$ ayırımına bağlı kaldığı sürece "kovaryans durağan" adı verilir. Her tamsayı u için R_{tu} mevcut olup simetriden dolayı $R_{tu}=R_{ut}$ 'dir. Yalnızca $S=t-u$ ayırımına bağlılık kovaryansının R_s ile de gösterilebileceğini, simetrisinin ise $R_s = R_{-s}$ şeklinde gösterilebileceğini vurgulamaktadır. $S=0; \pm 1; \pm 2; \pm 3; \dots$ değerlerini alabilir. $S=0$ değeri için x_t 'nin varyansı olmaktadır.

Yöntemin sakıncalı yönü verilerin hepsinin aynı anda elde bulunması gerektiğidir. Örneğin parti ortalaması yönteminde simülasyon hesabı süresince verilerin toplanması mümkündür.

1.5.3.2.1. Spektral Analiz

Bir zaman serisi aynı zamanda farklı frekanslardaki titreşimlerin toplanması olarak görülebilir. Titreşimlerdeki frekansların ve genliklerin spektrumu şekilsel olarak kovaryansa ilişkili görülebilir. Gerçekten de korelasyon kestiriminde kullanılan hesaplar simülasyon çıktısının spektral analizinin yapılmasında kullanılabilir. Sonuçlar örneklem ortalamasının varyansının tahmininde kullanılabilir. Bir spektral analiz, ortalama değer (beklenen değer) kestiriminden çok ötede bilgi sağlar. İki sistem ortalama değerler açısından belirgin bir farklılık göstermeyebilirler. Fakat sistemlerin geçiş davranışları birbirinden çok farklı olabilir. Bunu spektral analiz ortaya koyabilir [10].

Spektral analizin bir yararı da simülasyon çıktısının spektral deseni ile gerçek sistemin spektral desenlerinin karşılaştırılmasıyla elde edilebilir.

1.5.3.2.2. Otoregresiv Analiz

Bütün stokastik süreçler içinde otoregresiv tipli süreçlerde korelasyon ilişkileri diğerlerine göre kolaylıkla hesaplanabilir. Bir otoregresiv değişkenin (x_t) değerleri şu formülle tanımlanmaktadır.

$$x_t = -b_1x_{t-1} - b_2x_{t-2} - \dots - b_px_p + \varepsilon_t$$

ε_t normal dağıldığı varsayılan ve aşağıdaki şartları sağlayan bir değişkendir.

$$\mu = E(x_t)$$

$$E(\varepsilon_t) = 0;$$

$$E(\varepsilon_t^2) = \sigma^2;$$

$$E(\varepsilon_s, x_t) = 0 \quad S > t$$

$$E(\varepsilon_s, \varepsilon_t) = 0 \quad S \neq t$$

Süreç, başlangıç şartları olarak verilmesi gereken P tane katsayı b_i ($i=1, \dots, p$) ve p-1 tane x_t değeri ile belirlenmektedir. Yukarıdaki formül, otoregresiv değişkenin t. andaki değeri x_t 'nin ($t \geq p$) önceki (p-1) tane değerinin doğrusal toplanmasına bir rastgele t değerinin eklenmesiyle elde edildiğini göstermektedir. Şartlar, değişken ε_t 'nin beklenen değerinin 0, sınırlı varyanslı ve bütün kovaryanslarının sıfır olduğudur. Ayrıca ε_t 'nin x_t ile korelasyon içinde olmamasıdır. Formül şu şekilde de yazılabilir:

$$\sum_{s=0}^p b_s (x_{t-s} - \mu) = \varepsilon_t \quad b_0 = 1$$

$$R_s = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^{T-s} (x_t - \bar{x})(x_{t+s} - \bar{x}) \quad (s=0, 1, \dots, T-1)$$

olarak verilen kovaryans, aşağıda Yule-Walker eşitlikleri olarak bilinen

$$\sum_{s=0}^p b_s R_{s-r} = \begin{cases} \sigma^2 & ; \quad r = 0 \\ 0 & ; \quad r \neq 0 \end{cases}$$

formülü ile ilişkilidir. Bu formül (P+1) tane doğrusal denklemden de oluşur. P tane b_s katsayıları ($S=1, 2, \dots, P$; $b_0=1$), (2P+1) tane kovaryans değerleri R_s ($s=-P, \dots, -1, 0, 1, \dots, P$) ve σ^2 bu denklemler içindedir. Aslında kovaryanslardaki simetri yalnızca (P+1) tane farklı kovaryans bulunduğu vurgulanır. Bir gözlem serisi x_t 'nin P inci dereceden bir otoregresiv süreç tarafından oluşturulduğunu kabul edelim. R_s formülü P+1 tane kovaryans tahmin

değerlerinin (R_s) bulunmasında kullanılabilir. $R_s(s=0, \dots, P)$ $r \neq 0$ şartındaki P tane Yule-Walker eşitliği otoregresiv süreçteki b katsayılarının $b_s(s=1, \dots, P)$ tahmin değerlerinin bulunmasında kullanılabilir. $r=0$ şartındaki Yule-Walker eşitliği ise σ^2 için $\hat{\sigma}^2$ tahmini değerlerini verir.

$$\hat{\sigma}^2 = \sum_{s=0}^P \hat{b}_s \hat{R}_s$$

Fishman

$$\hat{b} = 1 + \sum_{s=1}^P \hat{b}_s \text{ dönüşümü ile örneklem beklenen değeri varyansı } V(x) \text{ tahmin değeri}$$

m 'nin

$$m = \frac{\hat{\sigma}^2}{\hat{b}^2} \text{ ile verilebileceğini kanıtlamaktadır.}$$

Bu tahmini değer hesabında serbestlik derecesi f ;

$$f = \frac{n\hat{b}}{(2p+1)\hat{b} - 4\sum_{s=0}^P s\hat{b}_s} \text{ dir.}$$

Burada otoregresiv sürecin derecesi olan p nin ne alınması gerektiği açıktır. Bu yöntemle yapılan deneylerde küçük P değerlerinin yeterli olabileceği kanıtlanmaktadır.

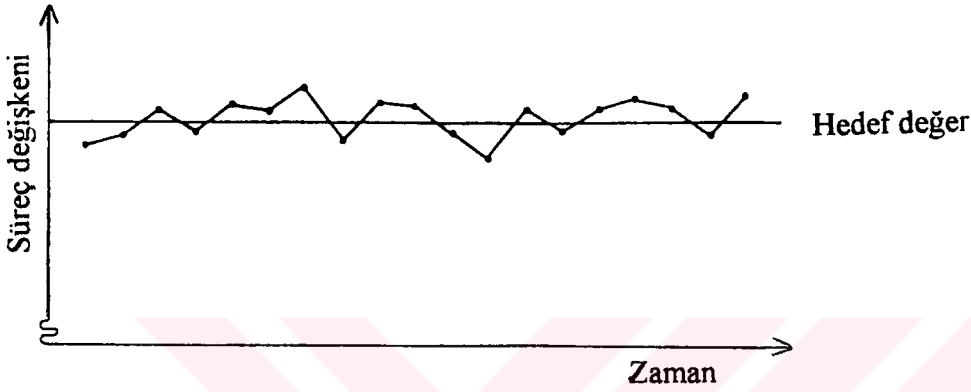
1.5.4. Zaman Serileri

Zamanda sürekli olarak ardışık alınan gözlemlerin toplanmasıyla elde edilen zaman serileri istatistik alanında önemli bir yer tutar ve ekonomiden mühendisliğe kadar birçok alanda kullanılır. Çeşitli alanlarda kullanılan zaman serileri için aşağıdaki örnekler verilebilir.

- **Ekonomik zaman serileri** : Çoğu zaman serileri ekonomide başlar. Örneğin, ardışık günlerde stok fiyatları, ardışık aylarda ithal toplamları, ortalama gelirler, ardışık yıllarda şirket gelirleri.
- **Fiziksel zaman serileri** : Bazı zaman serileri özellikle meteoroloji, deniz bilimleri ve yer fiziği gibi fiziksel bilimlerde oluşur. Örneğin ardışık günlerde yağın yağmur miktarı, ardışık saatlerde, günlerde veya aylarda hava sıcaklıkları gibi.

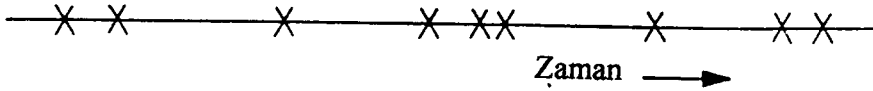
- **Pazarlama zaman serileri:** Haftalık veya aylık satış grafiklerinin analizi iş dünyasının önemli bir problemidir.

- **Süreç Kontrolü :** Süreç kontrolünde problem, üretimin kalitesini gösteren değişkenin ölçülmesiyle üretimin performansının değişimini ortaya koymaktır. Bu ölçümler şekilde gösterildiği gibi zamana göre çizilebilir. Bu tip zaman serileri için özel teknikler geliştirilmiştir.



Şekil 4. Süreç kontrol kartı

- **Nokta Süreci :** Zaman içinde rassal olarak olayların serileri de farklı tip zaman serileri oluşturur. Örneğin büyük demiryolu kazalarının tarihleri serisi nokta üretimi olarak adlandırılır.



Şekil 5. Nokta sürecinin gerçekleşmesi (x bir olayı gösterir)

Bu tip gözlemler için, verilen zaman sürecinde oluşan olayların sayılarının dağılımıyla ilgilenilir. Olaylar arasındaki zamanın dağılımıyla da ilgilenilir. Atölye tipi üretimde rassal zaman aralıklarında gerçekleşen iş giriş ve iş bitiş olaylarına bağlı gözlem serileri de örnek verilebilir.

1.5.4.1. Değişmenin Tipleri

Zaman serileri analizinin geleneksel yöntemleri; trend serilerinin, sezon değişimlerinin ve diğer düzensiz dalgalanmaların analizlerini içerir. Bu yaklaşım genellikle en iyi yaklaşım değildir. Fakat çok sık kullanılan bir yaklaşımdır. Değişimdeki bazı farklılıklar aşağıdaki şekillerde verilmiştir [16].

- a) **Dönemlik etkiler** : Satış grafikleri ve sıcaklık okumaları gibi çoğu zaman serilerinde değişimin görünümü yıllık dönemdedir. Bu tip değişimin anlaşılması kolaydır.
- b) **Diğer çevrimsel değişimler** : Dönemlik etkilerin bir kısmı bazı zaman serilerinde fiziksel nedenlerden dolayı karışık periyotta değişim gösterir. Örneğin sıcaklıktaki günlük değişim gibi.
- c) **Trend** : Trend ortalama uzun dönemdeki değişim olarak tanımlanır. Fakat uzun dönemin tanımını yapmak zordur. Örneğin iklimsel değişimler için bazen 50 yıl gibi çok uzun dönemli periyod değişimleri görülür. Eğer 20 yıllık veri elde edilirse trendde uzun dönem kararsızlığı görülebilir. Fakat birkaç yüzyıllık veri elde edilirse uzun dönem kararsızlığı görülür.
- d) **Diğer düzensiz dalgalanmalar** : Trend ve periyod değişimlerinden sonra veriler rasgele olabilir veya olmayabilir. Düzensiz değişimler hareketli ortalama veya otoregresiv model gibi terimlerle açıklanabilir.

1.5.4.2. Dönüşümler

- a) **Varyansın değişmemesi**: Eğer seride trend varsa ve varyans ortalama ile birlikte bir artış gösteriyorsa verilerin dönüşümü tavsiye edilebilir. Özellikle standart sapma, ortalama ile direkt orantılı ise logaritmik dönüşüm önerilir.
- b) **Dönemlik etkiyi ilave etmek için**: Seride trend varsa ve dönemlik etkinin büyüklüğü ortalama ile artıyorsa verilerin dönüşümü önerilir. Özellikle dönemlik etkinin büyüklüğü ortalama ile direkt orantılı ise logaritmik dönüşüm etkiye ilave edilir. Bununla birlikte bu dönüşüm sadece varyansı sabitler.

1.5.4.3. Dönemlik Dalgalanmalar

Zaman serileri analizinde görülen dönemlik dalgalanmalar isteğe göre hesaplanır ya da ihmal edilir.

Küçük trendli gösterilen seriler için genellikle her bir ay için ortalama hesaplanır. Basit olduğu için iyidir ve genel ortalama ile karşılaştırılır. Büyük trend içeren seriler için daha kompleks yaklaşımlar gerektirebilir.

1.5.4.4. Otokorelasyon (Autocorrelation)

Zaman serilerinin özelliklerinin en önemlisi otokorelasyon katsayısı olarak adlandırılır. Otokorelasyon katsayısı farklı bölümlerdeki gözlemler arasındaki korelasyonun ölçülmesi sonucu elde edilir. Bu katsayılar verilerden elde edilen modelin anlaşılmasını sağlar. x ve y gibi iki değişkenin N sayıdaki gözlemleri için korelasyon katsayısı;

$$r = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{[\sum (X_i - \bar{X})^2 \sum (Y_i - \bar{Y})^2]}} \quad (21)$$

olarak verilir. Gözlemler birbirleriyle ilişkili ise zaman serilerine başvurulabilir. Kesikli zaman serisinde X_1, \dots, X_N gibi N gözlem verildiğinde $(N-1)$ çift gözlem oluşturulabilir.

$(X_1, X_2), (X_2, X_3), \dots, (X_{N-1}, X_N)$.

X_t ile X_{t+1} arasındaki korelasyon katsayısı,

$$r_1 = \frac{\sum_{t=1}^{N-1} (X_t - \bar{X}_{(1)})(X_{t+1} - \bar{X}_{(2)})}{\sqrt{[\sum_{t=1}^{N-1} (X_t - \bar{X}_{(1)})^2 \sum_{t=1}^{N-1} (X_{t+1} - \bar{X}_{(2)})^2]}} \quad (22)$$

olarak verilir. $\bar{X}_{(1)} = \sum_{t=1}^{N-1} \frac{X_t}{N-1}$ ve $\bar{X}_{(2)} = \sum_{t=2}^N \frac{X_t}{N-1}$ dir.

(22) eşitliğinde verilen katsayı ardışık gözlemler arasındaki korelasyonu ölçer ve otokorelasyon katsayısı veya seri korelasyon katsayısı olarak adlandırılır. Atölye tipi üretim sistemi simülasyonundan elde edilen ilişkili gözlem değerleri için bu k korelasyon katsayısı kullanılabilir. $\bar{X}_{(1)} \cong \bar{X}_{(2)}$ olarak kabul edilir ve

$$r_1 = \frac{\sum_{t=1}^{N-1} (X_t - \bar{X})(X_{t+1} - \bar{X})}{(N-1) \sum_{t=1}^N (X_t - \bar{X})^2 / N} \quad \text{ve} \quad \bar{X} = \sum_{t=1}^N X_t / N \quad \text{olarak hesaplanır.}$$

Bazen $\frac{N}{N-1}$ faktörü ihmal edilebilir. O zaman;

$$r_1 = \frac{\sum_{t=1}^{N-1} (X_t - \bar{X})(X_{t+1} - \bar{X})}{\sum_{t=1}^N (X_t - \bar{X})^2} \quad \text{olur.}$$

Benzer şekilde ayrı bir k gözlemleri arasındaki korelasyonu da bulabiliriz.

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (X_t - \bar{X})(X_{t+k} - \bar{X})}{\sum_{t=1}^N (X_t - \bar{X})^2} \quad \text{ve bu k gecikmesindeki otokorelasyon katsayısı olarak}$$

adlandırılır. Pratikte otokorelasyon katsayıları genellikle otokovaryans katsayısı (C_k) serileriyle hesaplanır.

$$C_k = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-k} (X_t - \bar{X})(X_{t+k} - \bar{X})$$

C_k : k gecikmesindeki otokovaryans katsayısı

$$r_k = \frac{C_k}{C_0} \quad k = 1, 2, 3, \dots, m \quad m < N$$

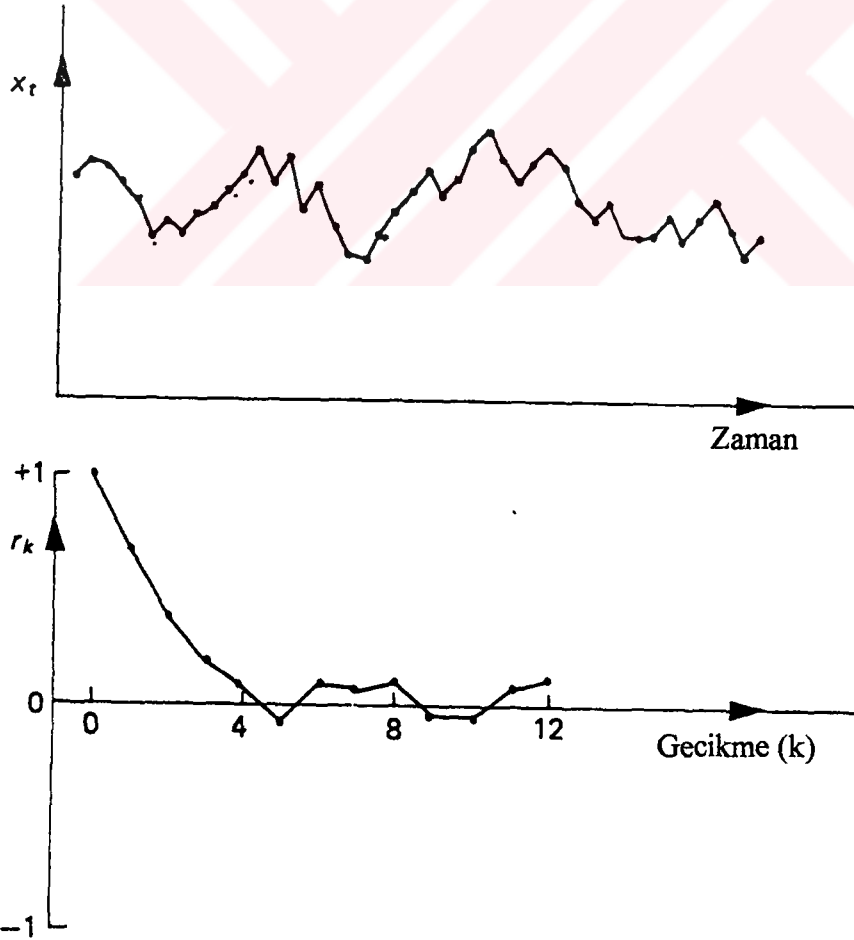
Korelogram

Otokovaryans katsayılarını daha iyi açıklayabilmek için çizilen grafikler korelogram olarak adlandırılır. Korelogramda k gecikmesinin r_k ya göre grafiği çizilir.

Korelogramın Yorumlanması

Otokorelasyon katsayılarının anlamının yorumlanması kolay değildir. Bunun için bazı öneriler şunlardır.

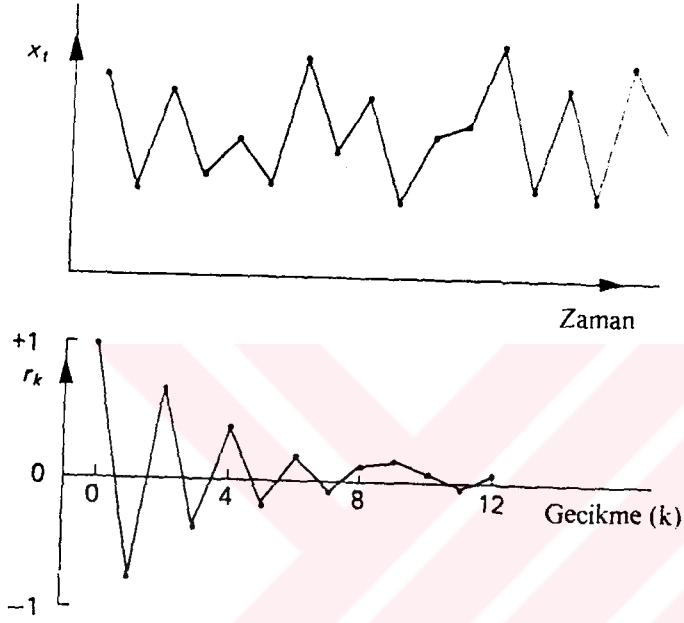
- a) **Rassal Sayılar** : Eğer N büyüklüğünde zaman serisi tamamen rassal ise k nın sıfır olmayan bütün değerleri için $r_k \approx 0$ dir. Gerçekte rassal zaman serileri için r_k yaklaşık olarak $N(0, 1/N)$ dir. Zaman serisi rassal ise r_k nın değerlerinden 20'den 19'u $\pm 2/\sqrt{N}$ değerleri arasında beklenir. Bununla birlikte zaman serisi gerçekten rassal olduğunda bile r_k 'nın ilk 20 değeri grafikte çizilirse o zaman ortalama önemli bir değerin bulunması beklenir. Korelogramın yorumlanmasının zorluklarından biri katsayıların büyük değerlerinde bir veya daha fazla beklenmedik sonuçları içermesi olasılığıdır.
- b) **Kısa Dönem Korelasyonu** : İki veya daha fazla katsayılı takip eden r_1 'in oldukça



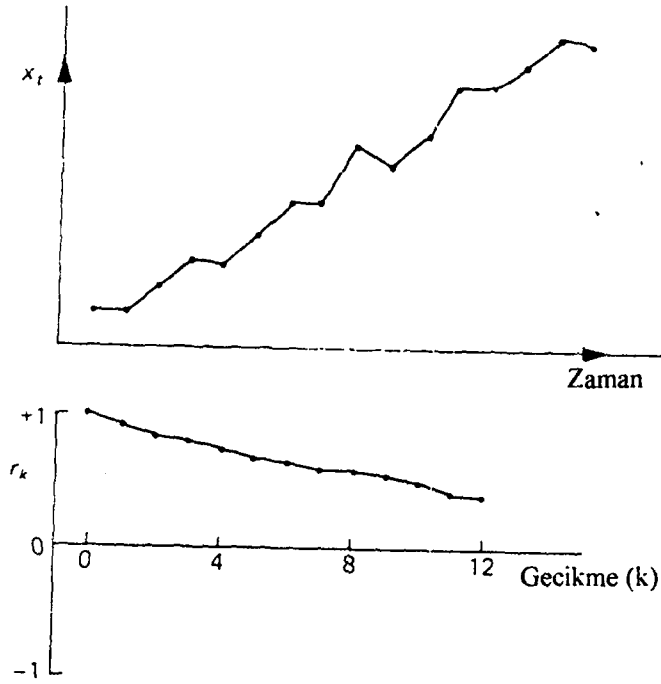
Şekil 6. Kısa dönem korelasyonunun zaman serisinin korelogramla gösterilmesi

büyük değerlerini niteleyen kısa dönem korelasyonunu gösterir (sıfırdan büyük değerler için). Büyük gecikmeler için r_k 'nin değerleri yaklaşık olarak sıfıra yaklaşır.

c) **Değişken Serileri** :Zaman serisinin değişken bir eğilimi varsa bütün ortalamaların farklı yönlerinde ardışık gözlemler için korelogramda değişkendir. r_1 'in değeri negatiftir. Bununla birlikte r_2 'nin değeri pozitifdir. Tipik değişken zaman serileri için korelogram aşağıdaki şekildeki gibi gösterilir.



Şekil 7. Değişken zaman serilerinin korelogramı



Şekil 8. Durağan olmayan zaman serileri için korelogram.

d) **Durağan Olmayan Seriler** : Zaman serileri bir trend içeriyorsa r_k 'nın değeri gecikmenin çok büyük değerleri haricinde sıfırın altında olmaz. Bütün ortalamaların bir tarafındaki bir gözlem ortalamasının aynı tarafındaki gözlemlerin büyük değerlerini takip etme eğilimindedir. Tipik durağan olmayan zaman serileri için korelogram Şekil 8. deki gibidir.

1.5.5. Zaman Serileri İçin Olasılık Modelleri

1.5.5.1. Stokastik Süreç

Gerçek dünyada fiziksel süreçlerin çoğu bir rassallık veya onların yapılarında stokastik elemanı içerir ve stokastik süreç olasılıksal kurallara göre zamanla gelişen bir istatistiksel olay gibi tanımlanabilir. Örneğin bir kuyruğun uzunluğu, kısmi bölümlerde ardışık günlerdeki hava sıcaklıkları gibi. Bir çok yazar gerçek fiziksel süreç ve matematiksel modelin her ikisini tanımlamak için stokastik süreç terimini kullanır. Stokastik kelimesi değişime ait anlamına gelir ve çoğu yazar stokastik süreç için eşanlamlı olarak rassal süreci kullanır.

Matematiksel olarak stokastik süreç T zamanında $\{X(t), t \in T\}$ rassal değişkenin toplanması gibi tanımlanabilir. Eğer T sürekli ise $(-\infty < t < \infty)$ t zamanındaki rassal değişkeni $X(t)$ olarak göstereceğiz. Eğer T kesikli ise $(t = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$ t zamanındaki rassal değişkeni X_t olarak göstereceğiz.

Stokastik sürecin tanımlanmasının en çok kullanılan yolu, sürecin momentlerini vermektir. Bunlar ortalama, varyans ve otokovaryans fonksiyonudur.

Ortalama:

Ortalama fonksiyonu $\mu(t)$ şöyle tanımlanır.

$$\mu(t) = E(X_t)$$

Varyans:

Varyans fonksiyonu $\sigma^2(t)$ şöyle tanımlanır.

$$\sigma^2(t) = \text{var}(X_t)$$

Otokovaryans:

Otokovaryans fonksiyonu $\gamma(t_1, t_2)$ şöyle tanımlanır.

$$\begin{aligned}\gamma(t_1, t_2) &= \text{Cov}(X_{t_1}, X_{t_2}) \\ &= E\{[X_{t_1} - \mu(t_1)][X_{t_2} - \mu(t_2)]\}\end{aligned}$$

$t_1 = t_2$ olduğunda varyans fonksiyonu $\gamma(t_1, t_2)$ 'nin özel bir durumudur.

1.5.5.2. Durağan Süreç

Stokastik sürecin önemli bir konusu durağanlıktır. $X(t_1), \dots, X(t_n)$ 'nin ortak dağılımı bütün $(t_1, t_2, \dots, t_n, \tau)$ için $X(t_1 + \tau), \dots, X(t_n + \tau)$ 'nin ortak dağılımıyla aynı ise zaman serisinin kesin durağan olduğu söylenir.

$n=1$ ise $X(t)$ dağılımının bütün t 'ler için aynı olduğu söylenebilir.

$$\mu(t) = \mu$$

$$\sigma^2(t) = \sigma^2$$

$n=2$ ise $(t_2 - t_1)$ 'e bağlı olarak $X(t_1)$ ve $X(t_2)$ 'nin ortak dağılımı gecikme olarak adlandırılır. Ayrıca otokovaryans fonksiyonu $\gamma(t_1, t_2)$ 'de $(t_2 - t_1)$ 'e bağlıdır ve $\gamma(\tau)$ aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$\gamma(\tau) = E[(X(t) - \mu)(X(t + \tau) - \mu)]$ ve τ gecikmesinde otokovaryans katsayısı olarak adlandırılır. $X(t)$ ve $X(t + \tau)$ arasındaki otokorelasyon fonksiyonu ise aşağıdaki şekildedir.

$$\rho(\tau) = \gamma(\tau) / \gamma(0)$$

1.5.5.3. Otokorelasyon Fonksiyonu

Durağan stokastik sürecin teorik otokorelasyon fonksiyonu özellikleri değerlendirmek için önemli bir araçtır. $X(t)$ durağan stokastik sürecin μ ortalamaya, σ^2 varyansa, $\gamma(\tau)$ otokovaryans fonksiyonuna ve $\rho(\tau)$ otokorelasyon fonksiyonuna sahip olduğunu düşünelim. O zaman;

$$\rho(\tau) = \gamma(\tau) / \gamma(0) = \gamma(\tau) / \sigma^2$$

olur.

Özellik 1: Otokorelasyon fonksiyonu gecikmenin bir fonksiyonudur.

$$\rho(\tau) = \rho(-\tau)$$

Bu $\rho(\tau) = \gamma(\tau) / \sigma^2$ olduğunu kanıtlar ve $X(t)$ durağandır.

$$\begin{aligned}\gamma(\tau) &= \text{Cov}[X(t), X(t+\tau)] \\ &= \text{Cov}[X(t-\tau), X(t)] \\ &= \gamma(-\tau)\end{aligned}$$

Özellik 2: $|\rho(\tau)| \leq 1$ dir. Bu her bir λ_1, λ_2 sabitler için

$\text{Var}[\lambda_1 X(t) + \lambda_2 X(t+\tau)] \geq 0$ olduğunu gösterir. Bu varyans aşağıdaki denkleme eşittir.

$$\lambda_1^2 \text{Var}[X(t)] + \lambda_2^2 \text{Var}[X(t+\tau)] + 2\lambda_1 \lambda_2 \text{Cov}[X(t), X(t+\tau)] = (\lambda_1^2 + \lambda_2^2) \sigma^2 + 2\lambda_1 \lambda_2 \gamma(\tau)$$

$\lambda_1 = \lambda_2 = 1$ olduğunda $\gamma(\tau) \geq -\sigma^2$ ve $\rho(\tau) \geq -1$ dir.

$\lambda_1 = 1, \lambda_2 = -1$ olduğunda $\sigma^2 \geq \gamma(\tau)$ ve $\rho(\tau) \leq 1$ bulunur.

1.5.6. Zaman Serileri İçin Bazı Kullanılabilir Stokastik Süreçler

1.5.6.1. Hareketli Ortalama Süreci (MA)

Z_t ' nin tamamen rassal süreçte ve ortalaması sıfır, varyansı σ_z^2 olduğunu kabul edelim. X_t süreci için q büyüklüğü (MA(q)) hareketli ortalama süreci olarak adlandırılır ve;

$$X_t = \beta_0 Z_t + \beta_1 Z_{t-1} + \dots + \beta_q Z_{t-q} \quad (23)$$

β_i : sabit

$\beta_0 = 1$ için Z 'ler genellikle hesaplanır.

$$E(X_t) = 0$$

$$\text{Var}(X_t) = \sigma_z^2 \sum_{i=0}^q \beta_i^2 \text{ hesaplanır. Ayrıca;}$$

$$\begin{aligned}\gamma(k) &= \text{Cov}(X_t, X_{t+k}) \\ &= \text{Cov}(\beta_0 Z_t + \dots + \beta_q Z_{t-q}, \beta_0 Z_{t+k} + \dots + \beta_q Z_{t+k-q})\end{aligned}$$

$$= \begin{cases} 0 & ; & k > q \\ \sigma_z^2 \sum_{i=0}^{q-k} \beta_i \cdot \beta_{i+k} & ; & k = 0, 1, \dots, q \\ \gamma(-k) & ; & k < 0 \end{cases}$$

$$\text{Cov}(Z_s, Z_t) = \begin{cases} \sigma_z^2 & ; & s = t \\ 0 & ; & s \neq t \end{cases}$$

$\gamma(k)$ t'ye bağılı olmadığından ve ortalama sabit olduğundan süreç β_i 'nin bütün değerleri için ikinci sıra durağandır. Ayrıca Z'ler normal dağılıma sahipse X'ler de normal dağılımlıdır. Ortalama ve otokovaryans fonksiyonu normal süreçte hesaplanır. q'nun hareketli ortalamasının MA(q) otokorelasyon fonksiyonu ;

$$\rho(k) = \begin{cases} 1 & ; & k = 0 \\ \frac{\sum_{i=0}^{q-k} \beta_i \cdot \beta_{i+k}}{\sum_{i=0}^q \beta_i^2} & ; & k = 1, \dots, q \\ 0 & ; & k > q \\ \rho(-k) & ; & k < 0 \end{cases}$$

MA sürecinin durağan olması için β_i 'nin kısıtlanmamasına rağmen Box ve Jenkins β_i 'nin kısıtlanmasını önerirler [16]. Hareketli ortalama sürecinde ;

a) $X_t = Z_t + \theta Z_{t-1}$

b) $X_t = Z_t + \frac{1}{\theta} Z_{t-1}$

Eğer a ve b modelinde Z_t terimleri yerine X_t, X_{t-1}, \dots koyarsak;

a) $Z_t = X_t - \theta X_{t-1} + \theta^2 X_{t-2} - \dots$

b) $Z_t = X_t - \frac{1}{\theta} X_{t-1} + \frac{1}{\theta^2} X_{t-2} - \dots$ bulunur.

$|\theta| < 1$ ise; a için seriye yakınsar fakat b için yakınsamaz.

$|\theta| > 1$ ise; a modeli için değişebilir denir fakat b modeli için değişebilir denemez. Hareketli ortalama süreci için değişebilir şartlarda kullanıcılar için en iyi şekilde ifade eder. Bütün j'ler için;

$$B^j. X_t = X_{t-j}$$

(23) eşitliğinde yazarsak;

$$\begin{aligned} X_t &= (\beta_0 + \beta_1. B + \dots + \beta_q. B^q). Z_t \\ &= \theta(B). Z_t \end{aligned}$$

olur. $\theta(B)$; B'de q'nun çokterimli sıralanışdır. q sıralanışının hareketli ortalama süreci değişebilir. Eğer eşitliğin esası (B kompleks değişken ve işlemci değilse);

$$\theta(B) = (\beta_0 + \beta_1. B + \dots + \beta_q. B^q) = 0$$

Hareketli ortalama özellikle ekonomi olmak üzere birçok alanda kullanılır.

1.5.6.2. Otoregresiv Süreç (AR)

$\{Z_t\}$; tamamen rassal ve ortalaması sıfır, varyansı σ_z^2 olsun.

$$X_t = \alpha_1. X_{t-1} + \dots + \alpha_p. X_{t-p} + Z_t \quad (24)$$

ise $\{X_t\}$ sürecine p sıralanışının otoregresiv süreci adı verilir. Bu çoklu regresyon modeline benzer şekildedir. Fakat X_t bağımsız olmayan değişkenlerde regresyonu yapılabilir (X_t ' nin önceki değerleri için). Buna otoregresyon denir.

a) Birinci sıralanış süreci : kolaylık için başlangıç olarak $p = 1$ alalım.

$$X_t = \alpha. X_{t-1} + Z_t \quad (25)$$

Birinci sıralanış için otoregresyon süreci bazen Markov süreci olarak adlandırılır. (25) eşitliğinde ardışık toplamları yazarsak;

$$\begin{aligned} X_t &= \alpha [\alpha \cdot X_{t-2} + Z_{t-1}] + Z_t \\ &= \alpha^2 [\alpha \cdot X_{t-3} + X_{t-2}] + \alpha \cdot Z_{t-1} + Z_t \end{aligned}$$

ve $-1 < \alpha < 1$ aralığında hareketli ortalama sürecinin sonsuz sıralanışı;

$$X_t = Z_t + \alpha \cdot Z_{t-1} + \alpha^2 \cdot Z_{t-2} + \dots \text{ dir.}$$

Hareketli ortalama ve otoregresyon süreçleri arasındaki bu ikilik amacın çeşitliliğinin kullanılışıdır. (25) eşitliğinde;

$(1-\alpha B) X_t = Z_t$ ve buna bağlı olarak

$$\begin{aligned} X_t &= Z_t / (1-\alpha B) \\ &= (1 + \alpha B + \alpha^2 B^2 + \dots) Z_t \\ &= Z_t + \alpha \cdot Z_{t-1} + \alpha^2 Z_{t-2} + \dots \end{aligned}$$

bulunur.

$$E(X_t) = 0 \quad \text{ve} \quad \text{Var}(X_t) = \sigma_z^2 (1 + \alpha^2 + \alpha^4 + \dots)$$

$|\alpha| < 1$ aralığında varyans sonludur.

$$\text{Var}(X_t) = \sigma_z^2 / (1 - \alpha^2) = \sigma_X^2$$

Otokorelasyon fonksiyonu

$$\begin{aligned} \gamma(k) &= E[X_t X_{t+k}] \\ &= \left\{ \sum \alpha^i \cdot Z_{t-1} \cdot \left[\sum \alpha^j Z_{t+k-j} \right] \right\} \\ &= \sigma_z^2 \sum_{i=0}^{\infty} \alpha^i \cdot \alpha^{k+i} \quad (k \geq 0) \end{aligned}$$

$|\alpha| < 1$ aralığında

$$\begin{aligned}\gamma(k) &= \alpha^k \sigma^2 / (1 - \alpha^2) \\ &= \alpha^2 \sigma_x^2\end{aligned}$$

$k < 0$ için $\gamma(k) = \gamma(-k)$

$\gamma(k)$ t'ye bağlı olmadığından birinci sıralanışının otoregresyon süreci $|\alpha| < 1$ aralığında ikinci sıralanış durağandır denir.

Otoregresyon fonksiyonu

$$\rho(k) = \alpha^k \quad (k=0, 1, 2, 3, \dots) \text{ olarak verilir.}$$

$$\rho(k) = \alpha^{|k|} \quad (k=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots)$$

$k > 0$ için;

$$\gamma(-k) = \alpha \gamma(-k+1)$$

$E(Z_t X_{t-k}) = 0$ olur.

$\gamma(k)$ olduğunda fonksiyon;

$$\gamma(k) = \alpha \gamma(k-1) \quad (k > 0) \text{ almalıyız.}$$

$$\gamma(0) = \sigma_x^2 \text{ ve } \gamma(k) = \alpha^k \sigma_x^2 \quad (k \geq 0) \text{ alalım.}$$

Buna göre $(k) = \alpha^k \quad (k \geq 0)$ olur.

$|\rho(k)| \leq 1$ olursa $|\alpha| \leq 1$ olmalıdır.

Fakat $|\alpha| = 1$ ise $|\rho(k)| = 1$ (bütün k 'lar için) olur. $|\alpha| < 1$ için özel durağan sürecidir.

Şekil 9.'da otoregresyon fonksiyonları için birinci sıralanış otoregresyon sürecine ait $\alpha = 0.8, 0.3, -0.8$ değerlerinde üç örnek görülüyor. $\alpha = 0.3$ olduğunda otoregresyon fonksiyonu ani şekilde azalıyor ve $\alpha = -0.8$ değeri için otoregresyon fonksiyonu sıra ile değişiyor.

b) Genel Sıra Durumu

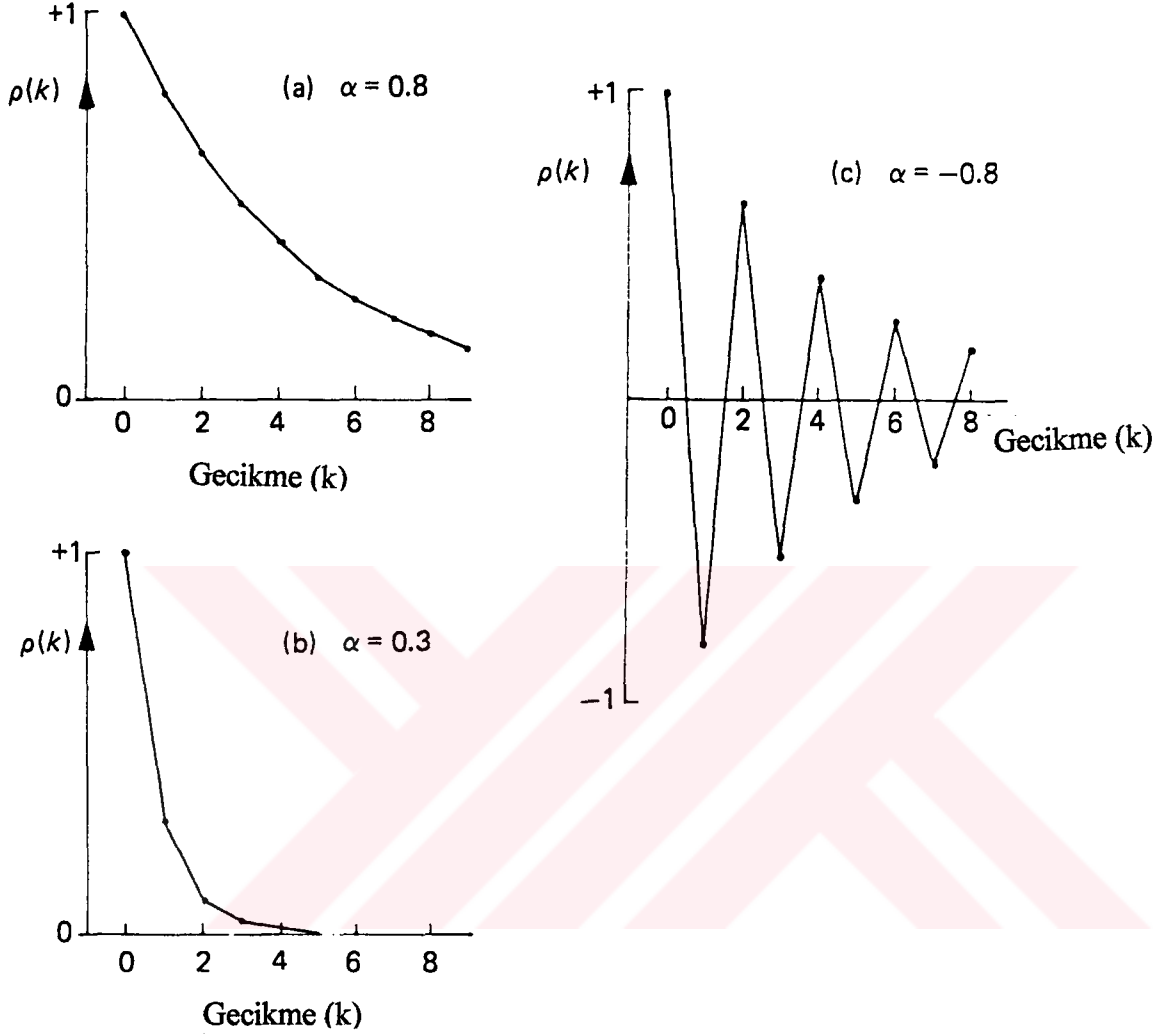
(24) eşitliğinden

$$(1 - \alpha_1 B - \dots - \alpha_p B^p) X_t = Z_t \quad \text{veya}$$

$$X_t = Z_t / (1 - \alpha_1 B - \dots - \alpha_p B^p)$$

$$\dots = f(B) Z_t$$

$$f(B) = (1 - \alpha_1 B - \dots - \alpha_p B^p)^{-1} \\ = (1 + \beta_1 B + \beta_2 B^2 + \dots) \quad \text{yazılır.}$$



Şekil 9. Birinci sıralanış otoregresyon sürecinin otokorelasyon fonksiyonu için üç örnek.

α ile β arasındaki ilişki daha sonra bulunabilir. Hareketli ortalama sürecindeki gibi X_t ifade edilirse $E(X_t) = 0$ 'dır. $\sum \beta_i^2$ yakınsamasında varyans sonludur ve bu durağanlık için gerekli bir koşuldur. Otokorelasyon fonksiyonunu

$$\gamma(k) = \sigma_z^2 \sum_{i=0}^{\infty} \beta_i \beta_{i+k} \quad (\beta_0 = 1) \quad \text{olarak verilir.}$$

Bu yakınsama için yeterli koşul (durağanlık için) $\sum |\beta_i|$ yakınsamasıdır.

Genel sıralanışta otoregresyon (AR) sürecinin kullanılmasında otoregresyon fonksiyonu yukarıdaki prosedürdeki gibidir. Fakat $\{\beta_i\}$ lerin cebirsel olarak bulunması zordur. Buna alternatif olarak seçilen kolay bir yol sürecin durağan olduğunu varsaymaktır. (24) eşitliğinde X_{t-k} ile çarpıp, σ_x^2 'ye böldüğümüzde X_t 'nin varyansı sonlu olur. Bunu bütün k 'lar için $\rho(k) = \rho(-k)$ kullanılırsa

$$\rho(k) = \alpha_1 \cdot \rho(k-1) + \dots + \alpha_p \cdot \rho(k-p) \quad (k > 0) \text{ buluruz.}$$

Bu eşitlik Yule-Walker eşitliği olarak adlandırılır. Bu denklemi genel olarak yazarsak ;

$$\rho(k) = A_1 \cdot \Pi_1 |k| + \dots + A_p \cdot \Pi_p |k|$$

ve $\{\Pi_i\}$ ise,

$Y^p - \alpha_1 Y^{p-1} - \dots - \alpha_p = 0$ denkleminin köküdür. $\{A_i\}$ sabitleri $\rho(0)=1$ 'e bağlı başlangıç koşulları yerine getirmek için seçilmiştir. $\sum A_i = 1$ alalım ve birinci $(p-1)$ Yule-Walker eşitliğini $(p-1)$ de sağlar. Ayrıca $\{A_i\}$ lerdeki kısıtlamalarda $\rho(0)=1$ ve $\rho(k)=\rho(-k)$ kullanılır. Durağanlık koşullarının açıklamasının diğer bir yolu,

$\phi(B) = 1 - \alpha_1 B - \dots - \alpha_p B^p = 0$ eşitliğinin köküdür.

Otoregresyon sürecinde AR(2) Π_1, Π_2 ni quadratik eşitliğinin kökü

$$Y^2 - \alpha_1 Y - \alpha_2 = 0 \text{ dir.}$$

$$\left| \frac{\alpha_1 \pm \sqrt{\alpha_1^2 + 4\alpha_2}}{2} \right| < 1 \text{ ise } |\Pi_i| < 1 \text{ dir. } \rho(0)=1 \text{ olduğunda } A_1 \text{ ve } A_2 \text{'nin bulunuşu}$$

şöyledir.

$A_1 + A_2 = 1$ Yule-Walker eşitliğinden

$$\rho(1) = \alpha_1 \rho(0) + \alpha_2 \rho(-1)$$

$$= \alpha_1 + \alpha_2 \rho(1) \text{ dir.}$$

Buradan $\rho(1) = \alpha_1 / (1 - \alpha_2)$

$$\begin{aligned}
&= A_1\Pi_1+A_2\Pi_2 \\
&= A_1\Pi_1+(1-A_1)\Pi_2
\end{aligned}$$

$$A_1=[\alpha_1/(1-\alpha_2)-\Pi_2]/(\Pi_1-\Pi_2)$$

Ve $A_2=1-A_1$ bulunur.

1.5.6.3. Karma Model (ARMA)

Zaman serilerinin kullanışlı bir modeli hareketli ortalama ile otoregresyon süreçlerinin birleştirilmesinden oluşan şekildir. Bu karışıma ARMA adı verilir. Buna göre ;

$$X_t = \alpha_1 X_{t-1} + \dots + \alpha_p X_{t-p} + Z_t + \beta_1 Z_{t-2} + \dots + \beta_q Z_{t-q} \quad (26)$$

Bu eşitlik şu şekilde yazılabilir.

$$\phi(B)(X_t) = \theta(B)Z_t$$

Burada

$$\phi(B) = 1 - \alpha_1 B - \dots - \alpha_p B^p$$

ve

$$\theta(B) = 1 + \beta_1 B + \dots + \beta_q B^q \text{ dir.}$$

α_i değerleri durağanlık sürecinde $\phi(B) \neq 0$ dır.

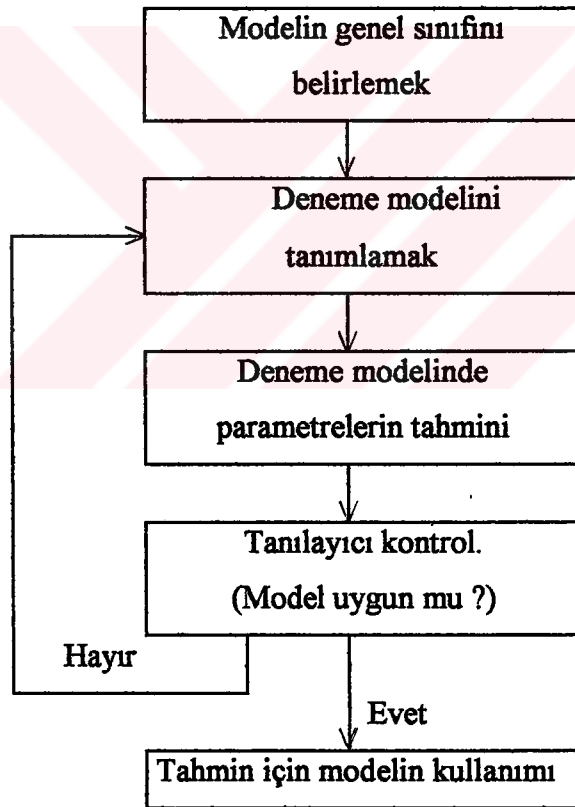
$\{\beta_i\}$ değerleri değişebilir süreçte $\theta(B) \neq 0$ dır.

1.5.6.4. Bütünleşik Model (ARIMA)

ARIMA yöntemi, gözlemleri istatistiksel olarak bağımlı veya birbiriyle ilişkili olan zaman serilerinde uygulanan bir yaklaşımdır. Bütünleşik model ARIMA tahmin yaparken bağımsız değişkenleri tamamen ihmal ederek doğrusal filtreleme yapan tekniklerin en iyisidir. ARIMA, tam kısa dönem tahminlerini üretmek için bugün ve geçmiş zamanlarda kullanılan bağımlı değişkenlere eğri uydurulmasındaki yöntemi oldukça zenginleştirmektedir.

Tahminde Box-Jenkins (ARIMA) yöntemi diğer yöntemlerden daha farklıdır. Bu yöntemde ; tahminde, serinin önceki verisinde herhangi bir kısmı örneği varsaymaz. Modelin genel sınıfından mümkün kullanışlı bir modeli tanımlamak için yineleme yaklaşımını kullanır. Seçilen modelin seriyi tamamen tanımlayabilmesi için önceki verilerle karşılaştırılır. Tahmin edilen modelle, önceki veriler arasındaki farklar küçük, rassal dağılıma sahip ve bağımsız ise modeli uyumu iyi olmuş olur. Eğer seçilen model tatmin edici değilse süreç, asıl olanı (sistem) geliştirilerek başka bir model tasarlar ve işlemler tekrarlanır. Bu süreç tatmin edici model bulunana kadar devam eder.

Durağan zaman serileri için Box-Jenkins yönteminin genel sınıfı ARIMA dır. Bu model iki grubu içerir. AR modeli sadece otoregresyonu içerir, MA modeli ise sadece hareketli ortalamayı içerir. ARIMA modeli hem otoregresyonu hem de hareketli ortalamayı içine alır. Yöntemin akış diyagramı Şekil 10. da görülmektedir [17].



Şekil: 10. Box-Jenkins (ARIMA) yönteminin akış diyagramı.

Kısmi Otokorelasyon

Analizciler, zaman serilerine uygun olan otoregresyon sürecinin doğru sıralanışını önceden sezemeyebilirler. Bu tip problemler çoklu regresyon modellerinde bağımsız değişkenlerin sayısına karar vermede de ortaya çıkar. Kısmi otokorelasyon tahminde uygun ARIMA modelini tanımlamaya yardım eder. Diğer bütün değişkenlerin (gecikme zamanları = time lag) sabitlerinin etkileri dururken aynı değişken için bugünkü değerleri ile önceki değerleri arasındaki ilişkinin derecesini tanımlamaya izin verir.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada atölye tipi üretim sistemi simülasyonundan elde edilen çıktı verileri için zaman serisi yöntemlerinden bütünleşik yaklaşım ARIMA kullanılarak, performans ölçülerinin tahminlerinde kullanılacak uygun tahminci modeller belirlenmiştir. Performans ölçütleri için nokta ve aralık tahminlerinde kullanılacak model ne kadar uygunsa, tahminler o kadar yansız olacaktır. Tahminci modelin uygun olması, çıktı verilerinden elde edilen zaman serisini en az hatayla temsil eden otoregresiv süreç veya hareketli ortalama sürecinin belirlenmesini ifade etmektedir. Veya her iki süreci de içeren bütünleşik yaklaşımla verilere en iyi uyan modelin belirlenmesidir. Daha önce aynı çıktı verileri için klasik istatistik uygulamalarını içeren yöntemler uygulanmıştır. Bu çalışmada ise ileri istatistik uygulamalarını içeren otoregresiv analiz ve otokorelasyon analizi kullanılmıştır.

2.1. Gözlemlerin Elde Edildiği Simülasyon Modeli

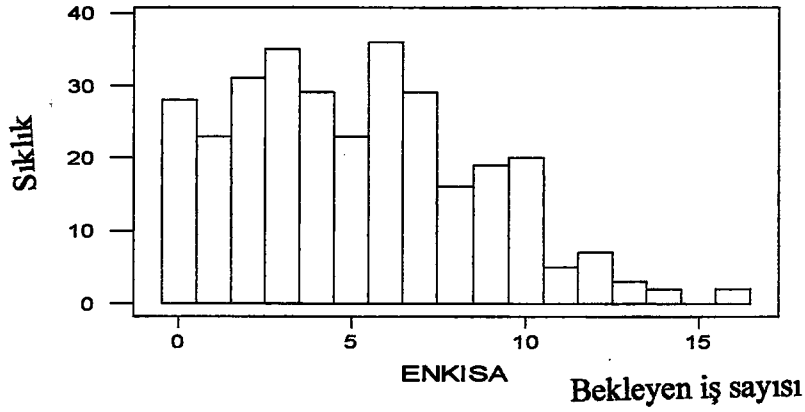
Simülasyon içinde yaklaşık 50 adet tezgah bulunan atölye için yapılmıştır. Atölyenin modeli kurulurken bu tezgahlar ve atölyeye bağlı diğer birimler 7 grupta toplanmıştır : Tornalar, frezeler, taşlama tezgahları, planyalar, matkaplar, demir kaynak ve tesviye birimleri. Atölye iş hacminden seçilen 792 birbirinden farklı iş parti büyüklüğü, işlem göreceği gruplar ve tezgahlar, işlem sıraları ve süreleriyle belirlenmiştir. Bu atölyenin modellenmesi bir proje çerçevesinde yapılmıştır [18]. Simülasyon deneyleri bu model üzerinde gerçekleştirilmiştir. İş yüklemè, iş akış ve yatırım stratejilerinin uygulandığı simülasyon modelinden çeşitli performans ölçütlerine ilişkin gözlem değerleri elde edilmiştir. İşlem görmek üzere kuyrukta bekleyen iş sayısı ve iş hacmi gözlem değerleri ilerleyen simülasyon zamanında sabit zaman aralıklarında elde edilmiştir. Bunun yanında bekleme zamanı performans ölçütü için gözlem değerleri ilerleyen simülasyon zamanında rassal anlarda oluşmuştur. Model üzerinde uygulanan çok sayıda iş sıralama kuralından İGÖ (İlk Gelen Önce) ve ENKISA (En Kısa İşlem Süreli İş) kurallarının sınanmasındaki gözlem değerleri bu çalışmada kullanılmıştır. Aynı koşullarda yapılan yinelemelerden alınan sonuçlar Ek 1. Ve Ek 2.de verilmiştir. Burada bekleyen iş sayısı ve bekleme zamanlarına ilişkin çıktı verileri yer almaktadır.

Modellenen atölyede negatif üstel dağılıma uyan ortalama 120 dakikada bir iş girişinin verilerin toplandığı dönem için günlük iş yükünü yansıttığı belirtilmiştir. Bu çalışmada kullanılan çıktı verileri ortalama 200 dakikada bir iş girişi için 3,5 yıllık simülasyon süresinde elde edilmiştir.

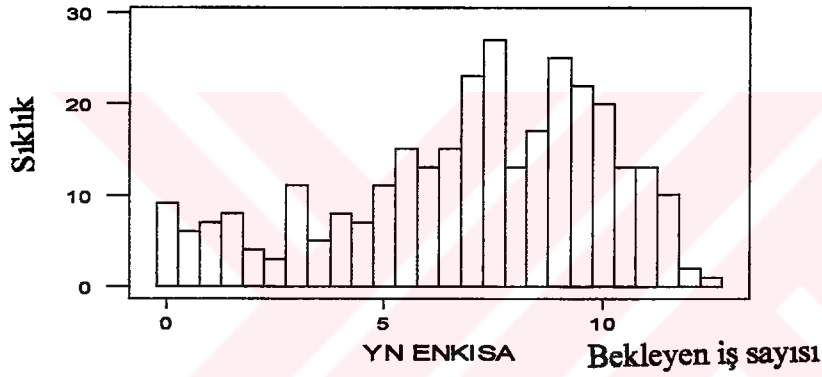
2.2. Klasik İstatistik Yöntemlerle Alınan Sonuçlar

Simülasyon modelinden elde edilen çıktılarla ilgili ayrıntılı istatistiksel analizler çeşitli yayınlarda tanıtılmıştır [3, 18]. Atölye tipi üretimin modellenmesi, model üzerinde çeşitli stratejilerin denenmesi, simülasyon deneyleri ve istatistiksel çıktı analizinin yapıldığı çalışma gerçek bir sisteme uygulanmak üzere proje olarak yürütülmüştür [18]. Diğer çalışmada ise ağırlık çıktı analizinde budama noktasını belirlemeye verilmiştir. Yansız tahminlerin yapılabilmesi için serinin durağan bölümünü belirlemeye yönelik çalışmada [3] da aynı modelin çıktı verileri kullanılmıştır. Simülasyon çıktısındaki bu veriler genelde birbirine bağımlıdır. Böylece istatistiksel analiz yöntemlerinin uygulanmasında, birbirinden bağımsız gözlemlerin elde edilmiş olması gereği simülasyon çıktılarında gerçekleşmemektedir. Bu nedenle simülasyon çıktısındaki gözlem değerleri çeşitli yöntemlerle birbirinden bağımsız gözlemlere dönüştürülürler. Tanıtılan çalışmada yineleme, parti ortalaması ve yenileyici yöntem kullanılmıştır.

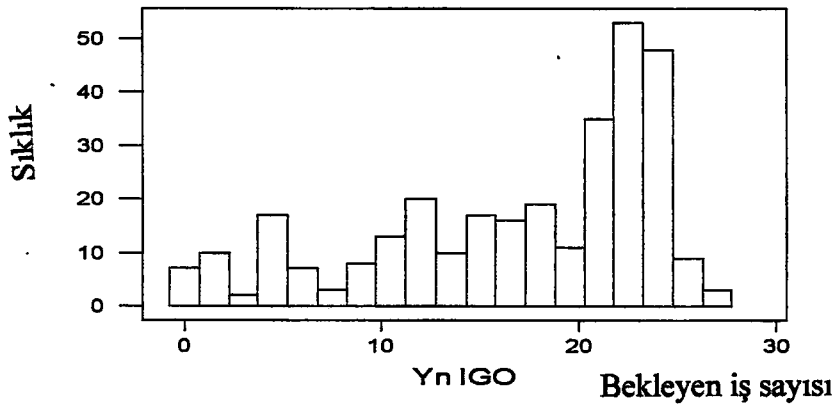
Tez çalışmasında da yukarıda anılan modelin çıktı verileri kullanılmıştır. Ek 1. deki veriler için Minitab paketiyle alınan klasik istatistiksel analiz sonuçları Şekil 11., 12., 13. de görülmektedir.



Şekil 11. ENKISA kuralı için MINITAB paket programıyla alınan klasik istatistiksel analiz



Şekil 12. Yinelemeli ENKISA kuralı için MINITAB paket programıyla alınan klasik istatistiksel analiz



Şekil 13. Yinelemeli İGÖ kuralı için MINITAB paket programıyla alınan klasik istatistiksel analiz

2.3. MINITAB İstatistik Paket Programı

MINITAB kullanımını kolay, etkileşimli ve paylaşımlı modda çalışma olanağı sağlayan, çalışma sayfası ve mouse desteği ile kolay kullanılabilir bir istatistiksel analiz programıdır. Her an ulaşılabilir yardım olanağı ile kullanımı hakkında anında bilgiler alınabilir, pratik yapıya sahip bir programdır.

MINITAB ile aşağıdaki işlemler ve istatistiksel analizler yapılabilir :

1. Worksheet aracılığı ile ya da ileti düzeninde komutlarla veri girişi ve matris formunda veri girişi.
2. Başka paket programlardan (Lotus 123, Excel v.b.) veri aktarılması.
3. Teorik bazı dağılım varsayımları altında veri türetimi.
4. Veri analizi modülleri aracılığı ile veri işleme.
 - 4.1. Frekans ve çapraz tabloların hazırlanması.
 - 4.2. Grafiklerin çizilmesi.
 - 4.3. Betimsel istatistiklerin hesaplanması.
 - 4.4. Tablolarda kikare analizi.
5. Parametrik testler (z testi, t testi, varyans ve kovaryans analizi).
6. Parametrik olmayan testler (Wilcoxon T, Mann-Whitney U, Walsh, Kruskal-Wallis, Friedman Testleri).
7. Regresyon ve Korelasyon Analizi.
8. Çok değişkenli analiz (Ana bileşenler analizi, Ayırma analizi, Faktör analizi. ve Kümeleme analizi.
9. Tabloların oluşturulması ve kikare analizi, Uyumluluk analizi.
10. Zaman serileri analizi.
11. Kalite kontrol analizi.

Bu çalışmadaki istatistiksel analizler MINITAB paketi kullanımıyla gerçekleştirilmiştir [19].

2.4. Zaman Kümesinde Tahminler

2.4.1. Otokovaryans ve Otokorelasyon Fonksiyonlarının Tahmini

k gecikmesinde teorik kovaryans katsayısı için genel tahmini otokovaryans katsayısı

$$C_k = \sum_{t=1}^{N-k} (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x}) / N \quad \text{dır.} \quad (27)$$

C_k nın yanlılığı $\frac{1}{N}$ olarak gösterilir. Bununla birlikte tahmincinin sonuç yanlılığı

$$\lim_{N \rightarrow \infty} E(C_k) = \gamma(k)$$

$$\text{Cov}(C_k, C_m) \cong \sum_{r=-\infty}^{\infty} \{\gamma(r)\gamma(r+m-k) + \gamma(r+m)\gamma(r-k)\} / N \quad (28)$$

olarak gösterilir.

$m=k$ için (2) eşitliği C_k nın varyansını ve C_k nın ortalama karesel yanlılığını verir.

Otokovaryans fonksiyonunun alternatif tahmini de Jenkins ve Watts'nın karşılaştırdığı tahmindir.

$$\hat{C}_k = \sum_{t=1}^{N-k} (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x}) / (N-k)$$

Bu tahminin diğerine göre daha küçük yanlılığa sahip olmasına rağmen ortalama karesel yanlılığı daha büyüktür.

2.4.2. Otokoregresiv Süreçlerin Modellenmesi

Otokoregresyon modeli;

$$Y_t = \phi_0 + \phi_1 \cdot Y_{t-1} + \phi_2 \cdot Y_{t-2} + \dots + \phi_p \cdot Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (29)$$

şeklini alır.

Y_t : Bağımlı değişken

$Y_{t-1}, Y_{t-2}, Y_{t-p}$: Belli zaman periyodlarındaki gecikmelerin bağımlı değişkenlerdeki bağımsız değişkenleri

$\phi_0, \phi_1, \phi_2, \phi_p$: Regresyon katsayıları

ε_t : Model için açıklanmayan rassal olayların artık terimleridir.

Eşitlik (29)'da regresyon katsayıları, doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemi kullanılarak bulunur. Doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemi direkt hesaplamalardan çok genellikle parametrelerin hesaplanması için yinelenen çözüm yöntemlerinde kullanılır. Başlangıç tahminleri başlama noktası gibi kullanılır, sonra bu tahminler en iyi değer bulunana kadar sistematik olarak geliştirilir. Ayrıca (29) eşitliğinin varyansı değişik şekilde hesaplanabilir. Sonunda (29) eşitliği sabit terimler içerebilir veya içermeyebilir. Bağımlı değişken değerleri (Y 'ler), onların ortalamalarından sapmalarını ifade ediyorsa sabit terimler kullanılmaz ($Y' = Y - \bar{Y}$).

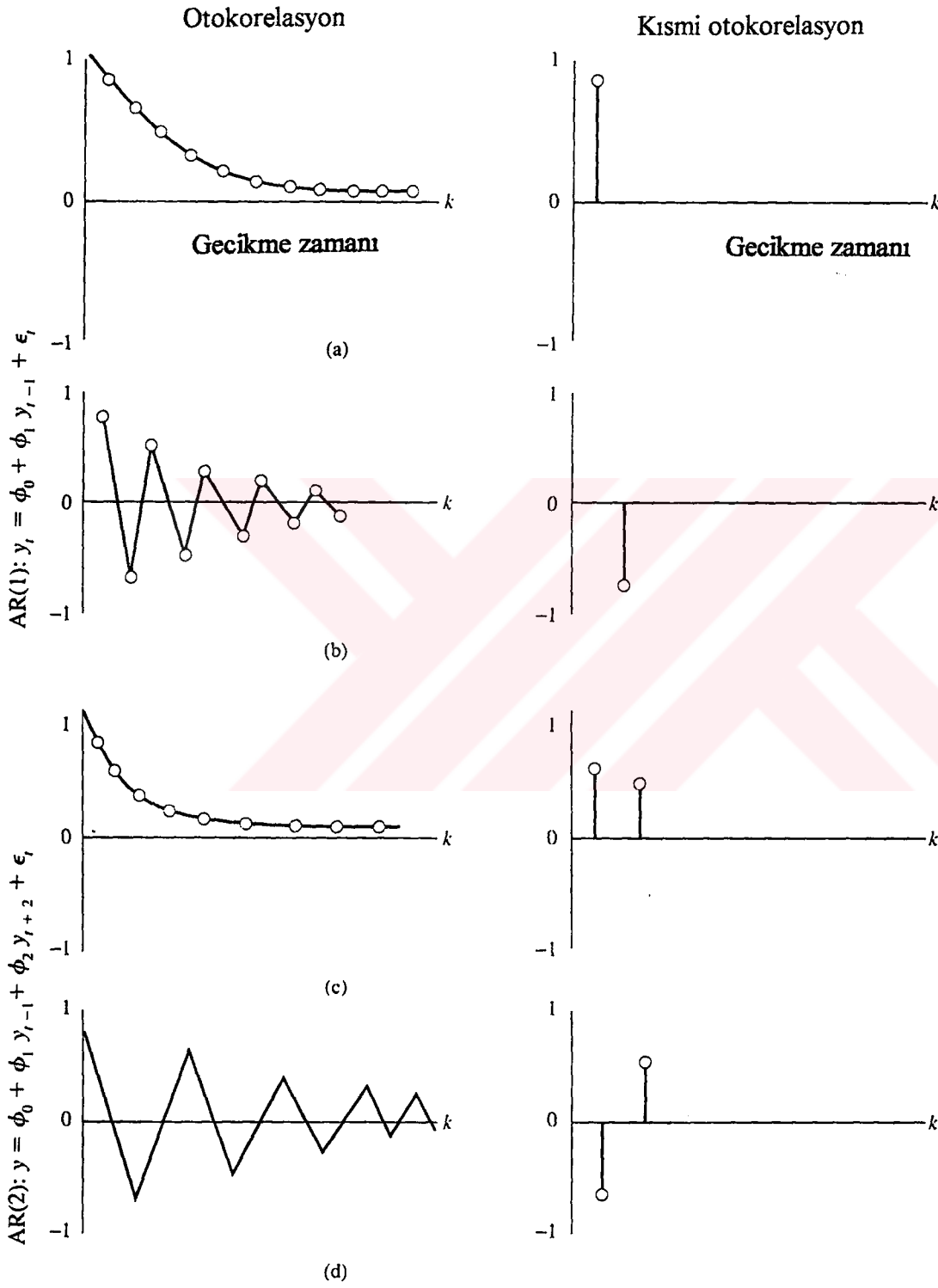
Şekil 14. birinci sıralanmış AR (otoregresyon) modeli AR(1)'nin ve ikinci sıra AR modeli AR(2)'nin eşitliklerini gösterir. Tahminde sonraki periyoddaki son gözlem p için AR(p) modeli de terimlere ilave edilebilir. Şekil14. a ve b de AR(1) modeli için teorik otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonlarının davranışının ne şekilde farklı olduğu göz önüne alınır. Kısmi otokorelasyon katsayısı birinci zaman gecikmesinden sonra sıfıra düşerken otokorelasyon katsayısı yavaş yavaş sıfıra doğru azalır. Şekil 14. c ve d de AR(2) modelini gösterir. Benzer şekilde, ikinci zaman gecikmesinden sonra kısmi otokorelasyon katsayıları sıfıra düşerken otokorelasyon katsayıları sıfıra doğru azalır.

2.4.3. Hareketli Ortalama Sürecinin Modellenmesi

Hareketli ortalama modeli:

$$Y_t = W_0 + \varepsilon_t - W_1\varepsilon_{t-1} - W_2\varepsilon_{t-2} + \dots + W_q\varepsilon_{t-q} \quad (30)$$

şeklindedir. Burada;



Şekil 14. AR(1) ve AR(2) modelinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon sabitleri.

Y_t : Bağımlı değişken

W_0, W_1, W_2, W_p : Ağırlıklar

$\varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \varepsilon_{t-p}$: Önceki değerlerin artıkları

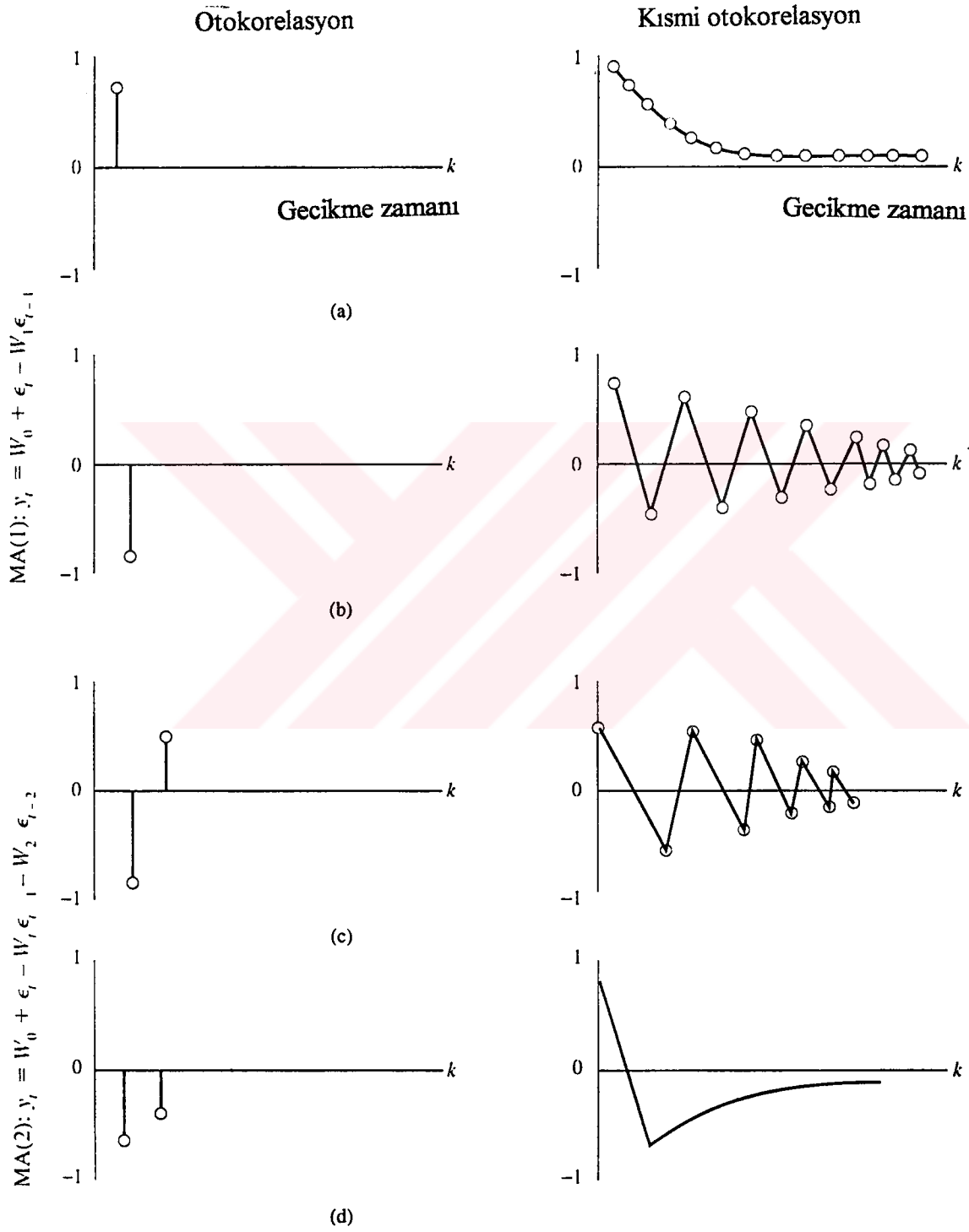
Eşitlik (30), Y_t bağımlı değişkeni hariç (29) eşitliğinin benzeridir. Y_t bağımlı değişkeni, değişkenin kendinden daha çok önceki değerlerin artıklarına bağlıdır. Hareketli ortalama (MA) modeli geçmişteki hataların doğrusal birleşmelerine dayanan Y_t 'nin tahminini sağlar. Otoregresyon (AR) modeli Y_t 'nin geçmişteki gerçek değerlerinin bazı sayılarının doğrusal fonksiyonu olan Y_t 'yi ifade eder. Ağırlıklar pozitif veya negatif olabilmesine rağmen negatif katsayılı ağırlıkların gösterilmesi alışıla gelmiştir. $W_1+W_2+\dots+W_p$ lerin toplamı 1' e eşit olmak zorunda değildir ve W_1 'in değeri yeni gözlemlerle hareket etmez. MA(q) serisinin μ seviyesinin ortalaması, bütün t değerleri için $E(\varepsilon_t)=0$ olduğundan modeldeki sabit terime (W_0) eşittir.

Şekil 15. de birinci sıralanışın hareketli ortalama modelinin MA(1) ve MA(2) modelinin eşitliğini gösterir. Sonraki periyodlar için tahminde geçmişteki hata terimleri olan q ilave edilebilir. MA(q) Şekil 15. a ve b MA(1) modelinin teorik otokorelasyon katsayılarının davranışını gösterir. Otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonlarında AR ve MA modellerinin davranışlarının çok farklı olduklarını görebiliriz. Kısmi otokorelasyon katsayısı yavaş yavaş sıfıra doğru azalırken birinci zaman gecikmesinden sonra otokorelasyon katsayısı MA(1) modeli için aniden sıfıra düşer. Ayrıca kısmi otokorelasyon katsayısı yavaş yavaş azalırken ikinci zaman gecikmesinden sonra MA(2) modeli için otokorelasyon katsayısı aniden sıfıra düşer. Örnek otokorelasyon fonksiyonunun teorik fonksiyondan farklı olduğunu söyleyebiliriz. (örnek değişkeninden dolayı)

2.4.4. Karma ve Bütünleşik Modellerin Tahmini

AR ve MA modellerine ilave olarak bu iki modeli birleştirilerek ARIMA modeli elde edilir. (1) ve (2) eşitliğini birleştirirsek ;

$$Y_t = \phi_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t - W_1 \varepsilon_{t-1} - W_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - W_q \varepsilon_{t-q} \quad (31)$$



Şekil 15. MA(1) ve MA(2) modelinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon sabitleri.

ARIMA (p,q) modellerinde geçmişteki değerler ve hatalar birleştirilerek kullanılır ve AR ve MA modelleri tek başına kullanıma uygun olmadıklarında uygun modeller için önerilir.

Şekil 16. de ARIMA(1,1) modelinin eşitliği ve teorik otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayılarının davranışı görülmektedir.

Box-Jenkins (ARIMA) yöntemi ile diğer yöntemler birbirinden tamamen farklıdır. Analizci uygun modeli seçer ve sonra doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemiyle katsayıları hesaplar. Gelecek periyodlar için tahmin yapılabilir ve güven aralıkları bu tahminlere göre belirlenir.

Box-Jenkins yöntemi analizcilere verilere en iyi uyan modeli seçmede kolaylık sağlar. Uygun modelin seçiminde; uygun zaman serilerinin otokorelasyon katsayısının dağılımı ile değişik modellerin teorik dağılımları karşılaştırılabilir. Teorik dağılımlarda en çok rastlanan ARIMA modellerinin otokorelasyon katsayıları Şekil 14., 15. ve 16. de görülmektedir.

Yöntemin uygulanması :

Şekil 10. da görüldüğü gibi Box-Jenkins yaklaşımı üç ayrı evre içerir. Bu evreler modelin tanımlanması, modelin tahmini ve test edilmesi ve modelin uygulanmasıdır.

1. Evre: Modelin Tanımlanması

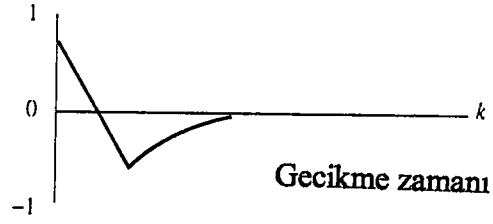
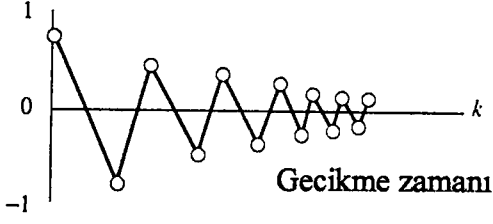
1. Modelin tanımlanması için birinci adım serinin durağan olup olmadığına, ortalama değer zamanla değişip değişmediğine karar vermektir.

Eğer seri durağan değilse farklı yöntemlerle seri durağan seriye çevrilir. Analizci farklılık derecesini belirler ve Box-Jenkins algoritmasıyla durağan serilerin verilerine çevrilir ve çevrilen veriler kullanılarak sonraki değerler hesaplanır.

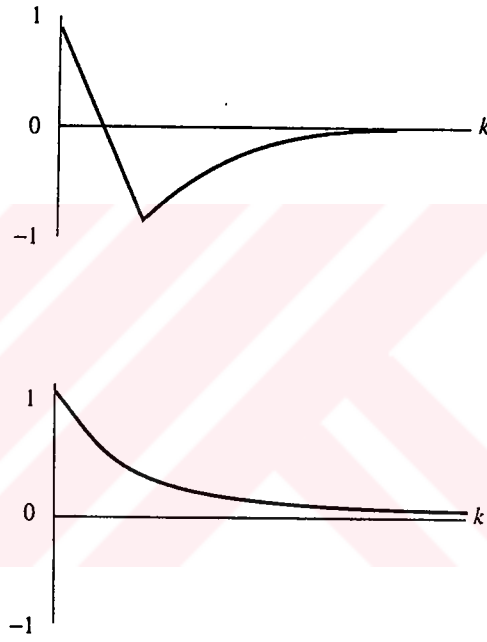
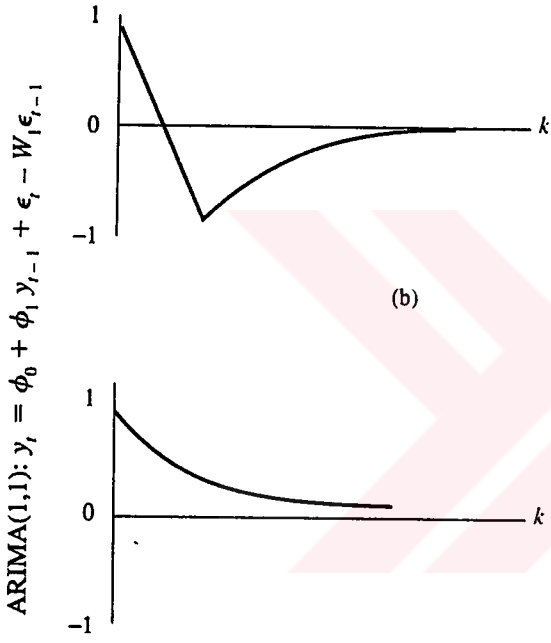
2. Durağan seri elde edildiğinde analizci kullanılacak modelin şeklini tanımlamalıdır. Bu adım değişik ARIMA modelleri için uygun dağılımlara uyan verilerin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayılarının karşılaştırmasını yapar. En sık rastlanan bazı ARIMA modellerin teorik dağılımları uygun modeli seçmeye yardımcı olması için Şekil 14, 15. ve 16. de gösterilmiştir.

Otokorelasyon

Kısmi otokorelasyon

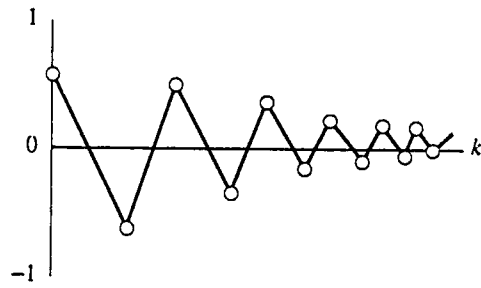
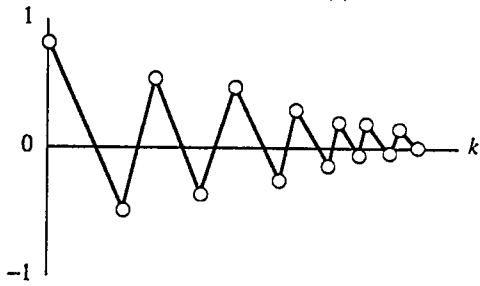


(a)



(b)

(c)



(d)

Şekil 16. ARIMA(1,1) modelinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon sabitleri.

Her bir model bir tek korelasyon ve kısmi otokorelasyon takımına sahiptir ve analizci teorik dağılımlardan veriler için uygun katsayıları eşlemelidir. Genellikle teorik dağılımlarla tam eşlenmiş veriler mümkün olmamasına rağmen deneyler modelin uygun olup olmadığına karar vermek için ikinci evreyi tamamlar. Birinci model tatmin edici değilse başka bir model denenir. Denemelerden sonra analizci doğru modeli bulur.

Genelde analizciler üssel olarak sifıra düşen otokorelasyonları tanımlarlar. Eğer otokorelasyonlar üssel olarak sifıra doğru azalırse AR süreci önerilir. Eğer kısmi otokorelasyonlar azalıyorsa MA süreci önerilir. Eğer her ikisi de azalıyorsa ARIMA süreci önerilir. Otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayıları sıfırdan tamamen farklı olduğunda analizciler AR veya MA sürecinin sıralanışına karar verilir.

2. Evre : Modelin tahmini ve uygun modelin denenmesi

1. Deneme modeli seçildiğinde model için parametreler tahmin edilir. Örneğin ARIMA(1,1) modeli seçilsin. Model için matematiksel şekli ve tahmin formülleri sırasıyla;

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t - W_1 \varepsilon_{t-1} \quad (\text{matematik formülü})$$

ve

$$\hat{Y}_t = \phi_1 Y_{t-1} - W_1 \varepsilon_{t-1} \quad (\text{tahmin formülü}) \text{ dir.}$$

Tahmin eşitliğini kullanmak için analizci ϕ_1 ve W_1 değerlerini hesaplar. Bu hesaplamalar Box-Jenkins programından minimum ortalama karesel hata kullanılarak hesaplanır. ϕ_1 ve W_1 değerlerinin 0.25 ve 0.50 olduğunu kabul edelim. Deneme tahmin modeli ;

$$\hat{Y}_t = 0.25Y_{t-1} - 0.5\varepsilon_{t-1} \quad \text{olur.}$$

2. Tahmin için modeli kullanmadan önce, modelin uygunluğu kontrol edilir. Bu adım rassal hata terimlerini ($\varepsilon_t = Y_t - \hat{Y}_t$) kontrol eder. Otokorelasyonların sıfırdan tamamen farklı olmadıklarından emin olmak için hata terimlerinin otokorelasyonları kontrol edilerek yapılır. Eğer dönemlik gecikmeler veya birkaçının düşük sıralanışı sıfırdan farklı ise model uygun değildir. Analizci birinci evre ikinci adıma geri dönüp alternatif bir model seçip analize devam eder.

Modelin uygunluğu ayrıca artıkların otokorelasyonuna χ^2 testi uygulanarak kontrol edilir (Box-Jenkins istatistiği gibi). Bu istatistik ;

$$Q = (N - d) \sum_{k=1}^m r_k^2 \quad \text{dir.}$$

χ^2 dağılımı k-p-q serbestlik derecesine sahiptir. Bu eşitlikte :

N: Zaman serisinin uzunluğu

k: Kontrol edilen birinci k otokorelasyonu

m: Kontrol edilen gecikme sayısının maksimumu

r_k : k inci artık terimin örnek otokorelasyon fonksiyonu

d: Durağan seri sağlamak için farklılığın derecesidir.

Hesaplanan Q değeri k-p-q serbestlik derecesi için χ^2 den daha büyükse modelin uygun olmadığı düşünülür. Analizci birinci evre ikinci Adıma dönüp alternatif bir model seçip tatmin edici model bulunana kadar analize devam edilir.

3.Evre : Tahmin için modelin kullanılması

1. Uygun model bulunduğu gelecek bir veya bir çok periyodun tahmini yapılır.

Bu tahminler için güven aralıkları belirlenir. Tahminler ve güven aralıkları Box-Jenkins programıyla hesaplanır.

2. Daha fazla veriler uygun oluyorsa, aynı model seçilen başka bir zamanda tahmin yeniden yapılır.

3. Seride zaman değişimi görülüyorsa modelin parametreleri yeniden hesaplanır veya tamamen yeni bir model geliştirilir.

Tahmin hatalarında küçük farklılıklar gözüküyorsa yeniden hesaplanması gereken parametreler belirlenir ve analizci ikinci evre birinci adıma geri döner. Tahmin hatalarında büyük farklılıklar görüldüğünde tamamen yeni bir modele ihtiyaç vardır ve analizci birinci evre ikinci adıma veya birinci evre birinci adıma geri dönüp zaman serisinde uygun yeni bir model bulana kadar işlemleri tekrarlar.

Modeli tanımlarken kullanılan ARIMA(p,d,q) de ;

p: Otoregresyon terimlerin sıralanışı

q: hareketli ortalama q: hareketli ortalama terimlerinin sıralanışı

d: farklılığın seviyesidir.

Farklılığın olmadığı yerlerde ARMA(p,q) modeli kullanılır.

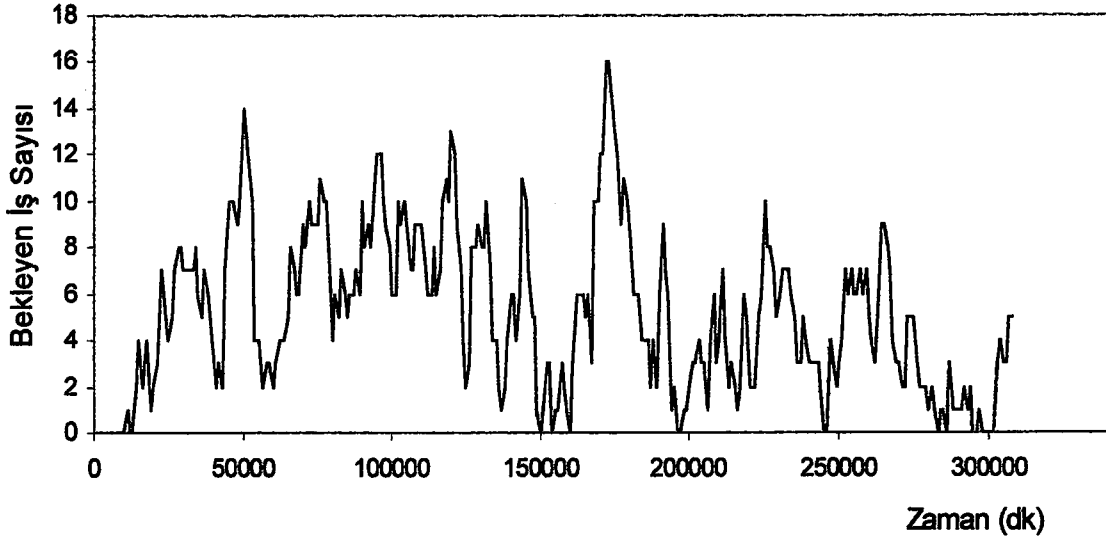
2.5. Deneylerin Yapılışı

Parametre tahminlerinde uygun tahminci modelin bulunması için Ek Tablo 1. ve Ek Tablo 2. deki çıktı verileri kullanılmıştır. Bu veriler iki ayrı öncelik kuralı İGÖ ve ENKISA için bekleyen iş sayısı ve bekleme zamanı performans ölçütlerinin aldığı değerleri göstermektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda istatistiksel çıktı analizinde yineleme, Gordon 1 ve Gordon 2 algoritmalarını uygulamak için aynı koşullarda birden fazla deney yapılmıştır. Bu veriler ENKISA kuralı için 6 kez, İGÖ kuralı için 10 kez yinelenen deney sonuçlarıdır. Simülasyonun stokastik yapısı nedeniyle aynı koşullarda yapılan deneylerde rassal gözlem sayısı değerleri elde edilmiştir. ARIMA yöntemi için en küçük gözlem sayısı değerinde hepsi eşit alınmıştır. ARIMA yöntemiyle uygun tahminci modelin bulunmasında deneyler dört ayrı veri grubu için yapılmıştır. İGÖ ve ENKISA öncelik kurallarında bekleyen iş sayısı değerlerinin çıktı verileri ve yinelemeli gözlem değerlerinden tek bir gözlemin elde edildiği çıktı verileri. Bu verilerle ilgili toplu istatistikse değerlendirme Şekil 17. de verilmiştir.

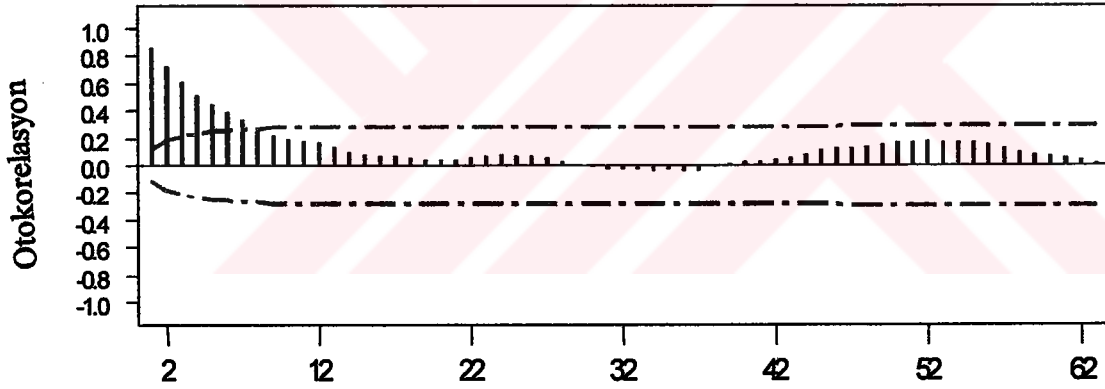
Değişken	N	Ortalama	Medyan	Std Sapma	Minimum	Maksimum	%95 Güven Aralığı	
S1 ENKISA	308	5.12	5	3.486	0	16	4.729	5.511
Syn ENKISA	308	6.956	7.5	3.073	0	12.667	6.612	7.301
S1 İGÖ	308	15.906	19	9.397	0	33	14.852	16.959
Syn İGÖ	308	16.918	19.1	7.161	0	27.3	16.115	17.721

Şekil 17. Deneylerde kullanılacak çıktı verileri için toplu istatistiksel değerlendirme.

Uygun tahminci modelin belirlenmesinde ilk evrede ilk adım serinin durağan olup olmadığına karar vermektir. Otokorelasyon analizi ile serideki verilerin tipi belirlenir. Dört ayrı veri grubunun ve bunlar için otokorelasyon fonksiyonlarının korelogramlarının görünümü verilmiştir. (Şekil 18., 19., 20., 21., 22., 23., 24., 25.).

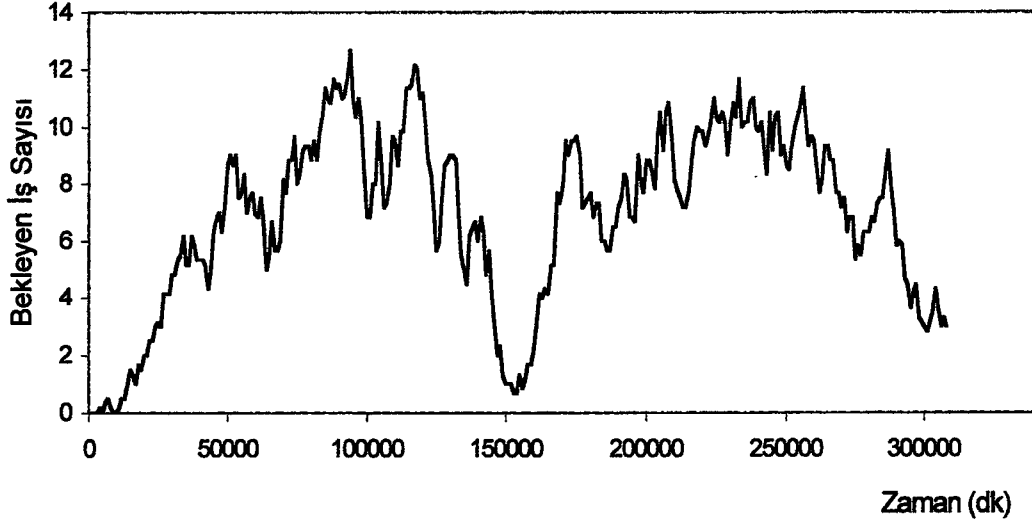


Şekil 18. ENKISA kuralı çıktı verilerinin değerlerinin ilerleyen simülasyon zamanında değişimi

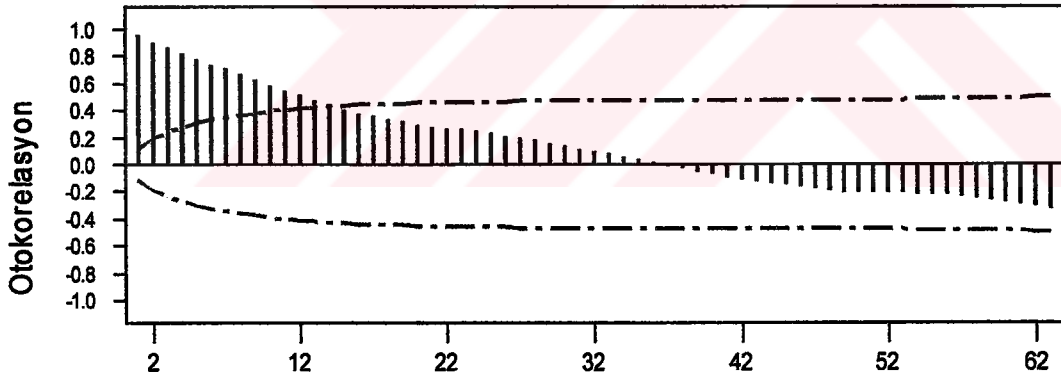


Lag	Ort	T	LBQ	Lag	Ort	T	LBQ	Lag	Ort	T	LBQ	Lag	Ort	T	LBQ	Lag	Ort	T	LBQ
1	0.86	1517	232.42	16	0.07	0.52	830.01	31	-0.08	-0.20	843.95	46	0.12	0.65	861.25	61	0.05	0.33	968.52
2	0.73	810	398.33	17	0.07	0.52	831.80	32	-0.08	-0.22	844.31	47	0.13	0.87	867.01	62	0.04	0.25	969.08
3	0.61	570	515.72	18	0.05	0.43	833.06	33	-0.08	-0.22	844.65	48	0.13	0.92	873.62	63	0.02	0.12	969.21
4	0.52	439	600.54	19	0.04	0.29	833.61	34	-0.04	-0.27	845.17	49	0.15	1.03	881.95				
5	0.45	355	663.15	20	0.04	0.30	834.23	35	-0.03	-0.24	845.57	50	0.17	1.13	882.05				
6	0.39	297	710.65	21	0.04	0.25	834.66	36	-0.04	-0.27	846.12	51	0.17	1.16	902.90				
7	0.33	249	746.20	22	0.05	0.36	835.55	37	-0.04	-0.25	846.58	52	0.18	1.19	914.38				
8	0.27	200	770.11	23	0.07	0.47	837.06	38	-0.02	-0.13	846.70	53	0.17	1.13	924.92				
9	0.22	161	786.01	24	0.03	0.54	839.12	39	0.01	0.10	846.77	54	0.16	1.09	934.65				
10	0.20	140	798.35	25	0.07	0.52	841.00	40	0.03	0.19	847.04	55	0.17	1.11	945.14				
11	0.18	126	808.45	26	0.05	0.44	842.34	41	0.03	0.19	847.31	56	0.15	1.02	954.06				
12	0.16	116	817.15	27	0.05	0.37	843.28	42	0.05	0.32	848.06	57	0.12	0.88	969.96				
13	0.13	0.95	823.01	28	0.03	0.23	843.68	43	0.05	0.43	849.42	58	0.10	0.63	983.43				
14	0.10	0.70	826.20	29	0.00	0.03	843.64	44	0.03	0.55	851.69	59	0.03	0.55	966.05				
15	0.08	0.55	828.21	30	-0.01	-0.05	843.66	45	0.11	0.73	855.72	60	0.05	0.42	967.57				

Şekil 19. ENKISA kuralı çıktı verilerinin otokorelasyon fonksiyonunun korelogramla görünümü.

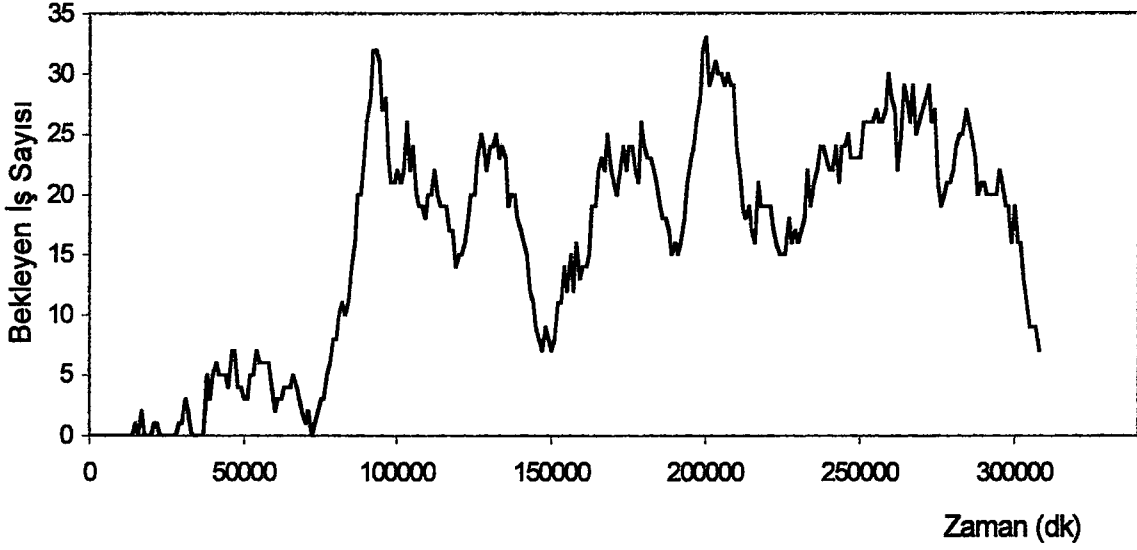


Şekil 20. Yinelemeli ENKISA kuralı çıktı verilerinin değerlerinin ilerleyen simülasyon zamanında değişimi.

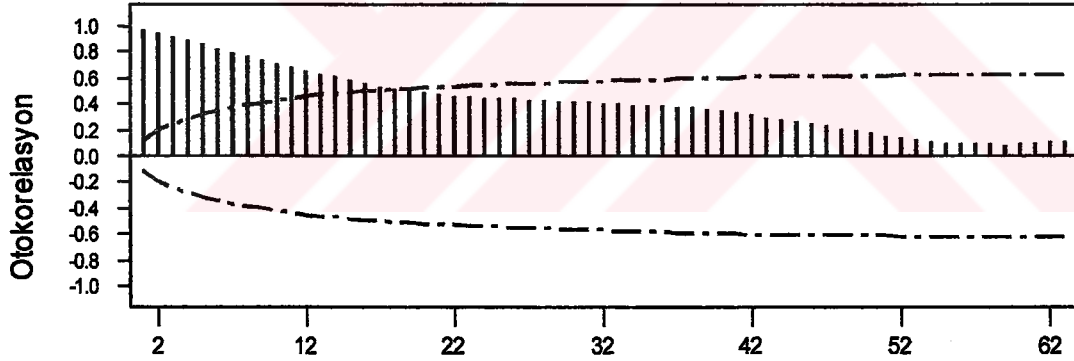


Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	0.95	16.76	283.50	16	0.38	1.71	2311.82	31	0.12	0.49	2622.75	46	-0.17	-0.70	2673.55	61	-0.30	-1.20	2972.77
2	0.91	9.52	542.51	17	0.36	1.58	2353.37	32	0.10	0.42	2626.25	47	-0.18	-0.74	2685.03	62	-0.31	-1.25	3010.77
3	0.87	7.21	779.42	18	0.34	1.48	2390.44	33	0.08	0.34	2628.53	48	-0.19	-0.78	2698.33	63	-0.33	-1.30	3052.56
4	0.83	5.92	993.86	19	0.32	1.38	2423.30	34	0.06	0.25	2629.77	49	-0.20	-0.84	2713.49				
5	0.78	5.06	1186.88	20	0.30	1.30	2452.88	35	0.03	0.15	2630.19	50	-0.21	-0.86	2729.54				
6	0.74	4.43	1359.51	21	0.28	1.22	2479.17	36	0.01	0.05	2630.24	51	-0.21	-0.87	2745.96				
7	0.70	3.97	1516.93	22	0.27	1.16	2503.53	37	-0.01	-0.05	2630.30	52	-0.21	-0.88	2762.87				
8	0.66	3.57	1657.10	23	0.26	1.11	2526.18	38	-0.03	-0.14	2630.69	53	-0.21	-0.88	2780.15				
9	0.62	3.22	1781.67	24	0.25	1.05	2546.72	39	-0.05	-0.23	2631.74	54	-0.22	-0.90	2798.33				
10	0.59	2.94	1892.53	25	0.23	0.99	2564.83	40	-0.07	-0.31	2633.65	55	-0.23	-0.93	2817.67				
11	0.55	2.67	1989.76	26	0.21	0.91	2580.31	41	-0.09	-0.39	2636.80	56	-0.23	-0.93	2837.20				
12	0.51	2.43	2073.89	27	0.20	0.82	2593.24	42	-0.11	-0.46	2641.17	57	-0.24	-0.97	2859.05				
13	0.47	2.21	2146.75	28	0.17	0.73	2603.59	43	-0.13	-0.53	2646.94	58	-0.25	-1.01	2882.67				
14	0.44	2.02	2209.76	29	0.15	0.65	2611.78	44	-0.14	-0.60	2654.29	59	-0.26	-1.05	2908.57				
15	0.41	1.85	2264.26	30	0.13	0.57	2618.03	45	-0.16	-0.65	2663.20	60	-0.28	-1.12	2938.31				

Şekil 21. Yinelemeli ENKISA kuralı çıktı verilerinin otokorelasyon fonksiyonunun korelogramla görünümü.

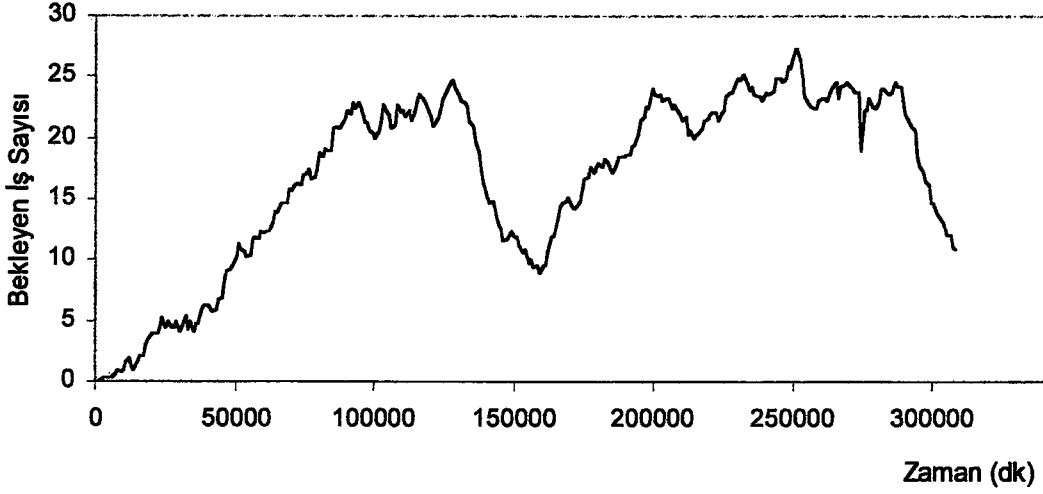


Şekil 22. İGÖ kuralı çıktı verilerinin değerlerinin ilerleyen simülasyon zamanında değişimi

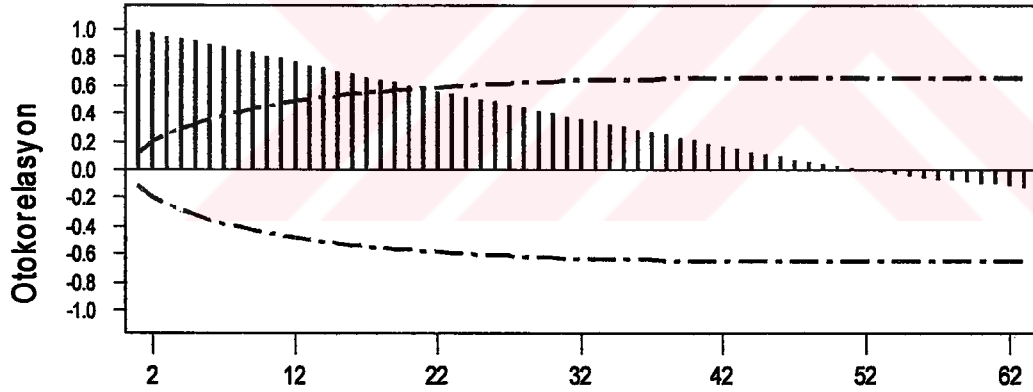


Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	0.97	17.10	295.25	16	0.56	2.21	3025.84	31	0.41	1.42	4088.03	46	0.25	0.80	4728.93	61	0.10	0.31	4842.86
2	0.95	9.82	578.26	17	0.53	2.09	3119.34	32	0.41	1.39	4145.53	47	0.23	0.74	4748.33	62	0.10	0.33	4847.11
3	0.92	7.46	844.97	18	0.52	1.99	3206.81	33	0.40	1.36	4201.30	48	0.21	0.68	4764.75	63	0.11	0.36	4852.01
4	0.89	6.18	1094.99	19	0.50	1.90	3289.20	34	0.40	1.34	4256.03	49	0.19	0.62	4778.73				
5	0.86	5.33	1327.73	20	0.48	1.83	3367.13	35	0.39	1.31	4309.55	50	0.18	0.56	4790.25				
6	0.83	4.72	1544.62	21	0.47	1.77	3441.87	36	0.38	1.28	4361.34	51	0.16	0.51	4799.71				
7	0.80	4.26	1747.10	22	0.46	1.71	3513.64	37	0.38	1.25	4411.28	52	0.14	0.45	4807.32				
8	0.77	3.87	1935.20	23	0.46	1.67	3583.43	38	0.37	1.22	4459.50	53	0.13	0.41	4813.43				
9	0.74	3.57	2110.74	24	0.45	1.63	3651.50	39	0.36	1.17	4504.73	54	0.11	0.36	4818.37				
10	0.71	3.30	2273.93	25	0.44	1.60	3718.15	40	0.34	1.12	4546.66	55	0.10	0.33	4822.47				
11	0.69	3.07	2425.47	26	0.44	1.56	3783.42	41	0.33	1.08	4585.65	56	0.10	0.31	4828.09				
12	0.66	2.86	2565.66	27	0.43	1.53	3847.17	42	0.31	1.02	4621.24	57	0.09	0.29	4829.29				
13	0.63	2.67	2695.15	28	0.43	1.50	3909.59	43	0.30	0.96	4652.69	58	0.09	0.29	4832.48				
14	0.61	2.51	2814.92	29	0.42	1.46	3969.93	44	0.28	0.90	4681.01	59	0.09	0.29	4835.62				
15	0.58	2.35	2925.00	30	0.42	1.44	4029.43	45	0.26	0.85	4706.41	60	0.09	0.30	4839.05				

Şekil 23. İGÖ kuralı çıktı verilerinin otokorelasyon fonksiyonunun korelogramla görünümü.



Şekil 24. Yinelemeli İGÖ kuralı çıktı verilerinin değerlerinin ilerleyen simülasyon zamanında değişimi.



Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	0.98	17.28	301.48	16	0.68	2.50	3614.76	31	0.36	1.19	5012.84	46	0.09	0.28	5318.64	61	-0.10	-0.31	5339.56
2	0.97	9.92	594.38	17	0.66	2.38	3757.57	32	0.36	1.13	5058.55	47	0.08	0.23	5320.75	62	-0.11	-0.34	5344.47
3	0.95	7.61	877.61	18	0.64	2.26	3892.24	33	0.34	1.06	5099.59	48	0.06	0.18	5322.06	63	-0.12	-0.36	5350.18
4	0.93	6.36	1150.88	19	0.62	2.16	4019.14	34	0.32	1.00	5136.14	49	0.04	0.13	5322.78				
5	0.91	5.54	1413.78	20	0.60	2.08	4138.75	35	0.30	0.92	5168.00	50	0.03	0.09	5323.09				
6	0.89	4.95	1665.82	21	0.58	1.96	4250.99	36	0.28	0.86	5195.92	51	0.02	0.05	5323.19				
7	0.87	4.49	1903.98	22	0.56	1.87	4355.88	37	0.26	0.80	5220.15	52	0.00	0.00	5323.19				
8	0.85	4.12	2137.64	23	0.54	1.79	4453.93	38	0.24	0.74	5241.20	53	-0.01	-0.04	5323.25				
9	0.83	3.81	2357.41	24	0.52	1.70	4545.26	39	0.23	0.69	5259.28	54	-0.03	-0.09	5323.56				
10	0.81	3.55	2566.45	25	0.50	1.62	4630.00	40	0.21	0.63	5274.56	55	-0.04	-0.13	5324.25				
11	0.79	3.32	2765.47	26	0.48	1.54	4708.15	41	0.19	0.57	5287.18	56	-0.05	-0.16	5325.38				
12	0.77	3.12	2954.81	27	0.46	1.47	4780.23	42	0.17	0.51	5297.27	57	-0.07	-0.20	5327.01				
13	0.74	2.94	3134.21	28	0.44	1.40	4846.51	43	0.15	0.45	5305.12	58	-0.08	-0.23	5329.20				
14	0.72	2.78	3303.47	29	0.42	1.33	4907.31	44	0.13	0.39	5311.10	59	-0.09	-0.26	5331.98				
15	0.70	2.63	3463.40	30	0.40	1.26	4962.63	45	0.11	0.33	5315.50	60	-0.09	-0.28	5335.42				

Şekil 25. Yinelemeli İGÖ kuralı çıktı verilerinin otokorelasyon fonksiyonunun korelogramla görünümü.

Otokorelasyon analizi ile serideki veriler :

1. Rassal mı?
2. Durağan mı?
3. Durağan olmayan mı?
4. Dönemsel mi?

belirlenir.

Klasik istatistiksel yöntemlerin uygulanabilmesi aynı dağılımlı birbirinden bağımsız gözlemleri gerektirmekteydi. Bölüm 1 de belirtildiği gibi çoğu simülasyon çıktıları birbirine bağımlı gözlem değerleri oluşturmaktadır. ENKISA kuralı bekleyen iş sayısı için hipotez testiyle verilerin rassallığını test edersek;

$$H_0 : \rho_k = 0$$

$$H_1 : \rho_k \neq 0$$

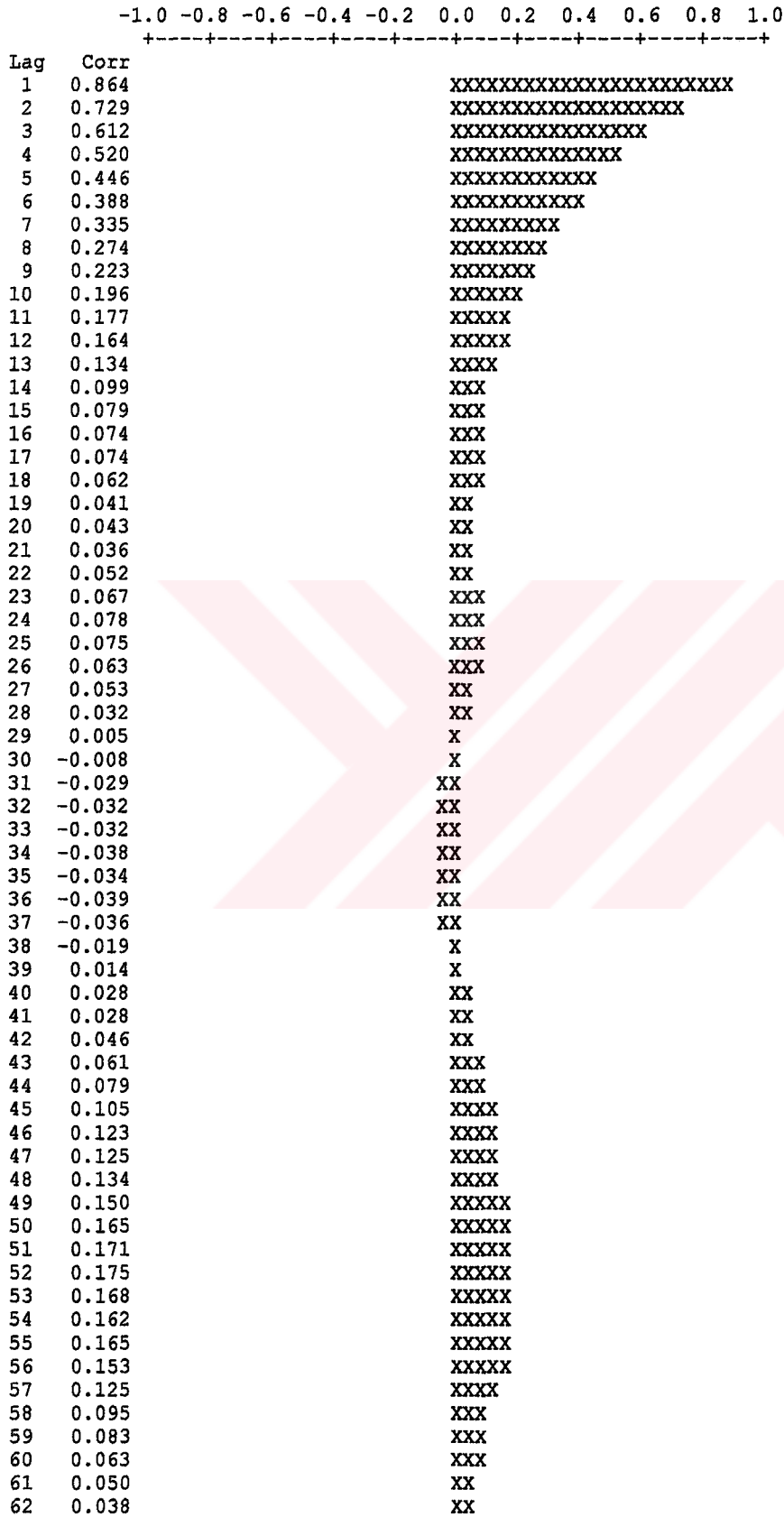
Rassal zaman serileri için otokorelasyon katsayıları yaklaşık 0'dır ve $N(0, 1/n)$ dir. Güven aralığı da $0 \pm z (1/\sqrt{n})$ dir. Otokorelasyon sabitlerinin standart sapması $1/\sqrt{308} = 0.057$ dir. %5 anlamlılık düzeyinde standart normal dağılım için $z = 1.96$ dir. Güven aralığının sınır değerleri ± 0.11172 dir.

Eğer $|r_k| > 0.11172$ ise H_0 hipotezi reddedilir.

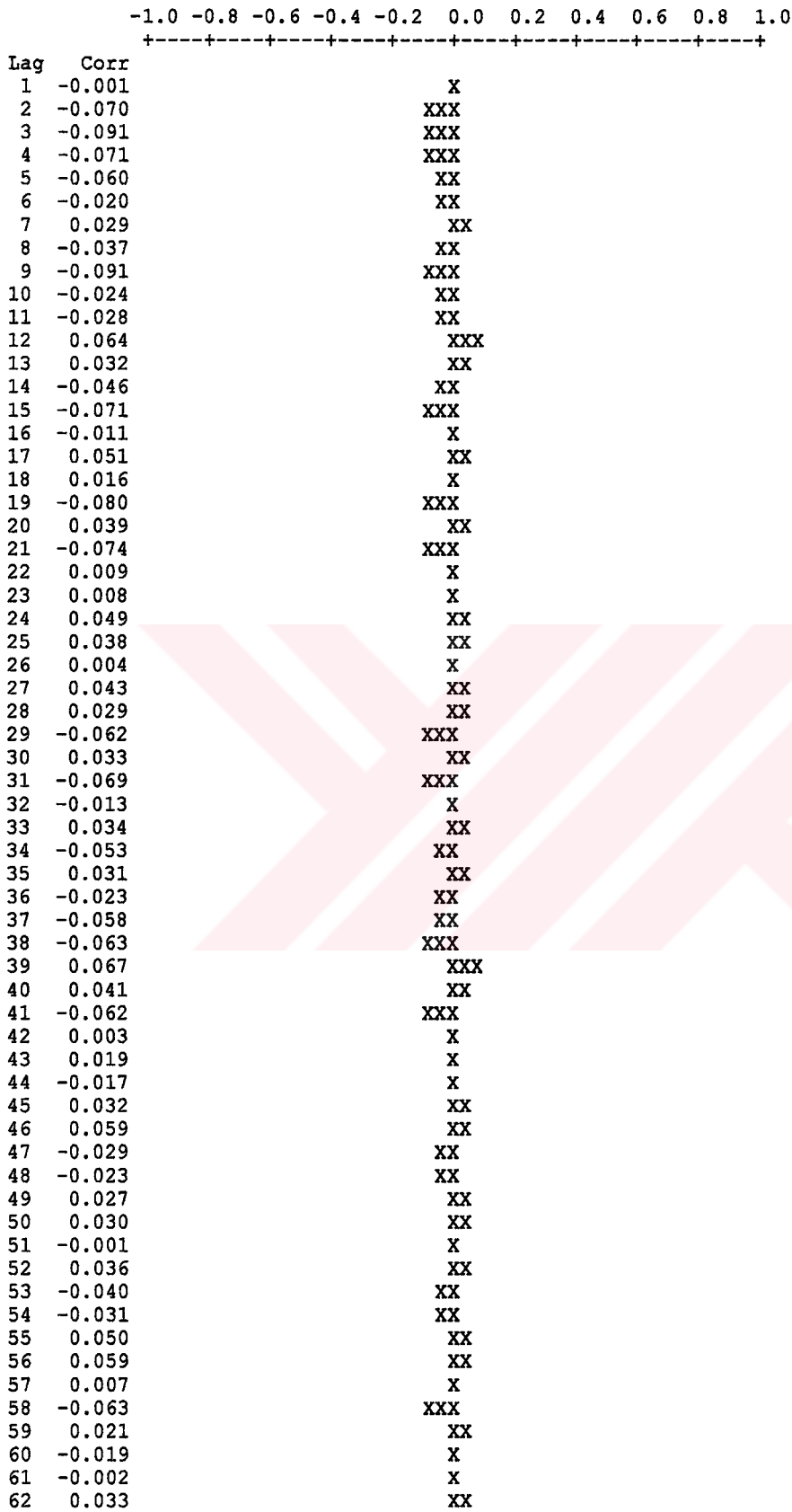
Şekil 19. da görüldüğü gibi r_k lar bu aralığın dışına taşığından H_0 hipotezi reddedilir. Yani gözlem değerlerinin rassal değil bağımlı değişkenler olduğu anlaşılır.

Şekil 19. da $k= 62$ gecikme zamanı değeri için otokorelasyon katsayılarının korelogramı ile güven sınırları da verilmiştir. %5 anlamlılık düzeyinde korelasyon katsayıları güven aralığında kalmadığından veriler durağan da değildir.

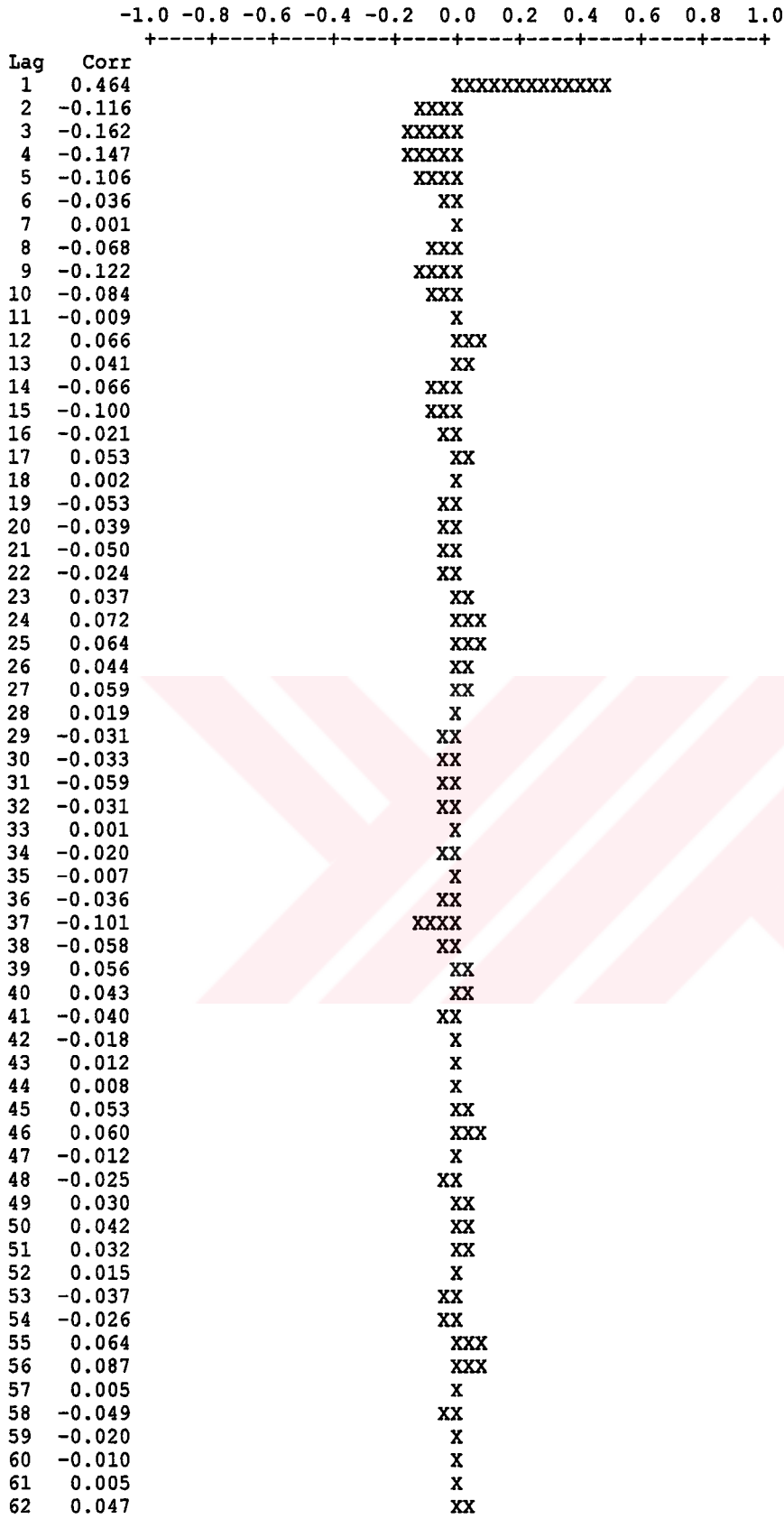
ARIMA durağan serilerin verilerinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayılarının karşılaştırmasını yaptığından, eğer seri durağan değilse durağan seriye çevrilir. Verilerin durağan veriye çevrilmesi için iki farklılık derecesinde deneyler yapılmıştır.



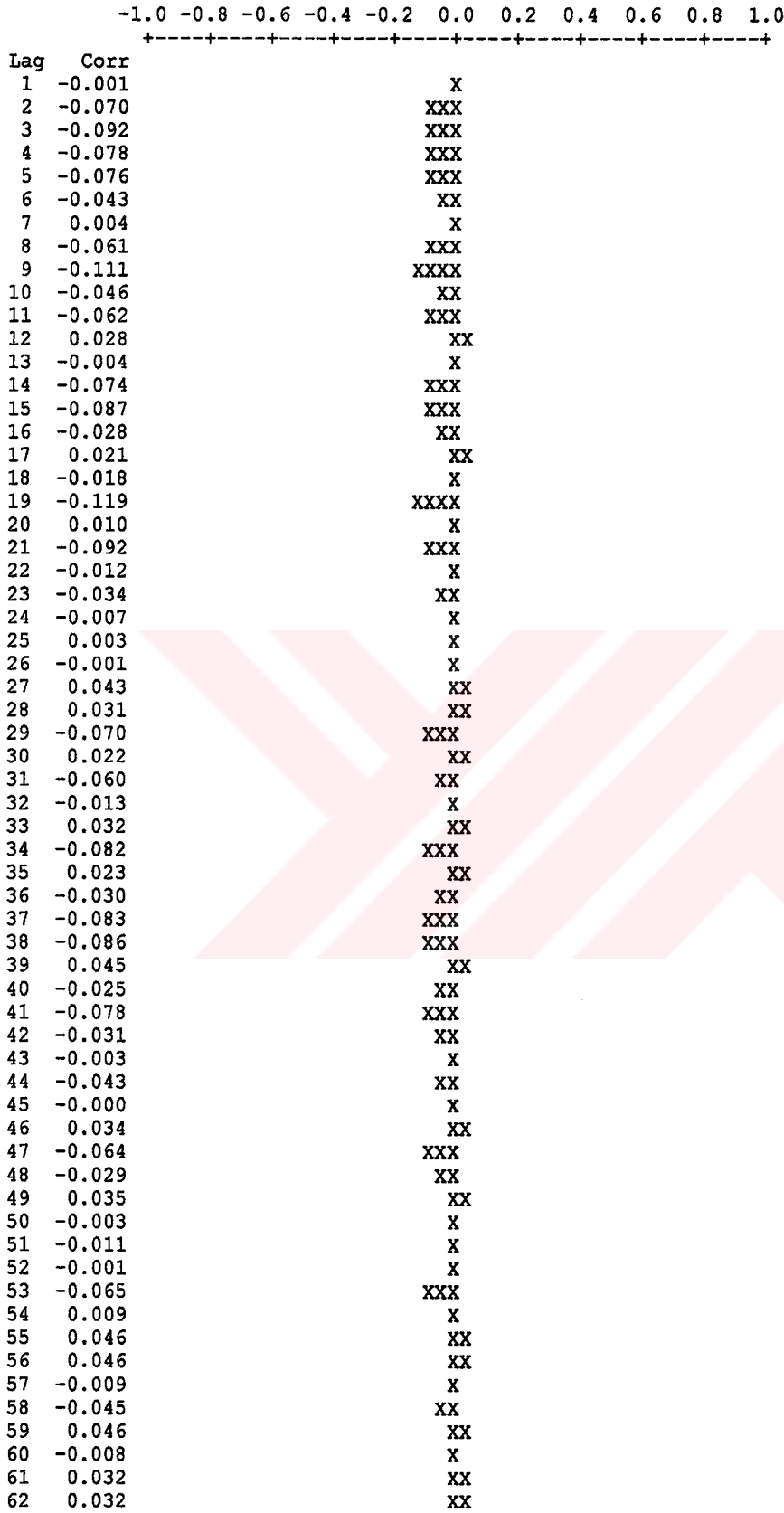
Şekil 26. ENKISA kuralı çıktı verilerinin durağan olmayan otokorelasyon fonksiyonu



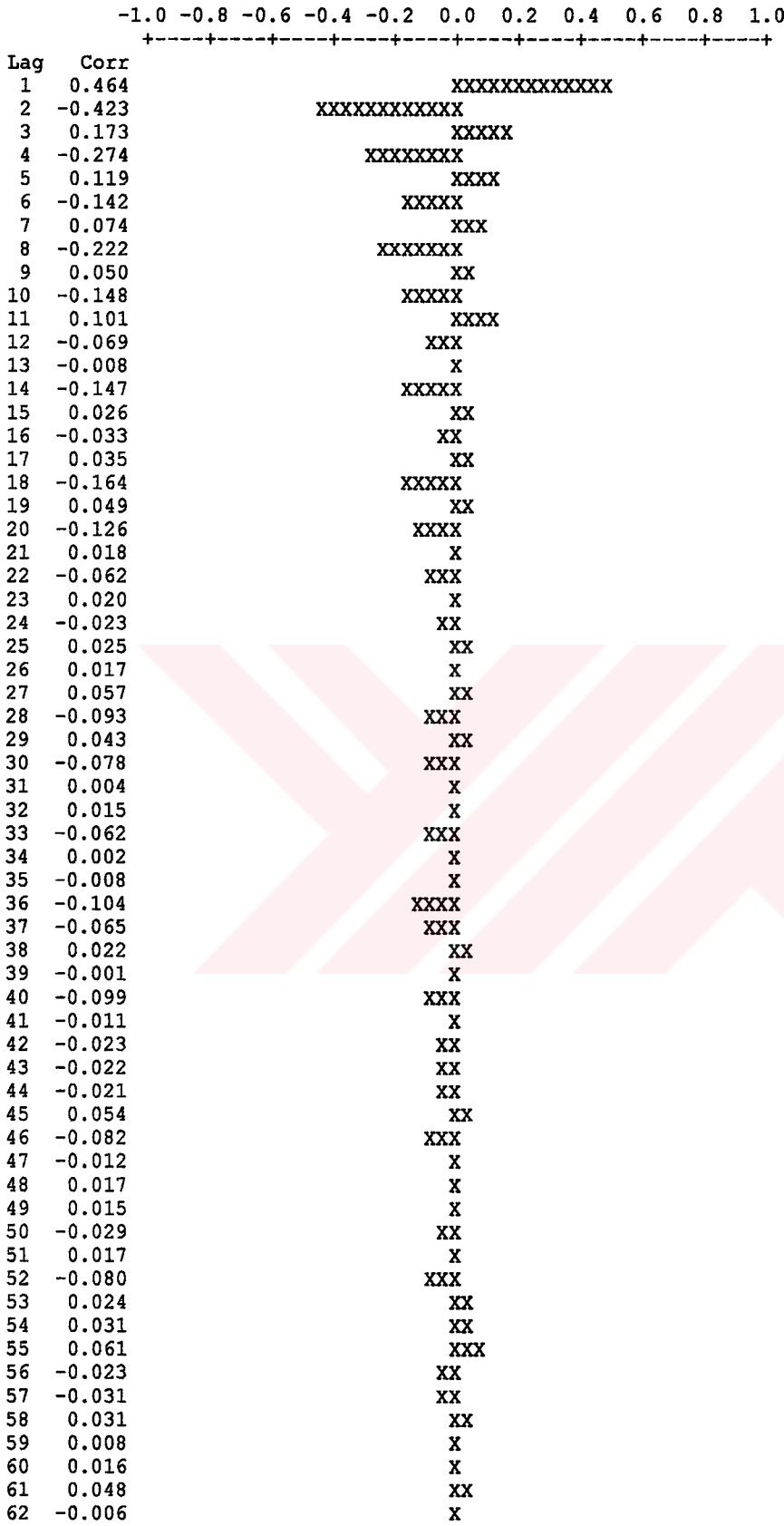
Şekil 27. ENKISA kuralı çıktı verilerinin farklılık derecesi 1 için düzenlenmiş verilerin otokorelasyon fonksiyonu



Şekil 28. ENKISA kuralı çıktı verilerinin farklılık derecesi 2 için düzenlenmiş verilerin otokorelasyon fonksiyonu.



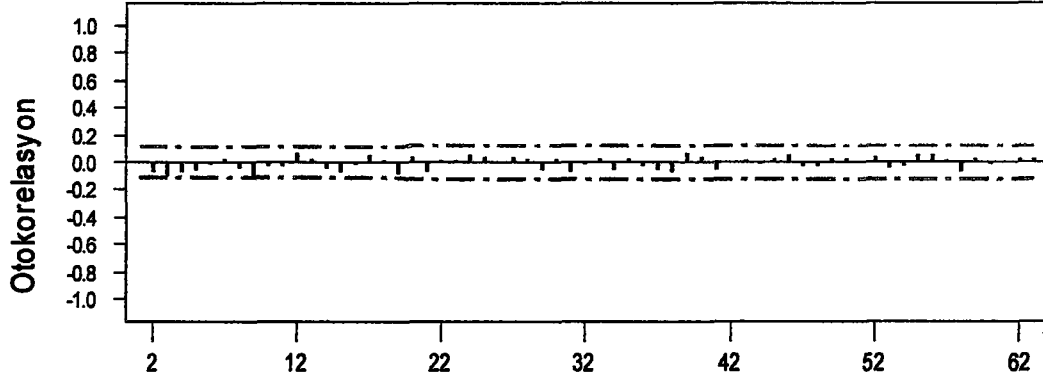
Şekil 29. ENKISA kuralı çıktı verilerinin farklılık derecesi 1 için düzenlenmiş verilerin kısmi otokorelasyon fonksiyonu.



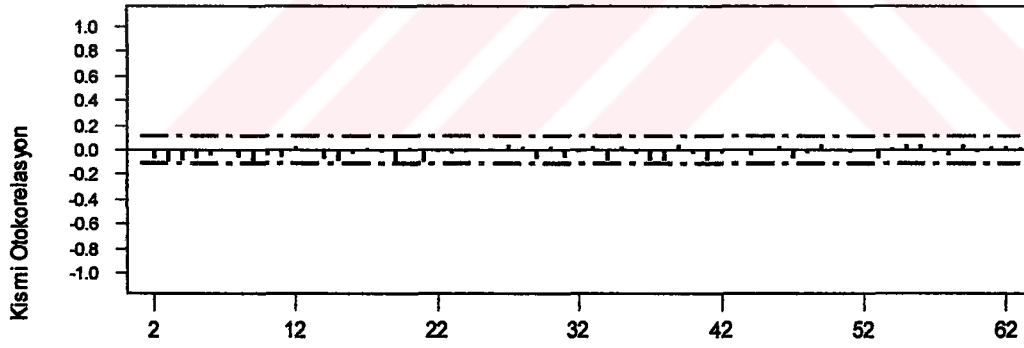
Şekil 30. ENKISA kuralı çıktı verilerinin farklılık derecesi 2 için düzenlenmiş verilerin kısmi otokorelasyon fonksiyonu.

Şekil 26.'da birinci veri grubu için durağan olmayan otokorelasyon fonksiyonu görülmektedir. Şekil 27. ve 28. de farklılık derecesi 1 ve 2 için düzenlenmiş verilerin otokorelasyon fonksiyonu görülmektedir. Şekil 29. ve 30. de ise farklılık derecesi 1 ve 2 için düzenlenmiş verilerin kısmi otokorelasyon fonksiyonu görülmektedir. Farklılık 1 için verilerin durağanlığı daha iyi sağlanmıştır. Farklılık 1 için düzenlenmiş verilerin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayısı korelogramlarında güven aralığı içinde kalan katsayılardan durağanlığın sağlandığı görülmektedir (Şekil 31.). Farklılık 2 için düzenlenmiş verilerin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayısı korelogramlarında güven aralığı dışında kalan katsayıların durağanlığı bozduğu görülmektedir (Şekil 32.). Diğer üç veri grubu için de düzenlenmiş veriler durağanlığı sağlamıştır (Ek Şekil 12., 13., 14.). İGÖ kuralından elde edilmiş verilerle yapılan deneylerde de farklılık 1 için yapılan düzeltme farklılık 2 için yapılan düzeltmeden daha iyi sonuç vermiştir (Ek Şekil 13.,15.).



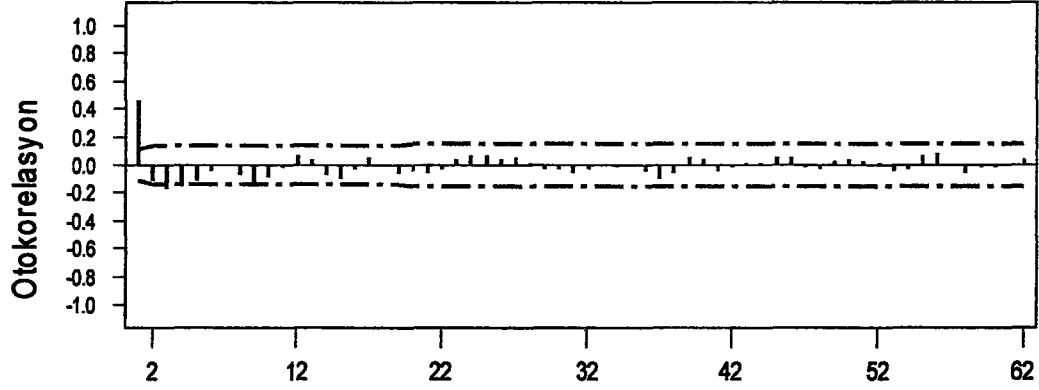


Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	-0.00	-0.02	0.00	16	-0.01	-0.19	14.78	31	-0.07	-1.13	25.67	46	0.06	0.94	35.61	61	-0.00	-0.03	42.19
2	-0.07	-1.23	1.53	17	0.05	0.85	15.82	32	-0.01	-0.21	25.73	47	-0.03	-0.47	35.92	62	0.03	0.51	42.60
3	-0.09	-1.59	4.14	18	0.02	0.27	15.71	33	0.03	0.55	28.12	48	-0.02	-0.37	36.12	63	0.03	0.49	42.99
4	-0.07	-1.23	5.72	19	-0.08	-1.34	17.83	34	-0.05	-0.86	27.09	49	0.03	0.42	36.38				
5	-0.06	-1.03	6.85	20	0.04	0.64	18.32	35	0.03	0.51	27.43	50	0.03	0.47	36.70				
6	-0.02	-0.35	6.98	21	-0.07	-1.23	20.14	36	-0.02	-0.38	27.62	51	-0.00	-0.02	36.70				
7	0.03	0.50	7.28	22	0.01	0.15	20.17	37	-0.06	-0.94	28.80	52	0.04	0.56	37.17				
8	-0.04	-0.63	7.68	23	0.01	0.14	20.19	38	-0.06	-1.02	30.19	53	-0.04	-0.63	37.78				
9	-0.09	-1.56	10.34	24	0.05	0.81	20.99	39	0.07	1.08	31.78	54	-0.03	-0.48	38.11				
10	-0.02	-0.41	10.53	25	0.04	0.62	21.47	40	0.04	0.65	32.37	55	0.05	0.79	39.04				
11	-0.03	-0.48	10.79	26	0.00	0.07	21.47	41	-0.06	-0.99	33.74	56	0.06	0.93	40.35				
12	0.06	1.08	12.10	27	0.04	0.70	22.09	42	0.00	0.05	33.74	57	0.01	0.11	40.37				
13	0.03	0.53	12.42	28	0.03	0.47	22.37	43	0.02	0.31	33.88	58	-0.06	-0.99	41.88				
14	-0.05	-0.77	13.10	29	-0.06	-1.02	23.67	44	-0.02	-0.28	33.98	59	0.02	0.33	42.05				
15	-0.07	-1.20	14.74	30	0.03	0.53	24.04	45	0.03	0.50	34.34	60	-0.02	-0.30	42.19				

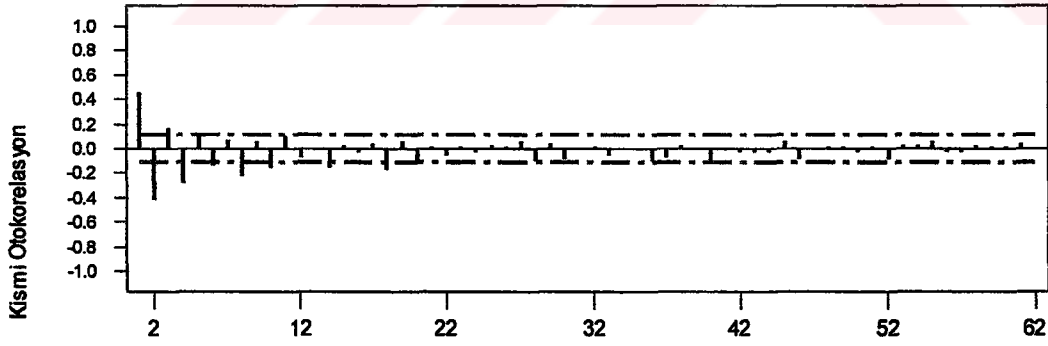


Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T
1	-0.00	-0.02	16	-0.03	-0.50	31	-0.06	-1.05	46	0.03	0.59	61	0.03	0.55
2	-0.07	-1.23	17	0.02	0.36	32	-0.01	-0.23	47	-0.06	-1.12	62	0.03	0.57
3	-0.09	-1.61	18	-0.02	-0.32	33	0.03	0.57	48	-0.03	-0.51	63	0.01	0.16
4	-0.08	-1.38	19	-0.12	-2.09	34	-0.08	-1.43	49	0.04	0.62			
5	-0.08	-1.33	20	0.01	0.18	35	0.02	0.40	50	-0.00	-0.06			
6	-0.04	-0.76	21	-0.09	-1.62	36	-0.03	-0.53	51	-0.01	-0.20			
7	0.00	0.06	22	-0.01	-0.20	37	-0.08	-1.46	52	-0.00	-0.01			
8	-0.06	-1.07	23	-0.03	-0.59	38	-0.09	-1.50	53	-0.06	-1.13			
9	-0.11	-1.94	24	-0.01	-0.13	39	0.04	0.78	54	0.01	0.16			
10	-0.05	-0.81	25	0.00	0.06	40	-0.02	-0.44	55	0.05	0.81			
11	-0.06	-1.09	26	-0.00	-0.01	41	-0.08	-1.36	56	0.05	0.81			
12	0.03	0.50	27	0.04	0.78	42	-0.03	-0.55	57	-0.01	-0.16			
13	-0.00	-0.06	28	0.03	0.54	43	-0.00	-0.05	58	-0.04	-0.79			
14	-0.07	-1.30	29	-0.07	-1.22	44	-0.04	-0.75	59	0.06	0.81			
15	-0.09	-1.52	30	0.02	0.39	45	-0.00	-0.00	60	-0.01	-0.13			

Şekil 31. Farklılık 1 için düzenlenmiş ENKISA kuralı çıktı verilerinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayısı korelogramlarının görünümü.



Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	0.46	8.12	66.64	16	-0.02	-0.29	104.79	31	-0.06	-0.79	115.59	46	0.06	0.79	126.16	61	0.00	0.06	134.14
2	-0.12	-1.70	70.84	17	0.05	0.72	105.72	32	-0.03	-0.41	115.91	47	-0.01	-0.15	126.21	62	0.05	0.61	135.01
3	-0.16	-2.35	79.03	18	0.00	0.02	105.72	33	0.00	0.01	115.91	48	-0.02	-0.32	126.43				
4	-0.15	-2.09	85.77	19	-0.05	-0.71	106.63	34	-0.02	-0.27	116.06	49	0.03	0.39	126.75				
5	-0.11	-1.48	89.28	20	-0.04	-0.52	107.12	35	-0.01	-0.09	116.07	50	0.04	0.55	127.41				
6	-0.04	-0.50	89.67	21	-0.05	-0.68	107.96	36	-0.04	-0.48	116.54	51	0.03	0.41	127.78				
7	0.00	0.01	89.67	22	-0.02	-0.32	108.14	37	-0.10	-1.34	120.11	52	0.02	0.20	127.87				
8	-0.07	-0.94	91.12	23	0.04	0.50	108.60	38	-0.06	-0.77	121.31	53	-0.04	-0.48	128.39				
9	-0.12	-1.69	95.84	24	0.07	0.96	110.32	39	0.06	0.73	122.42	54	-0.03	-0.33	128.63				
10	-0.08	-1.16	98.10	25	0.06	0.86	111.71	40	0.04	0.57	123.07	55	0.06	0.83	130.16				
11	-0.01	-0.12	98.13	26	0.04	0.59	112.37	41	-0.04	-0.53	123.65	56	0.09	1.13	133.03				
12	0.07	0.90	99.51	27	0.06	0.79	113.55	42	-0.02	-0.24	123.77	57	0.01	0.07	133.04				
13	0.04	0.56	100.04	28	0.02	0.25	113.68	43	0.01	0.16	123.83	58	-0.05	-0.63	133.95				
14	-0.07	-0.89	101.43	29	-0.03	-0.42	114.01	44	0.01	0.11	123.85	59	-0.02	-0.26	134.10				
15	-0.10	-1.35	104.64	30	-0.03	-0.44	114.38	45	0.05	0.69	124.85	60	-0.01	-0.12	134.13				



Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T
1	0.46	8.12	16	-0.03	-0.58	31	0.00	0.07	46	-0.08	-1.43	61	0.05	0.85			
2	-0.42	-7.41	17	0.04	0.61	32	0.01	0.25	47	-0.01	-0.21	62	-0.01	-0.10			
3	0.17	3.03	18	-0.16	-2.88	33	-0.06	-1.08	48	0.02	0.30						
4	-0.27	-4.79	19	0.05	0.88	34	0.00	0.03	49	0.01	0.26						
5	0.12	2.08	20	-0.13	-2.20	35	-0.01	-0.14	50	-0.03	-0.51						
6	-0.14	-2.48	21	0.02	0.32	36	-0.10	-1.82	51	0.02	0.29						
7	0.07	1.29	22	-0.06	-1.09	37	-0.07	-1.14	52	-0.08	-1.41						
8	-0.22	-3.89	23	0.02	0.35	38	0.02	0.39	53	0.02	0.41						
9	0.05	0.87	24	-0.02	-0.40	39	-0.00	-0.03	54	0.03	0.55						
10	-0.15	-2.59	25	0.03	0.44	40	-0.10	-1.74	55	0.08	1.07						
11	0.10	1.78	26	0.02	0.29	41	-0.01	-0.19	56	-0.02	-0.39						
12	-0.07	-1.21	27	0.06	0.99	42	-0.02	-0.41	57	-0.03	-0.54						
13	-0.01	-0.14	28	-0.09	-1.62	43	-0.02	-0.38	58	0.03	0.55						
14	-0.15	-2.58	29	0.04	0.75	44	-0.02	-0.37	59	0.01	0.14						
15	0.03	0.45	30	-0.08	-1.37	45	0.05	0.94	60	0.02	0.27						

Şekil 32. Farklılık 2 için düzenlenmiş ENKISA kuralı çıktı verilerinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayısı korelogramlarının görünümü.

İlk evre ikinci adımda verilerin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayılarının karşılaştırılması yapılarak uygun ARIMA modeli seçilir. MINITAB paketi kullanıcı tarafından verilen ARIMA modellerini dener. Deneme ARIMA modelleri için parametreler tahmin edilir. Modelin uygunluğunu kontrol etmede hata terimlerinin otokorelasyonları kontrol edilir. Modelin uygunluğu ayrıca artıkların otokorelasyonuna χ^2 testi uygulanarak kontrol edilir. Uygun tahminci modelin belirlenmesi için her veri grubunda beş ayrı ARIMA modeli denenmiştir. ARIMA(p, d,q) modelleri:

- ARIMA(1,1,0)
- ARIMA(1,1,1)
- ARIMA(0,1,1)
- ARIMA(0,1,2)
- ARIMA(2,1,0)

şeklinde tanımlanmıştır.

3. BULGULAR

Bölüm 2.5 de önerilen ARIMA (p,d,q) modelleri Şekil 14., 15., 16.'da verilen teorik dağılımları göz önünde bulundurularak modelin birinci evre ikinci adımdaki alınan sonuçlara göre belirlenmiştir. Şekil 23., 25., 27., 29. ve ek şekil 18., 19., 20., 21'de bu adımda alınan sonuçlar verilmiştir. Üstel olarak sıfıra doğru azalan otokorelasyon sabitleri için AR süreci, üstel olarak sıfıra doğru azalan kısmi otokorelasyon sabitleri için MA süreci tercih ediliyor. Dört veri grubu için yapılan deneylerde sıfıra doğru azalan değerler özellikle yinelemeli değerlerde sıfırın altında değerlerde aldığı görülmüştür. Stokastik süreçlerin rassal özelliği nedeniyle tek bir deney yerine birden fazla deneyin yinelenmesiyle alınan sonuçlar, yansız tahminde bulunmayı sağlayacaktır. Bu nedenle AR modellerinde $p=1$ ve $p=2$ için tahminci modeller denenmiştir. Deneylerden elde edilen kısmi otokorelasyon sabitlerinin dağılımına bakıldığında teorik AR(p) modellerinde olduğu gibi aniden sıfıra doğru azalan süreç görülmektedir. Teorik MA(q) (şekil 15.) dağılımlarındaki kadar belirgin olmasa da sıfırdan farklı kısmi otokorelasyon sabitlerinde de azalıp çoğalmalar görülmektedir. Bu nedenle tahminci model deneylerinde MA(q) süreci $q=1$ ve $q=2$ değerleri içinde denenmiştir. ARIMA(p,q) ve ARIMA(p,d,q) her iki modeli de içerdiğinden p, d, q'nun sıfırdan farklı değerlerinde de tahminci model deneyleri yapılmıştır.

3.1. ENKISA Kuralı Simülasyon Çıktı Verileri İçin Tahminci Model Sonuçları

ARIMA (1, 1, 0), (0, 1, 1), (1, 1, 1), (0, 1, 2) ve (2, 1, 0) tahminci modelleri için alınan sonuçlar Tablo 1., 2., 3., 4., 5.'de verilmiştir. Birinci evrede yapılan deneylerde durağan olmayan verileri durağan hale getirmek için farklılık düzeyi 1 alındığından tüm modellerde $d=1$ alınmıştır. Bu deneylerden ARIMA (1, 1, 1) için verilere uyan uygun model tahmin edilememiştir. Tablo 1.'de denenilen AR(1) modeli verilere uygun bulunmuştur. Ortalama hata karesinin 3.229 değeri verilerin uygunluğunun iyi olduğunu gösterir. AR(1) sürecinin sabiti için T oranı 0.10 luk büyük anlamlılık düzeyinde bile sağlanır. Sürecin sabiti T oranı içinde aynı şey söylenebilir.

Tablo 1. ENKISA'da ARIMA(1, 1, 0) Modeli

ENKISA için ARIMA Modeli				
Yineleme	Standart Sapma	Parametreler		
0	997.473	0.100	0.105	
1	984.953	0.004	0.011	
2	984.917	-0.001	0.016	
3	984.917	-0.001	0.016	
4	984.917	-0.001	0.016	
5	984.917	-0.001	0.016	
Parametrelerin Final Tahminleri				
Tip	Katsayı	Standart Sapma	T	Bağıl Değişken
AR 1	-0.0011	0.0573	-0.02	0.001
Sabit	0.0163	0.1026	0.16	0.001
Farklılık (DF) :	1			
Gözlem Sayısı :	308			
	Standart Sapma	MSE	DF	
	984.917	3.229	305	
Değiştirilmiş Box-Jenkins Ki kare İstatistiği				
Gecikme	12	24	36	48
Ki Kare	12.1 (DF=11)	21.0 (DF=23)	27.6 (DF=35)	36.1 (DF=47)

Tablo 2. ENKISA'da ARIMA(1, 1, 1) modeli

ENKISA için ARIMA Modeli				
Yineleme	Standart Sapma	Parametreler		
0	987.989	0.100	0.100	0.105
1	984.836	0.096	0.105	0.018
2	984.557	0.246	0.545	0.015
3	984.152	0.369	0.404	0.012
4	983.553	0.546	0.554	0.009
5	982.578	0.696	0.704	0.006
6	980.570	0.845	0.854	0.003
7	974.392	0.991	1.004	0.000
8	974.129	0.989	1.004	0.000

HATA : Bu verilerle model tahmin edilemedi.

Tablo 3. ENKISA'da ARIMA(0, 1, 1) Modeli

ENKISA için ARIMA Modeli				
Yineleme	Standart Sapma	Parametreler		
0	996.848	0.100	0.116	
1	985.392	0.023	0.030	
2	984.933	0.006	0.017	
3	984.918	0.002	0.016	
4	984.917	0.001	0.016	
5	984.917	0.001	0.016	
6	984.917	0.001	0.016	
7	984.917	0.001	0.016	
Parametrelerin Final Tahminleri				
Tip	Katsayı	Standart Sapma	T	Bağıl Değişken
MA 1	0.0013	0.0573	0.02	0.001
Sabit	0.0163	0.1024	0.16	0.001
Farklılık (DF) :	1			
Gözlem Sayısı :	308			
	Standart Sapma	MSE	DF	
	984.917	3.229	305	
Değiştirilmiş Box-Jenkins Ki kare İstatistiği				
Gecikme	12	24	36	48
Ki Kare	12.1 (DF=11)	21.0 (DF=23)	27.6 (DF=35)	36.1 (DF=47)

Tablo 4. ENKISA'da ARIMA (2, 1, 0) modeli

ENKISA için ARIMA Modeli				
Yineleme	Standart Sapma	Parametreler		
0	1020.520	0.100	0.100	0.093
1	980.710	0.011	-0.050	-0.002
2	980.060	-0.001	-0.069	0.017
3	980.060	-0.001	-0.070	0.017
4	980.060	-0.001	-0.070	0.017
5	980.060	-0.001	-0.070	0.017
Parametrelerin Final Tahminleri				
Tip	Katsayı	Standart Sapma	T	Bağıl Değişken
AR 1	-0.0012	0.0572	-0.02	0.001
AR 2	-0.0704	0.0573	-1.23	0.001
Sabit	0.017	0.1025	0.17	0.001
Farklılık (DF) :	1			
Gözlem Sayısı :	308			
	Standart Sapma	MSE	DF	
	980.057	3.224	304	
Değiştirilmiş Box-Jenkins Ki kare İstatistiği				
Gecikme	12	24	36	48
Ki Kare	11.4 (DF=10)	20.2 (DF=22)	27.4 (DF=34)	34.6 (DF=46)

Tablo 5. ENKISA'da ARIMA(0, 1, 2) modeli

ENKISA için ARIMA Modeli				
Yineleme	Standart Sapma	Parametreler		
0	989.669	0.100	0.100	0.116
1	979.454	0.027	0.116	0.028
2	978.885	0.026	0.096	0.017
3	978.829	0.022	0.091	0.016
4	978.822	0.021	0.090	0.016
5	978.821	0.020	0.089	0.016
6	978.821	0.020	0.089	0.016
7	978.821	0.020	0.089	0.016
8	978.821	0.020	0.089	0.016
Parametrelerin Final Tahminleri				
Tip	Katsayı	Standart Sapma	T	Bağıl Değişken
MA 1	0.0199	0.0571	0.35	0.001
MA 2	0.0885	0.0572	1.55	0.001
Sabit	0.01573	0.09131	0.17	0.001
Farklılık (DF) :	1			
Gözlem Sayısı :	308			
	Standart Sapma	MSE	DF	
	978.821	3.220	304	
Değiştirilmiş Box-Jenkins Ki kare İstatistiği				
Gecikme	12	24	36	48
Ki Kare	11.8 (DF=10)	20.4 (DF=22)	27.6 (DF=34)	34.6 (DF=46)

Ayrıca χ^2 test istatistiği de modelin uygunluğu için sağlanmaktadır. $n=308$ gözlem değerinden sonraki değerler ayrı bir koşulla bu modele uygun süreçte istenilen uzunlukta tahmin edilip güven aralıkları hesaplanabilir. Tahminci gözlem değerleri bu süreç için;

$$\hat{Y}_t = 0.0163 + (-0.0011)Y_{308}$$

şeklinde hesaplanır.

Tablo 3. ARIMA (0, 1, 1) şeklinde önerilen tahminci model uygun olmuştur. Ortalama hata karesi ve T oranı ARIMA(1, 1, 0) modeline benzer davranış gösterir. χ^2 testi istatistiği de uç sınırlarda olmayacak şekilde rahat sağlamaktadır.

MA(1) süreci için tahminci değer;

$$\hat{Y}_t = W_0 - W_1 \varepsilon_{t-1}$$

$$= 0.0163 - 0.0013 \cdot \varepsilon_{t-1}$$

$$\varepsilon_{t-1} = Y_{t-1} - \hat{Y}_{t-1} \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

ARIMA(0, 1, 2) modeli durağan seriler için iki terimli MA sürecini ifade etmektedir. 8. Yinelemeden sonra uygun MA(2) modeli sabitleri ve katsayılarını

belirlemiştir. Hata karelerinin ortalamaları ve χ^2 testi de modelin uygunluğunu desteklemektedir.

ARIMA(2, 1, 0) tahminci modeli iki terimli AR sürecinin ARIMA(1, 1, 0) tek terimli AR sürecinden daha iyi olduğunu söyleyebilecek ölçüt farklılığı yoktur. Tahminci parametre değerlerini özetleyebilecek uygun bir model olduğu belirlenmiştir.

3.2. Yinelemeli ENKISA Kuralı Simülasyon Çıktı Verileri İçin Tahminci Model Sonuçları

Çıktı verileri için tahminci model sonuçları Tablo 6., 7., 8., 9. ve 10. da 10 yineleme sonucu elde edilen gözlem değerlerinin ortalamasıyla tek bir gözlem değerlerinin elde edildiği veri grubu için tahminci model sonuçlarını göstermektedir. bu veri grubu için otokorelasyon sabitleri korelogramı diğer veri grubundan farklı bir dağılım göstermiştir. Tahminci modellerde (1, 1, 0) ve (2, 1, 0) süreçlerinin denemesi bölüm 3.1 deki deney sonuçlarından daha uygun bir sonuç elde edilmiştir. Hata karelerinin ortalaması oldukça düşük gözlenmiştir (Tablo 6., 10). T oranları da aynı doğrultu da oldukça küçük değerler almıştır. Bu da istenilen bir durumdur. Benzer şekilde χ^2 test istatistiği de uygunluğu kanıtlamaktadır.

Tablo 6. Yinelemeli ENKISA'da ARIMA(1, 1, 0) modeli

YN ENKISA için ARIMA Modeli				
Yineleme	Standart Sapma	Parametreler		
0	203.572	0.100	0.099	
1	198.380	-0.011	0.003	
2	198.357	-0.017	0.010	
3	198.357	-0.017	0.010	
4	198.357	-0.017	0.010	
Parametrelerin Final Tahminleri				
Tip	Katsayı	Standart Sapma	T	Bağıl Değişken
AR 1	-0.0171	0.0573	-0.30	0.001
Sabit	0.00996	0.04603	0.22	0.001
Farklılık (DF) :	1			
Gözlem Sayısı :	308			
	Standart Sapma	MSE	DF	
	198.357	0.65	305	
Değiştirilmiş Box-Jenkins Ki kare İstatistiği				
Gecikme	12	24	36	48
Ki Kare	11.6 (DF=11)	16.8 (DF=23)	22.3 (DF=35)	29.1 (DF=47)

Tablo 7. Yinelemeli ENKISA'da ARIMA(0, 1, 1) modeli

YN ENKISA için ARIMA Modeli				
Yineleme	Standart Sapma	Parametreler		
0	203.361	0.100	0.11	
1	198.425	0.029	0.023	
2	198.352	0.020	0.011	
3	198.352	0.019	0.010	
4	198.352	0.019	0.010	
5	198.352	0.019	0.010	
Parametrelerin Final Tahminleri				
Tip	Katsayı	Standart Sapma	T	Bağıl Değişken
MA 1	0.0187	0.0573	0.33	0.001
Sabit	0.00979	0.04517	0.22	0.001
Farklılık (DF) :	1			
Gözlem Sayısı :	308			
	Standart Sapma	MSE	DF	
	198.352	0.65	305	
Değiştirilmiş Box-Jenkins Ki kare İstatistiği				
Gecikme	12	24	36	48
Ki Kare	11.6 (DF=11)	16.8 (DF=23)	22.3 (DF=35)	29.1 (DF=47)

Tablo 8. Yinelemeli ENKISA'da ARIMA(1, 1, 1) modeli

YN ENKISA için ARIMA Modeli				
Yineleme	Standart Sapma	Parametreler		
0	201.485	0.100	0.099	
1	198.330	0.090	0.012	
2	198.306	0.240	0.009	
3	198.299	0.389	0.007	
4	198.297	0.342	0.007	
5	198.297	0.350	0.006	
6	198.297	0.345	0.006	
7	198.297	0.348	0.006	
8	198.297	0.347	0.006	
Parametrelerin Final Tahminleri				
Tip	Katsayı	Standart Sapma	T	Bağıl Değişken
AR 1	0.3474	20.236	0.17	0.001
MA 1	0.3703	20.045	0.18	0.001
Sabit	0.0064	0.02905	0.22	0.001
Farklılık (DF) :	1			
Gözlem Sayısı :	308			
	Standart Sapma	MSE	DF	
	198.297	0.652	304	
Değiştirilmiş Box-Jenkins Ki kare İstatistiği				
Gecikme	12	24	36	48
Ki Kare	11.4 (DF=10)	16.7 (DF=22)	22.2 (DF=34)	28.9 (DF=46)

Tablo 9. Yinelemeli ENKISA'da ARIMA(0, 1, 2) modeli

YN ENKISA için ARIMA Modeli				
Yineleme	Standart Sapma	Parametreler		
0	205.426	0.100	0.100	0.11
1	198.194	0.014	0.050	0.032
2	198.013	0.012	0.042	0.011
3	198.012	0.013	0.042	0.01
4	198.012	0.013	0.042	0.01
5	198.012	0.013	0.042	0.01
Parametrelerin Final Tahminleri				
Tip	Katsayı	Standart Sapma	T	Bağıl Değişken
MA 1	0.0132	0.0573	0.23	0.001
MA 2	0.0419	0.0573	0.73	0.001
Sabit	0.0098	0.04353	0.23	0.001
Farklılık (DF) :	1			
Gözlem Sayısı :	308			
	Standart Sapma	MSE	DF	
	198.012	0.651	304	
Değiştirilmiş Box-Jenkins Ki kare İstatistiği				
Gecikme	12	24	36	48
Ki Kare	10.9 (DF=10)	16.3 (DF=22)	22.1 (DF=34)	28.4 (DF=46)

Tablo 10. Yinelemeli ENKISA'da ARIMA(2, 1, 0) modeli

YN ENKISA için ARIMA Modeli				
Yineleme	Standart Sapma	Parametreler		
0	206.680	0.100	0.100	0.088
1	198.222	-0.120	-0.036	-0.017
2	197.983	-0.018	-0.043	0.009
3	197.983	-0.018	-0.043	0.01
4	197.983	-0.018	-0.043	0.01
5	197.983	-0.018	-0.043	0.01
Parametrelerin Final Tahminleri				
Tip	Katsayı	Standart Sapma	T	Bağıl Değişken
AR 1	-0.0178	0.0573	-0.31	0.001
AR 2	-0.0435	0.0573	-0.76	0.001
Sabit	0.0104	0.04606	0.23	0.001
Farklılık (DF) :	1			
Gözlem Sayısı :	308			
	Standart Sapma	MSE	DF	
	197.983	0.651	304	
Değiştirilmiş Box-Jenkins Ki kare İstatistiği				
Gecikme	12	24	36	48
Ki Kare	10.8 (DF=10)	16.2 (DF=22)	22.0 (DF=34)	28.2 (DF=46)

MA(1) ve MA(2) süreçlerinin uygunluğu, AR(1) ve AR(2) süreçlerinin uygunluğu kadar iyi çıkmıştır. ENKISA kuralı simülasyon çıktıları veri grubuna uygun tahminci model bulunamamıştır. Bu veri grubu için küçük T oranları ve düşük ortalama hata kareleriyle otoregresiv ve hareketli ortalamayı içeren bütünleşik tahminci model parametre tahmini için kullanılabilir.

3.3. İGÖ Kuralı Simülasyon Çıktı Verileri İçin Tahminci Model Sonuçları

Bu veri grubu içinde aynı tahminci modellerin uygunluğu denenmiştir. AR(1) ve AR(2) süreci (Tablo 11., 15.) için hata kareleri ortalamasında fazla bir farklılık görülmemekle birlikte, χ^2 test istatistiğinde AR(2) uyumu daha iyi sağlamıştır. Her iki modelinde veri grubuna uygun olduğu belirlenmiştir. MA(1) ve MA(2) modelleri (Tablo 12. ve 13.) incelendiğinde iki terimli model MA(2)'nin 0.651 ortalama hata karesiyle, tek terimli model MA(1)'den daha uygun olduğu gözlenmiştir. Her iki modelde de T oranları sabitler ve katsayıları düşük gözlenmiştir. ARIMA(1, 1, 1) bütünleşik yaklaşımı (Tablo 14.) ancak 25. Yinelemeden sonra uygun model sabitleri ve parametreleriyle tahminci modeli belirlemiştir. Yinelemeli ENKISA çıktı verilerine (1, 1, 1) modelinin uygunluğu İGÖ kuralı çıktı verilerine uygunluktan daha iyi olmuştur.

Tablo 11. İGÖ'de ARIMA(1, 1, 0) modeli

İGÖ için ARIMA Modeli				
Yineleme	Standart Sapma	Parametreler		
0	1088.35	0.100	0.111	
1	1053.26	-0.050	0.024	
2	1052.44	-0.077	0.025	
3	1052.43	-0.078	0.025	
4	1052.43	-0.078	0.025	
Parametrelerin Final Tahminleri				
Tip	Katsayı	Standart Sapma	T	Bağıl Değişken
AR 1	-0.0779	0.0572	-1.36	0.001
Sabit	0.0251	0.106	0.24	0.001
Farklılık (DF) :	1			
Gözlem Sayısı :	308			
	Standart Sapma	MSE	DF	
	1052.43	3.45	305	
Değiştirilmiş Box-Jenkins Ki kare İstatistiği				
Gecikme	12	24	36	48
Ki Kare	14.8 (DF=11)	30.4 (DF=23)	39.8 (DF=35)	55.5 (DF=47)

Tablo 12. İGÖ'de ARIMA(0, 1, 1) modeli

İGÖ için ARIMA Modeli				
Yineleme	Standart Sapma	Parametreler		
0	1060.74	0.100	0.123	
1	1054.51	0.043	0.034	
2	1054.22	0.061	0.024	
3	1054.19	0.055	0.023	
4	1054.19	0.057	0.023	
5	1054.19	0.056	0.023	
6	1054.19	0.057	0.023	
7	1054.19	0.056	0.023	
Parametrelerin Final Tahminleri				
Tip	Katsayı	Standart Sapma	T	Bağıl Değişken
MA 1	0.0565	0.0573	0.99	0.001
Sabit	0.0232	0.1001	0.23	0.001
Farklılık (DF) :	1			
Gözlem Sayısı :	308			
	Standart Sapma	MSE	DF	
	1054.19	3.46	305	
Değiştirilmiş Box-Jenkins Ki kare İstatistiği				
Gecikme	12	24	36	48
Ki Kare	15.0 (DF=11)	29.8 (DF=23)	39.4 (DF=35)	54.7 (DF=47)

Tablo 13. İGÖ'de ARIMA(0, 1, 2) modeli

İGÖ için ARIMA Modeli				
Yineleme	Standart Sapma	Parametreler		
0	1117.43	0.100	0.100	0.123
1	1038.64	0.085	-0.050	0.088
2	1017.57	0.073	-0.188	0.035
3	1017.23	0.088	-0.179	0.023
4	1017.22	0.088	-0.182	0.022
5	1017.22	0.088	-0.182	0.022
6	1017.22	0.088	-0.182	0.022
Parametrelerin Final Tahminleri				
Tip	Katsayı	Standart Sapma	T	Bağıl Değişken
MA 1	0.088	0.0565	1.56	0.001
MA 2	-0.1821	0.0565	-3.22	0.001
Sabit	0.0223	0.1142	0.20	0.001
Farklılık (DF) :	1			
Gözlem Sayısı :	308			
	Standart Sapma	MSE	DF	
	1017.22	3.35	304	
Değiştirilmiş Box-Jenkins Ki kare İstatistiği				
Gecikme	12	24	36	48
Ki Kare	4.3 (DF=10)	16.5 (DF=22)	25.7 (DF=34)	45.5 (DF=46)

Tablo 14. İGÖ'de ARIMA(1, 1, 1) modeli

İGÖ için ARIMA Modeli				
Yineleme	Standart Sapma	Parametreler		
0	1061.91	0.100	0.100	0.111
1	1055.88	0.072	0.128	0.021
2	1052.45	-0.078	-0.022	0.024
3	1049.37	-0.228	-0.171	0.027
4	1046.54	-0.378	-0.321	0.030
5	1043.79	-0.528	-0.469	0.034
6	1040.62	-0.678	-0.609	0.038
7	1039.00	-0.614	-0.509	0.037
8	1039.00	-0.722	-0.625	0.040
9	1038.81	-0.640	-0.533	0.038
10	1038.79	-0.698	-0.598	0.039
11	1038.75	-0.652	-0.546	0.038
12	1038.75	-0.69	-0.589	0.039
13	1038.73	-0.657	-0.522	0.038
14	1038.73	-0.685	-0.583	0.039
15	1038.72	-0.661	-0.556	0.038
16	1038.72	-0.681	-0.579	0.039
17	1038.72	-0.663	-0.559	0.038
18	1038.72	-0.679	-0.576	0.039
19	1038.71	-0.665	-0.561	0.039
20	1038.71	-0.677	-0.574	0.039
21	1038.71	-0.667	-0.563	0.039
22	1038.71	-0.675	-0.573	0.039
23	1038.71	-0.668	-0.564	0.039
24	1038.71	-0.674	-0.571	0.039
25	1038.71	-0.669	-0.566	0.039
* 25 yinelemeden sonra birleştirme ölçütüne rastlanmadı.				
Parametrelerin Final Tahminleri				
Tip	Katsayı	Standart Sapma	T	Bağıl Değişken
AR 1	-0.6694	0.2599	-2.58	
MA 1	-0.05658	0.2885	-1.96	
Sabit	0.0386	0.1652	0.23	
Farklılık (DF) :	1			
Gözlem Sayısı :	308			
	Standart Sapma	MSE	DF	
	1038.71	3.42	304	
Değiştirilmiş Box-Jenkins Ki kare İstatistiği				
Gecikme	12	24	36	48
Ki Kare	11.1 (DF=10)	26.9 (DF=22)	35.4 (DF=34)	52.8 (DF=46)

Tablo15. İGÖ'de ARIMA(2, 1, 0) modeli

İGÖ için ARIMA Modeli				
Yineleme	Standart Sapma	Parametreler		
0	1057.01	0.100	0.100	0.098
1	1017.39	-0.05	0.177	0.018
2	1017.13	-0.063	0.183	0.019
3	1017.13	-0.064	0.183	0.019
4	1017.13	-0.064	0.184	0.019
Parametrelerin Final Tahminleri				
Tip	Katsayı	Standart Sapma	T	Bağıl Değişken
AR 1	-0.0636	0.0565	-1.13	0.001
AR 2	0.1835	0.0565	3.25	0.001
Sabit	0.0192	0.1044	0.18	0.001
Farklılık (DF) :	1			
Gözlem Sayısı :	308			
	Standart Sapma	MSE	DF	
	1017.13	3.35	304	
Değiştirilmiş Box-Jenkins Ki kare İstatistiği				
Gecikme	12	24	36	48
Ki Kare	4.3 (DF=10)	15.8 (DF=22)	24.9 (DF=34)	44.0 (DF=46)

3.4. Yinelemeli İGÖ Kuralı Simülasyon Çıktı Verileri İçin Tahminci Model Sonuçları

AR(1) ve AR(2) süreçleri her ikisi de çok küçük ortalama hata karesiyle veriye uygunluğu çok iyi sağlamıştır. (Tablo 16., 20.). uygunluk ölçütlerinde belirgin bir farklılık olmadığından tek terimli MA modelinin kullanılması parametre tahminleri için yeterli olacaktır.

AR(1) ve AR(2) süreçleri de aynı şekilde düşük ortalama hata kareleriyle uygun model belirlemektedir. (Tablo 17., 18.) Fakat χ^2 test istatistiği tek terimli otoregresiv süreçte (MA(1)) uygunluk sağlamamıştır. ARIMA (1, 1, 1) tahminci modelin denenmesi (Tablo 19) düşük ortalama hata kareleriyle uygunluk sağlarken, diğer tahminci modellere göre AR(1) ve AR(2) süreç katsayıları iyi uygunluk sağlamamaktadır. Bu veri grubunun otokorelasyon katsayıları korelogramlarının da diğerlerinden farklı olduğu görülmüştür.

Tablo 16. Yinelemeli İGÖ'da ARIMA(1, 1, 0) modeli

YN İGÖ için ARIMA Modeli				
Yineleme	Standart Sapma	Parametreler		
0	164.714	0.100	0.122	
1	161.677	0.045	0.033	
2	161.676	0.042	0.034	
3	161.676	0.042	0.034	
4	161.676	0.042	0.034	
Parametrelerin Final Tahminleri				
Tip	Katsayı	Standart Sapma	T	Bağıl Değişken
AR 1	0.0419	0.0572	0.73	0.001
Sabit	0.03368	0.04155	0.81	0.001
Farklılık (DF) :	1			
Gözlem Sayısı :	308			
	Standart Sapma	MSE	DF	
	161.676	0.53	305	
Değiştirilmiş Box-Jenkins Ki kare İstatistiği				
Gecikme	12	24	36	48
Ki Kare	35.7 (DF=11)	46.9 (DF=23)	60.1 (DF=35)	64.2 (DF=47)

Tablo 17. Yinelemeli İGÖ'da ARIMA(0, 1, 1) modeli

YN İGÖ için ARIMA Modeli				
Yineleme	Standart Sapma	Parametreler		
0	169.588	0.100	0.135	
1	162.235	-0.050	0.071	
2	161.789	-0.019	0.036	
3	161.773	-0.032	0.035	
4	161.770	-0.027	0.035	
5	161.770	-0.029	0.035	
6	161.770	-0.028	0.035	
7	161.770	-0.028	0.035	
8	161.770	-0.028	0.035	
9	161.770	-0.028	0.035	
10	161.770	-0.028	0.035	
Parametrelerin Final Tahminleri				
Tip	Katsayı	Standart Sapma	T	Bağıl Değişken
MA 1	-0.0281	0.0572	-0.49	0.001
Sabit	0.03517	0.04273	0.82	0.001
Farklılık (DF) :	1			
Gözlem Sayısı :	308			
	Standart Sapma	MSE	DF	
	161.770	0.53	305	
Değiştirilmiş Box-Jenkins Ki kare İstatistiği				
Gecikme	12	24	36	48
Ki Kare	36.8 (DF=11)	48.0 (DF=23)	60.9 (DF=35)	65.0 (DF=47)

Tablo18. Yinelemeli İGÖ'da ARIMA(0, 1, 2) modeli

YN İGÖ için ARIMA Modeli				
Yineleme	Standart Sapma	Parametreler		
0	182.312	0.100	0.100	0.135
1	161.316	0.050	-0.050	0.112
2	153.494	-0.008	-0.200	0.068
3	153.155	-0.025	-0.220	0.037
4	153.152	-0.027	-0.218	0.035
5	153.152	-0.027	-0.218	0.035
6	153.152	-0.027	-0.218	0.035
Parametrelerin Final Tahminleri				
Tip	Katsayı	Standart Sapma	T	Bağlı Değişken
MA 1	-0.027	0.056	-0.48	0.001
MA 2	-0.218	0.0561	-3.88	0.001
Sabit	0.0345	0.05044	0.68	0.001
Farklılık (DF) :	1			
Gözlem Sayısı :	308			
	Standart Sapma	MSE	DF	
	153.150	0.504	304	
Değiştirilmiş Box-Jenkins Ki kare İstatistiği				
Gecikme	12	24	36	48
Ki Kare	15.7 (DF=10)	26.0 (DF=22)	38.7 (DF=34)	42.2 (DF=46)

Tablo 19. Yinelemeli İGÖ'da ARIMA(1, 1, 1) modeli

YN İGÖ için ARIMA Modeli				
Yineleme	Standart Sapma	Parametreler		
0	165.030	0.100	0.100	0.122
1	161.439	0.131	0.068	0.041
2	160.653	0.280	0.218	0.034
3	159.807	0.427	0.368	0.027
4	158.837	0.574	0.518	0.020
5	157.612	0.721	0.668	0.013
6	155.671	0.871	0.818	0.006
7	154.122	0.945	0.860	0.002
8	154.053	0.928	0.840	0.002
9	154.052	0.926	0.838	0.002
Parametrelerin Final Tahminleri				
Tip	Katsayı	Standart Sapma	T	Bağlı Değişken
AR 1	0.9265	0.0675	13.73	0.001
MA 1	0.8378	0.0936	8.95	0.001
Sabit	0.001841	0.006677	0.28	0.001
Farklılık (DF) :	1			
Gözlem Sayısı :	308			
	Standart Sapma	MSE	DF	
	154.042	0.507	304	
Değiştirilmiş Box-Jenkins Ki kare İstatistiği				
Gecikme	12	24	36	48
Ki Kare	15.6 (DF=10)	25.6 (DF=22)	41.5 (DF=34)	46.3 (DF=46)

Tablo 20. Yinelemeli İGÖ'da ARIMA(2, 1, 0) modeli

YN İGÖ için ARIMA Modeli				
Yineleme	Standart Sapma	Parametreler		
0	157.884	0.100	0.100	0.108
1	151.728	0.035	0.242	0.035
2	151.683	0.032	0.249	0.025
3	151.683	0.032	0.249	0.024
4	151.683	0.032	0.249	0.024
Parametrelerin Final Tahminleri				
Tip	Katsayı	Standart Sapma	T	Bağıl Değişken
AR 1	0.0318	0.0556	0.57	0.001
AR 2	0.2495	0.0557	4.48	0.001
Sabit	0.02442	0.04032	0.61	0.001
Farklılık (DF) :	1			
Gözlem Sayısı :	308			
	Standart Sapma	MSE	DF	
	151.681	0.499	304	
Değiştirilmiş Box-Jenkins Ki kare İstatistiği				
Gecikme	12	24	36	48
Ki Kare	11.2 (DF=10)	21.0 (DF=22)	34.2 (DF=34)	38.3 (DF=46)

Tablo 21. Durağan olmayan veriler için model tahmini

ENKISA için ARIMA Modeli				
Yineleme	Standart Sapma	Parametreler		
0	4483.07	0.100	5.220	
1	3432.34	-0.050	5.218	
2	2737.69	-0.200	5.215	
3	2265.58	-0.350	5.211	
4	1949.79	-0.500	5.204	
5	1772.26	-0.650	5.188	
6	1750.14	-0.716	5.155	
7	1749.91	-0.710	5.114	
8	1749.89	-0.714	5.112	
9	1749.88	-0.711	5.112	
10	1749.88	-0.713	5.112	
11	1749.87	-0.712	5.112	
12	1749.87	-0.713	5.112	
13	1749.87	-0.712	5.112	
14	1749.87	-0.713	5.112	
Parametrelerin Final Tahminleri				
Tip	Katsayı	Standart Sapma	T	Bağıl Değişken
MA 1	-0.7127	0.0398	-17.90	0.001
Sabit	5.1118	0.2328	21.96	0.001
Ortalama	5.1118	0.2328		
Gözlem Sayısı :	308			
	Standart Sapma	MSE	DF	
	1745.45	5.70	306	
Değiştirilmiş Box-Jenkins Ki kare İstatistiği				
Gecikme	12	24	36	48
Ki Kare	404.7 (DF=11)	419.5 (DF=23)	424.7 (DF=35)	440.3 (DF=47)

4. İRDELEME

Bu çalışmada olası tahminci modellerin denenmesi yapılmıştır. MINITAB paketinin hızlı ve etkin kullanımı nedeniyle istenildiğinde farklı modellerin sınanması çok kısa sürede yapılabilir.


İrdeleme amacıyla ARIMA(0, 0, 1) modeli denenmiştir (Tablo 21.). Farkları alınmamış seri için MA(1) sürecini göstermektedir. Farklılığın derecesini $d=1$ olarak durağan olmayan seri durağan hale getirilmiştir. Durağan seriler için bir zaman serisi analiz yöntemi olan ARIMA, büyük ortalama hata karesi, yüksek T oranları ve χ^2 test istatistiğinde kontrol sınırının çok ötesinde değerler verilere iyi uyan bir model tahmininde bulunmamıştır. İyi tahmin edilmemiş deneme modelleri de fazla iterasyon model parametrelerini ve sabitleri belirleme de güçlük yaratmıştır. Yüksek T oranlarıyla da uygun model önerememiştir.

5. SONUÇLAR

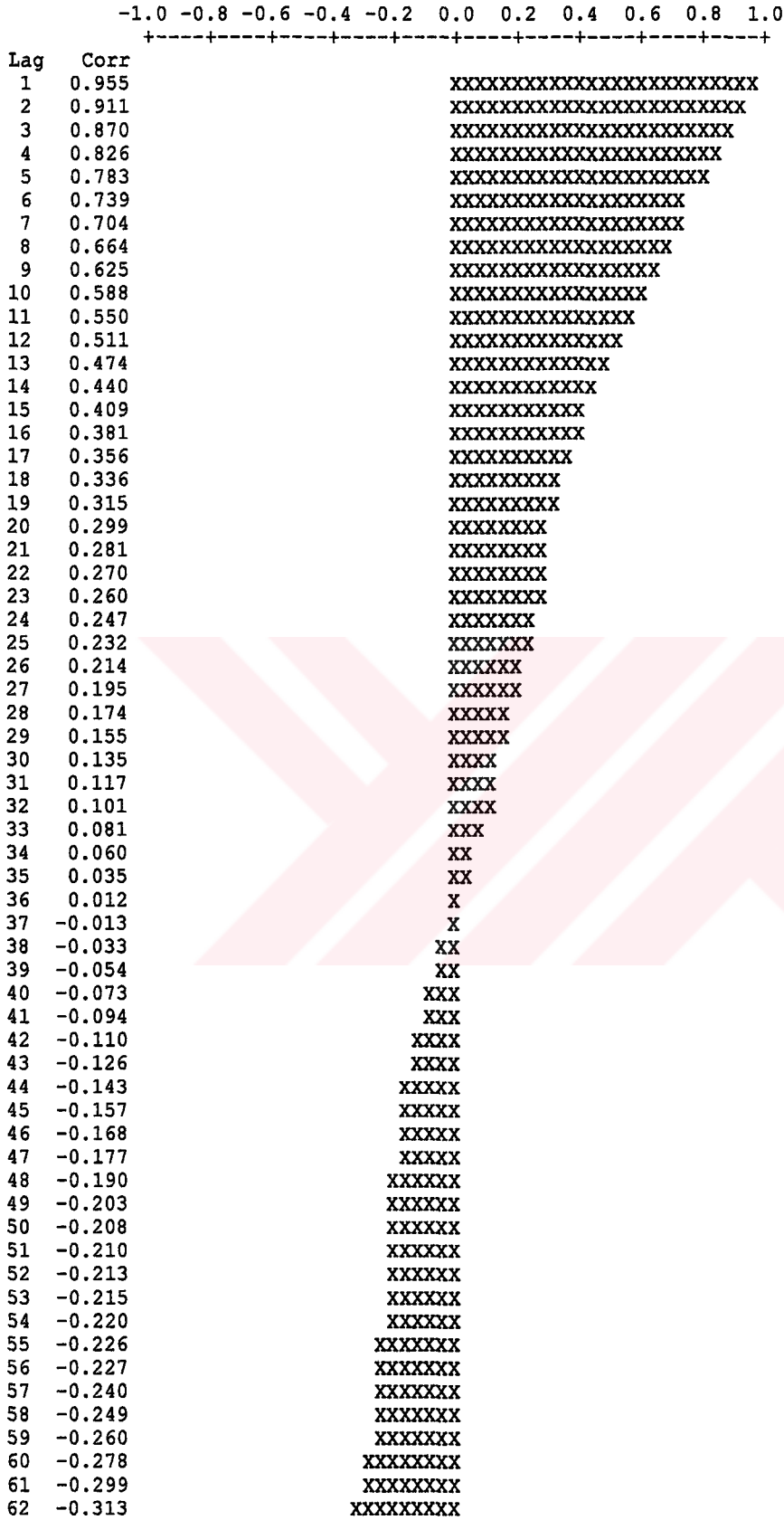
1. ENKISA kuralı için ARIMA(1,1,1) için verilere uygun model bulunamamıştır. ARIMA(1,1,0) modeli verilere uygun bulunmuştur. Ortalama karesel hatası düşük çıkmıştır. ARIMA(0,1,1) modeli, ARIMA(1,1,0) modeline benzer davranış göstermiştir. ARIMA(2,1,0) modelinin ARIMA(1,1,0) modelinden daha iyi bir model olduğu görülmüştür.
2. Yinelemeli ENKISA kuralında ARIMA(1,1,0) ve (2,1,0) süreçleri ENKISA kuralından daha iyi sonuç vermiştir. MA(1) ve MA(2) süreçleri AR(1) ve AR(2) sürecinin uygunluğu kadar iyi çıkmıştır.
3. İGÖ kuralı için AR(1) ve AR(2) süreci arasında hata kareleri ortalamasında büyük farklılık görülmemiştir. χ^2 test istatistiğinde AR(2) uyumu daha iyi sağlanmıştır.
4. Yinelemeli İGÖ kuralı AR(1) ve AR(2) süreçleri için ortalama hata kareleriyle uygunluğu sağlanmıştır. χ^2 test istatistiği MA(1) süreci için uygunluk sağlanmamıştır.
5. Sonuç olarak ENKISA ARIMA(1,1,0) modelinin daha uygun olduğu görülmüştür. ENKISA(1,1,1) verileri için uygun model bulunamamıştır. Yinelemeli ENKISA kuralında MA(1) ve MA(2) süreçleri AR(1) ve AR(2) süreçlerinde benzer çıkmıştır. İGÖ kuralında χ^2 test istatistiği AR(2) için uyumu daha iyi bulunmuştur.

6. KAYNAKLAR

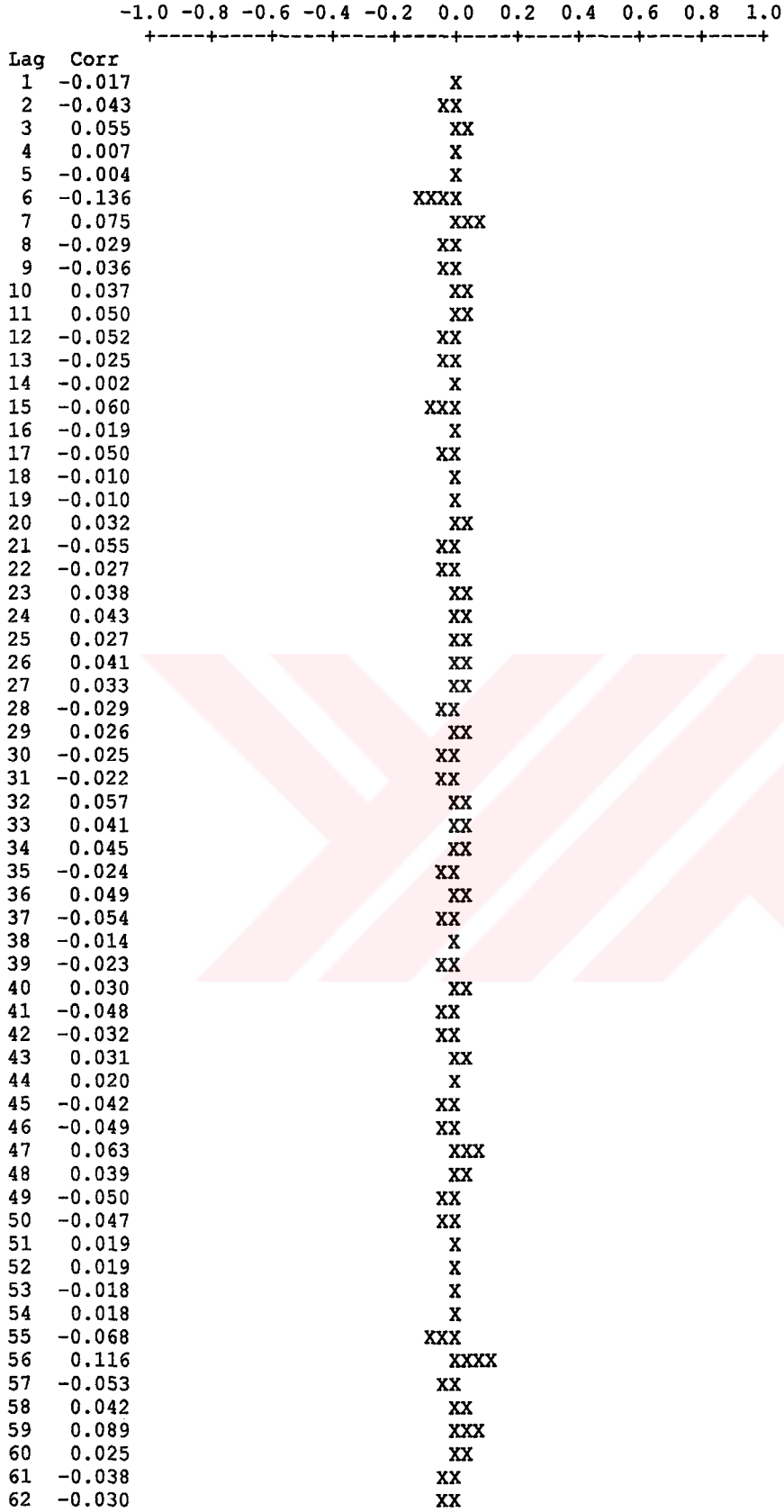
1. Sargent, R. G., A Tutorial on validation and verification of simulation models, The Winter Simulation Conference, 1988.
2. Balcı , O., Nance, R.E., Simulation Model Development Environments: Research Prototype, . Op. Res. Soc., Vol. 38, No. 8, 753-763, 1987.
3. Dinçmen, M., Çebi, T., Öztürkoğlu, S, Üretim Benzetiminde Denge, Yöneylem Araştırması Dergisi, Yıl 2, Cilt 2, Aralık 1983.
4. Seila, A.F., Output Analysis for Simulation, Proceeding of the 1990 Winter Simulation Conference, 1990.
5. Kelton W.D., Statistical Analysis of Simulation Output, Proceeding of the 1997 Winter Simulation Conference, 1997.
6. Banks, J., Output Analysis Capabilities of Simulation Software, Simulation 66:1 23-30,1996, USA.
7. Schmeiser, B.W., Song, W.T., Batching Methods in Simulation Output Analysis: What We Know and What We Don't, Proceeding of the 1996 Winter Simulation Conference, 1996.
8. Carson J.S., Autostat: Output Statistical Analysis For Automod Users, Proceeding of the 1996 Winter Simulation Conference, 1996.
9. Law, A. M., A tutorial on statistical analysis of simulation output data, Proceedings of the 1980 Winter Simulation Conference, s. 361-370.
10. Gordon, G., System Simulation, Prentice- Hall, Second Edition, New Jersey, 1978.
11. Law, A. M., Introduction To Simulation : A Powerful Tool For Analysing Complex Manufacturing Systems, Com. Sim. Of Manufac. System, 1986.
12. Banks J., Carson J.S., Discrete Event Simulation,1984
13. Sargent, R.G., Statistical analysis of simulation output data, Simuletter, Vol:8, Nr. 3, 1977.

14. Law, A.M., Kelton,W.D, Simulation Modelling and Analysis, Mc Graw-Hill Publishing Company, 1982.
 15. Lewis P.A., Stevens J.G., Smoothing Time Series For Input and Output Analysis in System Simulation Experiments, Proceeding of the 1990 Winter Simulation Conference, 1990
 16. Chatfield, C., The Analysis of Time Series :an Introduction, Third edition, New York NY 100017, 1984.
 17. Hanke, J. E., Reitsch, A. G., Business Forecasting, Fifth Edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ 07632, 1995.
 18. Dinçmen, M., Çebi, T., Eren N., Atölye Tipi Üretimde Benzetim Uygulaması, TÜBİTAK Araştırma Projesi, MAG 577, Kasım 1983, Ankara.
 19. Mc Kenzie, J., Schaefer, R., L., Farber, E., Statistical Software Minitab for Windows, Addison-Wesley Publishinng Company,Inc.,MA, 1995.
- 

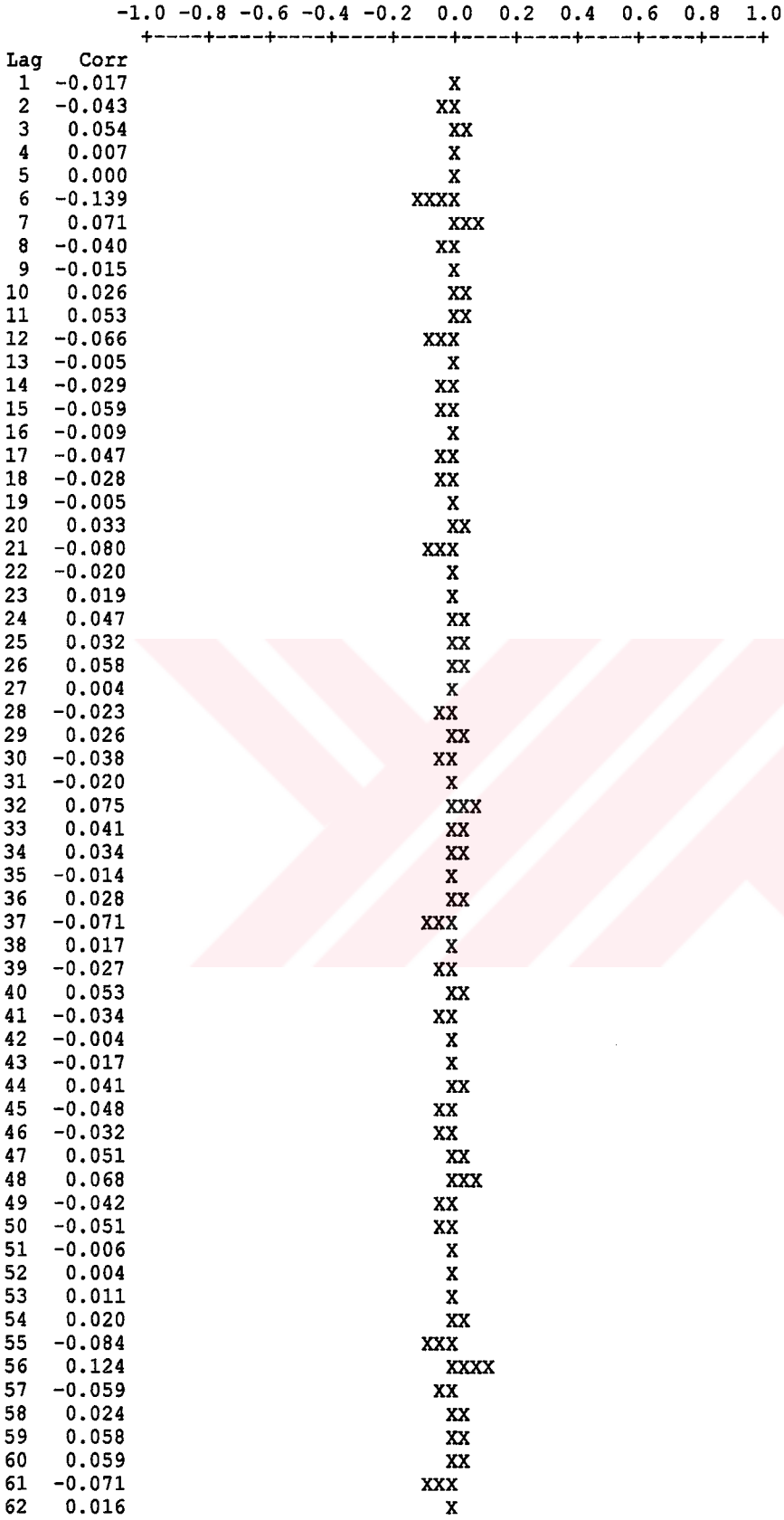
7. EKLER



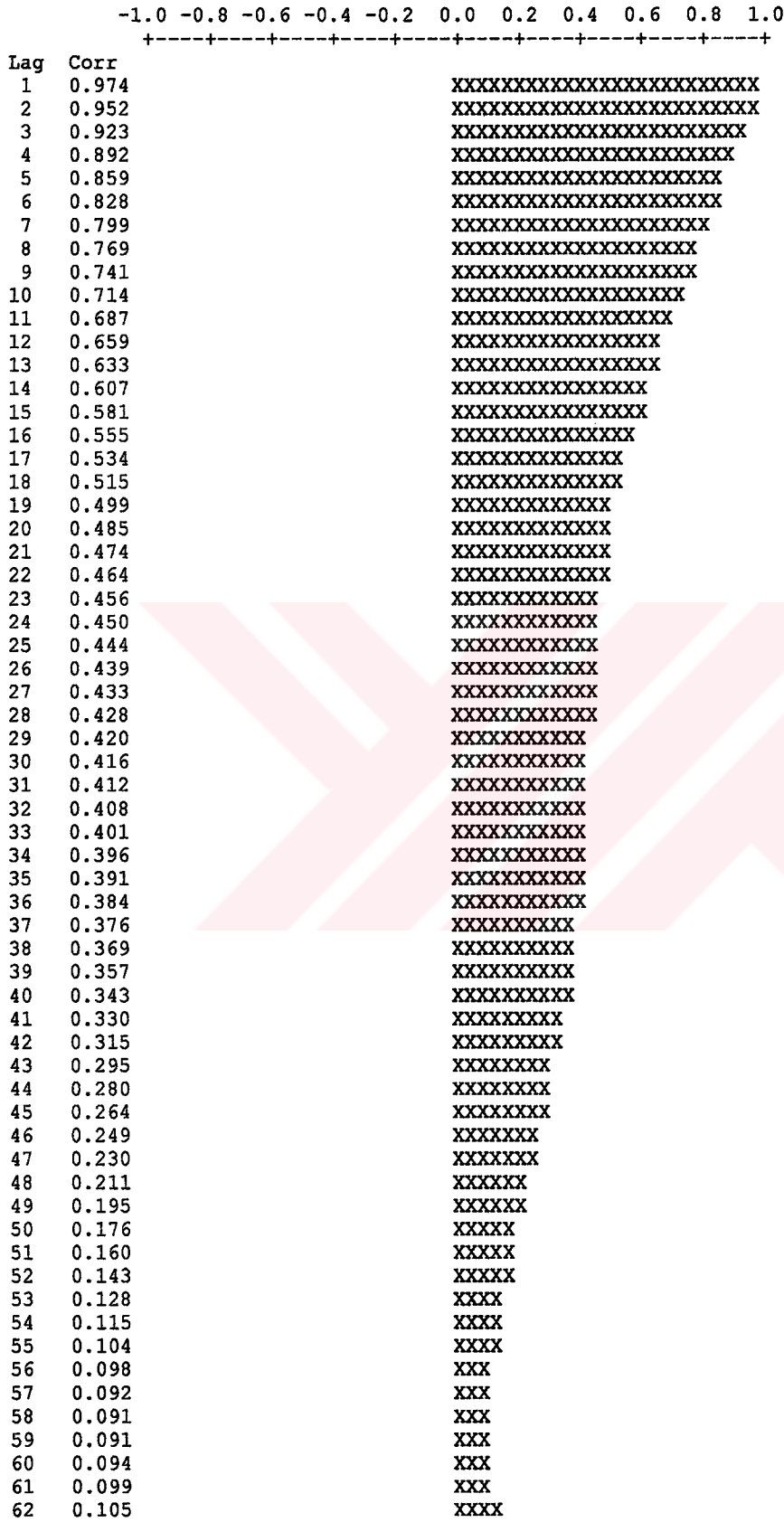
Ek Şekil 1. Yinelemeli ENKISA kuralı çıktı verilerinin durağan olmayan otokorelasyon fonksiyonu.



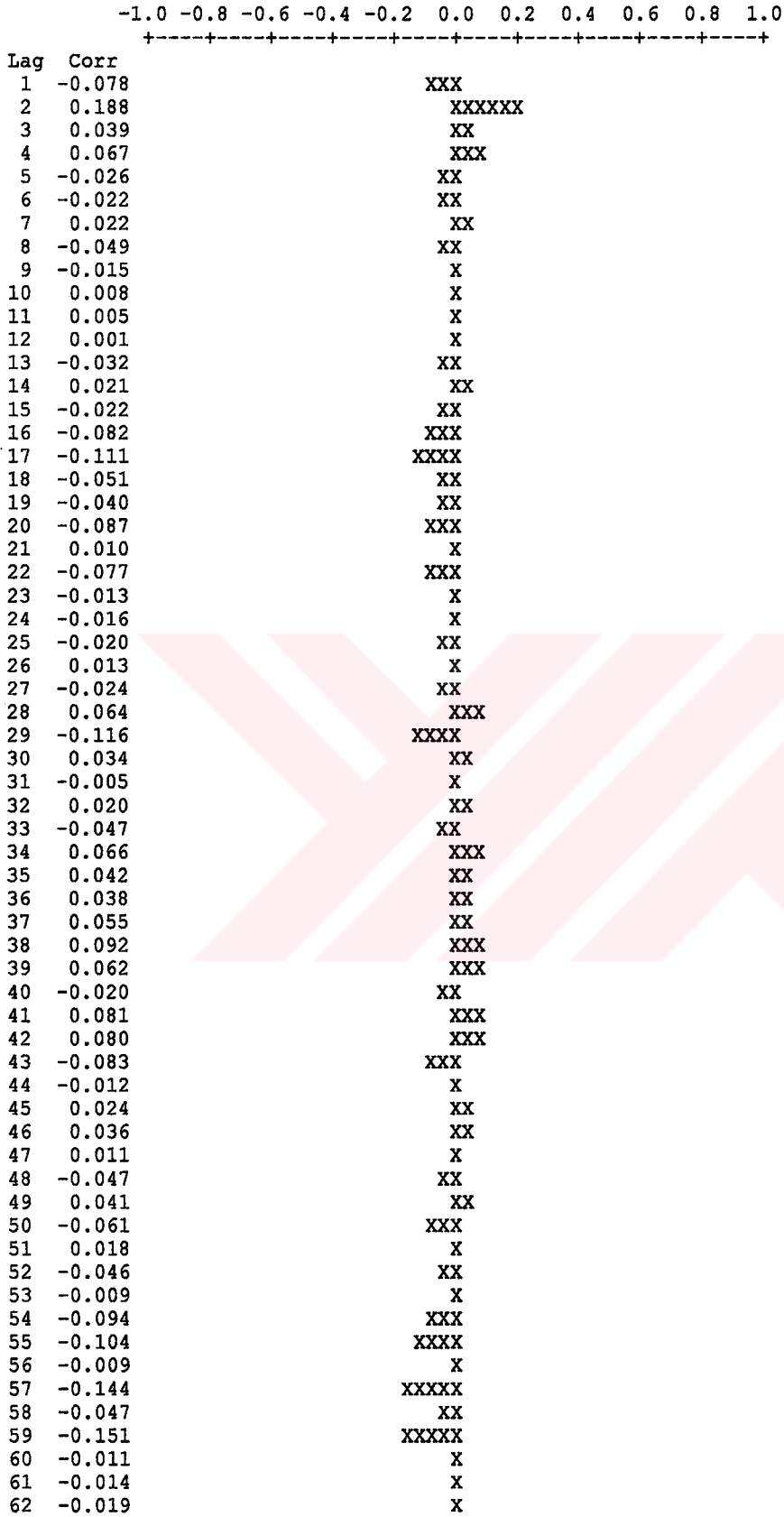
Ek Şekil 2. Yinelemeli ENKISA kuralı çıktı verilerinin farklılık derecesi 1 için düzenlenmiş verilerin otokorelasyon fonksiyonu.



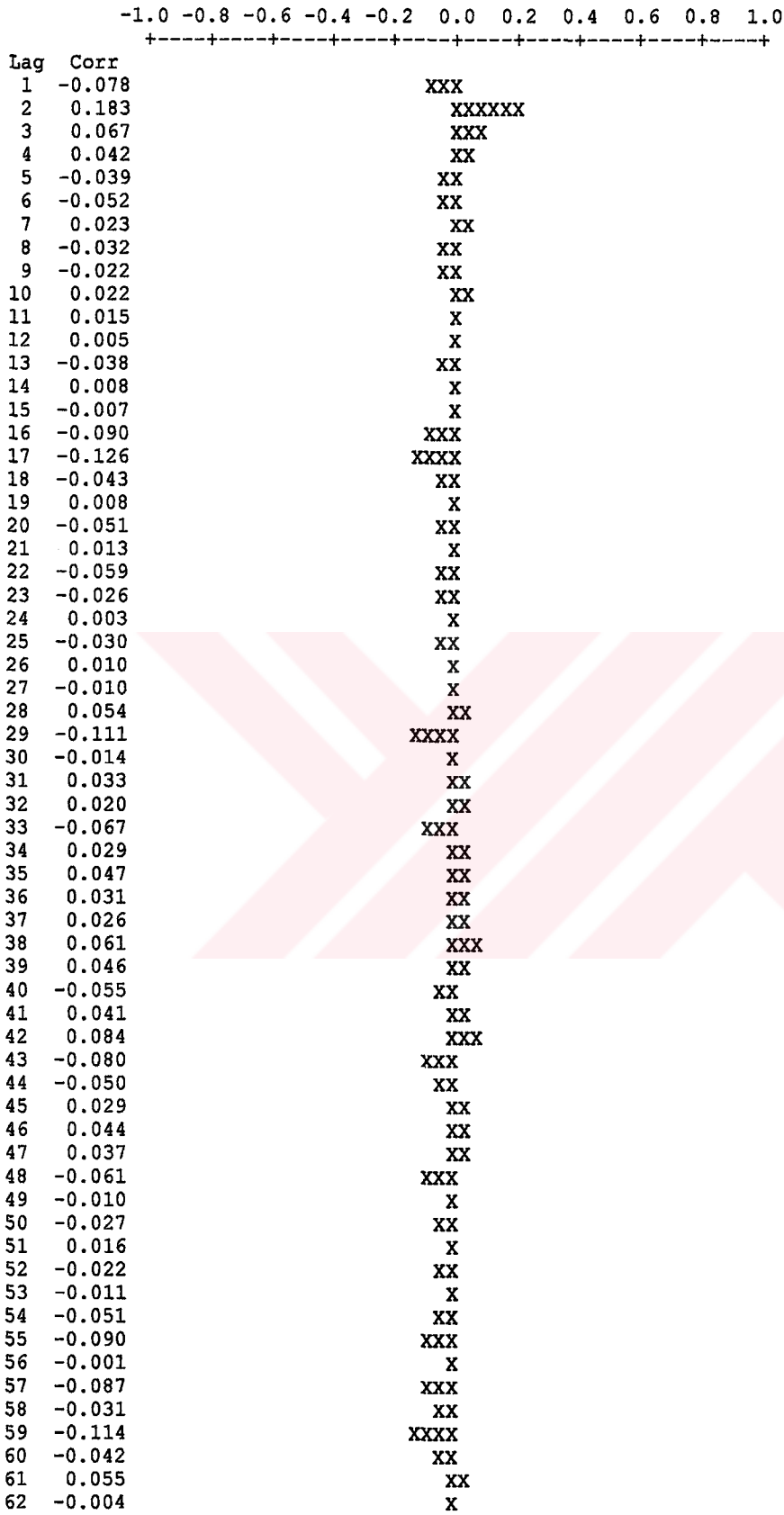
Ek Şekil 3. Yinelemeli ENKISA kuralı çıktı verilerinin farklılık derecesi 1 için düzenlenmiş verilerin kısmi otokorelasyon fonksiyonu.



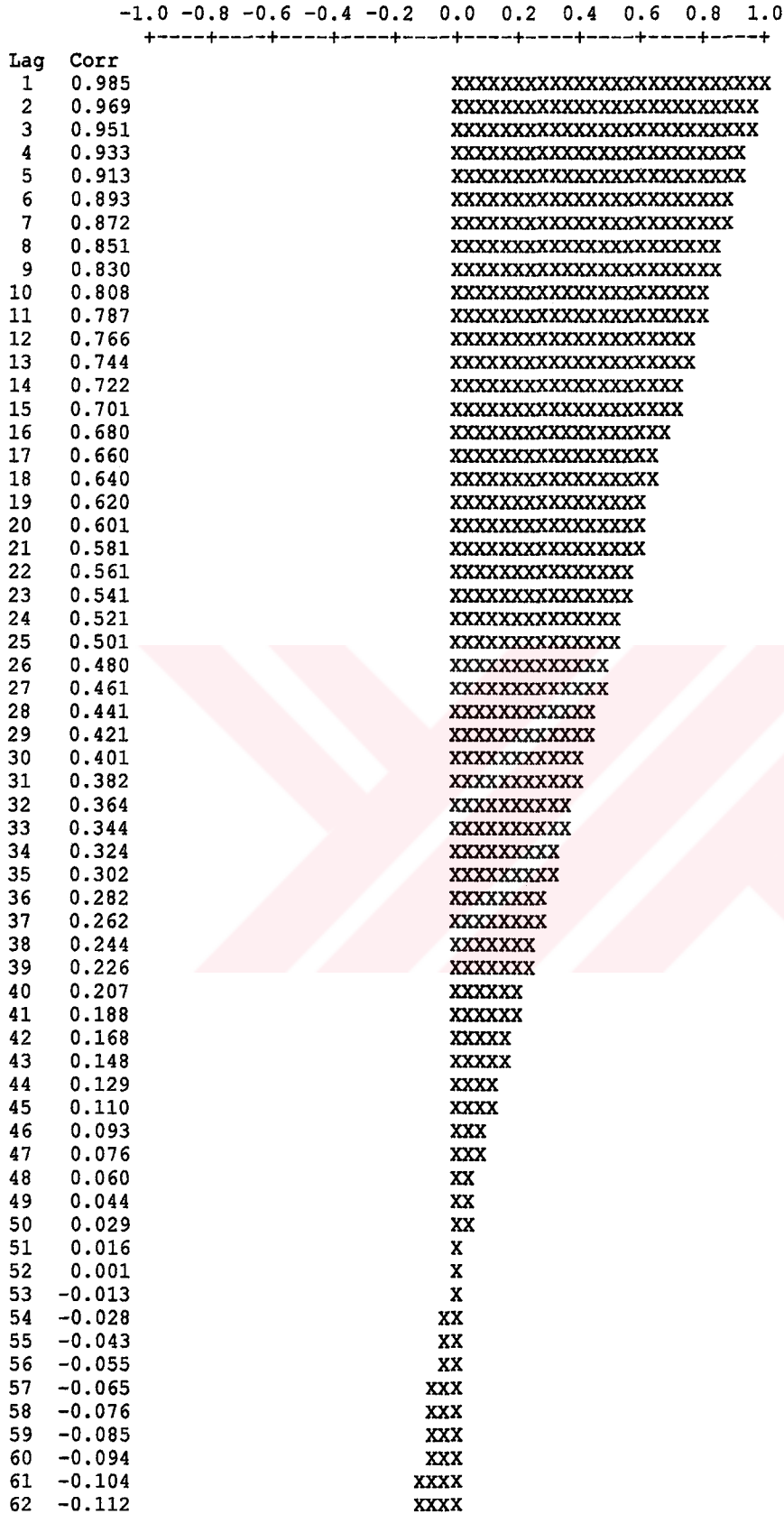
Ek Şekil 4. İGÖ kuralı çıktı verilerinin durağan olmayan otokorelasyon fonksiyonu.



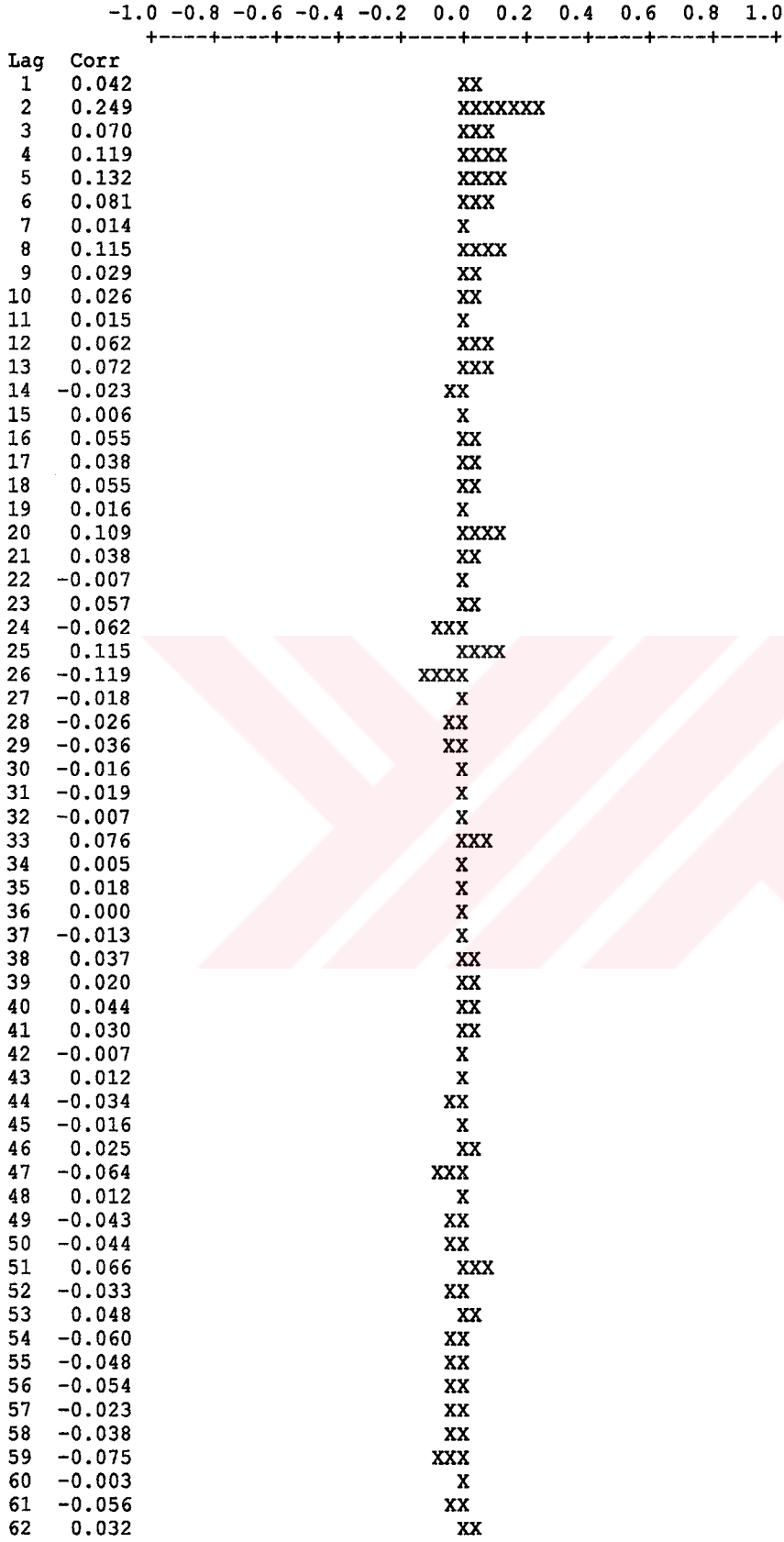
Ek Şekil 5. İGÖ kuralı çıktı verilerinin farklılık derecesi 1 için düzenlenmiş verilerin otokorelasyon fonksiyonu.



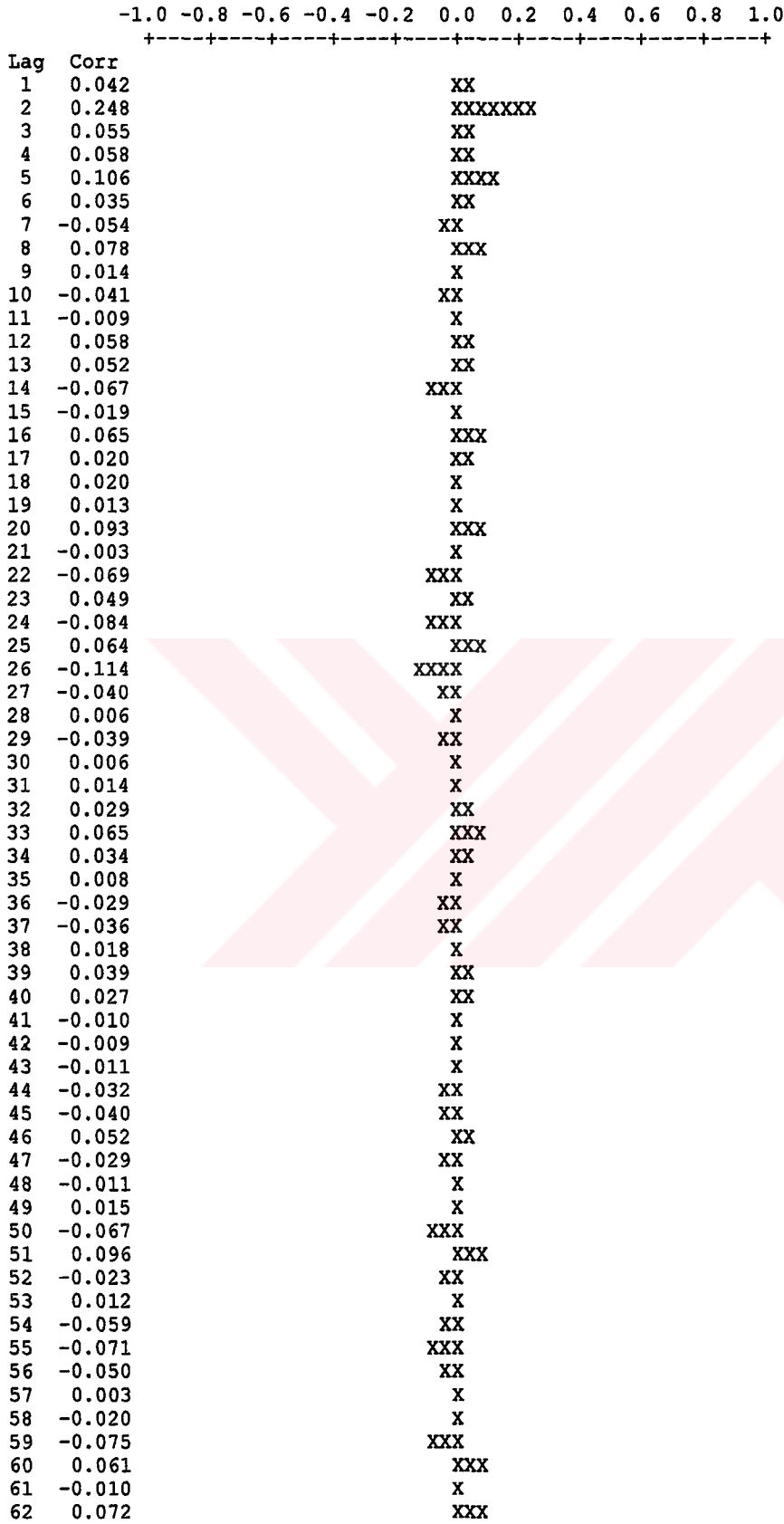
Ek Şekil 6. İGÖ kuralı çıktı verilerinin farklılık derecesi 1 için düzenlenmiş verilerin kısmi otokorelasyon fonksiyonu.



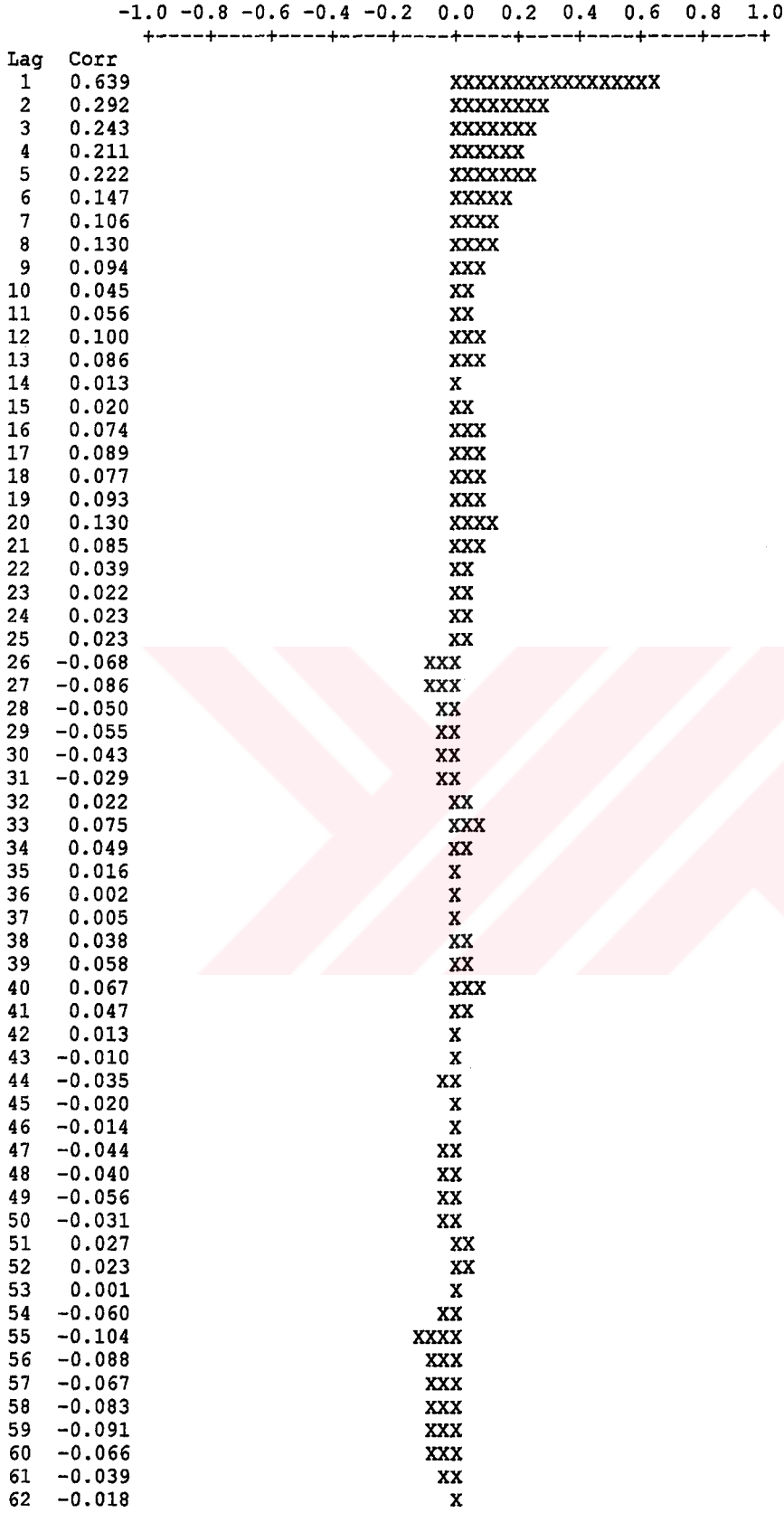
Ek Şekil 7. Yinelemeli İGÖ kuralı çıktı verilerinin durağan olmayan otokorelasyon fonksiyonu.



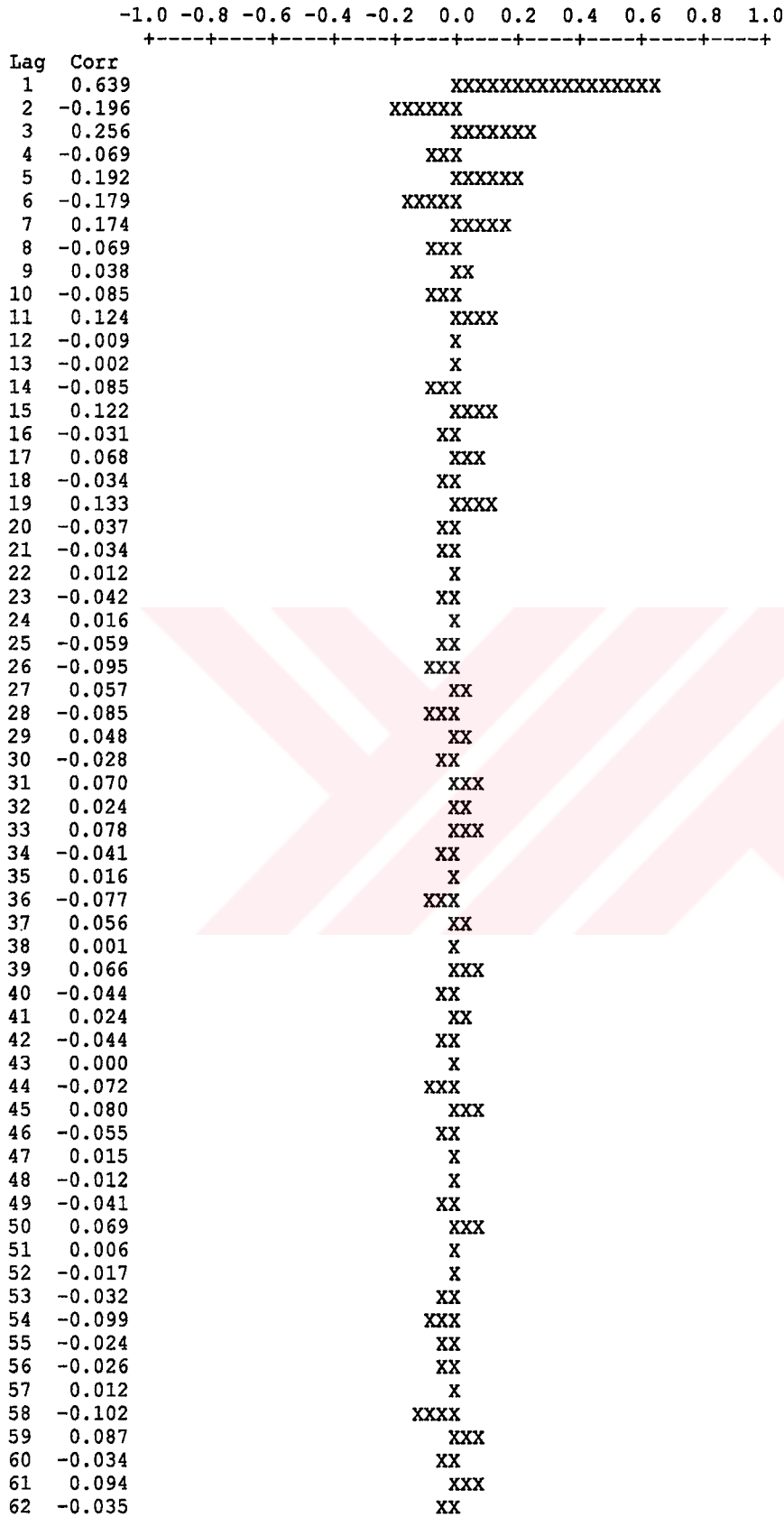
Ek Şekil 8. Yinelemeli İGÖ kuralı çıktı verilerinin farklılık derecesi 1 için düzenlenmiş verilerin otokorelasyon fonksiyonu.



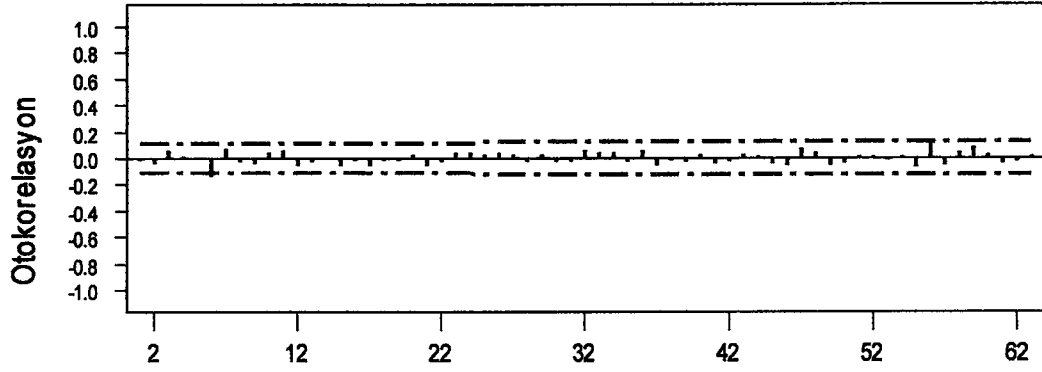
Ek Şekil 9. Yinelemeli İGÖ kuralı çıktı verilerinin farklılık derecesi 1 için düzenlenmiş verilerin kısmi otokorelasyon fonksiyonu.



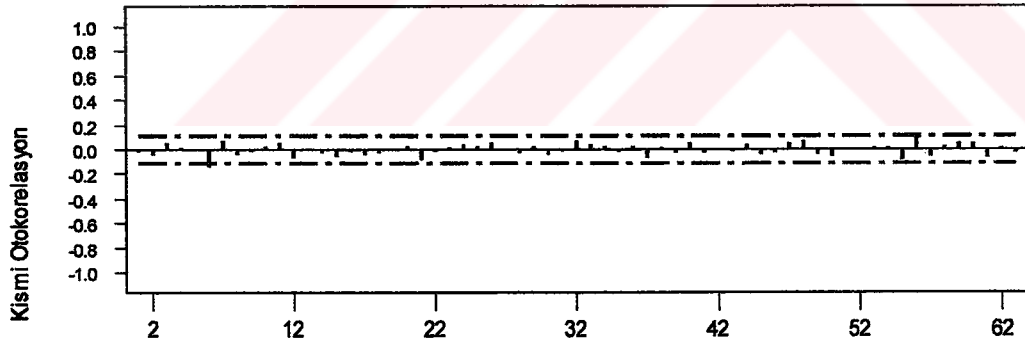
Ek Şekil 10. Yinelemeli İGÖ kuralı çıktı verilerinin farklılık derecesi 2 için düzenlenmiş verilerin otokorelasyon fonksiyonu.



Ek Şekil 11. Yinelemeli İGÖ kuralı çıktı verilerinin farklılık derecesi 2 için düzenlenmiş verilerin kısmi otokorelasyon fonksiyonu.

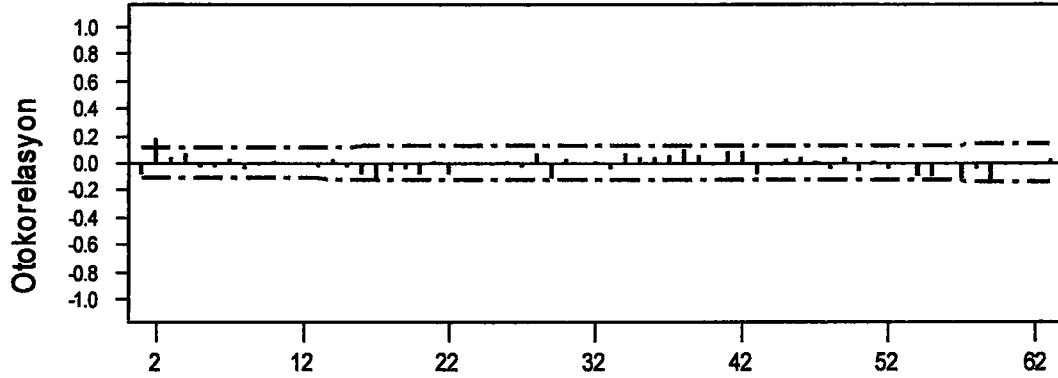


Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	-0.02	-0.30	0.09	16	-0.02	-0.32	13.49	31	-0.02	-0.36	19.13	46	-0.05	-0.80	27.34	61	-0.04	-0.60	43.98
2	-0.04	-0.76	0.67	17	-0.05	-0.85	14.32	32	0.06	0.94	20.25	47	0.06	1.02	28.80	62	-0.03	-0.47	44.33
3	0.06	0.97	1.62	18	-0.01	-0.18	14.35	33	0.04	0.67	20.82	48	0.04	0.63	29.36	63	0.01	0.20	44.40
4	0.01	0.13	1.64	19	-0.01	-0.17	14.39	34	0.04	0.74	21.52	49	-0.05	-0.81	30.28				
5	-0.00	-0.08	1.65	20	0.03	0.53	14.72	35	-0.02	-0.40	21.72	50	-0.05	-0.76	31.11				
6	-0.14	-2.37	7.47	21	-0.06	-0.93	15.74	36	0.05	0.80	22.56	51	0.02	0.31	31.24				
7	0.07	1.28	9.24	22	-0.03	-0.45	15.98	37	-0.05	-0.89	23.58	52	0.02	0.31	31.38				
8	-0.03	-0.49	9.50	23	0.04	0.64	16.47	38	-0.01	-0.23	23.65	53	-0.02	-0.29	31.50				
9	-0.04	-0.61	9.91	24	0.04	0.71	17.08	39	-0.02	-0.38	23.84	54	0.02	0.29	31.62				
10	0.04	0.62	10.34	25	0.03	0.44	17.32	40	0.03	0.49	24.16	55	-0.07	-1.10	33.38				
11	0.05	0.84	11.13	26	0.04	0.68	17.88	41	-0.05	-0.78	24.97	56	0.12	1.85	38.43				
12	-0.05	-0.88	11.99	27	0.03	0.55	18.24	42	-0.03	-0.53	25.34	57	-0.05	-0.83	39.48				
13	-0.03	-0.42	12.20	28	-0.03	-0.48	18.53	43	0.03	0.51	25.69	58	0.04	0.66	40.16				
14	-0.00	-0.04	12.20	29	0.03	0.43	18.76	44	0.02	0.32	25.83	59	0.09	1.40	43.16				
15	-0.06	-1.02	13.38	30	-0.03	-0.42	18.97	45	-0.04	-0.68	26.46	60	0.03	0.40	43.41				

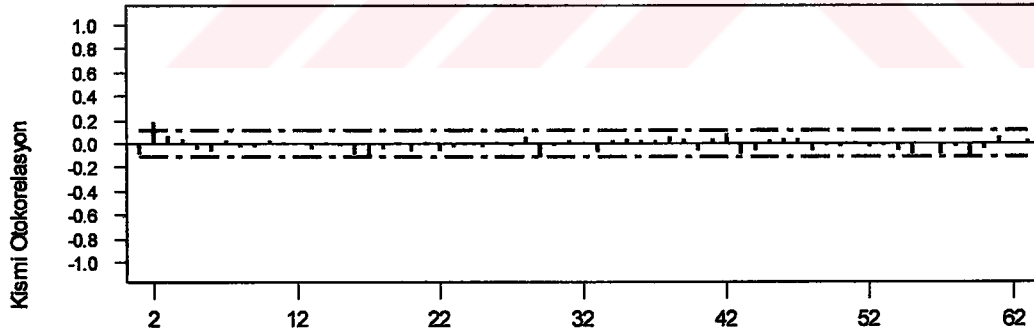


Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T
1	-0.02	-0.30	16	-0.01	-0.15	31	-0.02	-0.34	46	-0.03	-0.56	61	-0.07	-1.24
2	-0.04	-0.76	17	-0.05	-0.82	32	0.07	1.31	47	0.05	0.89	62	0.02	0.28
3	0.05	0.94	18	-0.03	-0.49	33	0.04	0.71	48	0.07	1.19	63	-0.03	-0.57
4	0.01	0.13	19	-0.00	-0.08	34	0.03	0.60	49	-0.04	-0.73			
5	0.00	0.01	20	0.03	0.58	35	-0.01	-0.24	50	-0.05	-0.89			
6	-0.14	-2.44	21	-0.08	-1.39	36	0.03	0.48	51	-0.01	-0.10			
7	0.07	1.25	22	-0.02	-0.34	37	-0.07	-1.24	52	0.00	0.07			
8	-0.04	-0.70	23	0.02	0.34	38	0.02	0.30	53	0.01	0.19			
9	-0.01	-0.25	24	0.05	0.83	39	-0.03	-0.47	54	0.02	0.35			
10	0.03	0.46	25	0.03	0.58	40	0.05	0.92	55	-0.08	-1.47			
11	0.05	0.83	26	0.06	1.02	41	-0.03	-0.59	56	0.12	2.17			
12	-0.07	-1.16	27	0.00	0.06	42	-0.00	-0.07	57	-0.08	-1.03			
13	-0.00	-0.09	28	-0.02	-0.40	43	-0.02	-0.30	58	0.02	0.42			
14	-0.03	-0.50	29	0.03	0.48	44	0.04	0.72	59	0.06	1.02			
15	-0.06	-1.03	30	-0.04	-0.68	45	-0.05	-0.84	60	0.06	1.04			

Ek Şekil 12. Farklılık 1 için düzenlenmiş yinelemeli ENKISA kurahı çıktı verilerinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayısı korelogramlarının görünümü

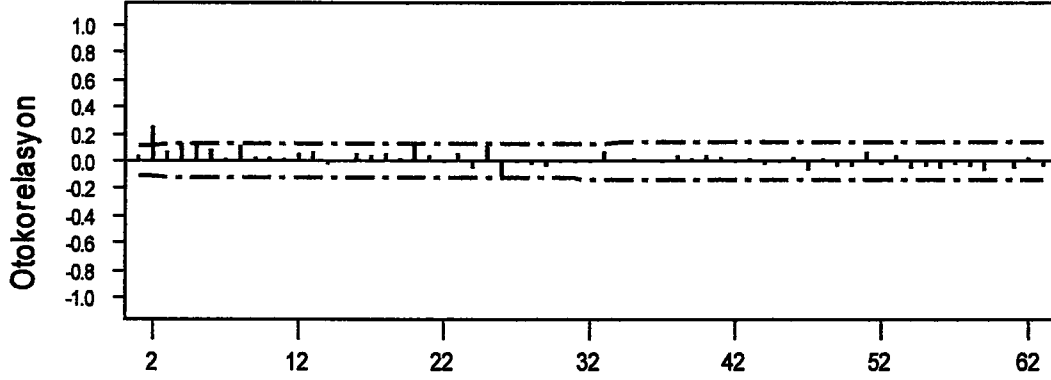


Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	-0.08	-1.38	1.87	16	-0.08	-1.36	18.88	31	-0.01	-0.08	35.65	46	0.04	0.54	52.54	61	-0.01	-0.20	81.25
2	0.19	3.27	12.83	17	-0.11	-1.84	22.89	32	0.02	0.32	35.80	47	0.01	0.17	52.59	62	-0.02	-0.28	81.40
3	0.04	0.65	13.30	18	-0.05	-0.83	23.72	33	-0.05	-0.74	36.55	48	-0.05	-0.71	53.39	63	0.02	0.35	81.62
4	0.07	1.12	14.69	19	-0.04	-0.66	24.25	34	0.07	1.05	38.09	49	0.04	0.62	54.01				
5	-0.03	-0.43	14.90	20	-0.09	-1.42	26.77	35	0.04	0.66	38.70	50	-0.06	-0.93	55.38				
6	-0.02	-0.37	15.06	21	0.01	0.16	26.81	36	0.04	0.60	39.21	51	0.02	0.28	55.51				
7	0.02	0.37	15.21	22	-0.08	-1.25	28.78	37	0.06	0.87	40.28	52	-0.05	-0.70	56.29				
8	-0.05	-0.81	15.96	23	-0.01	-0.21	28.84	38	0.09	1.44	43.27	53	-0.01	-0.14	56.32				
9	-0.01	-0.24	16.03	24	-0.02	-0.25	28.92	39	0.06	0.96	44.62	54	-0.09	-1.42	59.63				
10	0.01	0.13	16.05	25	-0.02	-0.33	29.06	40	-0.02	-0.31	44.77	55	-0.10	-1.57	63.72				
11	0.01	0.09	16.06	26	0.01	0.20	29.11	41	0.08	1.25	47.09	56	-0.01	-0.13	63.75				
12	0.00	0.02	16.08	27	-0.02	-0.39	29.31	42	0.08	1.23	49.37	57	-0.14	-2.15	71.62				
13	-0.03	-0.53	16.38	28	0.08	1.03	30.69	43	-0.08	-1.27	51.82	58	-0.05	-0.69	72.46				
14	0.02	0.38	16.53	29	-0.12	-1.86	35.26	44	-0.01	-0.18	51.87	59	-0.15	-2.21	81.14				
15	-0.02	-0.37	16.69	30	0.03	0.53	35.64	45	0.02	0.37	52.09	60	-0.01	-0.16	81.18				

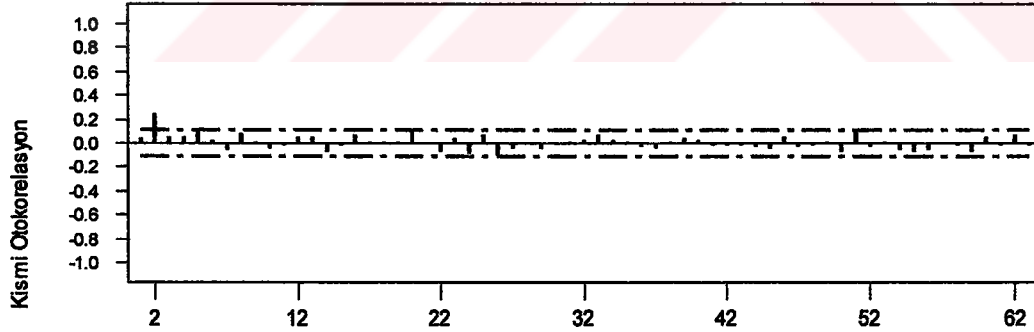


Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T
1	-0.08	-1.36	16	-0.09	-1.57	31	0.03	0.58	46	0.04	0.77	61	0.05	0.96
2	0.18	3.20	17	-0.13	-2.20	32	0.02	0.36	47	0.04	0.65	62	-0.00	-0.08
3	0.07	1.16	18	-0.04	-0.75	33	-0.07	-1.17	48	-0.06	-1.06	63	0.02	0.41
4	0.04	0.73	19	0.01	0.15	34	0.03	0.52	49	-0.01	-0.18			
5	-0.04	-0.69	20	-0.05	-0.90	35	0.05	0.82	50	-0.03	-0.48			
6	-0.05	-0.91	21	0.01	0.22	36	0.03	0.54	51	0.02	0.28			
7	0.02	0.41	22	-0.06	-1.03	37	0.03	0.45	52	-0.02	-0.38			
8	-0.03	-0.57	23	-0.03	-0.46	38	0.06	1.06	53	-0.01	-0.20			
9	-0.02	-0.39	24	0.00	0.05	39	0.05	0.81	54	-0.05	-0.89			
10	0.02	0.38	25	-0.03	-0.53	40	-0.05	-0.96	55	-0.09	-1.58			
11	0.02	0.27	26	0.01	0.18	41	0.04	0.72	56	-0.00	-0.02			
12	0.01	0.09	27	-0.01	-0.17	42	0.08	1.48	57	-0.09	-1.53			
13	-0.04	-0.66	28	0.05	0.94	43	-0.08	-1.40	58	-0.03	-0.55			
14	0.01	0.14	29	-0.11	-1.95	44	-0.05	-0.87	59	-0.11	-1.99			
15	-0.01	-0.13	30	-0.01	-0.24	45	0.03	0.51	60	-0.04	-0.74			

Ek Şekil 13. Farklılık 1 için düzenlenmiş İGÖ kuralı çıktı verilerinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayısı korelogramlarının görünümü.

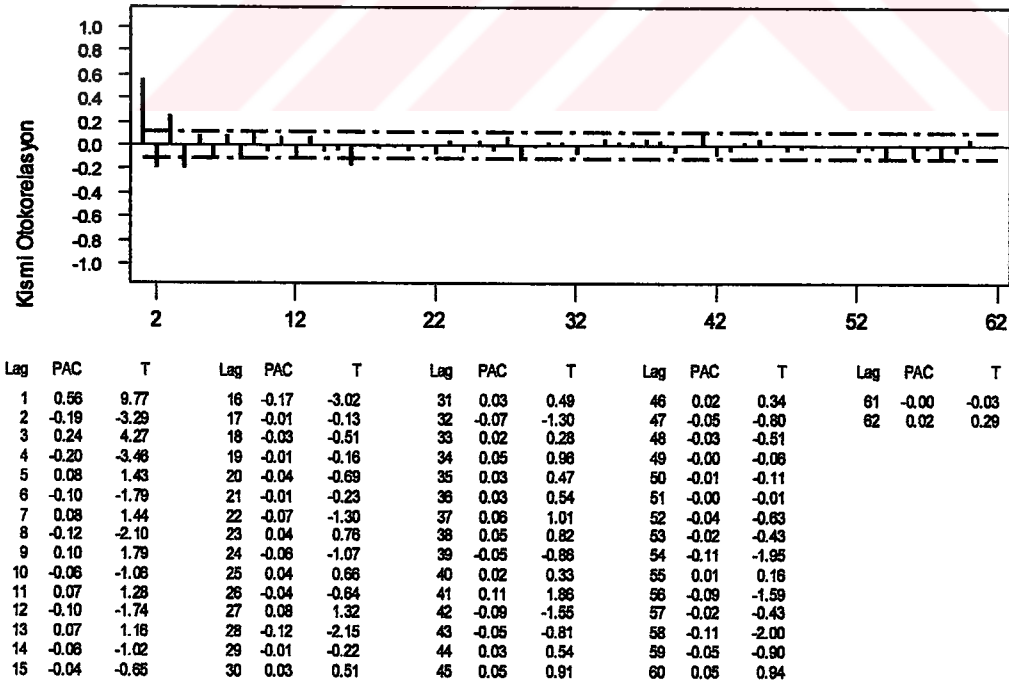
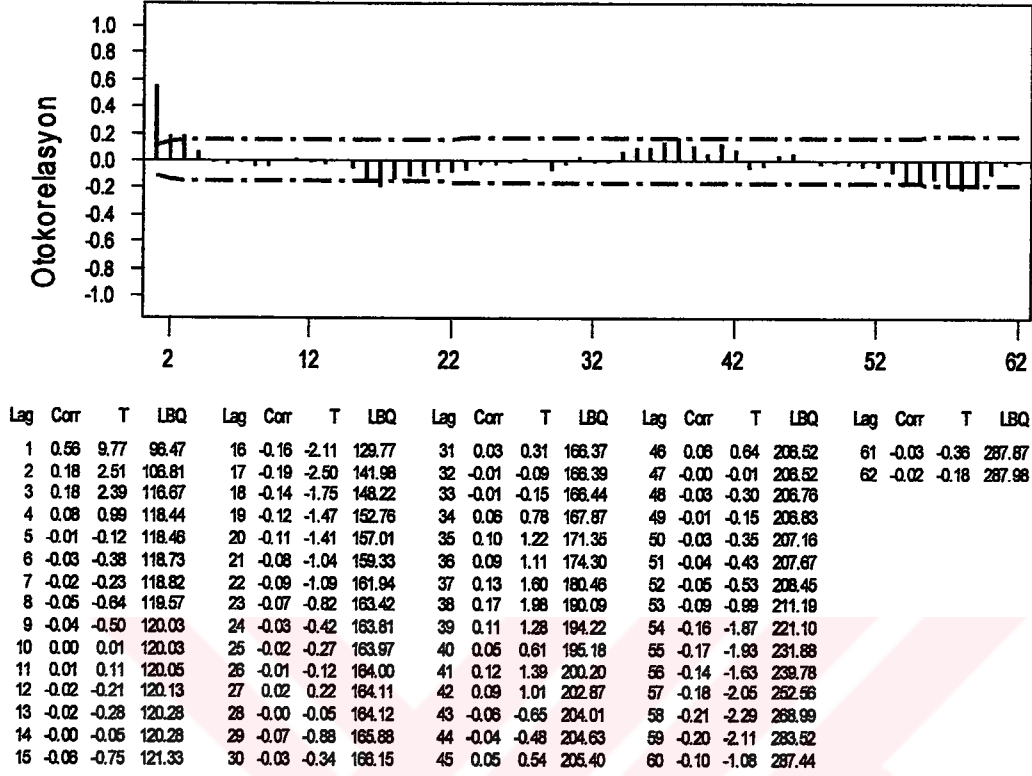


Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	0.04	0.73	0.54	16	0.06	0.86	42.18	31	-0.02	-0.28	60.72	46	0.02	0.37	65.38	61	-0.06	-0.81	78.68
2	0.25	4.35	19.63	17	0.04	0.59	42.68	32	-0.01	-0.11	60.74	47	-0.06	-0.95	66.89	62	0.03	0.46	79.07
3	0.07	1.15	21.34	18	0.05	0.85	43.64	33	0.08	1.14	62.77	48	0.01	0.17	66.94	63	-0.04	-0.62	79.80
4	0.12	1.96	25.81	19	0.02	0.25	43.73	34	0.00	0.07	62.77	49	-0.04	-0.63	67.60				
5	0.13	2.14	31.28	20	0.11	1.69	47.68	35	0.02	0.26	62.88	50	-0.04	-0.65	68.32				
6	0.08	1.29	33.32	21	0.04	0.58	48.16	36	0.00	0.00	62.88	51	0.07	0.98	69.95				
7	0.01	0.23	33.39	22	-0.01	-0.11	48.17	37	-0.01	-0.19	62.94	52	-0.03	-0.48	70.35				
8	0.11	1.82	37.55	23	0.06	0.88	49.28	38	0.04	0.55	63.42	53	0.05	0.70	71.20				
9	0.03	0.46	37.83	24	-0.06	-0.95	50.56	39	0.02	0.30	63.56	54	-0.06	-0.88	72.55				
10	0.03	0.41	38.04	25	0.11	1.75	54.97	40	0.04	0.68	64.26	55	-0.05	-0.70	73.42				
11	0.01	0.23	38.11	26	-0.12	-1.79	59.73	41	0.03	0.44	64.57	56	-0.05	-0.79	74.55				
12	0.06	0.97	39.33	27	-0.02	-0.27	59.84	42	-0.01	-0.11	64.59	57	-0.02	-0.33	74.75				
13	0.07	1.12	40.89	28	-0.03	-0.39	60.06	43	0.01	0.17	64.64	58	-0.04	-0.58	75.31				
14	-0.02	-0.36	41.16	29	-0.04	-0.54	60.52	44	-0.03	-0.51	65.06	59	-0.08	-1.09	77.46				
15	0.01	0.10	41.17	30	-0.02	-0.24	60.60	45	-0.02	-0.24	65.16	60	-0.00	-0.05	77.46				

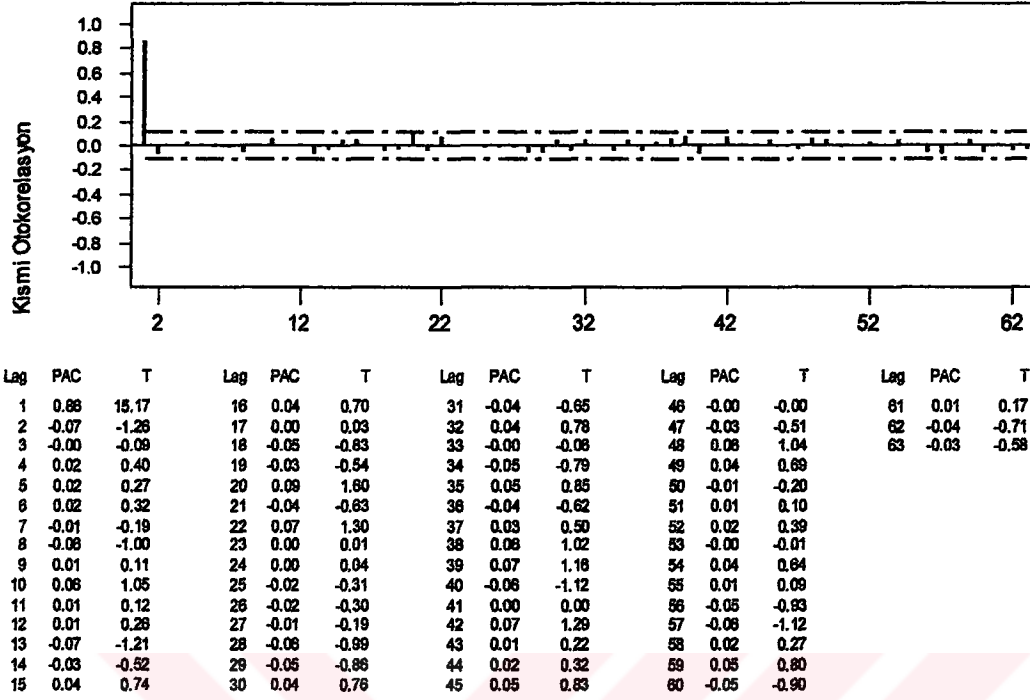


Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T
1	0.04	0.73	16	0.07	1.14	31	0.01	0.24	46	0.05	0.91	61	-0.01	-0.17
2	0.25	4.34	17	0.02	0.35	32	0.03	0.51	47	-0.03	-0.52	62	0.07	1.26
3	0.05	0.96	18	0.02	0.34	33	0.06	1.13	48	-0.01	-0.19	63	-0.01	-0.22
4	0.06	1.02	19	0.01	0.23	34	0.03	0.60	49	0.01	0.26			
5	0.11	1.85	20	0.09	1.63	35	0.01	0.14	50	-0.07	-1.17			
6	0.03	0.60	21	-0.00	-0.06	36	-0.03	-0.51	51	0.10	1.68			
7	-0.05	-0.95	22	-0.07	-1.22	37	-0.04	-0.63	52	-0.02	-0.40			
8	0.08	1.36	23	0.05	0.85	38	0.02	0.31	53	0.01	0.20			
9	0.01	0.24	24	-0.08	-1.48	39	0.04	0.69	54	-0.06	-1.04			
10	-0.04	-0.71	25	0.06	1.12	40	0.03	0.48	55	-0.07	-1.24			
11	-0.01	-0.16	26	-0.11	-2.00	41	-0.01	-0.17	56	-0.05	-0.87			
12	0.06	1.02	27	-0.04	-0.70	42	-0.01	-0.16	57	0.00	0.04			
13	0.05	0.92	28	0.01	0.10	43	-0.01	-0.18	58	-0.02	-0.35			
14	-0.07	-1.18	29	-0.04	-0.68	44	-0.03	-0.57	59	-0.08	-1.32			
15	-0.02	-0.33	30	0.01	0.10	45	-0.04	-0.71	60	0.06	1.06			

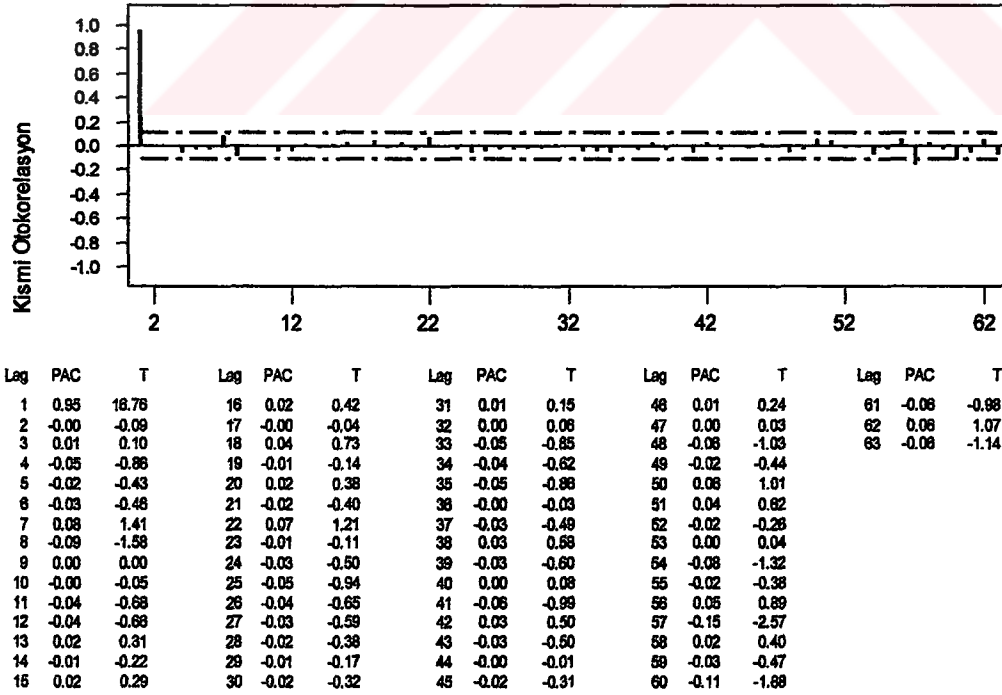
Ek Şekil 14. Farklılık 1 için düzenlenmiş yinelemeli İGÖ kuralı çıktı verilerinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayısı korelogramlarının görünümü.



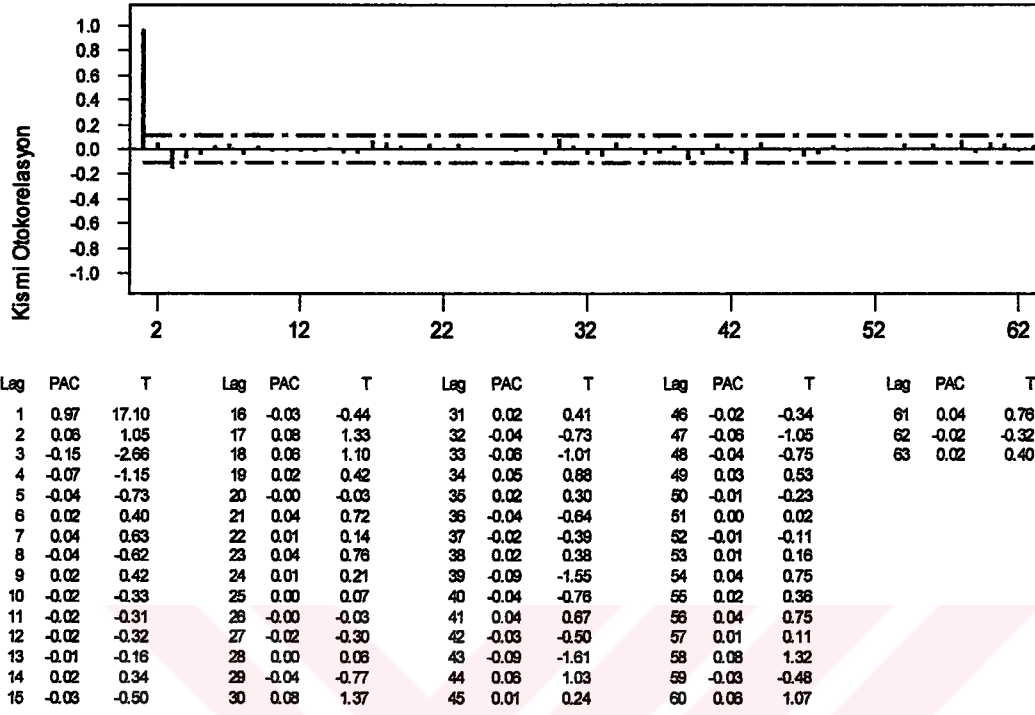
Ek Şekil 15. Farklılık 2 için düzenlenmiş İGÖ kuralı çıktı verilerinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayısı korelogramlarının görünümü.



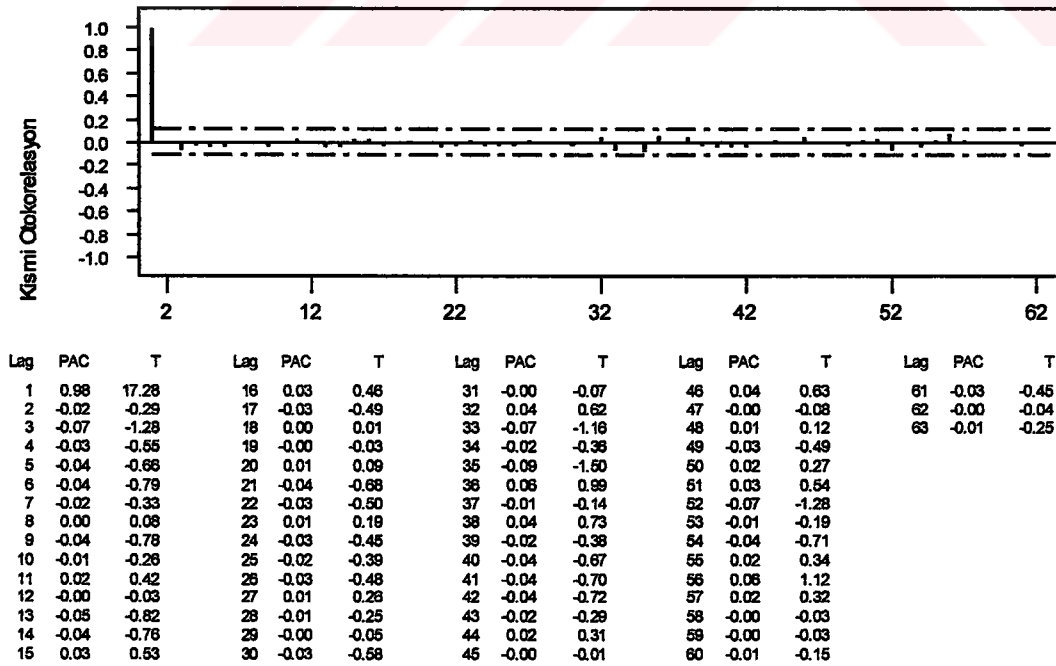
Ek Şekil 16. ENKISA kuralı için kısmi otokorelasyon katsayısı korelogramının görünümü



Ek Şekil 17. Yinelemeli ENKISA kuralı için kısmi otokorelasyon katsayısı korelogramının görünümü.



Ek Şekil 18. İGÖ kuralı için kısmi otokorelasyon katsayısı korelogramının görünümü



Ek Şekil 19. Yinelemeli İGÖ kuralı için kısmi otokorelasyon katsayısı korelogramının görünümü

Ek Tablo 1. İGÖ kuralı için çıktı verileri

Benzam	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S ort
1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0.1
3000	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0.3
4000	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0.3
5000	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0.4
6000	0	0	2	0	0	0	0	1	0	1	0.4
7000	0	0	3	0	1	0	0	1	1	1	0.7
8000	0	0	2	0	1	0	2	2	2	1	1
9000	0	0	2	0	1	0	1	2	1	1	0.8
10000	0	0	1	0	0	0	0	5	1	3	1
11000	0	1	3	0	0	0	0	5	1	6	1.6
12000	0	2	0	0	1	2	1	5	1	7	1.9
13000	0	3	2	0	1	2	0	2	0	4	1.4
14000	0	1	3	0	0	1	0	2	0	3	1
15000	1	2	7	1	0	0	1	1	1	3	1.7
16000	0	3	7	2	0	0	3	1	0	5	2.1
17000	2	5	3	2	0	2	3	0	0	5	2.2
18000	0	9	5	3	0	0	1	2	0	9	2.9
19000	0	7	5	4	0	0	1	3	1	14	3.5
20000	0	6	5	3	0	1	1	5	3	16	4
21000	1	5	2	4	1	1	0	12	1	13	4
22000	1	4	2	1	4	2	0	15	1	9	3.9
23000	0	5	7	0	4	3	1	19	0	6	4.5
24000	0	4	7	0	5	4	2	20	5	5	5.2
25000	0	3	7	0	4	2	1	19	7	1	4.4
26000	0	3	7	0	3	1	3	22	8	2	4.9
27000	0	2	6	0	3	1	4	21	6	2	4.5
28000	0	0	9	0	3	3	6	15	7	2	4.5
29000	1	0	4	0	4	5	11	15	7	3	5
30000	1	0	1	0	4	5	11	12	5	2	4.1
31000	3	0	0	2	2	6	11	14	5	1	4.4
32000	2	2	0	2	2	7	11	18	8	3	5.5
33000	0	1	0	0	0	8	11	15	7	1	4.3
34000	0	2	1	0	1	6	13	16	7	3	4.9
35000	0	3	0	0	0	8	9	15	5	2	4.2
36000	0	0	3	0	0	8	8	22	5	2	4.8
37000	0	2	2	0	0	8	7	22	4	3	4.8
38000	5	2	3	0	0	12	8	26	2	3	6.1
39000	3	4	3	0	0	13	8	28	1	3	6.3
40000	5	4	5	0	0	14	9	25	0	0	6.2
41000	6	4	4	0	1	13	8	25	0	0	6.1

Ek Tablo 1'in devamı

42000	5	6	3	0	3	9	9	22	0	0	5.7
43000	5	7	3	1	2	9	11	21	0	0	5.9
44000	5	8	6	1	5	9	12	20	0	2	6.8
45000	4	11	5	4	5	11	17	13	0	0	7
46000	7	11	4	8	5	11	21	12	0	3	8.2
47000	7	16	4	6	6	12	22	12	0	5	9
48000	4	19	2	8	6	11	23	16	0	4	9.3
49000	4	21	4	7	9	13	19	15	0	3	9.5
50000	3	27	6	12	11	13	18	11	0	2	10.3
51000	3	29	5	15	14	14	19	13	1	1	11.4
52000	5	28	3	13	12	10	21	15	1	1	10.9
53000	5	25	4	9	13	12	19	15	3	2	10.7
54000	7	22	1	8	13	14	20	14	2	2	10.3
55000	6	22	0	6	13	14	21	17	3	2	10.4
56000	6	26	0	10	14	20	22	17	2	0	11.7
57000	6	26	1	6	15	20	23	16	4	1	11.8
58000	6	28	0	9	14	19	24	13	2	2	11.7
59000	4	29	0	9	16	23	27	11	1	3	12.3
60000	2	31	0	6	15	24	27	12	3	2	12.2
61000	3	30	1	8	13	25	25	14	2	2	12.3
62000	3	29	0	7	12	28	26	17	1	1	12.4
63000	4	31	2	4	11	30	27	18	2	1	13
64000	4	31	7	4	12	32	25	19	3	3	14
65000	4	32	8	3	5	31	27	21	5	3	13.9
66000	5	31	9	6	6	30	28	23	6	2	14.6
67000	4	33	9	5	7	28	28	23	8	1	14.6
68000	3	35	12	2	8	28	27	22	9	0	14.6
69000	2	35	12	5	8	33	28	26	10	0	15.9
70000	1	35	14	7	8	29	29	24	10	0	15.7
71000	2	35	16	8	11	28	30	21	10	0	16.1
72000	0	35	16	7	10	29	30	26	10	0	16.3
73000	1	37	15	7	8	28	29	25	11	0	16.1
74000	2	37	20	6	9	28	30	25	11	1	16.9
75000	3	36	19	5	10	27	32	27	7	3	16.9
76000	3	38	23	4	11	26	33	28	6	2	17.4
77000	5	36	23	4	9	24	32	26	6	2	16.7
78000	6	35	25	3	10	20	31	27	8	3	16.8
79000	8	35	24	5	15	23	29	26	7	5	17.7
80000	8	35	24	6	16	24	30	28	11	6	18.8
81000	10	37	22	6	17	26	29	28	8	2	18.5
82000	11	38	20	6	18	30	30	31	8	0	19.2
83000	10	39	18	4	18	31	33	28	9	0	19
84000	11	39	18	5	19	31	31	29	6	0	18.9

Ek Tablo 1'in devamı

85000	14	39	20	6	20	34	32	28	14	0	20.7
86000	16	35	21	5	21	37	31	29	14	0	20.9
87000	20	34	20	5	16	36	30	31	14	1	20.7
88000	20	36	21	5	14	34	32	32	15	0	20.9
89000	23	35	22	5	17	32	29	33	19	1	21.6
90000	26	33	23	4	21	31	30	33	21	1	22.3
91000	28	29	23	4	18	35	30	30	21	1	21.9
92000	32	31	25	3	15	36	33	29	25	0	22.9
93000	32	28	25	4	15	37	34	26	20	3	22.4
94000	31	29	24	5	15	38	32	29	20	6	22.9
95000	27	29	27	5	12	36	32	28	20	8	22.4
96000	28	29	26	5	10	34	29	26	16	9	21.2
97000	23	31	26	9	12	33	26	26	16	11	21.3
98000	21	31	24	6	14	33	26	24	17	10	20.6
99000	21	31	24	4	11	33	25	26	15	14	20.4
100000	22	28	21	6	12	29	22	26	20	13	19.9
101000	21	29	21	7	11	29	20	28	21	19	20.6
102000	22	33	21	9	12	28	21	27	22	20	21.5
103000	26	37	25	8	12	28	22	29	20	20	22.7
104000	22	35	21	10	11	28	23	29	24	18	22.1
105000	24	34	18	11	10	25	20	31	27	20	22
106000	20	31	18	12	9	23	20	32	24	18	20.7
107000	19	32	18	12	13	19	21	34	24	19	21.1
108000	19	34	26	12	16	19	24	34	24	19	22.7
109000	18	33	25	11	15	19	22	34	24	20	22.1
110000	20	32	28	12	15	20	20	35	23	17	22.2
111000	20	36	27	12	16	19	18	33	20	16	21.7
112000	22	37	29	10	19	21	16	34	18	17	22.3
113000	20	36	28	12	18	18	14	34	15	19	21.4
114000	19	34	28	12	20	17	14	39	18	21	22.2
115000	19	37	32	12	20	16	16	39	19	21	23.1
116000	19	37	32	11	20	14	22	41	19	20	23.5
117000	17	37	33	12	20	14	19	42	19	20	23.3
118000	17	38	31	12	19	16	20	42	16	18	22.9
119000	14	33	31	8	23	17	21	43	18	13	22.1
120000	15	37	31	10	19	17	17	40	15	16	21.7
121000	15	38	30	9	21	15	14	40	15	13	21
122000	16	37	28	11	18	18	17	39	14	17	21.5
123000	18	40	29	9	16	21	16	40	14	15	21.8
124000	20	42	30	13	19	19	17	40	16	16	23.2
125000	20	40	31	15	20	19	19	40	13	18	23.5
126000	23	35	31	15	19	22	18	45	11	20	23.9
127000	25	34	35	15	21	23	16	45	8	23	24.5

Ek tablo 1'in devamı

128000	24	32	32	19	24	28	14	46	6	22	24.7
129000	22	32	32	15	25	28	12	46	7	24	24.3
130000	24	25	27	18	26	27	10	47	7	23	23.4
131000	24	24	29	16	26	26	9	49	6	22	23.1
132000	25	20	29	19	29	27	9	46	6	19	22.9
133000	23	21	28	19	29	27	10	47	6	16	22.6
134000	24	20	26	15	27	28	7	46	7	14	21.4
135000	23	19	25	16	26	27	5	45	7	17	21
136000	19	15	22	18	27	26	5	41	10	15	19.8
137000	20	15	23	13	28	23	5	39	11	11	18.8
138000	20	11	22	11	31	23	1	36	11	9	17.5
139000	18	8	23	7	30	24	2	35	9	9	16.5
140000	17	6	23	9	29	22	1	34	6	7	15.4
141000	16	8	20	7	31	16	0	31	9	8	14.6
142000	15	7	17	8	35	15	0	28	12	11	14.8
143000	12	10	16	7	33	15	0	26	13	9	14.1
144000	11	12	16	7	29	15	0	26	11	6	13.3
145000	9	12	13	9	29	14	0	25	10	5	12.6
146000	8	9	13	5	29	14	0	23	10	4	11.5
147000	7	11	14	8	28	10	0	23	13	3	11.7
148000	9	5	13	9	26	11	0	27	15	5	12
149000	8	6	14	10	27	12	0	27	15	4	12.3
150000	7	7	15	8	26	12	0	26	14	3	11.8
151000	8	9	13	4	23	11	0	28	17	6	11.9
152000	11	8	11	5	19	11	0	28	13	6	11.2
153000	11	9	8	2	18	11	0	28	14	5	10.6
154000	14	8	8	1	17	11	0	31	12	6	10.8
155000	12	7	9	0	17	11	0	29	7	6	9.8
156000	15	7	7	3	20	11	0	29	5	3	10
157000	12	6	8	4	20	9	0	29	3	3	9.4
158000	16	6	8	1	20	10	0	31	2	1	9.5
159000	13	6	5	1	20	6	0	34	1	3	8.9
160000	14	6	6	2	22	6	0	35	1	3	9.5
161000	14	6	4	2	22	9	0	35	2	2	9.6
162000	15	5	5	4	24	9	1	36	5	3	10.7
163000	19	6	9	6	26	12	2	34	3	2	11.9
164000	19	4	8	5	25	14	3	35	4	4	12.1
165000	22	6	12	7	27	11	3	39	4	4	13.5
166000	23	7	12	8	28	12	4	38	7	5	14.4
167000	22	8	12	8	25	13	4	40	8	7	14.7
168000	25	5	12	12	26	12	5	42	6	4	14.9
169000	22	1	12	13	25	17	6	43	7	6	15.2
170000	21	2	11	8	25	16	4	43	3	10	14.3

Ek Tablo 1'in devamı

171000	20	3	11	6	27	19	3	42	2	8	14.1
172000	22	5	11	8	29	16	5	41	2	4	14.3
173000	24	3	17	7	32	14	6	37	4	5	14.9
174000	22	4	19	9	32	12	10	39	4	5	15.6
175000	24	3	18	13	35	11	11	39	4	8	16.6
176000	24	4	21	8	33	12	12	38	7	9	16.8
177000	22	6	20	9	36	16	8	38	7	14	17.6
178000	21	7	20	7	39	17	6	35	6	13	17.1
179000	26	6	19	8	42	15	1	36	7	16	17.6
180000	24	5	20	8	42	16	3	41	7	13	17.9
181000	23	5	22	10	36	17	3	42	8	11	17.7
182000	23	4	19	14	35	17	4	45	9	13	18.3
183000	22	3	18	13	36	18	5	43	9	12	17.9
184000	21	4	17	13	38	18	5	35	10	14	17.5
185000	19	4	18	13	37	17	6	31	12	15	17.2
186000	18	5	17	11	40	18	7	32	12	18	17.8
187000	18	2	18	15	42	18	9	31	13	19	18.5
188000	17	3	16	18	41	19	10	30	12	19	18.5
189000	15	1	16	21	41	16	8	33	12	21	18.4
190000	16	3	17	22	40	17	8	32	10	22	18.7
191000	15	3	18	22	38	18	9	30	10	24	18.7
192000	16	2	20	23	36	14	12	33	12	25	19.3
193000	18	5	19	22	37	13	11	30	14	25	19.4
194000	21	7	19	25	38	12	10	34	16	22	20.4
195000	23	6	20	25	40	12	11	36	17	25	21.5
196000	24	4	21	25	41	12	12	36	17	25	21.7
197000	26	5	22	29	43	10	12	36	19	24	22.6
198000	28	8	21	26	43	7	16	33	20	23	22.5
199000	32	10	22	29	45	7	14	33	26	23	24.1
200000	33	9	20	26	45	4	15	32	30	22	23.6
201000	29	8	21	32	42	3	17	30	33	19	23.4
202000	30	8	17	34	43	3	17	31	33	19	23.5
203000	31	10	18	31	43	3	18	31	29	16	23
204000	30	12	17	30	45	3	18	33	29	15	23.2
205000	30	14	18	28	45	2	18	36	27	15	23.3
206000	29	10	18	29	42	2	20	38	22	15	22.5
207000	30	14	18	33	42	3	19	34	17	18	22.8
208000	29	11	19	34	43	5	20	29	19	15	22.4
209000	29	9	16	34	44	6	22	27	19	14	22
210000	24	12	16	30	43	8	24	27	18	12	21.4
211000	22	12	15	31	47	13	24	26	19	9	21.8
212000	19	9	13	34	44	13	23	19	22	7	20.3
213000	18	7	13	36	45	8	27	22	23	7	20.6

Ek Tablo 1'in devamı

214000	19	7	14	37	46	6	23	22	19	7	20
215000	17	9	16	36	43	8	26	20	20	8	20.3
216000	16	10	17	34	45	7	25	18	22	11	20.5
217000	21	11	18	35	44	3	23	19	21	13	20.8
218000	19	12	19	37	44	3	25	20	23	12	21.4
219000	19	14	19	38	42	3	24	23	20	14	21.6
220000	19	14	16	42	42	5	25	26	16	14	21.9
221000	19	12	20	44	41	7	22	28	14	14	22.1
222000	17	11	17	44	41	9	22	29	16	15	22.1
223000	16	12	15	46	41	8	21	29	15	12	21.5
224000	15	13	17	45	44	8	22	29	15	13	22.1
225000	15	13	16	48	45	8	18	33	16	11	22.3
226000	15	10	18	47	44	14	19	33	20	14	23.4
227000	18	10	17	47	44	19	17	34	17	14	23.7
228000	16	16	15	45	44	16	20	35	16	15	23.8
229000	17	15	18	47	43	17	19	36	17	17	24.6
230000	16	13	18	51	45	15	21	36	15	19	24.9
231000	17	15	16	51	43	15	21	36	17	16	24.7
232000	18	14	16	53	47	17	19	34	16	18	25.2
233000	22	15	15	53	42	19	19	32	13	18	24.8
234000	19	12	14	53	40	19	17	36	11	18	23.9
235000	21	15	14	53	40	19	14	35	12	19	24.2
236000	22	15	15	50	42	16	12	34	11	19	23.6
237000	24	13	15	51	41	16	11	33	12	18	23.4
238000	24	12	15	50	41	17	12	34	12	17	23.4
239000	23	10	15	48	42	18	15	30	13	17	23.1
240000	22	8	16	52	43	19	14	30	16	18	23.8
241000	22	6	16	51	43	14	15	33	16	19	23.5
242000	24	8	16	49	43	18	13	32	15	20	23.8
243000	21	9	13	49	45	20	11	34	15	22	23.9
244000	24	13	13	49	47	22	10	34	18	19	24.9
245000	24	16	15	46	46	23	10	34	18	17	24.9
246000	25	15	14	41	44	23	10	34	23	16	24.5
247000	23	15	16	45	45	19	12	35	22	17	24.9
248000	23	15	19	47	46	18	10	43	18	20	25.9
249000	23	16	18	47	47	15	11	43	18	19	25.7
250000	23	17	20	46	47	17	12	47	18	23	27
251000	26	19	17	44	49	16	14	48	18	22	27.3
252000	26	18	15	44	46	10	17	50	16	22	26.4
253000	26	15	13	43	43	6	17	50	16	22	25.1
254000	26	17	12	42	42	3	13	46	13	20	23.4
255000	27	17	10	41	42	1	15	47	10	19	22.9
256000	26	16	9	42	40	1	17	45	12	18	22.6

Ek tablo 1'in devamı

257000	26	18	10	44	40	1	18	41	10	17	22.5
258000	27	18	8	43	41	1	20	41	7	18	22.4
259000	30	19	8	45	43	3	19	41	4	18	23
260000	28	19	10	47	43	1	17	40	6	21	23.2
261000	27	17	8	49	43	2	18	36	8	24	23.2
262000	22	16	8	55	43	3	21	34	7	22	23.1
263000	25	17	10	54	46	4	21	34	4	24	23.9
264000	29	16	10	55	48	5	20	33	3	24	24.3
265000	28	12	10	56	51	7	20	32	6	23	24.5
266000	26	11	7	53	52	2	22	29	7	24	23.3
267000	29	11	7	49	54	1	25	30	11	25	24.2
268000	25	11	10	45	61	2	27	29	7	27	24.4
269000	26	11	9	47	58	6	22	32	5	30	24.6
270000	27	12	7	46	61	4	19	29	5	32	24.2
271000	28	13	6	45	61	4	17	27	6	34	24.1
272000	29	15	1	46	61	1	17	26	9	32	23.7
273000	26	19	1	45	61	1	18	22	10	35	23.8
274000	27	13	1	45	60	1	19	16	10	37	18.9
275000	21	14	2	43	62	1	20	13	9	38	22.3
276000	19	14	3	41	64	1	24	12	6	39	22.3
277000	20	16	4	43	65	3	22	10	7	42	23.2
278000	21	17	6	44	63	1	21	8	7	38	22.6
279000	21	22	5	46	60	1	16	7	10	37	22.5
280000	22	22	6	47	57	1	18	6	10	40	22.9
281000	24	26	6	46	56	1	20	6	13	42	24
282000	25	27	8	45	55	2	20	6	13	39	24
283000	25	24	8	42	56	3	19	7	15	38	23.7
284000	27	24	6	43	56	3	22	8	15	32	23.6
285000	26	28	6	44	55	1	23	8	16	30	23.7
286000	25	28	8	46	55	1	26	10	17	30	24.6
287000	23	28	8	44	55	1	28	11	16	29	24.3
288000	20	28	7	42	57	2	29	10	17	30	24.2
289000	21	24	6	40	53	4	26	10	15	32	23.1
290000	21	20	6	37	50	6	22	11	15	32	22
291000	20	20	7	36	51	3	20	11	16	28	21.2
292000	20	21	10	34	52	4	16	12	12	28	20.9
293000	20	19	12	33	50	5	15	12	12	28	20.6
294000	20	16	11	27	50	3	14	12	8	24	18.5
295000	22	15	11	22	50	4	15	9	8	22	17.8
296000	21	15	15	22	48	4	14	6	4	22	17.1
297000	19	14	19	19	42	5	14	7	6	20	16.5
298000	19	13	17	21	41	3	15	8	6	19	16.2
299000	16	13	14	21	37	5	12	7	3	19	14.7

Ek Tablo 1'in devamı

300000	19	15	12	20	38	2	12	7	1	21	14.7
301000	16	12	14	20	33	1	15	7	1	20	13.9
302000	16	12	11	19	33	4	14	4	1	21	13.5
303000	13	10	12	17	31	4	15	3	4	22	13.1
304000	11	8	12	13	34	2	14	4	4	23	12.5
305000	9	8	10	14	33	2	15	4	4	22	12.1
306000	9	9	12	13	32	1	15	3	4	22	12
307000	9	8	12	12	32	1	14	2	2	18	11
308000	7	8	12	12	32	2	12	2	4	17	10.8



Ek Tablo 2. ENKISA kuralı için çıktı verileri

Benzam	S1	S2	S3	S4	S5	S6	Sort
1000	0	0	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	0	0	0	0
3000	0	0	0	0	0	0	0
4000	0	0	0	1	0	0	0.16667
5000	0	0	0	0	0	0	0
6000	0	1	0	0	0	1	0.33333
7000	0	1	2	0	0	0	0.5
8000	0	0	1	0	0	0	0.16667
9000	0	0	0	0	0	0	0
10000	0	0	0	0	0	0	0
11000	1	0	0	0	0	0	0.16667
12000	0	0	2	1	0	0	0.5
13000	0	0	2	1	0	0	0.5
14000	2	1	1	1	1	0	1
15000	4	2	1	0	2	0	1.5
16000	2	1	2	0	1	2	1.33333
17000	3	0	2	1	0	0	1
18000	4	0	4	0	1	1	1.66667
19000	1	0	4	0	3	1	1.5
20000	2	0	2	1	4	3	2
21000	3	0	2	1	4	2	2
22000	5	0	3	1	5	1	2.5
23000	7	1	3	2	1	1	2.5
24000	5	1	6	4	0	2	3
25000	4	3	6	4	0	2	3.16667
26000	5	0	4	3	2	4	3
27000	7	3	4	4	1	6	4.16667
28000	8	5	2	4	0	6	4.16667
29000	8	4	1	6	1	5	4.16667
30000	7	7	4	7	1	3	4.83333
31000	7	12	1	6	1	2	4.83333
32000	7	10	0	8	2	5	5.33333
33000	7	7	1	9	4	5	5.5
34000	8	10	1	10	4	4	6.16667
35000	6	7	1	11	4	2	5.16667
36000	5	7	0	12	7	0	5.16667
37000	7	8	2	13	6	1	6.16667
38000	6	7	3	9	7	3	5.83333
39000	5	9	2	5	8	3	5.33333
40000	4	10	2	4	8	4	5.33333
41000	2	8	3	4	11	4	5.33333
42000	3	7	0	6	10	5	5.16667

Ek Tablo 2'in devamı

43000	2	5	0	7	7	5	4.33333
44000	7	7	0	6	6	4	5
45000	10	8	1	8	5	6	6.33333
46000	10	11	0	12	6	2	6.83333
47000	10	11	1	12	6	2	7
48000	9	4	3	14	5	3	6.33333
49000	10	9	4	14	3	4	7.33333
50000	14	9	6	16	5	2	8.66667
51000	13	11	9	12	6	3	9
52000	12	10	10	14	4	2	8.66667
53000	10	13	8	10	5	8	9
54000	4	12	8	9	4	8	7.5
55000	4	12	10	11	0	9	7.66667
56000	3	16	11	11	1	8	8.33333
57000	2	10	10	13	1	6	7
58000	3	11	7	17	3	4	7.5
59000	3	15	3	17	5	3	7.66667
60000	2	15	4	16	2	3	7
61000	3	15	2	14	5	2	6.83333
62000	4	14	3	15	6	3	7.5
63000	4	11	2	12	7	4	6.66667
64000	4	8	2	12	3	1	5
65000	5	6	1	14	5	2	5.5
66000	8	6	4	11	4	7	6.66667
67000	7	6	2	10	2	7	5.66667
68000	6	9	1	9	5	4	5.66667
69000	6	10	1	10	6	3	6
70000	9	17	1	10	8	4	8.16667
71000	8	16	3	9	7	3	7.66667
72000	10	18	2	11	7	5	8.83333
73000	9	16	4	12	8	4	8.83333
74000	9	18	4	11	11	5	9.66667
75000	9	17	0	10	9	3	8
76000	11	16	3	10	7	4	8.5
77000	10	17	6	7	8	7	9.16667
78000	10	15	6	5	12	8	9.33333
79000	6	14	8	6	12	10	9.33333
80000	4	13	6	6	12	12	8.83333
81000	6	16	5	10	8	12	9.5
82000	5	14	5	11	6	12	8.83333
83000	7	13	6	13	6	14	9.83333
84000	6	15	6	11	7	17	10.33333
85000	5	18	10	10	8	17	11.33333

Ek Tablo 2'in devamı

86000	6	19	9	9	7	16	11
87000	6	16	9	8	8	18	10.8333
88000	7	16	11	8	10	18	11.6667
89000	6	15	11	10	8	18	11.3333
90000	10	14	12	9	8	16	11.5
91000	8	16	10	8	9	15	11
92000	9	16	12	8	5	17	11.1667
93000	8	16	13	9	7	17	11.6667
94000	11	13	11	15	9	17	12.6667
95000	12	10	10	16	6	12	11
96000	12	11	9	11	6	13	10.3333
97000	10	11	10	16	9	10	11
98000	9	12	9	14	6	11	10.1667
99000	8	12	4	10	5	12	8.5
100000	6	8	5	8	5	9	6.83333
101000	6	7	7	6	4	11	6.83333
102000	10	6	8	8	5	11	8
103000	9	8	8	8	4	11	8
104000	10	11	14	7	7	12	10.1667
105000	9	10	8	6	8	11	8.66667
106000	7	9	6	7	5	9	7.16667
107000	7	12	6	4	4	11	7.33333
108000	9	11	8	5	5	10	8
109000	9	11	11	9	6	12	9.66667
110000	9	10	13	9	5	11	9.5
111000	7	11	11	9	5	9	8.66667
112000	6	13	17	10	6	7	9.83333
113000	6	11	16	12	6	8	9.83333
114000	8	13	18	12	7	10	11.3333
115000	6	17	15	11	9	10	11.3333
116000	7	20	12	11	9	10	11.5
117000	10	20	12	12	7	12	12.1667
118000	11	20	10	12	6	13	12
119000	10	19	7	11	5	14	11
120000	13	14	7	11	4	18	11.1667
121000	12	11	9	11	5	12	10
122000	9	11	7	11	5	10	8.83333
123000	7	7	6	10	11	9	8.33333
124000	4	11	6	8	8	6	7.16667
125000	2	6	6	6	11	3	5.66667
126000	3	4	3	9	14	3	6
127000	8	6	6	9	13	3	7.5
128000	8	7	8	9	18	2	8.66667

Ek Tablo2'in devamı

129000	9	6	7	7	20	4	8.83333
130000	8	8	5	6	20	7	9
131000	8	7	5	7	18	9	9
132000	10	6	4	5	17	11	8.83333
133000	7	9	3	4	9	10	7
134000	4	5	2	5	10	7	5.5
135000	4	4	8	2	8	4	5
136000	2	8	9	1	4	3	4.5
137000	1	10	9	4	6	7	6.16667
138000	2	8	7	9	6	7	6.5
139000	4	7	4	14	5	6	6.66667
140000	6	4	2	13	5	6	6
141000	6	4	5	14	6	6	6.83333
142000	4	2	7	12	8	5	6.33333
143000	6	2	6	9	4	2	4.83333
144000	11	2	8	7	3	3	5.66667
145000	10	1	4	4	2	4	4.16667
146000	7	0	5	3	3	1	3.16667
147000	5	0	2	3	1	1	2
148000	5	0	0	6	1	2	2.33333
149000	1	0	0	6	1	0	1.33333
150000	0	0	0	5	0	1	1
151000	1	0	1	4	0	0	1
152000	3	0	2	1	0	0	1
153000	3	0	1	0	0	0	0.66667
154000	0	0	3	0	0	1	0.66667
155000	1	1	3	0	1	2	1.33333
156000	1	0	1	0	1	2	0.83333
157000	3	0	1	1	2	0	1.16667
158000	2	0	2	0	2	4	1.66667
159000	1	1	2	1	2	3	1.66667
160000	0	1	3	1	4	4	2.16667
161000	3	4	0	2	6	3	3
162000	6	2	2	2	9	4	4.16667
163000	6	3	3	3	6	3	4
164000	6	2	2	2	10	4	4.33333
165000	5	3	1	4	8	4	4.16667
166000	6	3	2	7	9	4	5.16667
167000	3	2	3	6	11	6	5.16667
168000	10	5	6	6	13	6	7.66667
169000	10	3	4	8	16	3	7.33333
170000	12	5	3	9	13	6	8
171000	12	7	7	12	12	7	9.5

Ek tablo 2'in devamı

172000	16	6	3	13	10	6	9
173000	16	8	3	12	13	5	9.5
174000	14	9	1	15	10	8	9.5
175000	13	10	3	16	9	7	9.66667
176000	12	14	3	12	9	4	9
177000	9	10	5	7	9	3	7.16667
178000	11	10	3	7	11	2	7.33333
179000	10	13	1	5	15	1	7.5
180000	9	13	2	7	13	2	7.66667
181000	6	12	3	7	11	2	6.83333
182000	6	10	5	7	13	3	7.33333
183000	6	8	6	6	14	4	7.33333
184000	4	7	5	4	14	2	6
185000	4	4	5	4	14	5	6
186000	4	4	7	5	10	4	5.66667
187000	2	3	9	4	12	4	5.66667
188000	4	6	9	3	10	7	6.5
189000	2	6	9	5	9	8	6.5
190000	6	6	8	6	9	8	7.16667
191000	9	6	9	4	6	11	7.5
192000	7	8	12	2	8	13	8.33333
193000	6	6	12	2	7	16	8.16667
194000	1	6	12	4	6	12	6.83333
195000	2	4	11	4	9	11	6.83333
196000	0	5	12	3	9	11	6.66667
197000	0	9	15	4	9	17	9
198000	1	8	10	4	10	16	8.16667
199000	1	6	10	6	11	12	7.66667
200000	2	6	8	8	12	17	8.83333
201000	3	7	10	4	13	16	8.83333
202000	3	5	12	6	9	16	8.5
203000	4	1	12	3	13	14	7.83333
204000	3	4	12	5	14	20	9.66667
205000	3	6	10	7	15	22	10.5
206000	1	3	11	3	14	23	9.16667
207000	4	5	12	6	13	23	10.5
208000	6	4	13	4	16	22	10.8333
209000	3	6	9	4	16	20	9.66667
210000	4	9	7	6	14	9	8.16667
211000	7	6	9	4	12	9	7.83333
212000	4	8	8	5	13	7	7.5
213000	2	7	10	4	12	8	7.16667
214000	3	8	10	4	11	7	7.16667

Ek tablo 2'in devamı

215000	2	10	8	4	12	10	7.66667
216000	1	8	9	7	14	13	8.66667
217000	2	10	8	8	13	16	9.5
218000	6	9	12	7	10	16	10
219000	5	10	11	9	10	14	9.83333
220000	2	9	12	8	12	16	9.83333
221000	2	11	11	7	11	14	9.33333
222000	2	13	13	6	12	12	9.66667
223000	5	15	15	7	10	9	10.1667
224000	6	16	14	8	13	9	11
225000	10	11	16	10	10	5	10.3333
226000	8	9	16	12	10	6	10.1667
227000	8	7	15	15	12	6	10.5
228000	7	6	13	16	12	7	10.1667
229000	5	4	11	14	11	9	9
230000	6	6	11	13	14	11	10.1667
231000	7	7	10	13	15	13	10.8333
232000	7	4	10	10	15	16	10.3333
233000	7	4	14	8	18	19	11.6667
234000	6	3	11	6	17	17	10
235000	5	4	11	7	13	21	10.1667
236000	3	2	12	11	12	21	10.1667
237000	3	3	11	13	18	17	10.8333
238000	5	6	12	12	17	14	11
239000	4	4	13	10	15	14	10
240000	3	6	10	8	16	16	9.83333
241000	3	6	7	10	16	19	10.1667
242000	3	4	7	9	16	16	9.16667
243000	3	3	7	7	14	16	8.33333
244000	2	6	9	8	15	23	10.5
245000	0	8	9	10	13	15	9.16667
246000	0	11	9	10	15	17	10.3333
247000	4	9	9	10	14	17	10.5
248000	3	10	10	5	9	17	9
249000	2	11	8	7	13	15	9.33333
250000	3	7	7	9	13	13	8.66667
251000	4	7	9	9	10	12	8.5
252000	7	9	9	11	11	9	9.33333
253000	6	9	9	13	10	13	10
254000	7	8	10	13	10	14	10.3333
255000	6	9	12	11	12	14	10.6667
256000	6	9	14	13	13	13	11.3333
257000	7	9	9	10	14	13	10.3333

Ek Tablo 2'in devamı

258000	6	11	8	10	13	8	9.33333
259000	7	11	8	9	13	10	9.66667
260000	5	9	9	11	13	10	9.5
261000	4	7	8	12	12	9	8.66667
262000	3	5	8	10	10	10	7.66667
263000	5	7	8	12	8	9	8.16667
264000	9	9	10	9	10	9	9.33333
265000	9	8	10	7	12	10	9.33333
266000	8	6	8	9	11	11	8.83333
267000	7	7	11	6	9	13	8.83333
268000	4	6	11	6	8	11	7.66667
269000	3	7	12	6	6	12	7.66667
270000	3	8	11	4	6	11	7.16667
271000	2	12	13	3	4	11	7.5
272000	2	9	8	4	4	11	6.33333
273000	5	11	4	3	7	11	6.83333
274000	5	7	5	4	10	10	6.83333
275000	5	6	5	2	6	8	5.33333
276000	3	5	7	4	4	12	5.83333
277000	2	5	5	5	4	12	5.5
278000	2	4	9	10	3	10	6.33333
279000	2	4	8	8	3	13	6.33333
280000	1	6	8	7	4	12	6.33333
281000	2	7	7	9	4	12	6.83333
282000	1	3	8	11	5	12	6.66667
283000	0	5	7	13	4	15	7.33333
284000	1	7	7	10	5	15	7.5
285000	1	7	7	9	6	15	7.5
286000	0	7	8	11	11	14	8.5
287000	3	8	8	11	11	14	9.16667
288000	1	8	9	8	9	13	8
289000	1	6	10	7	7	11	7
290000	1	4	8	7	4	11	5.83333
291000	1	5	8	9	5	8	6
292000	2	5	9	7	4	8	5.83333
293000	1	4	8	6	1	8	4.66667
294000	2	4	8	2	2	9	4.5
295000	0	3	8	1	1	9	3.66667
296000	0	5	11	0	2	7	4.16667
297000	1	7	9	1	4	5	4.5
298000	0	6	6	0	4	4	3.33333
299000	0	5	5	0	7	2	3.16667
300000	0	4	8	0	5	1	3

Ek Tablo 2'in devamı

301000	0	3	7	1	4	2	2.83333
302000	0	4	7	2	5	1	3.16667
303000	3	4	8	1	4	1	3.5
304000	4	3	9	2	7	1	4.33333
305000	3	3	6	2	8	0	3.66667
306000	3	1	5	3	6	0	3
307000	5	2	4	3	6	0	3.33333
308000	5	0	3	4	6	0	3



8. ÖZGEÇMİŞ

N. Elif MAZLUM; 1973 yılında Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Trabzon'da tamamladıktan sonra 1990 yılında K.T.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü kazandı. Bu bölümü 1994 yılında bitirdikten sonra 1995 yılında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Evli ve bir kız çocuğu annesi olan Elif MAZLUM, İngilizce bilmektedir.

