

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MÜŞTERİ ODAKLI SİSTEMLER İÇİN YAPAY SİNİR AĞI
VE BULANIK ÇIKARIM TABANLI BİR KARAR DESTEK
SİSTEMİ YAKLAŞIMI**

Endüstri Yük. Müh. Tuğba EFENDİGİL

**FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 27 Mayıs 2008

Tez Danışmanı : Y. Doç. Dr. Semih ÖNÜT (YTÜ)

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Tülay YILDIRIM (YTÜ)

: Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN (İTÜ)

: Prof. Dr. Mesut ÖZGÜRLER (YTÜ)

: Y. Doç. Dr. Bahar SENNAROĞLU (Marmara Üniv.)

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tez Çalışmasının Amacı ve Önemi	1
1.2 Tez Çalışmasının Organizasyonu ve Limitleri	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	3
2.1 Tedarik Zinciri Yönetiminin Tanımı	3
2.2 Tedarik Zinciri Yönetiminde Entegrasyon Noktaları	5
2.3 Tedarik Zinciri Entegrasyonu ile İlgili Literatür Çalışmaları	8
2.4 Tedarik Zinciri Entegrasyonu Tasarımı	12
2.4.1 Talep Yönelimli Stratejiler	15
2.4.2 İşbirlikçi Tedarik Zinciri	19
2.4.3 İşbirlikçi Tedarik Zinciri ile İlgili Literatür Çalışmaları	22
2.5 Tedarik Zinciri Matematiksel Modelleri	29
3. ENTEGRE BİR TEDARİK ZİNCİRİ TASARIMI İÇİN YAPAY SİNİR AĞI VE BULANIK ÇIKARIM TABANLI BİR SİSTEM YAKLAŞIMI	31
3.1 Araştırma Metodolojisi	31
3.2 Tez Çalışmasında Kullanılan Teknikler	32
3.3 Yapay Sinir Ağları	34
3.3.1 Yapay Sinir Ağı Çeşitleri	39
3.3.2 Yapay Sinir Ağları Öğrenme Kuralları	42
3.3.3 Yapay Sinir Ağlarında Modelleme Karakteristikleri	43
3.3.4 Yapay Sinir Ağlarının Eğitimi	43
3.3.5 Performans Yüzeyi	46
3.3.5.1 En hızlı iniş ile performans yüzeyinin araştırılması	47
3.3.5.2 Gradyanın tahmin edilmesi	48
3.3.5.3 Öğrenme eğrisi	49
3.3.5.4 İşlem elemanlarının doğrusal olmamasının anlamları	49

3.4	Çok Katmanlı Algılayıcı Modeli	50
3.5	Radyal Taban Fonksiyonlu Sinir Ağları	52
3.6	Bulanık Çıkarım Sistemleri	54
3.7	Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi	58
3.8	Tedarik Zinciri ve Yapay Sinir Ağı Uygulamaları	62
3.9	Tedarik Zinciri Entegrasyonu için Geliştirilen Model.....	64
4.	UYGULAMA	68
5.	TEZ ÇALIŞMASININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ	88
5.1	Klasik İstatistiksel Analiz Yöntemleri	88
5.2	Tahminlerin Doğruluğu	92
5.3	Tez Çalışmasının Karşılaştırmalı İstatistiksel Analizi.....	95
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	111
KAYNAKLAR.....		114
EKLER		124
Ek 1	Bayi 2 için istatistiksel analiz grafikleri	125
Ek 2	Bayi 3 için istatistiksel analiz grafikleri	133
Ek 3	Depo 1 için istatistiksel analiz grafikleri	142
Ek 4	Depo 2 için istatistiksel analiz grafikleri	151
Ek 5	Tedarikçi 1 için istatistiksel analiz grafikleri.....	160
Ek 6	Tedarikçi 2 için istatistiksel analiz grafikleri.....	168
Ek 7	Tedarikçi 3 için istatistiksel analiz grafikleri.....	177
Ek 8	ÇKA modelinin Matlab programlama kodu	185
Ek 9	RTF modelinin Matlab programlama kodu	186
ÖZGEÇMİŞ.....		187

SİMGE LİSTESİ

APE_{t+1}	Gerçek değerin görelî değışimi
b_t	t anındaki tahmini eğim
B	Bayi
c_j	Merkez
C_t	Döngüsel bileşeni
D	Dağıtım merkezi/Depo
d	İlk fark alma derecesi
d_i	Hedef çıktı değeri
F_{t+1}, F_{t+m}	$t+1$ anındaki ve m periyot sonraki tahmin
FPE_{t+1}	Tahminin görelî değışimi
I_t	Düzensiz bileşeni
J	Hata kareleri ortalaması
k	Nöron (işlem birimi)
$K1, K2$	1. gizli katman, 2. gizli katman
l	Girdi katmanı
L_t	t anındaki tahmin seviyesi
m	Tahminin yapılacağı periyot
n	Yineleme sayısı
p	Otoregresif model derecesi
q	Hareketli ortalama model derecesi
R_i	Bulanık önerme
R^2	Çoklu korelasyon katsayısı
r_k	Otokorelasyon katsayısı
S_t	Mevsim bileşeni
T	Tedarikçi
T_t	Trend bileşeni
U	Theil's-U istatistiğı değeri
u_k	Doğrusal toplama fonksiyonu
Ü	Üretici
w	Kural ağırlığı
w_{kj}	k nöronunun sinaptik ağırlığı
x_j	j . düğüme gelen giriş sinyali
y_k	k nöronunun çıkış sinyali
Y_t, Y_{t-1}	t ve $t-1$ anındaki gözlem
$\hat{Y}$	Çoklu regresyonda girdi değışkenlerine bağılı olarak yapılan Y tahmin değeri
$\bar{Y}$	Gözlem değerlerinin ortalaması
$\{a_i, b_i, c_i\}$	Öncül parametre seti,
$\{p_i, q_i, r_i\}$	Soncul parametre seti
σ	Gaus fonksiyonunun yayılma sabitini
τ	Normalize edilmek istenen aralığın en düşük değeri
∇	Gradyan

β_i	i . kuralın tatmin derecesidir
γ	Mevsimsel faktör sabiti
δ	Normalize edilmek istenen aralığın en yüksek değeri
η	Öğrenme oranı
μ	Üyelik fonksiyonu
ε	Tahmin hatası
α ve β	Üssel dağılım için düzeltme sabitleri
θ_k	Eşik değeri
$\Phi(.)$	Aktivasyon fonksiyonu

KISALTMA LİSTESİ

ANFIS	Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive Network-based Fuzzy Inference System)
AR	Otoregresif (AutoRegressive)
ARIMA	Birleştirilmiş Otoregresif Hareketli Ortalama (Autoregressive Integrated Moving Average)
ARMA	Otoregresif Hareketli Ortalama (AutoRegressive Moving Average)
ART	Adaptif Rezonans Teorisi Modelleri
B	Bayi
BAHP	Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi
BÇS	Bulanık Çıkarım Sistemleri
BYSA	Bulanık Yapay Sinir Ağları
ÇKA	Çok Katmanlı Algılayıcı (Multi Layer Perceptron)
D	Dağıtıcı/Depo
dmEFuNN	Dinamik Evrimsel Sinir Ağları
EfuNN	Evrimsel Bulanık Sinir Ağları
EKKO	En Küçük Kareler Ortalaması
FALCON	Bulanık Adaptif Öğrenmeli Kontrol Ağı
FINEST	Bulanık Çıkarım Yazılımında Bulanık Çıkarım ve Sinir Ağları
FUN	Bulanık Ağlar
GA	Genetik Algoritma
GARIC	Genellenmiş Yaklaşım Nedenlendirme Tabanlı Zeka Kontrolü
gaussmf	Gausiyen Eğrisi Üyelik Fonksiyonu
gbellmf	Genelleştirilmiş Çan Eğrisi Üyelik Fonksiyonu
GY	Geriye Yayınım Algoritması
HGYYSA	Hatayı Geriye Yayan Yapay Sinir Ağı
HKO	Hataların Mutlak Sapmasının Ortalaması (MSE-Mean Squared Error)
HMSO	Hataların Mutlak Sapmasının Ortalaması (MAD-Mean Absolute Deviation)
İPTİ	İşbirlikçi Planlama, Tahmin ve İkmal
LVQ	Vektör Kuantizasyon Modelleri
MA	Hareketli ortalama (Moving Average)
MHYO	Mutlak Hata Yüzdelerinin Ortalaması (MAPE-Mean Absolute Percentage Error)
NEFCON	Sinirsel Bulanık Kontrol
PBNN	Olasılık Tabanlı Ağlar
RTF	Radyal Taban Fonksiyonlu (Radial Basis Function)
SOM	Kendi kendini organize eden ağlar (Self Organizing Map)
SONFIN	Kendinden Oluşmalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Ağları
T	Tedarikçi
trainbfg	BFG Quasi-Newton Geri yayını
traincgb	Powell-Beale Yeniden Başlatmalı Eşlenik Gradya Geri yayını
traincgf	Fletcher-Reeves Güncellemeli Eşlenik Gradyan Geri yayını
traingd	Gradyan Düşümü Geri yayını
traingda	Adaptif Öğrenme Oranlı Geri yayınımlı Eğim Düşümü Geri yayını
traingdx	Adaptif Öğrenme Oranı Ve Gradyan Düşüm Momentumu Geri yayını
trainlm	Levenberg-Marquardt Geri yayını
trapmf	Dörtgensel Üyelik Fonksiyonu
trimf	Üçgensel Üyelik Fonksiyonu

TS	Takagi-Sugeno Modeli
TZ	Tedarik Zinciri
TZY	Tedarik Zinciri Yönetimi
Ü	Üretici
VTN	Vaka Tabanlı Nedenlendirme
VZA	Veri Zarflama Analizi
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Talep yapısı ile tedarik zinciri fonksiyonları	12
Şekil 2.2 İşbirlikçi bir yapının uygun planlama süreçleri	20
Şekil 3.1 Bir işletmenin planlama süreci.....	32
Şekil 3.2 Bir nöronun doğrusal olmayan modeli	37
Şekil 3.3 Bir satış tahmini süreci için tasarlanan YSA yapısı.....	45
Şekil 3.4 Regresyon problemi için performans yüzeyi	46
Şekil 3.5 Performans yüzeyi ve gradyanı	47
Şekil 3.6 Gradyan bilgisini kullanarak araştırma	48
Şekil 3.7 Öğrenme eğrileri	49
Şekil 3.8 Dış bükey olmayan performans yüzeyleri	50
Şekil 3.9 Çok katmanlı algılayıcı modeli	51
Şekil 3.10 Radyal taban fonksiyon sinir ağları	53
Şekil 3.11 Bulanık çıkarım sistemi	55
Şekil 3.12 Sugeno kuralı çalışma prensibi	57
Şekil 3.13 Birinci derece Sugeno tip bulanık model.....	58
Şekil 3.14 İki girişli ve bir çıkışlı bir ANFIS yapısı	59
Şekil 3.15 Tez çalışmasında öngörülen bilgi akışı	66
Şekil 3.16 ÇKA ağ modeli yapısına uygun olarak önerilen sistem	67
Şekil 4.1 Tez çalışmasında incelenen sistem	68
Şekil 4.2 Müşterilerden bayilere gelen talep miktarları	70
Şekil 4.3 Müşteri talebinin modellenmesi için kurulan yapı.....	71
Şekil 4.4 Giriş ve çıkış kriterlerinin üyelik fonksiyonları.....	73
Şekil 4.5 Gausiyen üçgensel üyelik fonksiyonlu sinirsel bulanık yapıya ait kural tabanlı mekanizma	74
Şekil 4.6 Bayi 1' e ait veri seti ile model çıktısı arasındaki ilişki.....	74
Şekil 4.7 Bayi 2 ve Bayi 3'e ait veri setleri ile model çıktıları arasındaki ilişki.....	76
Şekil 4.8 Dağıtım merkezi aşaması.....	77
Şekil 4.9 Eğitim hatası ile yineleme arasındaki ilişki	79
Şekil 4.10 Talep bilgisinin gerçekleşen ve tahmini değerlerinin, test seti baz alınarak karşılaştırılması	82
Şekil 4.11 Temin süresi bilgisinin gerçekleşen ve tahmini değerlerinin test setinin baz alınarak karşılaştırılması	83
Şekil 4.12 Üretici aşamasına ait giriş ve çıkışlar	83
Şekil 4.13 Eğitim hatası ile yineleme arasındaki ilişki	86
Şekil 4.14 Tedarikçi sipariş miktarının gerçekleşen ve tahmini değerlerinin test seti baz alınarak karşılaştırılması	87
Şekil 4.15 Tedarikçi kapasite miktarının gerçekleşen ve tahmini değerlerinin test seti baz alınarak karşılaştırılması	87
Şekil 5.1. Bayi 1'in talep miktarının aylara göre değişiminin gösterimi	96
Şekil 5.2 Bayi 1'in talep miktarının (a) otokorelasyon fonksiyonu gösterimi ve (b) kısmi otokorelasyon fonksiyonu gösterimi.....	97
Şekil 5.3 Bayi 1'in talep miktarı için trend analizi	97
Şekil 5.4 Bayi 1 talep miktarı için trend analizi yöntemi kullanıldığında elde edilen artıkların analizi	98
Şekil 5.5 Bayi 1'in talep miktarı için üçlü hareketli ortalama yöntemi	98

Şekil 5.6	Bayi 1 talep miktarı için üçlü hareketli ortalamalar yöntemi kullanıldığında elde edilen artıkların analizi	99
Şekil 5.7	Bayi 1'in talep miktarı için beşli hareketli ortalama yöntemi.....	99
Şekil 5.8	Bayi 1 talep miktarı için beşli hareketli ortalamalar yöntemi kullanıldığında elde edilen artıkların analizi	100
Şekil 5.9	Bayi 1 talep miktarı için basit üstel düzeltme	100
Şekil 5.10	Bayi 1 talep miktarı için basit üstel düzeltme yöntemi kullanıldığında elde edilen artıkların analizi	101
Şekil 5.11	Bayi 1 talep miktarı için çoklu regresyon analizinin sonucu	102
Şekil 5.12	Bayi 1 talep miktarı için çoklu regresyon analizi sonucunda elde edilen artıkların analizi	102
Şekil 5.13	Bayi 1 talep miktarı için ARIMA (1, 0, 0) modelinin sonuçları.....	103
Şekil 5.14	Bayi 1 talep miktarı için ARIMA (1, 0, 0) modelinin artıklarına ilişkin (a) korrelogramlar ve (b) uygunluk durumu.....	104
Şekil 5.15	Bayi 1 talep miktarı için ARIMA (0, 0, 1) modelinin sonuçları.....	104
Şekil 5.16	Bayi 1 talep miktarı için ARIMA (0, 0, 1) modelinin artıklarına ilişkin (a) korrelogramlar ve (b) uygunluk durumu.....	105
Şekil 5.17	Bayi 1 talep miktarı için ARIMA (1, 0, 1) modelinin sonuçları.....	106
Şekil 5.18	Bayi 1 talep miktarı için ARIMA (1, 0, 1) modelinin artıklarına ilişkin (a) korrelogramlar ve (b) uygunluk durumu.....	107

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Anahtar tedarik süreçleri.....	6
Çizelge 2.2 Literatürde tedarik zinciri entegrasyon noktaları ve kullanılan yapay zeka teknikleri	11
Çizelge 2.3 Talep ve tedarik belirsizliklerinin özellikleri	13
Çizelge 2.4 Lee'nin (2002) belirsizlik yapısı; örnekler ve gereken tedarik zinciri tipleri ...	14
Çizelge 2.5 Çok aşamalı tedarik zinciri modellerine yönelik literatür çalışması.....	28
Çizelge 3.1 ÇKA ve RTF ağlarının karşılaştırılması	54
Çizelge 3.2 Sugeno ve Mamdani metotlarının karşılaştırılması	61
Çizelge 4.1 Bayi 1 için üyelik fonksiyonu sayıları ve tiplerine göre yapılan simülasyon çalışması.....	72
Çizelge 4.2 Bayi 1 için validasyon seti, gerçek değerler ve sapma miktarları.....	73
Çizelge 4.3 Bayi 2 ve Bayi 3 için üyelik fonksiyonu sayıları ve tiplerine göre yapılan simülasyon çalışması	75
Çizelge 4.4 Bayi 2 ve Bayi 3 için validasyon setleri, gerçek değerler ve sapma miktarları	76
Çizelge 4.5 Dağıtım merkezi aşamasındaki sinir ağı modeli ve türevlerinin 0.01 hata toleransı ile 1000 yinelemeyle çıktısı	80
Çizelge 4.6 Dağıtım merkezi aşamasındaki sinir ağı modeli için RTF sonuçları	82
Çizelge 4.7 ÇKA ve RBF sonuçlarının karşılaştırılması	82
Çizelge 4.8 Üretici aşamasındaki sinir ağı modeli ve türevlerinin 0.01 hata toleransı ile 1000 yinelemeyle çıktısı	84
Çizelge 4.9 Üretici aşamasındaki sinir ağı için RTF sonuçları	86
Çizelge 5.1 Her birimin talep tahmini analiz sonuçları	108

ÖNSÖZ

Tez çalışmasını hazırlama sürecim boyunca her konuda yardım ve desteğini hissettiğim, bilgi ve deneyimlerinden yararlanma fırsatı bulduğum danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Semih ÖNÜT'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bu tezin oluşumunda büyük katkıları bulunan, kendisine her başvurduğumda bana vakit ayıran ve olumlu eleştirileriyle bana yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Tülay YILDIRIM'a, tezin eksikliklerinin ortaya çıkarılmasında ve giderilmesinde önerilerini esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu aşamaya gelene kadar üzerimde emeği geçen bölümdeki tüm hocalarıma, tüm araştırma görevlisi meslektaşlarıma ve desteklerinden dolayı tüm arkadaşlarıma teşekkür ediyorum. Bugünlere gelmemde en büyük payı olan anneme, babama, kardeşime ve tüm aileme, bu çalışmanın oluşumu sırasında hiçbir fedakârlıktan kaçınmayarak bana cesaret ve destek veren sevgili eşim Esat EFENDİGİL'e sonsuz teşekkürler.

Nisan, 2008

Endüstri Yüksek Müh. Tuğba EFENDİGİL

MÜŞTERİ ODAKLI SİSTEMLER İÇİN YAPAY SİNİR AĞI VE BULANIK ÇIKARIM TABANLI BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ YAKLAŞIMI

ÖZET

Değişen iş dünyası ve piyasa koşulları, işletmeleri sürekli olarak yeni stratejiler aramaya ya da mevcut stratejilerini bu yeni koşullara adapte etmeye zorlamaktadır. Artık organizasyonlar arasındaki farklılığı belirleyen en önemli faktör, bilgi akışı faktörüdür. Dolayısıyla, bir işletmenin başarısı, işlediği ve dağıttığı bilgidен değer yaratma becerisine ve bu değeri ele geçirmek için geliştirdiği iş modeline bağlı olacaktır. Günümüzde, tedarik zinciri yönetimindeki fonksiyonel ve operasyonel entegrasyon kavramı, tedarik zincirinde yer alan tüm birimlere genişletilmiştir. Bu sebeple bir tedarik zincirindeki tüm birimler, zincirin performansını geliştirmek adına birbirlerine ihtiyaç duyar hale gelmişlerdir. Bu noktada müşteri odaklılık, değişen rekabet çevresini dikkate alan yeni bir strateji olarak tedarik zinciri literatüründe yer almaya başlamıştır.

Bu tez çalışmasında, tedarik zincirindeki tüm birimlerin iş performanslarını arttırmak amacıyla, çok aşamalı bir tedarik zinciri için değişken temin sürelerini dikkate alan, müşteri taleplerini ve tedarikçi kapasitelerini entegre etmeye olanak tanıyan, güçlü karar destek altyapısı oluşturacak bir model önerilmektedir. Tez çalışmasında, tedarik zinciri üç aşama olarak incelenmiştir; (i) müşteri-bayi aşaması, (ii) dağıtım merkezi aşaması, (iii) üretici aşaması. Yapay sinir ağı ve bulanık mantık yaklaşımları ile modellenen bu yapı, İstanbul'da dayanıklı tüketim malları sektöründe faaliyet gösteren bir işletmeye uygulanmıştır. Her aşama için uygun olan sinir ağı yapıları kurulmuş ve parametrelere bağlı olarak çeşitli simülasyonlar yapılmıştır.

Tüm bu değerlendirmelerden sonra; elde edilen değerlerin gerçeğe çok yakın olması sebebiyle, tedarik ve talep zincirlerinin entegre bir şekilde çalışmasının yapay zeka yaklaşımları ile modellenebileceği sonucuna varılmaktadır. Model bünyesinde kalitatif ve kantitatif değişkenleri de içererek, kullanıcıya karar verme sürecinde büyük esneklikler sağlamaktadır. Sonuçlar klasik istatistiksel yöntemlerle karşılaştırmalı analiz şeklinde sunulmuştur. Sonuçların tatmin edici olması, modelin pratikte kullanılabilirliği görüşünü desteklemektedir.

Anahtar kelimeler: Talep tahmini, yapay sinir ağları, bulanık çıkarım, karar destek sistemi, belirsiz talep.

AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK AND FUZZY INFERENCE BASED DECISION SUPPORT SYSTEM APPROACH FOR CUSTOMER ORIENTATED SYSTEMS

ABSTRACT

Changeable business environment forces enterprises consistently either to find out new technologies or to adopt their current strategies to these new conditions. Today the distinctive character among the enterprises is the knowledge flow factor. Hence, an enterprise's success depends on the ability of creating value from the knowledge processing and the business model to gain this value. Today, supply chain management extends the concept of functional and operational integration beyond an enterprise to all the enterprises in the supply chain. Therefore the individual entities in a supply chain need each other in order to improve the competitiveness of the chain. Herein, customer orientation has recently emerged in supply chain literature as a new strategy depending on the changing competitive environment.

This study proposes a model that integrates the customer demands to the supplier capacities regarding the flexible lead times and constitutes a strong decision support structure to increase the business performance for all entities in the supply chain. In this study, supply chain is investigated as three levels; (i) customer-retailer level, (ii) distribution center level, (iii) manufacturer level. Artificial neural network and fuzzy logic based model is applied to a company which is active in durable consumer goods industry in Istanbul. For every level, neural network structures have been established and various simulation experiments have been implemented.

After whole evaluation, it is reasoned that the integration of supply and demand chains can be modeled via artificial intelligence techniques. The proposed model ensures flexibility for users in decision making process by containing qualitative and quantitative variables. The results are presented as comparative analysis with traditional statistical methods. The obtained satisfactory results support the applicability of the proposed model for practical usage.

Keywords: Demand forecasting, artificial neural networks, fuzzy inference, decision support system, fuzzy demand.

1. GİRİŞ

1.1 Tez Çalışmasının Amacı ve Önemi

Günümüz organizasyonlarının iş çevresindeki değişikliklere gerçek zamanlı uyum sağlayarak müşterilerine daha iyi ürün ve hizmet sunabilmesi, verilecek kararların daha iyi analiz edilmesi ile mümkün olabilir. Organizasyonlar değişken talep ortamında taşıma, dağıtım, depolama ve bakım aktivitelerini birlikte gerçekleştirdikleri tedarikçi, müşteri ve diğer kanal partnerleri ile etkin bir iletişim için stratejik bilgi sistemlerini geliştirmek durumundadırlar. Bu sebeple işletmeler, özellikle çok miktarda veriyi işlemeye olanak tanıyan esnek modellerin geliştirilmesi ile ilgilenmektedir. Her geçen gün giderek artan veri yığınlarından anlamlı bilgi üretmek, bunu karar destek sürecinde en hızlı şekilde kullanabilmek ve tüm bu süreci en düşük maliyetle yaratmak gerekir. Organizasyonların müşterilerinde meydana gelen her türlü değişim ve gelişmelerle ilgili bilgileri rafine ederek veri ambarları oluşturması, kurumun strateji ve eylemlerine taban oluşturacak şekilde tüm karar noktalarına bu bilgilerin tam zamanında sunulması, ancak kurulacak ve iyi işletilecek bir karar destek sistemiyle sağlanabilmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı, çok tedarikçi-çok müşteri içeren bir tedarik zinciri için belirsizlik ortamında müşteri değeri yaratacak ve bu değeri yönetecek akıllı bir karar destek sistemi yapısı sunmaktır. Önerilen sistemle hem müşteri hem de tedarikçi açısından müşteri davranışlarının ve taleplerinin, bulanık mantık ve yapay sinir ağları yaklaşımları ile modellenmesi hedeflenmektedir.

1.2 Tez Çalışmasının Organizasyonu ve Limitleri

Çok katmanlı bir tedarik zinciri yapısının ele alındığı tez çalışması; literatür araştırması, önerilen modelin tanımı, önerilen modelin uygulanması ve sonuçların analizi kısımlarından oluşmaktadır. İkinci bölümde tedarik zinciri kavramı, tedarik zincirinde entegrasyon tanımı ve entegrasyon konularına ilişkin bir literatür araştırması bulunmaktadır. Üçüncü bölümde entegrasyonun sağlanabildiği tedarik zinciri yapıları ve bu yapılarla ilgili literatür çalışması incelenmiştir. Dördüncü bölümde entegre bir tedarik zinciri yapısı için hazırlanan araştırma metodolojisi, bu metodoloji için kullanılan teknikler ve geliştirilen entegre tedarik zinciri modeli yer almaktadır. Beşinci bölümde önerilen modelin uygulama sonuçları, altıncı bölümde ise uygulama sonuçları ve klasik istatistiksel tekniklerle elde edilen sonuçların

karşılaştırmalı analizi bulunmaktadır.

İhtiyacı karşılayan bir model kurulduğu düşünülse de bu tez çalışmasının bazı limitleri vardır.

- Önerilen model, fazla miktarda geçmiş veri gerektirmektedir. Özellikle kalitatif verilerin toplanması esnasında zorluklar yaşanmıştır.
- Önerilen modelin en iyi sonuç alınacağı yapılar, kalitatif veya kantitatif tüm verilerini bilgi teknolojileri yardımıyla sistematik bir şekilde depolayan tedarik zinciri birimleridir.
- Önerilen modelde en önemli etken bilgi paylaşımıdır. Tedarik zinciri birimleri arasında bilgi paylaşımını reddedenler için uzlaşmacı bir çözüm üretilemeyebilir.
- Yapay sinir ağı tekniği olarak, yalnızca, model değişkenlerinin karakteristiğine uygun olduğu düşünülen iki tip sinir ağı, *Çok Katmanlı Algılayıcı* ve *Radyal Taban Fonksiyonlu* sinir ağları kullanılmıştır. Diğer sinir ağı yapılarının uygunluğu incelenmemiştir.

Bahsedilen limitlere karşın uygulama zorluğu çok fazla olmayan, yazılım tabanlı bir karar destek sisteminin çerçevesini oluşturması amacıyla önerilen model, geliştirilmeye oldukça açıktır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1 Tedarik Zinciri Yönetiminin Tanımı

Tedarik zinciri yönetimi (TZY), değişen müşteri taleplerine hemen cevap verebilmek için, lojistik operasyonlarını yerine getirme, üretim esnekliğini arttırma, envanteri azaltma, üretim-talep ve planlama bilgisini paylaşma açısından veri tabanı (sunucu) işlemlerini destekler. Tedarik zinciri yönetimi (Burt vd., 2003);

- Tedarikçiden son kullanıcıya doğru olan bir dağıtım kanalına ait toplam akışı yöneten entegre bir felsefedir.
- Bir hizmetin etkin ve verimli bir şekilde üretilmesi için tedarikçilerden son kullanıcıya doğru lojistik, dönüşüm ve hizmet aktivitelerinin sıralı bir biçimde akmasını sağlayan bütünleyici bir yönetimdir.
- Tedarikçiden müşteriye doğru ürün tedarik zincirine değer katan sıralı aktivitelerin anlaşılmasını ve yönetilmesini içeren stratejik bir kavramdır.
- Tedarik zinciri, ham madde aşamasından son kullanıcıya doğru olan yukarı ve aşağı akış ile ürünlerin ve bilginin dönüşümüne ilişkin tüm aktiviteleri içerir.
- TZY, son kullanıcının gerçek ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanan, uygulanan ve sorunsuz bir biçimde yönetilmesini sağlayan çoklu kanal üyelerinin işbirlikçi çabasıdır.

Kısacası tedarik zinciri (TZ), işletmeyi; müşterileri, tedarikçileri ve diğer kanal üyeleri ile ilişkilerini, aktivitelerini, fonksiyonlarını, süreçlerini ve lokasyonlarını entegre etmektedir. TZY, ürünlerin, TZ’de tedarikçilerden üreticilere ve üreticilerden dağıtıcılara hareketinin koordine edilmesi ve zincirin tüm üyeleri arasında satış tahminleri, satış tarihleri, promosyon kampanyaları vb. bilgilerin paylaşımını içermektedir (Reid ve Sanders, 2000). Yetersiz bilgi sistemleri, zayıf/çelişkili ölçümler, tutarsız operasyon hedefleri, organizasyonel kültür ve yapı, değişime olan direnç ve güven azlığı, zayıf birleşme (ittifak) yönetimi pratiği, TZ vizyonu ve anlayışındaki eksiklik, yönetim kararlılığındaki eksiklik, kısıtlı kaynaklar, çalışanları yetkilendiremememe durumu, TZY’ni olumsuz olarak etkileyen en önemli faktörlerdir.

Üretim ve dağıtımdaki ilerlemeler yüzünden yeni ürün ve hizmetlerin geliştirme maliyeti düşmekte ve pazarlamanın ağırlığı artmaktadır. Artan müşteri talepleri ile yerel ve küresel

rekabet, TZ üzerindeki baskıyı arttırmaktadır. Rekabette kalabilmek için firmalar kendilerini tekrar keşfedip TZ'lerini -kaynak belirleme, üretim planlaması, sipariş alımı stok yönetimi ve müşteri hizmetleri- yüksek maliyetli kırtasiye işlerinden kurtararak, bu günün gereksinimlerine yönelik bir etkinlik haline getirmek zorundadırlar. İnternet, tedarik zincirlerinin bütün sektörlerle uygun hale dönüştürülmesinde çok verimli bir aracılık görevi üstlenmiştir. Dolayısıyla malzeme, dağıtım, üretim ve satış birbirleri ile her zamankinden daha yakın ve etkin çalışmaktadırlar. Bugünün teknoloji ağırlıklı TZ, müşterilere kendi alımlarını idare edebilme, tedarik ortaklarının iletişiminde artış ve zincirdeki her firma için işletme giderlerinin düşmesi olanağını sağlamaktadır. Şirketler artık kendilerini daha fazla müşteri beklentilerine ve sürekli azalan teslimat sürelerine göre yapılandırmaya yönelmektedir. Geçmişte sabit yatırım, TZ'nin en önemli parçası olarak görülürken, günümüzde **müşteri merkezli** bir yönelim, rekabet edebilecek bir yapının temel taşı olarak görülmektedir. Başarılı ve müşteri merkezli bir TZ oluştururken göz önüne alınacak çeşitli noktalar vardır:

- Sipariş alımı müşteri ihtiyacının sadece bir bölümüdür. İşyerleri, müşterilerine verdikleri sözü, teslimatı şirkete uygun olan yer ve zamanda değil, istenen zamanda istendiği şekilde yaparak tutmak zorundadırlar.
- Zamanlama pazarda kilit avantajlardan biridir. Şirketler kesintisiz tedariki sağlamalıdır ve müşteri ihtiyaçlarına ve etkinliğine yönelik bilgi de bu süreçte olmazsa olmazlardandır.
- Maliyet önemli bir etmendir. Son ürünün maliyetini azaltmak için şirketler iç harcamalarını en aza indirmelidirler.
- Tasarım sürecinin süresini azaltmak önemlidir, çünkü bu müşterinin ihtiyacına yanıt verebilme süresini de azaltacaktır.

Ağ bağlantılı ve uyumlu bir TZY sistemi ile şirketler maliyeti düşürüp karı arttırabilir, hizmetlerini geliştirip ürünün pazara çıkma süresini kısaltabilir ve öz değerlerini daha etkin kullanabilirler. Ağ yapısı ile esnek bir tedarik zinciri oluşturup bunu bütün ortaklara uygulamak -üreticiler, toptancılar, stok, nakliyat ve satıcı-, süregelen müşteri ihtiyaçlarını karşılamada ve rekabete yönelik gelişimde atılacak ilk adımdır. Bu adımı atabilmek gerçek zamanlı geleceğe yönelik kestirimler yapmak, stoklarını azaltmak ve teslimat hızlarını arttırmak isteyen firmalar için oldukça gereklidir. Ağ yapılandırılmış bir tedarik zincirinde statik veya dinamik bilginin paylaşımı daha kolay sağlanabilecektir. Nakliyat istendiği miktarda ve tam zamanında, ödeme akışı ise sürekli olacaktır. Sonuçta firmaların iş yönetimi

ile müşterinin ürünlere kavuşma hızı ve süreci tamamen değişecektir. Özetle ifade etmek gerekirse, TZ tasarımı rekabet avantajına yol açan en doğru yolun, entegrasyon ve yalınlık olduğu dikkati çekmektedir.

2.2 Tedarik Zinciri Yönetiminde Entegrasyon Noktaları

İş ortamı oldukça hızlı ve sürekli bir biçimde değişmektedir. Bunun sonucu olarak TZ alanında çözülmesi gereken yeni konular ortaya çıkmaktadır. Birinci konu, işletmelerin hem küresel hem de yerel lokasyonlarda artan bir şekilde dış kaynak yolunu tercih etmeleri; ikinci konu, bir çok işletmenin TZ'deki katmanlar boyunca karar süreçlerini entegre etmeye çabalamaları; üçüncü konu ise müşteriye sunulan ürünün değerine dayanarak amaç, strateji ve misyon kavramları olarak TZ performansının tanımının genişletilmesidir (Keeney, 1994).

Bugüne kadar TZY'nin üstünde durduğu en önemli nokta maliyet azaltma iken, gerçek dünyada durumun daha farklı olduğu görülmektedir. İşletmeler, TZY'ni; kaliteyi arttırdığı, çizelgelenen gereksinimleri karşıladığı, maliyeti azalttığı, yeni teknolojilere ulaşabildiği ve tedarik temelini genişletebildiği için tercih etmektedir. Günümüz TZ yöneticileri, maliyet azaltmaktansa, işletmelerin misyon, amaç ve stratejileri ile kendi kararlarını paralel bir şekilde yürütmeye çabalamaktadırlar.

Çoklu lokasyon ve katmanlar boyunca, kararların koordinasyonunu içeren TZY için en iyi uygulama, iş süreçlerinin entegrasyonudur. Pratikte işletmeler birbirleri arasındaki satış ve reklam bilgilerini paylaşarak tedarikçi yönetimli envanter ile işbirlikçi planlama, tahmin ve ikmalin entegre olmasına çabalamaktadır (Sherman, 1998). Entegrasyon basit olarak işbirliği (cooperation, collaboration), bilgi paylaşımı (information sharing), itimat (trust), ortaklık (partnerships), teknoloji paylaşımı (shared technology), bireysel fonksiyon süreçleri ve süreçlerin entegre zinciri yönetimi şeklinde karakterize edilmektedir (Akkermans vd.,1999). Entegrasyon boyutu, ürün tasarımı ile başlamakta ve son olarak satışa kadar olan tüm adımları kapsamaktadır (Power, 2005).

Entegre bir TZ modelinin üç ana elemanı vardır; bilgi sistemleri (bilgi ve finansal akışın yönetimi), envanter yönetimi (ürünün ve malzeme akışı yönetimi) ve tedarik zinciri ilişkileri (ticari ortakların arasındaki ilişkilerin yönetimi) (Power, 2005). Entegrasyon çalışmaları küresel TZ tasarımı da etkilemektedir. İyi koordine edilmiş entegre bir TZ, taklit edilemeyeceğinden rekabet avantajını artırıcı bir unsurdur.

Bilişim teknolojilerinin, elektronik bağlanmaların (örneğin: elektronik veri değişimi) gelişimi

doğrultusunda TZ'deki komşu işletmelerin birbirleri ile daha sıkı bir şekilde entegre olacağı sanılmaktaydı. Tedarik yönetimli envanter, tam zamanında üretim, hızlı cevap, etkin müşteri cevabı gibi sistemlerin, tedarik ve talepteki düzeltmelere olanak sağlaması ve bu olanağın envanterde aşırı derecede azalma ya da artış olasılığını düşürmesi, TZ üyelerinin operasyonlarını entegre etmede kilit faydalar taşımaktadır (Yao vd., 2007).

Entegre TZY'nin uygulanması için süreçlerin, kaynaklardan üretim ve dağıtıma olmak üzere TZ genelinde bir bütünleşmenin söz konusu olması gerekmektedir. Lambert vd. (1998), başarılı bir TZY için, süreç yaklaşımının kabul edilmesi ve fonksiyonel durumların üstesinden gelinmesi gerektiğini belirtmiştir. Anahtar süreçler ve kısa açıklamaları Çizelge 2.1'de yer almaktadır.

Çizelge 2.1 Anahtar tedarik süreçleri (Lambert vd, 1998)

Anahtar tedarik zinciri süreçleri	Açıklama
1. Müşteri ilişkileri yönetimi	Anahtar müşterileri tanımlama ve ortak olma
2. Müşteri hizmet yönetimi	Müşteri hizmeti için tek bir kaynakla iletişim ve bilgi sağlama
3. Talep yönetimi	Geliştirilmiş envanter yönetimi için, işletmenin tedarik kapasitesi ile müşteri gereksinimlerinin dengelenmesi
4. Müşteri sipariş karşılama	Müşteri gereksinimlerinin veya fazlasının eksiksiz bir şekilde karşılanması
5. Üretim akış yönetimi	Talep ve tedarik kapasitesinin eşlenmesi
6. Tedarik	Tedarikçilerle uzun-dönemli ortaklık kurma ve stratejik planları paylaşma
7. Ürün geliştirme ve ticarileştirme	Ürün geliştirme sürecinde müşteri ve tedarikçilerin entegrasyonu.

Birden fazla işletmenin yer aldığı, kompleks tedarik zincirleri, performansı optimize etmek için bir takım araçlara ihtiyaç duyacaktır. Yakın zaman aralığında, hemen işleme girecek, çok belirgin operasyonel kararlar alınmak zorundadır. Bu aralıkta belirsizlik çok daha azdır ve talep çoğu kez *müşteri sipariş*leridir. Bu zaman aralığında alınan operasyonel kararlara makine tahsisi, iş emirlerinin önceliklerinin belirlenmesi örnek olarak verilebilir. Orta vadede ise talep daha çok tahmine dayalı olduğundan belirsizlik daha fazladır. Hangi ürünlerin hangi fabrikada üretileceği, ne kadar emniyet stoğu tutulacağı, kapasite yüklerinin aşırı yüklemeye meydan vermeden talebi karşılayacak şekilde dağıtımı gibi kararlar bu aşamada alınır. Uzun vadeli planları içeren kararlar, TZ alt yapısının planlanmasını ve TZ'nin operasyonel durumu için gerekli esasların geliştirilmesini içerir. Altyapıya örnek olarak fabrika inşa edilmesi, kapasite artırımı ve dağıtım kanallarının yapısının belirlenmesi gösterilebilir. Bu kararlar alınırken, tahminler kullanılır, hatta henüz tamamlanmamış olası ürünler için dahi tahminler

yapılır. Tahmin süreci için ise mümkün olduğunca ileriye bakıldığından belirsizlik çok fazladır.

Tedarik zincirinin üst seviyelerine doğru siparişlerde artarak görünen belirsizlik, “kamçı etkisi” (Lee vd., 1997; Metters, 1997; Chen vd., 2000a, 2000b) olarak adlandırılmaktadır. Bu konudaki literatüre göre, eksik bilgi paylaşımı, yetersiz pazar verisi, aşırı fazla envanter, zayıf müşteri hizmeti, yetersiz veya fazla kapasite, yanlış tahmin, belirsiz üretim planlama veya diğer belirsizliklere bağlı olan kamçı etkisi, TZ’deki bilgi paylaşımını arttırmak suretiyle azaltılabilir (Svensson, 2003). Kısacası, kamçı etkisindeki azalma, TZ performansının arttığına işarettir (örneğin; envanter seviyesinin azalması ve temin zamanındaki azalma).

Sonuç itibariyle günümüz çalışmaları incelendiğinde entegre TZY’nin, kamçı etkisi kavramından etkilenecek yeni bir anlayışa doğru sürüklendiği görülmektedir; Talep Zinciri Yönetimi (Demand Chain Management). Talep zinciri müşterinin ihtiyaç ve istekleri doğrultusunda, müşterinin bakış açısına göre ürüne odaklanan bir yapıdır. Talep zincirinde, TZ boyunca hareket eden bilginin doğruluğu esastır. Talep zinciri tüketicinin güncel talep davranışlarını belirlemek amacıyla çeşitli teknolojiler kullanır. TZ etkinliğe odaklanırken, talep zinciri yaratılan gelir ve etkinliğe, maliyet etkinliğine ve planlama yeteneklerine odaklanır.

İnternet teknolojisinin ortaya çıkması sayesinde müşterilere daha çok bilgi sağlama imkanı verilmekle birlikte, “müşteri-odaklı tedarik zinciri” kavramına doğru bir geçiş yapılmıştır. Bu teknoloji ile birlikte talep zincirleri yaratılmış ve dengeler tedarikçilerden müşterilere doğru değişmiştir. Artık TZ’nin performansını, kendi memnuniyetleri doğrultusunda müşteri yönetmektedir. Kısacası talep zinciri yönetimi “tek bir iş birimine veya işletmeye olan bakış açısının tüm zincire genişlemesi” olarak tanımlanabilir. Temel olarak talep zinciri yönetimi, son müşteriden başlayarak hammadde tedariki yapan tedarikçilere kadar, geri dönen tüm talep zincirini yönetmeyi ve koordine etmeyi amaçlayan bir uygulamalar setidir. İki amacı vardır (Vollmann vd., 2000);

1. Tüm talep zinciri boyunca bir sinerji yaratmak
2. İç optimizasyonlara odaklanmaktansa özel müşteri segmentlerine ve onların isteklerine cevap verebilmeye çalışmak.

Tüm bu anlatılanlar ışığında, literatürde TZ entegrasyonu ve özellikle yapay zeka konusundaki çalışmalar incelenmiş ve bir sınıflandırma yapılmıştır.

2.3 Tedarik Zinciri Entegrasyonu ile İlgili Literatür Çalışmaları

TZ entegrasyonu ile yapılan çalışmalara bakıldığında matematiksel programlama algoritmalarının daha çok tedarik ve üretim planı geliştirmeye yönelik olduğu, yapay zeka tekniklerinin ise daha farklı alanlarda kullanıldığı görülmektedir. Literatür araştırmasında özellikle yapay zeka çalışmaları üzerinde durulmuştur. Sonuçlar aşağıda sunulmaktadır.

Kuo ve Xue (1998a; 1998b), satış tahmini problemi için kalitatif ve kantitatif faktörleri göz önünde bulundurarak akıllı bir karar destek sistemi geliştirmiştir. Satış tahmininin ön plana çıkarıldığı çalışmada, *bulanık yapay sinir ağları* (BYSA) ve *yapay sinir ağları* (YSA) kullanılmıştır. Bir diğer çalışmada Kuo (1998), yine kalitatif faktörler kadar kantitatif faktörleri de değerlendirmiş, BYSA ve *bulanık Delphi* tekniklerini kullanarak stok marketler için bir karar destek sistemi oluşturmuştur.

Barbarosoğlu (2000), tedarikçi-alıcı entegrasyonu üzerine bir karar destek aracı geliştirmiştir. Tüm tedarik zinciri üyelerinin üretim planlarını senkronize şekilde iyileştirmenin amaç olduğu bu çalışmada *matematiksel programlama* yaklaşımı kullanılmıştır.

Bode (2000), ürün tasarımının ilk evrelerinde YSA ile maliyet tahmini yapılabileceğini göstermiştir. Pilot maliyet verileri bir üretim fabrikasından alınmış ve bu veriler kıyaslama için kullanılmıştır. Ayrıca maliyet tahmini performansını klasik (doğrusal, doğrusal olmayan, vb.) yaklaşımlarla karşılaştırmıştır.

Liansheng vd. (2000), üretim ortamları için, zeki bir çizelgeleme modeli oluşturmuştur. Bu model farklı atölye tipi, tarihe dayalı veya öncelik kısıtlı, dinamik ve tam zamanında üretim çizelgeleme tiplerine uygulanmıştır. Çalışmada *Hopfield sinir ağları ile birleştirilmiş bir algoritma* kullanılmıştır.

Lau vd. (2001), işletmelerin kendi öz aktivitelerine odaklanmaları ve müşteri taleplerini en iyi şekilde karşılama amacını ortak olarak paylaşabileceği iş partnerlerinin seçimi konusunda akıllı bir karar destek sistemi sunmuştur. Böylece; planlanan çizelgenin aşılması, ciddi anlamda kalite problemleri, maliyet artışı gibi partnerlerle ilgili istenmeyen durumlara bir alternatif oluşturulmaya çalışılmıştır. Tedarikçi seçimi için önerdikleri yaklaşımda *vaka tabanlı nedenlendirme* (VTN) ve YSA kullanılmıştır. Bir başka çalışmada Lau vd. (2002), bir TZ’de farklı kalite standartlarında çalışan farklı tedarikçilerin seçimi ve bu tedarikçilerden alınacak uygun ürün miktarının ayarlanabilmesi amacıyla BYSA kullanmıştır.

Choy vd. (2002, 2003a), potansiyel tedarikçileri kıyaslayabilmek ve seçim yapabilmek için akıllı bir tedarikçi yönetim mekanizması kurmuştur. *Vaka tabanlı gerçekleştirme ve YSA'dan oluşan hibrid bir yaklaşım* kullanılarak akıllı bir tedarikçi ilişkisi yönetim sistemi oluşturulmuştur. Choy vd. (2003b), bir başka çalışmada yeni ürün geliştirme sürecinde, VTN yaklaşımı kullanarak tedarikçi seçimi için işletmenin müşteri ilişkileri yönetim sistemi, tedarikçi derecelendirme sistemi ve ürün kodlama sistemi ile entegre çalışacak akıllı bir tedarikçi yönetim sistemi önermiştir.

Kuo ve Chen (2004), elektronik ticarete sipariş seçimi için kantitatif ve kalitatif faktörleri entegre eden bir karar destek sistemi geliştirmiştir. Sipariş seçimi konusunu ön plana çıkardıkları bu çalışmada *hatayı geriye yayan yapay sinir ağı* (HGYYSYA) öğrenme algoritması uygulanmıştır.

Lau vd. (2005), tedarik ve tedarikçi bilgisini elde etmek ve korumak için, TZ'deki ortakların seçiminin nasıl yapılacağını da göz önünde bulundurarak, bilgi tabanlı bir alt yapı kurmuştur. Tedarikçi seçimi için bir bilgi-tabanlı sistem yaklaşımının sunulduğu bu çalışmada *yapay zeka* teknolojisi, *çevrim içi analitik işlemci* (OLAP) uygulamaları ve *sinir ağlarından oluşan hibrid* bir sistem önerilmiştir.

Chiu ve Lin (2004), ajanların iş yükü ve operasyonel tasarrufları arasındaki dengeyi kurmak üzere bir yapı oluşturmuşlardır. Tedarik planını geliştirme maksadıyla HGYYSYA'nın kullanıldığı bir karar destek sistemi önerilmiştir.

Van der Vaart ve Van Donk (2004), TZ'deki fiziksel engelleri ortadan kaldıracak ve alıcı-tedarikçi arasında işbirliğini sağlayacak, alıcı odaklı yaklaşım ile talepteki, üretilen miktardaki ve çevrim zamanındaki belirsizlik ile başa çıkabilecek bir *vaka çalışması* yapmıştır.

Lee ve Park (2005), karlı müşteri segmentasyonunu belirlemek için, müşteri memnuniyeti anketi ile sosyo-demografik ve muhasebe veri tabanına dayalı çok ajanlı bir karar destek sistemi kurmuştur. Müşteri segmentasyonunun ön plana çıkarıldığı çalışmada *veri zarflama analizi* (VZA), *kendi kendini organize eden ağlar* (SOM-Self Organizing Map) ve C4.5 kullanılmıştır.

Aburto ve Weber (2007), daha az satış hatası ve daha az envanter seviyesi ile çalışabilmek için talep tahmini yaparak rafta bulunabilirlik sistemini önermiştir. Talep tahmini için *Birleştirilmiş otoregresif hareketli ortalama* (ARIMA-Autoregressive Integrated Moving Average) ve *sinir ağlarının* kullanıldığı akıllı hibrit bir sistem önerilmiştir.

Kawtummachai ve Van Hop (2005), bir tedarik zincirinde çoklu tedarikçilerden ürün alan bir işletmenin, satın alma maliyetini minimize ederek ve hizmet seviyesini sürdürerek, sipariş atama prosedürü etkilerini ortaya çıkarmak için *matematiksel* bir çözüm algoritması önermiştir.

Haq ve Kannan (2006) tedarikçi seçimi ve çok aşamalı envanter dağıtım modelinin entegre edildiği bir yaklaşım sunmuştur. *Bulanık analitik hiyerarşi prosesinin* (BAHP) ve *genetik algoritmanın* (GA) kullanıldığı bu çalışmada, tedarikçi seçim modelinin kalitatif kısmı ile envanter dağıtım modelinin kantitatif kısmının entegre edildiği bir yapı kurulması hedeflenmiştir.

Liang ve Huang (2006), talep tahmini yapmak için bir tedarik zincirini simüle edecek çok ajanlı (multi-agent) bir sistem tasarlamıştır. Talepler GA ile tahmin edilirken, sipariş miktarı her bir kademedeki “sistem düşüncesi” fikri ile sunulmuştur.

Shen (2007), entegre tedarik tasarım modelleri ile ilgili son gelişmeleri çalışmasında özetlemiştir. Çok aşamalı bir tedarik zincirinin kısıtlarını göz önüne alarak yaptığı araştırma sonucunda, makaleler üç kategoride toparlanmıştır: (1) lokasyon-rotalama modelleri, (2) envanter-rotalama modelleri, (3) lokasyon-envanter modelleri. Her kategori için kısıtlara bağlı olarak algoritmaların incelemesi yapılmıştır.

Yao vd. (2007), tedarik zinciri parametrelerinin maliyet tasarrufunu nasıl etkilediğini göstermek üzere bir analitik model sunmuştur. Sonuçlara göre; tedarikçiden alıcıya olan taşıma ücreti oranı ile sipariş maliyeti oranı entegrasyonuna bağlı olarak envanter maliyetinde bir azalma görüldüğü belirtilmiştir. Tedarikçi yönetimli envanter yaklaşımının ön plana çıkarıldığı bu çalışmada, çeşitli envanter modellerine dayalı *matematiksel modellerden* oluşan bir sistem önerilmiştir.

Efendigil vd. (2008), ters TZ için tedarikçi seçim sürecinde kullanılmak üzere *bulanık analitik hiyerarşi prosesinin* (BAHP) ve *sinir ağlarının* kullanıldığı bir karar destek sistemi önermişlerdir. Çizelge 2.2’de bahsedilen literatür taraması özetlenmiş bir şekilde bulunmaktadır.

Çizelge 2.2 Literatürde tedarik zinciri entegrasyon noktaları ve kullanılan yapay zeka teknikleri

Çalışmalar	Entegrasyon noktaları												Uygulanan yöntemler
	Satış tahmini	Satın alma ve satış performansı ölçümü	Maliyet tahmini	Çizelgeleme	Tedarikçi seçimi	Sipariş seçimi	Tedarik / üretim planını geliştirme	Alıcı odaklı yaklaşım	Talep tahmini	Tedarikçi yönetimli envanter yaklaşımı	Müşteri segmentasyonu	Sipariş atama	
Kuo ve Xue (1998a; 1998b;1999)	√												BYSA ve HGYISA
Kuo (1998)		√											B YSA ve bulanık Delphi
Barbarosoğlu, (2000)							√						Matematiksel programlama
Bode (2000)			√										YSA
Liansheng vd. (2000)				√									Hopfield YSA ile birleştirilmiş bir algoritma
Lau vd. (2001)/ (2002)					√								VTN ve YSA/BYSA
Choy vd. (2002; 2003a; 2003b)					√								VTN ve YSA
Kuo ve Chen (2004)						√							HTGYISA
Chiu ve Lin (2004)							√						HGYISA
Van der Vaart ve Van Donk (2004)								√					Vaka çalışması
Lau vd. (2005)					√								Yapay zeka teknolojisi, OLAP ve YSA
Kawtummachai ve Van Hop (2005)							√					√	Matematiksel algortima
Lee ve Park (2005)											√		VZA,SOM ve C4.5
Haq ve Kannan (2006) (envanter dağıtım planlama)					√								BAHP ve GA
Liang ve Huang (2006)									√				GA
Aburto ve Weber (2007)									√				ARIMA ve YSA
Yao vd. (2007)							√			√			Matematiksel modeller
Efendigil vd. (2008)					√								BAHP ve YSA

2.4 Tedarik Zinciri Entegrasyonu Tasarımı

1960’larda sırasıyla kanal ve sistem entegrasyonu araştırmalarını takip eden ve daha çok enformasyon yönetimi ve envanter kontrolü üzerine çalışan, organizasyonel operasyonların yönetiminden kaynaklanan temel varsayımlara dayalı olan TZ yönetimi, literatürde bir disiplin olarak 1980’lerin ortasında görülmeye başlanmıştır.

Fisher (1997), tedarik zincirinin 2 ayrı fonksiyonu olduğunu ileri sürmektedir;

- (1) Fiziksel fonksiyon; ham maddelerin parçalara, komponentlere, sonuçta da bitmiş ürüne dönüşümünü ve tedarik zincirindeki çeşitli varlıklar arasında taşınmasını içermektedir,
- (2) Pazar aracılık fonksiyonu; müşterinin satın alma istekleri ile eşleştirmek üzere pazara getirilen ürün çeşitliliğinin karmasını temin eder.

Fisher (1997), talebin doğasının anlaşılmasında yöneticilere faydası olabilecek, talep yapısı ile tedarik zinciri fonksiyonlarını birbirine bağlayan bir yapı sunmuştur (Şekil 2.1).

	Fonksiyonel Ürünler	Yenilikçi Ürünler
Etkili Tedarik Zinciri	Uygun	Uygunsuz
Tepkili Tedarik Zinciri	Uygunsuz	Uygun

Şekil 2.1 Talep yapısı ile tedarik zinciri fonksiyonları (Fisher, 1997)

Bu modele göre ürünler, “fonksiyonel” ve “yenilikçi” olarak kategorize edilirler. Fonksiyonel ürünler, ürün ömrü döngüsü iki yıldan fazla olan, zamanla değişim yaşamayan, durağan ve tahmin edilebilen bir talebe sahip temel ihtiyaçları karşılayan ürünlerdir. Yenilikçi ürünler ise birkaç aylık bir ürün döngüsüne sahip, çeşitlilik içeren ürünlerdir. Fonsiyonel ve yenilikçi ürünler arasındaki fark Çizelge 2.3’te gösterilmektedir (Chase vd., 2004).

Fisher’in modelinde fonksiyonel ürünlerin, üretim, taşıma ve eldeki envanter maliyetlerinin minimize edildiği etkin bir tedarik zincirine ihtiyaç duyduğu görülmektedir. “Etkili tedarik zinciri”, tedarikçiler ile müşteriler arasında iletişimi kuran ve elektronik veri değişim (EDI) ile yürütülen üretim kaynakları planlama ve kurumsal kaynak planlama yazılımları ile karakterize edilir. Bu açıdan incelendiğinde tipik TZ performans kriterleri olan yüksek

uygunluk, hızlı ikmal ve maliyet etkinliği başarılabilir (Rainbird, 2004).

Çizelge 2.3 Talep ve tedarik belirsizliklerinin özellikleri (Chase vd., 2004)

Talep Özellikleri		Tedarik Özellikleri	
Fonksiyonel	Yenilikçi	Durağan	Gelişen
Düşük talep belirsizliği	Yüksek talep belirsizliği	Daha az bozulma	Bozulmalara karşı hassas
Daha tahmin edilebilir talep	Tahmin edilmesi zor talep	Durağan ve çok ürün	Değişken ve az ürün
Durağan talep	Değişken talep	Daha az kalite problemleri	Potansiyel kalite problemleri
Uzun ürün ömrü	Kısa satış mevsimi	Fazla tedarik kaynakları	Kısıtlı tedarik kaynakları
Düşük envanter maliyeti	Yüksek envanter maliyeti	Güvenilir tedarikçiler	Güvenilmez tedarikçiler
Düşük kar marjı	Yüksek kar marjı	Daha az süreç değişimi	Daha fazla süreç değişimi
Düşük ürün çeşitliliği	Yüksek ürün çeşitliliği	Daha az kapasite kısıtları	Potansiyel kapasite kısıtları
Yüksek miktar	Düşük miktar	Değişimin kolaylığı	Değişimin zorluğu
Düşük stok maliyeti	Yüksek stok maliyeti	Esnek	Esnek değil
Düşük eskime oranı	Yüksek eskime oranı	Bağımlı temin süreleri	Değişken temin süreleri

Fonksiyonel ürünlerin tersine yenilikçi ürünler ise “tepkili bir tedarik zinciri” gerektirmektedir. Çünkü bir ürünün tedariki, talebe bağlı olarak artar ya da azalırsa maliyet de artmaktadır. Tepkili tedarik zinciri, uygunluk ya da düşük fiyat gibi ürün özelliklerinden başka tercihlerle farklılaşabilen pazar segmentlerini hedefleyerek, belirsizliği minimize eden yönetim pratikleri ile karakterize edilmektedir. Etkili tedarik zincirlerinde; kullanım, sistem maliyetleri ve envanter dönüşüm oranı gibi performans kriterleri önemliyken, tepkili tedarik zincirlerinde performansı kayıp satışların maliyeti ve kaydedilen envanterler göstermektedir (Rainbird, 2004). Fisher (1997) bu modelin etkin kullanımı için en önemli konunun, tedarik zinciri ile ürün-pazar karakteristiklerinin uyumlu olması gerektiğini savunmaktadır. Bunu görmezden gelmek, tedarik zinciri performansı için pazar beklentilerinin karşılanamaması ile sonuçlanacaktır.

Lee (2002), Fisher’in (1997) sunduğu bu görüşleri genişleterek özellikle tedarik zincirinin “tedarik” ayağına yönelmiştir. Fisher (1997) taleple ilgili karakteristikleri yakalarken, Lee (2002) doğru tedarik zinciri stratejisi için tedarik tarafının da eşit oranda önemli olduğunu savunmuştur. “Durağan tedarik süreci” ile üretim sürecinin ve kullanılan teknolojinin iyi bir temele dayandırıldığını, olgun olduğunu; “gelişen tedarik süreci” ile gelişmekte olan ve sürekli değişen bir üretim prosesi ve teknoloji ifade edilmektedir.

TZ stratejisini kurmadan önce, belirsizliklerin kaynağını anlamak ve bu belirsizleri azaltmak için çeşitli yollar araştırmak gerekmektedir. Lee’nin (2002) belirsizlik yapısı, konuyla ilgili çeşitli örnekler ve bu örnekler ile belirsizlik yapısına bağlı olarak gereken tedarik zinciri tipleri Çizelge 2.4’te belirtilmiştir.

Çizelge 2.4 Lee'nin (2002) belirsizlik yapısı; örnekler ve gereken tedarik zinciri tipleri

		<i>Talep Belirsizliği</i>	
		DÜŞÜK (FONKSİYONEL ÜRÜNLER)	YÜKSEK (YENİLİKÇİ ÜRÜNLER)
<i>Tedarik Belirsizliği</i>	DÜŞÜK (DURAĞAN SÜREÇ)	Market, temel görünüm, yiyecek, yağ ve gaz Etkili Tedarik Zinciri	Moda görünüm, bilgisayarlar, popüler müzik Tepkili Tedarik Zinciri
	YÜKSEK (GELİŞEN SÜREÇ)	Hidroelektrik güç, bazı yiyeceklerin üretimi Risk-korumalı Tedarik Zinciri	Telekom, üst model bilgisayarlar, semikondaktör Çevik Tedarik Zinciri

Çizelge 2.4'de yer alan TZ stratejilerinin detayı aşağıdaki gibidir (Chase vd., 2004):

- **Etkin tedarik zincirleri:** Yüksek maliyet etkinliğini hedefleyen stratejileri kullanan tedarik zincirleridir. Bu etkinliğin gerçekleşebilmesi için değersiz aktiviteler elimine edilmeli, ekonomi skalaları takip edilmeli, üretim ve dağıtımdaki en iyi kapasite kullanımını sağlayabilmek için optimizasyon teknikleri kullanılmalı ve TZ boyunca en etkin, en doğru bilgiyi almayı sağlayacak bilgi bağlantıları kurulmalıdır.
- **Risk-korumalı tedarik zincirleri:** Tedarik bozulma risklerini paylaşabilmek için, bir TZ'deki kaynak paylaşımını ve birikimini hedefleyen stratejileri kullanan tedarik zincirleridir. Bu tarz stratejiler, farklı bayilerin paylaştıkları envanterin söz konusu olduğu perakendecilikte sıklıkla karşılaşılan stratejileridir. Bilgi teknolojisi bu tarz stratejilerin başarısı için çok önemlidir, çünkü envanter ve talep hakkındaki gerçek zamanlı bilgi, partnerler arasındaki malların taşınması ve maliyetin etkin biçimde yönetilmesine izin vermektedir.
- **Tepkili tedarik zincirleri:** Müşterilerin değişen ihtiyaçlarına karşı esnek olmayı ve cevap vermeyi amaçlayan stratejileri kullanan tedarik zincirleridir. Müşterilerin özel gereksinimlerini karşılayabilmek için, tepkili olmak, şirketleri siparişe göre üretim ve kitlesel özel üretime yönlendirmektedir.
- **Çevik tedarik zinciri:** Tedarik kıtlığı ve bozulmalarının riski kapasite kaynakları ve envanter tarafından kuşatıldığında, müşteri gereksinimlerine esnek ve tepkili olmayı amaçlayan stratejilerin kullanıldığı tedarik zincirleridir. Bu tedarik zincirleri “korumalı” ve “tepkili” tedarik zincirlerini birleştiren stratejiler içermektedir. Çeviktirler, çünkü değişime ve tedarik bozulmalarının riskini minimize ederken müşterilerin farklı ve tahmin edilemez taleplerine en iyi şekilde cevap verebilirler.

Talep ve tedarik belirsizliği TZ stratejisini anlamak için iyi bir yapı oluşturur. Günümüzde

tedarikçilerin değil, pazarın yönlendirdiği bir tedarik zinciri kavramı ile karşı karşıya kalınmakla beraber, ürün ömrünün giderek kısalması ve dinamik ortamın etkisi, işletmeleri talep yönelimli stratejilere odaklanmaya teşvik etmektedir.

2.4.1 Talep Yönelimli Stratejiler

TZY, tedarikçilerin, üreticilerin, depoların ve bayilerin entegre bir şekilde çalışmasını hedeflemektedir. Entegrasyondaki en zor aşama, tüm tedarik zinciri üzerindeki aktiviteleri koordine etmeyi sağlamaktır. Bir çok işletmenin de farkına vardığı gibi bu zorlukla sadece üretim, taşıma ve envanter kararlarında değil, daha geniş olarak tedarik zincirinin ön ofis uygulamaları olan müşteri talebi ile arka-ofis uygulamaları olan üretim-imalat aktivitelerinin entegrasyonunda karşılaşılır. Daha önce de bahsettiğimiz talep zinciri yönetimi ile oldukça yakından ilişkili olan talep yönelimli stratejiler, bahsedilen zorlukları aşmak için kullanılmaktadır. Talep yönelimli stratejiler ile TZ süreci boyunca talep bilgisinin entegrasyonu sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu bilgi iki farklı süreçle üretilir (Simchi-Levi vd., 2003);

- **Talep tahmini:** Beklenen talebin uzun süreli tahminlerini geliştirmek üzere geçmiş verileri kullanan bir süreçtir.
- **Talep şekillendirme:** Talep tahminleri üzerinde promosyon, indirim, yeni ürün tanıtımı, ürünün geri çekilmesi gibi farklı pazar planlarının etkilerini belirleyen bir süreçtir.

Belirli bir ürünün, belirli bir gelecek zaman içindeki satışlarının tahminini içeren talep tahmininin sonucu ise satış tahminidir. Satış tahmini, bir endüstri veya bir firmanın bir pazar dilimine satmayı umduğu mal ve hizmet miktarıdır. Talep tahminlerinin geliştirilmesi çok aşamalı bir süreçtir. Ürünün talebini etkileyen iç ve dış faktörler saptandıktan ve değerlendirilmesi yapıldıktan sonra ürüne ilişkin öncül tahminler geliştirilmektedir. Bu tahminlerin sağladığı bilgiler firmanın pazarlama stratejisinin oluşturulmasında kullanılmakla birlikte, formel talep tahminlerinin yapımında ve raporlamasında da kullanılmaktadır. Sürecin son aşaması ise tahminlerin izlenmesi aşamasıdır. Tahmin periyodu boyunca tahminlerin izlenerek, gerçekleşen durumları ne kadar yansıttığı saptanmalıdır. Tahminleme faaliyetleri; tahmin tipi, tahminin kapsadığı zaman, erişilebilir bilgi kaynakları ve kullanılan tahmin tekniğinin fonksiyonu niteliğinde olmalıdır. İşletmelerin karar verme sürecinde kullanacakları tahmin tekniklerinin seçilmesinde; tahminlerin kapsadığı zaman aralığı, tahminlerin hazırlanması için gerekli olan zaman süresi, tahminlerin sonuçlarına göre verilecek kararların uzun veya kısa vadeli oluşu, verilere erişebilme, elde edilen verilerin niteliği ve seyri,

tahminleme sürecinde kullanılan kaynakların maliyeti, karar vericinin tolere edebileceği hata payı, tekniğin anlama ve uygulama açısından kolaylığı, yöntemi uygulayacak ve tahminleri kullanarak kararlar verecek olan bireylerin özellikleri vb. pek çok faktörün dikkate alınması gerekmektedir (Özdemir ve Özdemir, 2006).

Talep tahmini için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (Chopra ve Meindl, 2001; Özdemir ve Özdemir, 2006);

- (1) *Kalitatif teknikler*, kişisel yargı ve düşüncelere dayanan bir yöntemdir ve dolayısıyla sübjektiftir. Mevcut durumlara ve gelecekle ilgili planlara ilişkin bilgisi olması beklenen kişilerin fikir ve yargılarının toplanmasını gerektirmektedir. Uzmanların görüşleri, bireysel deneyim ve yargılar ile sübjektif faktörler ele alınabilmektedir. Kalitatif teknikler, tahminlenecek olguya ilişkin sayısal verilerin elde edilmemesi, belirsizliğin ve verilerin değişkenliğinin fazla olması durumunda kullanılabilir. Sübjektif faktörlerin ele alınmasını sağlayan kalitatif tahmin tekniklerinin girdileri; müşteriler, satış elemanları, yöneticiler, teknik elemanlar veya işletme dışından çeşitli uzmanlar gibi çeşitli bilgi kaynaklarından elde edilebilmektedir. Karar verme sürecinde kullanılan başlıca kalitatif teknikler *Delphi tekniği*, *pazar araştırmaları*, *uzman grup görüşleri* ve *satış gücü* karmasıdır. Kalitatif teknikler soyut faktörlerin ve sübjektif deneyimlerin ele alınabilmesini sağlamasına karşın, karar verme sürecinde kişisel önyargı ve eğilimlerin yer almasından dolayı genellikle daha düşük performansa sahip tahminlerle sonuçlanmaktadır. Sonuç olarak yanlış tahminler yapılması, işletmelerin satış kayıpları, kaynakların etkin biçimde yararlanılamaması gibi çeşitli sorunlarla karşılaşmalarına neden olmaktadır.
- (2) *Zaman serileri metodu*, tahmin edilecek değişkene ilişkin geçmiş veriler belirli bir veri seyri elde etmek üzere analiz edilmektedir. Bu nedenle tahmin sadece geçmiş verilerin analiz edilmesine ve yapılacak tahminlerde kullanılmasına dayanmaktadır. Bu özelliğinden dolayı zaman serileri analizi, değişmeyen koşullar altında daha etkin olmaktadır. Zaman serilerinde kullanılan yöntemler; ortalama yöntemleri, üssel düzeltim yöntemleri ve en küçük kareler yöntemi olarak sınırlandırılabilir.
- (3) *Nedensel metotlar*, talebin, çevresel faktörlerle (ekonominin durumu, kar oranı, vs.) yüksek derecede ilişkili olduğunu kabul eden varsayımlar içermektedir. Nedensel tahmin modellerinin kullanılması, değerleri tahmin edilecek değişkenle ilişkili olan diğer değişkenlerin belirlenmesine yöneliktir. Bu değişkenler belirlendikten sonra

geliştirilen istatistiksel model, tahmin edilecek değişken ile diğer değişkenler arasındaki ilişkiyi tanımlamakta ve ele alınan değişkene ilişkin tahminler yapılmasında kullanılmaktadır. Bu tahmin modellerinin yoğun olarak kullanılmasının nedeni, yöntemin çeşitli alternatif politikalarının etkilerini değerlendirmesine imkân tanınmasıdır. Bununla birlikte model geliştirme zorluğu, tüm değişkenlere ilişkin geçmiş verilere ihtiyaç olması ve gereken zaman, maliyet nedeniyle çeşitli zorluklarla karşılaşılmaktadır

(4) *Simülasyon metotları*, müşteri seçimlerini taklit eden metotlardır.

Zaman serileri ve nedensel metotlar sayısal verilerin analiz edilmesine ve çeşitli istatistiksel metotların sonuçlarına dayanan kantitatif tahminleme teknikleridir. Bu metotlar, işletmelerin karar verme sürecinde kullanılabilmesi için tahmin edilecek değişkene veya duruma ilişkin sayısal verilere, barkod teknolojisi, satış noktası verileri ve müşteriler vasıtasıyla ulaşabilmektedir. Ayrıca doğru bilgilere ulaşılabilmesi için bilişim teknolojilerinden de faydalanılabilmektedir (Özdemir ve Özdemir, 2006).

Tahmin hiçbir zaman kesin olamayacağından talep tahmini ve talep şekillendirme süreçlerinin en önemli çıktısı, tahminin kesinliğinin bir tahmini olan ve standart sapmaya göre ölçülen *tahmin hatası*dır. Bu bilgi, talebin, tahminden fazla ya da az olması ihtimalini verir. Firmalar tahmin doğruluğunu arttırmak ve tahmin hatasını azaltmak için TZ stratejileri uygulamalıdır. Bu stratejilerden biri de müşteriler ve tedarikçilerle işbirliği planları ile tahmin süreçleri oluşturmak ve bu sayede pazar talebinin, promosyon ve ücretlendirme politikalarının ve reklamın daha iyi algılanmasına olanak tanımaktır (Simchi-Levi vd., 2003).

Talep planlama sürecinin sonunda firma stok tutma birimi tarafından bir talep tahmini elde eder. Sonraki adım tedarik zincirini analiz etmek ve bu tahmini karşılayıp karşılayamayacağını görmektir. *Tedarik-talep yönetimi* olarak adlandırılan bu süreç, karı maksimize edebilecek ya da toplam üretim, taşıma ve envanter maliyetini minimize edebilecek bir strateji tanımlayan tedarik ve talebin eşleştirilmesi fonksiyonunu içermektedir. Ayrıca bu sayede firma, tedarik zincirindeki aykırılıklar ve risklerle başa çıkabilecek en iyi yolu belirleyebilecektir (Simchi-Levi vd., 2003).

Tedarik zincirinde artan boyutlardaki değişkenlik sebebiyle oluşan kamçı etkisini kontrol etmeye izin verecek teknikleri tanımlamak oldukça önemlidir. Bu amaçla öncelikle bu değişkenliğe neden olan ana faktörleri anlamaya çalışmak gereklidir (Simchi-Levi vd., 2003).

- *Talep tahmini*: Tedarik zincirinin her seviyesinde geleneksel envanter yönetimi teknikleri kullanılmaktadır. Tahmin ve kamçı etkisi arasındaki ilişkiyi açıklayabilmek için tedarik

zincirindeki envanter kontrol stratejilerine bakmak gerekmektedir. Bir tesiste herhangi bir andaki envanter durumu belirlenen bir sayıdan daha az ise, bu seviye ‘yeniden sipariş noktası’ olarak adlandırılırken, tesisin envanter seviyesini hedeflenen bir seviyeye yükseltmesine ‘sipariş yükseltme seviyesi’ adı verilir.

Yeniden sipariş noktası, temin süresi boyunca ortalama talep ve standart sapmanın toplamına eşittir. Yöneticiler, ortalama talebi ve talep değişkenliğini tahmin edebilmek için genellikle ‘standart tahmin düzeltme teknikleri’ni kullanırlar. Tüm tahmin tekniklerinin en önemli özelliği; ne kadar çok veri gözlenirse, müşteri taleplerindeki değişikliklerin (standart sapma) ve ortalama tahminlerin daha çok değişmesidir. Sipariş yükseltme seviyesi kadar güvenlik stoğu da bu tahminlere dayanmaktadır.

- *Temin süresi:* Değişkenlikteki artış, temin süresini de arttırmaktadır. Bu sebeple güvenlik stoğu seviyesini ve yeniden sipariş noktasını hesaplamak için, temin süresi yardımıyla günlük müşteri taleplerinin ortalaması ve standart sapması tahmin edilir. Bu yüzden, uzun temin süreleri söz konusu olduğunda, talep değişikliği tahminindeki küçük bir değişim, güvenlik stoğu ve yeniden sipariş seviyesinde büyük değişimlere yol açar.
- *Yığın siparişi:* Yığın siparişinin etkilerini anlamak kolaydır. Eğer bayiler yığın siparişini kullanıyorsa, toptancılar siparişsiz geçen birçok periyottan sonra büyük miktarda bir siparişle karşılaşacaklardır. Bu yüzden toptancılar sipariş hareketlerinde büyük değişimler ve bozulmalar görebilmektedir.

Firmalar, yığın siparişini birçok sebepten ötürü tercih etmektedirler. Birincisi, sabit sipariş maliyeti ile karşı karşıya olan bir firma min-max envanter politikasını (s, S) uygulamaya ihtiyaç duyar ve bu da yığın siparişine yol açmaktadır. İkincisi, taşıma maliyeti çok önemliyse, bayiler, taşıma indirimlerinden (tam dolu tır yükü miktarı) faydalanan şekilde sipariş miktarı belirlerler. Bu da bazı haftalarda büyük miktarlarda sipariş demek iken bazı haftalarda hiç sipariş anlamına gelmektedir. Üçüncüsü, birçok sektörde görülen üç aylık ya da yıllık satış kotaları ya da teşvikler alışılmamış biçimde büyük siparişlere neden olabilir.

- *Fiyat dalgalanmaları:* Fiyat dalgalanmalarının görüldüğü dönemlerde, bayiler, fiyatlar düşüken stok yapmaktadırlar. Bu da belirli zamanlarda ya da belirli miktarlar için promosyon ve indirimler öneren kimi endüstrilerde daha da vurgulanmaktadır.
- *Şişirilmiş siparişler:* Bayiler tarafından verilen şişirilmiş siparişler, kıtlık zamanlarında kamçı etkisini arttırma eğilimi göstermektedirler. Bu tarz siparişler, bayiler ve dağıtıcılar

bir ürünün tedarikinde eksiklikler olacağından şüpheleniyorlarsa ve bu yüzden sipariş edilen miktarın belli bir oranını almayı umuyorlarsa ortaktır. Kıtlik periyodu geçtiğinde bayiler eski standartta siparişlerine geri dönerler ve bu da talep tahmininde değişiklik ve bozulmalara sebep olmaktadır.

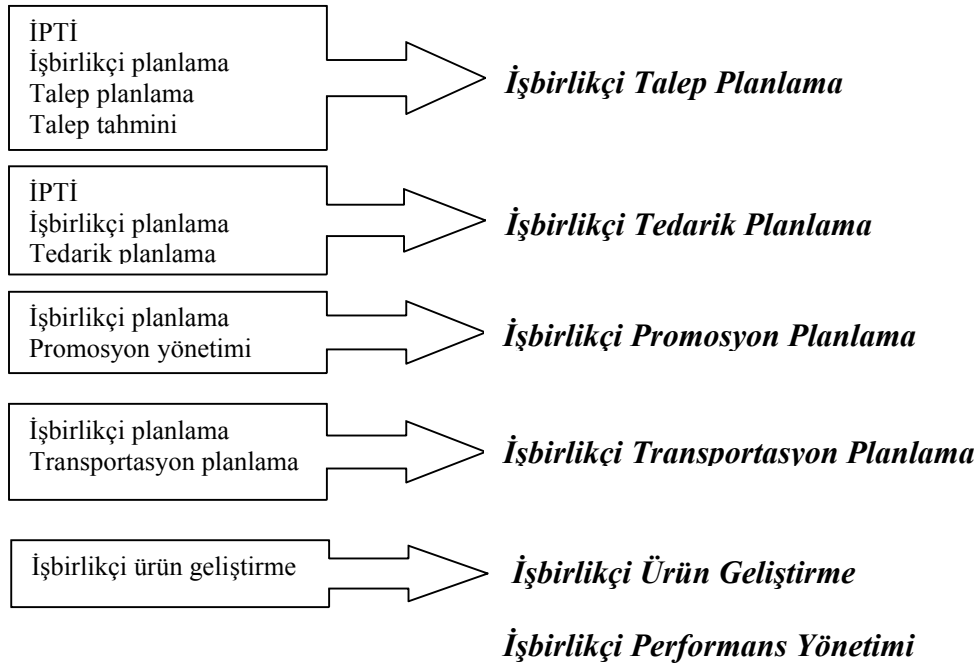
Literatürde tedarik zincirindeki talep tahmini problemi ile başa çıkabilmek için çeşitli çözüm önerileri yer almaktadır. Tang vd., (1991) zaman serileri tahmini için *YSA* ve *Box-Jenkins modellerinin* karşılaştırmasını yapmış; Box-Jenkins modellerinin kısa dönemli tahminlerde, YSA'ların ise uzun dönemli tahminlerde iyi cevap verdiği sonucuna ulaşmıştır. Zhao ve Lee (1993) *çift üssel düzeltme* ile *Winter's üssel düzeltme* metotlarını kullanmışlar ve Winter's metodunun hata tahmininde daha düşük bir standart sapmaya sahip olduklarını görmüştür. Dorffner (1996) çok katmanlı bir algılayıcının doğrusal olmayan bir *oto-regresyon modeline* eşit olabileceğini veya bir *Jordan ağının* doğrusal olmayan bir hareketli ortalamalar modeline eşit olabileceğini göstermiştir. Chen vd., (2000a, 2000b) *üssel düzeltmeli tahmin modeli* ile bir *hareketli ortalama modelini*, ayrıca doğrusal bir eğilime sahip bir talep ile bağımlı bir talebi karşılamışlardır. Chandra ve Grabis (2005), otoregresif talep özelliği gösteren iki aşamalı bir tedarik zincirinde envanter yönetimini değerlendirmişlerdir. Otoregresif modeller kullanarak elde edilen çok-adımlı tahminlerin uygulanması suretiyle kamçı etkisine çözüm aramışlardır. Hosoda ve Disney (2006) bir bayi, bir dağıtıcı ve bir üreticiden oluşan üç aşamalı bir tedarik zincirini analiz ederek, *istatistiksel metotlar* kullanmak suretiyle talep süreci üzerine çalışmıştır.

2.4.2 İşbirlikçi Tedarik Zinciri

Daha önce de bahsedildiği üzere “*müşteri-odaklı tedarik zinciri*” kavramı ile birlikte talep zincirleri yaratılmış ve dengeler tedarikçilerden müşterilere doğru değişmiştir. Bu durum TZ'deki her bir varlığın görevlerini tatmin edici bir şekilde yerine getirmesini, süreçleri geliştirmek için performans ölçütlerinin sürekli gözlenmesini ve takip edilmesini gerektirmektedir. Rudberg vd. (2002), işbirlikçi süreçler olarak; “talep planlama, tedarik planlama, promosyon planlama, transportasyon planlama ve ürün geliştirme” süreçlerinin yanı sıra “işbirlikçi performans yönetimi” adında yeni bir süreç tanımlamıştır (Şekil 2.2).

Talep artışının sebeplerinden biri de talep tahmininin iyi yapılamamasıdır. Tedarik zinciri üyelerinin işbirliği içerisinde çalışması; ortak bir tahmin yapılmasını sağlamakta ve tedarik zinciri üzerindeki talep belirsizliğini azaltmaktadır. Bu göstermektedir ki, envanterin özellikle de güvenlik stoğunun azalması daha kesin bir talep bilgisine bağlıdır. Talep planlama ve talep

tahmini, talep yapısının tahmin edilmesini amaçlamaktadır. Bu süreçlerdeki aktiviteler işbirlikçi talep planlama adı altında birleştirilmiş ve “İşbirlikçi Planlama, Tahmin ve İkmal” (İPTİ) özellikleri ile kombine edilmiştir (Rudberg, 2002).



Şekil 2.2 İşbirlikçi bir yapının uygun planlama süreçleri (Rudberg vd., 2002),

Bir TZ'de siparişlerin tam olarak karşılanabilmesi için; bir tedarikçi taşıyacağı malzeme ya da bileşenler için gerekli temin süresinin sınırlarını iyi belirlemeli, bir fabrika ürünlerini belirlenen bir zaman içerisinde üretmeli ve bir dağıtım merkezi biten ürünleri müşterilerine dağıtabilmek için en hızlı kanalını kullanmalıdır. Bu optimum tedarik planı birbirlerine bağlanmış her bir sürecin kısıtları üzerinde formüle edilmelidir. Ticari tedarik zinciri planlama yazılımları; büyük verileri merkezi bir veritabanında toplayan ‘merkezileştirilmiş’ bir yaklaşımı (örneğin Kurumsal Kaynak Planlaması sistemi) ve matematiksel programlama metotları ile optimumu hesaplayan bir şebeke modeli (örneğin, Gelişmiş Planlama ve Çizelgeleme yazılımı) benimsemişlerdir. Bir tedarik zincirinin baskın bir elemanı, aşağı ve yukarı aktiviteleri üzerine operasyonel davranışları yüklemek için merkezileştirilmiş planlama sistemini kullanır. Bununla birlikte TZ planlama sürecindeki tedarikçiler ve dağıtıcıların aynı seviyede değerlendirilmeleri için kısıtlı bir alan mevcuttur. Her bir elemanın kısıtları ve karakteristikleri şebeke modelinde iyi bir şekilde gösterilememiş olabilir. Tedarikçi ve dağıtıcılara istenen sürede karşılayamayacakları hedefler atanabilmektedir. Sonuç olarak bu da tedarik zinciri şebekesinin bozulmasını tetiklemektedir. Böyle durumlarda tedarik zinciri planlama süreci *işbirlikçi* bir yaklaşımla ele alınmalıdır (Chiu ve Lin, 2004).

Etkin bir TZ işbirliği, talepteki ani değişimlerle başa çıkabilecek ve yeni fırsatları değerlendirebilecek, hızlı bir biçimde şekillendirilebilen ve dağıtılabilen fonksiyonel ortaklıklar kurma yeteneğine bağlıdır (Chiu ve Lin, 2004). Merkezi bir sistemde, kararlar, tüm tedarik ağı için tek bir merkezi lokasyonda verilmektedir. Amaç, hizmet seviyesi gereksinimlerini tatmin etmeye bağlı olarak sistemin toplam maliyetini minimize etmektir (Simchi-Levi vd., 2003). Sistemde yer alan her birim iyi ise toplam sistem karı maksimize edilebilir (Zou vd., 2004).

Müşteri talebi, üretim ve dağıtım hatlarında sıklıkla değişiyorsa, her bir tedarik zinciri bileşenine gelir sağlayabilmek için planlamanın özerk olarak yapılması ve aynı zamanda da bir bütün olarak değerlendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Chiu ve Lin, 2004).

Merkezileşmiş yönetimdeki gecikme süresinin üstesinden gelebilmek için dağıtık TZY'ne ihtiyaç duyulmaktadır. Dağıtık (merkezi olmayan) kontrol modellerinde her birim, birbirinden bağımsızdır ve kendilerinin olduğu kadar diğer birimlerin karını da maksimize etmeye çalışmaktadırlar (Zou vd., 2004). Böyle özerk dağıtık bir TZY modeli *ajan-yönelimli* sistemlerle gerçekleştirilebilmektedir. Özerk ajanlar müşterilerin gereksinimlerini tanımlayabilme yeteneğine sahiptirler. Böylece ortak bir hedef için kendilerinin çıkarını düşündükleri kadar birbirleri ile işbirliğinde bulunurlar, koordine olurlar ve anlaşmalara varırlar. Özerk dağıtık bir planlama sisteminden istenen; her bir TZ üyesinin hem kendi için arzu edilen planları hem de global amacı gerçekleştirmesine olanak tanımasıdır. Bunun için de dağıtık TZ planlama sisteminin *ajan-tabanlı* bir mimari üzerine kurulması gerekmektedir (Chiu ve Lin, 2004).

Ajanlar açık bir şekilde görülebilen görev ve süreçleri destekleyebilmekte, özelleştirilmiş bir ortamda (örneğin envanter yönetimi) birbirlerini etkileyebilmekte ve diğer ajanlarla doğrudan ya da mesaj yoluyla, sürekli bir biçimde gerçek zamanlı verilerle (örneğin GPS, sensörler) çalışıp, bu verileri diğer ajanlarla paylaşabilmektedirler [1].

Merkezi sistemler küresel optimizasyon sağlarken, merkezi olmayan sistem lokal bir optimizasyon sağlamaktadır. Çünkü merkezi olmayan sistemde her bir varlık kendine ait en etkin stratejiyi, diğer varlıklara olan etkisini dikkate almadan, belirlemektedir (Simchi-Levi vd., 2003).

Gerçek zamanlı uygunluk önceden düzenlenen veya statik olan iş süreçlerini oldukça etkilemenin yanı sıra, çoklu-ajan sisteminin de kalbini oluşturmaktadır. Gerçek zamanlı uygunluk kavramı tedarik zincirinde köklü değişimlere yol açmakta ve çoklu-ajan sistemleri

ile birlikte TZ gelişimini sağlamaktadır. Ticari tedarik zinciri yazılım (i2, SAP, Oracle, Manugistic) süreçleri üretim ve tüketim akışlarına göre tanımlanır. Sistem değişkenleri (maliyet, indirimler, taşıma zamanı, stok dışı ürünler) sonucu (en iyi fiyat, en kısa temin süresi, minimum envanter) optimize edebilmek için matematiksel eşitlikleri değerlendirir ve entegre eder. Bu süreç, parametrelerin lineer ve ilgili verilerin uygun olduğunu varsaymaktadır. Buna karşılık gerçek dünyada olaylar doğrusal değildir; aktiviteler kesikli ve veriler dağınıktır [1].

Ajan tabanlı modeller sayesinde fonksiyonlar sürekli ve özerk bir biçimde çalışır. Süreklilik ve özerklik, ajanların esnek ve zeki olarak süreçleri yönetebildiğini ya da aktiviteleri gerçekleştirebildiğini gösterir. Böylece sistemin bir sistem operatörüne ya da bir danışmana ihtiyaç duymadan değişimlere cevap vermesi ve uyumlu olması sağlanır. Bir ajan, deneyimlerden sürekli öğrenmenin yanı sıra, diğer ajanlarla da iletişim ve ortaklık kurabilmektedir. Gezici, şebekelenmiş, özerk, kendi öğrenen ve uyumlu ajanların, yekpare sistemler için geliştirilen diğer prensiplerle karşılaştırıldıklarında farklı oldukları görülür [1];

- Çoklu-ajan sistemleri dağınık sistemlerdir,
- Ajanlar homojen ya da uyumsuz değıllerdir ancak birbirlerinden farklıdır,
- Ajanlar sıralı olarak değil, eş zamanlı olarak planlanmalı ve yönetilmelidir,
- Ajanlar çevreden öğrendiklerini belleklerine alırlar ve paylaşırlar,
- Ajan toplulukları dağınık bir mekanizma içermelidir.

2.4.3 İşbirlikçi Tedarik Zinciri ile İlgili Literatür Çalışmaları

TZ tasarımı, lokasyonu, üretim ve dağıtım birimlerinin kapasitelerini, bunlar arasındaki taşıma bağlantılarını içeren stratejik bir karardır. TZ tasarımı özünde zor bir iştir, çünkü;

- (1) alt sistemler karmaşıktır,
- (2) alt-sistemler arasında birçok etkileşim vardır,
- (3) talep belirsizliği gibi dış etkenler, performansı önemli bir biçimde etkiler.

Birden fazla organizasyon aynı hedef için çalışmak üzere bir araya geldiğinde *işbirliği* kavramı ortaya çıkmaktadır. Tedarik zinciri *iş birliği* terimi, müşteri ihtiyaçlarını karşılamak için maliyet etkinliği olan, zamanında ve güvenilir malzeme hareketleri ile ilgili TZ partnerleri arasında tasarım, mühendislik, pazarlama, üretim, dağıtım ve son kullanıcıya

hizmet aktivitelerini göstermek için kullanılır (Muckstadt vd., 2001). İşbirliği alanları; yeni ürün gelişimini, malzeme tedarik farklılıklarını, envanter kontrolünü, yeni pazar gelişimini, lojistik dağıtımını, vb. içermektedir. 1992 yılında 14 ticari ortaklığın bir grup sponsorluğunda başlattıkları ‘Etkin Tüketim Cevap Hareketi’ (Efficient Consumer Response Movement) ilk tedarik zinciri entegrasyonu çalışmalarıdır. Üç sene sonra beş şirket (the Benchmarking Partners, Warner-Lambert, Wal-Mart Stores, SAP ve Manugistics) bünyesinde *İşbirlikçi Planlama, Tahmin ve İkmal* (İPTİ) projesi başlatmıştır. Projenin amaçları; tahmin kesinliğini, depolanacak stok yüzdesini, toplam envanteri (bayi ve üretici bir arada) ve maliyeti geliştirmektir. İPTİ, organizasyonları (bayiler ve üreticiler), promosyon satışları, tedarik, yeniden sipariş ve lojistik planı gibi ortak bir planla bir araya getirmeye çalışmaktadır (Chan vd., 2004). İPTİ, üretici, dağıtıcı ve bayi birimlerini içeren n-katmanlı bir TZ’ni entegre etmek üzere kullanılan web tabanlı bir araçtır (Chase vd., 2004). Benzer şekilde ‘Tedarikçi Yönetimli Envanter’ ve ‘Sürekli İkmal Planlama’ da entegrasyonu artırarak üretim seviyesinde güvenlik stoğunu azaltan yaklaşımlardır (Chan vd., 2004).

İşbirlikçi yapılar incelendiğinde geçmiş çalışmaların çoğunun envanter modelleri ile, buna bağlı olarak talep ve temin süreleri üzerine olduğu görülür. Talep ve temin süresi çevresel koşullardan ötürü en kolay etkilenen iki ana faktördür. Tek lokasyonlu envanter modellerinin, talep dağılım şekline çok, talebin ortalama ve standart sapması gibi parametrelerinden etkilendiğini ortaya çıkarmıştır. Geleneksel metotlar, temin sürelerinin ve talebin ortalama ve varyansının kesin bir dağılıma uyduğunu kabul eden ve dalgalanma göstermeyen envanter seviyelerine odaklanmaktadır. Çok kademeli sistemler ise, ayrı ayrı bölünerek birbirlerine bağlı parametrelerle değerlendirilirler (Tee ve Rossetti, 2002). Literatürde, işbirliği ve TZ performansı gibi konular incelendiğinde karşılaşılan çalışmalar aşağıda yer almaktadır.

Metters (1997), TZ performansı üzerinde kamçı etkisinin tesirlerini ölçmüş ve performansın, artan kamçı etkisine göre bozulduğu sonucuna varmıştır.

Ganeshan (1999), sürekli kontrollü çekme sistemi kullanan *tek depolu, çok bayili* bir yapıyı incelemiştir. Etkin temin süresini azaltmak için *çok tedarikçi* yapısı, depo siparişini *n* eşit parçaya bölmek suretiyle modele eklenmiştir. Model üç aşamadan oluşmuştur; (i) bayilerdeki envanterin analizi, (ii) depodaki talep süreci, (iii) depodaki envanter analizi. Modeldeki kararlar, tedarik zincirinin envanteri, taşımayı ve göndermeyi içeren bir dağıtım-tabanlı maliyet yapısı sayesinde alınmaktadır.

Andersson ve Marklund (2000), *tek merkezi depolu* ve *n adet bayiye sahip iki kademeli* bir dağıtım sisteminde dağıtık envanter kontrolü için bir model önermiştir. Sürekli kontrollü stok

politikasının benimsendiği bu çalışma yaklaşık maliyet değerlendirme tekniğine dayandırılmıştır.

Axsäter (2001), *merkezi bir depo ve çok sayıda bayiden* oluşan çok-aşamalı dağıtık bir envanter sistemi için bir maliyet yapısı hazırlamıştır. Geleneksel metotlardan farklı olarak bu maliyet yapısına göre depo, yerel maliyetlerinin yanı sıra bayisine yapmış olduğu her gecikme için bir ceza maliyeti ödemektedir. Ceza maliyeti, gecikmelerin uzunluğunun doğrusal olmayan bir fonksiyonudur. Bu çalışmada ceza maliyetini önleyebilmek için, öncelikle deponun yerel maliyetleri optimize edilmiş, bu bilgi bayilere de iletilmiş ve ardından bayilerin yerel maliyetleri optimize edilmiştir. Depo için yerel maliyetler; elde bulundurma maliyetini ve tedarikçisinden depoya yapılan taşımalar için elde bulundurma maliyetlerini içerir. Ayrıca depolar, depodaki malzeme taşıma maliyetinden ve malların tedarikçiden depoya taşınma maliyetinden de sorumludur. Benzer şekilde bir bayi için yerel maliyetler; bayinin elde bulundurma maliyetini, depo ile bayiler arasında taşıma için elde bulundurma maliyetini içerir. Bu çalışmada bir bayinin müşterilerine yapacağı geç dağıtımların ktlık maliyetine yol açtığı da varsayılmıştır.

Tsiakis vd. (2001), sabit lokasyonlardaki *çok sayıda üretim birimi, depo birimi* ve lokasyonu bilinmeyen *dağıtım birimi*, yine sabit lokasyonlarda *müşteriler* içeren, belirsizlik altında çalışan çok ürünli, çok-katmanlı bir TZ şebekesi tasarlamıştır. Sistem matematiksel olarak karma-tamsayılı lineer programlama ile optimize edilmiştir. Birimlerin sayılarını, lokasyonu, depo ve dağıtım merkezlerinin kapasitelerini, taşıma bağlantılarını belirlemeye yer verilen bu çalışmada, tasarlanan yapının toplam yıllık maliyeti hem yapı hem de işlem maliyetleri göz önünde tutularak minimize edilmeye çalışılmıştır. Talep belirsizliği senaryo planlama yaklaşımı ile ele alınarak, en iyi ve en kötü durum senaryoları sunulmuştur.

Chen vd. (2001), bilinen talep fonksiyonlarına dayanarak bayilerin belirlenen satış hacimlerinin kullanıldığı, *bir tedarikçi ve çoklu bayiden* oluşan *iki aşamalı* bir dağıtım sistemini incelemişlerdir. Bu çalışmada, merkezi bir sistemde, toplam sistem genelinde karı maksimize edecek optimal bir strateji gösterilmiştir.

Tee ve Rossetti (2002), çok kademeli envanter sistemleri üzerine bir çok çalışma yapılmış olmasına rağmen, bu modellerin sağlamlıkları üzerine bir çalışma yapılmadığını ileri sürerek bir yaklaşım önermiştir. Bu yaklaşımla envanter sistemi performansını tahmin ederken, yapılan önemli hataların devingen talep ortamlarında nasıl etkilere yol açacağı analiz edilerek sistemin sağlamlığı ölçülmüştür.

Rau vd. (2003), her katmanında *birer tedarikçi, üretici ve satın alıcı* yer alan çok katmanlı bir envanter model geliştirerek optimal bir ortak toplam maliyet çıkarma yoluna gitmiştir. Bu entegre yaklaşım sayesinde bağımsız kararlar ile karşılaştırıldığında, ortak toplam maliyetin çok daha az olacağı sonucuna varılmıştır.

Gupta ve Maranas (2003), TZ kısıtlarını, üretim ve lojistik kararları olmak üzere ikiye bölmüş ve iki aşamalı stokastik bir model yapısını ele almıştır. Yaklaşımlarına göre ilk aşamada talep bilinmeden önce üretim kararları alınmakta, daha sonra ikinci aşamada talepteki belirsizlikle ilgilenilmektedir. Belirsiz talep bir normal dağılım fonksiyonu ile yapıya dahil edilmektedir. Böylelikle *çok aşamalı*, birden fazla üretim yeri olan ve çok çeşitli ürün üretilen bir tedarik zinciri, müşteri memnuniyeti seviyesi ve üretim maliyeti açısından incelenmiştir.

Giannoccaro vd. (2003), bulanık kümeler modelini pazar talebi ve envanter maliyetleri ile ilgili belirsizlikleri modellemek için kullanmıştır. Model *üç aşamalı bir TZ* için uygulanmıştır.

Abdul-Jabar vd. (2003) *tek-depolu ve n-bayili* bir envanter/dağıtım sistemini ele almış, merkezi ve dağıtık yaklaşıma göre yaklaşık optimal çözüm üretmiştir. Abdul-Jabar vd. (2006) yaptıkları bir diğer çalışmada yine *tek-depolu ve n-bayili* çok aşamalı bir envanter sistemi önermiştir. Bu çalışmada her bayideki talebin bilindiği ve depodan karşılandığı kabul edilmiştir. Dışarıdaki müşteri talebinin ise bilindiği ve sabit olduğu kabulü yapılmıştır. Eksikliklere izin verilmemiş, temin süreleri ise önemsiz sayılmıştır. Her bir tesisteki maliyet, sipariş başına sabit bir ücretten ve elde bulundurma maliyetinden ibarettir.

Chen ve Lee (2004a; 2004b), çok ürünli, çok aşamalı ve çok periyotlu bir üretim-dağıtım planlama modeli için, satış ücretleri ve toplam karı dengeleyecek senaryo tabanlı bir yaklaşım önermiştir. Tüm zincirin toplam karının maksimize edilmeye çalışıldığı ve aynı anda da satıcı ve alıcıların maksimum tatmin seviyesine eriştiği bir TZ modeli, karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama kullanılarak çözülmüştür.

Son yıllarda tedarik zincirini taktiksel ve operasyonel seviyede yönetebilmek için yeni bir yazılım yapısı oluşturulmuştur. Bu yapıya göre, TZ daha önce bahsedilen ajan-tabanlı sistemlerden; dolayısıyla bünyesindeki bir yada daha fazla aktiviteden sorumlu olabilecek, planlama ve yönetim konusunda birbirleriyle etkileşimli bir şekilde çalışabilecek akıllı yazılım ajanlarından oluşmaktadır (Fox vd., 2000).

Ajan teknolojisi, dağıtık bir ortamda etkin iletişim sağlamaya olanak tanır. Bir ajan, akıllıca herhangi bir insani denetime gerek duymadan özel bir görevi gerçekleştiren bir programdır

(Liang ve Huang, 2006). Dağıtık yapay zekanın bir alanı olan çok-ajanlı sistemler, kaynak paylaşımı ve aktivitelerin koordinasyonu gibi ortak problemleri çözebilmesi için birbirleriyle etkileşim içinde olan farklı yazılım ajanlarını içerir (Abid vd., 2004). Bu sebeple ajan teknolojisi dağıtık ortamlarda iletişim sorunlarını çözmek için oldukça uygun teknolojilerdir. Son araştırmalar çok-ajanlı yaklaşımın TZ’de etkin bir rol oynadığını göstermiştir (Liang ve Huang, 2006). Çok-ajanlı bir TZ tasarlandığında, ajanların ayrışması daha iyi bir planlama, çizelgeleme ve koordinasyon metodu geliştirilmesini sağlar. Ayrıca TZ fonksiyonlarının dinamikleri hem lokal hem de global olarak etkin bir şekilde ele alınırlar (Chiu ve Lin, 2004).

Abid vd. (2004) müşteri talebini karşılayabilmek için çok ajanlı bir yapı içerisinde gecikme sürelerini planlayan bir yaklaşım önermiştir. Bu çalışmada, uygun zaman aralıklarına göre talebi karşılayacak siparişlerin optimal düzenlenmesi ile müşteri tatmini sağlanabileceği öne sürülmektedir. Bunun için bir yanda müşteri talepleri ve öncelikleri, diğer yanda üretim ve lojistik kısıtları dikkate alınmış ve bir karma doğrusal program geliştirilmiştir. Model, satışlar ve üretim departmanı arasındaki ilişkiyi geliştirmeyi hedeflemektedir.

Zou vd. (2004) iki aşamalı bir montaj süreci için optimal sipariş miktarını belirleyen bir yaklaşım önermişlerdir. Bu modelde stokastik taleple karşılaşan bir montajcı ve deterministik sipariş zamanlı birçok tedarikçi mevcuttur. Genellikle literatürde sipariş dağıtım miktarı ve sipariş süreci zamanı ayrı ayrı değerlendirilirken, bu çalışmada iki değişken birlikte ele alınmış ve tüm kanal koordinasyonu değerlendirilmiştir.

Chan vd. (2004), işbirliği aktivitelerini desteklemek için *dört üreticinin, dört deponun ve on müşterinin* bulunduğu üç katmanlı bir TZ yapısını ele almıştır. Yapıya göre müşterilerden toplanan siparişler depolara dağıtılmakta ve oradan üretici firmalara gitmektedir. Merkezi koordinasyon sistemine göre kurulan bu yapının ana amacı, talep atamalarını yapmaktır.

Kawtummachai ve Hop (2005) bir TZ’de sipariş atama prosedürünün etkilerini hizmet seviyesi ve toplam satın alma maliyetine göre değerlendirecek bir çözüm algoritması geliştirmiştir. Bu algoritmaya göre bayilere yüksek hizmet seviyesini ve zamanında dağıtım garantisi ederek satın alma maliyetini optimize edecek olan ürün siparişleri seçilen tedarikçiye atanmaktadır. Sipariş atamaları için kullanılan faktörler; sipariş fiyatı ve zamanında dağıtım yüzdesidir. Bu çalışmada üretim yapmayan ve tedarikçilerinden listesindeki ürünleri sipariş eden bir firma, *tedarikçileri, deposu* ve sipariş edilen ürünlerin gönderildiği *bayiler* üzerine bir model kurulmuştur.

Fung ve Chen (2005) çok ajanlı bir yapıdan oluşan *talep yönelimli bir TZ* için sezgisel ve iki

programlı bir model tasarlamıştır.

Chandra ve Grabis (2005), *iki kademeli bir TZ'nin* envanter yönetimini incelemiş; çok adımlı talep tahmini yapabilmek için, otoregresif tahmin modeller uygulanırsa, birbirlerine seri olarak bağlanmış dış taleplerde kamçı etkisini ölçen bir model önermiştir. Malzeme ihtiyaç planlaması tabanlı bir envanter yönetimi yaklaşımı olan bu yaklaşım aynı zamanda sipariş varyansını da azaltmaktadır.

Wang ve Shu (2005), TZ envanter stratejisini belirlemek üzere bulanık bir karar metodolojisi geliştirmiştir. TZ belirsizliğini modelleyebilmek için bulanık küme teorisinden yararlanılmıştır. Önerilen bulanık TZ modeline dayanarak, TZ envanter maliyetini minimize edebilmek için, sipariş yükseltme seviyelerinin belirlendiği bir GA yaklaşımı geliştirilmiştir.

Liang ve Huang (2006) farklı envanter sistemlerini kullanan farklı birimlerin bulunduğu bir tedarik zincirini simüle edebilmek için çok-ajanlı bir yaklaşım geliştirmiştir. Ajanlar tahmin bilgisi ve bilgi paylaşımı ile envanteri kontrol etmek ve tedarik zincirinin toplam maliyetini minimize edebilmek için koordineli olarak çalıştırılmıştır. Talep, GA ile tahmin edilmiş, her aşamadaki sipariş miktarı ise, “sistem düşüncesi” perspektifi ile birleştirilmiştir.

Talep yönetimi; tahminler, yeni talepler, söz verilen dağıtım tarihleri, hizmet seviyeleri ile yakından ilgilidir. Ayrıca talep yönetimi; işletmenin üretim kapasitesi, şirketler arası ihtiyaçları ve depolama kapasitesi ile ilintili diğer kaynaklarla da ilgilenir. Taleplerin etkin bir şekilde yönetilmesi iç faktörler olduğu kadar, dış faktörlerin de senkronizasyonu ile mümkündür (Abid vd., 2004).

Literatürde talep tahmini ile ilgili çalışmalar tek aşamalı TZ'ne odaklanırken, çok aşamalı envanter yönetimi çalışmalarında ise tüm birimlerin aynı envanter sistemini kullandıkları kabul edilmiştir. Bu tez çalışmasında *tedarikçi, üretici, dağıtıcı, bayi ve müşteri birimlerine sahip* bir TZ için yapay zeka tekniklerine dayalı bir model önerilmiştir. Müşteri talebi ile tedarikçi kapasitesinin entegre edilmesinin amaçlandığı bu çalışmada çok-ajanlı bir yapı için ortam hazırlanmıştır. Model, talep tahmini ajanı ve kontrol ajanı olmak üzere iki tip ajan öngörmektedir. Koordineli olarak çalışan bu ajanlar, farklı TZ varlıklarının hem statik hem de dinamik özelliklerine sahiptirler. Kontrol ajanı, geçmiş talep verilerini ve stratejilerini yöneticilerden toplayarak TZ yöneticisi ve sistem arasında bağlantı rolünü oynamaktadır. Talep tahmini ajanı ise yöneticilerin tecrübelerini dönüştürme işlemini gerçekleştirmektedir. Çizelge 2.5'te, literatürdeki çok aşamalı TZ modellerinin; aşama sayısı, model tipi, değişken tipi, operasyonel ve stratejik kararlar ile amaç fonksiyonu açısından bir özeti bulunmaktadır.

Çizelge 2.5 Çok aşamalı tedarik zinciri modellerine yönelik literatür çalışması

Çalışmalar	Aşama sayısı	Model tipi				Değişken tipi			Operasyonel kararlar		Stratejik kararlar							Amaç fonksiyonu
		Deterministik	Stokastik	Probabilistik	Sezgisel	Deterministik	Stokastik	Bulanık (Belirsiz)	Üretim kararı	Envanter seviyeleri	T-D	T-Ü	Ü-D	Ü-B	D-B	D-M	B-M	
Metters (1997)	açık değil	*				talep			*									Kamçı etkisi
Ganeshan (1999)	(ç)T/ (t)D/ (ç)B	*							*		*						*	Temin süresi, maliyet
Andersson ve Marklund (2000)	(t)D/ (ç)B	*				talep, temin süresi			*		*							Maliyet
Axsäter (2001)	(t)D/ (ç)B	*				talep			*		*							Maliyet
Tsiakis vd. (2001)	(ç)T/ (ç)Ü/ (ç)D/ (ç)B/ (ç)M	*																Maliyet
Chen vd. (2001)	(t)T/ (ç)B	*				talep												Kar maksimizasyonu
Tee ve Rossetti (2002)	(t)D (ç)B	*				talep			*		*							Envanter sistemi performansı
Rau vd. (2003)	(t)T/ (t)Ü/ (t)B	*				talep			*		*	*					Maliyet	
Gupta ve Maranas (2003)	açık değil	*				talep			*									Müşteri memnuniyeti, maliyet
Giannoccaro vd. (2003)	üç aşamalı (açık değil)	* *				talep, maliyet			*									Envanter
Abdul-Jabar vd. (2003)	(t)D/ (ç)B	*				talep			*		*							Envanter
Abdul-Jabar vd. (2006)	(t)D/ (ç)B	*				talep			*		*							Envanter
Chen ve Lee (2004a; 2004b)	(ç)Ü/ (ç)D/ (ç)B/ (ç)M	*				talep, satış ücreti			* *		*	*	*			*	Toplam kar, müşteri memnuniyeti	
Abid vd. (2004)	çok ajanlı	*							*									Müşteri memnuniyeti
Zou vd. (2004)	(ç)T/ (t)Ü	*				sipariş zamanı	talep		*									Sipariş miktarı
Chan vd. (2004)	(ç)Ü/ (ç)D/ (ç)M	*							*		* *							Talep atama
Kawtummachai ve Hop (2005)	(ç)T/ (t)D/ (ç)B	*							*		*	*					Maliyet, sipariş atama	
Fung ve Chen (2005)	açık değil	*							*									Sipariş atama
Chandra ve Grabis (2005)	iki kademeli (açık değil)	*				talep			*									Kamçı etkisi
Wang ve Shu (2005)	(ç)T/ (ç)Ü/ (t)D	*				talep, işlem süresi			*		*	*	*			Envanter seviyesi, maliyet		
Liang ve Huang (2006)	(t)T/ (t)Ü/ (t)D/ (t)B	*							*		*	*	*			Maliyet		
<i>Oluşturulacak model</i>	(ç)T/ (ç)Ü/ (ç)D/ (ç)M	*				talep, temin süresi			*		*	*	*			*	Talep tahmin hatasını azaltmak/ Entegre sistem	

(t): tek; (ç): çok

T: tedarikçi; Ü: üretici; D: dağıtıcı/depo; B: bayi; M: müşteri

2.5 Tedarik Zinciri Matematiksel Modelleri

Reel dünya koşullarının matematiksel modellere uymaması, tedarik zincirinin gerçek-zamanlı olmasında bir eksiklik yaratmaktadır. Buna en büyük örnek, tedarik zincirinde büyük dalgalanmalara yol açan kamçı etkisidir. Kesikli, dinamik ve dağıtık veri ve uygulamalar artık tedarik zincirinin yalnızca istenen bilgilere cevap vermesini değil, aynı zamanda zeki tahminler ve adaptasyonlar yapmasını, aktif olarak kullanıcıyı da desteklemesini gerektirmektedir [1]. Etkin tedarik zinciri için karar verme eylemi, iki tip matematiksel model gerektirir (Kwon vd., 2005);

- *Tanımlayıcı modeller:* Bir işletmede fonksiyonel ilişkilere daha iyi bir anlayış getirmeyi amaçlamaktadır. Tanımlayıcı modellere örnek olarak tahmin modelleri, maliyet ilişkileri, kaynak kullanımı ilişkileri ve simülasyon modelleri verilebilir.
- *Optimizasyon modelleri:* Yöneticilere daha iyi kararlar vermede yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Bu modeller, bir TZ uygulaması için gereken ana hatları oluşturmak için karmaşık etkileşimleri sorgularlar. Bu tip matematiksel modeller, üretim çizelgeleme, dağıtım çizelgeleme, üretim planlama, lojistik, taktiksel ve stratejik süreçler gibi bir firmanın farklı yönlerini optimize etmede kullanılır.

Optimizasyon modelleri gibi matematiksel modellerin çözümünde kullanılan geleneksel çözüm metodolojileri de yine iki grup halinde sınıflandırılırlar (Kwon vd., 2005);

- *Kesin modeller:* Lineer programlama, karışık tam sayılı programlama gibi optimizasyon tekniklerine dayanan bu modeller ancak geçerli ve özel kısıtlar ile varsayımlar altında optimal çözümü garantilerler. Model kısıtları artan belirsizliklere bağlı olarak daha da karmaşılaştıkça bu modellere güvenmek gittikçe zorlaşır. Ayrıca kesin modellerin tüm avantajlarından faydalanabilmek için, tedarik zinciri yöneticilerinin hem modeller hem de veriler hakkında bilgiye sahip olması gerekmektedir.
- *Sezgisel modeller:* Bu modeller vaka-tabanlı muhakeme, çok ajanlı, genetik algoritma ve yapay sinir ağları gibi yapay zekâ tabanlı teknikleri kullanır. Sezgisel modeller optimizasyon modellerinin erişemeyeceği veya erişmekte zorlanacağı sonuçların elde edildiği alanlarda kullanılmaktadır. Özellikle gelir maksimizasyonu ve stokastik boyutlu problemlerde tercih edilmektedir.

Beamon (1998), matematiksel modellerin kullanıldığı çok aşamalı tedarik zincirlerinin

tasarımı ve analizi dört kategoriye ayırmaktadır;

- *Deterministik analitik modeller*, değişkenlerin bilindiği ve belirlendiği modellerdir,
- *Stokastik analitik modeller*, en azından bir değişkenin bilinmediği ve bir olasılık dağılımına uyduğu varsayılan modellerdir,
- *Ekonomik modeller*,
- *Simülasyon modelleri*.

3. ENTEGRE BİR TEDARİK ZİNCİRİ TASARIMI İÇİN YAPAY SİNİR AĞI VE BULANIK ÇIKARIM TABANLI BİR SİSTEM YAKLAŞIMI

3.1 Araştırma Metodolojisi

Bu tez çalışmasının genel amacı organizasyonlarda talebin kontrolünü sağlayacak yeni yöntemleri uygulama olanağını sunmaktır. Tedarik zincirinin her aşaması düşünülerek hazırlanan metodoloji aşağıdaki şekildedir;

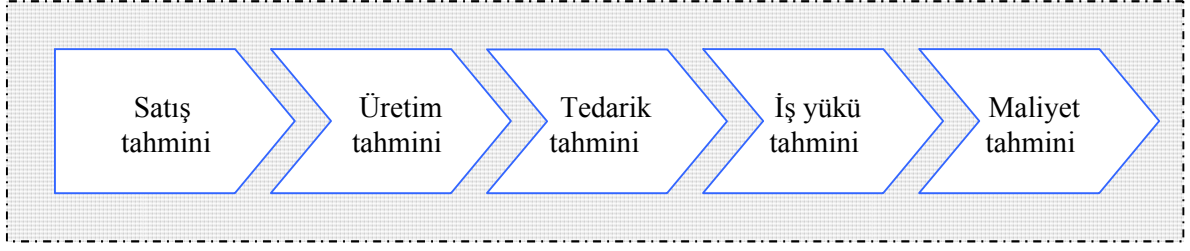
1. Problemin analizi
2. Çözüm geliştirilmesi
3. Sonuçların karşılaştırmalı analizi ve değerlendirilmesi.

TZ stratejisi, ürün sunma, kapasite planlama, talep yönetimi, iletişim ve teslimle ilgili kararların bir modeli olarak görülebilir. TZ stratejisinin işletme stratejisi ile ilişkilendirilmesi, bir işletmenin ürün ya da hizmetinin üretimindeki anahtar işletme süreçlerini tanımlamayı içerir. Bu nedenle işbirliği hedeflerine bağlı olarak TZY için hedefler geliştirilmelidir.

TZY'nin en önemli etkinliği “müşteri odaklı” olmaktır. Dolayısıyla müşteriler kadar tedarikçiler de tam olarak tedarik zincirine entegre edilmelidir. Bu sebeple hazırlanan bu tez çalışmasında, entegrasyonda önemli rol oynayan pazar talebine büyük ölçüde yer verilmiş, pazar talebinin sinyallerini dinlemek için yeni bir sistem geliştirmek suretiyle, talep değişikliklerinin sürekli izlenmesi hedef alınmıştır.

Bir işletme, hangi ürününü ne kadar miktarda, ne zaman, ne kadar maliyete ve hangi yollarla elde edeceğini bilmeye ihtiyaç duymaktadır. Süreç satışların tahmin edilmesiyle başlamaktadır. Satış tahminleri esas alınarak mevcut imkan ve işgücü çerçevesinde personel, malzeme ve kapasitenin yer aldığı bir üretim programı hazırlanacağından, bu tahminleri gerçeğe en yakın şekilde işletme amaçlarına ve durumuna uygun yapmakta fayda vardır. Aslında hazırlanan bu plan, “*tedarik-talep*” ilişkisini modellemektedir. Kısacası satış tahminleri ile üretim tahmini ve planına bağlı olarak, üretim için ihtiyaç duyulan girdi özellikleri, miktarı ve zamanı ile ilgili bilgiler belirlenmektedir.

Bir işletmenin planlama süreci, bir önceki bilginin bir sonrakini beslediği bir tahminler bütününe bağlıdır (Şekil 3.1). Üretim planları, stok yönetim kararları, satın alma programlarının hepsi bu tahminler bütününe bağlıdır.



Şekil 3.1 Bir işletmenin planlama süreci

Bu bağlamda öncelikle literatür çalışması ile TZ entegrasyonu alanındaki konular incelenmiş, karşılaşılan problemler ve çözüm yöntemleri tartışılmıştır. Böylelikle TZ performansını olumsuz etkileyebilecek faktörler ortaya çıkarılmış ve ne gibi sorunlarla karşılaşılacağı belirlenmiştir. Tedarik zincirinin en son aşaması olan müşterilere ait taleplerin, zincirde kamçı etkisi yaratması açısından önemli bir problem teşkil ettiği sonucuna varılarak, böyle bir yapıyla başa çıkmak için sezgisel yollar incelemek gerektiği öne sürülmüştür.

3.2 Tez Çalışmasında Kullanılan Teknikler

TZ'nin toplam maliyetini önemli derecede etkileyen unsurları ortadan kaldırmanın en gerekli adımlarından biri, daha etkin bir tahmin mekanizması kurmaktır. Özellikle belirsiz koşullarda, talep verilerinin gürültülü olduğu ve talep faktörlerinin de karmaşık ilişkilere sahip olduğu düşünülürse, tahmin mekanizması optimizasyonunun çok önemli bir süreç haline geldiği kabul edilmelidir.

Son yıllarda popüler olan yapay zeka alanında, makinelerde insan zekasını gerçeklemek için bir çok farklı yaklaşım önerilmiştir. Sinirsel-bulanık hesaplamalar, birçok alanda başarıyla uygulanan bir teknik olarak ortaya çıkmıştır (Abraham, 2001).

Özellikle talep tahmini konusunda, doğrusal veri kümesine sahip talep problemlerinde klasik istatistiksel tekniklerin iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak veri kümesinin kararsız, karmaşık veya sürekli değişim gösterdiği doğrusal olmayan durumlarda, sinir ağı modelleri diğer klasik tahmin yöntemlerine göre üstün bir performans göstermektedir (Law ve Au, 1999; Law, 2000; Choy vd., 2003a; 2003b).

Sinir ağları ve bulanık modelleme, genellikle sistemlerin karmaşıklığından dolayı ortaya çıkan belirsizlikle başa çıkabilmek için kullanılan iki ayrı metodolojidir (Tsoukalas ve Uhrig, 1997). Hem sinir ağları hem de bulanık modelleme, insani nedenlendirme sürecini taklit etme yaklaşımından motive olmaktadır. Bulanık sistemlerde girdi ve çıktı değişkenleri “*bulanık*”

ifadelerle gösterilirken aralarındaki ilişkiler iyi tanımlanmış “eğer-o halde ” (if-then) kuralları ile açıkça ifade edilir. Sinir ağlarında ise bu ilişki aynı açıklıkta verilmeyerek, ancak parametreler yardımıyla ağ yapısında kodlanmış halde yer alır (Panchariya vd., 2004).

Sinir ağları ve bulanık mantık teknolojileri birbirinden tamamen farklıdır ve her birinin bilgi işleme sürecinde kullandığı benzersiz yetenekleri vardır. Yaklaşık aynı sonuçlara farklı yollardan ulaşan bu yaklaşımlar karmaşık yapıdaki dinamik proseslerde yer alan farklı değişkenler arasındaki matematiksel ilişkileri belirleyerek çözerler. Her ikisi de klasik doğrusal kontrol sistemleri ile çözülemeyen doğrusal olmayan sistemleri kontrol etmek için kullanılırlar (Tsoukalas ve Uhrig, 1997).

Her iki yaklaşımın avantajları olduğu kadar dezavantajları da mevcuttur. Sinir ağları karmaşık doğrusal olmayan ilişkileri sunabilme ve sınıflandırabilme gibi bir yetiye sahipken, diğer taraftan çıktılarının kesinliği bazen sınırlandırılabilir. Çünkü analog değişkenler olarak ifade edilen değişkenler için “en küçük karelerin hatalarının minimizasyonu”, “sıfır hata” anlamına gelmemektedir. Bir başka dezavantajı; veriye bağlı olarak, sinir ağlarının eğitimi için gerekli süre en kolay eğitimin tek bir varyasyonunda dahi saatler ya da günler alabilmektedir. Bu yüzden sinir ağları için asıl değerli veri kümesini seçmek ve gösterimini yapmak oldukça önemli bir noktadır (Tsoukalas ve Uhrig, 1997). Bulanık mantık sistemleri ise girdi ve çıktı değişkenlerinin belirsizliğini, sözel terimlerle (soğuk, ılık, sıcak, vb.) ifade edilen bulanık sayılar (bulanık kümeler) ile tanımlamayı hedeflemiştir. Bu sebeple bulanık mantık sistem tanımı formülasyonunda büyük esneklik sağlamaktadır (Tsoukalas ve Uhrig, 1997). Ancak bulanık kümeler uygun şekilde tanımlanmalıdır.

Belirsizlik taşıyan karmaşık sistemlerin uzman deneyimine dayalı bir kural yapısı ile tanımlanmasını mümkün kılan bulanık mantık ile öğrenme, adapte olabilme ve genelleme yapabilme gibi özellikleri bulunan yapay sinir ağlarının güçlü hesaplama yeteneği bir araya getirilerek hızlı ve etkili bir modelleme yöntemi geliştirilebilmektedir.

Bu tekniklerin sahip oldukları benzersiz özellikler sebebiyle sinerjik bir şekilde birleştirilerek iki tarafın da sunduğu avantajlardan faydalanılmak istenmektedir. YSA ile *bulanık çıkarım sistemlerini* (BÇS) entegre eden ve uygulamaya göre değişen bir çok yaklaşım vardır. Entegre bir sinirsel-bulanık mimaride, YSA öğrenme algoritmaları BÇS’nin parametrelerini belirlemede kullanılmaktadır. Sinirsel-bulanık sistemler, veri yapısını ve bilgi sunumlarını paylaşmaktadırlar. Bir öğrenme algoritmasının bir bulanık sisteme uygulanabilmesi, özel bir YSA mimarisi ile mümkündür. Klasik bir YSA öğrenme algoritması doğrudan

uygulanamamaktadır. Bu problem ile, çıkarım sisteminde diferansiyeli alınabilen fonksiyonlar kullanarak ya da standart sinirsel öğrenme algoritması kullanmayarak başa çıkılabilir (Abraham, 2001). Son zamanlarda literatürde sinirsel bulanık model yapılarının birçok çeşidi önerilmiş ve tanımlanmıştır (Jang, 1993; Nauck ve Kruse, 1999; Wang, 1994; Palit ve Popovic, 2000). Genellenmiş Yaklaşım Nedenlendirme Tabanlı Zeka Kontrolü (GARIC), Bulanık Adaptif Öğrenmeli Kontrol Ağı (FALCON), Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemleri (ANFIS-Adaptive Network-based Fuzzy Inference System), Sinirsel Bulanık Kontrol (NEFCON), Bulanık Ağlar (FUN), Kendinden Oluşmalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Ağları (SONFIN), Bulanık Çıkarım Yazılımında Bulanık Çıkarım ve Sinir Ağları (FINEST), Evrimsel Bulanık Sinir Ağları (EfuNN), Dinamik Evrimsel Sinir Ağları (dmEFuNN) ve daha bir çok teknik bu alanda yapılmış olan çalışmalara örnek gösterilebilir.

Sonuç olarak bu tez çalışmasında belirsiz ortamlarda daha güvenli kararlar verebilmek amacıyla yapay sinir ağı tabanlı bir talep tahmin mekanizması önerilmiştir. Sinir ağlarının ve sinirsel bulanık ağların entegre çalıştığı bu sistem literatüre yeni bir bakış kazandırma çabası içerisinde. Bu entegre modelde, Wang'ın (1994) önermiş olduğu sinirsel bulanık ağ yapısı uygulanacaktır. Modelin en önemli özelliği, uygulamada kolaylık olması açısından, girdi üyelik fonksiyonlarının (bulanık kümelerin) oluşturulacak kuralların sayısına eşit olmasıdır. Model, Palit ve Babuška (2001) tarafından hazırlanan Takagi-Sugeno tipine (ANFIS) modifiye edilerek, zaman serisi tahminlerinde sistem tanımlama problemlerinde başarıyla kullanılmaktadır. YSA yaklaşımı olarak ise *Çok Katmanlı Algılayıcı* (ÇKA) ağ modeli ile *Radyal Taban Fonksiyonlu* (RTF) ağlar kullanılmıştır. Kullanılan bu iki YSA tekniği karşılaştırılmış ve en iyi sonucu veren YSA modeli ile sinirsel bulanık ağ entegrasyonu yapılmıştır. Bahsedilen teknikler aşağıda detaylı bir şekilde incelenmiştir.

3.3 Yapay Sinir Ağları

Sinir ağları gibi yeni teknolojiler, yöneylem araştırmasının inceleme sahalarına giren tahmin, modelleme, araç rotalama, gezgin satıcı problemi, kümeleme, sınıflandırma gibi birçok alandaki problemlere tercih edilmeye başlanmıştır. Sinir ağları, yapay zeka ve beynin modellenmesi alanlarından geliştirilse de, aslında regresyon ve benzer yöntemlerde olduğu gibi bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi öğrenen bir fonksiyon tahmin aracından başka bir şey değildir. Sinir ağları ile istatistiksel yöntemler arasındaki temel farklılık, sinir ağlarının istatistiksel dağılımla veya verilerin özellikleri ile ilgili herhangi bir varsayım yapmamasıdır (parametrik değil). Bir diğer önemli özelliği de doğrusal olmayan bir

tahmin yöntemi olduğundan karmaşık verilerin modellenmesinde daha kesin olmasıdır (Ermiş, 2005).

YSA, insan beyninin bilişsel öğrenme sürecine benzer bir biçimde, biyolojik nöron hücresinin yapısı ve öğrenme karakteristiklerinden esinlenerek geliştirilmiş, birlikte işleyen çok sayıda işlem elemanından (nöron) oluşan bir bilgisayar işleme ve hesaplama sistemi olarak tanımlanabilir (Haykin, 1994). Bu sistemler beynin işleme mekanizmasına iki açıdan benzerler (Haykin, 1994);

- Bilgi, ağa bir öğrenme prosesi ile kazandırılır.
- Nöronlar (işlem birimleri) arası bağlama kuvvetleri olarak bilinen sinaptik ağırlıklar bilgiyi depolamak için kullanılırlar.

Bir sinir ağının en basit elemanı bir *nöron*dur. Bir k nöronu aşağıdaki eşitliklerle ifade edilebilmektedir (Haykin, 1994).

$$u_k = \sum_{j=1}^p w_{kj} x_j \quad (3.1)$$

$$y_k = \varphi(u_k - \theta_k) \quad (3.2)$$

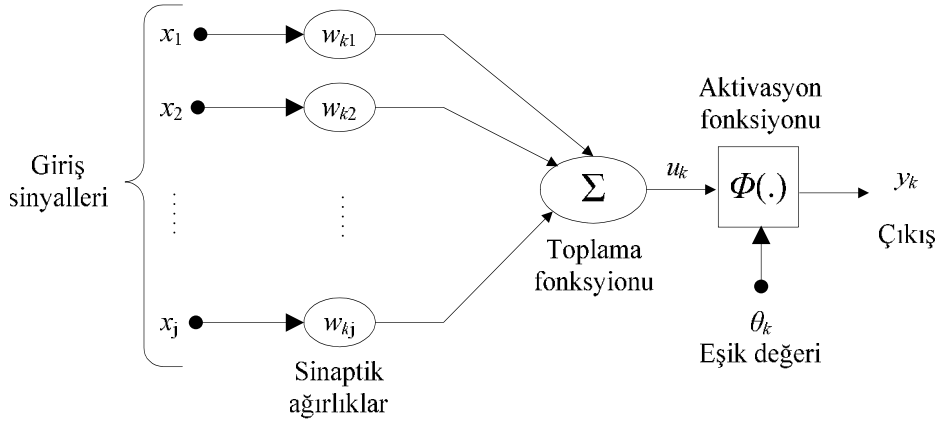
Bir yapay sinir ağının elemanları aşağıdaki gibi açıklanmaktadır:

- $x_1, x_2, \dots, x_j$ *giriş sinyalleri*; Giriş sinyalleri, bir yapay sinir hücresine dış dünyadan gelen bilgilerdir. Bunlar ağın öğrenmesi istenen örnekler tarafından belirlenir. Sinir hücresine dış dünyadan olduğu gibi başka hücrelerden veya kendisinden de bilgi gelebilir (Öztemel, 2003).
- $w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{kj}$ k nöronunun *sinaptik ağırlıkları*; k nöronuna bağlı bir j sinapsinin girişinde yer alan bir x_j sinyali, sinaptik ağırlık w_{kj} ile çarpılır. Kısacası ağırlıklar bir nörona gelen bilginin önemini ve hücre üzerindeki etkisini gösterir. Ağırlıkların büyük ya da küçük olması önemli ya da önemsiz oldukları anlamına gelmez. Artı veya eksi değerler alması ise yapacağı etkinin pozitif veya negatif olduğunu göstermektedir. Değişken veya sabit değerler alabilirler (Öztemel, 2003). Sinaptik ağırlıkların pozitif olması arttırıcı etkiyi, negatif olması ise azaltıcı etkiyi ifade eder (Demuth ve Beale, 2000).
- u_k *doğrusal toplama fonksiyonu*; Bir sinir hücresine gelen net girişi hesaplar ve bunun için farklı formüller kullanır. En yaygın olanı ağırlıklı toplamı bulmaktır. Yani her gelen giriş değeri kendi ağırlığı ile çarpılarak toplanır. Genellikle deneme yanılma yolu ile toplama

fonksiyonu belirlenir. Bir sinir ağındaki tüm sinir hücreleri aynı toplama fonksiyonunu kullanmak zorunda değildir (Öztemel, 2003).

- θ_k eşik değeri; Aktivasyon fonksiyonunun net girişlerinin etkilerini azaltmaya yarayan bir parametredir (Haykin, 1994). Toplanan iletilerin bir seviye ile karşılaştırılmasını ve negatif aktivasyon potansiyelinin gönderilmesini sağlar (Demuth ve Beale, 2000).
- $\Phi(\cdot)$ aktivasyon fonksiyonu; Bir sinir hücresinin girişe karşı üreteceği çıkışı sınırlamakta kullanılır (Öztemel, 2003). Aktivasyon (transfer) fonksiyonu, aktivasyon potansiyelini normalize etmekte ve istenilen ağırlığa göre ölçeklemektedir. Diğer bir deyişle, aktivasyon fonksiyonu, nöronun çıkış genliğini istenilen değerler arasında sınırlar ve nöronların oluşturduğu sinir ağının yakınsamasını sağlar. Yaygın olarak, doğrusal, basamak, sigmoid ve hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonları kullanılmaktadır (Demuth ve Beale, 2000). Toplama fonksiyonunda olduğu gibi farklı formüller kullanan aktivasyon fonksiyonu tasarımcının öngörüsüne bağlı olarak geliştirilebilir (Öztemel, 2003). Genellikle, bir nöronun çıktısının normalize edilmiş sınırları $[0, 1]$ veya $[-1, 1]$ aralıkları ile ifade edilir (Haykin, 1994). Aktivasyon fonksiyonu çeşitleri aşağıdaki gibidir (Haykin, 1994; Öztemel, 2003);
 - (a) Doğrusal fonksiyon: Gelen girişler olduğu gibi hücrenin çıkışı olarak kabul edilir,
 - (b) Parçalı doğrusal fonksiyon: Gelen net giriş değerinin belirlenen bir eşik değerinin altında veya üstünde olmasına göre hücrenin çıktısı 1 veya 0 değerini alır,
 - (c) Sigmoid fonksiyon: YSA kurulumunda en çok kullanılan fonksiyonlardan biridir. Bu fonksiyon düzgün ve asimptotik özellikler gösteren bir artan fonksiyon olarak tanımlanmaktadır.
 - (d) Eşik değeri fonksiyonu: Gelen bilgilerini 0 veya 1'den büyük veya küçük olmasına göre değerler alır. 0 veya 1 değerlerini alabilir. Bunların dışında değerler alamaz.
- y_k k nöronunun çıkış sinyali; Aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen çıkış değeridir. Üretilen çıkış dış dünyaya veya başka bir hücreye gönderilir. Hücre kendi çıkışını kendi girişi olarak da gönderebilir (Öztemel, 2003).

Bir nöron, diğer nöronlardan gelen iletileri (ağırlıklar ile giriş sinyallerinin çarpımı) toplar, bir eşik değeri ile karşılaştırarak aktivasyon potansiyelini hesaplar ve bu potansiyeli aktivasyon fonksiyonundan geçirerek çıkış sinyalini üretir. Şekil 3.2, bir nöronun temel yapısını göstermektedir.



Şekil 3.2 Bir nöronun doğrusal olmayan modeli (Haykin, 1994).

Her bir nöron, komşularına bağlantılarının kuvvetini gösteren değişken bağlanırlık katsayıları ile bağlıdır. Öğrenme bu kuvvetlerin ayarlanması ile başlar. Böylece nöronlar, katmanlar içinde gruplandırılabilir. Giriş katmanı dış çevreden gelen giriş bilgilerini alan nöronlardan oluşmaktadır. Çıkış katmanı ise sistemin çıkışını dış kullanıcıya ya da çevreye veren nöronlardan oluşmaktadır. YSA'da genellikle bu iki katman arasındaki bilgilerin doğrusal olmayan ilişkilerinin temsil edildiği gizli katmanlar bulunmaktadır. Gizli katmanlar ilişkileri düzenlemede “kara kutu” görevini üstlenmektedir (Choy vd., 2003a).

Pratikte birçok zor problemde sezgisel yaklaşımlar, hızlı çözüm elde etme ihtiyacından ötürü kullanılmaktadır. Genel optimum çözüme ulaşmak, optimale yakın bir çözümü hızlı bir şekilde elde etmek kadar zorunlu değildir. Sinir ağlarının avantajlarından birisi de hızlı hesaplama gücü olduğundan, endüstriyel uygulamalarda bu özellik çok daha değer kazanmaktadır (Ermiş, 2005). YSA'nın doğrusal olmayan fonksiyon yaklaşımı, veri sınıflandırması, non-parametrik regresyon ve karar süreçlerindeki yetenekleri, veri dağılımlarına ilişkin öncül bilgilerin olmadığı uygulamalarda çok önemlidir. YSA'nın eksik veya gürültülü verilere sahip karmaşık modellerin çözümündeki etkinliği kanıtlanmıştır.

Pratikte, doğrusal olmayan, çok boyutlu, gürültülü, karmaşık, kesin olmayan, eksik, kusurlu, hata olasılığı yüksek verilerinin olması ve problemin çözümü için özellikle bir matematik modelin ve algoritmanın bulunmaması hallerinde YSA yaygın olarak kullanılmaktadır (Öztemel, 2003). Eldeki örnekleri öğrenme yeteneği sinir ağlarının en önemli özelliğidir ve bu sayede karmaşık sistemlerin geçmişteki davranışlarına bakılarak bir eğitim yapılması mümkündür.

YSA çoğunlukla tahmin, sınıflandırma, ilişkilendirme, özellik belirleme, optimizasyon, doğrusal olmayan sistem modelleme, normal olmayan örüntülerin ortaya çıkarılması gibi

durumlarda kullanılan bir teknolojidir. YSA'lar literatürde “bağlantılı ağlar”, “paralel dağıtılmış ağlar”, “nöral bilgisayarlar” gibi isimler de almaktadır (Haykin, 1994).

YSA'nın özellikleri uygulanan ağ modeline ve algoritmasına göre değişmekle birlikte birtakım genel özellikleri aşağıda verilmiştir;

- *YSA makine öğrenmesi gerçekleştirir*; temel işlevi bilgisayarların öğrenmesini sağlamaktır. Geleneksel programlama ve yapay zeka yöntemlerinin uygulandığı bilgi işleme yöntemlerinden tamamen farklı bir bilgi işleme yöntemi vardır (Öztemel, 2003).
- *Hataya toleranslıdır*; gürültülü ve eksik verilerden anlamlı düzeyde doğru çıktılar üretebilir. Oysa geleneksel bilgisayarlar genellikle eksiksiz verilere gereksinim duyar (Ermiş, 2005).
- *Eksik bilgi ile çalışabilir*; YSA, kendileri eğitildikten sonra eksik bilgiler ile çalışabilir ve gelen yeni örneklerde eksik bilgi olmasına rağmen sonuç üretebilir. Halbuki geleneksel sistemler, bilgi eksik olunca çalışmazlar (Öztemel, 2003).
- *Kendi kendini organize edebilme ve öğrenebilme yetenekleri vardır*; YSA'nın örnekler ile kendilerine gösterilen yeni durumlara adapte olması ve sürekli yeni olayları öğrenebilmesi mümkündür (Öztemel, 2003).
- *Dağıtık belleğe sahiptir*; YSA'da bilgi ağı yayılmış durumdadır. Yani ağın tamamı öğrendiği olayın bütününe karakterize etmektedir (Öztemel, 2003).
- *Sadece nümerik bilgiler ile çalışabilmektedir*; sembolik ifadeler ile gösterilen bilgilerin nümerik gösterime çevrilmesi gerekmektedir (Öztemel, 2003).
- Özellikle çözümü karmaşık ve belirtilmesi zor olan ve çok fazla miktarda veri içeren problemler için uygundur (Ermiş, 2005).
- Algılamaya yönelik olaylarda kullanılabilir; şekil ilişkilendirme ve sınıflandırma yapabilir; örüntü tamamlama gerçekleştirebilir (Öztemel, 2003).
- Tasarlanması ve gerçekleşmesi pahalı değildir, ancak eğitilmesi yoğun hesaplamayı gerektirir (Ermiş, 2005).

Kısacası YSA, eksik, normal olmayan, belirsiz bilgileri işleyebilen en güçlü problem tekniklerinden biridir. Bununla birlikte birçok dezavantajı da bulunmaktadır (Öztemel, 2003);

- Probleme uygun ağ yapısının belirlenmesi genellikle deneme yanılma yöntemi ile yapılmaktadır. YSA, kabul edilebilir çözümler üretir, yani optimum çözümü garanti etmez.
- Bazı ağlarda ağın parametre değerlerinin belirlenmesinde bir kural olmaması bir diğer dezavantajdır. Çünkü belirli standartlar olmadığından her problem için ayrı faktörler dikkate alınmalıdır.
- Ağın öğreneceği problemin ağa gösterilmesi de çok önemi bir dezavantajdır. Günümüzde birçok olayın YSA ile çözülememesinin en önemli nedenlerinden biri budur.
- Ağın eğitiminin ne zaman bitirileceğine karar vermek için de geliştirilmiş bir yöntem yoktur. Ağın örnekler üzerindeki hatasının belirli bir değerin altına indirilmesi eğitimin tamamlanması için yeterli görülmektedir.
- Bir diğer dezavantaj da ağın davranışlarının açıklanamaması durumudur.

3.3.1 Yapay Sinir Ağı Çeşitleri

Pek çok YSA çeşidi olduğundan ve sürekli olarak yenileri bulunduğundan tam olarak kaç çeşit olduğunu söylemek pek mümkün değildir. Ancak en çok bilinen yöntemler için sınıflandırma yapmak mümkün olabilir. Tasarım esnekliğinin ana teması, öğrenme algoritmalarındaki parametre güncelleme işlemi için türetilen bilginin hangi yöntemlerle oluşturulduğudur (Ermiş, 2005). YSA, veri akışı açısından, mimari açıdan, öğrenim stratejileri açısından, vb. bir çok alt başlık altında sınıflandırılabilir.

Veri akışı açısından incelendiğinde ağ tasarımının aşağıdaki şekillerde tasarlandığı görülür (Ermiş, 2005);

1. *İleri beslemeli (feedforward) YSA*: Eğer verinin akışı bir çevrim oluşturmayacak şekilde ileriye doğru ise bu yapıya sahip ağ modelleri, ileri beslemelidir. Bu tip ağlar, YSA için geliştirilmiş algoritmalara ek olarak, çok sayıda geleneksel sayısal yöntem kullanılarak da eğitilebilir.
2. *Geri beslemeli (feedback) veya yinelemeli (recurrent) YSA*: Ağ üzerinde geri besleme bağlantıları vardır. Bu tip YSA'da ağa uygulanan her bir giriş değeri için YSA bir sonuç üretmeden önce, potansiyel olarak uzun bir süre yineleme yapmak zorundadır. Bu tip ağları eğitmek ileri beslemelileri eğitmekten daha zordur.

Ağ mimarisi açısından sinir ağları aşağıdaki şekilde sınıflandırılır (Haykin, 1994);

1. *Tek katmanlı ileri beslemeli (single-layer feedforward) ağlar*: En basit sinir ağı yapısıdır. Bir giriş, bir çıkış katmanı vardır. Bu ağ yapısında bilgi girişten çıkışa doğru ilerler, yani ileri beslemeli bir ağ yapısıdır. Tek katmanlı olarak isimlendirilmesinin sebebi, giriş katmanının veri üzerinde hiçbir işlem yapmadan veriyi çıkış katmanına iletmesidir.
2. *Çok katmanlı ileri beslemeli (multi-layer feedforward) ağlar*: Bu tip sinir ağları, içinde hesaplamalar yapan gizli nöronların bulunduğu bir veya daha fazla gizli katman içeren ağlardır. Giriş katmanı geniş olduğunda gizli katmanlar sayesinde, yüksek dereceli istatistiksel veriler elde edilebilmektedir. Çok katmanlı yapılarda (n) . katmanın çıkış sinyalleri $(n+1)$. katmanın giriş sinyalleri olarak kullanılır. p adet giriş düğümü, ilk gizli katmanda h_1 adet nöron, ikinci gizli katmanda h_2 adet nöron ve çıkış katmanında q adet nöron bulunan birçok katmanlı ileri beslemeli ağ $p-h_1-h_2-q$ şeklinde gösterilir. Eğer her katmanda bulunan nöronlar bir sonraki katmanın tüm nöronlarına bağlı ise bu tip ağa *tam bağlantılı ağ* denir. Eğer bu sinaptik bağlantılardan bazıları eksikse ağ, *kısmi bağlantılı ağ* adını alır.
3. *Radyal tabanlı (radial basis) sinir ağları*: Duyarlı almaç bölgelerinin olduğu giriş katmanı, radyal tabanlı nöronları, gizli bir katman ve çoğunlukla doğrusal aktivasyon fonksiyonlu nöronlardan ibaret çıkış katmanından oluşur. Radyal tabanlı ağlar, geriyayılımlı algoritmali ileri beslemeli ağlardan daha fazla nöron kullanımına ihtiyaç duysa da eğitim süresi çok daha kısadır. Yoğun eğitim verisiyle daha iyi sonuçlar verir.
4. *Yinelenen (recurrent) ağlar*: İleri beslemeli ağlardan farkı, en az bir adet geri besleme çevriminin olmasıdır. Geri besleme çevrimleri ağın öğrenme yetisi ve performansı üzerinde oldukça etkilidir (Haykin, 1994). Geri çevrim sinyallerinin yönü, ileri ve geri olabilmektedir. Yinelenen ağlar dinamik bir hafızaya sahip olduklarından, o andaki ağın çıkışı, mevcut girişi yansıtmaktadır. Yinelenen ağlara örnek olarak Hopfield ağı, Elman ağı ve Jordan ağı gösterilebilir.
5. *Kafes (lattice) yapılar*: Bir kafes, giriş sinyallerini tedarik eden kaynak düğümlerine karşılık gelen bir ya da daha fazla boyutlu yapıdır. Bir kafes ağı, aslında çıkış nöronları satır ve sütun halinde düzenlenmiş bir ileri beslemeli ağıdır.

Öğrenme stratejileri açısından YSA; *eğiticili*, *eğitici-siz*, *takviyeli* ve *karma öğrenme* olmak üzere dört ana gruba ayrılabilir (Öztemel, 2003):

1. *Eğitici (supervised) öğrenme*: Öğrenen sistemin olayı öğrenebilmesine bir eğitici yardımcı olmaktadır. Eğitici, sisteme öğrenilmesi istenen olay ile ilgili örnekleri giriş/çıkış kümesi olarak verir. Yani, her örnek için hem girişler, hem de o girişler karşılığında oluşturulması gereken çıkışlar sisteme gösterilir. Bu sayede olayın girişleri ile çıkışları arasındaki ilişkiler öğrenilmektedir. *Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA)* ile *Radyal Taban Fonksiyonlu (RTF)* ağlar bu stratejiyi kullanan ağlara örnek olarak verilebilir.

Eğitici öğrenme algoritmalarına örnek olarak ise tek bir nöron için kullanılan *En Küçük Kareler Ortalaması* ve onun genelleştirilmiş hali olan ve çok katmanlı yapılar için kullanılan *Geriye Yayılım Algoritması (GY)* verilebilir. Eğitici öğrenme hem çevrimiçi hem de çevrimdışı çalıştırılabilir (Haykin, 1994).

2. *Eğitici (unsupervised) öğrenme*: Sistemin öğrenmesine yardımcı herhangi bir eğitici yoktur. Sisteme sadece giriş değerleri gösterilir. Örneklerdeki parametreler arasındaki ilişkileri sistemin kendi kendisine öğrenmesi beklenir. Bu, daha çok sınıflandırma problemi için kullanılan bir stratejidir. Sistemin öğrenmesi bittikten sonra çıkışların ne anlama geldiğini gösteren etiketlendirmenin kullanıcı tarafından yapılması gerekmektedir. Bu tip ağ yapısına, *Yarışmalı Öğrenme*, *SOM*, *Adaptif Rezonans Teorisi Modelleri (ART)* örnek olarak verilebilir.
3. *Takviyeli (reinforcement) öğrenme*: Bu tür öğrenme stratejisinde sisteme bir eğitici destek olur. Fakat eğitici her giriş kümesi için olması gereken (üretilmesi gereken) çıkış kümesini göstermek yerine sistemin kendisine gösterilen girişlere karşılık çıkış üretmesini bekler ve üretilen çıkışın doğru veya yanlış olduğunu gösteren bir sinyal üretir. Sistem eğiticiden gelen bu sinyali dikkate alarak öğrenme sürecini devam ettirir. *Vektör Kuantalama Modelleri (LVQ)* bu yapıyı kullanan sistemlere örnek olarak verilebilir.
4. *Karma stratejiler*: Bahsedilen üç stratejiden birkaçını birlikte kullanarak öğrenme gerçekleştiren ağlar da vardır. Yani kısmen eğitici, kısmen eğitici olarak öğrenme yapan ağlar kastedilmektedir.

YSA, kabul ettikleri veri türüne göre de kategorik ve nicel olmak üzere iki ana gruba ayrılır (Ermiş, 2005);

1. *Kategorik değişkenler*: Sadece sonlu sayıda olası değerler ve genellikle her bir kategoride birkaç veya daha fazla değer alır. Kategorik değişkenler sembolik değerler (örneğin; kırmızı, mavi, yeşil) olabilir, ancak ağa bu değerler uygulanmadan önce sayısal olarak

kodlandırılmalıdır. Hedef değerleri kategorik değişkenler olan eğitici ve eğitici olmayan öğrenmenin her ikisi de sınıflandırma olarak adlandırılır.

2. *Nicel değişkenler*: Bazı niteliklerin (örneğin; uzunluk) sayısal ölçüm değerleridir ve ölçümler, en azından ölçümler arasındaki bazı aritmetik ilişkiler ölçülen nesnelerin nitelikleri arasındaki ilişkiyi yansıtacak şekilde yapılmalıdır. Hedef değerleri nicel olan eğitici öğrenme, regresyon olarak adlandırılır.

YSA gibi öğrenen sistemlerde öğrenme, hangi strateji ya da mimariye göre uygulanırsa uygulansın bazı kurallar çerçevesinde gerçekleşmektedir. Bu kurallardan bazıları *çevrimiçi* (on-line) bazıları ise *çevrimdışı* (off-line) çalışmaktadır (Öztemel, 2003). Eğitici öğrenme yaklaşımında parametre güncelleme işlemi, sistem çalışırken, anlık gözlemlerden elde edilen bilgi ile yapılıyorsa, buna *çevrimiçi* öğrenme denir. Eğer YSA önceden belirlenen girdi/çıkış eşleşmesini gerçekleştirmeye çalışıyorsa, buna da *çevrimdışı* öğrenme denir (Ermiş, 2005).

Son olarak parametre güncelleme işlemi ile ilgili olarak iki tip seçeneğin olduğundan bahsedilebilir. Eğer ağ parametreleri, eğitim çiftlerinin tamamının ağ üzerinden geçirilip, her bir geçişte hesaplanan değişim miktarlarının toplamı ile güncelleniyorsa *grup* (batch, epoch), her bir eğitim çifti için hesaplanan değişim miktarı o anda uygulanıyorsa *bireysel* (incremental, instantaneous, pattern) güncelleme yapılır (Ermiş, 2005).

3.3.2 Yapay Sinir Ağları Öğrenme Kuralları

Ağırlıkların değerlerinin değişmesi “*öğrenme kuralları*” adı verilen belirli kurallara göre yürütülmektedir. Öğrenme sistemlerinde kullanılan değişik öğrenme kuralları vardır. YSA’daki öğrenme kurallarının çoğu *Hebb* kuralına dayanmaktadır. Hebb kuralı ve diğer birkaç kural aşağıda kısaca özetlenmiştir (Öztemel, 2003).

1. *Hebb kuralı*: Bilinen en eski öğrenme kuralıdır. Diğer öğrenme kurallarının temelini oluşturmaktadır. Kural; bir hücre aktif ise bağlı olduğu hücreyi aktif yapmaya, pasif ise pasif yapmaya çalışmaktadır.
2. *Hopfield kuralı*: Hebb kuralına benzer. YSA elemanlarının bağlantılarının ne kadar kuvvetlendirilmesi veya zayıflatılması gerektiği belirlenir. Eğer beklenen çıkış ve girişlerin her ikisi de aktif/pasif ise öğrenme katsayısı kadar ağırlık değerlerini kuvvetlendir/zayıflat denmektedir. Yani ağırlıkların kuvvetlendirilmesi veya zayıflatılması öğrenme katsayısı yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Öğrenme katsayısı genellikle 0-1

arasında kullanıcı tarafından atanan sabit ve pozitif bir değerdir.

3. *Delta kuralı*: Hebb kuralının biraz daha geliştirilmiş halidir. Bu kural, beklenen çıkış ile gerçekleşen çıkış arasındaki farkı azaltmak için YSA elemanlarının bağlantılarının ağırlık değerlerinin sürekli değiştirilmesi ilkesine dayanarak geliştirilmiştir. Ağın ürettiği çıkış ile üretilmesi beklenen çıkış arasında, hatanın karelerinin ortalamasını enazlamak hedeflenmektedir.
4. *Kohonen kuralı*: Bu kurala göre ağın elemanları ağırlıklarını değiştirmek için birbirleri ile yarışır. En büyük çıktıyı üreten hücre, kazanan hücre olmakta ve bağlantı ağırlıkları değiştirilmektedir. Bu, o hücrenin yakınındaki hücrelere karşı daha kuvvetli hale gelmesi demektir.

3.3.3 Yapay Sinir Ağlarında Modelleme Karakteristikleri

Sinir ağını modelleyebilmek için modelleme amacına uygun olarak değişkenlerin ve bu değişkenlere ait verilerin toplanması gerekmektedir. Değişkenlerin seçimi, en azından başlangıç aşamasında, önsezi ve tecrübeyle gerçekleştirilir. Dolayısıyla, hangi kriterlerin ele alınan problemde etkili olacağı, karar vericinin uzmanlığına bağlı bir şekilde belirlenir. Sinir ağları belli limitler içerisindeki nümerik veriler ile işlem görürler. Nümerik olmayan veriler de yine bir şekilde nümerik hale getirilerek sisteme sokulmalıdırlar.

Sinir ağı örneklerden “*öğrenir*” ve örnekleme verileri üzerinde “*genelleştirme*” yeteneğini kullanır. Genelleştirme, sinir ağının örnekleme veri kümesi içinde yer almayan yeni verileri enterpole ya da ekstrapole edebilme yeteneğidir. Bir sinir ağının “*gücü*”, örneklenen verilerden ne kadar iyi genelleştirme yapabildiğine bağlıdır. Öğrenme algoritması; istenen (hedef) çıkış vektörü ile gerçekleşen çıkış vektörü arasındaki fark cinsinden bir ölçü değeri olan hata fonksiyonunu kullanarak; eğitim kümesi üzerindeki ortalama hatayı azaltacak şekilde, ağ içindeki ağırlıkları dengelemektedir. Bu doğru olarak gerçekleştirildiğinde sinir ağı, yeni giriş verileri için istenen sonuçları doğru olarak tahmin edecektir (Hertz, 1991).

3.3.4 Yapay Sinir Ağlarının Eğitimi

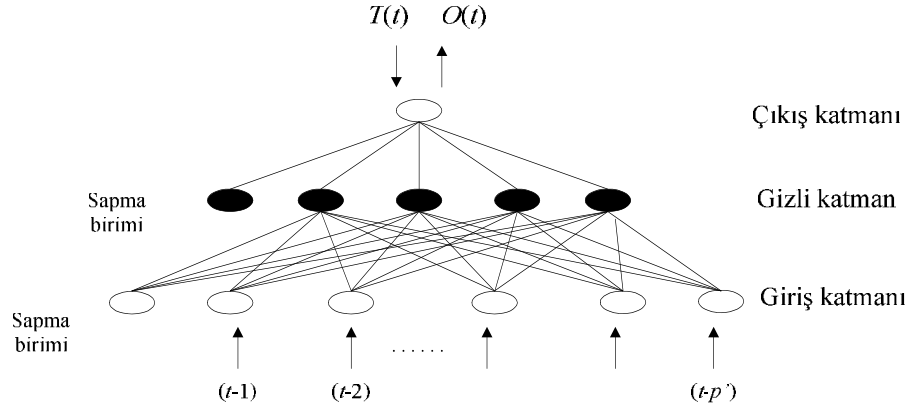
YSA’larda proses elemanlarının bağlantılarının ağırlık değerlerinin belirlenmesi işlemine “*ağın eğitilmesi*” denir. Başlangıçta bu değerler rasgele atanır ve ağa gösterilen örneklerle ağırlık değerleri değiştirilir. Amaç ağa gösterilen örnekler için doğru çıkışları üretecek ağırlık

değerlerini bulmaktır. Ağın doğru ağırlık değerlerine ulaşması, örneklerin temsil ettiği olay hakkında genellemeler yapabilme yeteneğine kavuşması demektir. Bu genelleştirme özelliğine kavuşması işlemine “*ağın öğrenmesi*” denir. Kullanılan öğrenme stratejilerine göre çeşitli öğrenme kuralları geliştirilmiştir (Öztemel, 2003).

YSA’da öğrenme olayının iki aşaması vardır. İlk aşamada, ağa gösterilen örnek için ağın üreteceği çıkış belirlenir. Çıkış değerinin doğruluk derecesine göre ikinci aşamada ağın bağlantılarının sahip olduğu ağırlıklar değiştirilir. Ağın çıkışının belirlenmesi ve ağırlıklarının değiştirilmesi öğrenme kuralına bağlı olarak farklı şekillerde gerçekleşmektedir. Ağın eğitimi tamamlandıktan sonra performansını ölçmek için yapılan denemelere “*ağın test edilmesi*” denmektedir. Test etmek için ağın öğrenme sırasında görmediği örnekler kullanılır. Test etme sırasında ağın ağırlığı değiştirilmez. Ağ eğitimi sırasında belirlenen bağlantı ağırlıklarını kullanarak görmediği test örnekleri için çıkışlar verir. Elde edilen doğruluk değerleri ağın öğrenmesi hakkında bilgiler verir. Eğitimde kullanılan örnek kümesine “*eğitim kümesi*”, test için kullanılan kümeye ise “*test kümesi*” adı verilir. YSA’nın bu şekilde bilinen örneklerden belirli bilgileri çıkartarak bilinmeyen örnekler hakkında genelleme yapabilme yeteneğine “*adaptif öğrenme*” denir (Öztemel, 2003). *Eğitim kümesi*, giriş ve çıkış değişkenleri ile örnekleri içeren bir veri grubudur. Modeli kurabilmek için verilecek olan ilk karar; hangi değişkenlerin nasıl ve ne kadar veriyle kullanılacağıdır.

YSA’nın eğitimi ve testi için toplanan veri, sistemin düzgün çalışma uzayını kapsamalıdır. Örnek kayıtlarının çalışma uzayının sınırlarını belirlediği ve YSA’nın yalnızca eğitildiği çalışma aralığı için güvenilir sonuç verebildiği, yani, ekstrapolasyon yeteneğinin güvenilemeyecek derecede kısıtlı olduğu unutulmamalıdır. Genel özelliklerin net olarak belirlenmesi için örnek kümesinin geniş olması tercih edilir. Bu kümenin bir kısmı eğitim aşamasında kullanılırken, bir kısmı test aşamasında ağın genelleştirme yeteneğinin onayı amacıyla kullanılır. Testin başarısızlığı durumunda, test amacıyla kullanılan kayıtların bir kısmı eğitim verisine katılarak, eğitim ve sınav işlemleri kabul edilebilir bir performans kriterine kadar tekrarlanır (Haykin, 1994).

Şekil 3.3, bir satış tahmini süreci için, tek gizli katmana sahip bir YSA modelinin genel yapısını göstermektedir. YSA’nın giriş katmanındaki veriler geçmiş zaman ait, $t-p$ periyodundan $t-1$ periyoduna, satış verilerini gösterebilir. Birkaç nöron bulunan gizli katman, çıkış katmanında t periyodundaki satışları gösteren tek bir nörona bağlanmıştır. T ve O hedeflenen ve güncel çıktıları, p örnek sayısını göstermektedir (Kuo ve Xue, 1998b).



Şekil 3.3 Bir satış tahmini süreci için tasarlanan YSA yapısı (Kuo ve Xue, 1998b)

Eğitim esnasında, genellikle giriş nöronları hiçbir değişikliğe uğramazken, diğer nöronlar aktivasyon fonksiyonu kullanırlar. Amaç, gerçekleşen ve elde edilen çıkışlar arasındaki farkın en azlanmasıdır. Böylelikle sinir ağı, t anında satışlar arasındaki ilişkiyi $t-1$ ve $t-p$ periyotlarından öğrenmektedir (Kuo ve Xue, 1998b).

Genellikle yüksek serbestlik derecesine bağlı olarak, sinir ağları büyük eğitim kümelerine ihtiyaç duyarlar. Ayrıca verinin aşırı uygunluğu (ağın ezberlemesi) ve modelin çok çözümlülüğü sinir ağlarının ortak problemleridir (Nguyen ve Chan, 2004). Bazı durumlarda ise verinin miktarına bağımlı olmaksızın anlamsız sonuçlar elde edilmektedir. Bu durumda kurulan ağın mimarisi, öğrenme algoritması, kullanılan değişkenler, veri tipi, kullanılan gizli katman ve nöron sayıları gözden geçirilerek model kontrol edilmelidir.

YSA'nın eğitim sürecindeki hata seviyesi, test sürecindeki hata seviyesine göre bariz farklılıklar gösterdiği takdirde ezberleme sorunu ile karşılaşmış olur. Bu da tanımlanması istenen fonksiyonel ilişkiden ziyade eğitim verisindeki gürültü gibi tuhaflıkların da öğrenildiği anlamına gelir. Ezberlemeyi azaltmak için yapılabilecekler şunlardır (Haykin, 1994):

- Eğitimde kullanılan veri sayısını arttırarak gürültünün ortalamasının kendiliğinden düşmesini sağlamak,
- Serbest parametre olan nöronların sayısını kullanılması gerekenin asgarisi ile sınırlamak,
- Eğitimi, ezberleme başlamadan kesmek. Yöntem, çapraz değerlemeli eğitim olarak adlandırılır. Esası, eğitim sırasında ezberleme kontrolü yapmaya dayanır. Eğitim aşamasında biri eğitim, diğeri kontrol için olmak üzere iki veri grubu kullanılır. Her yinelemenin sonunda her iki grup için hatanın ortalama karekökü değeri hesaplanır ve

kontrol kümesi hatasında değişim olmadığı halde eğitim kümesi hatasının azalmaya devam ettiği aşama tespit edilmeye çalışılır. Bu aşamada eğitim kesilir.

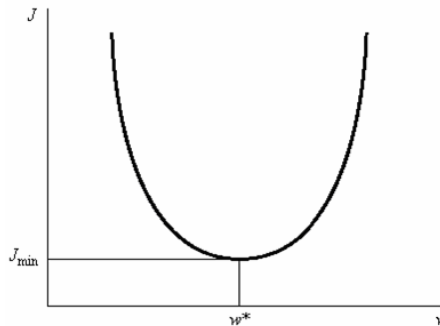
Çeşitli ağ yapılarında kullanılan parametrelerle ilgili olarak kesin kurallar konulmamakla birlikte, deneme yanılma yöntemiyle kimi araştırmacılar belli sonuçlara ulaşmış ve bunu da sunmuşlardır. Modeldeki gizli katmanların sayısı ve bu katmanlarda yer alan gizli nöronların sayısı için de genel geçer bir kural yoktur. Bailey ve Thompson (1990) toplam giriş-çıkış nöronlarının %50-75'i kadar gizli nöron kullanılabileceğini önermiştir. Bununla birlikte çok fazla gizli nöron ağın öğrenme yetisini de arttırmaktadır. Gizli katmanların tasarımı, seçilen öğrenme algoritması ile ilgilidir. Genellikle eğitici öğrenme sistemleri gizli katman tasarımında daha esnektir (Choy vd., 2003a).

3.3.5 Performans Yüzeyi

Performans yüzeyi, ağırlıkların (karar değişkenlerinin) adaptasyonunun performans kriterini nasıl etkilediğini göz önüne getirmeye yardımcı olan önemli bir araçtır. Örneğin, genel eniyileme problemlerine basit bir örnek olması açısından doğrusal regresyon modeli ($y = wx + b$) için, d_i hedef çıktı değeri olmak suretiyle, hata kareleri ortalaması (J) ele alınırsa (basitleştirmek için eğilim terimi $b=0$ olarak alınmıştır) (Ermiş, 2005);

$$J = \frac{1}{2N} \sum_i (d_i - wx_i)^2 = \frac{1}{2N} \sum_i (x_i w^2 - 2d_i x_i w + d_i^2) \quad (3.3)$$

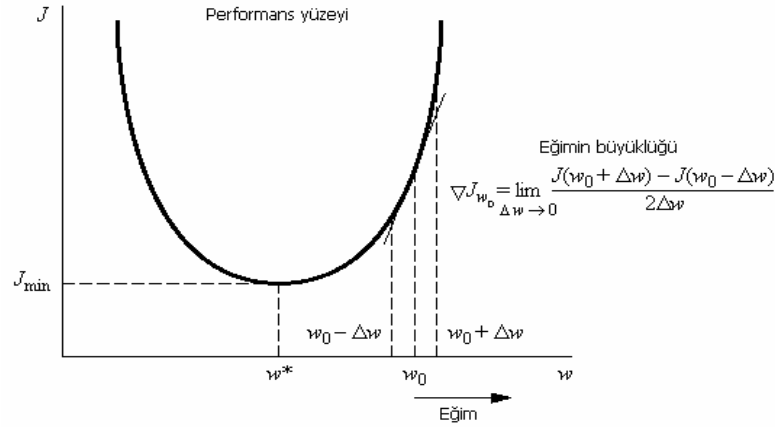
J sadece tek bir değişkenin (w) fonksiyonu olacaktır. *Performans yüzeyinin gradyanı*, boyutu w olan ve her zaman J 'nin maksimum değişim yönünü gösteren, büyüklüğü performans yüzeyine teğet olan doğrunun eğimine eşit bir vektördür (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Regresyon problemi için performans yüzeyi (Principe vd., 2000)

Eğer performans yüzeyi bir yamaç gibi düşünülürse, yamaçtaki her bir nokta, bu noktadaki en

hızlı çıkış yönünü (steepest ascent) gösteren bir gradyan çizgisine sahip olacaktır. Yamaçtan aşağı bırakılan bir top her zaman bir gradyan çizgisinin ters yönünde yuvarlanacaktır (steepest descent). Dipteki eğim sıfır olduğundan gradyanı da sıfırdır, yani hata kareleri ortalaması en küçüklenmiştir (J_{min}). Genelleştirme yapılarak genel eniyileme (enküçükleme) problemleri için de performans yüzeyleri oluşturulabilir (Şekil 3.5)



Şekil 3.5 Performans yüzeyi ve gradyanı (Principe vd., 2000)

3.3.5.1 En hızlı iniş ile performans yüzeyinin araştırılması

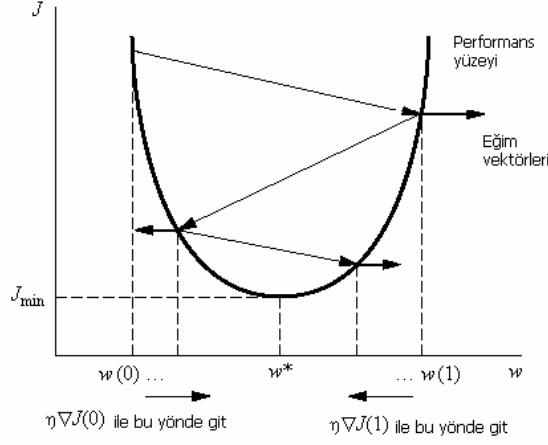
Bir fonksiyonun minimumunun araştırılması, gradyan bilgisine dayanan genel yöntemler kullanılarak verimli bir şekilde yapılabilir. Gradyan, arama işlemi açısından iki ana üstünlüğe sahiptir;

- Gradyan yerel olarak hesaplanabilir.
- Gradyan her zaman maksimum değişim yönünü gösterir.

Eğer hedef minimuma ulaşmak ise, arama işlemi gradyanın tersi yönünde gerçekleştirilmelidir. Gradyan hesabı için aşağıdaki eşitlikten faydalanılır;

$$w(n+1) = w(n) - \eta \nabla J(n) \quad (3.4)$$

η küçük bir sabit ve $\nabla J(n)$ performans yüzeyinin n 'nci yinelemedeki gradyanıdır. Sabit η değeri, arama işlemindeki kararlılığı sürdürebilmek, yani işlem noktasının performans yüzeyinde çok uzağa gitmesini önlemek için kullanılır. Bu arama yöntemi en hızlı iniş (steepest descent) yöntemi olarak bilinmektedir (Ermiş, 2005). Şekil 3.6'da gradyan bilgisini kullanarak araştırma yaklaşımı gösterilmektedir.



Şekil 3.6 Gradyan bilgisini kullanarak araştırma (Principe vd., 2000)

3.3.5.2 Gradyanın tahmin edilmesi

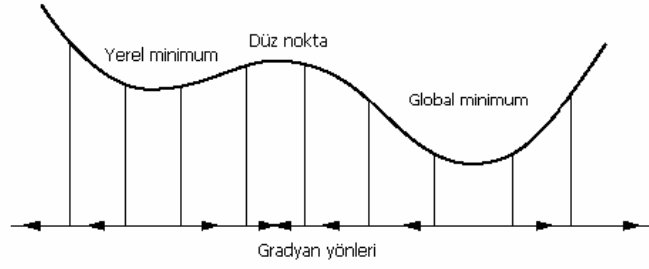
Adaptif sistem parametrelerini en iyilemek için gradyan kullanılabilir. Ancak gradyan açık olarak genellikle bilinmez ve bu nedenle tahmin edilmesi gerekir. Önceleri doğru gradyanı tahmin etmek için anlık değer kullanılmaktaydı. Bu yöntemde gradyan ağırlık başına sadece bir çağrım işlemi gerçekleştirilerek tahmin edilebilmekteydi. Esasen bu gradyan tahmini, *En Küçük Kareler Ortalaması* (EKKO) yöntemi idi. Tahmin gürültülü olmakla birlikte adaptasyon süresince gradyandaki gürültü bileşeninin ortalaması alındığından filtrelendir. Widrow'un gradyan tahmini (3.4) eşitliğinde yerine konursa en hızlı iniş eşitliği, EKKO yöntemi olarak bilinen aşağıdaki eşitliğe dönüşür (Widrow ve Hoff, 1960);

$$w(n+1) = w(n) + \eta \varepsilon(n) x(n) \quad (3.5)$$

η küçük bir sabittir ve *adım büyüklüğü* veya *öğrenme oranı* olarak adlandırılır. $x(n)$ n 'inci yinelemedeki bağımsız değişkeni ve $\varepsilon(n)$ ise regresyon hesaplamadaki tahmin hatasını gösterir. EKKO yöntemi ile tanımlanan gradyan tahmini tek boyuttan çok boyuta genişletilebilir. Ayrıca EKKO çok boyutta da yerel hesaplamaları kullanır. Yani, i 'nci ağırlık elemanı için;

$$w_i(n+1) = w_i(n) + \eta \varepsilon(n) x_i(n) \quad (3.6)$$

Yani i . nöron için giriş değeri ile bir önceki adımdaki hata değerinin ve öğrenme oranının çarpımı eski ağırlık değerleri ile toplanarak yeni ağırlık değeri hesaplanır (Ermiş, 2005).



Şekil 3.8 Dış bükey olmayan performans yüzeyleri (Principe vd., 2000)

Gürültü içeren gradyan, yerel minimum noktası veya eyer noktasından kurtulabilme şansını artırır. Dış bükey olmayan performans yüzeylerinde adaptasyon algoritmasının kontrolü çok daha hassas ve dikkat isteyen bir yapıdadır. Gradyan arama daha az sağlam olmasına rağmen, doğrusal olmayan işlem elemanı kullanmamızın nedeni, daha iyi performans elde edebilmekten ve hesaplama gücünden kaynaklanmaktadır (Ermiş, 2005).

Literatürde genellikle zaman serileri analizinde “Çok Katmanlı Algılayıcı Modeli” ile “Radyal Taban Fonksiyonlu Ağlar” kullanılmaktadır. Bu tez çalışması da zaman serileri analizini ön planda tuttuğundan, bu iki sinir ağı yapısı uygulanmıştır. Bu modellerle ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.4 Çok Katmanlı Algılayıcı Modeli

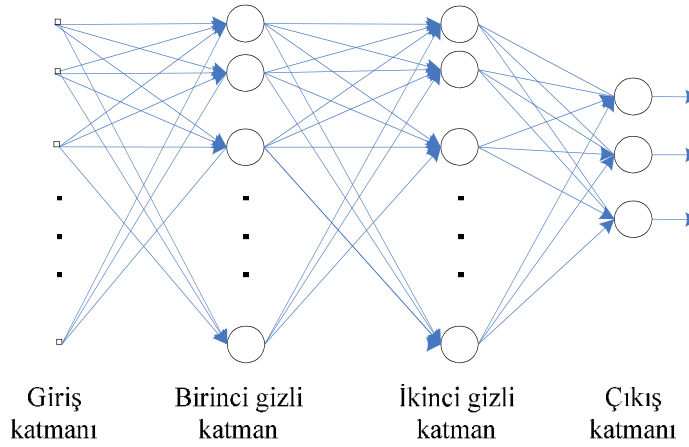
Genel olarak statik örüntü sınıflandırmada, iki saklı katmanlı Çok Katmanlı Algılayıcı modeli (ÇKA) universal bir sınıflandırıcıdır. Diskriminant fonksiyonları, giriş veri kümelerine bağlı olarak herhangi bir biçimde olabilir. Ayrıca, ağırlıklar uygun bir biçimde standartlaştırıldığında ve çıkış sınıfları (0, 1)’e normalleştirildiğinde, sınıflandırma bakış açısına göre en iyi performansı gösterir. Eşleştirme yetenekleri açısından Çok Katmanlı İleri Beslemeli YSA’nın herhangi bir fonksiyonu, yaklaşık olarak temsil edebileceğine inanılmaktadır (Ermiş, 2005).

ÇKA modeli, eğitici öğrenme stratejisine göre çalışır. Yani bu ağlara eğitim sırasında hem girişler, hem de o girişlere karşı üretilmesi beklenen çıkışlar gösterilir. Ağın görevi her giriş için o girişe karşılık gelen çıkış üretmektir. ÇKA ağının öğrenme kuralı, en küçük kareler yöntemine dayanan *Delta Öğrenme Kuralı*nın genelleştirilmiş halidir (Öztemel, 2003).

Çok katmanlı algılayıcıların iki önemli karakteristiği aşağıdaki şekildedir (Ermiş, 2005);

- Doğrusal olmayan işlem elemanlarının eğriliğinin düzgün olması (lojistik fonksiyonu ve hiperbolik tanjant en yaygın olarak kullanılır),
- Çok fazla miktarda birbirine bağlı olma (yani, verilen herhangi bir katmandaki elemanın, bir sonraki katmanda yer alan bütün elemanları beslemesi).

Bu yapıda nöronlar katmanlar şeklinde organize edilmiştir ve her katmanda en az bir nöron bulunmaktadır. Bir önceki katmandaki tüm nöronlar, bir sonraki katmanda yer alan nöronlarla bağlantı içermektedir. Şekil 3.9’da ÇKA modeli gösterilmektedir (Haykin, 1994).



Şekil 3.9 Çok katmanlı algılayıcı modeli (Haykin, 1994)

Her bir nöron, verilen giriş vektöründen (x) aldığı uyarımın miktarına göre çıkış değerini hesaplar. Daha açıkça ifade etmek gerekirse, bir nöronun net giriş değeri, ona olan girişlerin tartılandırılmış toplamına eşittir. Çıkışı ise bu net giriş değerinin büyüklüğünü gösteren bir aktivasyon fonksiyonuna göre hesaplanır. Yani gizli katmanın j 'inci nöronu için (l :1 giriş katmanı, n : yineleme sayısı) (Ermış, 2005; Haykin,1994);

$$net_i^l(n) = \sum_{j=1}^p w_{ij} x_j(n) \text{ ve } y_i(n) = f(net_i^l(n)) \quad (3.7)$$

ve k 'nci çıkış birimi için (l :L çıkış katmanı);

$$net_k^L(n) = \sum_{i=1}^p w_{ki} y_i(n) \text{ ve } y_k(n) = f(net_k^L(n)) \quad (3.8)$$

olarak tanımlanır.

Belirli bir giriş örüntüsü için, ağ bir çıkışlar kümesi y_k üretir ve bu tepki her bir nöronun

istenilen mevcut çıkışları d_k ile karşılaştırılır. Ardından sinir ağının ağırlıkları hatayı düzeltmek veya azaltmak için değiştirilir ve yeni bir örüntü oluşturulur. Ağırlıklar bu şekilde, toplam hata daha önceden belirlenmiş tolerans düzeyinin altında kalıncaya veya sinir ağının test kümesindeki performansının kötüleşmesi ile ölçülen aşırı eğitime başlanıncaya kadar sürekli değiştirilir. Ağırlıkların güncelleştirilmesi “geriye yayılım” eşitliği kullanılarak yapılır (Ermiş, 2005; Haykin,1994);

$$w_{ij}(n+1) = w_{ij}(n) + \eta f'(net_i(n)) \left(\sum_k \varepsilon_k(n) f'(net_k(n)) w_{ki}(n) \right) y_j(n) \quad (3.9)$$

Eşitlikteki toplam değeri, çıkış işlem elemanının i 'inci işlem elemanına bağlayan ağırlık değeri ile, ölçeklendirilmiş ağın her bir çıkış nöronundaki yerel hataların toplamıdır. Bu nedenle (3.10) eşitliğinde parantez içindeki terim, çıkış katmanından i 'inci işlem elemanına ulaşmadaki toplam hatayı etkin olarak hesaplar. Yerel hata;

$$w_{ij}(n+1) = w_{ij}(n) + \eta f'(net_i(n)) \left(\sum_k \varepsilon_k(n) f'(net_k(n)) w_{ki}(n) \right) y_j(n) \quad (3.10)$$

Öğrenme sinir ağları teknolojisinde önemli bir adımdır ve giriş verilerinden gereksinim duyulan bilgilerin elde edilmesi prosedürüdür. Eğer öğrenme tam olmazsa, ağırlık değerleri en iyi değerlere yakın olmayacaktır. İşin kötüsü arama sezgisel olarak kontrol edilebilir. Sinir ağlarını eğitmede aşağıdaki konuların her birisini etkileyen etmenlerin iyice anlaşılması gerekir (Ermiş, 2005):

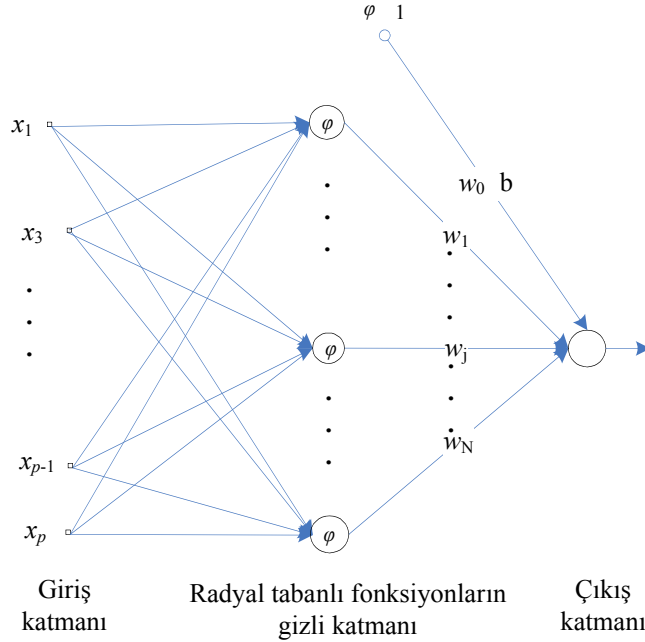
- Kullanıcının aramayı doğrudan etkilemesi,
- Ağırlıkların başlangıç değerlerinin seçimi,
- Öğrenme oranı,
- Arama algoritmaları,
- Durdurma kriterleri.

Ayrıca, performansın iyi olması, sistemi eğitmede kullanılan veri kümesinin miktarı ve kalitesine de bağlıdır.

3.5 Radyal Taban Fonksiyonlu Sinir Ağları

Çalışmada uygulanan bir diğer yapı olan Radyal Tabanlı Fonksiyonlar (RTF), doğrusal

olmayan fonksiyonun doğrusal bir kombinasyonudur. Yani RTF ağıının girişleri doğrusal değilken, çıkışı doğrusaldır. Özellikle enterpolasyon, zaman serileri modelleme, sistem tanımlama, kontrol mühendisliği, segmentasyon vb. konularda başarıyla uygulanmaktadır (Haykin, 1994). Şekil 3.10’da bir RTF modeli yer almaktadır.



Şekil 3.10 Radyal taban fonksiyonlu sinir ağıları (Haykin, 1994)

RTF ağlarında temel fikir, bir grup radyal taban fonksiyonu, istenen f fonksiyonuna yaklaşacak şekilde ağırlıklandırarak toplamaktan ibarettir. RTF üç katmanlı bir yapıdır. Giriş vektörü giriş uzayı ile çıkış katmanı da örüntü sınıfları ile ilişkilidir. Böylelikle tüm yapı, gizli katmanın yapısı ve gizli katman ile çıkış katmanı arasındaki ağırlıkların belirlenmesine indirgenir (Bolat, 2005).

ÇKA modelinin aksine aktivasyon fonksiyonu sigmoid değildir. RTF ağıındaki her işlem elemanı gauss ya da multi kuadratic fonksiyon gibi radyal tabanlı fonksiyonları kullanmaktadır. Bu çalışmada aktivasyon fonksiyonu olarak gauss fonksiyonu kullanılmıştır (Haykin, 1994);

$$\varphi_j(x) = \exp\left(-\frac{\|x - c_j\|^2}{2\sigma_j^2}\right) \quad (3.11)$$

Gizli katmandaki nöronların aktivasyon fonksiyonları bir c_j merkezi ve σ_i bant genişliği

(yayılma sabiti) ile belirlenir (Bolat, 2005). RTF bir x vektörünün merkeze olan uzaklığına dayalı gerçek değerli bir fonksiyondur. Dolayısıyla $\varphi(x)$ fonksiyonu x giriş vektörünün, c_j merkeze olan uzaklığı göz önüne alan bir fonksiyondur (Haykin, 1994). Bu durumda öklidyen uzaklığını baz alan RTF ağlarının genel gösterimi şöyledir;

$$y_k(x) = \sum_{k=1}^M w_{kj} \varphi_j(x) + w_{k0} \quad (3.12)$$

RTF ağları ile ÇKA modellerinin arasındaki fark Çizelge 3.1’de yer almaktadır (Haykin, 1994);

Çizelge 3.1 ÇKA ve RTF ağlarının karşılaştırılması (Haykin, 1994)

ÇKA	RTF
Bir veya birden fazla gizli katmana sahiptir.	Bir gizli katmana sahiptir.
Hesaplama düğümleri genelde gizli katmanda ya da çıkış katmanındadır.	Gizli katmandaki hesaplama düğümü çok farklı bir amaç taşımaktadır.
Hem gizli, hem de çıkış katmanı doğrusal değildir.	Gizli katman doğrusal değilken, çıktı katmanı doğrusaldır.
Herbir gizli birimin aktivasyon fonksiyonu giriş vektörünün iç sonucunu ve vektörün sinaptik ağırlıklarını hesaplar.	Herbir gizli birimin aktivasyon fonksiyonunun argümanı Öklidyen uzaklığını hesaplar
Doğrusal olmayan giriş-çıkış eşleşmesi için <i>global</i> yakınsamalar gösterir.	Doğrusal olmayan giriş-çıkış eşleşmesi için <i>yerel</i> yakınsamalar gösterir.

3.6 Bulanık Çıkarım Sistemleri

Bulanık mantık 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından sunulan klasik matematiksel işlemlerle çözümlemesi zor karmaşık sistemleri tanımlamak üzere oluşmuş bir mantık yapısıdır. Belirsiz bilgileri işleyebilme ve kesin rakamlar ile ifade edilemeyen durumlarda karar vermeyi kolaylaştıran bir teknoloji olan bulanık mantık yaklaşımı, 1970’lerden itibaren oldukça popülerite kazanmış, ekonomi, yönetim, tıp, süreç kontrolü gibi konularda sıklıkla uygulama alanı bulmuştur.

Bulanık kümeler, μ ile gösterilen ve $[0,1]$ aralığına karşılık gelen üyelik fonksiyonları şeklinde ifade edilirler. Kesin kümelerde 1 ve 0 uç değerleri, üyelik olması ve olmamasına işaret ederken, 0 ve 1 aralığındaki değerler bulanık kümelerdeki kısmi üyeliği gösterirler (Babuška ve Verbruggen, 2003).

Klasik matematiksel tekniklere dayalı sistem modelleme, belirsiz ve iyi tanımlanmamış sistemlere uygun bir yaklaşım değildir. Tam tersi, *bulanık “eğer-o halde” (if-then) kurallarını* kullanan *bulanık çıkarım sistemleri* (BÇS), kişisel bilgi ve nedenlendirme sürecini daha

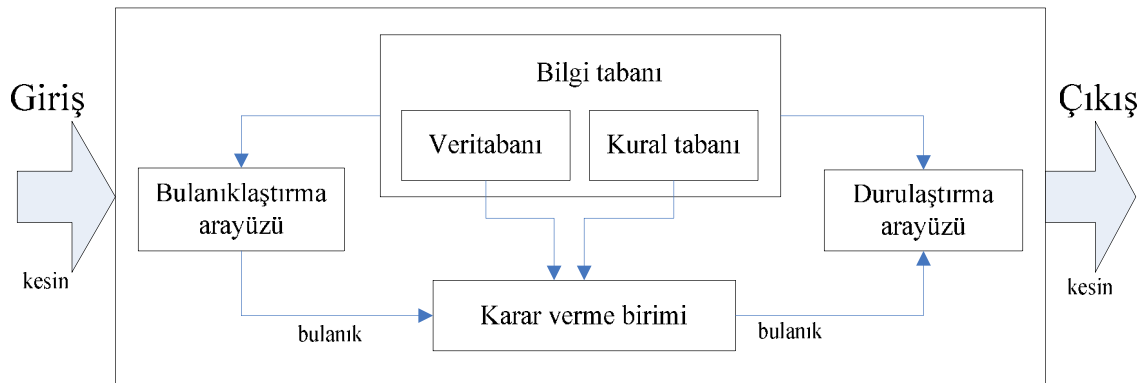
kalitatif bir bakış açısıyla ve herhangi bir kesin kantitatif analiz uygulamadan modelleyebilir. *Bulanık modelleme* veya *bulanık tanımlama* ilk olarak Takagi ve Sugeno (1985) tarafından ortaya atılmış, kontrol, tahmin ve çıkarım alanlarında bu konuda birçok çalışma yapılmıştır. Bununla birlikte bu yaklaşımın daha iyi anlaşılması gereken tarafları vardır (Jang, 1993):

1. Kişisel bilginin ve tecrübenin bir bulanık çıkarım sisteminin veritabanına ve kural tabanına aktarımı için standart bir metot bulunmamaktadır.
2. Çıkış hata ölçümlerini minimize ve performans indeksini maksimize edebilmek için üyelik fonksiyonunu ayarlayabilecek etkin bir metot ihtiyacı bulunmaktadır.

BÇS, sinir ağları gibi, giriş-çıkış fonksiyonlarını tahmin eden dinamik ve paralel işlem sistemleridir. Bir BÇS’de değişkenler arasındaki ilişki bulanık “*eğer-o halde*” kuralları aracılığı ile sunulur (Castro ve Miranda, 2002);

EĞER (öncül kısım) ***O HALDE*** (soncul kısım)

Öncül kısım “*x A ise*” ifadesinin bir bulanık önermesidir. *x* burada sözel bir değişkeni, *A* ise bir bulanık küme ile tanımlanan sözel bir terimi göstermektedir (Castro ve Miranda, 2002). Bulanık “*eğer-o halde*” kuralları veya bulanık koşul ifadeleri, *A* ve *B* uygun üyelik fonksiyonları ile karakterize edilen bulanık kümeler olmak kaydıyla, “*eğer A ise o halde B dir*” formunun ifade edilmiş halidir. Bu kısa forma bağlı olarak, bulanık “*eğer-o halde*” kuralları, genellikle belirsizlik ortamında karar vermek için kişisel yargıların temel rol oynadığı çıkarımı yakalayabilmek için uygulanır. Bulanık çıkarım kuralları, BÇS’nin özünü oluşturmaktadır. *Bulanık kural tabanlı sistemler*, *bulanık modeller*, *bulanık çağrışımlı bellekler* ya da *bulanık kontrolörler* olarak da bilinen BÇS, Şekil 3.11’de gösterildiği üzere temel olarak beş fonksiyonel bloktan oluşmaktadır (Jang, 1993).



Şekil 3.11 Bulanık çıkarım sistemi (Jang, 1993)

Bulanıklaştırma, bulanık olmayan bir büyüklüğün, bulanık bir büyüklüğe dönüştürülmesidir. Bunun için, üyelik fonksiyonları kullanılarak girişlerin bulanık kümelerden hangisine, hangi derecede ait olduğu belirlenir. Girişler, giriş değişkeninin evrensel kümesinde bulunan sayısal değerlerle sınırlıdır. Çıkış ise, kümeyi niteleyen üyeliğin 0-1 aralığında bulanık bir derecesidir. Girişler bulanıklaştırıldıktan sonra, sistemin yapısına göre kural tabanı belirlenir. BÇS’de değişkenler arasındaki ilişkiler, bulanık kurallarla ifade edilir. Verilen bir kuralın öncül önermesi birden fazla bölüme sahipse, tek bir sayı elde etmek için bulanık operatörler kullanılır. Bu sayı daha sonra çıkış fonksiyonuna uygulanır. Bulanık operatörün girişi, bulanıklaştırılmış giriş değişkenlerinden oluşan iki veya daha fazla üyelik değeridir. Bununla beraber, kurallardan belirlenen çıkış değerlerinin toplamı, bulanık kümedir. Bu sebeple tek bir çıkış değeri elde etmek için küme durulaştırılmalıdır. Durulayıcı, çıkarım mekanizmasının ürettiği bulanık kümeleri gerçel değerli sistem çıkışına dönüştürür (Kalenderli vd., 2006).

“Eğer-o halde” kurallarına bağlı kalarak, bulanık modeller iki şekilde ayrılırlar; Mamdani (ya da sözel) modeller ve Takagi-Sugeno modelleri (Castro ve Miranda, 2002; Babuška ve Verbruggen, 2003).

- **Mamdani modeli:** Bu modelde öncül kısım (kuralın “eğer” kısmı) ve soncul kısım (kuralın “o halde” kısmı) bulanık önermelerden oluşmaktadır;

$$R_i: \text{Eğer } x \text{ } A_i \text{ ise o halde } y \text{ } B_i \text{ dir,} \quad i = 1, 2, \dots, K. \quad (3.13)$$

Buradaki A_i ve B_i ön ve son kısmı bulanık kümelerle gösterilen sözel terimler (küçük, büyük, vs.), K ise modeldeki kuralların sayısıdır. Sözel bulanık model kalitatif bilgiyi göstermekte oldukça kullanışlıdır. Mamdani modeli tipik olarak bilgi-tabanlı (uzman) sistemlerde kullanılır.

- **Takagi-Sugeno modeli:** Özellikle veri yönelimli tanımlamalarda Takagi-Sugeno (TS) modeli oldukça popülerdir. Sadece “Sugeno modeli” olarak da adlandırılır. Bu modelde, kuralın öncül kısmı bulanık tanımlanırken, soncul kısmı kesin değerler içerir ve giriş değişkenlerinin doğrusal bir fonksiyonu olarak tanımlanır;

$$R_i: \text{Eğer } x \text{ } A_i \text{ ise o halde } y_i = a_i^T x + b_i, \quad i = 1, \dots, K. \quad (3.14)$$

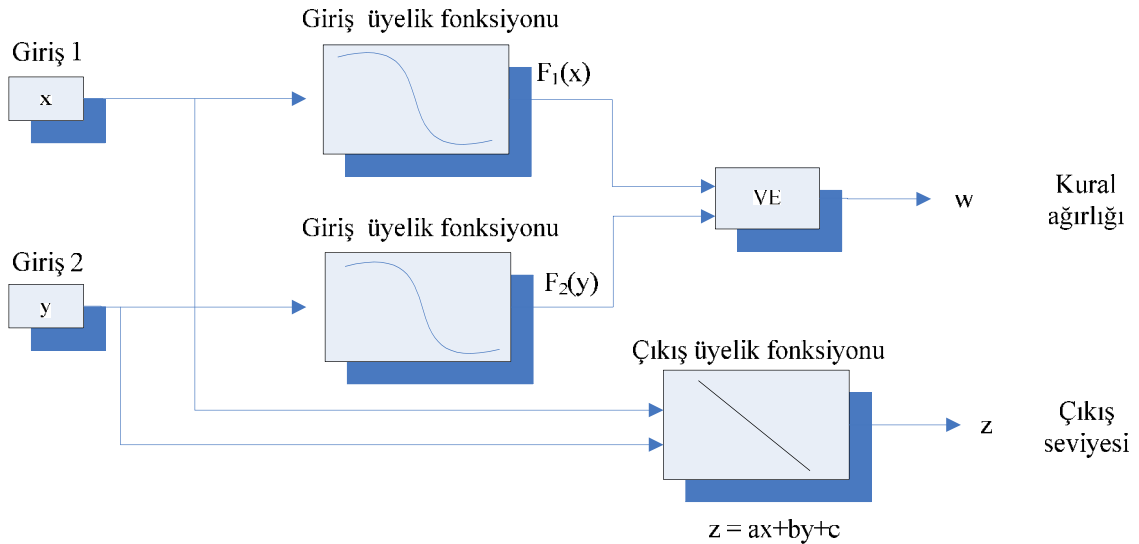
a_i sonuç parametre vektörü, b_i ise skaler bir ofsettir. Bu model standart fonksiyonel regresyon ile sözel tanımlamaları birleştirmektedir. Kuralın öncül kısmı, sonuç fonksiyonlarının geçerli olduğu girdi uzayındaki bulanık alanları tanımlamaktadır. y çıkışı,

kuralların ayrı ayrı ağırlıklandırılmış ortalaması alınarak hesaplanır.

$$y = \frac{\sum_{i=1}^K \beta_i(x) y_i}{\sum_{i=1}^K \beta_i(x)} = \frac{\sum_{i=1}^K \beta_i(x) (a_i^T x + b_i)}{\sum_{i=1}^K \beta_i(x)}, \quad (3.15)$$

$\beta_i(x)$, i . kuralın tatmin derecesidir ve (3.14) eşitliği için $\beta_i(x) = \mu_{A_i}(x)$ ’a eşittir. Ön kısımdaki bulanık kümeler, farklılığı belirgin bir biçimde tanımlamak üzere kullanılmıştır, giriş uzayında alanların kısmen birbiri üzerinde örtüştüğü görülür. Böyle durumlarda a_i parametreleri, doğrusal olmayan sistemin yerel doğrusal modelleri olarak yaklaşır. Takagi-Sugeno modelinin, doğrusal olmayan bir fonksiyonun parçalı doğrusal fonksiyonu olarak yaklaştığı farzedilir. Öncül ve soncul değişkenlerin farklı olabileceğine de dikkat çekilmektedir.

1985 yılında Sugeno (1985) tarafından ortaya atılan bu teknik birçok yönleri bakımından Mamdani bulanık çıkarım metoduyla benzerlikler göstermektedir. Bulanık çıkarım sürecinin ilk iki parçası olan girişleri bulanıklaştırma ve bulanık operatörünü uygulama kısmı her iki metotta da neredeyse aynıdır. Aralarındaki temel fark Sugeno çıkışının üyelik fonksiyonlarının doğrusal ya da sabit özellikler göstermesidir [2]. Bir Sugeno kuralı Şekil 3.12’de gösterilen diagram aşağıdaki gibi çalışır [2];



Şekil 3.12 Sugeno kuralı çalışma prensibi [2]

Literatürde, model, (3.14) eşitliğindeki gibi, giriş değişkenlerindeki sonuç parametrelerinin birinci dereceden polinomlar içermesi durumunda “birinci derece TS modeli” adını almaktadır. Sonuçların sabit olması durumunda (sıfırıncı dereceden

polinomlar) “sıfırıncı derece TS modeli” olarak isimlendirilmektedir (Babuška ve Verbruggen, 2003);

$$R_i: \text{Eğer } x \text{ } A_i \text{ ise o halde } y_i = b_i \quad (3.16)$$

Bu model için (3.15) eşitliğindeki yapı aşağıdaki şekle dönüşür;

$$y = \frac{\sum_{i=1}^K \beta_i(x) b_i}{\sum_{i=1}^K \beta_i(x)} \quad (3.17)$$

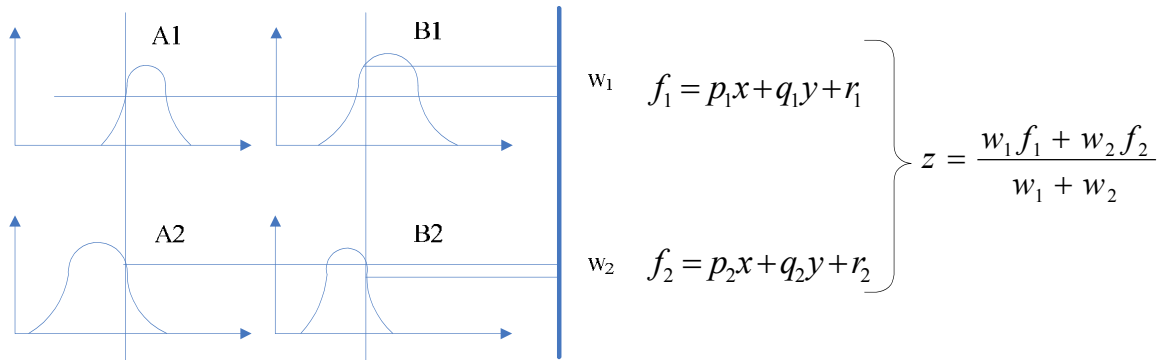
Bu çalışmada ANFIS yapısı kullanılacağından, aşağıda detaylı olarak konunun açıklaması yapılmıştır.

3.7 Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi

Adaptif ağ yapısına dayalı bulanık çıkarım sistemi (Adaptive network based fuzzy inference system-ANFIS), parametre tanımlama problemi ile başa çıkabilmek için önerilmiş bir yapıdır. ANFIS, sinirsel öğrenme kabiliyetine sahip Sugeno tipi bulanık sistemlerin grafiksel bir ağ yapısı olarak gösteriminden ibarettir. Bu ağ, her biri belirli bir fonksiyonu gerçekleştirmek üzere katmanlar halinde yerleştirilmiş düğümlerin birleşiminden oluşmuştur (Tsoukalas ve Uhrig, 1997).

Yöntemin esası, belirli bir giriş-çıkış veri kümesinden yararlanılarak uygun bulanık kural kümesini ortaya konulması ve adaptif özellikli bir ağ yapısı vasıtasıyla sistem parametrelerinin sistematik olarak ayarlanmasına dayanır.

BÇS’nin yapısını anlayabilmek için, sistemin iki girişi (x ve y) ve bir çıkışı (z) olduğu farzedilmiştir.



Şekil 3.13 Birinci derece Sugeno tip bulanık model (Takagi ve Sugeno, 1983)

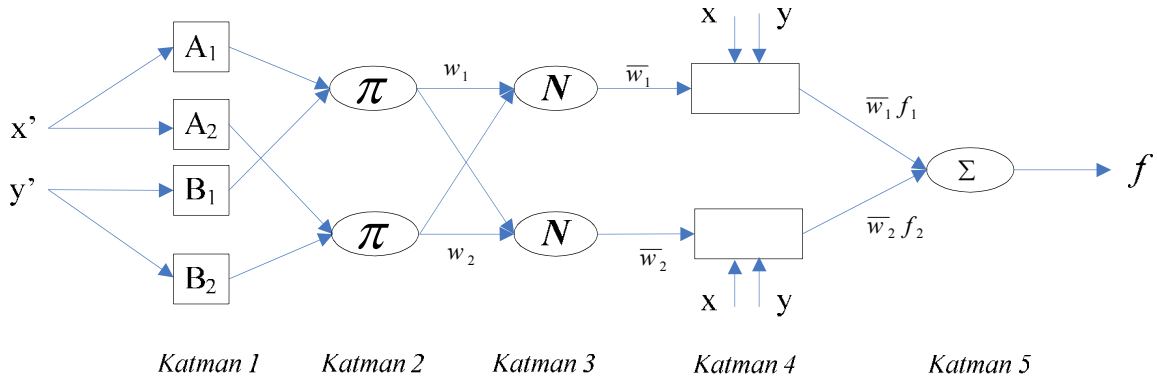
İki adet bulanık kuraldan oluşan birinci derece Sugeno modeli değerlendirildiğinde, sözü edilen kurallar aşağıdaki gibi gösterilir (Takagi ve Sugeno, 1983);

$$\text{Kural 1: Eğer } x \text{ } A_1 \text{ ise VE } y \text{ } B_1 \text{ ise, o halde } f_1 = p_1x + q_1y + r_1 \quad (3.18)$$

$$\text{Kural 2: Eğer } x \text{ } A_2 \text{ ise VE } y \text{ } B_2 \text{ ise, o halde } f_2 = p_2x + q_2y + r_2$$

Burada p , q ve r doğrusal çıkış parametreleridir. A_i ve B_i ANFIS'in giriş üyelik fonksiyonlarıdır. Şekil 3.13'de bu kurallar grafiksel olarak ifade edilmiştir (Takagi ve Sugeno, 1983).

ANFIS sayesinde (3.18) eşitliğinde gösterilen kuralları gerçekleyen bir yapı kurabilir. Şekil 3.14'te iki girişli ve bir çıkışlı bir ANFIS'in temel yapısı görülmektedir. Bu yapı 5 katman ve 4 adet eğer-o halde kuralı kullanılarak oluşturulmuştur (Jang, 1993).



Şekil 3.14 İki girişli ve bir çıkışlı bir ANFIS yapısı (Jang, 1993)

İlk katman giriş değişkenlerinin bulanıklaştırıldığı; ikinci katman kuralların öncül parametrelerinin hesaplanması için T-norm operatörlerinin yerleştirildiği; üçüncü katman kural ağırlıklarının normalize edildiği; dördüncü katman kuralların sonuç parametrelerinin belirlendiği; beşinci katman ise tüm bu gelen sinyallerin toplanarak çıkışı oluşturdıkları katmandır (Abraham, 2001).

ANFIS'in aynı katmanlarındaki düğümler, aynı fonksiyon ailesine aittir ve aşağıdaki şekilde ifade edilir (Jang, 1993);

Katman 1: Bu katmandaki her düğüm, sözel ifadenin üyelik fonksiyonlarını oluşturmaktadır. Örneğin i . düğüm şu bulanıklaştırma operasyonunu gerçekleştirir;

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - c_i}{a_i} \right)^2 \right]^{b_i}}, \quad i=1, 2. \quad (3.19)$$

x , i . düğüme gelen girişı, A_i bu düğümlle ilgili sözel ifade kümesini (küçük, büyük, vs.) göstermektedir. Parametre kümesi, $\{a_i, b_i, c_i\}$, üyelik fonksiyonu şeklinin ayarlanmasında kullanılır.

Katman 2: Bu katmandaki her düğüml, her kuralın ağırlığını çarpım (ya da min) yöntemiyle hesaplar;

$$O_i^2 = w_i = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(y), \quad i=1, 2 \quad (3.20)$$

Katman 3: Bu katmanın i . düğümlü i . kuralın ağırlığının tüm kuralların ağırlıklarının toplamına bölümünü hesaplar;

$$O_i^2 = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1, 2 \quad (3.21)$$

Katman 4: Bu katmandaki i . düğüml aşağıdaki fonksiyona sahiptir;

$$O_i^2 = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (3.22)$$

$\bar{w}_i$, katman 3'ün çıktısını, $\{p_i, q_i, r_i\}$ ise parametre kümesini göstermektedir. Bu katmandaki parametreler *sonuç parametreleri* olarak adlandırılır.

Katman 5: Bu katmanda bulunan tek bir düğümlde gelen tüm sinyallerin toplamı *genel sonuç* olarak sunulur.

$$O_i^5 = \text{genel sonuç} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (3.23)$$

Görülmektedir ki, verilen öncül parametre değerleri ile çıktı değişkeni, soncul değişkenlerin doğrusal kombinasyonu olarak ifade edilebilmektedir. ANFIS modelinin çıktısı daha açık bir şekilde şöyle yazılabilir (Jang, 1993);

$$f = \frac{w_1}{w_1 + w_2} f_1 + \frac{w_2}{w_1 + w_2} f_2. \quad (3.24)$$

(3.21) eşitliği, (3.24) eşitliğine göre değiştirildiğinde (3.25) eşitliği elde edilir.

$$f = \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2. \quad (3.25)$$

“Eğer-o halde” kuralları (3.25) eşitliğine göre değiştirildiğinde (3.26) eşitliği elde edilir.

$$f = \bar{w}_1 (p_1 x + q_1 y + r_1) + \bar{w}_2 (p_2 x + q_2 y + r_2). \quad (3.26)$$

Tüm bu düzenlemelerden sonra f çıktısı (3.27) eşitliğindeki gibi ifade edilir.

$$f = (\bar{w}_1 x) p_1 + (\bar{w}_1 y) q_1 + (\bar{w}_1) r_1 + (\bar{w}_2 x) p_2 + (\bar{w}_2 y) q_2 + (\bar{w}_2) r_2. \quad (3.27)$$

ANFIS, öncül parametrelerin belirlenmesinde (üyelik fonksiyonlarının öğrenmesinde) *geriye yayılım algoritmasını*, soncul parametrelerin belirlenmesinde (kural sonuçlarının doğrusal kombinasyonlarının katsayılarının belirlenmesinde) ise *en küçük kareler ortalamasını* kullanmaktadır (Abraham, 2001).

Sugeno metodunda, giriş değişkenleri üzerindeki her kuralın modele doğrusal bir bağımlılığının olması, bu metodun dinamik doğrusal olmayan bir sistemde farklı operasyonlara uygulanacak olan çoklu doğrusal kontrol yapılarında bir tahmin edici olarak rol almasına sebep olur. Kısacası Sugeno sistemi çoklu doğrusal modeller arasında hesaplamalar yaparak doğrusal olmayan bir sistemin modellenmesi için çok uygun bir yaklaşımdır [2].

Bir Sugeno sistemi, bulanık modeller kurmak için adaptif teknikler kullanmasından ötürü bir Mamdani sistemine göre daha etkin ve yoğun bir gösterime sahiptir. Bu adaptif teknikler, eldeki mevcut veriye en iyi uyacak bulanık sistemler için kullanılacak olan üyelik fonksiyonlarını uyarlamada kullanılabilir [2].

Çizelge 3.2 Sugeno ve Mamdani metotlarının karşılaştırılması

Sugeno Metodunun Avantajları	Mamdani Metodunun Avantajları
- Etkin hesaplama yapar. - Doğrusal tekniklerle uyumlu çalışır. - Optimizasyon ve adaptif teknikleri ile uyumlu çalışır. - Çıktı yapısının sürekliliğini garanti eder. - Matematiksel analize uygundur.	- Sezgiseldir - Geniş bir kabul alanı vardır - Kişiyeye özel girdilere müsaittir.

Sugeno sistemine bir örnek kümesi sunulduğunda, sistem otomatik olarak bu örnekler için bulanık “eğer-o halde” kurallarını oluşturarak, yapının uzman bilgisine bağımlılığını

azaltmaktadır. Çizelge 3.2’de Sugeno ve Mamdani metotlarının karşılaştırılması yapılmıştır (Fuzzy Logic Toolbox, 2007).

3.8 Tedarik Zinciri ve Yapay Sinir Ağı Uygulamaları

Günümüzde birçok sanayi kuruluşunda talep değişkeni gittikçe daha karmaşık bir yapı sergilemektedir. Özellikle müşteri ihtiyaçları doğrultusunda şekillenen talepler, TZ yapısında belirsizliğe yol açan en önemli değişkenlerdir. TZ’nin belirsiz talep altındaki performansını geliştirmek için Lee vd., (2000), işletmelerin bilgilerini paylaşarak siparişlerin koordine edilmesini önermiştir. Chen vd., (2000a) TZ’de tahmin sistemleri ve bilgi paylaşımının etkilerinin önemini analiz ederek, her aşamada eksiksiz bir şekilde bilinen müşteri taleplerinin kamçı etkisini azaltacağını ortaya koymuştur. Görüldüğü gibi TZ literatürü ve yönetim pratiği TZ performansının artışına çözüm olarak talep ve tahmin bilgisi paylaşımını önermektedir. Özellikle de TZ birimlerinin envanter sistemlerine ait bilgilerin statüsünü ve tipini diğer birimlerle paylaşmaması, TZ performansını ciddi şekilde etkilemektedir.

Giderek daha çok kısalan ürün yaşam çevrimleri talepteki değişkenliği arttırmıştır. Bu durum istatistiksel analizlerin güvenilirliğini azaltmaktadır. Bu nedenle olasılık teorisi pazar talebini ve stok parametrelerini değerlendirmek için uygun bir yaklaşım olmaktan çıkmıştır (Zimmermann, 2000). Daha önce de belirtildiği üzere tahmin problemlerinde genellikle nedensel metotların (tek/çok değişkenli, doğrusal/doğrusal olmayan regresyon) ve zaman serileri analizinin içinde yer aldığı istatistiksel teknikler yaygın olarak kullanılmaktadır. Çoğunlukla parametrik olan istatistiksel verileri, eksik veya fazla hatalı verilerin olması veya veriler arasında karmaşık ilişkilerin olması gibi durumlarda kullanmak oldukça zordur. Aslında gerçek yaşamdaki veriler genellikle basit istatistiksel parametrelerle açıklanamaz ve bu verilere ait istatistikler genellikle zamana bağlı değişkenlik gösterirler. Böylesi durumlarda adaptif sinir ağı teknikleri hem daha etkilidir (yarı-parametrik veya parametrik olmayan), hem de geleneksel yöntemlere göre daha ekonomiktirler. Sinir ağları ile istatistiksel yöntemler arasındaki temel farklılık; sinir ağlarının istatistiksel dağılımla veya verilerin özellikleri ile ilgili herhangi bir varsayım yapmamasıdır. Bir diğer önemli özelliği de, doğrusal olmayan bir tahmin yöntemi olduğundan karmaşık verilerin modellenmesinde güvenilir olmasıdır. Veriler arasındaki ilişkilerin dinamik olarak değiştiği sistemlerde analiz yaparken adaptif bir yöntem kullanmak gerekir ki, sinir ağları bu özelliği doğal olarak içlerinde barındırır (Ermiş, 2005).

Klasik istatistiksel teknikler ile birlikte yapay zeka tekniklerinin kullanıldığı çalışmalar oldukça ilgi çekicidir. Özellikle sinir ağları kullanılarak çeşitli alanlarda kısa veya uzun

dönemli talep tahmini için çalışmalar yapılmıştır. Elektrik yükü tahmini (Al-Saba ve El-Amin, 1999; Beccali vd., 2004), enerji kullanımı tahmini (Hobbs vd., 1998; Sözen vd., 2005; Gonzales-Romera vd., 2007) ve turizm talebi tahmini (Law and Au, 1999; Law, 2000) bu çalışmalardan bazılarıdır. Bunlar dışında bir çok alanda sinir ağı uygulamaları mevcuttur (Du ve Wolfe, 1997; Maki ve Loparo, 1997; Wong vd. 1997; Wong ve Selvi, 1998; Kuo ve Xue, 1998b; Sabuncuoglu, 1998; Vellido vd., 1999; Palacharla ve Nelson, 1999; Wong vd, 2000; Du ve Wolfe, 2000; Alabas vd., 2002; Meireles vd., 2003; Metaxiotis ve Psarras, 2003; Cavalieri vd., 2004; Liao, 2005; Ayata vd., 2007; Efendigil vd., 2008).

Bununla birlikte malzeme işleme, üretim, dağıtım ve müşteri gibi çeşitli alanlardan oluşan bir tedarik zinciri, sinir ağları tarafından modellenebilmektedir. Tedarik zincirinde sinir ağlarının kullanıldığı alanlar; optimizasyon (transportasyon yönetimi, kaynak atama ve çizelgeleme), tahmin (bir aşamadaki belirsizlik için); modelleme ve simülasyon (kesikli durum simülasyonu ve dinamik sistemler teorisi gibi tedarik zinciri dinamikleri için), globalizasyon (farklı merkezler arasındaki koordinasyonu arttırmak için), ve karar destek (veri yönetimi ve analizi için) sistemleri şeklinde sayılabilmektedir (Leung, 1995).

Luxhøj vd. (1996) bir Danimarka firmasının aylık satışlarının tahmini için hibrit bir ekonometrik sinir ağı modeli geliştirmiştir. Bu model sinir ağlarının doğrusal olmayan örüntü tanımlama özelliği ile ekonometrik modellerin yapısal karakteristiğini entegre etmek üzere tasarlanmıştır. Gaafar ve Choueiki (2000) bir malzeme kaynakları planlamasında sipariş büyüklüğü için deterministik bir zamana bağlı değişen talep örüntüsünün belirlenmesinde sinir ağları kullanmıştır. Shervais vd. (2003) değişken bir ortamda çok-ürünlü, çok-aşamalı, çok-modelli bir fiziksel dağıtım sisteminde uygulanacak taşıma ve envanter politikalarının seçimi için sinir ağları uygulaması yapmıştır. Chiu ve Lin (2004) işbirlikçi bir TZ planı için işbirlikçi ajanlar ile sinir ağlarının birlikte çalışabileceği bir yapı tasarlamıştır. Aburto ve Weber (2007) talep tahmini için, *otoregresive entegreli hareketli ortalama (ARIMA)* ile *sinir ağlarını* birleştirerek hibrit bir akıllı sistem kurmuştur. Bu sistemin daha kesin tahminler ve daha sağlam bir ikmal sistemi için uygun olduğu sonucuna varmışlardır. Haq ve Kanan (2006) sinir ağlarını kullanarak, TZ'nin farklı alanlarında kullanılabilecek bir tahmin modeli oluşturmuştur. TZ'ni ve envanter kontrol birimlerini formüle etmek için *parçacık sürü optimizasyonu* ile *GA*'nın uygulandığı bu çalışmada her TZ katmanı için optimal talep sipariş miktarı hesaplanmıştır. Petrovic vd., (2006) talep tahminine yönelik bir karar destek sistemi önermiştir. Bu sisteme göre ikisi, bir müşteriden ve bir pazar uzmanından, diğer ikisi ise ARMA ve dekompozisyon istatistiksel yöntemlerden elde edilen dört tahmin değeri, BÇS ile

birleştirilmek suretiyle bir talep tahmini yapılmaktadır.

İş dünyasında artan belirsizlik ve karmaşıklık ortamı birçok tekniğin bir arada kullanılması eğilimini birlikte getirmiştir. Bununla birlikte sinir ağları ve bulanık sistemlerin beraber kullanıldığı çalışmalara bakıldığında mevcut çalışmaların yeterli derecede olmadığı sonucuna varılmıştır. Du ve Wolfe (1997), çalışmasında, sinir ağları ve bulanık mantık sistemlerinin uygulanabileceği özellikle çizelgeleme ve planlama, envanter kontrolü, kalite kontrolü, grup teknolojisi ve tahmin gibi alanların uygulama detaylarını sunmuştur. Escoda vd. (1997), sinir ağları ve bulanık sinir ağları ile ürün talebini belirleyebilmek için sözel değişkenlerin sunumu ve geliştirilmesi konusuna odaklanmıştır. Kuo (1998), bulanık Delfi ve bulanık sinir ağlarını kullanarak stok pazarı için bir karar destek sistemi önermiştir. Bir başka çalışmada Kuo ve Xue (1998a; 1998b; 1999) ve Kuo vd. (2002) sinir ağları ve bulanık sinir ağlarını birleştirerek kalitatif ve kantitatif faktörleri dikkate alan akıllı bir satış tahmin sistemi geliştirmiştir.

Tüm bu bahsedilen çalışmalara rağmen görüldüğü üzere TZ’de talep tahmini alanında, sinirsel ve bulanık tekniklerin uygulanması konusu, hala eksik kalan bir konudur. Bu tez çalışması sinir ağları ile sinirsel-bulanık sistemleri kullanarak entegre bir tedarik zinciri geliştirmek üzere hazırlanmıştır. Literatürde birçok çalışma çoğunlukla tek aşamalı TZ ile ilgili araştırmalara yer vermiş, çok aşamalı envanter sistemleri ise aynı tip envanter sistemi kullanıldığı farzedilerek değerlendirilmeye alınmıştır. Tüm bu eksiklikler göz önüne alınarak yapılan bu tez çalışması, TZ boyunca bilginin değişken olması ve birimlerin dağıtık olması durumuna odaklanmıştır.

3.9 Tedarik Zinciri Entegrasyonu için Geliştirilen Model

Bu tez çalışmasında tedarik zincirindeki talep olgusunun en iyilenmesinde, YSA’nın kullanım potansiyelini araştırmak, gerçek zamanlı sistemde kullanılabilecek gezgin ajan tabanlı bir karar destek sistemi yapısına zemin hazırlamak hedef alınmıştır.

Önerilen modelde, TZ’nin alt aşamalarından üst aşamalarına doğru (müşterilerden tedarikçilere) sinir ağları çalışması uygulanmış her bir katman için gerekli değişkenler ve bunların miktarları üzerinde durulmuştur. Bir bakıma kurulan bu model yapay zeka teknikleri ile çekme sistemlerinin nasıl çalışacağını göstererek, müşteri taleplerinin tedarikçi kapasiteleri ile entegre edilmesini sağlayan bir sistem olarak tasarlanmıştır. Çekme sisteminde sipariş miktarları tümüyle TZ’deki değişimlere göre belirlenmektedir. Böylece ihtiyaca en kısa sürede cevap verebilme yeteneği önem kazanmaktadır. Müşteri ihtiyaçları doğrultusunda

tedarik/itme sisteminden talep/çekme metoduna geçebilen üretim süreçleri, hızlı değişim yetenekleri ile pazar değişimlerine esnek yanıt verebilmektedirler. Amaç, siparişe göre üretim ortamı planlamasını yapmak ve teslim zamanlarına göre üretim önceliklerini belirleyerek her müşteri grubu için özel stratejiler geliştirmektir.

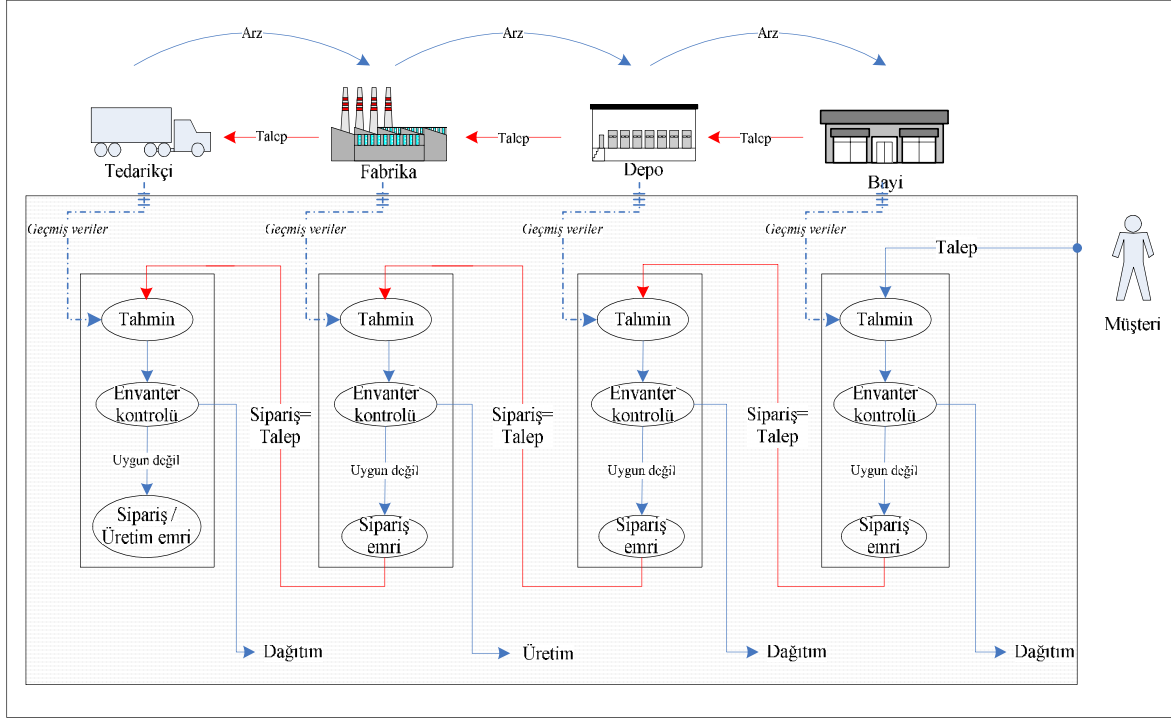
Bir işletmenin sürekli dalgalanan bir piyasa ortamında rekabetçi durumunu koruyabilmesi ve artırması için, yöneticilerin mevcut verileri kullanarak zamanında doğru kararlar vermesi gerekmektedir. Kuramsal olarak, eğer pazarlama bölümü bir sonraki dönemin satış miktarlarını tahmin edebiliyorsa, malzeme/satın alma bölümü tam zamanında teslimat yapabilmek için stok seviyesini etkin olarak kontrol edebilir. Ayrıca, üretim bölümü de detaylı planlama ve tesis kullanım oranlarını düzenleyerek üretim maliyetlerini düşürebilir. Dolayısıyla doğru ve zamanında satış tahmininde bulunmak özellikle tedarik zinciri yönetiminde çok önemlidir (Ermiş, 2005).

Literatürde dağıtık problem çözme yaklaşımını temel alan birtakım entegre tedarik zinciri yaklaşımlarına yer verilmiştir (Rudberg vd. 2002; Abid vd., 2004; Makatsoris ve Yoon, 2004; Fung ve Chen, 2005). İşbirlikçi tedarik zinciri yaklaşımı, ajan tabanlı sistemler gibi isimler alan bu yaklaşımlar, TZ alt alanlarını birbirinden bağımsız olarak sezgisel yöntemlerle ayrı ayrı eniyilemeye çalışan yaklaşımlardır, ancak sistem bütünlüğünü dikkate almamaktadırlar. Bu tez çalışmasında yine her bir alt sistem birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmiş olmakla birlikte, birbirlerine olan etkilerini de hesaba katmak ve entegre bir sistem kurmak üzerine çalışılmıştır. Her birimin girdisinin bir diğerinin çıktısı olarak tasarlandığı model, birbirleri ile etkileşime sokulan alt sistemlerin bütünselliğini sağlaması açısından entegrasyona yaklaşmaktadır.

Bu çalışmada çok amaçlı bir TZ'nin her aşaması ayrı ayrı incelenmiştir. Entegre TZ yapısı için gezgin ajan mimarisini temel alan, özellikle talep tahmini konusunda karar destek sistemi olarak kullanılabilecek bir sistem çatısının oluşturulması hedeflenmiştir. İncelenen çok aşamalı TZ yapısının ilk aşamasında, ortama bağlı olarak belirsizliğin ve rassallığın çok fazla olmasından ötürü BYSA tekniklerinden biri olan ANFIS yaklaşımı; diğer aşamalarında ise YSA yaklaşımlarından Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA) modeli ve Radyal Taban Fonksiyonlu Sinir Ağları (RTF) kullanılmıştır. Literatürdeki çalışmalara göre tahmin konusunda güzel sonuçlar veren bu iki YSA modeli karşılaştırılmış ve sistemi en iyi yansıtan model belirlenmiştir.

Yapılan tez çalışması, Şekil 3.15'te gösterildiği gibi müşteriden alınan talep bilgileri

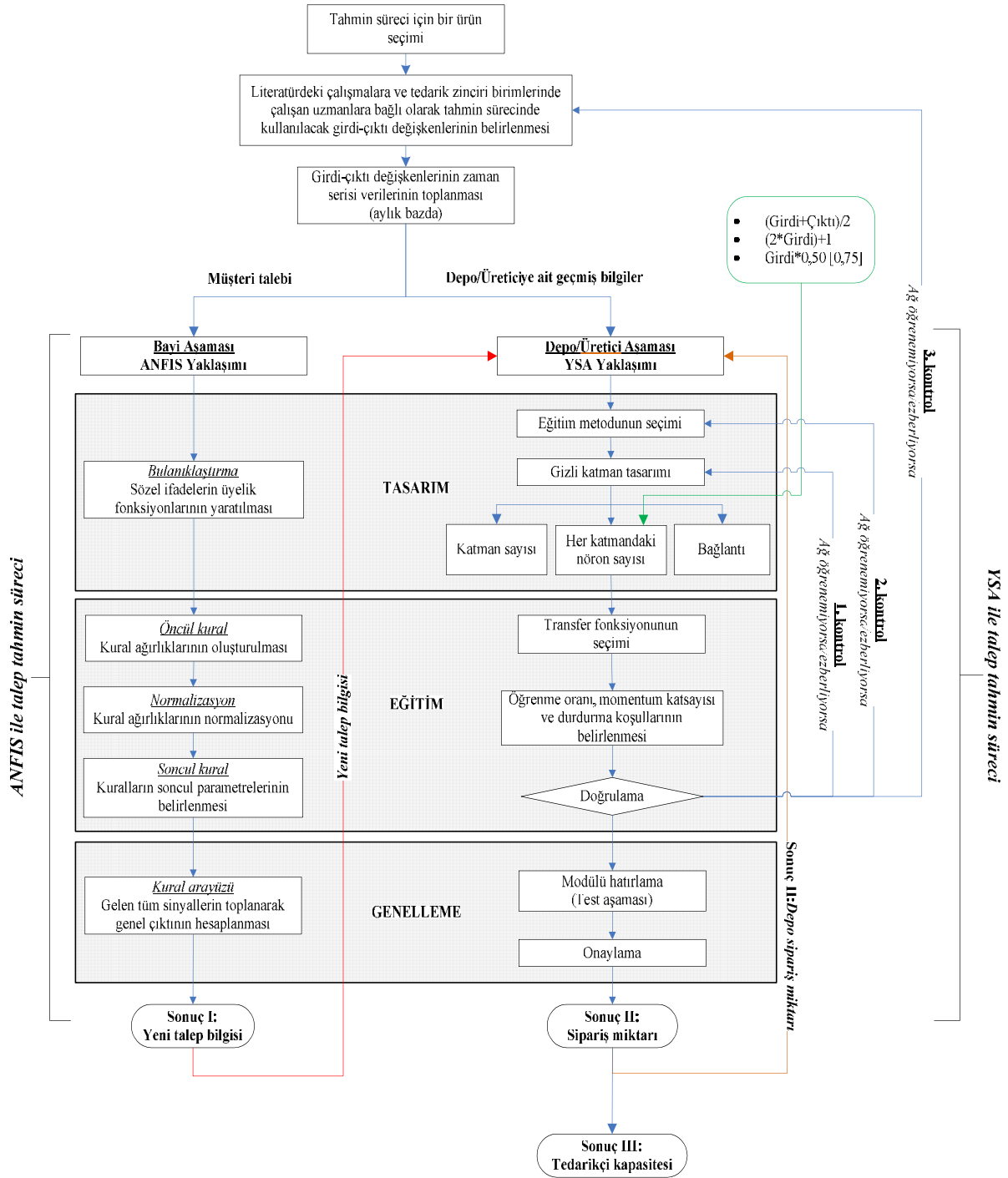
doğrultusunda ortaya çıkacak yeni talep bilgisini ve buna bağlı değişkenlerin belirlenmesini, en sonunda da tedarikçi kapasitelerinin öngörülmesini sağlayan bir tahmin mekanizması önermektedir. Tasarlanan tahmin mekanizması, kalitatif ve kantitatif değişkenleri içeren bir yapıya sahip olduğundan kullanıcıya büyük esneklik tanımaktadır



Şekil 3.15 Tez çalışmasında öngörülen bilgi akışı

Çok aşamalı bir TZ yapısının belirsizlik altında performansını arttırmaya yönelik olarak tasarlanan model, 2 seviyeli olarak öngörülmüştür. İlk seviyede BÇS tabanlı bir teknik olan ANFIS yaklaşımı, ikinci seviyede ise YSA modellerinin kullanıldığı bir yapı sunulmuştur. Model, geçmiş verilere dayanarak oluşturulmuştur. Müşteriden bayilere akan kalitatif ve/veya kantitatif bilgiler özellikle dış etkenlere bağlı kalarak belirsiz bir davranış sergilemektedir. Bu sebeple öngörülen bilgi akışı doğrultusunda; çalışmanın ilk adımında BÇS ve YSA'nın birlikte kullanıldığı ANFIS yapısı uygulanmıştır. Çalışmanın ikinci ve üçüncü adımlarında ise sadece YSA teknikleri kullanılmıştır. ÇKA ve RTF ağ modelleri arasından en düşük hatayı vererek seçilen tahmin mekanizmasını en iyi karakterize eden model yapısı belirlenmiştir. Tasarlanan model, Şekil 3.16'da detaylı şekilde açıklanmıştır. "YSA ile talep tahmin süreci" kısmı Choy vd., (2003a)'den adapte edilmiştir. Şekil 3.16'da, "YSA ile talep tahmin süreci" aşaması ÇKA ağ modeline uygun olarak, gösterilmiştir. RTF ağ modelinin işlem adımları ÇKA ağ modeline göre daha basit olduğundan ayrı bir metodoloji olarak belirtilmemiştir. ÇKA modelinde, kullanılan katman ve nöron sayısı ile nöronların özelliklerine ilişkin

denemeler yapılmış, RTF yapısında ise gauss fonksiyonu kullanılmış ve buna bağlı olarak sigma sabiti değeri ile nöron sayısına ilişkin denemeler yapılmıştır.

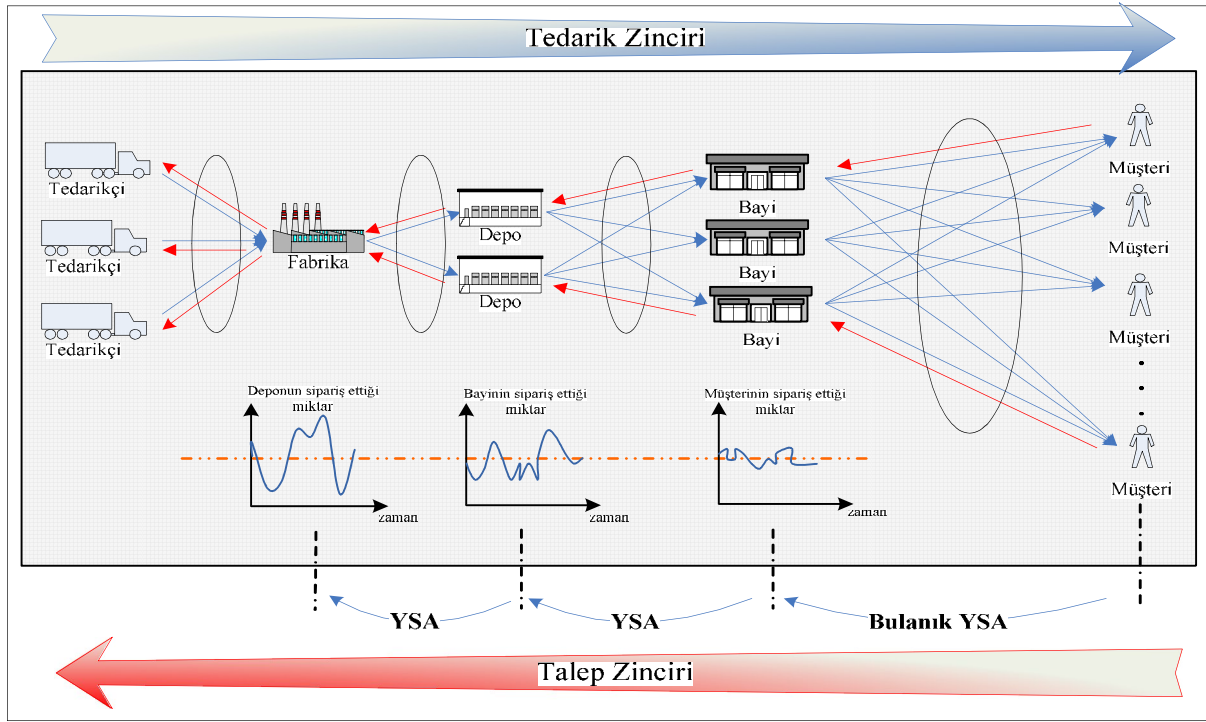


Şekil 3.16 ÇKA ağ modeli yapısına uygun olarak önerilen sistem

Model, temelde müşteri talebinden yola çıkarak tedarikçilerin kapasitelerini belirlemeye çalışan bir davranış sergilemektedir. Kompleks bir TZ yapısı daha basitleştirilerek uygulanmaya çalışılmıştır. Bir sonraki bölümde uygulama detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

4. UYGULAMA

Uygulama, Türkiye'nin en büyük elektronik üreticisi kuruluşlarından birinde yapılmıştır. İşletme, ürünlerini *görsel teknolojiler*, *enformasyon ve iletişim teknolojileri* ve *non-TV* olmak üzere üç başlık altında toplamıştır. *Görsel teknolojiler* grubu altında; analog televizyon, LCD televizyon, plazma televizyon ve dijital televizyon; *enformasyon ve iletişim teknolojileri* grubu altında; masaüstü bilgisayarlar, dizüstü bilgisayarlar, monitörler ve sunucular; *non-TV* grubu altında; elektronik yazar kasa, anten, ev-sinema sistemleri, DVD oynatıcı, ses sistemleri, faks makinesi ve telefon ürünleri bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında işletmeye en yüksek kar getiren yazar kasa ürünü incelenmiştir. İşletmenin ürünle ilgili TZ modeli, incelenmesi daha kolay olması amacıyla basitleştirilmiştir. Tez çalışmasında incelenen sistem Şekil 4.1'de yer almaktadır.



Şekil 4.1 Tez çalışmasında incelenen sistem

Üç tedarikçi, bir üretici, iki depo, üç bayi ve sınırsız müşteriye sahip şekilde sunulan tedarik zinciri süreçleri ile ilgili olarak temel varsayımlar şunlardır;

- Tüketici talebi tek bir tür son mamul için geçerlidir.
- Talepler birikmeden karşılanmalıdır.
- Bayilere gelen talepler belirsiz karakteristik göstermektedir.

- Her TZ birimi bağımsız olduğundan kendi karını maksimize etmeye çalışmaktadır.
- Her TZ biriminin periyodik gözden geçirmeli stok kontrol politikasını benimsediği kabul edilmektedir.
- Siparişler, depo ve bayilere değişken tedarik süreleri ile ulaştırılabilmektedir.

Tedarik zincirinin herbir katmanına ait değişkenler, Tsiakis vd. (2001), Talluri ve Baker (2002), Chen vd. (2003), Chen ve Lee (2004a, 2004b)'nin çalışmaları ışığında analiz edilerek ortaya çıkarılmıştır. Model her katmandaki değişkenlerin değerlendirilmesini öngörmektedir. İşletmeye ait TZ, uygun bir talep tahmini mekanizması önermek amacıyla aşağıdaki aşamalar dikkate alınarak incelenmiştir;

Aşama 1—Müşteri-Bayi Aşaması: Müşterilerden alınan geçmiş talep bilgileri ve tahminde etkin olan kalitatif ve kantitatif faktörlerin belirlenerek yeni tahminlerin yapıldığı aşamadır.

Aşama 2—Dağıtım Merkezi Aşaması: Bayilerin geçmiş talep bilgileri ve müşteri aşamasından gelen bilgilerin birlikte kullanılarak dağıtım merkezinden üreticiye akacak bilgilere ilişkin yeni tahminlerin yapıldığı aşamadır.

Aşama 3—Üretici Aşaması: Dağıtım merkezlerinin geçmiş talep bilgileri ve bayi aşamasından gelen bilgilerin birlikte kullanılarak tedarikçiye ilişkin yeni tahminlerin yapıldığı aşamadır.

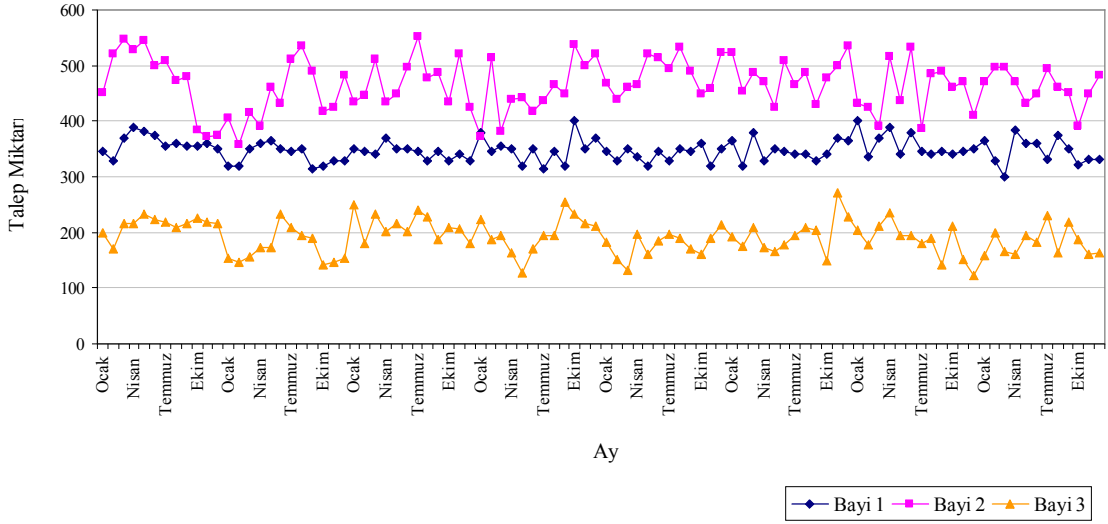
Görüldüğü gibi en son aşamada yer alan müşteri taleplerinden yola çıkılarak her katmanda önemli olan değişkenlerin belirlenmesi ve geriye doğru yapılan bir “besleme” yöntemiyle bu değişkenlerin, sistemin performansını nasıl etkileyeceğini bulmak, bu tez çalışmasının odak noktasını oluşturmaktadır. TZ’de ileri doğru gerçekleşen akışın, geriye doğru neleri etkilediğini görmek adına böyle bir sistem kurulmuştur.

Önerilen sistemi çözebilmek için Aşama 1’de Matlab 7.0 programına ait *Fuzzy Logic Toolbox*’ı kullanılarak her bir bayi için ayrı ayrı ANFIS modelleri kurulmuş ve çözülmüştür. Aşama 2 ve Aşama 3’deki sinirsel bulanık ağ yapısı için yine Matlab 7.0 programına ait *Neural Network Toolbox* kullanılarak program kodu yazılmıştır. Gereken verilerin yaratılması, girilmesi ve simülasyon çalışmalarının yapılması için *BestFit 4.5* ve *MS Excel* programı kullanılmıştır. Kurulan modeli klasik istatistiksel tahmin yöntemleri ile karşılaştırmak amacıyla *Minitab 13 istatistik* paket programı tercih edilmiştir.

Şekil 3.16’da belirlenen süreç aşağıda detaylı bir şekilde uygulanarak anlatılmıştır.

Aşama 1—Müşteri - Bayi Aşaması

Tez çalışmasında üç bayi ele alınmıştır. Bayilere gelen talepler Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.2 Müşterilerden bayilere gelen talep miktarları

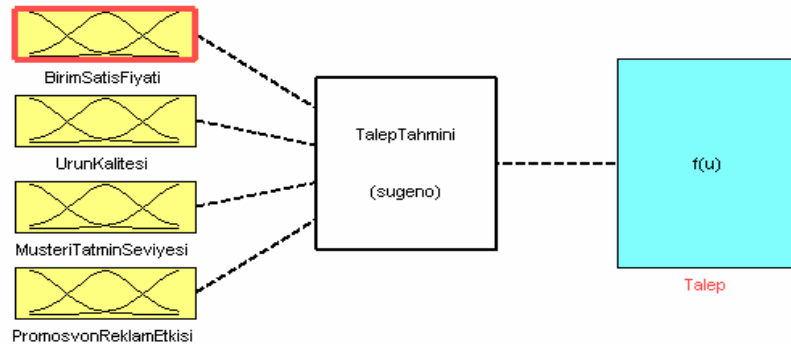
Bu bayilere gelen talepler için ANFIS tekniği kullanılarak bir tahmin çalışması yapılmıştır. Çalışmamızda müşterilerin satın alma davranışlarını etkileyen faktörler; Kuo (2001), Kuo vd. (2002), Aburto ve Weber (2007) makaleleri göz önüne alınarak aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

- *Birim ürün satış fiyatı (giriş)*; Ürün satış fiyatı, birbirinden bağımsız bayiler söz konusu olduğunda bir rekabet unsuru olarak değerlendirileceğinden müşteri davranışını etkileyen bir yapıdır. Kantitatif bir bilgi olarak işlenmiştir.
- *Ürünün kalitesi (giriş)*; Kalitatif bir yapıya sahip olmakla birlikte, bir skala (1: memnun değil, 3: az memnun, 5: memnun, 7: çok memnun, 9: aşırı memnun) dahilinde incelenen bu faktör, müşterilerin bayilerden aldıkları ürünün kalitesine ilişkin fikirlerini gösteren bir faktördür.
- *Müşteri tatmin seviyesi (giriş)*; Kalitatif bir yapıya sahiptir. Satış ve satış sonrası yaklaşımın müşteri açısından değerlendirildiği, dolayısıyla da müşterilerin tercih ve doğrultularını oldukça etkileyen bir faktördür.
- *Promosyon, tatil ve özel günlerin etkisi (giriş)*; Promosyon, tatil ve özel günlerin etkisi

satış ve dolayısıyla talep konularında tartışmasız en önemli yere sahiptir. Bu kriterin değerleri, o günlerde satışlarda görülen artışların yüzdesi olarak alınmış ve kantitatif bir bilgi olarak işlenmiştir.

- *Talep miktarı (çıkış)*; Müşterilerden her bir bayiye gelecek olan miktardır. Kantitatif bir bilgi olarak işlenmiştir.

Üç bayi için kurulan yapı Şekil 4.3'deki gibidir. Bayilerin talep yapılarını oluşturmak üzere, bayilerde satış-pazarlama bölümlerinde çalışan uzmanlarla görüşülmüş ve veri kümeleri üzerinde ayrı ayrı çalışılmıştır. Özellikle *ürün kalitesi* ve *müşteri tatmin seviyesi* kriterleri kalitatif bilgiler olduğundan, bu veriler bayilerin geçmişte yapmış olduğu anket çalışmalarından çıkarılmış ve uzman görüşü doğrultusunda gerekli atamalar yapılmıştır.



Şekil 4.3 Müşteri talebinin modellenmesi için kurulan yapı

Talep tahmin için 24 aylık veri kümesi elde edilebilmiştir. Ancak bu sayı ANFIS için yetersiz olacağından, verilerin özelliklerine dayanılarak Monte Carlo simülasyonu ile veri yaratma yoluna gidilmiştir. Her bayiye dışardan gelen talepleri modellemek için elimizde bulunan 24 aylık veri 96 aylığa çıkarılarak 77 tanesi “eğitim kümesi”, 19 tanesi de “test kümesi” olarak kullanılmıştır.

ANFIS yapısında, sinir ağlarında olduğu gibi gizli katman ya da nöron sayısı ile ilgili çeşitli denemeler yapılamamakta ve optimum yaklaşımlar tanımlanamamakta, ancak kriterler için seçilecek olan üyelik fonksiyonu sayıları ve bu fonksiyonların tipleri açısından bir simülasyon çalışması uygulanabilmektedir. Bu amaçla çözüm aşamasında her bir giriş kriterinin ayrı ayrı “2, 3 ve 4 üyelik fonksiyonuna” sahip olduğu düşünülerek ve çıkış kriterinin “sabit” ve “doğrusal” olduğu durumlar karşılaştırılarak en düşük hatayı veren yapı seçilmiş, tüm model bu yapının üzerine kurulmuştur. Üyelik fonksiyon tipleri ise özellikle tahmin konularında seçilen fonksiyonlar olan *üçgensel üyelik fonksiyonu* (trimf), *dörtgensel üyelik fonksiyonu*

(trapmf), *genelleştirilmiş çan eğrisi üyelik fonksiyonu* (gbell) ve *gausiyen eğrisi üyelik fonksiyonu* (gauss) şeklinde seçilerek çeşitli denemeler yapılmıştır (Çizelge 4.1). Tüm bu denemeler 0,01 hata toleransı ve 30 yinelemeye göre gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.1 Bayi 1 için üyelik fonksiyonu sayıları ve tiplerine göre yapılan simülasyon çalışması

Giriş Fonksiyonu		Çıkış Fonksiyonu					
	Fonksiyon tipi	Sabit			Doğrusal		
		Eğitim hatası	Test hatası	Fark	Eğitim hatası	Test hatası	Fark
BAYİ 1							
2 ÜYELİK FONKSİYONU	triMF	2,181	5,178	2,997	0,767	24,672	23,906
	trapMF	2,945	5,316	2,371	0,873	19,641	18,768
	gbellMF	2,436	5,093	2,657	0,676	11,734	11,059
	gaussMF	2,170	4,781	2,611	0,669	13,279	12,610
3 ÜYELİK FONKSİYONU	triMF	1,348	58,532	57,184	0,424	59,556	59,132
	trapMF	2,043	80,684	78,641	0,423	83,397	82,965
	gbellMF	1,067	27,484	26,406	0,285	767,765	767,480
	gaussMF	1,165	17,606	16,441	0,286	1014,847	1014,562
4 ÜYELİK FONKSİYONU	triMF	0,552	79,865	79,314	0,261	105,987	105,726
	trapMF	1,293	104,607	103,314	0,074	103,963	103,889
	gbellMF	0,328	67,236	66,908	0,232	421,256	421,024
	gaussMF	0,399	70,395	69,995	0,260	427,111	426,852

Sistem “*sıfırıncı dereceden Sugeno*” tipi sinirsel bulanık ağı yapısını içermektedir. Kuralları birleştirme operatörü olarak “*çarpım operatörü* (product)”, durulaştırma yöntemi olarak da “*ağırlıklandırılmış ortalama*” kullanılmıştır. Bulanık çıkarım sistemini eğitmek için de “*hibrit*” yöntem kullanılmıştır. Hibrit sistem ile modelin parametreleri, “*en küçük kareler*” (least squares) yöntemi ile “*gradyan düşümü*” (gradient descent) yönteminin ortak kullanımına dayalı bir eğitim algoritması tarafından belirlenir.

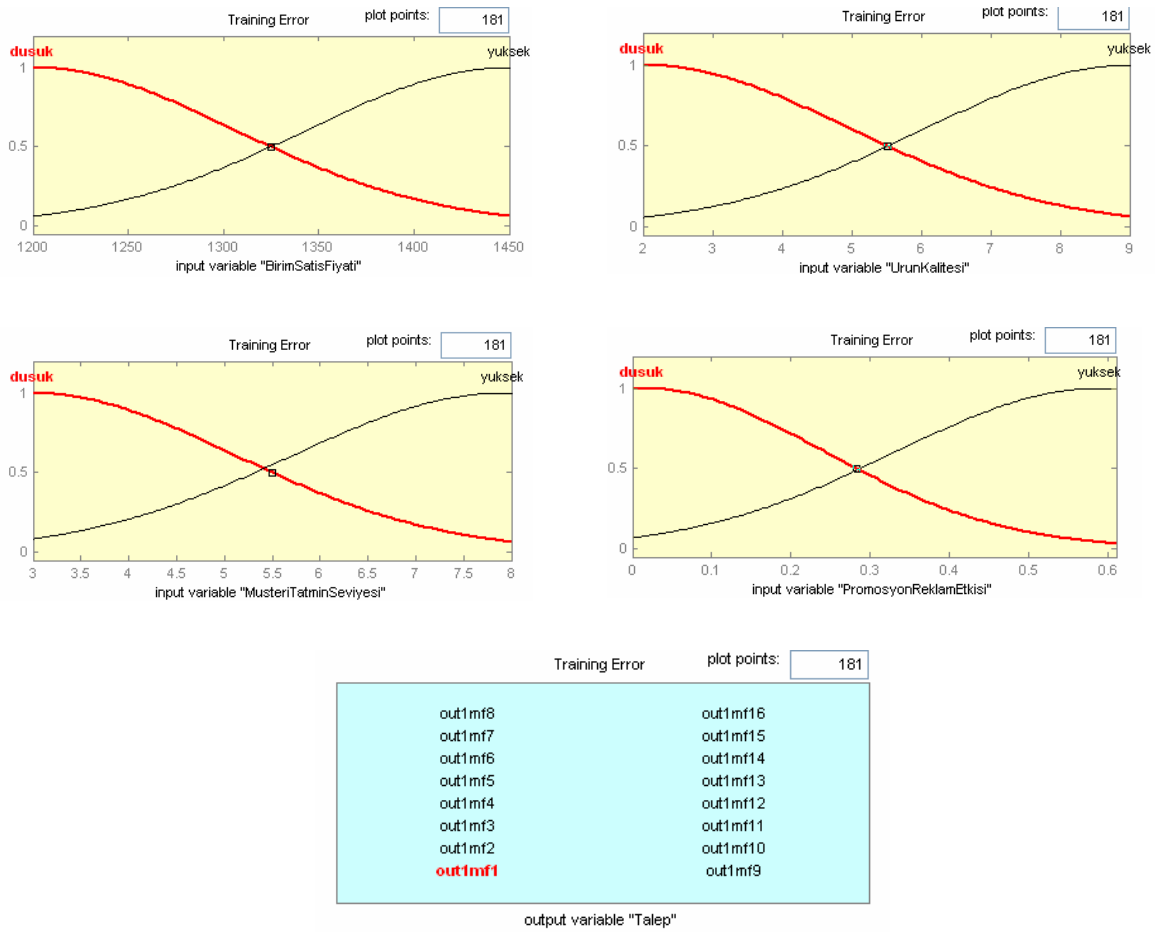
Çizelge 4.1’deki değerlere bakıldığında modeli en iyi tanımlayan yapının, en düşük test kümesi hatası olan “4,781” değerine sahip *iki üyelik fonksiyonu* ile *gausiyen eğrisi formundaki üyelik fonksiyonlu* girdi değişkenine ve *sabit* özellik gösteren çıktı değişkenine ait olduğu söylenebilir. Ancak sinirsel bulanık ağların sezgisel bir yaklaşım olduğu düşünüldüğünde, daha doğru bir yorumda bulunmak için bir doğrulama yapılmıştır. Kurulan her bir model için ağa daha önce hiç görmediği beş adetlik bir doğrulama veri kümesi

sokulmuştur. Gerçek değerler ve elde edilen değerler arasındaki sapma miktarı değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda Çizelge 4.2’de doğrulama kümesi ile bu değerlere karşılık gelen gerçek değer ve sapma miktarı gösterilmektedir.

Çizelge 4.2 Bayi 1 için doğrulama kümesi, gerçek değerler ve sapma miktarları

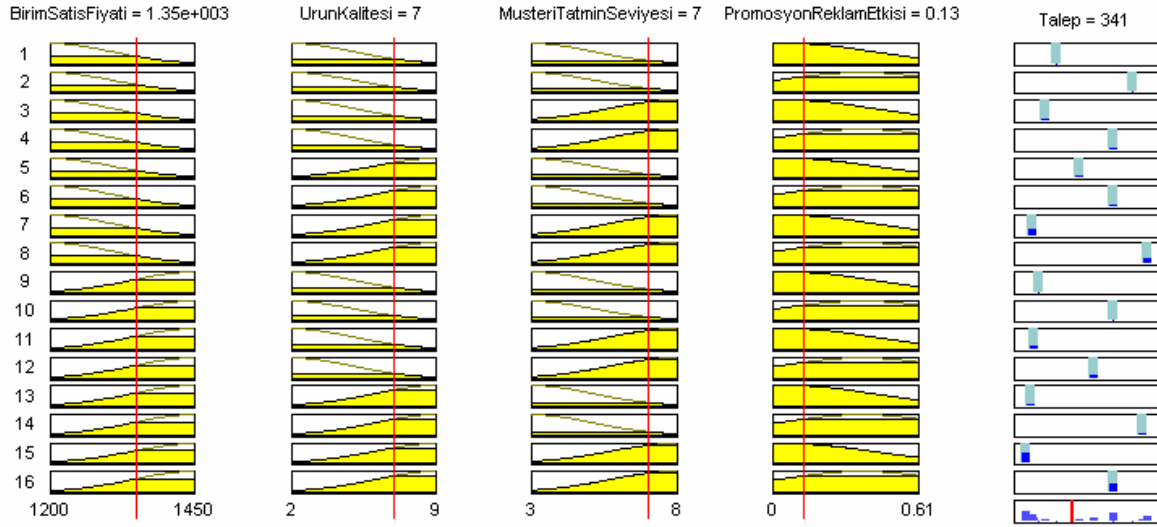
Birim Satış Fiyatı	Ürün kalitesi	Müşteri Tatmin Seviyesi	Promosyon & Reklamın Satışlara Etkisi	Gerçek Değer	Modelin Çıktısı	Sapma Miktarı
1350	7,00	5,00	0,04	350	345	1,43%
1350	3,00	7,00	0,15	340	335	1,47%
1200	7,00	5,00	0,13	342	374	9,36%
1350	2,00	5,00	0,03	360	336	6,66%
1450	6,00	5,00	0,01	347	328	5,47%
Ortalama Sapma Miktarı						4,88%
Yeni veri kümesi						
1350	7,00	7,00	0,13	341		

Şekil 4.4’te belirlenen bu üyelik fonksiyonu sayısı ve tipi ile hazırlanmış olan ANFIS yapısının üyelik fonksiyonları gösterilmektedir.



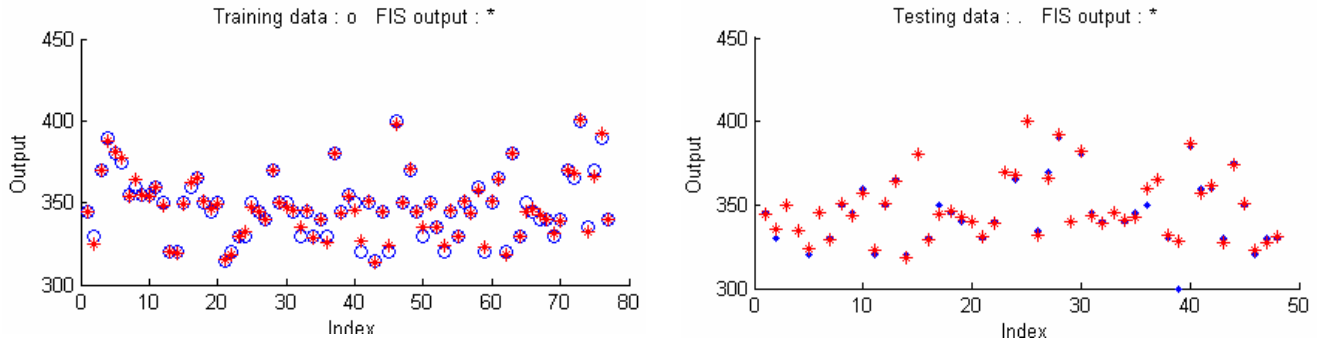
Şekil 4.4 Giriş ve çıkış kriterlerinin üyelik fonksiyonları

4 girişli ve tek çıkışlı bir yapı için herbir kriterin 2 adet üyelik fonksiyonuna sahip olduğu kabul edildiğinden toplam 16 kuralın sistem tarafından oluşturulduğu görülmektedir. Kural tabanlı bir yaklaşım olan ANFIS için oluşturulan kurallar Şekil 4.5’te gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Gausiyen üçgensel üyelik fonksiyonlu sinirsel bulanık yapıya ait kural tabanlı mekanizma

Şekil 4.6’da mevcut veri kümesi ile kurulan modelin çıktısı arasındaki ilişki gösterilmektedir.



(a) Eğitim verisinin model çıktısı ile olan ilişkisi

(b) Test verisinin model çıktısı ile olan ilişkisi

Şekil 4.6 Bayi 1’e ait veri kümesi ile model çıktısı arasındaki ilişki

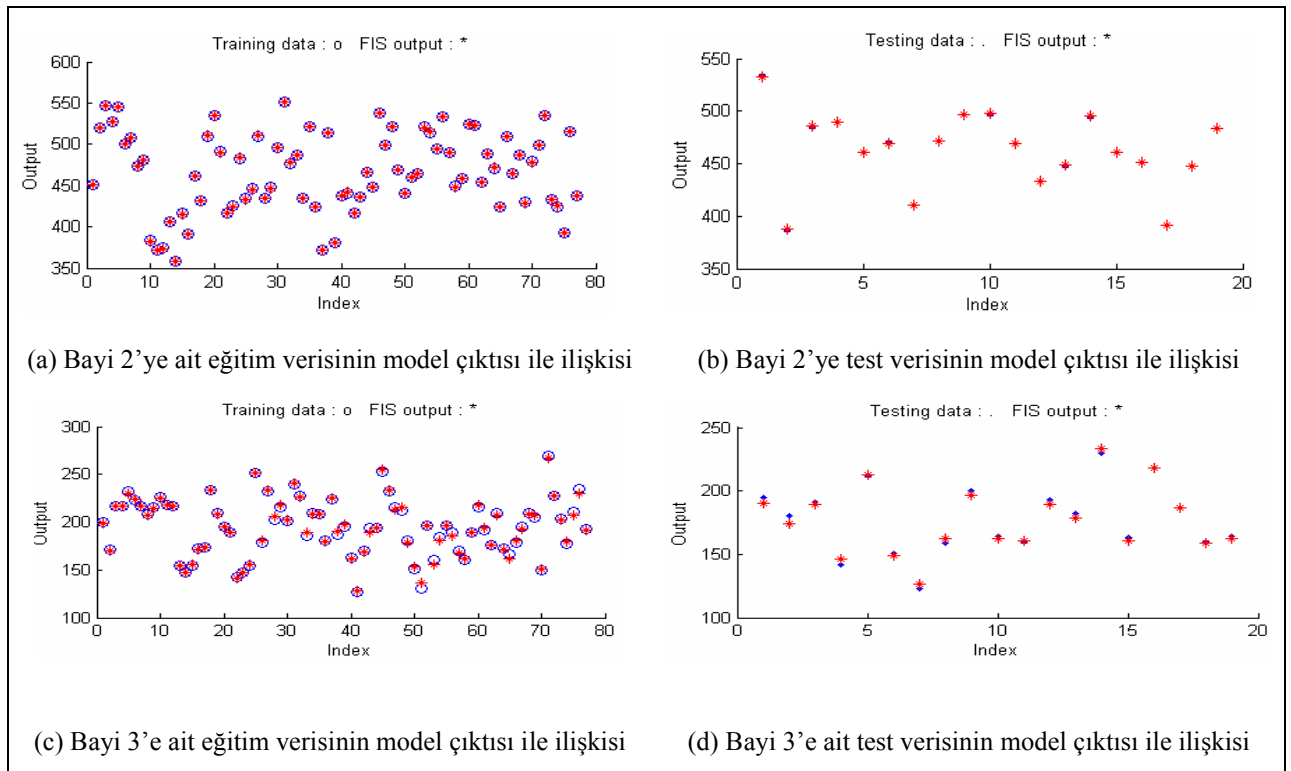
Bayi 2 ve Bayi 3 için de aynı işlemler yapılmıştır. Giriş ve çıkış fonksiyonlarının tipine, üyelik fonksiyonlarının sayısına bağlı olarak yapılan çalışma Çizelge 4.3’te sunulmuştur. Bayi 2 için “0,570” test hatasına sahip *iki üyelik fonksiyonu ile üçgensel formdaki üyelik fonksiyonlu* giriş yapısı ve *sabit* özellikli çıkış yapısını seçmiştir. Test hatası ile eğitim hatası arasındaki farkın çok yüksek çıkması test kümesinin kurulan yapıyı yeterince iyi yansıtmadığını göstermektedir. Dolayısıyla bu simülasyon çalışmasında test kümesinin düşük değere sahip olması önem kazanmaktadır. Aynı şekilde Bayi 3 için “3,001” test hatasına

sahip *iki üyelik fonksiyonu* ile *gausiyen formdaki üyelik fonksiyonlu* giriş yapısı ve *sabit* özellikli çıkış yapısı seçilmiştir.

Çizelge 4.3 Bayi 2 ve Bayi 3 için üyelik fonksiyonu sayıları ve tiplerine göre yapılan simülasyon çalışması

Giriş Fonksiyonu		Çıkış Fonksiyonu					
	Fonksiyon tipi	Sabit			Doğrusal		
		Eğitim hatası	Test hatası	Fark	Eğitim hatası	Test hatası	Fark
BAYİ 2							
2 ÜYELİK FONKSİYONU	triMF	0,452	<u>0,570</u>	0,118	0,315	1,810	1,495
	trapMF	11,963	21,8472	9,884	0,303	8,3549	8,051
	gbellMF	7,450	12,3113	4,862	0,248	24,2232	23,975
	gaussMF	4,269	7,2142	2,945	0,253	13,8125	13,559
3 ÜYELİK FONKSİYONU	triMF	0,297	7,314	7,017	0,199	19,1171	18,918
	trapMF	3,361	124,3983	121,038	0,212	99,1831	98,971
	gbellMF	0,912	39,011	38,099	0,195	328,1107	327,916
	gaussMF	0,474	22,9938	22,520	0,165	526,1986	526,033
4 ÜYELİK FONKSİYONU	triMF	0,264	204,1142	203,850	0,157	204,6106	204,454
	trapMF	4,181	235,3258	231,145	0,105	241,5942	241,489
	gbellMF	0,175	179,7655	179,591	0,312	1781,8066	1781,494
	gaussMF	0,188	157,9085	157,721	0,150	779,6213	779,471
BAYİ 3							
2 ÜYELİK FONKSİYONU	triMF	1,920	3,034	1,114	1,565	194,086	192,521
	trapMF	2,342	3,677	1,336	1,241	12,128	10,888
	gbellMF	2,138	3,171	1,032	1,332	26,015	24,683
	gaussMF	2,039	<u>3,001</u>	0,962	1,334	192,009	190,675
3 ÜYELİK FONKSİYONU	triMF	1,486	28,819	27,33	1,042	28,712	27,671
	trapMF	1,925	32,839	30,913	0,971	41,618	40,67
	gbellMF	1,676	22,958	21,283	1,394	237,633	236,239
	gaussMF	1,643	32,935	31,292	0,986	119,561	118,574
4 ÜYELİK FONKSİYONU	triMF	1,529	59,488	57,959	0,952	58,583	57,631
	trapMF	1,732	72,727	70,996	1,018	103,423	102,405
	gbellMF	1,136	59,586	58,450	0,968	217,085	216,117
	gaussMF	1,033	46,241	45,208	0,982	102,129	101,147

Bayi 2 ve Bayi 3'e ait veri kümelerinin model sonuçları ile gerçek çıktısı arasındaki ilişki Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Bayi 2 ve Bayi 3'e ait veri kümeleri ile model çıktıları arasındaki ilişki

Daha önce Bayi 1'e uygulanan doğrulama kümesi yaklaşımı, gerçeğe daha yakın bir yorum yapmak amacıyla, Bayi 2 ve Bayi 3 için kurulan modeller ile ayrı ayrı uygulanmış ve sapma miktarlarına bakılmıştır. Bu yapıyla ilgili doğrulama simülasyonu çalışması Çizelge 4.4'deki gibidir.

Çizelge 4.4 Bayi 2 ve Bayi 3 için doğrulama kümeleri, gerçek değerler ve sapma miktarları

Birim Satış Fiyatı	Ürün kalitesi	Müşteri Tatmin Seviyesi	Promosyon ve Reklamın Satışlara Etkisi	Gerçek Değer	Modelin Çıktısı	Sapma Miktarı
BAYİ 2						
1200	5,00	3,00	0,27	510	521	2,16%
1300	4,00	3,00	0,01	450	438	2,67%
1355	8,00	5,00	0,20	530	571	7,74%
1455	5,00	3,00	0,07	378	435	15,23%
1560	5,00	3,00	0,05	381	409	7,45%
Ortalama Sapma Miktarı						7,05%
Yeni veri kümesi						
1350,00	7,00	7,00	0,10	531		
BAYİ 3						
1400	3,00	3,00	0,05	168	167	0,74%
1400	2,00	5,00	0,12	239	233	2,46%
1450	3,00	3,00	0,14	253	246	2,60%
1500	3,00	3,00	0,11	216	224	3,74%
1560	6,00	3,00	0,12	240	234	2,50%
Ortalama Sapma Miktarı						2,41%
Yeni veri kümesi						
1450,00	6,00	5,00	0,10	218		

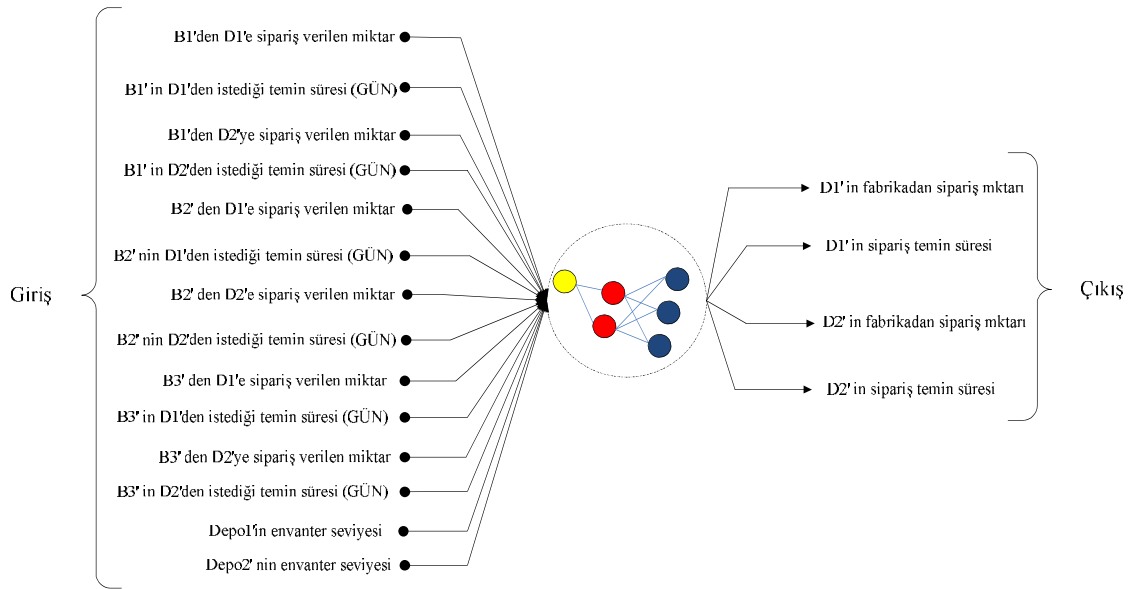
Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.4 yardımıyla, her bir bayinin bir sonraki dönem için arzu edilen miktarlara karşılık elde ettiği talep bilgileri bulunmuştur. Bir sonraki aşama dağıtım merkezi aşamasıdır.

Sonraki aşamalarda tahmin mekanizması olarak ÇKA modeli ve RTF sinir ağıları uygulanmıştır. Bu ağlar için kurulan modeller ve çıktıları karşılaştırılmıştır.

Aşama 2—Dağıtım Merkezi Aşaması

Bu aşamada bayi aşamasında müşterilerden gelen bilgilere dayanarak bulunan bir sonraki döneme ait talep bilgisi ile dağıtım merkezinde bulunan geçmiş veriler baz alınarak, dağıtım merkezlerinden üreticiye aktarılabacak talep bilgisi belirlenmeye çalışılacaktır. Bunun için çeşitli sinir ağı yapıları test edilecektir.

Öncelikle, Aşama 2 için verilerin hazırlanması gerekmektedir. Bu aşamada önemli olan giriş ve çıkış kriterleri Şekil 4.8’de belirlenmiştir.



Şekil 4.8 Dağıtım merkezi aşaması

Sinir ağıları geçmiş verilere dayanarak gerçekleştirilmektedir. Ancak her bir verinin özelliği farklı olduğundan hazırlanan veri matrisinin normalize edilmesi gerekmektedir. Sinir ağlarında verilerin 0,1-0,9 arasına çekilmesi daha iyi bir sonuç vereceğinden aşağıdaki normalizasyon yaklaşımı izlenmektedir;

$$x_n = \tau + \left(\frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} * (\delta - \tau) \right) \quad (4.1)$$

(4.1) eşitliğinde, τ , normalize edilmek istenen aralığın en düşük değerini, δ ise en yüksek değerini göstermektedir.

Bu aşamada 36 adetlik eğitim, 17 adetlik test kümesi elde edilebilmiştir. Veri çoğaltma yoluna gidilmeden sistemin tepkisi ölçülmeye çalışılmıştır. ÇKA uygulaması aşamasında çeşitli parametreler, oluşturulan sinir ağının hassasiyetini etkilemektedir. Hazırlanan veri kümesi, bu parametrelerin değiştirilmesi suretiyle eğitilmiş, test edilmiş ve genellemesi yapılmıştır. Sinir ağı eğitim algoritması, gizli katman sayısı, katmanlardaki gizli nöron sayısı, katmanlara ait aktivasyon fonksiyonu tipi, öğrenme katsayısı ve momentum katsayısı parametreleri değiştirilerek hazırlanan çeşitli yapılar eğitim sonucu analiz edilmiş ve elde edilen hataların karelerinin ortalaması değerlerine bakılarak hangi sinir ağı yapısının mevcut veriye uygun olduğuna karar verilmiştir. Hata toleransı 0,01 olarak tayin edilen sinir ağı 1000 yinelemeyle çalıştırılmış. Bayi aşamasında uygulanan doğrulama kümesi yaklaşımına benzer şekilde, ağa daha önce hiç gösterilmemiş beş adetlik bir veri kümesi sokulmuş ve kurulan her bir modelin kontrolü yapılmıştır. Kurulan modeller, beklenen çıkış ve hesaplanan çıkışlar arasındaki hatayı minimize etmek üzere farklı öğrenme algoritmaları ile test edilmiştir [Haykin, 1994; Demuth and Beale, 2000; Manevitz vd., 2005];

- *Levenberg-Marquardt geriyayılımı (trainlm)*: Ağırlık ve eğilim değerlerinin güncellemelerinin Levenberg-Marquardt optimizasyonuna göre yapıldığı bir ağ eğitim fonksiyonudur.
- *BFG Quasi-Newton geriyayılımı (trainbfg)*: Ağırlık ve eğilim değerlerinin güncellemelerinin BFG quasi-Newton metodu optimizasyonuna göre yapıldığı bir ağ eğitim fonksiyonudur.
- *Gradyan düşümü geriyayılımı (traingd)*: Ağırlık ve eğilim değerlerinin güncellemelerinin eğim düşümüne göre yapıldığı bir ağ eğitim fonksiyonudur.
- *Adaptif öğrenme oranlı geriyayılımlı eğim düşümü (traingda) geriyayılımı*: Ağırlık ve eğilim değerlerinin güncellemelerinin adaptif öğrenme oranlı eğim düşümüne göre yapıldığı bir ağ eğitim fonksiyonudur.
- *Adaptif öğrenme oranı ve gradyan düşüm momentumu (traingdx) geriyayılımı*: Ağırlık ve eğilim değerlerinin güncellemelerinin adaptif öğrenme oranı ve eğim düşümü momentumuna göre yapıldığı bir ağ eğitim fonksiyonudur.
- *Powell-Beale yeniden başlatmalı eşlenik gradyan geriyayılımı (traincgb)*: Ağırlık ve

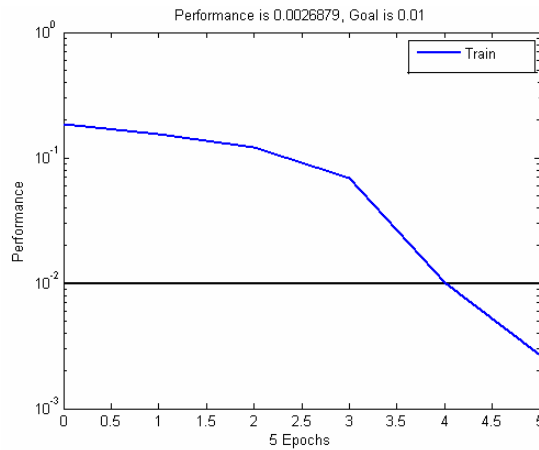
eğilim değerlerinin güncellemelerinin Powell-Beale yeniden başlatmalı bileşik eğitim yayınına göre yapıldığı bir ağ eğitim fonksiyonudur.

- *Fletcher-Reeves güncellemeli eşlenik gradyan geriyayılımı (traincgf)*: Ağırlık ve eğilim değerlerinin güncellemelerinin Fletcher-Reeves güncellemeli bileşik eğitim yayınına göre yapıldığı bir ağ eğitim fonksiyonudur.

Sinir ağlarına yönelik yapılan çalışmaların hepsi Matlab 7.0 programı ortamında gerçekleştirilmiştir. Verilerin girilmesi ve simülasyon çalışmalarının yapılması için MS Excel programı kullanılmıştır. Dağıtım merkezi aşaması için bahsedilen tüm parametreleri (eğitim algoritması, nöron sayısı, katman sayısı, öğrenme katsayısı, momentum katsayısı) kullanan sinir ağı yapıları Çizelge 4.5'te yer almaktadır. Model, her bir farklı sinir ağı yapısı için 5'er kere çalıştırılmıştır.

Elde edilen ÇKA modelinin sonuçlarına göre; ilk gizli katmanında 28 nöron, ikinci gizli katmanında 10 nöron bulunan 0,5 öğrenme ve 0,07 momentum katsayısına sahip *Levenberg-Marquardt geriyayılım* algoritması kullanılarak kurulan model en az hata sonucu vermiştir. Bu yapının ilk katmanında *hiperbolik tanjant sigomid fonksiyon*, ikinci katmanında ve çıkış katmanında ise *logaritmik sigmoid* kullanılmıştır.

Şekil 4.9'da *Levenberg-Marquardt geriyayılım* algoritması ve belirlenen diğer tüm parametrelerin kullanıldığı sinir ağı yapısına ait eğitim hatasının, yineleme boyunca ne kadar azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.9 Eğitim hatası ile yineleme arasındaki ilişki

ÇKA modelinin uygulanmasının ardından, modele RTF sinir ağları uygulanmıştır. RTF sinir ağı modelinin sonuçları Çizelge 4.6'da sunulmuştur.

Çizelge 4.5 Dağıtım merkezi aşamasındaki sinir ağı modeli ve türevlerinin 0.01 hata toleransı ile 1000 yinelemeli çıktısı

Eğitim algoritması	Nöron sayısı	Öğrenme Katsayısı	Momentum Katsayısı	Aktivasyon Fonksiyonu			Hata Kareleri Ortalaması	D1 Talep	D1 Temin Süresi	D2 Talep	D2 Temin Süresi
	<i>K 1</i>	<i>K 2</i>		<i>K 1</i>	<i>K 2</i>	<i>Çıkış K.</i>					
								535	18	530	20
TRAINLM	10	0,1	0,07	tansig	logsig	0,006397	0,006397	622	17	572	15
	10	0,5	0,07	tansig	logsig	0,004082	0,004082	594	22	545	22
	10	0,8	0,07	tansig	logsig	0,006846	0,006846	562	20	515	25
	10	0,1	0,07	logsig	tansig	0,009382	0,009382	610	18	561	16
	10	0,5	0,07	logsig	tansig	0,007488	0,007488	621	23	571	23
	10	0,8	0,07	logsig	tansig	0,005679	0,005679	606	17	557	15
	29	0,1	0,07	tansig	logsig	0,00463319	0,00463319	621	16	571	22
	29	0,5	0,07	tansig	logsig	0,0035706	0,0035706	598	20	549	24
	29	0,8	0,07	tansig	logsig	0,005874	0,005874	535	14	490	22
	29	0,1	0,07	logsig	tansig	Ağ eğitilemiyor					
	29	0,5	0,07	logsig	tansig	Ağ eğitilemiyor					
	29	0,8	0,07	logsig	tansig	0,005774	0,005774	551	19	505	17
	28	10	0,1	logsig	logsig	tansig	0,005744	571	26	524	16
	28	10	0,5	logsig	logsig	tansig	Ağ eğitilemiyor	546	30	501	13
	28	10	0,8	logsig	logsig	tansig	0,004272	511	24	467	24
	28	10	0,1	logsig	tansig	tansig	0,007652395	607	23	558	23
	28	10	0,5	logsig	tansig	tansig	0,008554	635	27	584	29
	28	10	0,8	logsig	tansig	tansig	0,007332	616	25	566	26
	28	10	0,1	tansig	logsig	logsig	0,007796	581	17	534	15
	28	10	0,5	tansig	logsig	logsig	0,002688	550	24	551	25
	28	10	0,8	tansig	logsig	logsig	0,006786	629	21	578	20
TRAINBFG	10	0,1	0,07	tansig	logsig	0,009643	0,009643	590	20	542	18
	10	0,5	0,07	tansig	logsig	0,009476	0,009476	567	17	520	15
	10	0,8	0,07	tansig	logsig	0,00982969	0,00982969	628	21	578	20
	10	0,1	0,07	logsig	tansig	0,009689	0,009689	636	29	585	32
	10	0,5	0,07	logsig	tansig	0,009726	0,009726	561	18	514	16
	10	0,8	0,07	logsig	tansig	0,009972	0,009972	572	23	525	23
	29	0,1	0,07	tansig	logsig	0,009777	0,009777	543	29	497	31
	29	0,5	0,07	tansig	logsig	0,009970	0,009970	638	24	587	25
	29	0,8	0,07	tansig	logsig	0,007885	0,007885	596	15	547	22
	29	0,1	0,07	logsig	tansig	0,009809	0,009809	640	17	588	14
	29	0,5	0,07	logsig	tansig	Ağ eğitilemiyor					
	29	0,8	0,07	logsig	tansig	0,009247	0,009247	613	13	564	23
	28	10	0,1	logsig	logsig	tansig	0,009762	517	20	474	18
	28	10	0,5	logsig	logsig	tansig	0,009575				
	28	10	0,8	logsig	logsig	tansig	0,009899	561	27	514	28
	28	10	0,1	logsig	tansig	tansig	0,009992	597	22	548	22
	28	10	0,5	logsig	tansig	tansig	0,00984555	556	17	510	14

Çizelge 4.5 devamı

	28	10	0,8	0,07	logsig	tansig	tansig	0,00980555	582	19	534	17				
	28	10	0,1	0,07	tansig	logsig	logsig	0,009419	505	25	462	26				
	28	10	0,5	0,07	tansig	logsig	logsig	0,009229	616	17	566	15				
	28	10	0,8	0,07	tansig	logsig	logsig	0,009684	587	20	539	19				
TRAINGD	10		0,1	0,07	tansig		logsig	0,009983	574	15	527	29				
	10		0,5	0,07	tansig		logsig	0,009915	476	26	434	27				
	10		0,8	0,07	tansig		logsig	0,009903	619	24	569	25				
	10		0,1	0,07	logsig		tansig	0,00998035	576	15	528	19				
	10		0,5	0,07	logsig		tansig	0,009993	572	14	525	10				
	10		0,8	0,07	logsig		tansig	0,009988	588	19	540	17				
	29		0,1	0,07	tansig		logsig	0,00996224	628	24	578	24				
	29		0,5	0,07	tansig		logsig	0,00980819	524	16	479	24				
	29		0,8	0,07	tansig		logsig	0,009925	557	16	510	13				
	29		0,1	0,07	logsig		tansig	0,009959	544	25	498	26				
	29		0,5	0,07	logsig		tansig	0,009959	592	18	543	16				
	29		0,8	0,07	logsig		tansig	0,009999	578	20	531	19				
	28	10	0,1	0,07	logsig	logsig	tansig	0,009958	463	17	422	14				
	28	10	0,5	0,07	logsig	logsig	tansig	Ağ eğitilemiyor								
	28	10	0,8	0,07	logsig	logsig	tansig	0,009973	594	16	545	14				
	28	10	0,1/0,5/0,8	0,07	logsig	tansig	tansig	0,009987								
	28	10	0,1/0,5/0,8	0,07	tansig	logsig	logsig	0,009952								
TRAINGDA	10		0,1/0,5/0,8	0,07	tansig		logsig	0,009995	TRAINGDX	10		0,1/0,5/0,8	0,07	tansig	logsig	0,01000
	10		0,1/0,5/0,8	0,07	logsig		tansig	0,01000		10		0,1/0,5/0,8	0,07	logsig	tansig	0,01000
	29		0,1/0,5/0,8	0,07	tansig		logsig	0,01000		29		0,1/0,5/0,8	0,07	tansig	logsig	0,01000
	29		0,1/0,5/0,8	0,07	logsig		tansig	0,01000		29		0,1/0,5/0,8	0,07	logsig	tansig	0,01000
	28	10	0,1/0,5/0,8	0,07	logsig	logsig	tansig	0,01000		28	10	0,1/0,5/0,8	0,07	logsig+logsig	tansig	0,01000
	28	10	0,1/0,5/0,8	0,07	logsig	tansig	tansig	0,01000		28	10	0,1/0,5/0,8	0,07	logsig+tansig	tansig	0,01000
	28	10	0,1/0,5/0,8	0,07	tansig	logsig	logsig	0,01000		28	10	0,1/0,5/0,8	0,07	tansig+logsig	logsig	0,01000
TRAINCGF	10		0,1/0,5/0,8	0,07	tansig		logsig	0,01000	TRAINCGB	10		0,1/0,5/0,8	0,07	tansig	logsig	0,01000
	10		0,1/0,5/0,8	0,07	logsig		tansig	0,01000		10		0,1/0,5/0,8	0,07	logsig	tansig	0,01000
	29		0,1/0,5/0,8	0,07	tansig		logsig	0,01000		29		0,1/0,5/0,8	0,07	tansig	logsig	0,01000
	29		0,1/0,5/0,8	0,07	logsig		tansig	0,01000		29		0,1/0,5/0,8	0,07	logsig	tansig	0,01000
	28	10	0,1/0,5/0,8	0,07	logsig	logsig	tansig	0,01000		28	10	0,1/0,5/0,8	0,07	logsig+logsig	tansig	0,01000
	28	10	0,1/0,5/0,8	0,07	logsig	tansig	tansig	0,01000		28	10	0,1/0,5/0,8	0,07	logsig+tansig	tansig	0,01000
	28	10	0,1/0,5/0,8	0,07	tansig	logsig	logsig	0,01000		28	10	0,1/0,5/0,8	0,07	tansig+logsig	logsig	0,01000

Çizelge 4.6 Dağıtım merkezi aşamasındaki sinir ağı modeli için RTF sonuçları

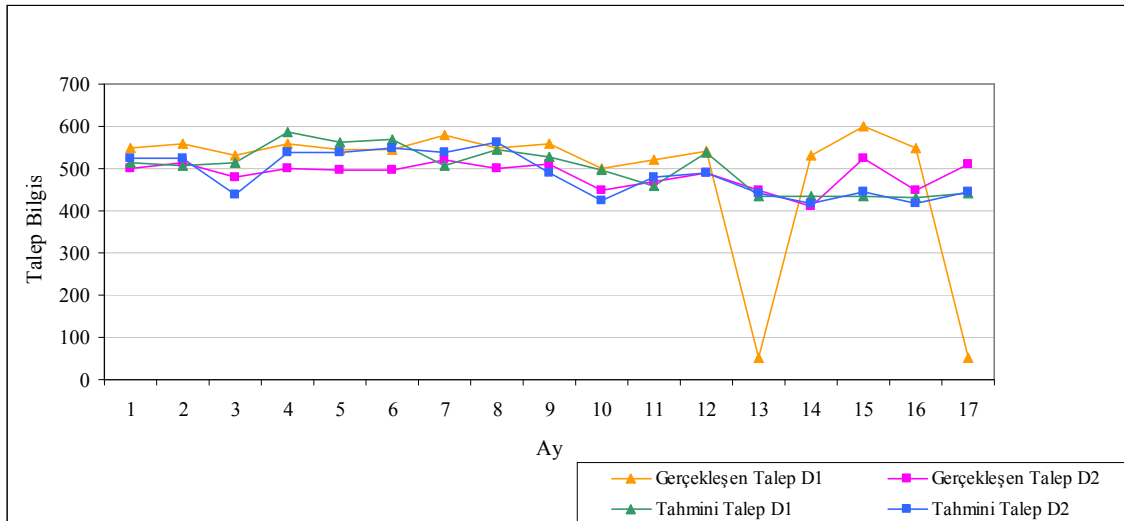
Hata hedefi	Sigma sabiti	Maksimum Nöron Sayısı	Hata Kareleri Ortalaması	Tahmini Talep Miktarı (D1)	Tahmini Temin Süresi (D1)	Tahmini Talep Miktarı (D2)	Tahmini Temin Süresi (D2)
				535	18	530	20
0,01	1	25	0,02479	586	16	538	14
0,01	0,01	25	Ağ eğitilemiyor				
0,01	0,05	25	Ağ eğitilemiyor				
0,01	0,08	25	Ağ eğitilemiyor				
0,01	0,1	25	Ağ eğitilemiyor				
0,01	5	25	0,01233	591	16	543	13
0,01	10	25	0,01145	588	16	539	14
0,01	20	25	0,01148	623	17	573	14
0,01	200	25	Ağ eğitilemiyor				

Aynı problem için önerilen ÇKA ve RTF sinir ağı modellerine ait çizelgeler incelendiğinde bayilerden dağıtım merkezlerine gelen bilgi akışını en iyi karakterize eden modelin, daha az hata ortalamasına sahip ÇKA sinir ağına ait olduğu Çizelge 4.7’de görülmektedir.

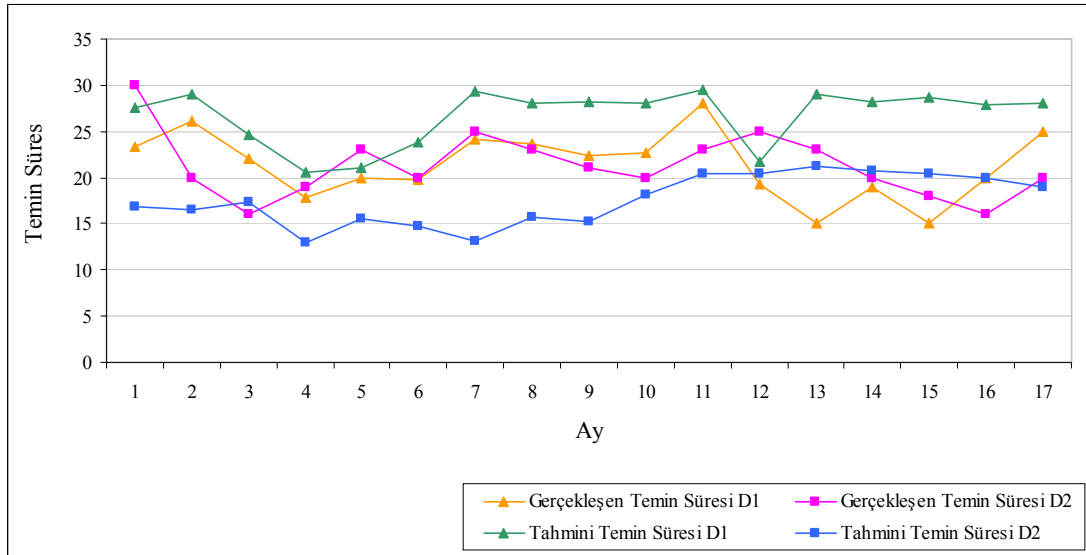
Çizelge 4.7 ÇKA ve RBF sonuçlarının karşılaştırılması

Kullanılan Sinir Ağı Yaklaşımı	Hata Kareleri Ortalaması	Tahmini Talep Miktarı (D1)	Tahmini Temin Süresi (D1)	Tahmini Talep Miktarı (D2)	Tahmini Temin Süresi (D2)
		535	18	530	20
ÇKA	0,002688	550	24	551	25
RBF	0,011452	588	16	539	14

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de ÇKA yapıya göre talep bilgisi ve temin süresi bilgilerine ait eğitilmiş veri ile test verisi arasındaki ilişki gösterilmektedir



Şekil 4.10 Talep bilgisinin gerçekleşen ve tahmini değerlerinin, test kümesi baz alınarak karşılaştırılması

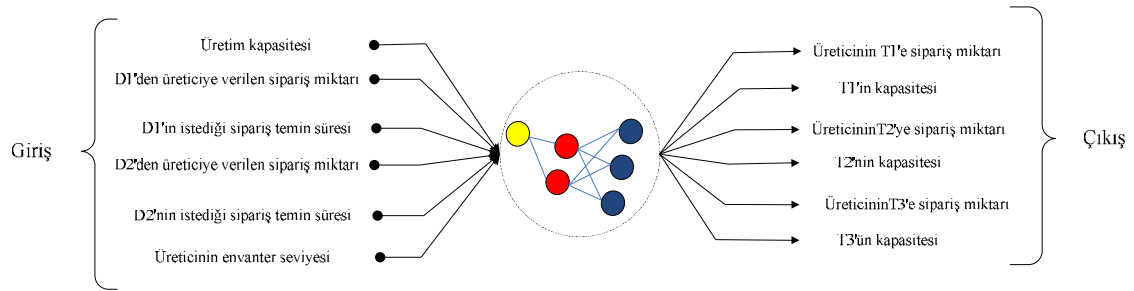


Şekil 4.11 Temin süresi bilgisinin gerçekleşen ve tahmini değerlerinin test kümesinin baz alınarak karşılaştırılması

Dağıtım merkezi aşamasındaki ilişkileri açıklamaya çalışan bu model doğrultusunda Aşama 3'e geçilir.

Aşama 3—Üretici Aşaması

Bu aşamada depolardan gelen bir sonraki döneme ait talep bilgisi ile üreticinin geçmiş verileri baz alınarak tedarikçilere aktarılabacak talep ve tedarikçi kapasite bilgisi belirlenmeye çalışılacaktır. Bu aşamada kullanılan giriş ve çıkış bilgileri Şekil 4.12'de gösterilmektedir.



Şekil 4.12 Üretici aşamasına ait giriş ve çıkışlar

Bu aşamada kullanılan veriler öncelikle Monte Carlo simülasyonu yardımıyla çoğaltılmış ve 200 adet veri, eğitim kümesi olarak, 53 adet veri ise, test kümesi olarak kullanılmıştır. Bir önceki aşamada yapılan işlemler bu aşama için de gerçekleştirilmiştir. Yani veriler normalizasyon formülü ile normalize edilerek ağı girmeye hazır hale getirilmiştir. Yine 1000 yinelemeyle çalıştırılan programda 0,01 hata toleransı baz alınmıştır.

Çizelge 4.8 Üretici aşamasındaki sinir ağı modeli ve türevlerinin 0.01 hata toleransı ile 1000 yinelemeyle çıktısı

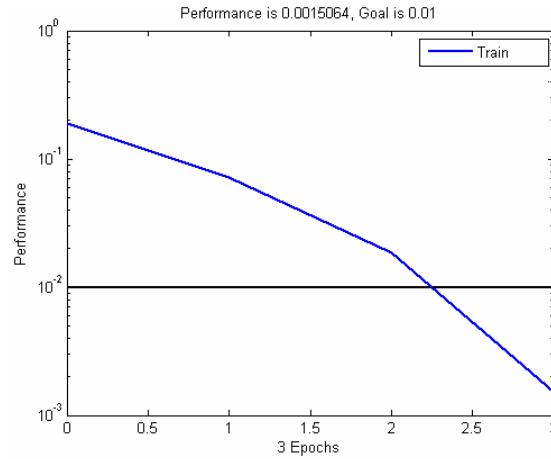
	Nöron sayısı		Öğrenme Katsayısı	Momentum Katsayısı	Aktivasyon Fonksiyonu			Hata Kareleri Ortalaması	T1'e Tahmini Sipariş Miktarı	T2'ye Tahmini Sipariş Miktarı	T3'e Tahmini Sipariş Miktarı	Tahmini Kapasite (T1)	Tahmini Kapasite (T2)	Tahmini Kapasite (T3)
	K 1	K 2			K 1	K 2	Çıkış K.							
								425	448	460	436	430	460	
TRAINLM	6		0,01	0,07	tansig		logsig	0,002855	421	420	405	360	418	452
	6		0,05	0,07	tansig		logsig	0,00365	440	509	545	523	505	575
	6		0,1	0,07	tansig		logsig	0,00545	401	435	290	319	311	271
	6		0,01	0,07	logsig		tansig	Eğitilemiyor						
	6		0,05	0,07	logsig		tansig	Eğitilemiyor						
	6		0,1	0,07	logsig		tansig	0,00396	437	485	492	490	527	470
	13		0,01	0,07	tansig		logsig	0,00150	429	466	484	440	450	454
	13		0,05	0,07	tansig		logsig	0,00411	432	404	372	496	463	530
	13		0,1	0,07	tansig		logsig	0,00216	424	476	496	324	376	488
	13		0,01	0,07	logsig		tansig	0,00399	416	462	379	473	392	328
	13		0,05	0,07	logsig		tansig	0,00703	409	445	535	412	499	511
	13		0,1	0,07	logsig		tansig	Eğitilemiyor						
	13	6	0,01	0,07	logsig	logsig	tansig	Eğitilemiyor						
	13	6	0,05	0,07	logsig	logsig	tansig	Eğitilemiyor						
	13	6	0,1	0,07	logsig	logsig	tansig	Eğitilemiyor						
	13	6	0,01	0,07	logsig	tansig	tansig	Eğitilemiyor						
	13	6	0,05	0,07	logsig	tansig	tansig	0,00317	368	410	497	145	462	527
	13	6	0,1	0,07	logsig	tansig	tansig	Eğitilemiyor						
	13	6	0,01	0,07	tansig	logsig	logsig	0,00745	422	452	405	424	472	446
	13	6	0,05	0,07	tansig	logsig	logsig	0,00206	432	450	503	452	471	514
	13	6	0,1	0,07	tansig	logsig	logsig	0,00625	425	442	466	451	453	450
TRAINBFG	6		0,01	0,07	tansig		logsig	0,00711	418	405	413	404	422	425
	6		0,05	0,07	tansig		logsig	0,00967	412	411	470	452	465	522
	6		0,1	0,07	tansig		logsig	0,00910	433	466	463	443	443	499
	6		0,01	0,07	logsig		tansig	0,00967	444	375	523	526	557	566
	6		0,05	0,07	logsig		tansig	0,00907	441	491	315	427	546	515
	6		0,1	0,07	logsig		tansig	Eğitilemiyor						
	13		0,01	0,07	tansig		logsig	0,00865	433	485	390	337	311	371
	13		0,05	0,07	tansig		logsig	0,00973	423	458	449	462	501	450
	13		0,1	0,07	tansig		logsig	0,00780	418	392	398	403	383	293
	13		0,01	0,07	logsig		tansig	0,00960	379	309	422	343	389	411
	13		0,05	0,07	logsig		tansig	0,00912	424	424	364	312	334	345
	13		0,1	0,07	logsig		tansig	0,00930	444	436	422	481	483	537
	13	6	0,01	0,07	logsig	logsig	tansig	0,00931	403	424	404	370	355	303
	13	6	0,05	0,07	logsig	logsig	tansig	0,00925	409	384	410	335	425	319
	13	6	0,1	0,07	logsig	logsig	tansig	0,00860	438	438	489	451	497	533
	13	6	0,01	0,07	logsig	tansig	tansig	0,00840	429	384	529	235	519	331

Çizelge 4.8 devamı

TRAINGD	13	6	0,05	0,07	logsig	tansig	tansig	0,00750	427	408	489	496	494	540		
	13	6	0,1	0,07	logsig	tansig	tansig	0,00973	392	448	287	382	422	228		
	13	6	0,01	0,07	tansig	logsig	logsig	0,00898	405	405	487	433	408	440		
	13	6	0,05	0,07	tansig	logsig	logsig	0,00923	422	449	451	430	451	453		
	13	6	0,1	0,07	tansig	logsig	logsig	0,00955	426	424	430	427	458	448		
	6		0,01	0,07	tansig		logsig									
	6		0,05	0,07	tansig		logsig									
	6		0,1	0,07	tansig		logsig									
	6		0,01/0,05/0,1	0,07	logsig		tansig	Eğitilemiyor								
	13		0,01	0,07	tansig		logsig	Eğitilemiyor								
TRAINGDA	13		0,05	0,07	tansig		logsig	Eğitilemiyor								
	13		0,1	0,07	tansig		logsig	Eğitilemiyor								
	13		0,01/0,05/0,1	0,07	logsig		tansig	Eğitilemiyor								
	13	6	0,01/0,05/0,1	0,07	logsig	logsig	tansig	Eğitilemiyor								
	13	6	0,01/0,05/0,1	0,07	logsig	tansig	tansig	Eğitilemiyor								
	13	6	0,01/0,05/0,1	0,07	tansig	logsig	logsig	Eğitilemiyor								
	6		0,01/0,05/0,1	0,07	tansig		logsig	0,0100	TRAINGDX	6		0,01/0,05/0,1	0,07	tansig	logsig	0,0100
	6		0,01/0,05/0,1	0,07	logsig		tansig	0,0100		6		0,01/0,05/0,1	0,07	logsig	tansig	0,0100
	13		0,01/0,05/0,1	0,07	tansig		logsig	0,0099		13		0,01/0,05/0,1	0,07	tansig	logsig	0,0100
	13		0,01/0,05/0,1	0,07	logsig		tansig	0,0100		13		0,01/0,05/0,1	0,07	logsig	tansig	0,0100
13	6	0,01/0,05/0,1	0,07	logsig	logsig	tansig	0,0099		13	6	0,01/0,05/0,1	0,07	logsig+logsig	tansig	0,0099	
TRAINCGF	13	6	0,01/0,05/0,1	0,07	logsig	tansig	tansig	0,0097		13	6	0,01/0,05/0,1	0,07	logsig+tansig	tansig	0,0098
	13	6	0,01/0,05/0,1	0,07	tansig	logsig	logsig	0,0099		13	6	0,01/0,05/0,1	0,07	tansig+logsig	logsig	0,0099
	6		0,01/0,05/0,1	0,07	tansig		logsig	0,0090	TRAINCGB	6		0,01/0,05/0,1	0,07	tansig	logsig	0,0096
	6		0,01/0,05/0,1	0,07	logsig		tansig	Eğitilemiyor		6		0,01/0,05/0,1	0,07	logsig	tansig	Eğitilemiyor
	13		0,01/0,05/0,1	0,07	tansig		logsig	0,0099		13		0,01/0,05/0,1	0,07	tansig	logsig	0,0093
	13		0,01/0,05/0,1	0,07	logsig		tansig	0,0100		13		0,01/0,05/0,1	0,07	logsig	tansig	Eğitilemiyor
	13	6	0,01/0,05/0,1	0,07	logsig	logsig	tansig	Eğitilemiyor		13	6	0,01/0,05/0,1	0,07	logsig+logsig	tansig	0,00784
	13	6	0,01/0,05/0,1	0,07	logsig	tansig	tansig	Eğitilemiyor		13	6	0,01/0,05/0,1	0,07	logsig+tansig	tansig	Eğitilemiyor
	13	6	0,01/0,05/0,1	0,07	tansig	logsig	logsig	0,0099		13	6	0,01/0,05/0,1	0,07	tansig+logsig	logsig	0,00972

Bu aşamada yine, doğrulama kümesi yaklaşımı ile, ağa daha önce hiç gösterilmemiş beş adetlik bir veri kümesi sokulmuş ve kurulan her bir modelin kontrolü yapılmıştır. Bir önceki aşamada kullanılan öğrenme algoritmaları burada da kullanılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.8’de gösterilmektedir.

Yapılan analize göre gizli katmanında 13 nöron bulunan 0,01 öğrenme ve 0,07 momentum katsayısına sahip *Levenberg-Marquardt geriyayılım* algoritması kullanılarak kurulan model en az hata sonucu vermiştir. Bu yapının gizli katmanında *hiperbolik tanjant sigomid* fonksiyon, çıkış katmanında ise *logaritmik sigmoid* fonksiyon kullanılmıştır.



Şekil 4.13 Eğitim hatası ile yineleme arasındaki ilişki

ÇKA modelin ardından uygulanan RTF sinir ağından alınan sonuçlar Çizelge 4.9’da sunulmuştur.

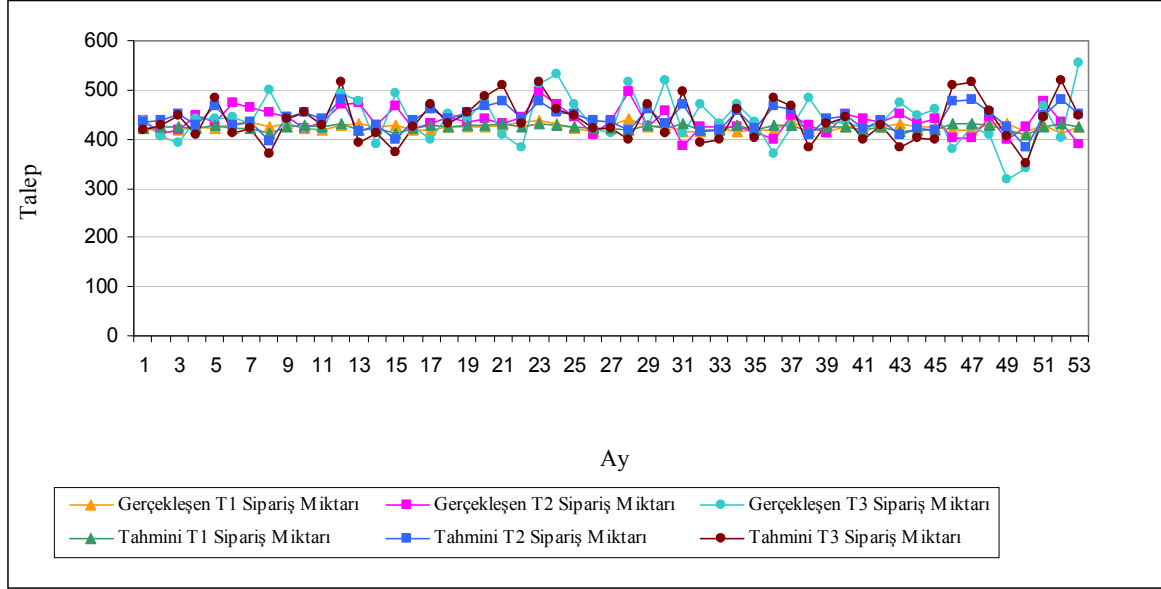
Çizelge 4.9 Üretici aşamasındaki sinir ağı için RTF sonuçları

Hata hedefi	Sigma sabiti	Maksimum Nöron Sayısı	Hata Kareleri Ortalaması	T1'e Tahmini Sipariş Miktarı	T2'ye Tahmini Sipariş Miktarı	T3'e Tahmini Sipariş Miktarı	Tahmini Kapasite (T1)	Tahmini Kapasite (T2)	Tahmini Kapasite (T3)
				425	448	460	436	430	460
0,01	1	25	Ağ eğitilemiyor						
0,01	0,01	100	0,0292	420	424	417	404	417	412
0,01	0,05	25	0,3091						
0,01	0,07	25	Ağ eğitilemiyor						
0,01	0,1	25	Ağ eğitilemiyor						
0,01	5	25	Ağ eğitilemiyor						
0,01	10	25	Ağ eğitilemiyor						
0,01	20	25	Ağ eğitilemiyor						
0,01	200	25	Ağ eğitilemiyor						

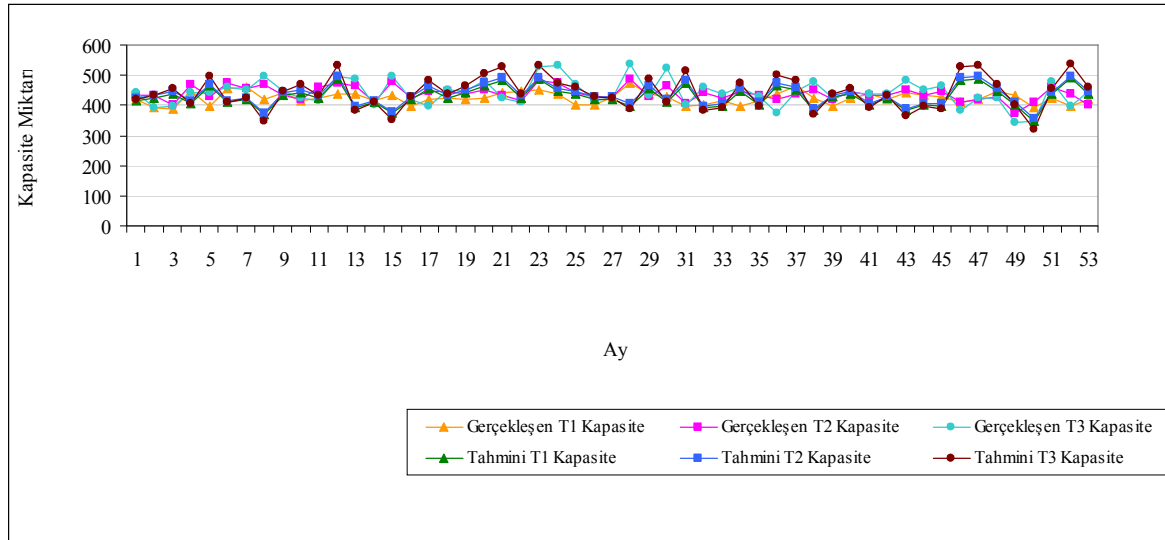
Çizelge 4.9 incelendiğinde hata hedefi karşılanamadığından tahminler değerlendirildikten RTF fonksiyonu sonuçları dikkate alınmamıştır. Uygulamanın, üretici kısmında RTF ile

yapılan analizin tutarlı bir sonuç vermediği görülmektedir.

ÇKA ile yapılan analiz sonucunda tedarikçi sipariş bilgisi ile kapasite bilgisinin eğitim sonucu elde edilen veri ile test verisinin karşılaştırılması Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.14 Tedarikçi sipariş miktarının gerçekleşen ve tahmini değerlerinin test kümesi baz alınarak karşılaştırılması



Şekil 4.15 Tedarikçi kapasite miktarının gerçekleşen ve tahmini değerlerinin test kümesi baz alınarak karşılaştırılması

Bir sonraki bölümde YSA tabanlı yapılandırılan ve gerçekleştirilen müşteri odaklı çok katmanlı TZ yapısına ait elde edilen sonuçlar, klasik istatistiksel analizler yardımıyla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

5. TEZ ÇALIŞMASININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

5.1 Klasik İstatistiksel Analiz Yöntemleri

Gerçek yaşamda gözlenen bir serinin davranışına ilişkin olarak akıl yürütmenin bir yolu, o serinin çeşitli bileşenlerden oluştuğunu düşünmektir. Geleneksel olarak dört olanaklı bileşen ele alınır, bunların bazılarının, ya da hepsinin belli bir seride bulunduğu varsayılır. Bu bileşenler şunlardır (Şenesen, 2001);

- Trend (genel eğilim) bileşeni: Zaman serisinde oldukça kararlı bir yükselme ya da düşme eğilimi sergiler.
- Mevsim bileşeni: Zaman serisinde yıldan yıla yenilenen örüntülerdir.
- Döngüsel bileşen: Zaman serilerinde mevsimsellik davranışı ile ilgili olmayan salınımlı örüntülerdir. İş yaşamındaki dalgalanmaların yansımalarıdır.
- Düzensiz bileşen: Zaman serisindeki dalgalanmaların geçmiş deneyimlere bakarak kestirilmesinin güç görüldüğü ögedir.

Bir zaman serisinin kavramsal olarak trend, mevsim, çevrim bileşenleri ile düzensiz bileşene ayrıştırılması, bu serinin davranışını açıklamada yardımcı olmaktadır. Bir serinin t anındaki değeri Y_t ile gösterilirse, seriyi **toplamsal model** aracılığıyla aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz;

$$Y_t = T_t + S_t + C_t + I_t \quad (5.1)$$

T_t trend bileşenini, S_t mevsim bileşenini, C_t döngüsel bileşeni ve I_t düzensiz bileşeni gösterir.

Bazı durumlarda bir seriyi **çarpımsal model** aracılığıyla bileşenlerinin çarpımı olarak düşünmek daha uygun olabilir.

$$Y_t = T_t S_t C_t I_t \quad (5.2)$$

Makridaskis vd. (1998) klasik tahmin yöntemlerini şöyle tanımlamıştır:

1. **Ortalama metotları:** Bu yöntem trend ve mevsimsellik örüntülerinin bulunmadığı, yani serinin durağan bir seri olduğu durumlarda iyi sonuçlar verebilir.

- a. *Ortalama*: Tüm gözlemlenen verilerin ortalaması, tahmin değeri olarak alınır.

$$F_{t+1} = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t Y_i \quad (5.3)$$

Y_t , t anındaki gözlemi, F_{t+1} t anındaki tahmini göstermektedir.

- b. *Hareketli ortalama*: İlk veriler göz önüne alınmadan, en son gerçekleşmiş verilerin ortalama üzerindeki etkisini değiştirmek üzere kullanılır. k periyotlu bir hareketli ortalama tahmini için;

$$F_{t+1} = \frac{1}{k} \sum_{i=t-k+1}^t Y_i \quad (5.4)$$

Ortalama tekniği ile karşılaştırıldığında hareketli ortalama şu karakteristiklere sahiptir;

- yalnızca en son k periyotları ile ilgilenir,
- her ortalamadaki verilerin sayısı, zamana bağlı olarak değişmemektedir.

Dezavantaj olarak ise şunlar söylenebilir;

- daha fazla depolamaya ihtiyaç duyar, çünkü tüm en son k gözlemleri bilinmelidir,
- trend ya da mevsimsellik kavramlarıyla başa çıkamayabilmektedir.

2. **Üssel düzeltme metotları**: Bir serinin geçmiş değerlerinde güncel verilere daha fazla ağırlık vererek, aynı serinin gelecekteki değerlerini tahmin yöntemidir. Üssel düzeltme metotları çok sayıda tahmin yapılması gerektiğinde ve kısa dönemli tahminlemede uygun olan bir metottur. Üssel düzeltme metodunda belirlenmesi gereken bir ya da daha fazla düzeltme parametresi vardır.

- a. *Basit üssel düzeltme*: Tahmin yaparken geçmiş periyodun tahmini ve bu periyodun tahmin hatasını kullanır. Trend ya da mevsimsel özellik taşımayan serilerde iyi sonuç verir. Gelecek periyodun tahmin değeri;

$$F_{t+1} = F_t + \alpha(Y_t - F_t) \quad (5.5)$$

şeklinde. α , 0 ile 1 arasında bir değer almaktadır. Tahmin değeri en son gözlem ağırlıklı olarak yapılmaktadır.

- b. *Holt doğrusal metodu (Çift üssel düzeltme metodu)*: Basit üssel düzeltme metodunun doğrusal üssel düzeltme metoduna genişletildiği bir yaklaşımdır. Böylece trend örüntüsüne sahip veri kümesi için bir tahmin yaklaşımı haline

getirilmiştir. Tahmin için, değerleri 0-1 arasında değişen α ve β düzeltme sabitleri kullanılmaktadır.

$$\begin{aligned} L_t &= \alpha Y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}), \\ b_t &= \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \\ F_{t+m} &= L_t + b_t m \end{aligned} \quad (5.6)$$

m , tahminin yapılacağı periyodu, L_t , t anındaki tahmini seviyeyi, b_t , t anındaki tahmini eğimi, F_{t+m} , m periyot sonraki tahmini gösterir.

- c. *Holt-Winters trend ve mevsimsellik metodu*: Trend ve mevsimselliğin bulunduğu durumlarda oldukça kullanışlı olan bu modelde düzeltilmesi gereken üç özellik vardır; seviye, trend ve mevsimsellik. Holt doğrusal modeline benzemekle birlikte mevsimselliğe odaklanan bu teknik, artımsal veya çarpımsal mevsimsellik olarak modellenmektedir.

Çarpımsal mevsimsellik modeli

$$\begin{aligned} L_t &= \alpha \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \\ b_t &= \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \\ S_t &= \gamma \frac{Y_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-s} \\ F_{t+m} &= (L_t + b_t m)S_{t-s+m} \end{aligned} \quad (5.7)$$

Toplamsal mevsimsellik modeli

$$\begin{aligned} L_t &= \alpha(Y_t - S_{t-s}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \\ b_t &= \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \\ S_t &= \gamma(Y_t - L_t) + (1 - \gamma)S_{t-s} \\ F_{t+m} &= L_t + b_t m + S_{t-s+m} \end{aligned} \quad (5.8)$$

(5.6) eşitliğine ek olarak bu modelde; s , mevsimsel sürenin uzunluğu (ay sayısı, mevsim sayısı, vb.), S_t , mevsim bileşeni ve γ mevsimsel faktör sabiti yer almaktadır.

- 3. Regresyon metotları-Çoklu regresyon analizi**: Bazı durumlarda bir tahmin, çıktısını etkileyen çok sayıda faktörün bir fonksiyonu şeklinde tanımlanabilir. Açıklayıcı modeller olarak tanımlanan bu yaklaşımlar zaman bağımlılık göstermeyebilirler. Önemli olan çıktıyı (tahmini) etkileyen girdilerin farklı kombinasyonları üzerinde çalışarak, girdi çıktı arasındaki ilişkiyi anlamaya çalışmaktır. Bir çıktı ve bir girdi arasındaki ilişkiyi

modelleyebilmek için “*basit regresyon*”, bir çıktı ve birçok girdi arasındaki ilişkiyi modelleyebilmek için “*çoklu regresyon*” kullanılır. Bu çalışmada tek çıktı ve çok girdi içeren modeller yer aldığı için çoklu regresyon yaklaşımı değerlendirilmiştir. Çoklu regresyonun genel formu aşağıdaki gibidir.

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k + e \quad (5.9)$$

e , tahmini hatayı (sapma) göstermektedir. Analiz sonucunda elde edilen hata terimleri “artık” (residual) olarak adlandırılır. Çoklu regresyonda bu hata terimlerinin birbirlerinden bağımsız olduğu kabulü yapılır. Hata terimleri arasında otokorelasyon olup olmadığına bakmak için korrelogramlardan faydalanılır. Ancak daha kesin sonuçlar için Durbin-Watson testine bakılabilir.

Durbin-Watson istatistiği 2 civarında ise otokorelasyon olmadığı, 0’a yakın ise pozitif otokorelasyon, 4’e yakın ise negatif otokorelasyon olduğu belirtilebilir (Akgül ve Çevik, 2003).

Çoklu regresyonda R^2 *çoklu korelasyon katsayısı*, tahmin değişkeni Y ile çoklu açıklayıcı değişkenler baz alınarak elde edilen $\hat{Y}$ değişkeni arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Böylelikle girdilerin çıktıyı ne kadar açıklayabildiği ortaya çıkmaktadır. R^2 katsayısı basitçe aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Makridakis vd., 1998);

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{Y} - \bar{Y})^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (5.10)$$

R^2 katsayısı değişkenler tarafından açıklanan varyans oranını belirlemek anlamında kullanışlı bir katsayıdır.

4. **Box-Jenkins modelleri:** Zaman serilerine farklı bir yaklaşım olarak, eldeki verileri kullanıp ilgilenilen seriyi türetebilecek bir model kurmaya yöneliktir. Yaklaşımın özü kestirimlerin türetebileceği çok geniş modeller kümesinin dikkate alınmasının yanısıra eldeki verilerin özelliklerine dayanarak herhengi bir belli kestirim sorununa uyan bir modelin seçilmesi yöntemidir (Şenesen, 2001). Zaman serileri kesikli, doğrusal ve stokastik süreç içeriyorsa Box Jenkins veya ARIMA modeli olarak adlandırılır. Bunlar doğrusal filtreleme modelleri olarak da bilinir. “*Otoregresif hareketli ortalama*” (ARMA-AutoRegressive Moving Average) modelleri, otoregresif (AR-AutoRegressive) modelleri ile hareketli ortalama (MA-Moving Average) modellerinin karışımıdır. AR, MA, ARMA modelleri en genel doğrusal, durağan Box-Jenkins modelleridir. ARMA modelleri veri

kümesi durağan ise kullanılmaktadır. Durağan olmayıp fark alma işlemi sonucunda durağanlaştırılan serilere uygulanan modellere “*birleştirilmiş otoregresif hareketli ortalama*” modeli (ARIMA-AutoRegressive Integrated Moving Average) denir. Bu model Box-Jenkins tekniği olarak da adlandırılır. Bu teknik derlenen kesikli zaman serilerinin ve dinamik sistemlerin modellenmesinde kullanılır. Box-Jenkins modellerinde amaç; mevcut verilerin yapısına bağlı olarak zaman serisine en iyi uyan ve en az parametre içeren doğrusal modeli belirlemektir. Çok çeşitli ARIMA modelleri mevcuttur. Mevsimsel olmayan modellerin genel gösterimi ARIMA (p, d, q) şeklindedir (Makridakis vd., 1998; Yaman vd., 2001).

Ar: p = otoregresif model derecesi

I: d = ilk fark alma derecesi

MA: q = hareketli ortalama model derecesi

ARIMA modellerinin kurulmasının dört temel aşamayı içerdiği görülmektedir. Birinci aşamada genel model sınıfı belirlenir. Genel modelin seçimi için otokorelasyon ve kısmi korelasyon fonksiyonlarının grafiklerinden faydalanılır. İkinci aşamada verilerin yapısına uyan geçici bir model belirlenir. Model belirleme aşamasında AR, MA, ARMA veya ARIMA model sınıfından bir model seçilir. Üçüncü aşamada, geçici modelin parametreleri, etkin istatistiksel teknikler kullanılarak tahmin edilir ve katsayıların standart hataları hesaplanarak anlamlı olup olmadıkları test edilir. Son aşamada ise, belirlenen modelin tahmin amacıyla uygunluk kontrolü yapılır. Bunun için uygun olduğu varsayılan geçici modelin hatalarının otokorelasyon katsayılarının grafiği çizilerek, otokorelasyon fonksiyonu incelenir. Söz konusu fonksiyon belirli bir şekil gösteriyorsa, hataların tesadüfî dağılmadığı sonucuna varılır. Bu tür bir bulgu, belirlenen geçici modelin uygun olmadığı anlamını taşır. Dolayısıyla ikinci aşamaya dönülerek bu süre, yeni bir geçici model ile uygun model belirleninceye kadar tekrarlanır. Uygunluk kontrolünden geçen model ise artık tahmin yapmak amacıyla kullanıma hazırdır (Yaman vd., 2001).

5.2 Tahminlerin Doğruluğu

Tahmin modeli ile elde edilen değerin doğruluğu ya da gerçeğe yakınlığı, tahmin modelinin de doğruluğunu göstermektedir. Bunun için çeşitli istatistiksel ölçümler kullanılmaktadır. Bu çalışmada tahmin modellerinin doğruluğunu belirlemek için “*Hata Kareleri Ortalaması*”

(**HKO-MSE**), “*Hataların Mutlak Sapmasının Ortalaması*” (**HMSO-MAD**) ve “*Mutlak Hata Yüzdelelerinin Ortalaması*” (**MHYO-MAPE**) ölçümleri kullanılmaktadır. Y_t , t anındaki gözlemlenen değeri, F_t , aynı t anı için elde edilen tahmin değeri, $\bar{Y}$, gözlem değerlerinin ortalaması ve n gözlemlenen zaman periyodu sayısı ise, hata ölçüm formülasyonları aşağıdaki gibi tanımlanır (Makridakis vd., 1998);

$$HKO = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - F_t)^2 \quad (5.11)$$

$$HMSO = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y_t - \bar{Y}| \quad (5.12)$$

$$MHYO = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \left(\frac{Y_t - F_t}{Y_t} \right) * 100 \right| \quad (5.13)$$

Bu tarz hata ölçüm formülasyonlarının yanı sıra tahmin doğruluğunu ölçmek için kullanılan bir başka istatistiksel yöntem de **Theil's U-istatistik** değerinin hesaplanmasıdır. Bu istatistik sayesinde uygulanan tahmin yönteminin kalitesi hakkında yorum yapılabilir. Theil's U-istatistiği, matematiksel olarak şöyle ifade edilmektedir (Makridakis vd., 1998);

$$U = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n-1} (FPE_{t+1} - APE_{t+1})^2}{\sum_{t=1}^{n-1} (APE_{t+1})^2}} \quad (5.14)$$

$$FPE_{t+1} = \frac{F_{t+1} - Y_t}{Y_t}$$

$$APE_{t+1} = \frac{Y_{t+1} - Y_t}{Y_t}$$

FPE_{t+1} ifadesi tahminin görelî değişimini, APE_{t+1} ifadesi ise gerçek değerin görelî değişimini göstermektedir. Theil's U-istatistiği, tahminin hata karelerinin ortalamasının, naiv tahminin (her tahmin, bir önceki birimin gerçekleşen değeridir) hata karesinin ortalamasına olan oranıdır. (5.14) eşitliği daha da basitleştirilerek şu şekilde yazılır;

$$U = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n-1} \left(\frac{F_{t+1} - Y_{t+1}}{Y_t} \right)^2}{\sum_{t=1}^{n-1} \left(\frac{Y_{t+1} - Y_t}{Y_t} \right)^2}} \quad (5.15)$$

U -istatistiğinin geçerliliğinin sınırları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- $U=1$: naiv metot, kullanılan tahmin tekniği kadar uyumludur,
- $U<1$: kullanılan tahmin tekniği, naiv metottan çok daha iyi sonuç verir. U -istatistiği ne kadar küçükse o kadar iyidir.
- $U>1$: kullanılan tahmin tekniği uyumlu değildir, naiv metot çok daha iyi sonuçlar vermektedir.

Regresyon analizi ve zaman serileri analizi dışında, değişkenler arasındaki ilişkinin derecesini tanımlamak için kullanılan bir diğer teknik ise korelasyon analizidir. Korelasyon analizi çoğunlukla, bağımlı değişkenin değişkenliğini regresyon doğrusunun ne kadar iyi açıkladığını ölçmek için kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra korelasyon analizi, iki değişken arasındaki ilişkinin derecesini ölçmek için de kullanılabilir. İki değişken arasındaki ilişki, korelasyon katsayısı ve belirlilik katsayısı olarak adlandırılan iki parametre ile belirlenmektedir. Basit korelasyon katsayısı, iki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin gücünü gösteren sayısal bir ölçüm olarak tanımlanmaktadır. Bir bağımlı ve birden fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkinin gücünün ölçülmesinde çoklu korelasyon katsayısından, kısmi etkilerin ölçülmesinde de kısmi korelasyon katsayısından faydalanılmaktadır. Belirlilik katsayısı ise, bağımlı değişkende, regresyon eşitliğiyle yani bağımsız değişkenle olan ilişkisi bağlamında açıklanabilen değişim oranını ifade etmektedir. Belirlilik katsayısı, bağımlı değişkende bağımsız değişkenle açıklanan değişimin ölçüsü olduğundan, regresyon doğrusunun örneklem verisine ne kadar iyi uyduğunu da göstermektedir (Özdemir ve Özdemir, 2006).

Otokorelasyon katsayısı, iki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin boyutunu ölçen bir istatistiktir. *İlişki açıklayıcı* (explanatory variable) olarak da ifade edilirler. Otokorelasyon için Y_t (t anındaki gözlem), Y_{t-1} (t-1 anındaki gözlem) ile karşılaştırılırsa ardışık gözlemlerin birbirleri ile nasıl bir ilişki içerisinde olduğu görülür. Y_{t-1} gözlemi için “bir periyot gecikmeli” olarak bir saptama yapılabilir. Aynı şekilde iki önceki, üç önceki veya daha fazla periyot önceki gecikme durumu değerlendirilebilir. k gecikme periyodundaki r_k otokorelasyonu aşağıdaki formülle hesaplanır (Makridakis vd., 1998).

$$r_k = \frac{\sum_{t=k+1}^n (Y_t - \bar{Y})(Y_{t-k} - \bar{Y})}{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2} \quad (5.16)$$

Her bir gecikme (1, 2,...) periyodundaki otokorelasyonlar, otokorelasyon fonksiyonlarını (OF)

oluştururlar. Zaman serisinde verilerin birbirleriyle ilişkisini gösteren grafiklere “korrelogram” (correlogram) adı verilir. Korrelogramlar zaman serilerindeki örüntüleri açıklamada önemli bir yere sahiptir. Bu grafikler otokorelasyonların kolay bir biçimde görünmesini sağlar. (Makridakis vd., 1998).

Korrelogramlarda en büyük otokorelasyon değerine bakılarak serinin mevsimsel veya trend etkisine sahip olup olmadığına karar verilir. Değerleri $\pm 2/\sqrt{n}$ sınır değerleri içinde kalan otokorelasyonlar dikkate alınmayabilir (Makridakis vd., 1998). Bu sınırlar dışına taşan otokorelasyon değerleri ise seride bir örüntü olduğuna işaret ederek, zaman serisi hakkında daha çok bilgi vermektedir.

Hata terimlerinin birbirleri ile ilişkisi olması durumu da yine otokorelasyon istatistiği ile belirlenir. Bu durum, regresyonlu hata terimlerinin birbirinden bağımsız olduğu varsayımından sapmayı ifade eder. Bunun üç sebebi şöyle belirtilebilir (Akgül ve Çevik, 2003);

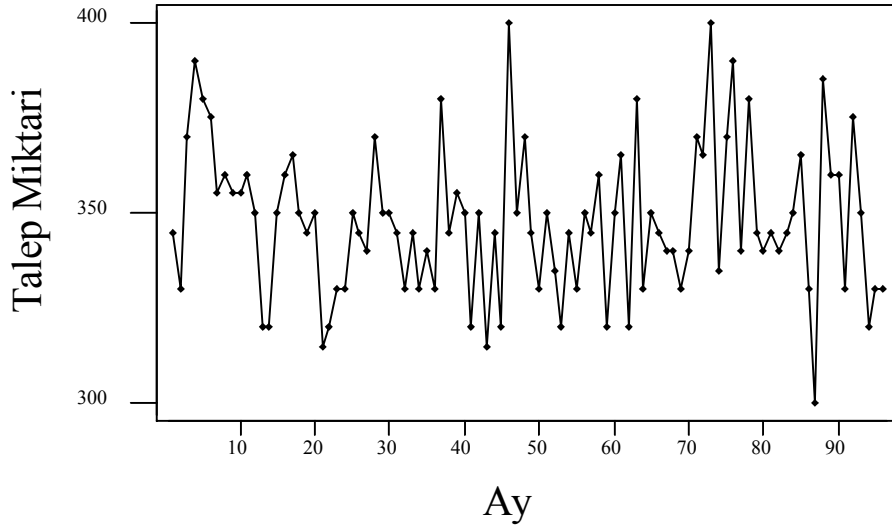
- Değişkenler arasındaki ilişkiyi belirleyen matematiksel kalıbın yanlış seçilmiş olması,
- Bazı açıklayıcı (bağımsız) değişkenlerin ilişkiye dâhil edilmemiş olması,
- Açıklanan (bağımlı) değişkende ölçme hatasının bulunması,

Hata terimi serpmme grafiği, otokorelasyon olup olmadığı hakkında bir izlenim verebilir. Hata terimleri grafikte belirli bir görünüm gösteriyorsa, otokorelasyon olması beklenir. Grafik belirli bir görünüm yerine, rasgele bir görünüm gösteriyorsa, otokorelasyon olmayacağından regresyonun söz konusu varsayımı sağlanır.

Zaman serisi verileri MINITAB 13 istatistik paket programında işlenerek hata değerleri karşılaştırılmış ve gelecek periyoda ilişkin tahminler yapılmıştır.

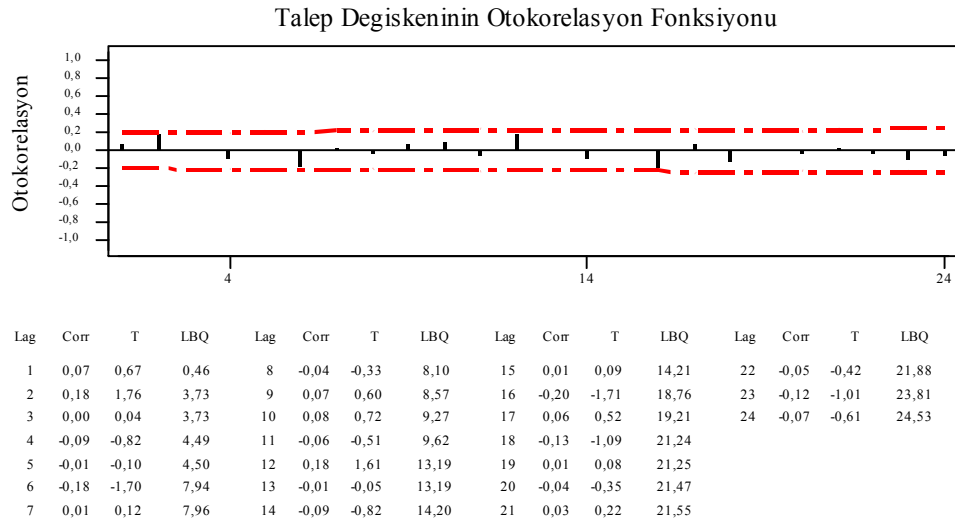
5.3 Tez Çalışmasının Karşılaştırmalı İstatistiksel Analizi

Bu başlık altında, Bayi 1’e yönelik istatistiksel analizler yapılmıştır. Zaman serisi analizinin başlangıç aşamasında; serideki hareketleri (trend, mevsimsel, düzensiz, döngüsel) ve seriyi bozan değerlerin olup olmadığını görmek için zaman serisinin grafiği çizilmiştir.

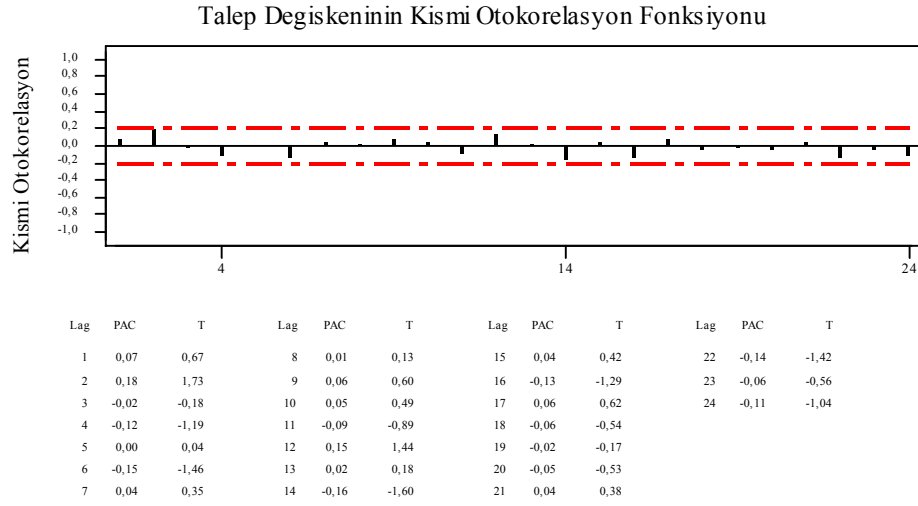


Şekil 5.1 Bayi 1'in talep miktarının aylara göre değişiminin gösterimi

Şekil 5.1'de yer alan zaman serisi grafiğine bakıldığında veri kümesinin rasgele, düzensiz bir davranış gösterdiği görülmektedir. Ancak olası mevsimsellik, trend vb. örüntülerin mevcut olup olmadığından emin olmak için bu veri kümesine ait korelogramlar hazırlanmıştır. Otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon karakterlerini gösteren Şekil 5.2 aşağıda yer almaktadır.



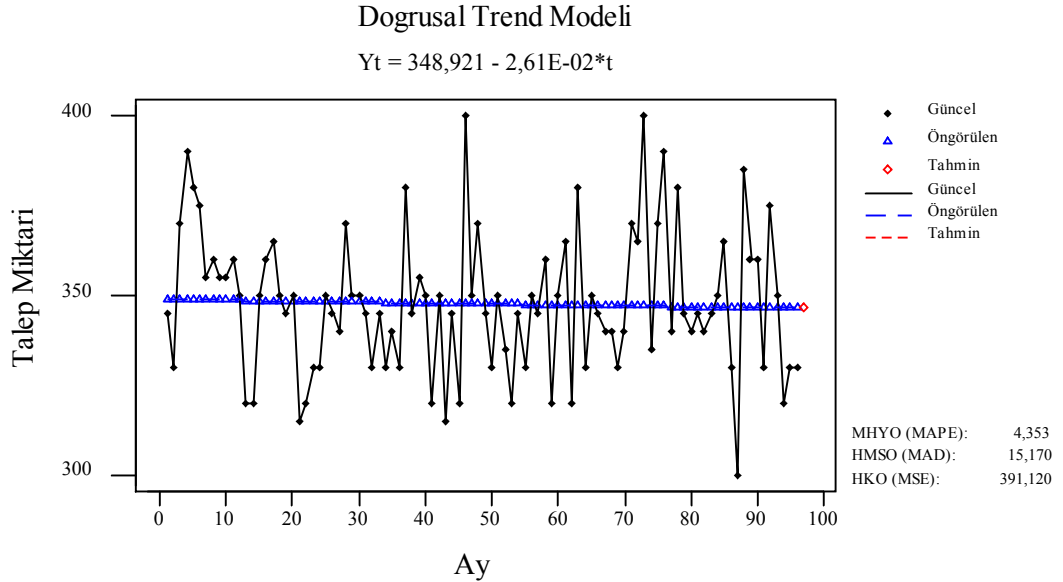
(a)



(b)

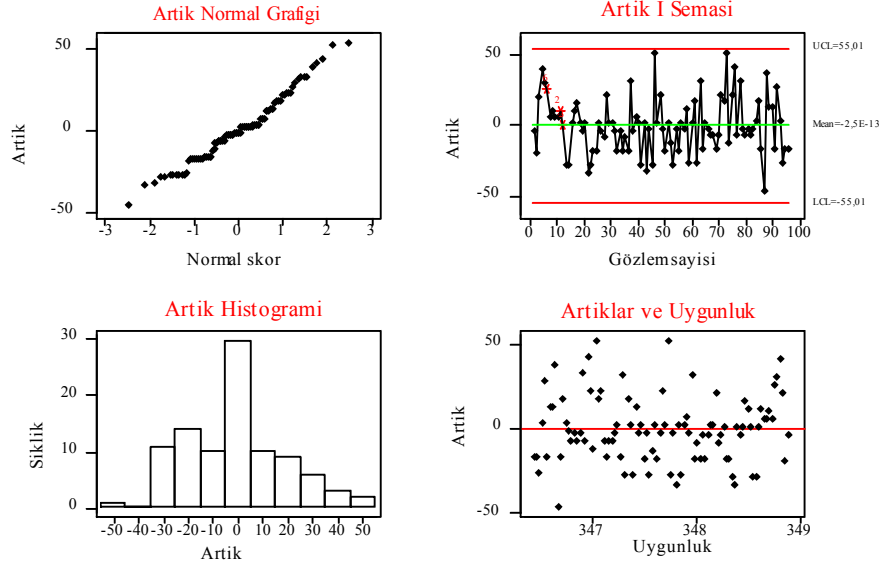
Şekil 5.2 Bayi 1'in talep miktarının (a) otokorelasyon fonksiyonu gösterimi ve (b) kısmi otokorelasyon fonksiyonu gösterimi

Şekil 5.2 de, veri kümesinde mevsimsellik, trend veya döngüsel değişimler gibi hiçbir örüntü taşımadığını göstermektedir. Bununla birlikte her ihtimale karşı, serinin trende sahip olup olmadığını belirlemek için bir trend analizi yapılmış ve herhangi bir trend örüntüsüne de rastlanmamıştır.



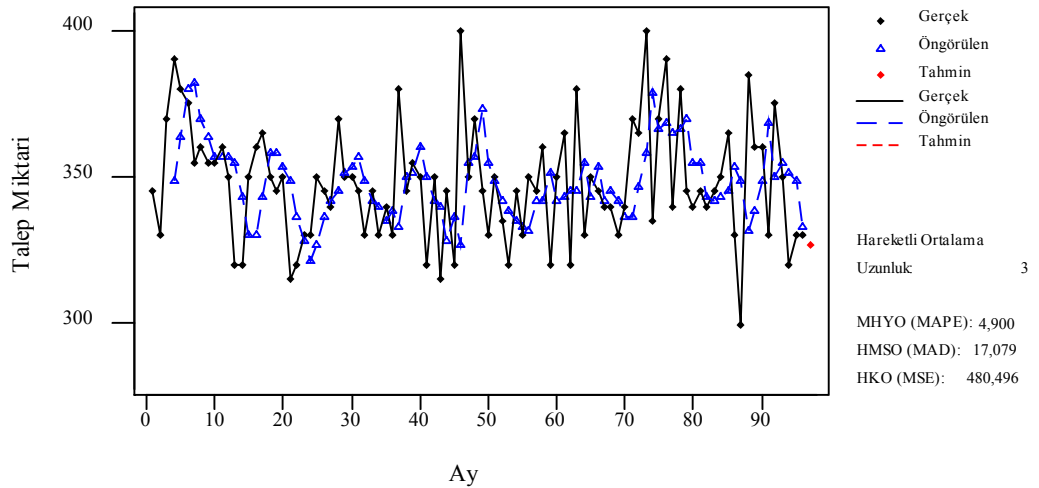
Şekil 5.3 Bayi 1'in talep miktarı için trend analizi

Trend analizi sonucunda elde edilen artıklara ilişkin analiz Şekil 5.4'te yer almaktadır.



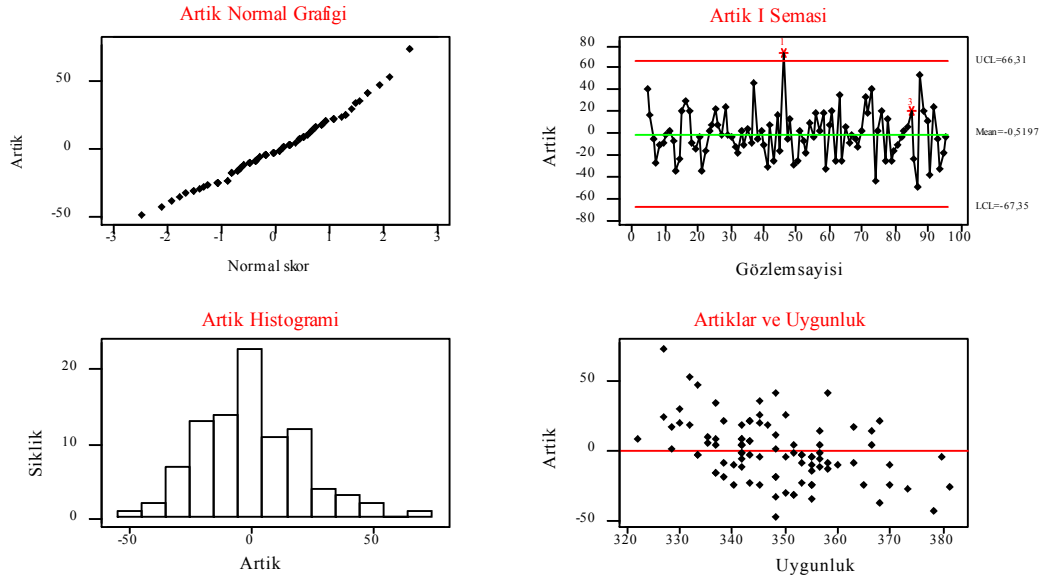
Şekil 5.4 Bayi 1 talep miktarı için trend analizi yöntemi kullanıldığında elde edilen artıkların analizi

Şekil 5.4'te yer alan trend analizine ait *Artıklar ve Uygunluk* grafiği yardımıyla artıkların rasgele dağıldıkları, herhangi bir örüntü içermedikleri görülmektedir. Böyle bir veri kümesi için klasik istatistiksel teknikler yardımıyla çeşitli tahminler ve bu tahminlere bağlı hatalar tespit edilmiştir. Ortalamaları durağan (stationary) olan bu veri kümesinin hareketli ortalama ve üssel düzeltme istatistikleri aşağıda verilmiştir.

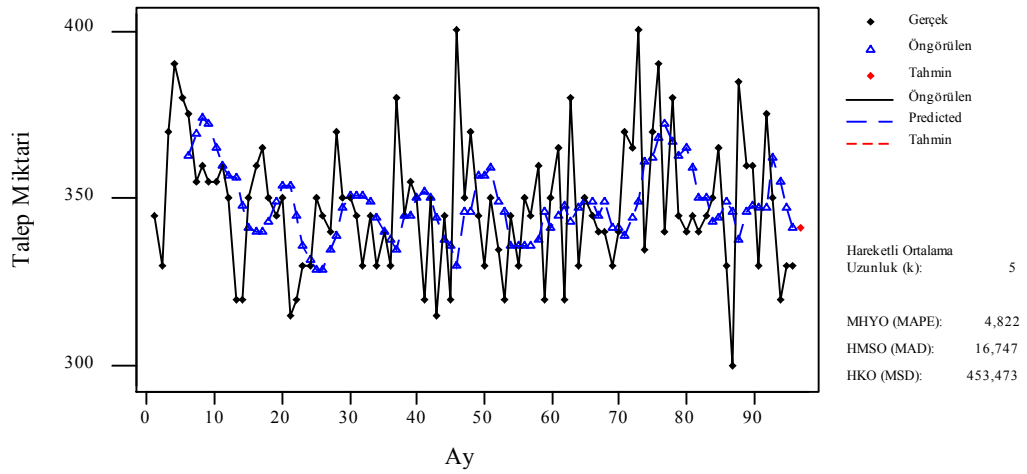


Şekil 5.5 Bayi 1'in talep miktarı için üçlü hareketli ortalama yöntemi

Bayi 1 için üçlü hareketli yönteminden elde edilen artıkların analizi Şekil 5.6'daki gibidir.

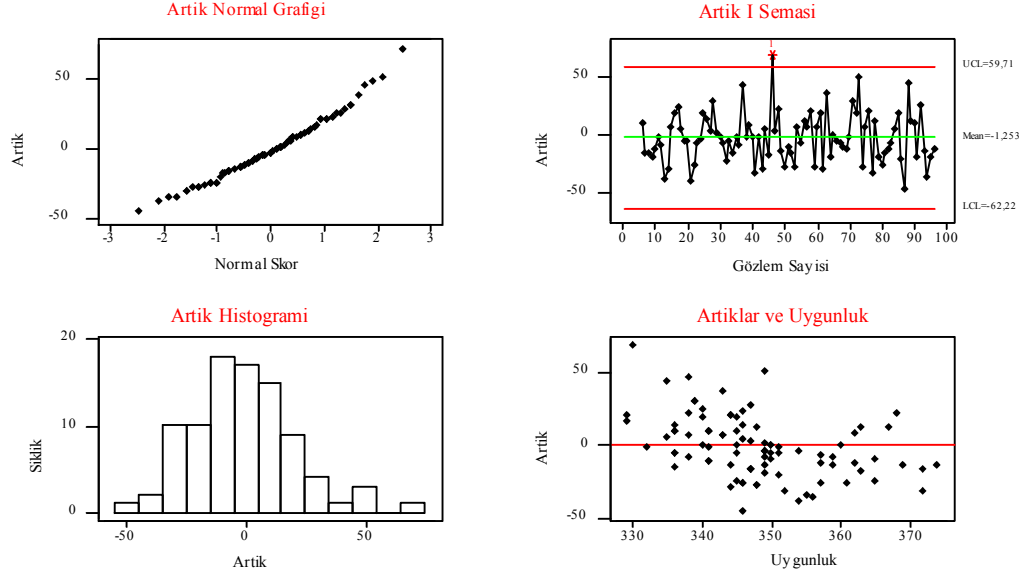


Şekil 5.6 Bayi 1 talep miktarı için üçlü-hareketli ortalamalar yöntemi kullanıldığında elde edilen artıkların analizi



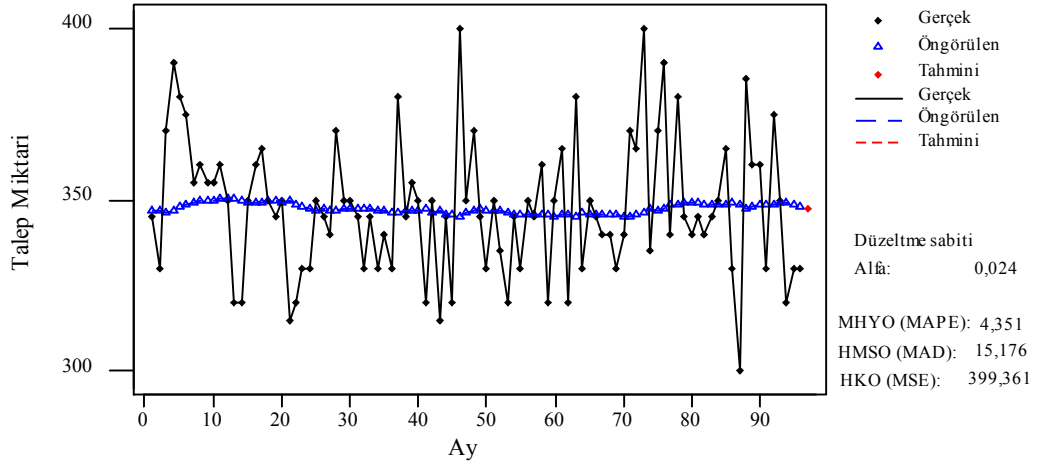
Şekil 5.7 Bayi 1'in talep miktarı için beşli hareketli ortalama yöntemi

Bayi 1 için beşli hareketli yönteminden elde edilen artıkların analizi Şekil 5.8'deki gibidir.



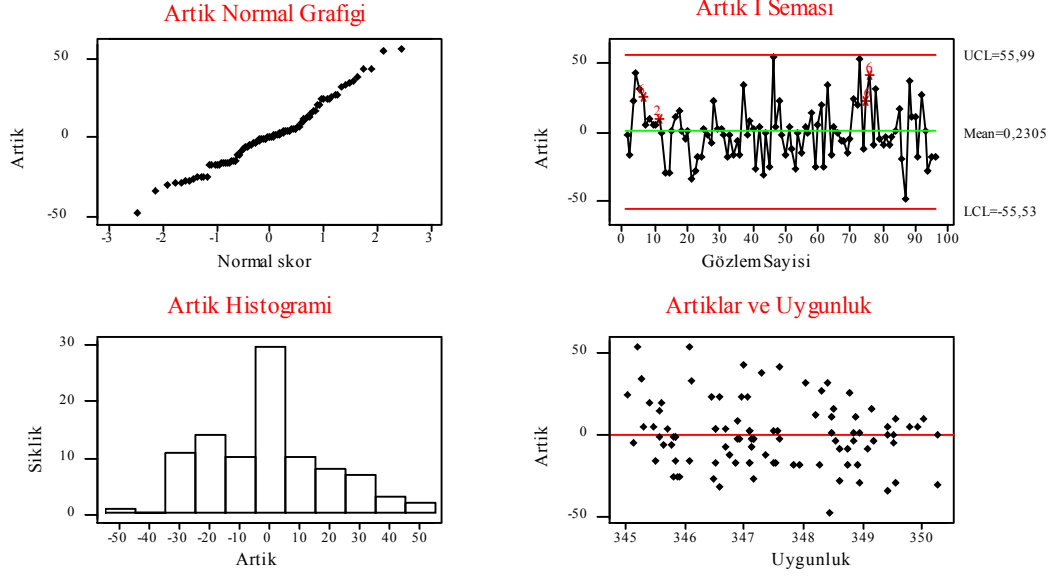
Şekil 5.8 Bayi 1 talep miktarı için beşli hareketli ortalamalar yöntemi kullanıldığında elde edilen artıkların analizi

Şekil 5.6 ve Şekil 5.8’de hareketli ortalamalar yöntemine ait “*Artıklar ve Uygunluk*” grafiğinde bir V şekli dikkati çekmektedir. Artıklar arasında bir ilişki olduğunu gösteren bu yapı, tahmin için hareketli ortalamalar yönteminin uygun bir yaklaşım olmadığını işaret etmektedir.



Şekil 5.9 Bayi 1 talep miktarı için basit üssel düzeltme

Bayi 1 için basit üssel düzeltme yönteminden elde edilen artıkların analizi Şekil 5.10’daki gibidir.



Şekil 5.10. Bayi 1 talep miktarı için basit üssel düzeltme yöntemi kullanıldığında elde edilen artıkların analizi

Şekil 5.10'daki artık analizine bakıldığında “*Artıklar ve Uygunluk*” grafiğindeki rasgelelik biraz daha fazla olduğundan, basit üssel dağılımın hareketli ortalamalara nazaran daha iyi sonuç verdiği söylenebilir. Artıkların rasgele dağılmış olması, dolayısıyla arada hiçbir korelasyon ilişkisinin görülmemesi, klasik tahmin metotları arasında, Bayi 1 için veri kümesini en iyi tanımlayanın üssel düzeltme tekniği olduğuna işaret etmektedir.

Tüm bu analizlerin ardından Bayi 1 veri kümesi için çoklu regresyon yaklaşımı uygulanmıştır. Bayi 1 için talep miktarının; birim satış fiyatından, ürün kalitesinden, müşteri tatmin seviyesinden, promosyon ve reklam etkisi faktörlerinden nasıl etkilendiği araştırılmıştır.

Şekil 5.11’de de görüldüğü gibi regresyon p değerinin 0,0005 değerinden küçük olması yapılan çoklu regresyon analizinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Durbon-Watson istatistik değerinin 1,96 değeri ile 2’ye yakın olduğu ve artık değerler arasında bir otokorelasyon olmadığı göze çarpmaktadır. Bu da regresyon analizi için önemli olan artık değerlerin birbirinden bağımsız olma kriterini sağlamaktadır. Şekil 5.11’de bulunan R^2 değişkeni girdi değişkenlerinin çıktığı %96,3 oranında açıkladığını göstermektedir.

The regression equation is
Talep Miktarı = 526 - 0,128 Br.Satis Fiyatı + 1,88 Urun Kalitesi
- 5,30 Musteri Tatmin Seviyesi + 97,9 Promosyon&Reklam Etkisi

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	526,022	7,653	68,74	0,000
Br.Satis Fiyatı	-0,127972	0,005389	-23,75	0,000
Urun Kalitesi	1,8849	0,2184	8,63	0,000
Musteri Tatmin Seviyesi	-5,2951	0,2560	-20,68	0,000
Promosyon&Reklam Etkisi	97,931	3,616	27,08	0,000

S = 3,921 R-Sq = 96,3% R-Sq(adj) = 96,1%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	36198,4	9049,6	588,54	0,000
Residual Error	91	1399,3	15,4		
Total	95	37597,7			

Source	DF	Seq SS
Br. Satis Fiyatı	1	16694,5
Urun Kalitesi	1	794,0
Musteri Tatmin Seviyesi	1	7430,4
Promosyon&Reklam Etkisi	1	11279,5

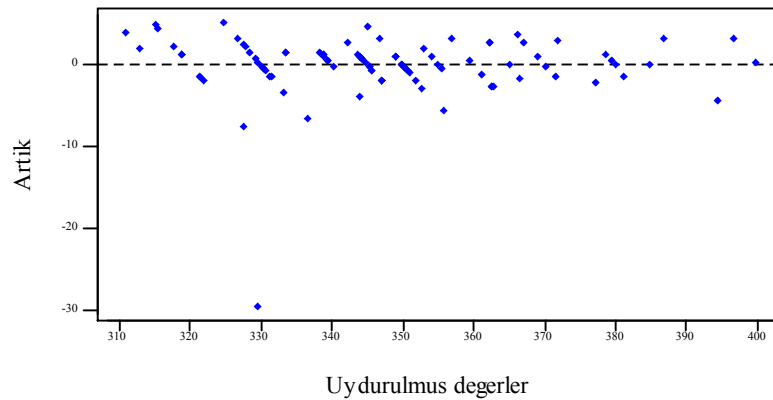
Unusual Observations

Obs	Br. Sati	Talep Mi	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
78	1450	380,000	381,265	2,044	-1,265	-0,38 X
87	1350	300,000	329,536	0,677	-29,536	-7,65R

Durbin-Watson statistic = 1,96

Şekil 5.11 Bayi 1 talep miktarı için çoklu regresyon analizinin sonucu

Şekil 5.12’te artık değerler ve uyumlu değerler arasındaki ilişki yer almaktadır.



Şekil 5.12 Bayi 1 talep miktarı için çoklu regresyon analizi sonucunda elde edilen artıkların analizi

Veri kümesine çoklu regresyon analizinin ardından ARIMA modelleri uygulanmıştır. Veri kümesinin zaman serisi grafiği ve korrelogram yapılarına bakılarak uygun olan ARIMA

modeli belirlenmeye çalışılmıştır. Bayi 1'in talep miktarına ait veri kümesi rasgele düzensizlikler içermesinin yanı sıra otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon tablolarına bakıldığında, verilerin durağan bir yapı sergilediği de göze çarpmaktadır. Bu sebeple veri kümesinin farkı alınmadan sadece ARIMA(1, 0, 0), ARIMA(0, 0, 1) ve ARIMA (1, 0, 1) modelleri değerlendirmeye alınmıştır. Her bir modelin tahmin hatası, gelecek dönem tahmini, artıkların korrelogramları aşağıda belirtilmiştir.

```
ARIMA model for Talep Miktari

Estimates at each iteration
Iteration      SSE      Parameters
0             37456,4    0,100  312,981
1             37419,8    0,071  323,070
2             37419,7    0,069  323,590
3             37419,7    0,069  323,616
Relative change in each estimate less than 0,0010

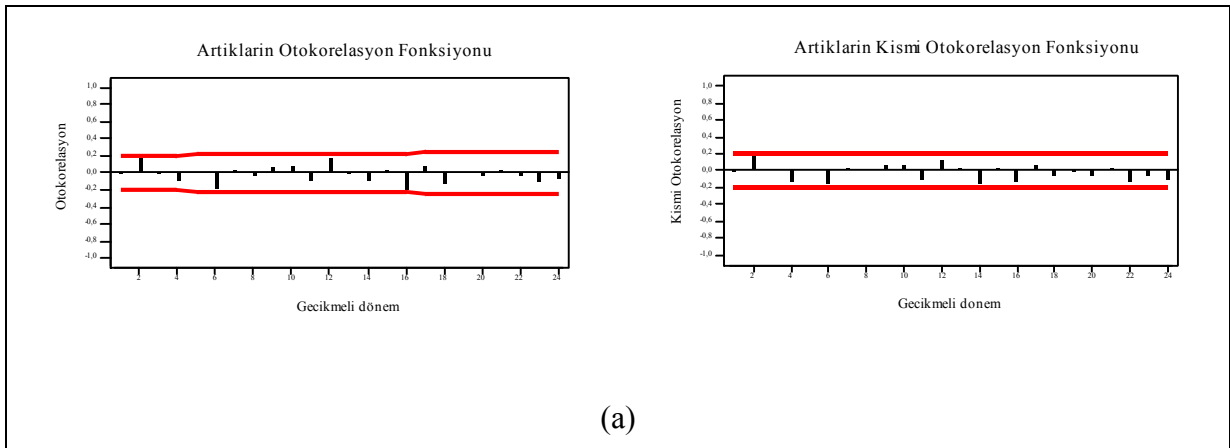
Final Estimates of Parameters
Type      Coef      SE Coef      T      P
AR 1      0,0691    0,1033      0,67    0,505
Constant  323,616    2,036      158,91   0,000
Mean      347,641    2,188

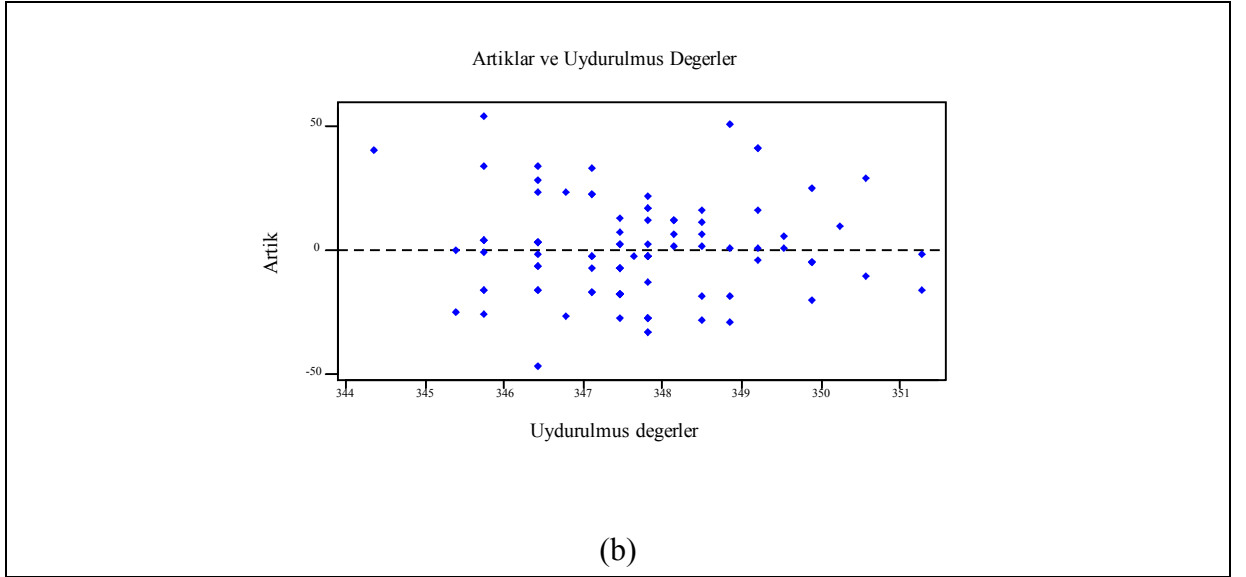
Number of observations: 96
Residuals:  SS = 37419,6 (backforecasts excluded)
              MS = 398,1  DF = 94

Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square statistic
Lag        12        24        36        48
Chi-Square 13,3      25,3      32,0      38,5
DF          10       22       34       46
P-Value     0,209    0,281    0,565    0,776

Forecasts from period 96
              95 Percent Limits
Period  Forecast      Lower      Upper      Actual
97      346,421    307,308    385,535
```

Şekil 5.13 Bayi 1 talep miktarı için ARIMA (1, 0, 0) modelinin sonuçları



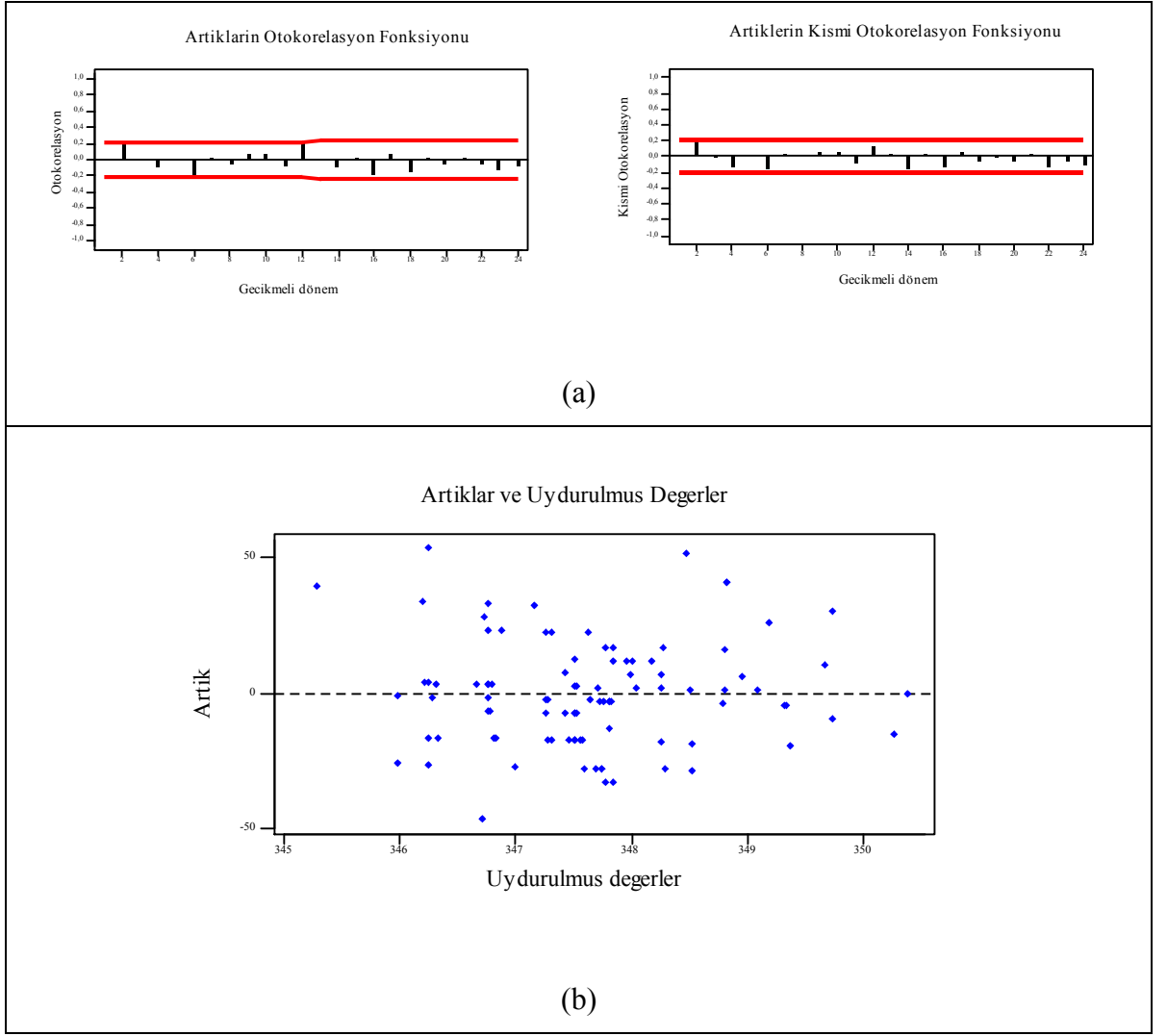


Şekil 5.14 Bayi 1 talep miktarı için ARIMA (1, 0, 0) modelinin artıklarına ilişkin (a) korrelogramlar ve (b) uygunluk durumu

Aşağıda ARIMA(0, 0, 1) modeli yer almaktadır.

ARIMA model for Talep Miktari				
Estimates at each iteration				
Iteration	SSE	Parameters		
0	38631,1	0,100	347,756	
1	37467,0	-0,050	347,676	
2	37466,9	-0,051	347,648	
3	37466,9	-0,051	347,647	
4	37466,9	-0,051	347,646	
5	37466,9	-0,051	347,646	
Relative change in each estimate less than 0,0010				
Final Estimates of Parameters				
Type	Coef	SE Coef	T	P
MA 1	-0,0508	0,1034	-0,49	0,624
Constant	347,646	2,141	162,36	0,000
Mean	347,646	2,141		
Number of observations: 96				
Residuals: SS = 37466,8 (backforecasts excluded)				
MS = 398,6 DF = 94				
Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square statistic				
Lag	12	24	36	48
Chi-Square	13,2	25,1	31,4	38,0
DF	10	22	34	46
P-Value	0,214	0,294	0,593	0,792
Forecasts from period 96				
95 Percent Limits				
Period	Forecast	Lower	Upper	Actual
97	346,792	307,654	385,931	

Şekil 5.15 Bayi 1 talep miktarı için ARIMA (0, 0, 1) modelinin sonuçları

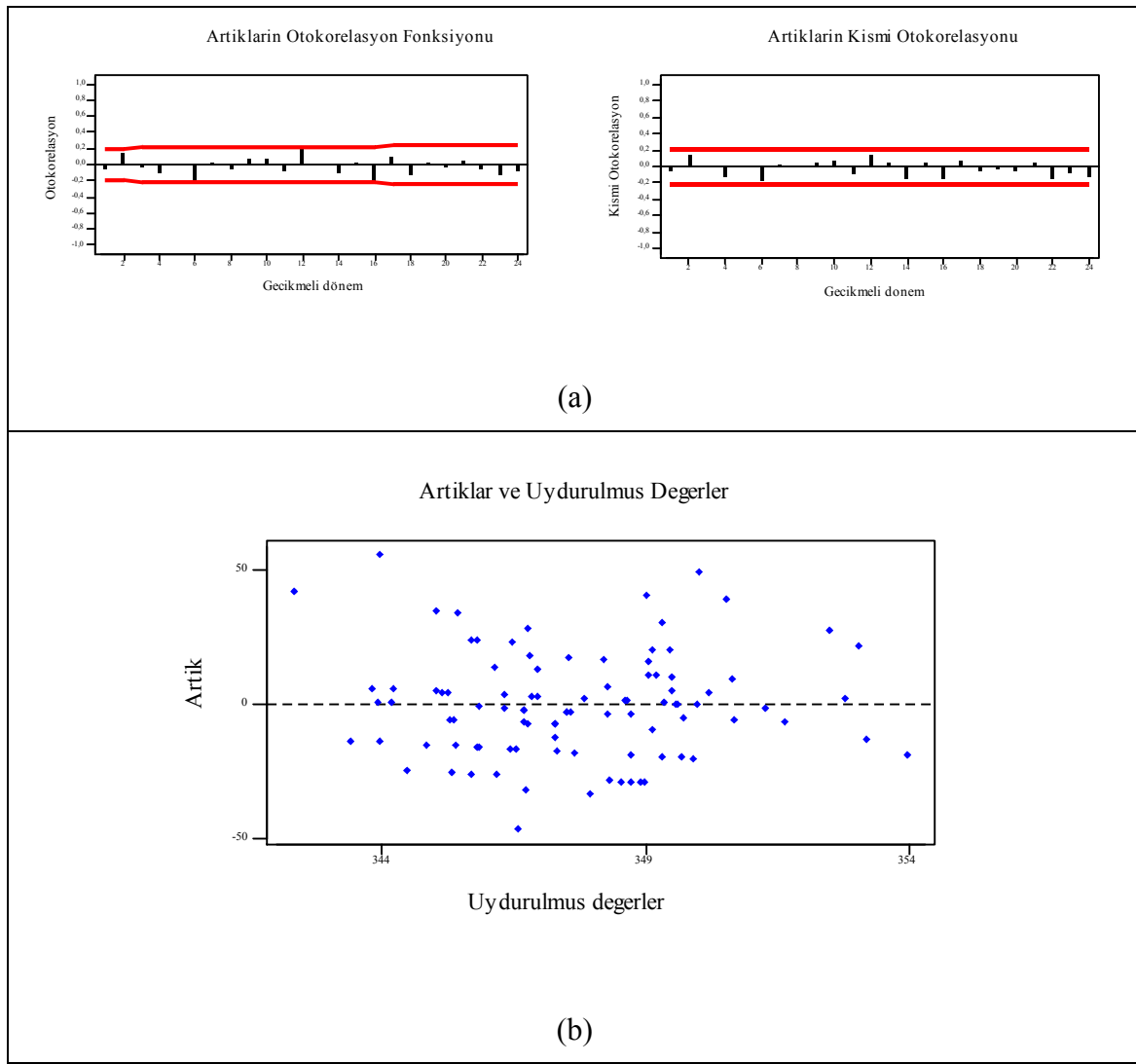


Şekil 5.16 Bayi 1 talep miktarı için ARIMA (0, 0, 1) modelinin artıklarına ilişkin (a) korrelogramlar ve (b) uygunluk durumu

Aşağıda ARIMA (1, 0, 1) modeli yer almaktadır.

ARIMA model for Talep Miktarı				
Estimates at each iteration				
Iteration	SSE	Parameters		
0	37598,6	0,100	0,100	312,981
1	37362,2	0,140	0,060	298,827
2	37222,9	0,289	0,210	247,315
3	37127,3	0,437	0,360	195,880
4	37099,1	0,587	0,508	143,726
5	37094,6	0,456	0,358	189,150
6	37083,8	0,600	0,508	138,960
7	37074,8	0,510	0,406	170,275
8	37073,4	0,574	0,476	148,038
9	37071,7	0,526	0,423	164,608
10	37071,2	0,561	0,462	152,480
11	37070,7	0,535	0,433	161,704
12	37070,6	0,555	0,454	154,792
13	37070,4	0,540	0,438	160,027
14	37070,4	0,551	0,450	156,101
15	37070,3	0,542	0,441	159,071
16	37070,3	0,549	0,448	156,838
17	37070,3	0,544	0,443	158,526
18	37070,3	0,548	0,447	157,254
19	37070,3	0,545	0,444	158,215
20	37070,3	0,545	0,444	158,097
Relative change in each estimate less than 0,0010				
Final Estimates of Parameters				
Type	Coef	SE Coef	T	P
AR 1	0,5452	0,6691	0,81	0,417
MA 1	0,4439	0,7132	0,62	0,535
Constant	158,097	1,135	139,31	0,000
Mean	347,586	2,495		
Number of observations: 96				
Residuals: SS = 37070,3 (backforecasts excluded)				
MS = 398,6 DF = 93				
Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square statistic				
Lag	12	24	36	48
Chi-Square	13,0	24,8	31,6	38,0
DF	9	21	33	45
P-Value	0,165	0,254	0,535	0,761
Forecasts from period 96				
95 Percent Limits				
Period	Forecast	Lower	Upper	Actual
97	344,580	305,441	383,720	

Şekil 5.17 Bayi 1 talep miktarı için ARIMA (1, 0, 1) modelinin sonuçları



Şekil 5.18 Bayi 1 talep miktarı için ARIMA (1, 0, 1) modelinin artıklarına ilişkin (a) korrelogramlar ve (b) uygunluk durumu

Kurulan ARIMA modellerinin artık analizlerine bakıldığında üçünde de herhangi bir örüntüye rastlanmamış, artık değerler arasında herhangi bir korelasyon ilişkisi görülmemiştir.

Yukarıda yapılan analizde Bayi 1'e ait veri kümesi üç açıdan ele alınmıştır. Veri kümesi, önce zaman serileri analizi, daha sonra çoklu regresyon analizi, ardından ARIMA modellerine göre değerlendirilmiştir. TZ'deki diğer birimlere ilişkin klasik istatistiksel analizler "Ekler" kısmında yer almaktadır. Tüm bu analizler doğrultusunda tedarik zincirinde yer alan her birimin talep veri kümesine ait analiz tipi ve hata ölçüm değerleri Çizelge 5.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.1'de görüldüğü gibi TZ birimlerinin her biri için klasik istatistiksel yöntemler ve YSA tabanlı tekniklerle tahmin değerleri hesaplanmış ve yine her biri için ayrı ayrı çeşitli hata ölçümleri kullanılarak hata değerleri belirlenmiştir.

Çizelge 5.1 Her birimin talep tahmini analiz sonuçları

Analiz tipi		Kullanılan hata ölçümleri				
BAYİ AŞAMASI						
Bayi 1	Gerçekleşen Talep: 345,000	HMSO (MAD)	MHYO (MAPE)	HKO (MSE)	Thiel's U değeri	Tahmin Değeri
Trend analizi		15,170	4,353	391,120	0,73180	346,391
Hareketli ortalamalar	Üçlü hareketli ortalama	17,079	4,900	480,496	0,79959	326,667
	Beşli hareketli ortalama	16,747	4,822	453,473	0,78603	341,000
Basit üssel düzeltme		15,176	4,351	399,361	0,74013	347,000
Çoklu regresyon	D-W= 1,96	2,071	0,614	14,576	0,14439	341,987
ARIMA modelleri	ARIMA (1, 0, 0)	15,193	4,359	398,100	0,73129	346,421
	ARIMA (0, 0, 1)	15,212	4,365	398,600	0,73139	346,792
	ARMA (1, 0, 1)	15,035	4,314	398,600	0,72876	344,580
ANFIS				Eğitim: 2,170 Test: 4,781		341,000
Bayi 2	Gerçekleşen Talep: 550,000	HMSO (MAD)	MHYO (MAPE)	HKO (MSE)	Thiel's U değeri	Tahmin Değeri
Trend analizi		38,038	8,385	2121,576	0,842	467,481
Hareketli ortalamalar	Üçlü hareketli ortalama	39,305	8,615	2320,240	0,869	440,667
	Beşli hareketli ortalama	38,637	8,533	2271,880	0,859	446,800
Basit üssel düzeltme		37,534	8,247	2113,775	0,832	454,841
Çoklu regresyon	D-W=2,10	0,392	0,085	0,234	0,009	531,100
ARIMA modelleri	ARIMA (0, 1, 1)	465,37	100,760	2155,000	8,294	453,211
ANFIS				Eğitim: 0,452 Test: 0,570		531,000
Bayi 3	Gerçekleşen Talep: 218,000	HMSO (MAD)	MHYO (MAPE)	HKO (MSE)	Thiel's U değeri	Tahmin Değeri
Trend analizi		23,401	12,876	847,256	0,83883	181,291
Hareketli ortalamalar	Üçlü hareketli ortalama	25,477	13,833	1039,097	0,91689	170,333
	Beşli hareketli ortalama	25,545	14,084	1090,431	0,93357	178,400
Basit üssel düzeltme		23,822	13,296	891,250	0,86292	186,199
Holt doğrusal modeli		26,660	14,147	1158,517	0,96223	163,191
Çoklu regresyon	D-W=1,65	1,714	0,931	4,600	0,05904	217,505
ARIMA modelleri	ARIMA (1, 1, 1)	190,42	101,693	833,600	5,03149	175,396
		1				
ANFIS				Eğitim: 2,039 Test: 3,001		218,000
DEPO AŞAMASI						
Depo 1	Gerçekleşen Talep: 535,000	HMSO (MAD)	MHYO (MAPE)	HKO (MSE)	Thiel's U değeri	Tahmin Değeri
Trend analizi		25,372	4,654	1053,671	11,896	537,308
Hareketli ortalamalar	Üçlü hareketli ortalama	31,993	5,872	1556,340	0,838	548,333
	Beşli hareketli ortalama	29,488	5,416	1307,204	0,752	525,000
Basit üssel düzeltme		27,101	4,992	1194,262	0,752	531,389
Holt doğrusal modeli		33,254	6,119	1723,852	0,899	513,794
Çoklu regresyon	D-W=2,03	16,278	3,009	502,109	0,497	510,694
ARIMA modelleri	ARIMA (1, 0, 1)	25,549	4,693	1074,235	0,716	544,273
Sinir ağı modeli	ÇKA modeli (*)	21,507	3,830	870,208	0,652	550,000
	RTF modeli (**)	15,478	2,869	2358,229	1,115	588,000

Çizelge 5.1 devamı

<i>Depo 2</i>	<i>Gerçekleşen Talep: 530,000</i>	HMSO (MAD)	MHYO (MAPE)	HKO (MSE)	Thiel's U değeri	Tahmin Değeri
Trend analizi		24,834	5,004	985,295	10,950	483,839
Hareketli ortalamalar	Üçlü hareketli ortalama	29,967	6,018	1384,500	0,817	495,000
	Beşli hareketli ortalama	28,688	5,777	1184,980	0,744	469,000
Basit üssel düzeltme		25,498	5,176	1054,516	0,726	487,671
Holt doğrusal modeli		30,844	6,204	1516,565	0,864	492,064
Çoklu regresyon	D-W=2,19	15,279	3,091	4550,1	0,489	587,711
ARIMA modelleri	ARIMA (1, 0, 1)	24,785	5,004	1031,432	0,719	491,207
Sinir ağı modeli	ÇKA modeli (*)	14,842	2,992	751,383	0,679	551,000
	RTF modeli (**)	15,591	3,263	2162,459	1,150	539,000
(*)D1 ve D2 ÇKA modeli toplam HKO (MSE) hatası: 0,002688		(**)D1 ve D2 RTF modeli toplam HKO (MSE) hatası: 0,01145				
ÜRETİCİ AŞAMASI						
<i>Tedarikçi 1</i>	<i>Gerçekleşen Talep: 425,000</i>	HMSO (MAD)	MHYO (MAPE)	HKO (MSE)	Thiel's U değeri	Tahmin Değeri
Trend analizi		5,475	1,290	44,822	49,218	423,577
Hareketli ortalamalar	Üçlü hareketli ortalama	6,353	1,495	62,549	0,930	422,667
	Beşli hareketli ortalama	6,063	1,426	58,729	0,882	422,800
Basit üssel düzeltme		5,484	1,292	46,909	0,799	423,999
Çoklu regresyon	D-W=2,11	0,316	0,075	0,1592	0,0466	439,307
ARIMA modelleri	ARIMA (1, 0, 1)	5,267	1,241	42,131	0,758	427,550
Sinir ağı modeli	ÇKA modeli(*)	6,877	1,618	72,811	0,996	429,720
	RTF modeli	-	-	-	-	-
<i>Tedarikçi 2</i>	<i>Gerçekleşen Talep: 448,000</i>	HMSO (MAD)	MHYO (MAPE)	HKO (MSE)	Thiel's U değeri	Tahmin Değeri
Trend analizi		18,386	4,205	546,755	13,935	425,229
Hareketli ortalamalar	Üçlü hareketli ortalama	20,907	4,795	789,964	0,878	433,333
	Beşli hareketli ortalama	21,025	4,809	703,31	0,811	425,200
Basit üssel düzeltme		19,207	4,427	593,843	0,779	430,933
Holt doğrusal modeli		23,721	5,445	889,949	0,926	402,777
Çoklu regresyon	D-W= 1,91	0,515	0,118	0,3944	0,0179	416,156
ARIMA modelleri	ARIMA (1, 0, 1)	17,634	4,050	557,070	0,753	430,097
Sinir ağı modeli	ÇKA modeli(*)	28,418	6,585	1314,920	1,166	466,000
	RTF modeli	-	-	-	-	-
<i>Tedarikçi 3</i>	<i>Gerçekleşen Talep: 460,000</i>	HMSO (MAD)	MHYO (MAPE)	HKO (MSE)	Thiel's U değeri	Tahmin Değeri
Trend analizi		34,896	8,047	2062,112	6,903	432,321
Hareketli ortalamalar	Üçlü hareketli ortalama	43,380	9,834	2945,844	0,866	474,000
	Beşli hareketli ortalama	40,258	9,179	2622,095	0,812	416,000
Basit üssel düzeltme		35,677	8,221	2145,300	0,769	435,942
Çoklu regresyon	D-W=0,98	6,258	1,442	152,416	0,213	567,833
ARIMA modelleri	ARIMA (1, 0, 1)	34,952	8,073	2076,414	0,757	443,382
Sinir ağı modeli	ÇKA modeli(*)	36,226	8,360	2179,389	0,742	484,000
	RTF modeli	-	-	-	-	-
(*)Sinir ağı-ÇKA toplam hatası: 0,00150						

Karşılaştırmalı analiz için MS Excel kullanılmıştır. Özellikle tahmin doğruluğunu ölçen formülasyonlar arasında “HKO” değeri dikkate alınmıştır.

Analiz sonucunda; talebin yapısına bağlı olarak Bayi 1 ve Bayi 3 için ANFIS tekniğinin, gerçek değere daha yakın sonuç verdiği görülürken Bayi 2 için ANFIS ile çoklu regresyon yaklaşık sonuçlar vermiştir.

Çalışmanın “Depo Aşaması”nda, her iki depo için hata ölçüm değerlerine bakıldığında YSA teknikleri ile çoklu regresyon tekniklerinin birbirlerine çok yakın değerler verdiği görülecektir. Ancak her iki depo için de bütünsel bir model kurulup çözülüp arandığı için, burada değerlendirilmesi gereken YSA HKO değeri 0,002688’dir ve oldukça tatmin edicidir. Bu hata değerine bağlı olarak elde edilen tahmin değerlerine bakıldığında, modelin gerçek çıktısına, diğer tekniklere nazaran, çok daha yakın sonuçlar elde edildiği görülecektir.

Çalışmanın “Üretici Aşaması”nda yine aynı şekilde bir değerlendirme yapılmıştır. Üç tedarikçinin aynı anda değerlendirildiği bütünsel YSA modelinde elde edilen tahmin sonucu 0,00150’dir. Diğer tahmin tekniklerine göre çok daha iyi bir sonuç elde edilmiştir. Tedarikçilerin talep tahmin değerleri, gerçekleşen talepleri ile karşılaştırıldığında ne kadar yakın sonuçlar elde edildiği görülecektir.

Çizelge 5.1’de Theil’s U istatistiğine bakıldığında; Bayi 2 ve Bayi 3’ün ARIMA modelleriyle iyi sonuçlar vermediği; Depo 1, Depo 2, Tedarikçi 1, Tedarikçi 2 ve Tedarikçi 3’ün ise trend modelleriyle iyi sonuçlar vermediği göze çarpmaktadır. Depo 1, Depo 2 ve Tedarikçi 2’nin YSA modelinde U-istatistiği sınırda bir değer olduğundan, modelin kötü sonuçlar verdiği söylenemez.

Çizelge 5.1’de, çoklu regresyon analizi sonucunda elde edilen hatalar arasında korelasyon olup olmadığını gösteren D-W istatistiğine bakılırsa, Tedarikçi 3 hariç diğer tüm birimler için hata terimleri arasında otokorelasyon olmadığı söylenebilir. Ancak Tedarikçi 3’ün D-W istatistiğinin değeri, regresyon sonucu elde edilen hata terimleri arasında pozitif korelasyon olduğunu göstermektedir. Yani kurulan çoklu regresyon yapısı için kullanılan değişkenler modeli açıklayamamaktadır.

Analizlerle ilgili olarak tüm detaylar “Ekler”de yer almaktadır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde risk faktörünün ön planda olduğu iş ortamlarında, rekabet yarışını sürdürmeye çalışan firmaların stratejik karar aşamalarında birtakım teknikler kullanması bir koşul haline gelmiştir. Özellikle tedarik zincirinde yer alan ve birbiri ile bağımlı ya da bağımsız çalışan birimler pek çok açıdan birbirlerinin ihtiyaçlarına cevap vermek durumundadır. Etkin bir tedarik zinciri yapısı için, tedarikçi, üretici, dağıtıcı, bayi ve müşteri birimlerinin değişken talep miktarları ve temin sürelerini göz önüne alarak taşıma, depolama, dağıtım ve üretim gibi aktiviteleri birlikte gerçekleştirebilmede pratik ve doğru sonuçlar verebilen bir bilgi sistemi gerektiği açıkça görülmektedir. Bu tez çalışması, çok aşamalı bir tedarik zinciri yapısı için, talep bilgisinin kamçı etkisinden en az etkilenecek şekilde tasarlanması amacıyla yeni bir model önermektedir. Önerilen model, müşteri talepleri ile tedarikçi kapasitelerini entegre eden bir karar destek sistemi için zemin oluşturabilecek yetenektedir.

Tez çalışmasında öncelikle tedarik zinciri kavramı ile entegrasyon konularına ilişkin literatür çalışmaları değerlendirilmiştir. Ardından entegrasyonun sağlanabildiği tedarik zinciri yapıları ve bu yapılara ilişkin literatür çalışmalarının değerlendirmesi yapılmıştır. Literatür çalışmaları sayesinde, özellikle dağıtık bir yapıya sahip çok aşamalı tedarik zincirlerinin belirsiz talep ortamında gösterdiği davranışlar konusundaki çalışmaların yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sebeple entegre bir tedarik zinciri yapısı için bir araştırma metodolojisi hazırlanmıştır. Hazırlanan araştırma metodolojisi yardımıyla, tedarik zinciri üyeleri arasında bilgi paylaşımının esas alındığı bir yapı sunulmuştur. Belirsizliğin hakim olduğu karmaşık ortamlarda, özellikle talep tahmini probleminin hem zinciri hem de zincir üyelerini önemli ölçüde etkilediği dikkate alınarak, tedarik zinciri aşamaları arasında gerçekleşen bilgi akışının modellenmesi konusuna eğilinmiştir.

Sunulan modelin, yapay sinir ağı ve bulanık çıkarım tekniklerine dayandırılmasının sebebi, literatürde tedarik zinciri ve sinir ağlarına yönelik birtakım çalışmalar bulunmasına karşın, tedarik zinciri entegrasyonu üzerine herhangi bir çalışma yapılmamış olmasından kaynaklanmaktadır. Sinir ağları ve bulanık modelleme, genellikle sistemlerin karmaşıklığından dolayı ortaya çıkan belirsizlikle başa çıkabilmek için kullanılan iki ayrı metodolojidir. Önerilen modelde de talep miktarları ve temin sürelerinin belirsiz olması ve tedarik zincirinde bir çok birimin yer alması, bu yaklaşımların kullanılmasını desteklemektedir. Tez çalışmasında, Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi ile YSA yaklaşımlarından Çok Katmanlı Algılayıcı ve Radyal Taban Fonksiyonlu Sinir Ağları

kullanılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmasında, tedarik zinciri üç aşama olarak incelenmiştir; (i) müşteri-bayi aşaması, (ii) dağıtım merkezi aşaması, (iii) üretici aşaması. Müşteri-bayi aşamasında, müşteriler ile bayiler arasındaki ilişkiler, daha çok belirsizlik davranışı sergilediklerinden bu aşamada ANFIS tekniğinin kullanılması uygun görülmüştür. Böylece hiçbir örüntü taşımayan ve dış faktörlerden fazlasıyla etkilenen talebin, kalitatif ve kantitatif faktörleri kullanabilme esnekliği sayesinde, gerçeğe daha yakın modellenebileceği savunulmuştur.

Dağıtım merkezi ve üretici aşamalarında, bayi-depo, depo-üretici ve üretici-tedarikçi sipariş akışlarının değişken temin sürelerine göre modellenmesi için YSA teknikleri kullanılarak bir önceki aşamanın sipariş bilgileri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Tamamen geçmiş verilere bağlı olarak yapılan bu modelleme yaklaşımında özellikle “çekme” sistemi, zincir yapısına uygulanmaya çalışılmıştır. Önerilen model için, genellikle literatürde talep tahmininde kullanılan modeller olan, ÇKA ve RTF sinir ağları tercih edilmiştir. YSA modelinin kurulması, veri tipine ve seçilen parametrelere fazlasıyla bağlı olduğundan, eğitim ve test kümelerinden elde edilen hata değerlerinin yanı sıra bir doğrulama çalışmasına ihtiyaç duyulmuştur. Böylece eğitim ve test kümelerinden ayrı olarak yeni bir doğrulama kümesi ile bir çalışma yapılarak modelin doğrulanması ve genellenmesi sağlanmıştır. Tüm bu süreç boyunca elde edilen hata değerlerinden başka, yapılan tahmin değerleri de modelin gerçek değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Yapay sinir ağı ve bulanık çıkarım tabanlı olarak önerilen modelin çok aşamalı entegre tedarik zinciri yönetim sistemindeki başarısını görebilmek için, Türkiye’de faaliyet göstermekte olan büyük bir elektronik üreticisi kuruluşundan elde edilen veriler kullanılmıştır. Modelin çeşitli aşamalarında, verinin yetersiz olduğu düşünülen noktalarda veri çoğaltma yoluna gidilmiştir. Sinir ağı parametrelerine bağlı olarak çeşitli simülasyonların yapıldığı modelde işlem süreleri uzamakla birlikte, elde edilen sonuçların son derece tatminkar olduğu görülmüştür. Çeşitli ağ yapılarında kullanılan parametrelerle ilgili olarak kesin kurallar olmadığı için bu parametrelerin belirlenmesinde deneme yanılma yöntemi tercih edilmiştir.

Tez çalışmasının son kısmında ise önerilen model sonuçlarının klasik istatistiksel tekniklerle karşılaştırmalı bir analizi yapılmıştır. Trend analizi, hareketli ortalamalar, basit üssel düzeltme, çoklu regresyon ve ARIMA modellerinin kullanıldığı karşılaştırmalı analiz aşamasında YSA ve bulanık çıkarım tabanlı yaklaşımların oldukça iyi sonuçlar verdiği

görülmüştür. Karşılaştırmalar, hata kareleri ortalaması, hataların mutlak sapmasının ortalaması ve mutlak hata yüzdelерinin ortalaması değerlerine bakılarak yapılmıştır. Hata ölçüm formülasyonlarının yanı sıra tahmin doğruluğunu ölçmek için ayrıca Theil's *U*-istatistik değeri de hesaplanmıştır.

Tüm bu değerlendirmelerden sonra; elde edilen değerlerin gerçeğe çok yakın olması sebebiyle, tedarik ve talep zincirlerinin entegre bir şekilde çalışmasının yapay zeka yaklaşımları ile modellenebileceği sonucuna varılmaktadır. Çok aşamalı tedarik zincirleri için önerilen bu yapının özellikle müşteri odaklı sistemler için iyi bir karar destek sistemi yaklaşımı olduğu söylenebilir. Önerilen model, veri tabanından elde edilen bilgileri, veriler arasındaki ilişkileri göstermekte kullanarak, farklı faaliyet ortamlarının benzerini oluşturmak suretiyle belirsiz durumları “ise ne olur” analizi ile ifade eden, algoritmik ve sezgisel metotlardan yararlanan bir karar destek sistemine güçlü bir altyapı oluşturmaktadır. Model bünyesinde kalitatif ve kantitatif değişkenleri de içererek, kullanıcıya karar verme sürecinde büyük esneklikler sağlamaktadır.

Müşteri talepleri ile tedarikçi kapasitesinin entegrasyonunda kullanılan model, değişken temin süresi dikkate alınarak hazırlanmıştır. Görüldüğü üzere sonuçlarının yorumunun oldukça kolay olması, modelin, stratejik, operasyonel veya taktiksel her alanda kullanılabileceğini göstermektedir.

Önerilen model, literatürde bulunan farklı sinirsel-bulanık ağ yapıları ile veya farklı YSA yapıları ile genişletilerek ele alınabilir. Talep bilgisinin değişik özellikler gösterdiği yapılar da dikkate alınmalıdır. Böylelikle bu tez çalışmasında önerilen modeli, çeşitli tedarik zinciri yapıları için çeşitli senaryolar oluşturularak farklı boyutlarda değerlendirmek mümkün hale gelecektir.

KAYNAKLAR

- Abdul-Jalbar, B., Gutiérrez, J., Puerto J. ve Sicilia, J. (2003), “Policies for Inventory/Distribution Systems: The Effect of Centralization vs. Decentralization”, *International Journal of Production Economics* 81–82: 281–293.
- Abdul-Jalbar B. ve Gutiérrez J. M., Sicilia J. (2006), “Single Cycle Policies for The One-Warehouse N-Retailer Inventory/Distribution System”, *Omega* 34: 196-208.
- Abid, C., D’amours, S. ve Montreuil, B. (2004), “Collaborative Order Management in Distributed Manufacturing”, *International Journal of Production Research*, 42(2): 283–302.
- Abraham, A. (2001), “Neuro-Fuzzy Systems: State-Of-The-Art Modeling Techniques”, In *Proceedings of the Sixth International Work Conference on Artificial and Natural Neural Networks, IWANN*, 13-15 June, Granda, Spain.
- Aburto, L. ve Weber, R. (2007), “Improved Supply Chain Management Based on Hybrid Demand Forecasts”, *Applied Soft Computing*, 7: 136-144.
- Akgül, A. ve Çevik, O. (2003), *İstatistiksel Analiz Teknikleri: SPSS’te İşletme Yönetimi Uygulamaları*, Emek Ofset Ltd. Şti, Ankara.
- Akkermans, H., Bogerd, P. ve Vos, B. (1999), “Virtuous And Vicious Cycles on The Road Towards International Supply Chain Management”, *International Journal of Operations & Production Management*, 19 (5/6): 565-582.
- Alabas, C., Altıparmak, F. ve Dengiz, B. (2002), “A Comparison of The Performance of Artificial Intelligence Techniques for Optimizing The Number of Kanbans”, *Journal of the Operational Research Society*, 53: 907–914.
- Al-Saba, T. ve El-Amin, I. (1999). “Artificial Neural Networks As Applied to Long-Term Demand Forecasting”, *Artificial Intelligence in Engineering*, 13:189-197.
- Andersson, J. ve Marklund, J. (2000), “Decentralized Inventory Control in A Two-Level Distribution System”, *European Journal of Operational Research*, 127: 483-506.
- Axsäter, S. (2001), “A Framework for Decentralized Multi-Echelon Inventory Control”, *IIE Transactions*, 33: 91-97.
- Ayata, T., Çam, E. ve Yıldız, O. (2007). “Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems (ANFIS) Application to Investigate Potential Use of Natural Ventilation in New Building Designs in Turkey”. *Energy Conversion and Management*, 48: 1472-1479.
- Babuška, R. ve Verbruggen, H. (2003), “Neuro-Fuzzy Methods for Nonlinear System Identification”, *Annual Reviews in Control*, 27: 73-85.
- Bailey, D. ve Thompson, D. (1990), “How to Develop Neural-Network”, *AI Exper*, 5(6): 38-47.

- Barbarosoğlu, G. (2000), "An Integrated Supplier-Buyer Model for Improving Supply Chain Coordination", *Production Planning and Control*, 11(8): 732-741.
- Beamon, B. M. (1998), "Supply Chain Design and Analysis: Models and Methods", *International Journal of Production Economics*, 55: 281-294.
- Beccali, M., Cellura, M., Lo Brano, V. ve Marvuglia, A. (2004). "Forecasting Daily Urban Electric Load Profiles using Artificial Neural Networks", *Energy Conversion and Management*, 45: 2879-2900.
- Bode, J. (2000), "Neural Networks for Cost Estimation: Simulations and Pilot Application", *International Journal of Production Research*, 38 (6): 1231-1254.
- Bolat, B. (2005), "Kamışlı Enstrüman Seslerinin İstatistiksel Sinir Ağları ile Tanınması", *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Sigma*, 2: 36-42.
- Burt, D. N., Dobler, D.W. ve Starling, S. (2003), *World Class Supply Management: The Key to Supply Chain Management*, The McGraw-Hill, New York.
- Castro, A. ve Miranda, V. (2002), "Mapping Neural Networks into Rule Sets and Making Their Hidden Knowledge Explicit Application to Spatial Load Forecasting", 14th PSCC, 24-28 June, Sevilla.
- Cavalieri, S., Maccarrone, P. ve Pinto, R. (2004), "Parametric vs. Neural Network Models for The Estimation of Production Costs: A Case Study in The Automotive Industry", *International Journal of Production Economics*, 91: 165–177.
- Chan, F. T. S., Chung, S. H. ve Wadhwa S. (2004), "A Heuristic Methodology for Order Distribution in A Demand Driven Collaborative Supply Chain", *International Journal of Production Research*, 42(1): 1–19.
- Chandra, C. ve Grabis, J. (2005), "Application of Multi-Steps Forecasting for Restraining The Bullwhip Effect and Improving Inventory Performance Under Autoregressive Demand", *European Journal of Operational Research*, 166 (2): 337-350.
- Chase, R.B., Jacobs, F.R., Aquilano N.J. (2004), *Operations Management for Competitive Advantage*, 10th edition, McGraw-Hill, New York.
- Chen, C.-L., Wang, B.-W. ve Lee, W.-C. (2003), "Multiobjective Optimization for A Multienterprise Supply Chain Network", *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 42: 1879-1889.
- Chen, C.-L. ve Lee, W.-C. (2004a), "Optimization of Multi-Echelon Supply Chain Networks with Uncertain Sales Prices", *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 37(7): 882-834.
- Chen, C.-L. ve Lee, W.-C. (2004b), "Multi-Objective Optimization of Multi-Echelon Supply Chain Networks with Uncertain Product Demands and Prices", *Computers and Chemical Engineering*, 28: 1131-1144.

- Chen, F., Drezner, Z., Ryan, J.K. ve Simchi-Levi, D. (2000a), “The Impact of Exponential Smoothing Forecasts on The Bullwhip Effect”, *Naval Research Logistics*, 47: 269-286.
- Chen, F., Drezner, Z., Ryan, J.K. ve Simchi-Levi, D. (2000b). “Quantifying the Bullwhip Effect in A Simple Supply Chain: The Impact of Forecasting, Lead Times, and Information”. *Management Science*, 46 (3): 436–443.
- Chen, F., Federgruen, A. ve Zheng, Y.-S. (2001), “Coordination Mechanisms for A Distribution System with One Supplier and Multiple Retailers”, *Management Science*, 47(5): 693–708.
- Chiu M. ve Lin, G. (2004), “Collaborative Supply Chain Planning using The Artificial Neural Network Approach”, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 15(8): 787-796.
- Chopra, S. ve Meindl, P. (2001), “Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation”, Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- Choy, K.L., Lee, W.B. ve Lo, V. (2002), “An Intelligent Supplier Management Toll for Benchmarking Suppliers in Outsource Manufacturing”, *Expert Systems with Applications* 22(3): 213-224.
- Choy, K.L., Lee, W.B. ve Lo, V. (2003a), “Design of An Intelligent Supplier Relationship Management System: A Hybrid Case Based Neural Network Approach”, *Expert Systems with Applications*, 24(2): 225–237.
- Choy, K.L., Lee, W.B. ve Lo, V. (2003b), “Design of A Case Based Intelligent Supplier Relationship Management System-The Integration of Supplier Rating System and Product Coding System”, *Expert Systems with Applications*, 25(1): 87-100.
- Demuth, H. ve Beale, M. (2000), “Neural Network Toolbox for Use with MATLAB”, User’s Guide. The Math Works Inc.
- Dorffner, G. (1996), “Neural Networks for Time Series Processing”. *Neural Network World* 6(4): 447-468.
- Du, T.C.-T. ve Wolfe, P.M. (1997), “Implementation of Fuzzy Logic Systems and Neural Networks in Industry”, *Computers in Industry*, 32: 261-272.
- Du, T.C.-T. ve Wolfe, P.M. (2000), “Building An Active Material Requirements Planning System”. *International Journal of Production Research*, 38(2): 241-252.
- Efendigil, T., Önüt, S. ve Kongar, E. (2008), “A Holistic Approach for Selecting A Third-Party Reverse Logistics Provider in The Presence of Vagueness”, *Computers and Industrial Engineering*, 54: 269–287.
- Ermiş, M. (2005), “Lojistik Sistemlerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi, Gerçeklenmesi ve Kontrolü”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

- Escoda, I., Ortega, A., Sanz, A. ve Herms, A. (1997), “Demand Forecast by Neuro-Fuzzy Techniques”. Proceedings of the Sixth IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 3, Barcelona, Spain.
- Fisher, M.L. (1997), “What is the Right Supply Chain for Your Product?”, Harvard Business Review, Vol. (March/April): 105-116.
- Fox, M. S., Barbuceanu, M., Teigen, R. (2000), “Agent-Oriented Supply-Chain Management”, The International Journal of Flexible Manufacturing Systems, 12: 165–188.
- Fung, R.Y.K. ve Chen, T. (2005), “A Multiagent Supply Chain Planning and Coordination Architecture”, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 25: 811–819.
- Fuzzy Logic Toolbox User’s Guide. (2007), The Math Works Inc.
- Gaafar, L.K. ve Choueiki, M. H. (2000), “A Neural Network Model for Solving The Lot-Sizing Problem”. Omega, 28: 175-184.
- Ganeshan, R. (1999), “Managing Supply Chain Inventories: A Multiple Retailer, One Warehouse, Multiple Supplier Model”, International Journal of Production Economics, 59: 341-354.
- Giannoccaro, I., Pontrandolfo, P. ve Scozzi, B. (2003) “A Fuzzy Echelon Approach for Inventory Management in Supply Chains”, European Journal of Operational Research, 149:185-196.
- González-Romera, E., Jaramillo-Morán, M.Á. ve Carmona-Fernández, D. (2007), “Forecasting of The Electric Energy Demand Trend And Monthly Fluctuation with Neural Networks”, Computers and Industrial Engineering, 52: 336–343.
- Gupta, A., Maranas, C.D. (2003), “Managing Demand Uncertainty in Supply Chain Planning”, Computers and Chemical Engineering, 27: 1219-1227.
- Haq, A. N. ve Kanan, G. (2006), “Effect of Forecasting on The Multi-Echelon Distribution Inventory Supply Chain Cost using Neural Network, Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimisation”, International Journal of Services Operations and Informatics, 1(1/2): 1-22 .
- Haykin, S. (1994), Neural Networks, A Comprehensive Foundation, Macmillan Co: New York.
- Hertz, J., Krogh, A. ve Palmer, R. (1991), “Introduction to the Theory of Neural Networks”, Addison Wesley.
- Hobbs, B.F., Helman, U., Jitprapaikularn, S., Konda, S., ve Maratukulam, D. (1998), “Artificial Neural Networks for Short-Term Energy Forecasting: Accuracy and Economic Value”, Neurocomputing, 23: 71-84.

- Hosoda, T., Disney ve S. M. (2006), “On Variance Amplification in A Three-Echelon Supply Chain with Minimum Mean Square Error Forecasting”, *Omega*, 34: 344 – 358.
- Jang J.-S. R. (1993), “ANFIS: Adaptive Network Based Fuzzy Inference System”, *IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics*, 23(3): 665-685
- Kalenderli, Ö., Bolat, S. ve Bolat, B. (2006) “Olasılıksal Sinir Ağı ve Bulanık Çıkarım Sistemi ile Elektriksel Boşalma Sesinden Gerilim Düzeyinin Bulunması”, *ELECO’06 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 6-10 Aralık 2006, Bursa.
- Kawtummachai, R. ve Van Hop, N. (2005), “Order Allocation in A Multiple-Supplier Environment”, *International Journal of Production Economics*, 93–94: 231–238.
- Keeney, R.L. (1994). “Creativity in Decision Making with Value-Focused Thinking”. *MIT Sloan Management Review*, 35(4): 33–41.
- Kuo, R.J. (1998), “A Decision Support System for The Stock Market Through Integration of Fuzzy Neural Networks and Fuzzy Delphi”, *Applied Artificial Intelligence*, 12: 501-520.
- Kuo, R.J. ve Xue, K.C. (1998a), “A Decision Support System for Sales Forecasting Through Fuzzy Neural Networks with Asymmetric Fuzzy Weights”, *Decision Support Systems*, 24: 105-126.
- Kuo, R.J. ve Xue, K.C. (1998b), “An Intelligent Sales Forecasting through Artificial Neural Network and Fuzzy Neural Network”, *Computers in Industry*, 37: 1-15.
- Kuo, R.J. ve Xue, K.C. (1999), “Fuzzy Neural Networks with Application to Sales Forecasting”, *Fuzzy Sets and Systems* 108: 123-143.
- Kuo, R. J. (2001), “A Sales Forecasting System Based on Fuzzy Neural Network with Initial Weights Generated by Genetic Algorithm”, *European Journal of Operational Research*, 129: 496-517.
- Kuo, R. J., Wu, P. ve Wang, C. P. (2002), “An Intelligent Sales Forecasting System through Integration of Artificial Neural Networks and Fuzzy Neural Networks with Fuzzy Weight Elimination”, *Neural networks*, 15: 909-925.
- Kuo, R. J. ve Chen, J.A. (2004), “A Decision Support System for Order Selection in Electronic Commerce Based on Fuzzy Neural Network Supported by Real-Coded Genetic Algorithm”, *Expert Systems with Applications*, 26: 141-154.
- Kwon, O., Im, G. ve Lee, K. C. (2005), “MACE-SCM: An Effective Supply Chain Decision Making Approach Based on Multi-agent and Case-based Reasoning”, *Proceedings of the 38th Hawaii International Conference on System Sciences*, 03-06 Jan. 2005, Hawaii.
- Lambert, D. M., Stock, J.R. ve Ellram L.M. (1998), *Fundamentals of Logistics Management*, Ch. 14, Irwin/McGraw-Hill, Boston, MA.

- Lau, H.C.W., Hui, I.K., Chan, F.T.S ve Wong, C.W.Y. (2002), “Monitoring The Supply Of Products in A Supply Chain Environment: A Fuzzy Neural Approach”, *Expert Systems*, 19(4): 235-243.
- Lau, H.C.W., Lee, W.B., ve Lau, P.K.H. (2001), “Development of An Intelligent Decision Support System for Benchmarking Assessment of Business Partners”, *Benchmarking: An International Journal*, 8(5): 376-395.
- Lau, H.C.W., Ning, A., Pun, K.F., Chin, K.S. ve Ip, W.H. (2005), “A Knowledge-Based System to Support Procurement Decision”, *Journal of Knowledge Management*, 9(1): 87-100.
- Law, R. ve Au, N. (1999), “A Neural Network Model To Forecast Japanese Demand For Travel To Hong Kong”. *Tourism Management*, 20: 89-97.
- Law, R. (2000), “Back-Propagation Learning in Improving The Accuracy of Neural Network-Based Tourism Demand Forecasting”, *Tourism Management*, 21: 331-340.
- Lee, H.L. (2002), “Aligning Supply Chain Strategies with Product Uncertainties”, *California Management Review*, 44(3): 105-119.
- Lee, H.L, Padmanabhan, V. ve Whang, S. (1997), “The Bullwhip Effect in Supply Chains”, *Sloan Management Review*, 38: 93-102.
- Lee, H., So, K.C. ve Tang, C.S. (2000), “The Value of Information Sharing in A Two-Level Supply Chain”, *Management Science*, 46(5): 626–643.
- Lee, J.H. ve Park, S.C. (2005), “Intelligent Profitable Customers Segmentation System Based on Business Intelligence Tools”, *Expert Systems with Applications*, 29(1):145-152.
- Leung, H. C. (1995), “Neural Networks in Supply Chain Management”. *Proceedings of the '95 IEEE Annual International Engineering Management Conference*, Singapore.
- Liang, W.Y. ve Huang, C.C. (2006), “Agent-Based Demand Forecast in Multi-Echelon Supply Chain”, *Decision Support Systems*, 42(1), 390-407.
- Liansheng, G., Gang, S. ve Shuchun, W. (2000), “Intelligent Scheduling Model and Algorithm for Manufacturing”, *Production Planning and Control*, 11(3): 234-243.
- Liao, S.-H. (2005), “Expert System Methodologies and Applications-A Decade Review From 1995 to 2004”, *Expert Systems with Applications* 28: 93–103
- Luxhøj, J.T., Riis, J.O. ve Stensballe, B. (1996), “A Hybrid Econometric-Neural Network Modeling Approach for Sales Forecasting”, *International Journal of Production Economics*, 43:175-192
- Makatsoris, H.C. ve Yoon, S.C. (2004), “Design of A Demand-Driven Collaborative Supply-Chain Planning and Fulfilment System for Distributed Enterprises”, *Production Planning and Control*, 15(3): 256-269.

- Maki, Y. ve Loparo, K.A. (1997), “A Neural-Network Approach to Fault Detection and Diagnosis in Industrial Processes”, IEEE Transactions on Control Systems Technology 5, (6): 529-541.
- Makridakis, S., Wheelwright, S.C. ve Hyndman, R.J. (1998). Forecasting: Methods and Applications, 3rd ed., New York : John Wiley&Sons.
- Manevitz, L., Bitar, A. ve Givoli, D. (2005), “Neural Network Time Series Forecasting of Finite-Element Mesh Adaptation”, Neurocomputing, 63: 447-463.
- Meireles, M.R.G., Almeida, P.E. M. ve Simões, M.G. (2003) “A Comprehensive Review for Industrial Applicability of Artificial Neural Networks”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 50(3): 585-601.
- Metaxiotis, K. ve Psarras, J. (2003), “Neural Networks in Production Scheduling: Intelligent Solutions and Future Promises”. Applied Artificial Intelligence, 17: 361-373.
- Metters, R. (1997), “Quantifying the Bullwhip Effect in Supply Chains”, Journal of Operations Management, 15 (2): 89–100.
- Muckstadt, J. A., Murray, D. H., Rappold, J. A. ve Collins, D. E. (2001), “Guidelines for Collaborative Supply Chain System Design and Operation”, Information Systems Frontiers, 3(4): 427–453,
- Nauck D. ve Kruse, R. (1999), “Neuro-Fuzzy Systems for Function Approximation”, Fuzzy Sets and Systems, 101: 261-271.
- Nguyen, H.H. ve Chan, C.W. (2004), “Multiple Neural Networks for A Long Term Time Series Forecasting”, Neural Computing and Applications, 13: 90-98.
- Özdemir, A. ve Özdemir, A. (2006), “Talep Tahminlemesinde Kullanılan Yöntemlerin Karşılaştırılması: Seramik Ürün Grubu Firma Uygulaması”, Ege Akademik Bakış Dergisi 6(2): 105-114.
- Öztemel, E. (2003), “Yapay Sinir Ağları”, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Palacharla, P.V. ve Nelson, P.C. (1999), “Application of Fuzzy Logic and Neural Networks for Dynamic Travel Time Estimation”, International Transactions in Operational Research 6: 145-160.
- Palit, A. K. ve Popovic, D. (2000), “Nonlinear Combination of Forecasts Using Artificial Neural Network, Fuzzy Logic and Neuro-Fuzzy Approaches”, The Ninth IEEE International Conference on Fuzzy Systems, FUZZ-IEEE, 2, San Antonio, Texas, USA.
- Palit, A.K. ve Babuška, R. (2001), “Efficient Training Algorithm for Takagi-Sugeno Type Neuro-Fuzzy Network”, FUZZ-IEEE: 1367-1371.
- Panchariya, P.C., Palit, A.K., Popovic, D. ve Sharma A.L. (2004), “Nonlinear System Identification using Takagi-Sugeno Type Neuro-Fuzzy Model”, Second IEEE International Conference On Intelligent Systems, 22-24 June, Sofia, Bulgaria.

- Petrovic, D., Xie, Y. ve Burnham, K. (2006), “Fuzzy Decision Support System for Demand Forecasting with A Learning Mechanism”, *Fuzzy Sets and Systems*, 157: 1713-1725.
- Power, D. (2005), “Supply Chain Management Integration and Implementation: A Literature Review”, *Supply Chain Management: An International Journal*, 10(4): 252-263.
- Principe, J.C., Euliano, N.R. ve Lefebvre, W.C. (2000), *Neural and Adaptive Systems: Fundamentals through Simulations*, John Wiley & Sons: New York.
- Rainbird, M. (2004), “Demand and Supply Chains: The Value Catalyst”, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 34(3-4): 230-250.
- Rau, H., Wu, M.-Y. ve Wee, H.-M. (2003), “Integrated Inventory Model for Deteriorating Items under A Multi-Echelon Supply Chain Environment”, *International Journal of Production Economics*, 86: 155–168.
- Reid, R.D. ve Sanders, N.R. (2007), *Operations Management: An Integrated Approach*, John Wiley&Sons , U.S.A.
- Rudberg, M., Klingenberg N. ve Kronhamn K. (2002), “Collaborative Supply Chain Planning using Electronic Marketplaces”, *Integrated Manufacturing Systems*, 13(8): 596-610.
- Sabuncuoglu, I. (1998), “Scheduling with Neural Networks: A Review of The Literature and New Research Directions”, *Production Planning and Control*, 9(1): 2-12.
- Shen, Z.-J.M. (2007), “Integrated Supply Chain Design Models: A Survey and Future Research Directions”, *Journal Of Industrial and Management Optimization*, 3 (1): 1–27.
- Sherman, R.J. (1998), “Collaborative Planning Forecasting&Replenishment (CPFR): Realizing The Promise of Efficient Consumer Response through Collaborative Technology”, *Journal of Marketing Theory and Practice*, 6: 6–9.
- Shervais, S., Shannon, T.T. ve Lendaris, G.G. (2003), “Intelligent Supply Chain Management using Adaptive Critic Learning”. *IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics-Part A: Systems And Humans*, 33(2): 235-244.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. ve Simchi-Levi, E. (2003), *Designing and Managing The Supply Chain: Concepts, Strategies and Case Studies*, 2nd edition, Irwin/McGraw-Hill, Newyork.
- Sözen, A., Arcaklioğlu, E. ve Özkaymak, M. (2005). “Turkey’s Net Energy Consumption”, *Applied Energy*, 81 (2): 209-221.
- Sugeno, M. (1985), *Industrial Applications of Fuzzy Control*, Elsevier Science Pub. Co.
- Svensson G. (2003), “The Bullwhip Effect in Intra-Organisational Echelons”, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 33(2): 103-131.

- Şenesen, Ü. (2001), İşletme ve İktisat için İstatistik, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Takagi, T. ve Sugeno, M. (1983), “Derivation of Fuzzy Control Rules from Human Operator’s Control Actions”, Proceedings of the IFAC Symposium on Fuzzy Information, Knowledge Representation and Decision Analysis: 55-60.
- Talluri, S. ve Baker, R.C. (2002), “A Multi-Phase Mathematical Programming Approach for Effective Supply Chain Design”, European Journal of Operational Research, 141: 544–558.
- Tang, Z., Almeida, C. ve Fishwick P.,A. (1991), “Time Series Forecasting Using Neural Networks vs. Box-Jenkins Methodology”, Simulation 57(5): 303-310.
- Tee, Y.-S. ve Rossetti, M. D. (2002), “A Robustness Study of A Multi-Echelon Inventory Model via Simulation”, International Journal of Production Economics, 80: 265–277.
- Tsiakis, P., Shah N. ve Pantelides, C. C. (2001), “Design of Multi-Echelon Supply Chain Networks under Demand Uncertainty”, Industrial and Engineering Chemistry Research, 40(16): 3585-3604.
- Tsoukalas, L. H. ve Uhrig, R.E. (1997), “Fuzzy and Neural Approaches in Engineering”. John Wiley & Sons , Inc: New York.
- Wang, L. X. (1994), “Adaptive Fuzzy Systems and Control: Design and Stability Analysis”, PTR Prentice Hall. Englewood Cliffs, NJ.
- Wang, J. ve Shu, Y.-F. (2005), “Fuzzy Decision Modeling for Supply Chain Management”, Fuzzy Sets and Systems, 150: 107-127.
- Widrow, B. ve Hoff, M.E.Jr. (1960), “ Adaptive Switching Circuits, IRE WESCON Convention Record”: Reprinted in Anderson and Rosenfeld (1988): 96-104.
- Wong, B.K., Bodnovich, T. A. ve Selvi, Y. (1997), “Neural Network Applications in Business: A Review and Analysis of The Literature (1988-95)”, Decision Support Systems, 19: 301-320.
- Wong, B.K. ve Selvi, Y. (1998). “Neural Network Applications in Finance: A Review and Analysis Of Literature (1990-1996)”, Information and Management, 34: 129-139.
- Wong, B.K., Lai, S. V. ve Lam, J. (2000). “A Bibliography of Neural Network Business Applications Research: 1994-1998”, Computers & Operations Research, 27: 1045-1076.
- Van der Vaart, T. ve Van Donk, D.P. (2004), “Buyer Focus: Evaluation of A New Concept for Supply Chain Integration”, International Journal of Production Economics, 92: 21-30.
- Vellido, A., Lisboa, P.J.G. ve Vaughan, J. (1999). “Neural Networks in Business: A Survey of Applications (1992–1998)”, Expert Systems with Applications, 17: 51–70.

- Vollmann, T.E., Cordon, C. ve Heikkilä, J. (2000), “Teaching Supply Chain Management to Business Executives”, *Production and Operations Management Journal*, 9(1): 81–90.
- Yaman, K., Sarucan, A., Atak, M. Aktürk, N. (2001), “Dinamik Çizelgeleme İçin Görüntü İşleme ve Arama Modelleri Yardımıyla Veri Hazırlama”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 16(1): 19-40.
- Yao, Y., Evers, P.T. ve Dresner, M.E. (2007), “Supply Chain Integration in Vendor - Managed Inventory”, *Decision Support Systems*, 43(2): 663-674.
- Zhao, X. ve Lee, T.S. (1993), “Freezing the Master Production Schedule in Multilevel Material Requirements Planning Systems under Demand Uncertainty”, *Journal of Operations Management*, 11: 185–205.
- Zimmermann H.J. (2000), “An Application Oriented View of Modelling Uncertainty”, *European Journal of Operational Research*, 122: 190-198.
- Zou, X., Pokharel S., Piplani R. (2004), “Channel Coordination in An Assembly System Facing Uncertain Demand with Synchronized Processing Time and Delivery Quantity”, *International Journal of Production Research*, 42(22): 4673–4689.

İnternet Kaynakları

[1]<http://supplychain.mit.edu/innovation/research-agent.htm>-Multi-Agent Systems for SCI

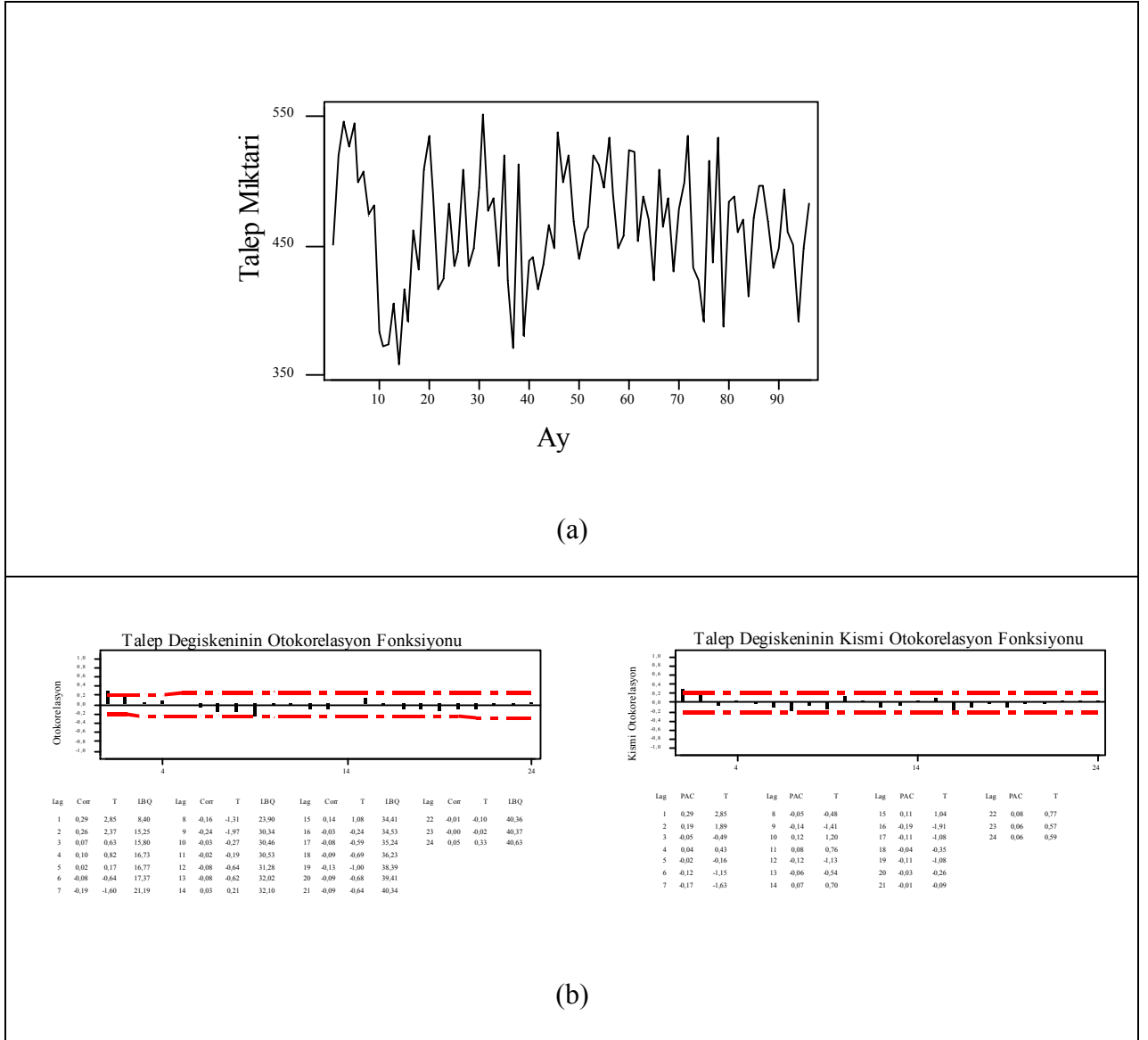
[2] www.mathworks.com

EKLER

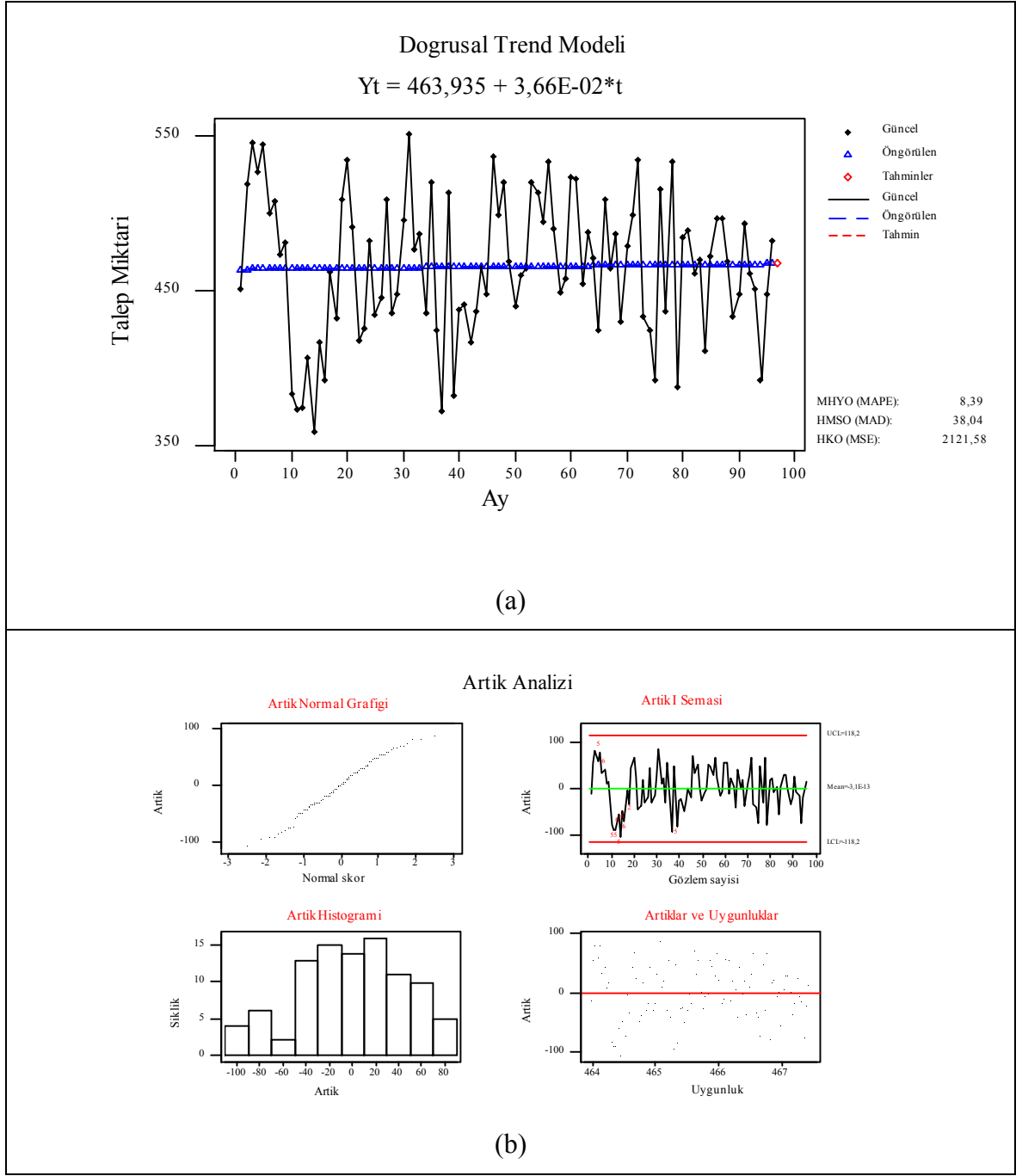
- Ek 1 Bayi 2 İçin İstatistiksel Analiz Grafikleri
- Ek 2 Bayi 3 İçin İstatistiksel Analiz Grafikleri
- Ek 3 Depo 1 İçin İstatistiksel Analiz Grafikleri
- Ek 4 Depo 2 İçin İstatistiksel Analiz Grafikleri
- Ek 5 Tedarikçi 1 İçin İstatistiksel Analiz Grafikleri
- Ek 6 Tedarikçi 2 İçin İstatistiksel Analiz Grafikleri
- Ek 7 Tedarikçi 3 İçin İstatistiksel Analiz Grafikleri
- Ek 8 ÇKA Modelinin Matlab Kodu
- Ek 9 RTF Modelinin Matlab Kodu

Ek 1 Bayi 2 İçin İstatistiksel Analiz Grafikleri

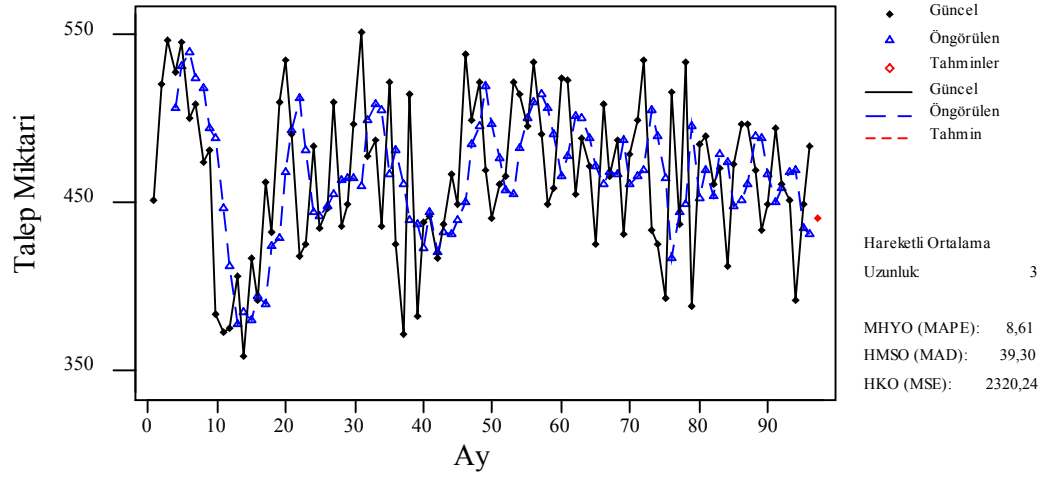
1. Zaman serileri analizi



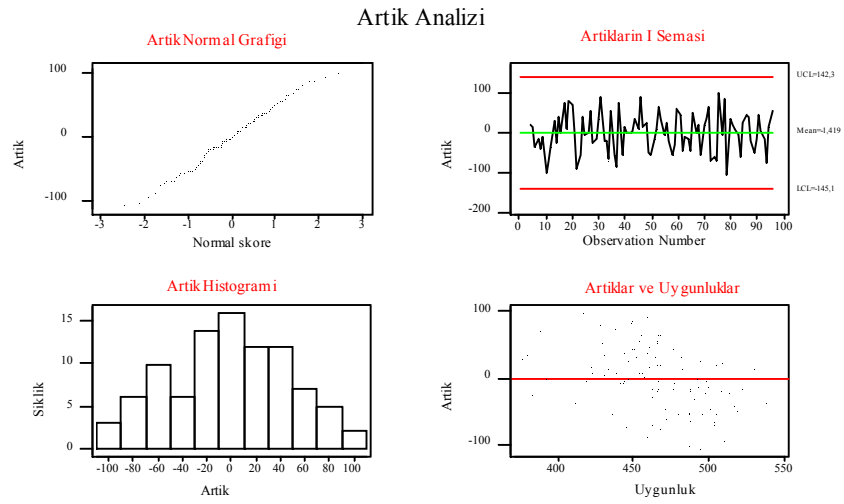
Şekil 1. Bayi 2' nin talep miktarının (a) aylara göre değişiminin gösterimi ve (b) korrelogramları



Şekil 2 Bayi 2'nin talep miktarı için (a) trend analizi ve (b) elde edilen artıkların analizi

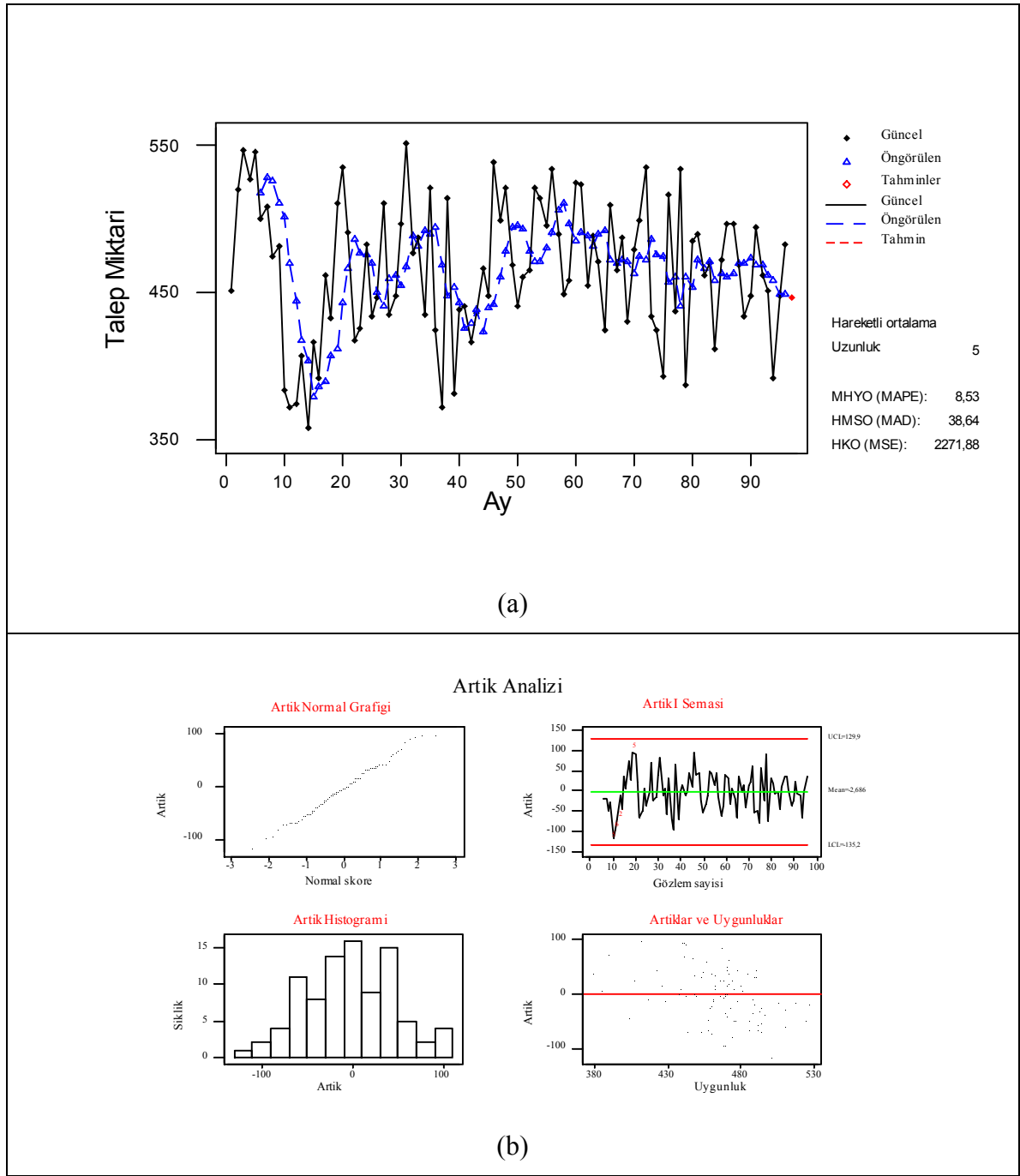


(a)

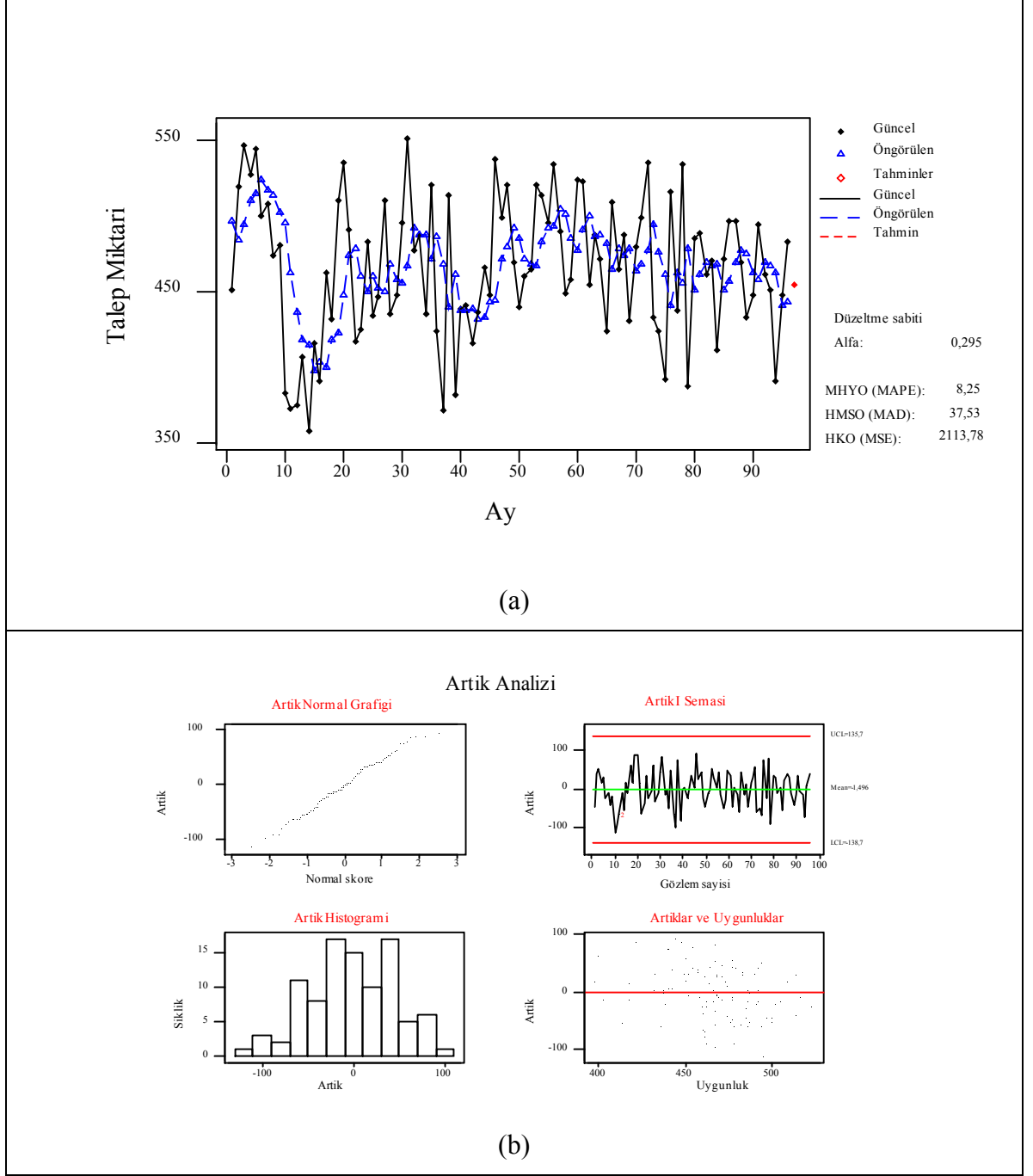


(b)

Şekil 3 Bayi 2'nin talep miktarı için (a) üçlü hareketli ortalama yöntemi ve (b) elde edilen artıkların analizi



Şekil 4 Bayi 2'nin talep miktarı için (a) beşli hareketli ortalama yöntemi ve (b) elde edilen artıkların analizi

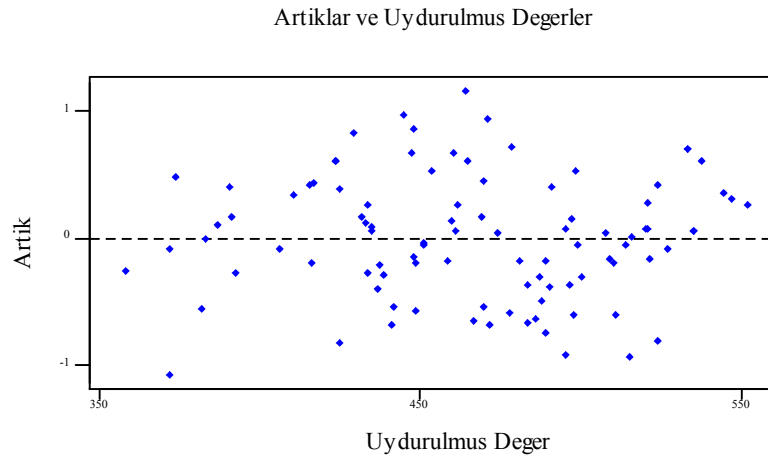


Şekil 5 Bayi 2 talep miktarı için (a) basit üssel düzeltme yöntemi ve (b) elde edilen artıkların analizi

2. Çoklu regresyon analizi

The regression equation is						
Talep Miktari = 654 - 0,222 Br. Satis Fiyati + 12,4 Urun Kalitesi						
+ 10,8 Musteri Tatmin Seviyesi + 144 Promosyon&Reklam Etkisi						
Predictor	Coef	SE Coef	T	P		
Constant	653,932	0,628	1041,39	0,000		
Br. Satis Fiyati	-0,222119	0,000424	-523,89	0,000		
Urun Kalitesi	12,3756	0,0315	393,11	0,000		
Musteri Tatmin Seviyesi	10,8178	0,0339	319,47	0,000		
Promosyon&Reklam Etkisi	144,446	0,457	316,31	0,000		
S = 0,4965 R-Sq = 100,0% R-Sq(adj) = 100,0%						
Analysis of Variance						
Source	DF	SS	MS	F	P	
Regression	4	203747	50937	206612,14	0,000	
Residual Error	91	22	0			
Total	95	203770				
Source	DF	Seq SS				
Br. Satis Fiyati	1	91009				
Urun Kalitesi	1	48140				
Musteri Tatmin Seviyesi	1	39931				
Promosyon&Reklam Etkisi	1	24667				
Unusual Observations						
Obs	Br. Sati	Talep Mi	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
37	1560	371,000	372,079	0,124	-1,079	-2,25R
40	1560	438,000	438,298	0,223	-0,298	-0,67 X
49	1560	469,000	468,827	0,226	0,173	0,39 X
52	1300	465,000	463,842	0,079	1,158	2,36R
Durbin-Watson statistic = 2,10						

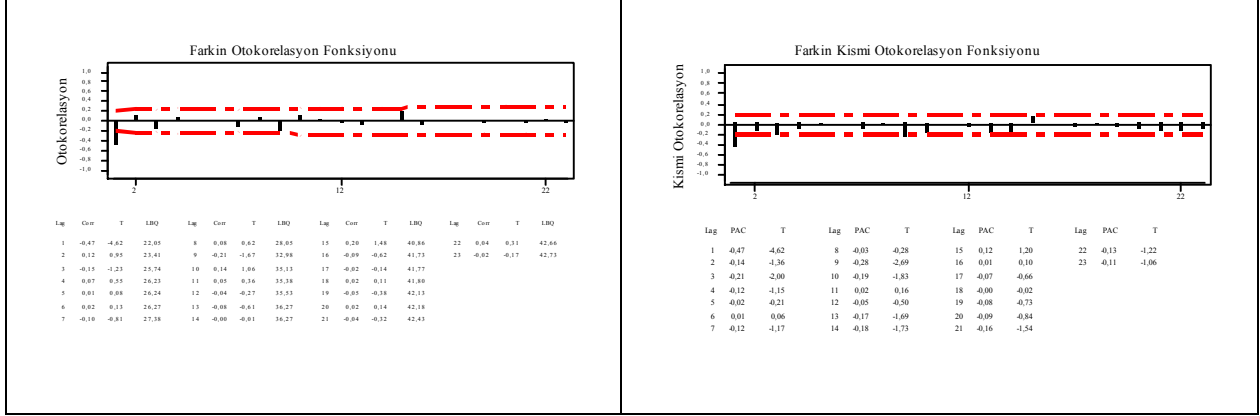
Şekil 6. Bayi 2 talep miktarı için çoklu regresyon yöntemi sonuçları



Şekil 7 Bayi 2 talep miktarı için çoklu regresyon yöntemi sonucu elde edilen artıkların analizi

3. ARIMA modelleri

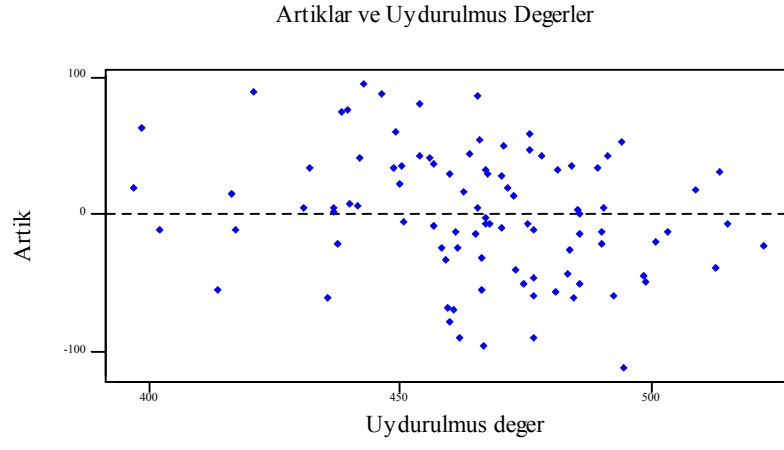
Bayi 2 talep miktarının ARIMA modelini uygulamak üzere serinin farkının alınması ve bu farkların korrelogramlarının çizilmesi gerekmektedir.



Şekil 8 ARIMA modellemesi için Bayi 2 talep miktarının ilk farkına ait korrelogramlar

ARIMA model for Talep Miktarı				
Estimates at each iteration				
Iteration	SSE	Parameters		
0	264156	0,100	0,437	
1	237310	0,250	0,255	
2	218789	0,400	0,025	
3	207184	0,550	-0,242	
4	203331	0,650	-0,433	
5	202836	0,681	-0,463	
6	202729	0,695	-0,469	
7	202701	0,702	-0,470	
8	202693	0,705	-0,470	
9	202691	0,707	-0,470	
10	202691	0,708	-0,469	
11	202690	0,709	-0,469	
Relative change in each estimate less than 0,0010				
Final Estimates of Parameters				
Type	Coef	SE Coef	T	P
MA 1	0,7091	0,0728	9,74	0,000
Constant	-0,469	1,402	-0,33	0,739
Differencing: 1 regular difference				
Number of observations: Original series 96, after differencing 95				
Residuals: SS = 200457 (backforecasts excluded)				
MS = 2155 DF = 93				
Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square statistic				
Lag	12	24	36	48
Chi-Square	14,5	24,9	37,4	46,0
DF	10	22	34	46
P-Value	0,150	0,302	0,316	0,472

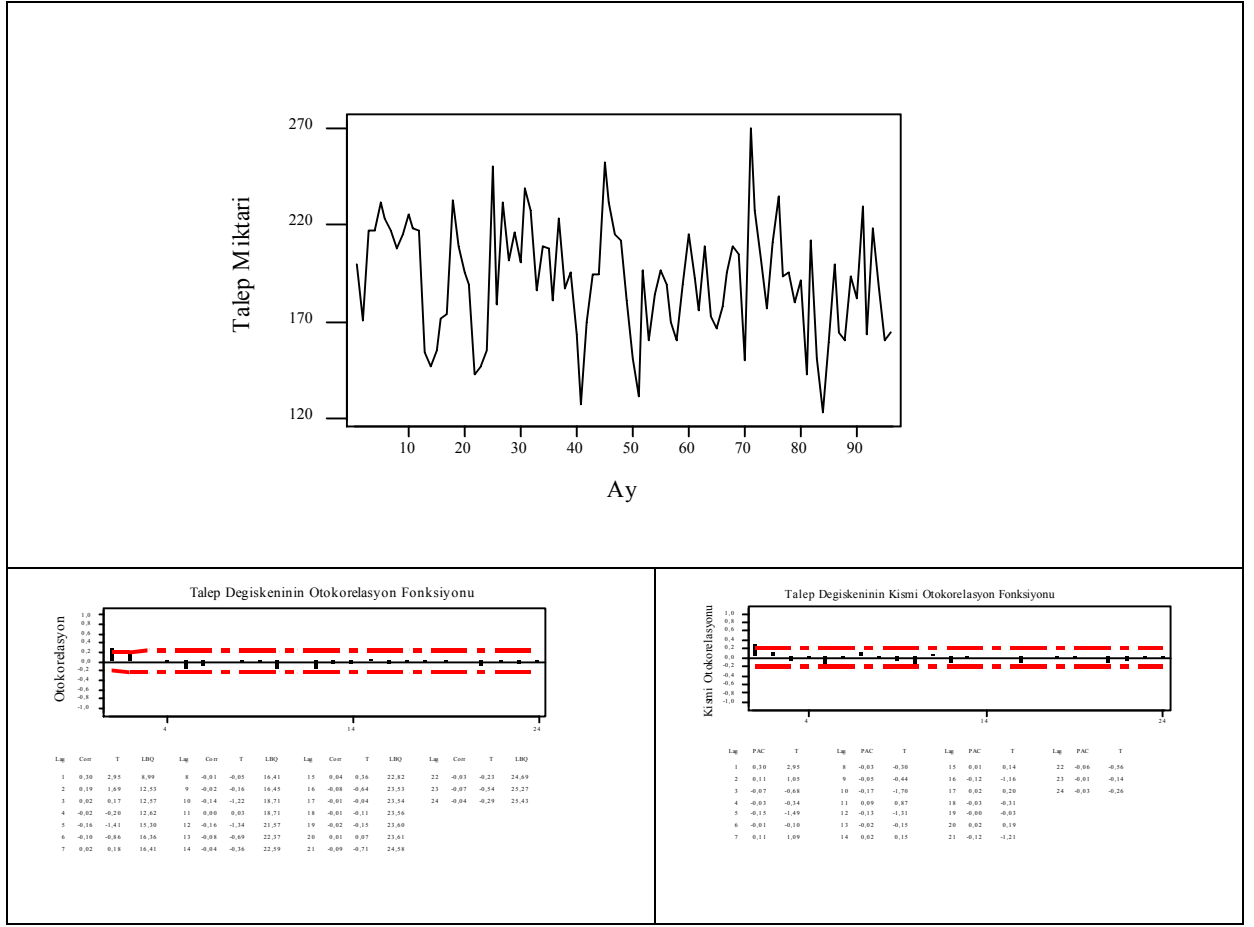
Şekil 9 Bayi 2 'nin talep miktarı için ARIMA (0, 1, 1) modeli sonuçları



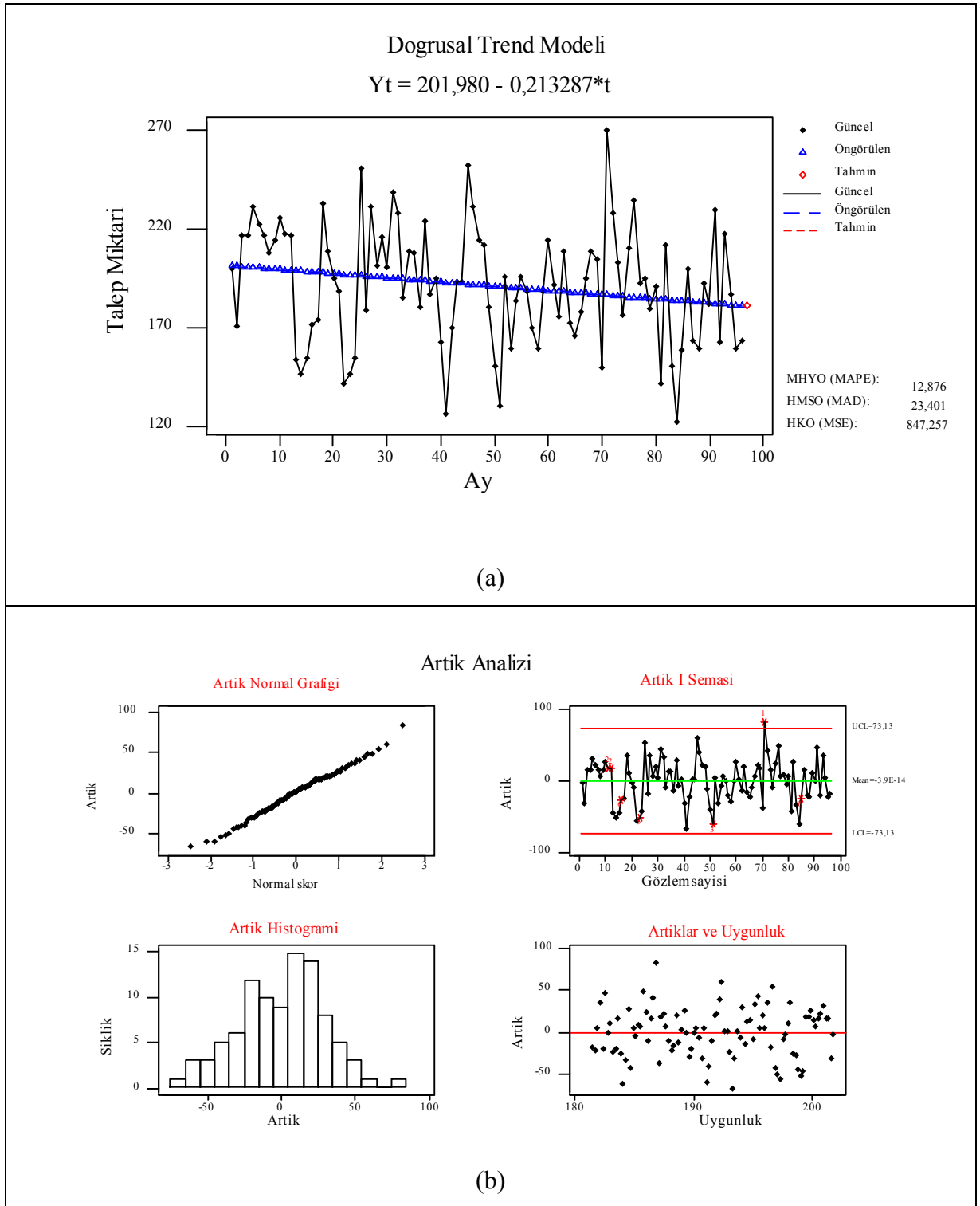
Şekil 10 Bayi 2 'nin talep miktarı için ARIMA (0, 1, 1) modelinin artık analizi

Ek 2 Bayi 3 için İstatistiksel Analiz Grafikleri

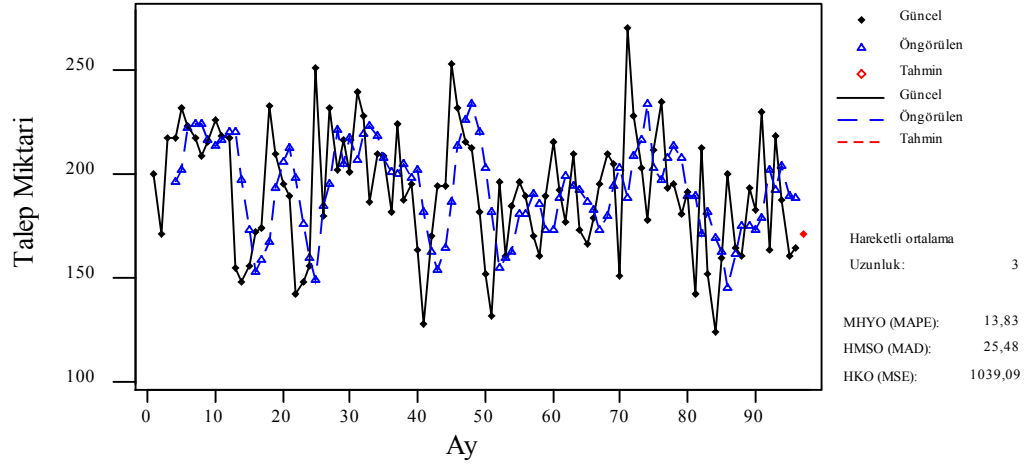
1. Zaman serileri analizi



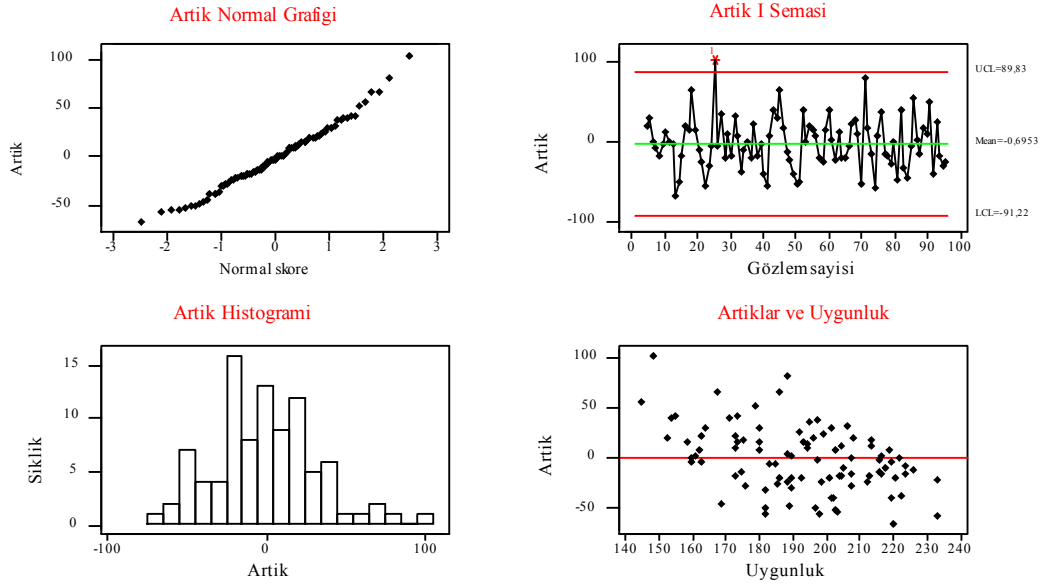
Şekil 1 Bayi 3' ün talep miktarının (a) aylara göre değişiminin gösterimi ve (b) korrelogramları



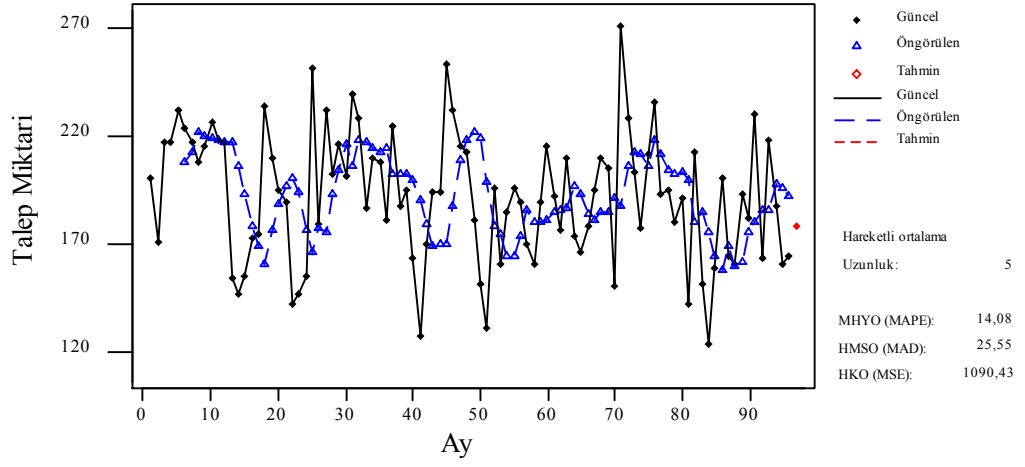
Şekil 2 Bayi 3'ün talep miktarı için (a) trend analizi ve (b) elde edilen artıkların analizi



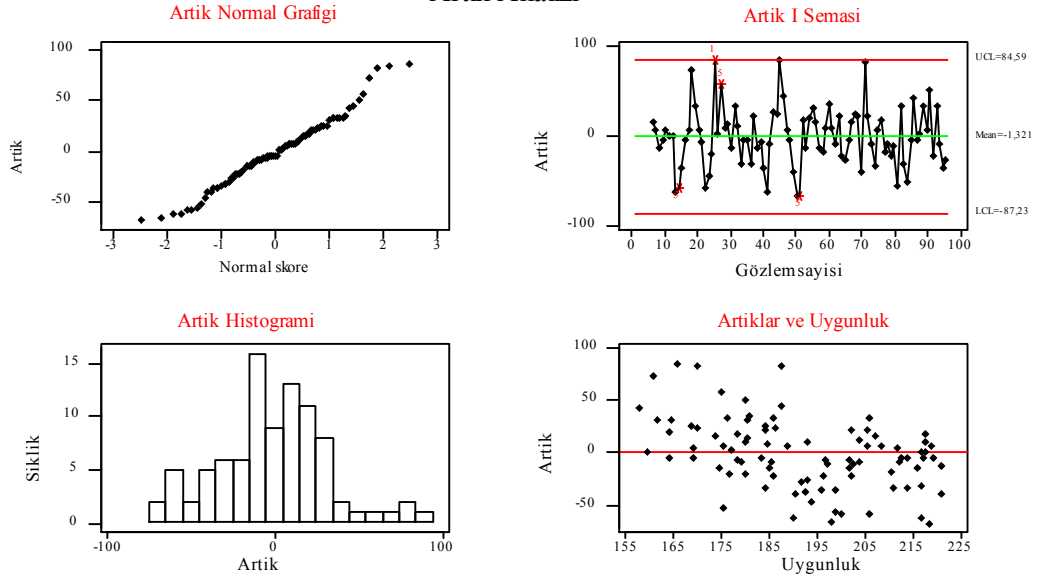
Artık Analizi



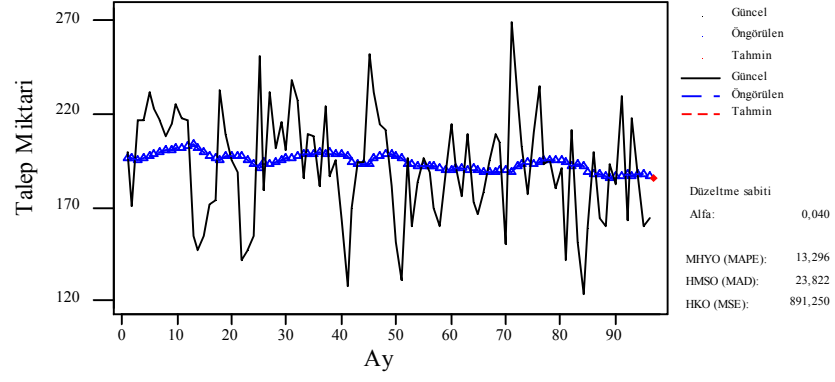
Şekil 3 Bayi 3'ün talep miktarı için (a) üçlü hareketli ortalama yöntemi ve (b) elde edilen artıkların analizi



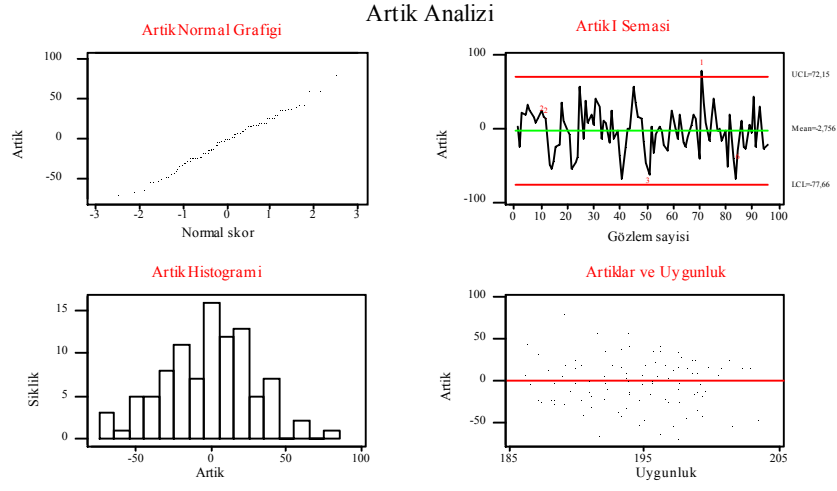
Artık Analizi



Şekil 4 Bayi 3'ün talep miktarı için (a) beşli hareketli ortalama yöntemi ve (b) elde edilen artıkların analizi

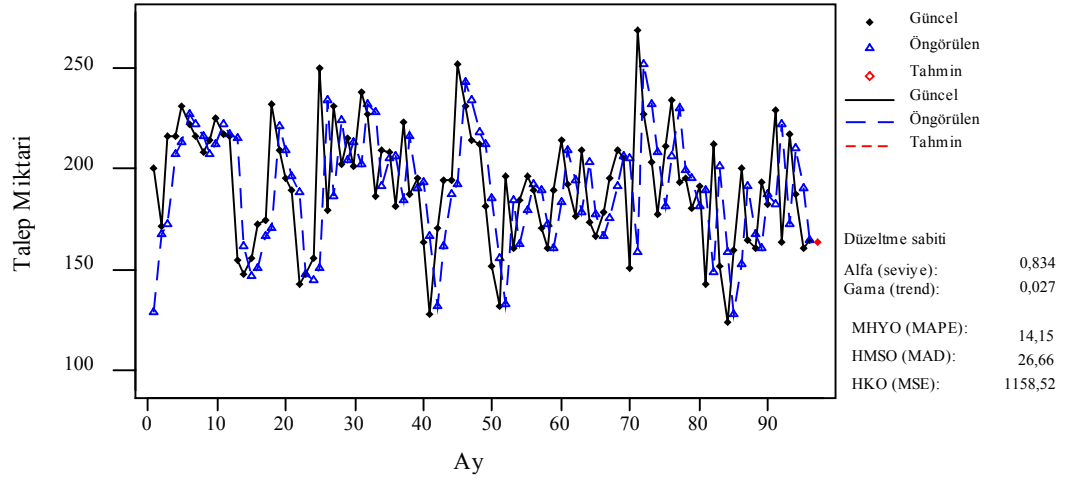


(a)

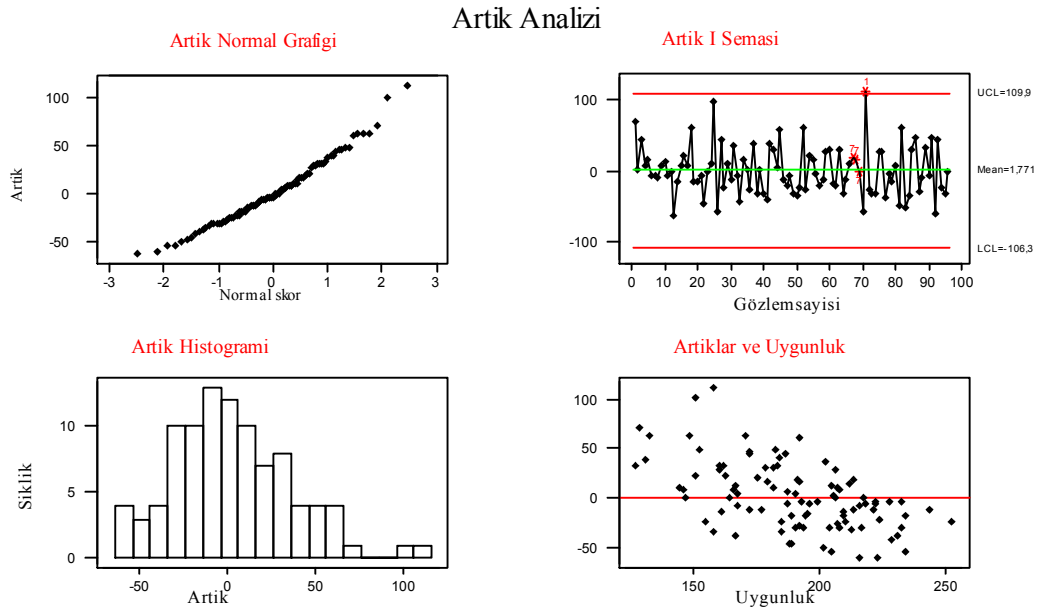


(b)

Şekil 5 Bayi 3 talep miktarı için (a) basit üssel düzeltme yöntemi ve (b) elde edilen artıkların analizi



(a)



(b)

Şekil 6 Bayi 3 talep miktarı için (a) Holt doğrusal modeli ve (b) elde edilen artıkların analizi

2. Çoklu regresyon analizi

The regression equation is
Talep Miktarı = 132 - 0,0114 Br. Satis Fiyati + 1,67 Urun Kalitesi
+ 0,643 Musteri Tatmin Seviyesi + 888 Promosyon&Reklam Etkisi

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	131,874	6,989	18,87	0,000
Br. Satis Fiyati	-0,011403	0,004957	-2,30	0,024
Urun Kalitesi	1,6733	0,1729	9,68	0,000
Musteri Tatmin Seviyesi	0,6434	0,2134	3,01	0,003
Promosyon&Reklam Etkisi	888,003	6,928	128,18	0,000

S = 2,203 R-Sq = 99,5% R-Sq(adj) = 99,5%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	84249	21062	4339,90	0,000
Residual Error	91	442	5		
Total	95	84690			

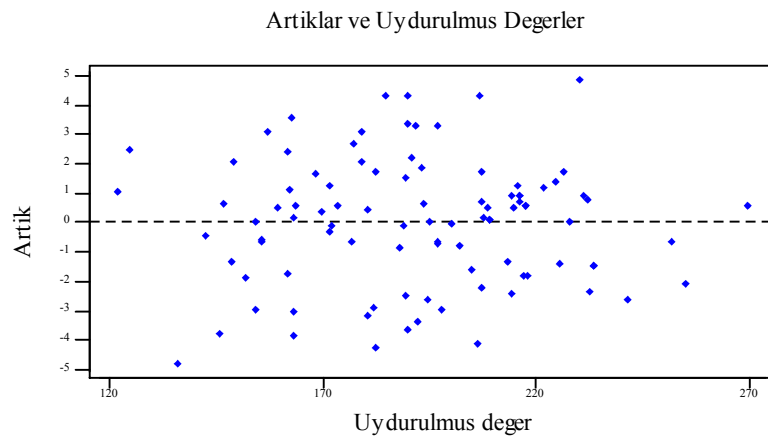
Source	DF	Seq SS
Br. Sati	1	3051
Urun Kal	1	1264
Musteri	1	192
Promosyo	1	79742

Unusual Observations

Obs	Br. Sati	Talep Mi	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
43	1400	194,000	189,654	0,477	4,346	2,02R
51	1450	131,000	135,803	0,552	-4,803	-2,25R
56	1400	189,000	184,634	0,636	4,366	2,07R
75	1500	211,000	206,660	0,434	4,340	2,01R
76	1450	235,000	230,137	0,546	4,863	2,28R
84	1560	123,000	121,936	0,921	1,064	0,53 X

Durbin-Watson statistic = 1,65

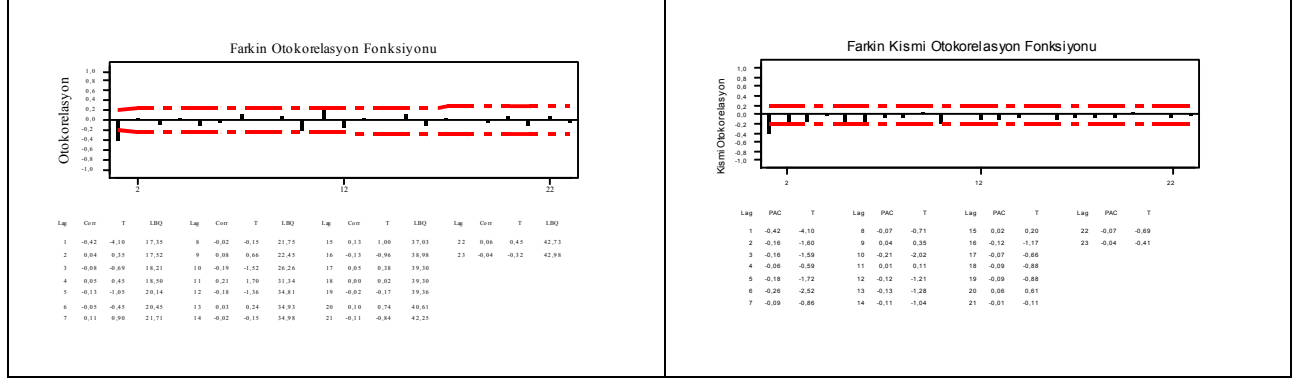
Şekil 7 Bayi 3 talep miktarı için çoklu regresyon analizinin sonucu



Şekil 8 Bayi 3'ün talep miktarı için çoklu regresyon yöntemi sonucu elde edilen artıkların analizi

3. ARIMA modelleri

Bayi 3 talep miktarının ARIMA modelini uygulamak üzere serinin farkının alınması ve bu farkların korrelogramlarının çizilmesi gerekmektedir.



Şekil 9 ARIMA modellemesi için Bayi 3 talep miktarının ilk farkına ait korrelogramlar

ARIMA model for Talep Miktarı

Estimates at each iteration

Iteration	SSE	Parameters			
0	117487	0,100	0,100	-0,251	
1	97151	-0,050	0,250	-0,403	
2	93888	0,027	0,400	-0,326	
3	90662	0,100	0,550	-0,256	
4	87319	0,183	0,700	-0,204	
5	83074	0,279	0,850	-0,187	
6	77058	0,339	0,981	-0,190	
7	76691	0,280	0,980	-0,168	

Unable to reduce sum of squares any further

Final Estimates of Parameters

Type	Coef	SE Coef	T	P
AR 1	0,2804	0,1034	2,71	0,008
MA 1	0,9799	0,0358	27,39	0,000
Constant	-0,1681	0,1810	-0,93	0,356

Differencing: 1 regular difference

Number of observations: Original series 96, after differencing 95

Residuals: SS = 76690,7 (backforecasts excluded)
MS = 833,6 DF = 92

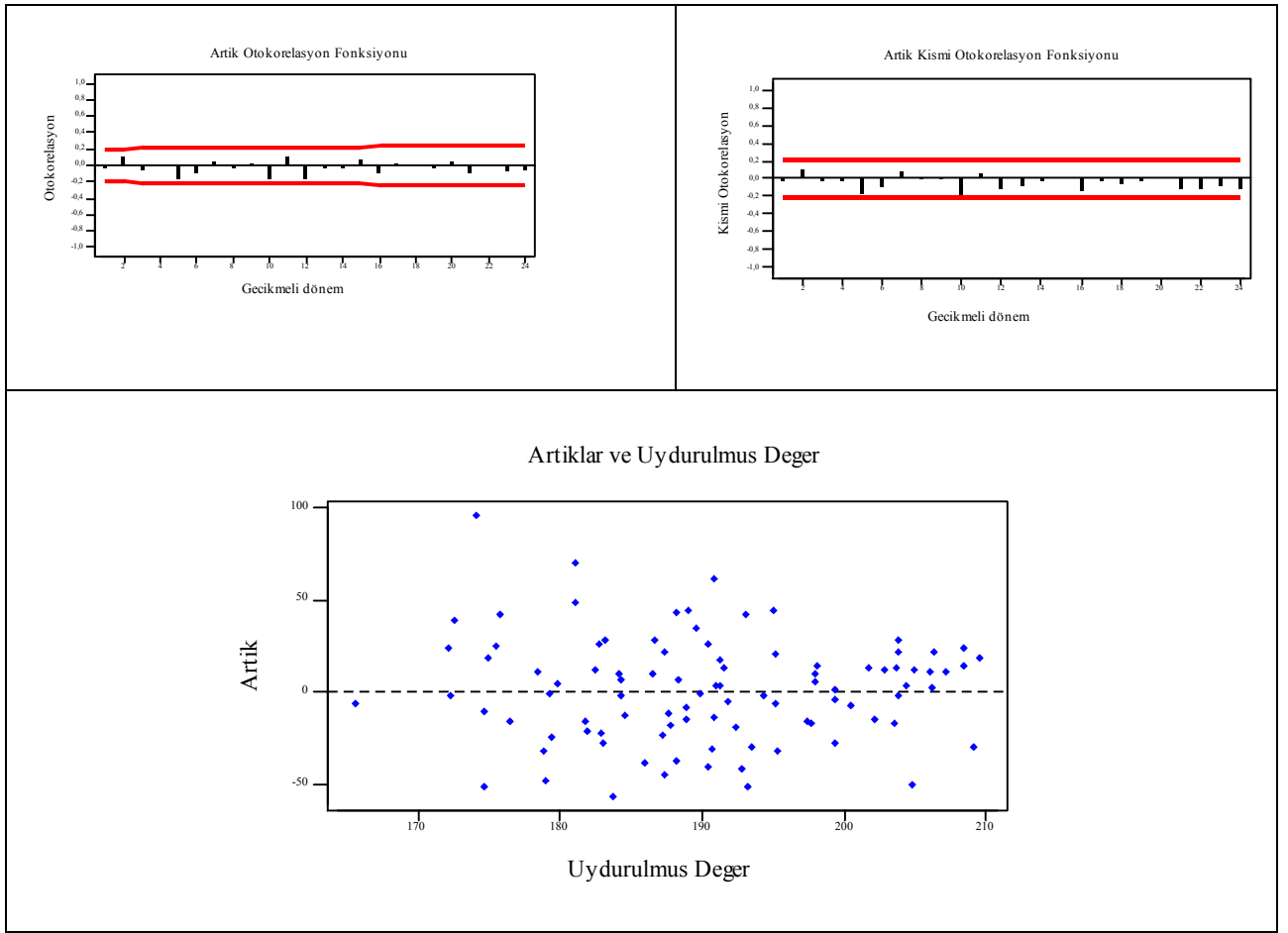
Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square statistic

Lag	Chi-Square	DF	P-Value
12	13,1	9	0,157
24	18,1	21	0,644
36	28,2	33	0,703
48	33,6	45	0,895

Forecasts from period 96

Period	Forecast	95 Percent Limits		Actual
		Lower	Upper	
97	175,396	118,795	231,997	

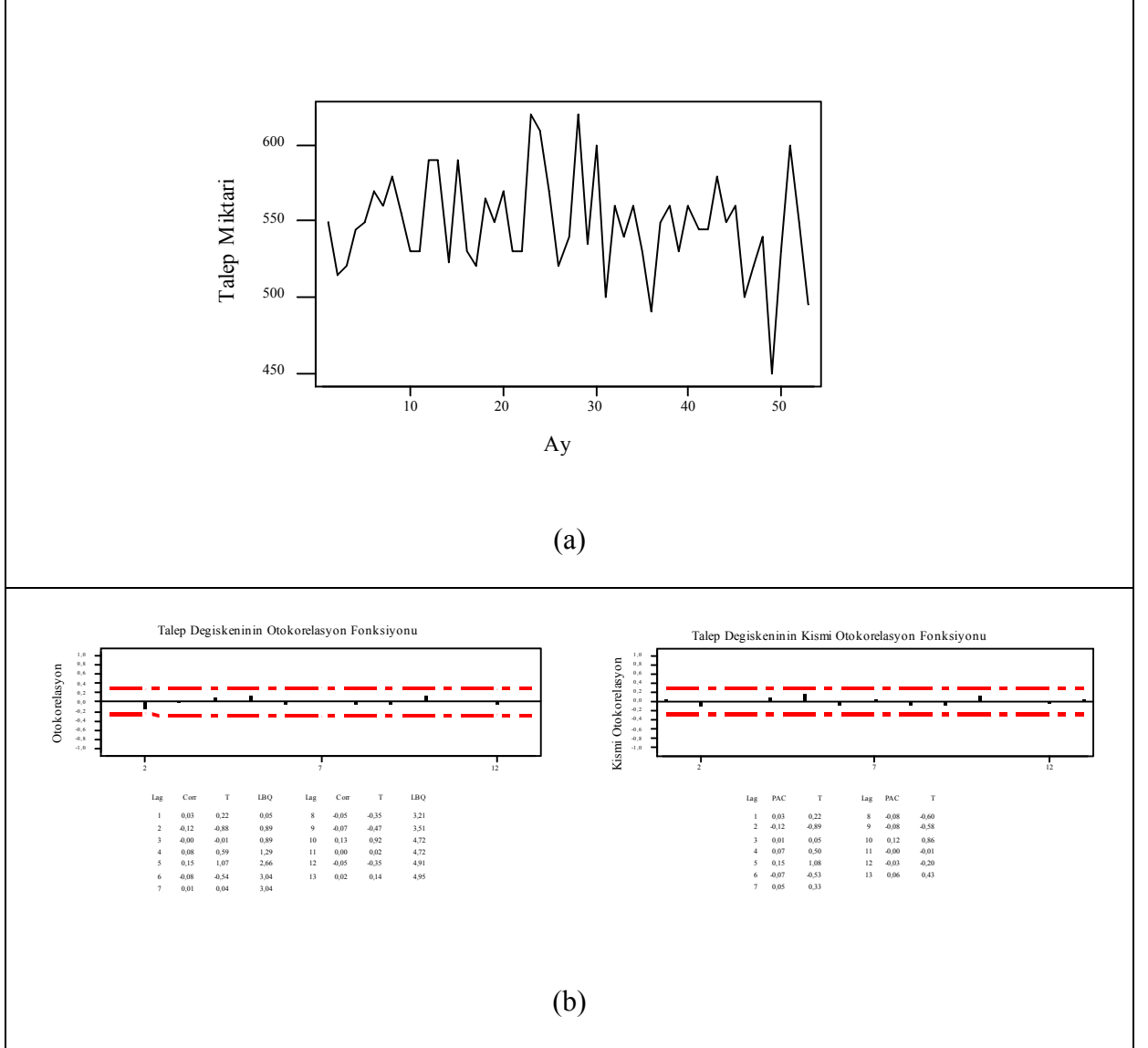
Şekil 10 Bayi 3 talep miktarı için ARIMA (1, 1, 1) modeli sonuçları



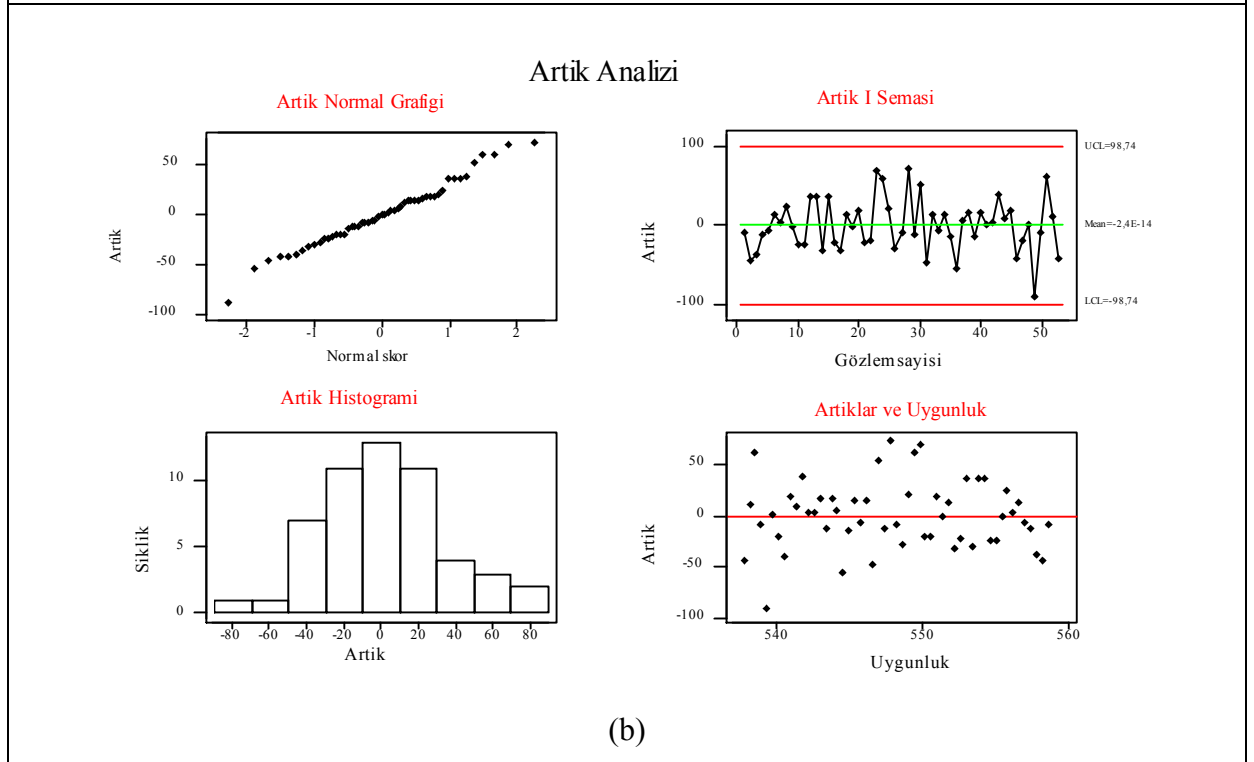
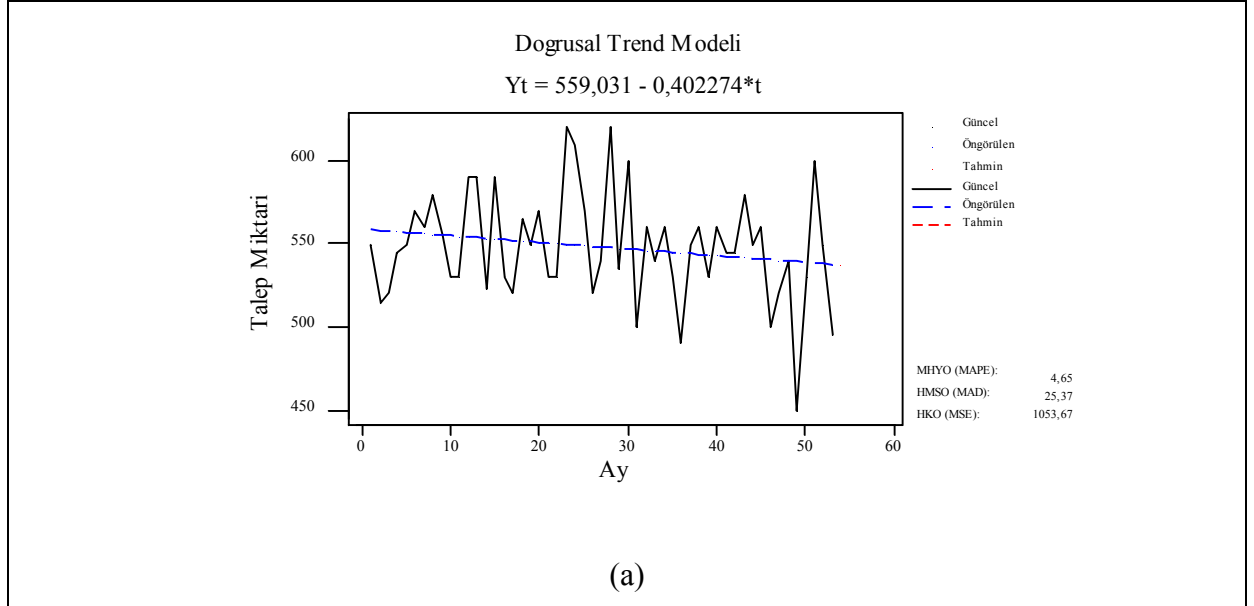
Şekil 11 Bayi 3' ün talep miktarı için ARIMA (1, 1, 1) modelinin artık analizi

Ek 3 Depo 1 İçin İstatistiksel Analiz Grafikleri

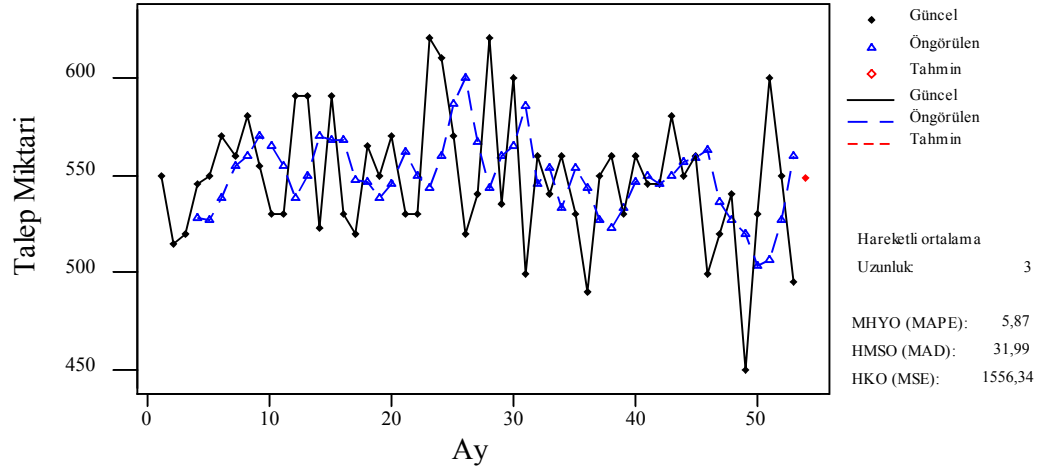
1. Zaman serileri analizi



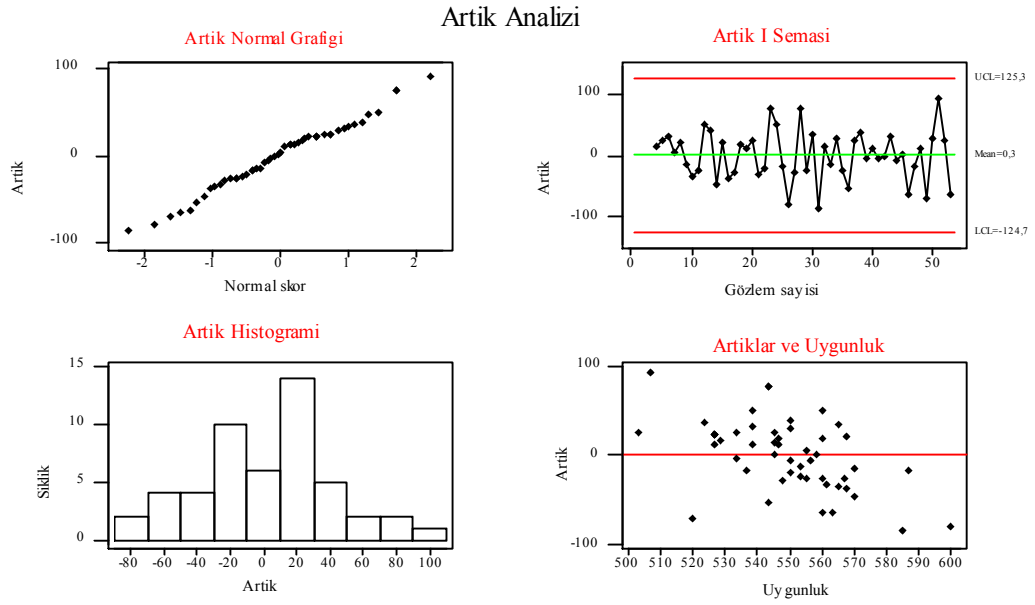
Şekil 1 Depo 1' in talep miktarının (a) aylara göre değişiminin gösterimi ve (b) korrelogramları



Şekil 2 Depo 1' in talep miktarı için (a) trend analizi ve (b) elde edilen artıkların analizi

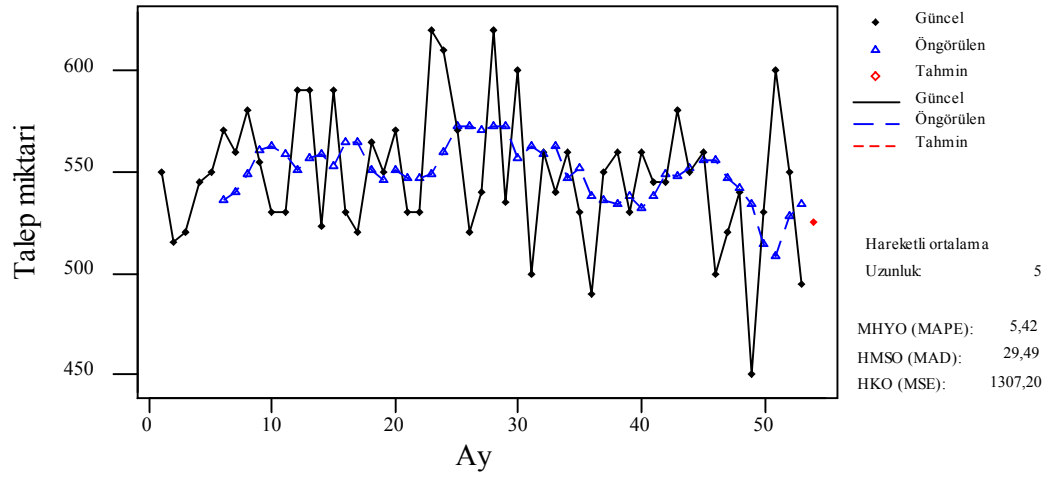


(a)

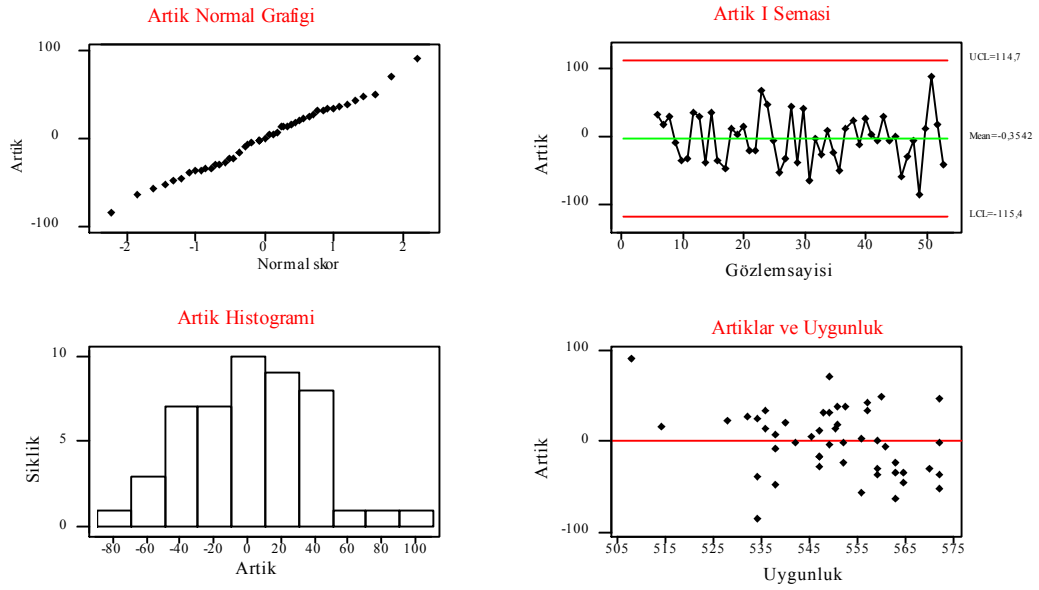


(b)

Şekil 3 Depo 1' in talep miktarı için (a) üçlü hareketli ortalama yöntemi ve (b) elde edilen artıkların analizi

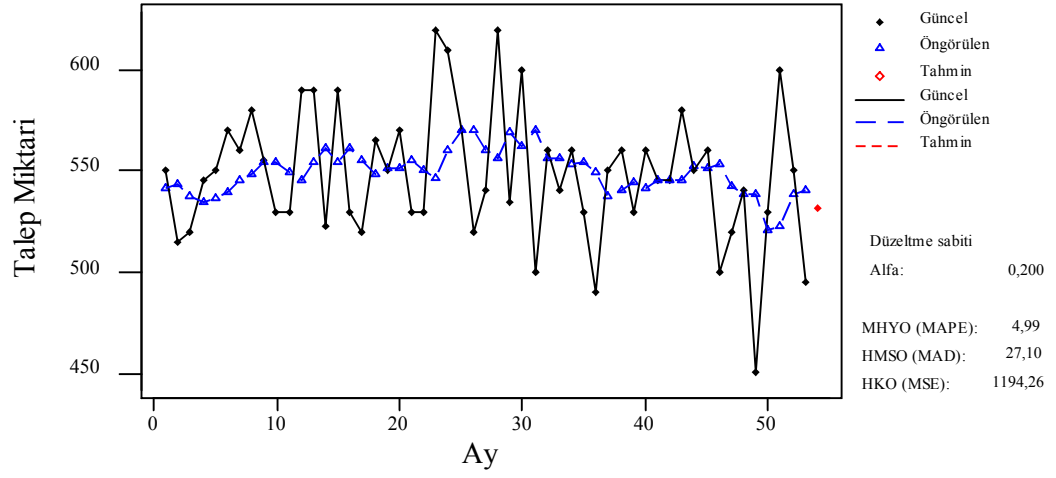


(a)

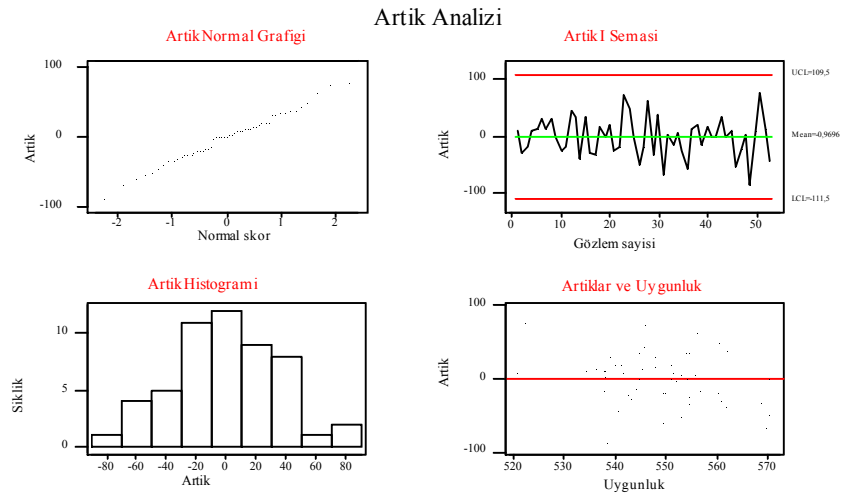


(b)

Şekil 4 Depo 1'in talep miktarı için (a) beşli hareketli ortalama yöntemi ve (b) elde edilen artıkların analizi

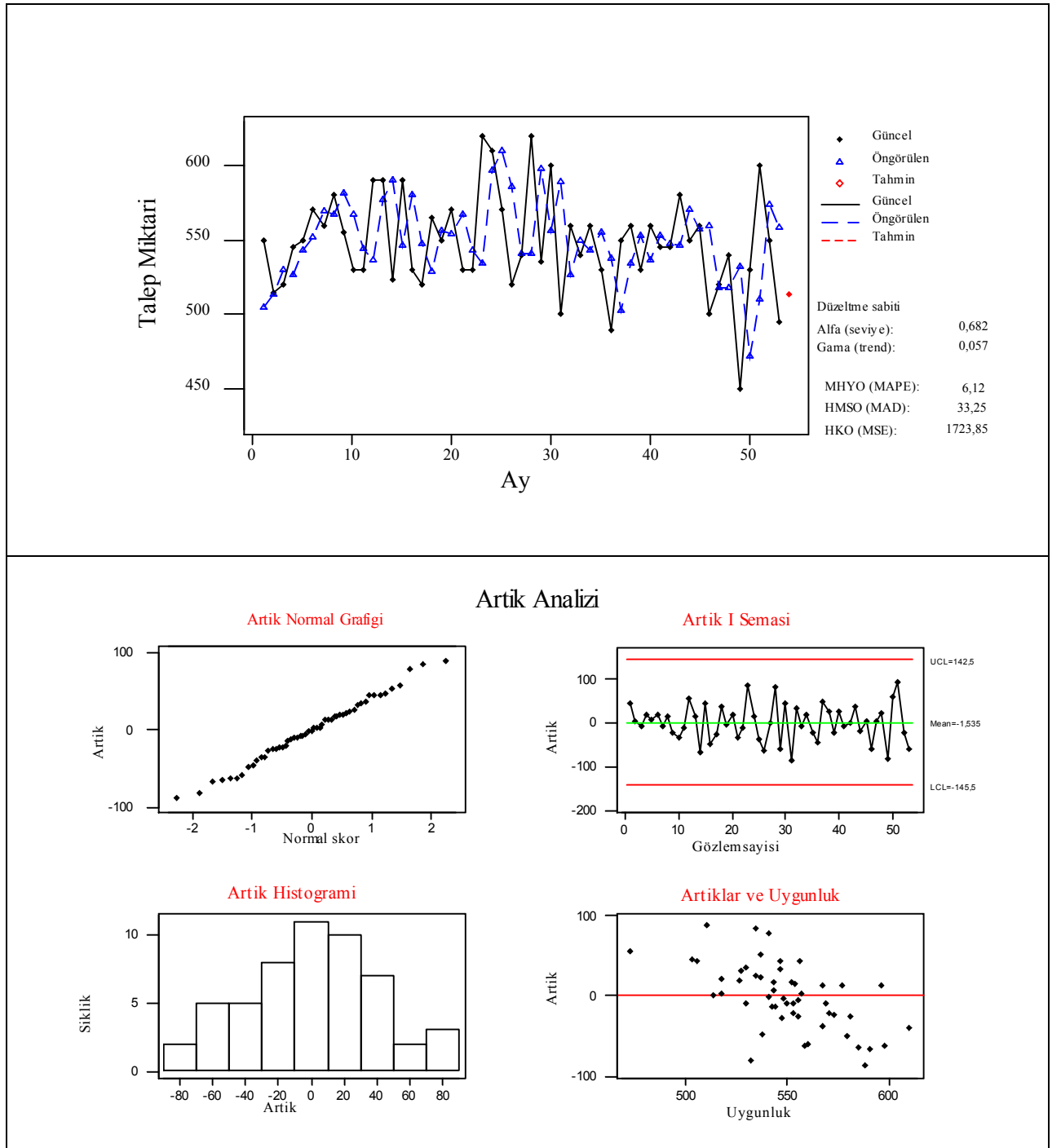


(a)



(b)

Şekil 5 Depo 1 talep miktarı için (a) basit üssel düzeltme yöntemi ve (b) elde edilen artıkların analizi



Şekil 6 Depo 1 talep miktarı için (a) Holt doğrusal modeli ve (b) elde edilen artıkların analizi

2. Çoklu regresyon analizi

The regression equation is
 $DlinFabrikadanSiparisMik = 250 + 0,478 \text{ BldenDepoyaVerilen Siparis Miktari}$
 $- 2,09 \text{ B1inIstedigiTeminSuresi} + 0,221 \text{ B2denDepoyaVerilen Siparis Miktari}$
 $- 1,29 \text{ B2inIstedigiTeminSuresi} + 1,22 \text{ B3tenDepoyaVerilen Siparis Miktari}$
 $- 0,164 \text{ B3unIstedigiTeminSuresi} + 0,366 \text{ DepolinEnvanterSeviyesi}$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	250,22	72,74	3,44	0,001
BldenDepoyaVerilen Siparis Miktari	0,4782	0,3502	1,37	0,179
B1inIstedigiTeminSuresi	-2,088	1,184	-1,76	0,085
B2denDepoyaVerilen Siparis Miktari	0,2208	0,1100	2,01	0,051
B2inIstedigiTeminSuresi	-1,287	1,089	-1,18	0,244
B3tenDepoyaVerilen Siparis Miktari	1,2239	0,2713	4,51	0,000
B3unIstedigiTeminSuresi	-0,1637	0,8686	-0,19	0,851
DepolinEnvanterSeviyesi	0,3657	0,3830	0,95	0,345

S = 24,32 R-Sq = 54,0% R-Sq(adj) = 46,8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	7	31239,7	4462,8	7,55	0,000
Residual Error	45	26611,8	591,4		
Total	52	57851,5			

Source	DF	Seq SS
BldenDep	1	13955,4
B1inIste	1	43,0
B2denDep	1	3468,3
B2inIste	1	944,7
B3tenDep	1	12013,5
B3unIste	1	275,5
DepolinE	1	539,2

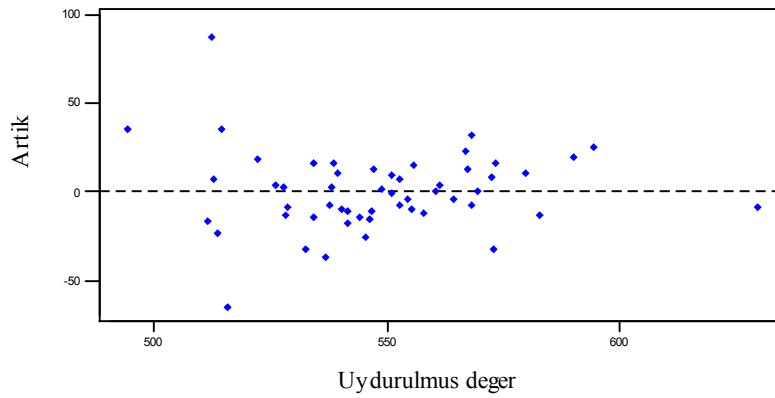
Unusual Observations

Obs	BldenDep	DlinFabr	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
49	185	450,00	515,59	12,33	-65,59	-3,13R
51	185	600,00	512,46	11,49	87,54	4,08R

Durbin-Watson statistic = 2,03

Şekil 7 Depo 1 talep miktarı için çoklu regresyon analizinin sonucu

Artıklar ve Uydurulmuş Degerler

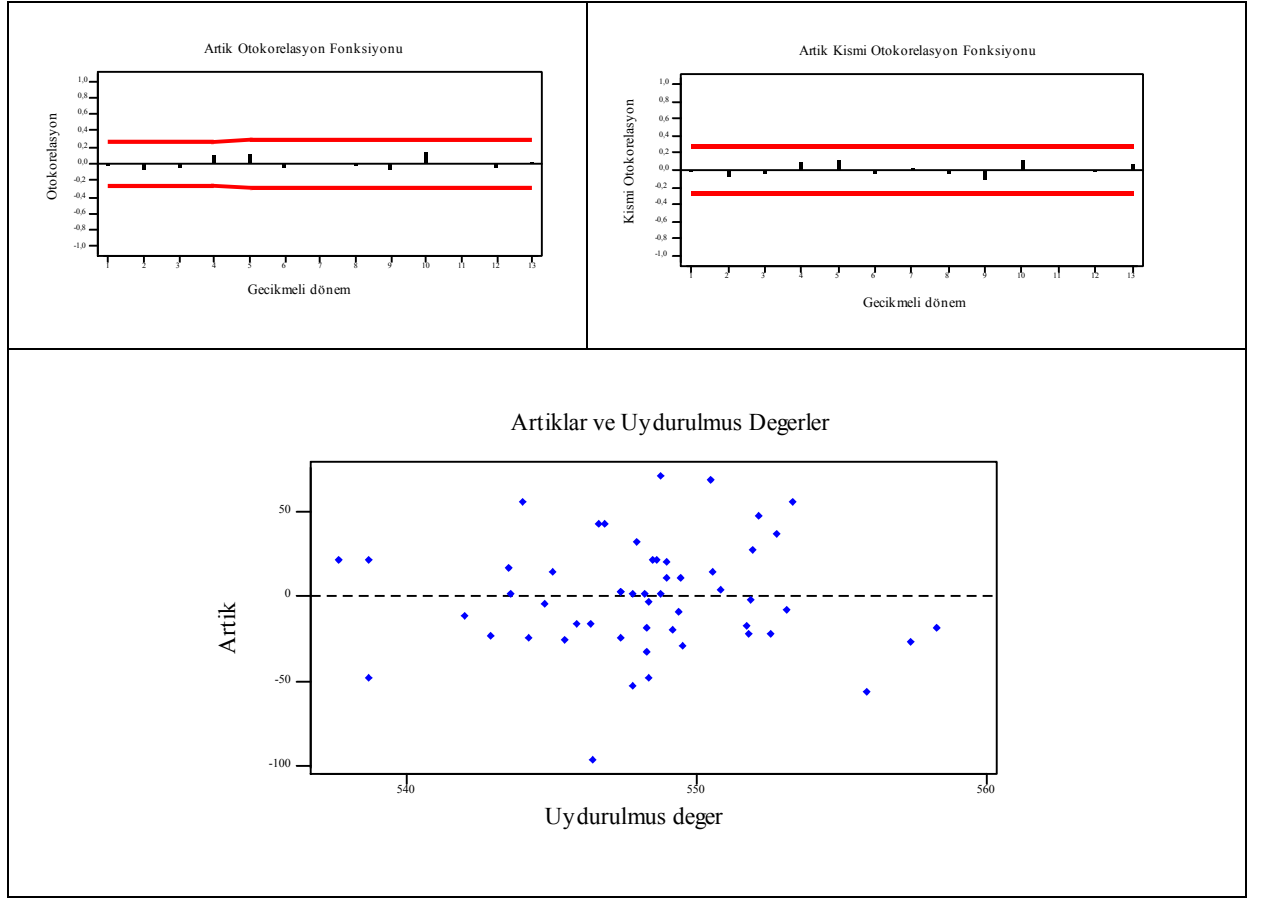


Şekil 8 Depo 1'in talep miktarı için çoklu regresyon yöntemi sonucu elde edilen artıkların analizi

3. ARIMA modelleri

ARIMA model for DlinFabrikadanSiparisMiktari				
Estimates at each iteration				
Iteration	SSE	Parameters		
0	57852,0	0,100	0,100	493,443
1	57827,8	0,109	0,091	488,286
2	57787,8	-0,040	-0,059	570,291
3	57747,6	-0,190	-0,209	652,265
4	57705,5	-0,339	-0,359	734,138
5	57651,4	-0,488	-0,509	815,748
6	57565,4	-0,636	-0,659	896,929
7	57399,5	-0,782	-0,809	977,007
8	56963,8	-0,823	-0,902	999,018
9	56936,1	-0,786	-0,867	979,175
10	56934,6	-0,800	-0,877	986,362
11	56934,5	-0,795	-0,874	983,900
12	56934,5	-0,796	-0,874	984,374
Unable to reduce sum of squares any further				
Final Estimates of Parameters				
Type	Coef	SE Coef	T	P
AR 1	-0,7959	0,2990	-2,66	0,010
MA 1	-0,8744	0,2379	-3,68	0,001
Constant	984,374	8,692	113,25	0,000
Mean	548,130	4,840		
Number of observations: 53				
Residuals: SS = 56934,5 (backforecasts excluded)				
MS = 1138,7 DF = 50				
Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square statistic				
Lag	12	24	36	48
Chi-Square	4,1	12,0	22,2	32,9
DF	9	21	33	45
P-Value	0,904	0,939	0,924	0,909
Forecasts from period 53				
		95 Percent Limits		
Period	Forecast	Lower	Upper	Actual
54	544,273	478,121	610,426	

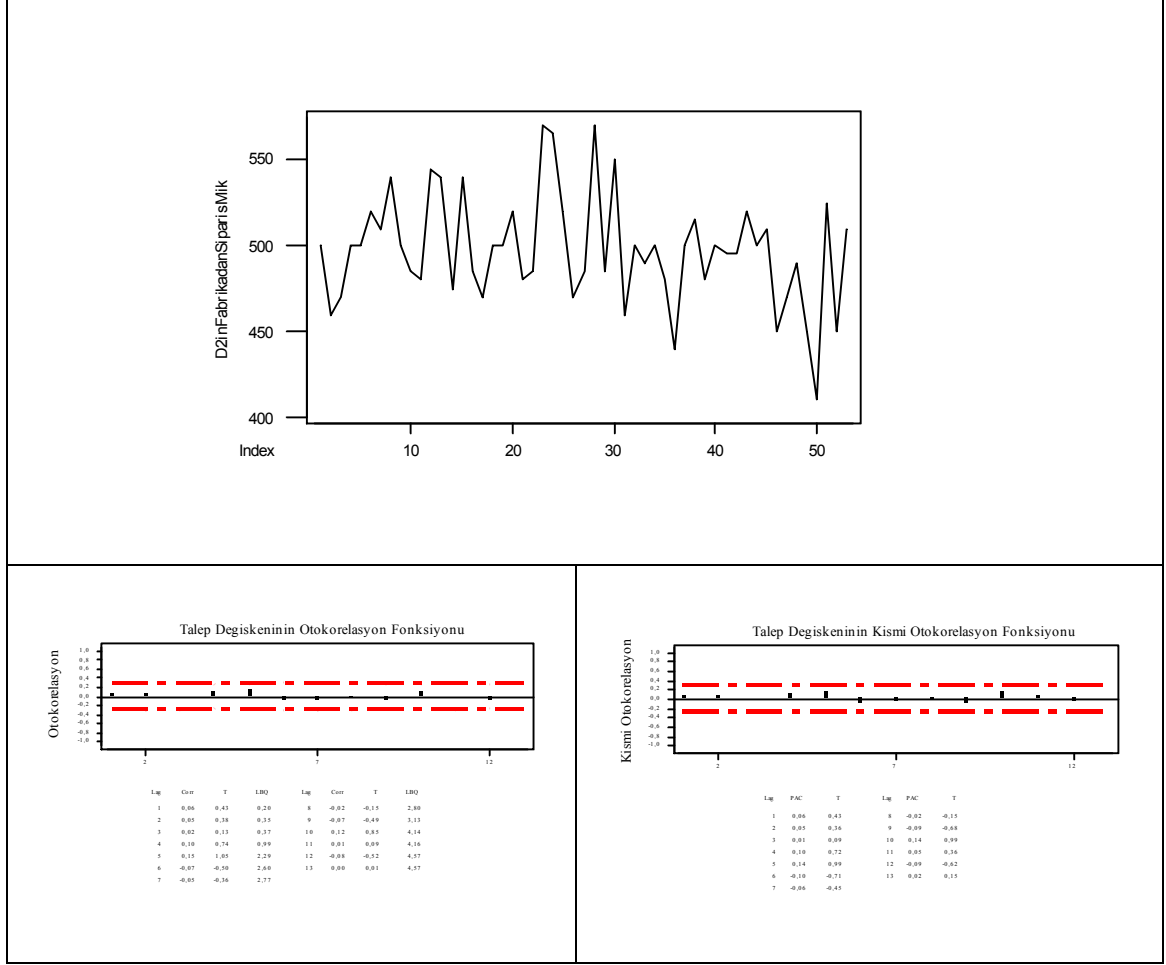
Şekil 9 Depo 1 talep miktarı için ARIMA (1, 0, 1) modeli sonuçları



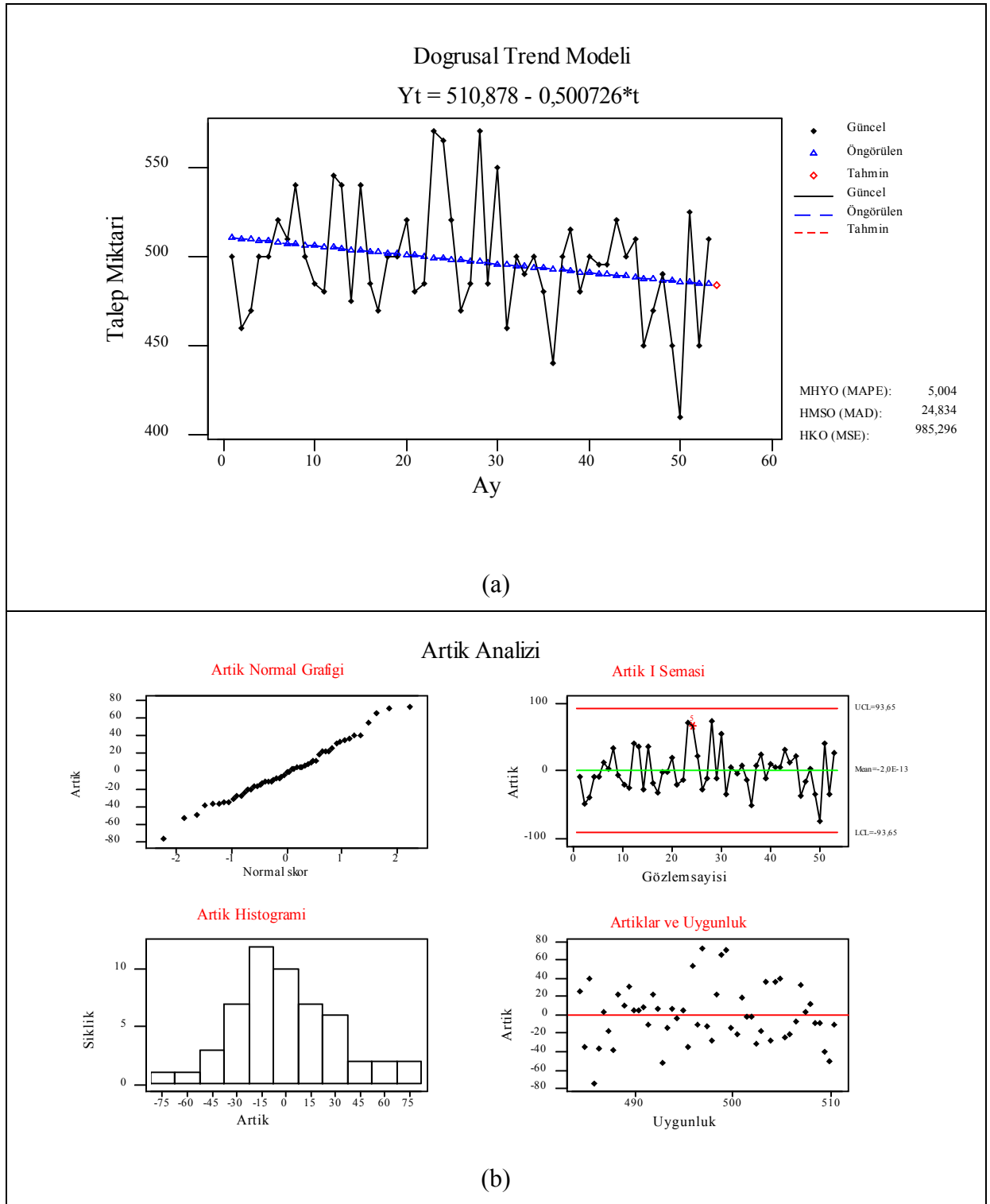
Şekil 10 Depo 1'in talep miktarı için ARIMA (1, 0, 1) modelinin artık analizi

Ek 4 Depo 2 İçin İstatistiksel Analiz Grafikleri

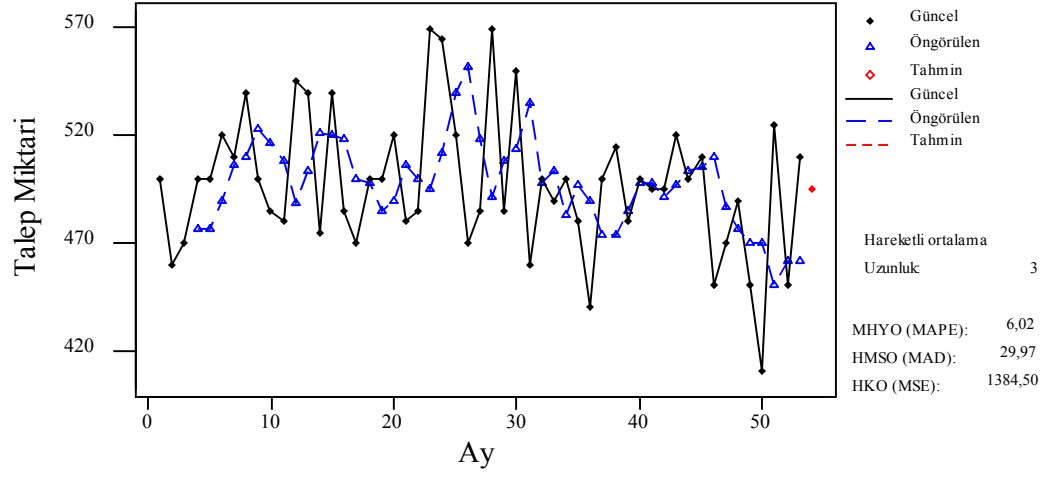
1. Zaman serileri analizi



Şekil 1 Depo 2' nin talep miktarının (a) aylara göre değişiminin gösterimi ve (b) korrelogramları

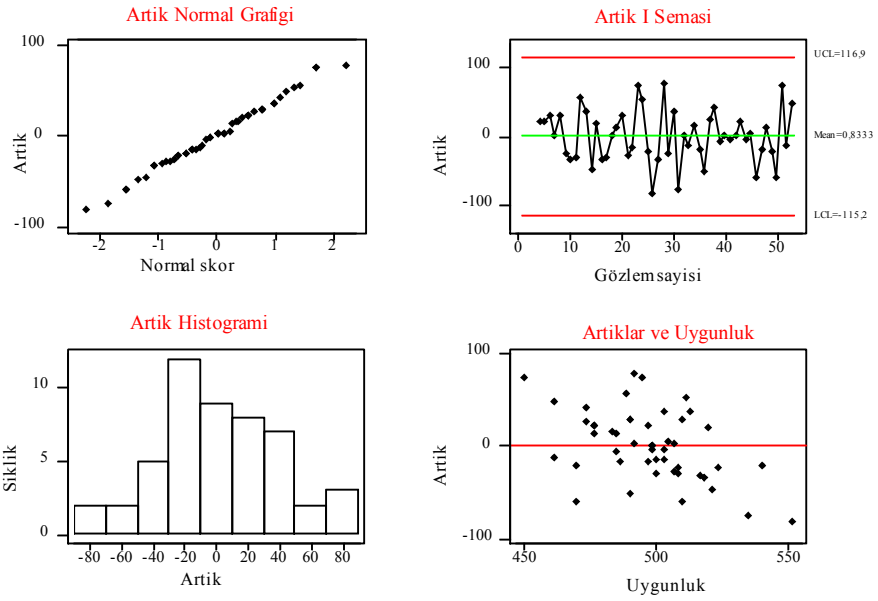


Şekil 2 Depo 2'nin talep miktarı için (a) trend analizi ve (b) elde edilen artıkların analizi



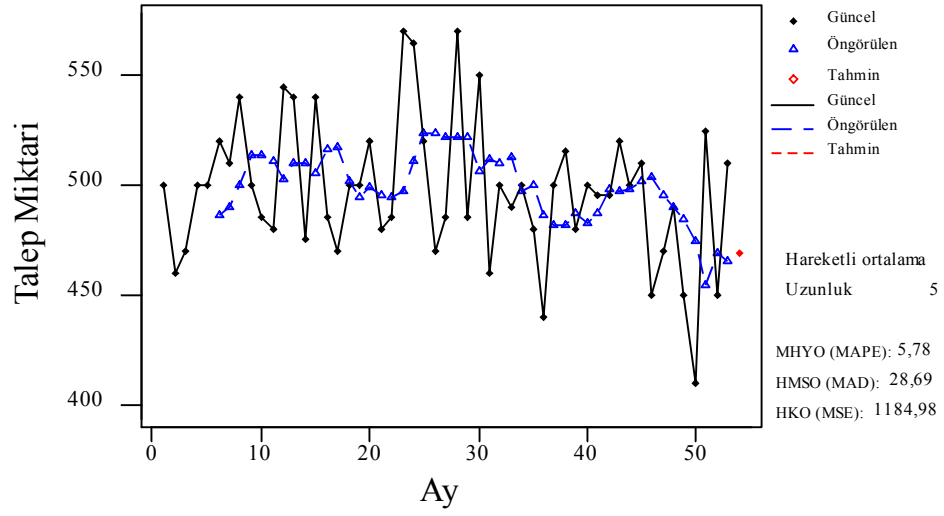
(a)

Artık Analizi



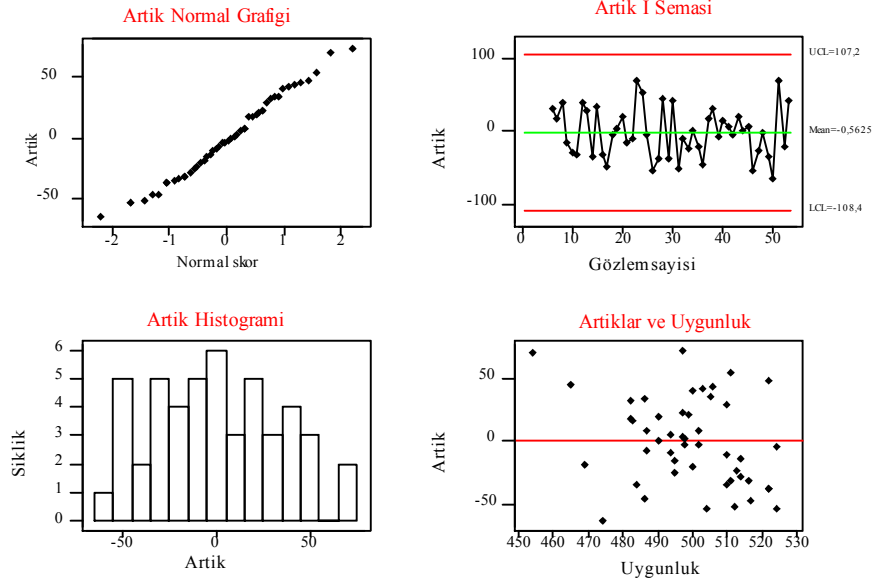
(b)

Şekil 3 Depo 2'nin talep miktarı için (a) üçlü hareketli ortalama yöntemi ve (b) elde edilen artıkların analizi



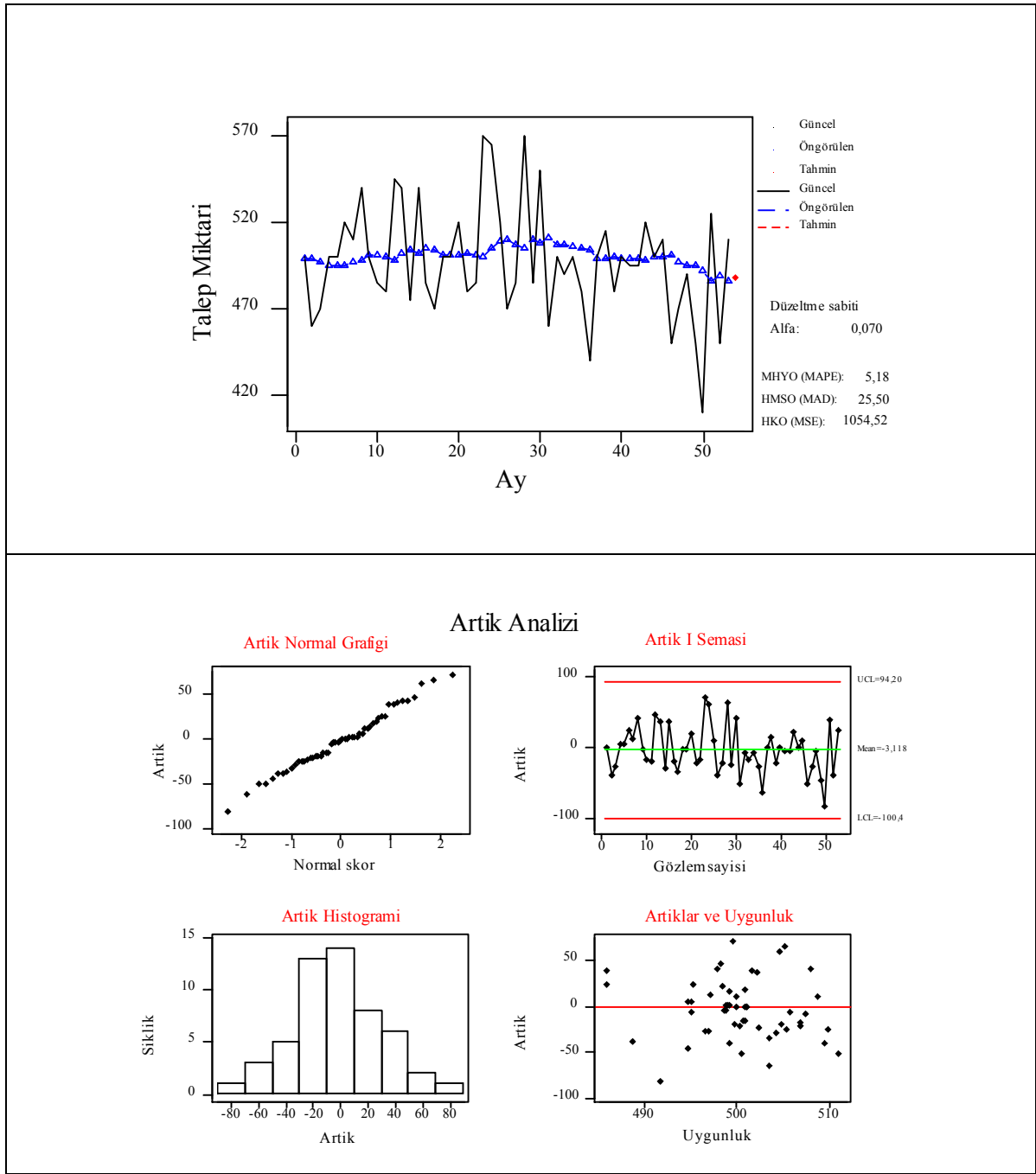
(a)

Artık Analizi

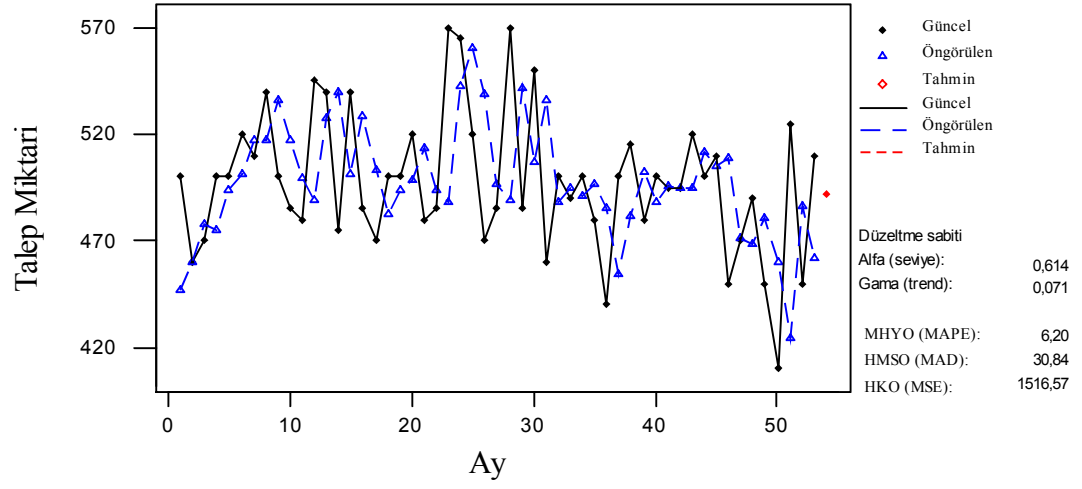


(b)

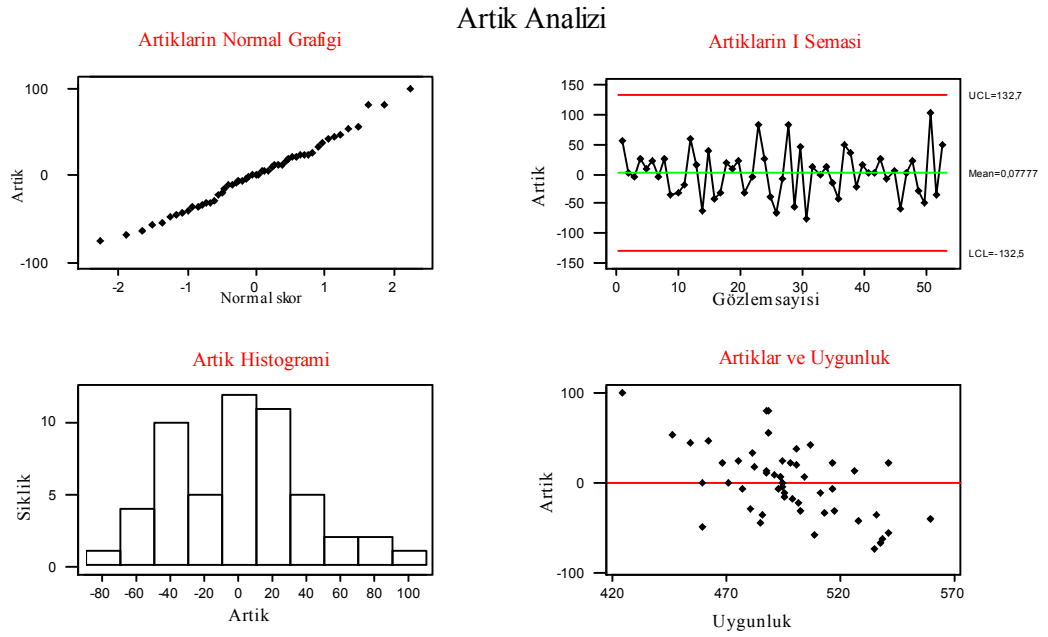
Şekil 4 Depo 2'nin talep miktarı için (a) beşli hareketli ortalama yöntemi ve (b) elde edilen artıkların analizi



Şekil 5 Depo 2 talep miktarı için (a) basit üssel düzeltme yöntemi ve (b) elde edilen artıkların analizi



(a)



(b)

Şekil 6 Depo 2 talep miktarı için (a) Holt doğrusal modeli ve (b) elde edilen artıkların analizi

2. Çoklu regresyon analizi

The regression equation is

$$\begin{aligned} D2ninFabrikadanSiparisMik = & 311 + 0,612 \text{ B1denDepo2yeSiparisMiktari} \\ & - 0,736 \text{ B1inIstedigiTeminSuresi} + 0,0467 \text{ B2denDepo2yeSiparisMiktari} \\ & + 0,757 \text{ B2inIstedigiTeminSuresi} + 0,981 \text{ B3denDepo2yeSiparisMiktari} \\ & - 1,00 \text{ B3unIstedigiTeminSuresi} + 0,719 \text{ Depo2ninEnvanteri} \end{aligned}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	311,24	39,25	7,93	0,000
B1denDepo2yeSiparisMiktari	0,6121	0,3122	1,96	0,056
B1inIstedigiTeminSuresi	-0,7361	0,7116	-1,03	0,306
B2denDepo2yeSiparisMiktari	0,04668	0,09654	0,48	0,631
B2inIstedigiTeminSuresi	0,7574	0,7885	0,96	0,342
B3denDepo2yeSiparisMiktari	0,9813	0,2656	3,69	0,001
B3unIstedigiTeminSuresi	-1,005	1,068	-0,94	0,352
Depo2ninEnvanteri	0,7193	0,3343	2,15	0,037

S = 22,84 R-Sq = 57,6% R-Sq(adj) = 51,0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	7	31850,8	4550,1	8,72	0,000
Residual Error	45	23479,4	521,8		
Total	52	55330,2			

Source	DF	Seq SS
B1denDep	1	15229,1
B1inIste	1	2023,0
B2denDep	1	1672,4
B2inIste	1	690,8
B3denDep	1	9210,6
B3unIste	1	609,0
Depo2nin	1	2416,0

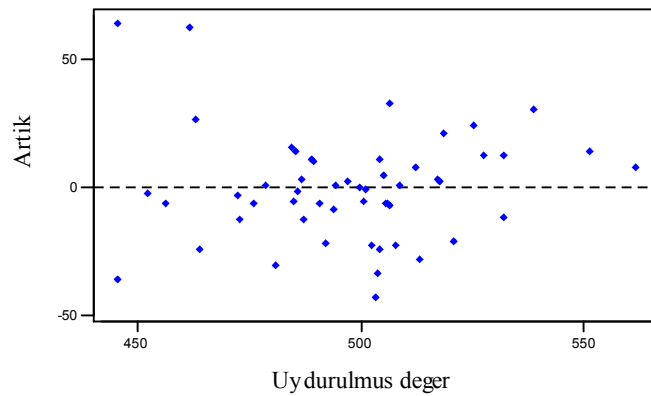
Unusual Observations

Obs	B1denDep	D2ninFab	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
51	130	525,00	461,81	11,26	63,19	3,18R
53	110	510,00	445,45	11,59	64,55	3,28R

Durbin-Watson statistic = 2,19

Şekil 7 Depo 2 talep miktarı için çoklu regresyon analizinin sonucu

Artıklar ve Uydurulmuş Degerler

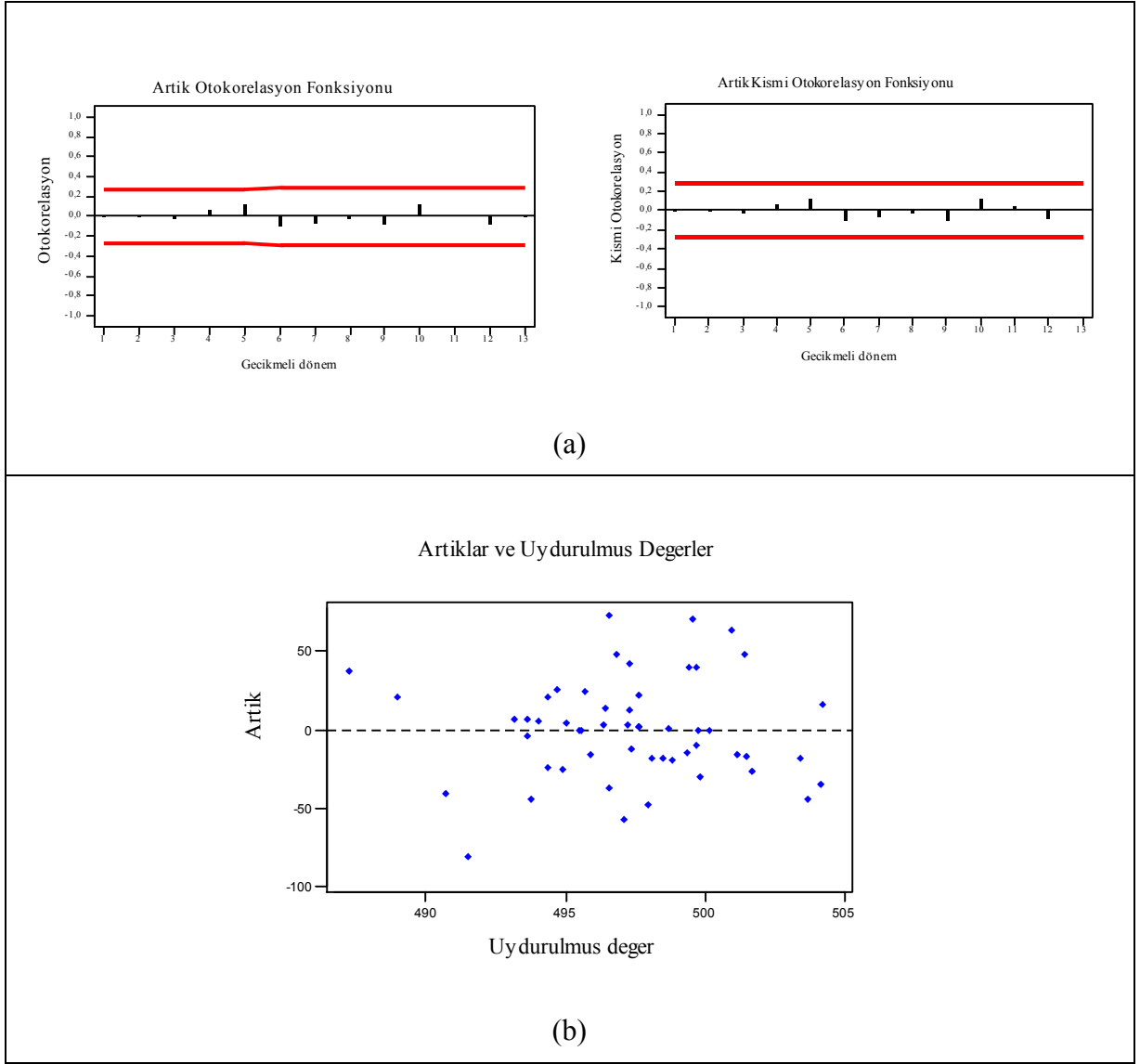


Şekil 8 Depo 2'nin talep miktarı için çoklu regresyon yöntemi sonucu elde edilen artıkların analizi

3. ARIMA modelleri

ARIMA model for D2ninFabrikadanSiparisMik				
Estimates at each iteration				
Iteration	SSE	Parameters		
0	55330,7	0,100	0,100	447,713
1	55114,0	0,130	0,070	432,745
2	55062,7	0,279	0,220	358,577
3	54993,2	0,428	0,370	284,664
4	54898,2	0,575	0,520	211,285
5	54789,2	0,722	0,670	138,376
6	54689,8	0,869	0,820	64,994
7	54668,0	0,864	0,804	67,422
8	54667,2	0,873	0,813	63,080
9	54667,2	0,871	0,811	64,115
10	54667,2	0,872	0,811	63,775
Relative change in each estimate less than 0,0010				
Final Estimates of Parameters				
Type	Coef	SE Coef	T	P
AR 1	0,8715	0,5636	1,55	0,128
MA 1	0,8114	0,6347	1,28	0,207
Constant	63,775	1,008	63,29	0,000
Mean	496,482	7,845		
Number of observations: 53				
Residuals: SS = 54665,9 (backforecasts excluded)				
MS = 1093,3 DF = 50				
Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square statistic				
Lag	12	24	36	48
Chi-Square	4,5	14,5	22,5	31,9
DF	9	21	33	45
P-Value	0,875	0,849	0,916	0,929
Forecasts from period 53				
95 Percent Limits				
Period	Forecast	Lower	Upper	Actual
54	491,207	426,386	556,028	

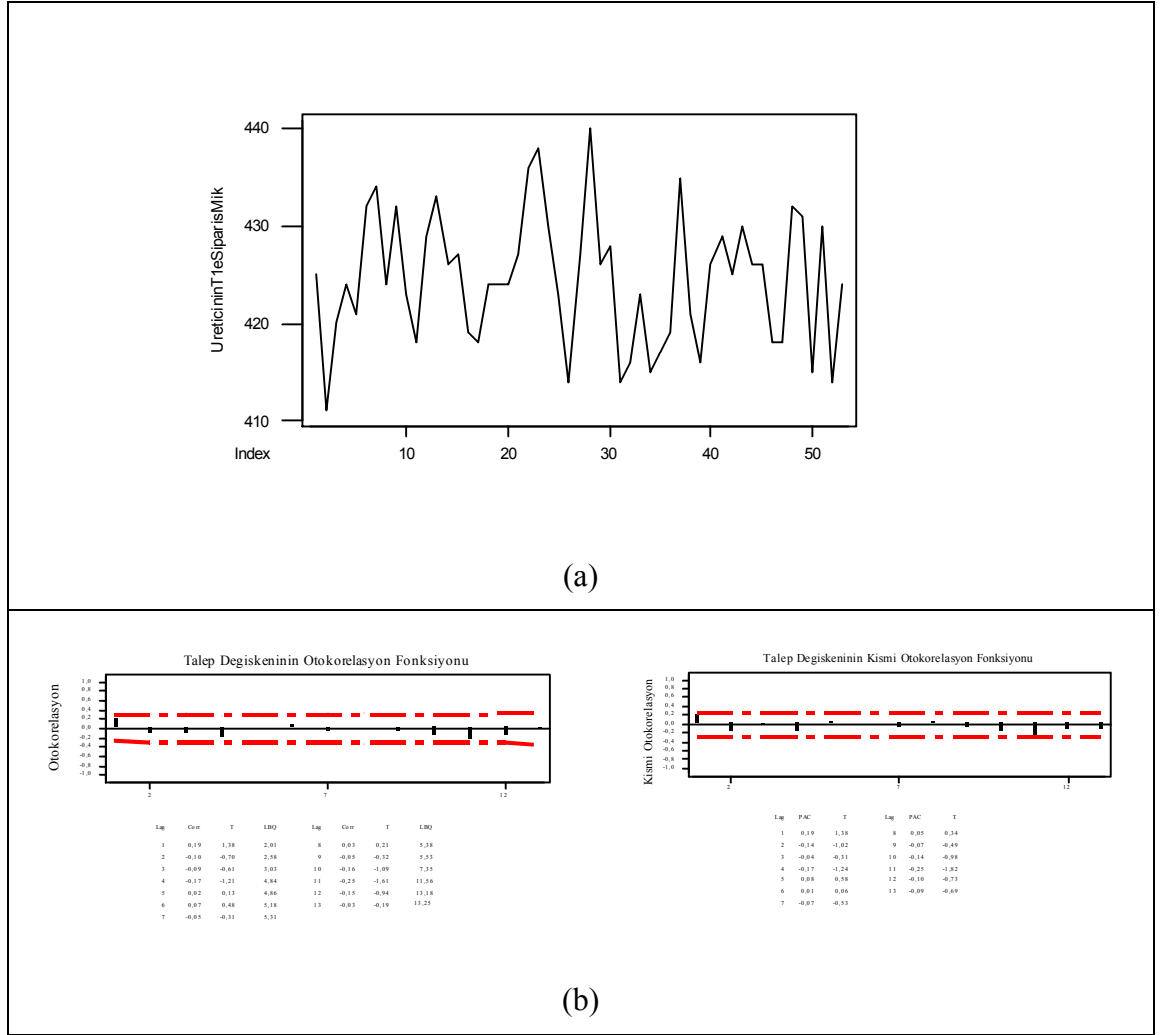
Şekil 9 Depo 2'nin talep miktarı için ARIMA (1, 0, 1) modeli sonuçları



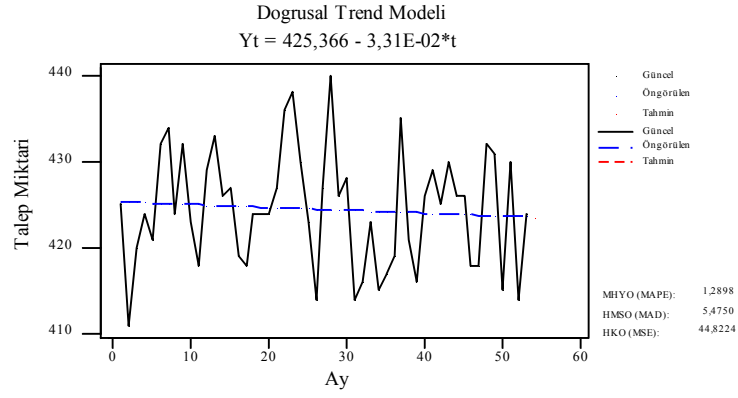
Şekil 10 Depo 2'nin talep miktarı için ARIMA (1, 0, 1) modelinin artık analizi

Ek 5 Tedarikçi 1 İçin İstatistiksel Analiz Grafikleri

1. Zaman serileri analizi

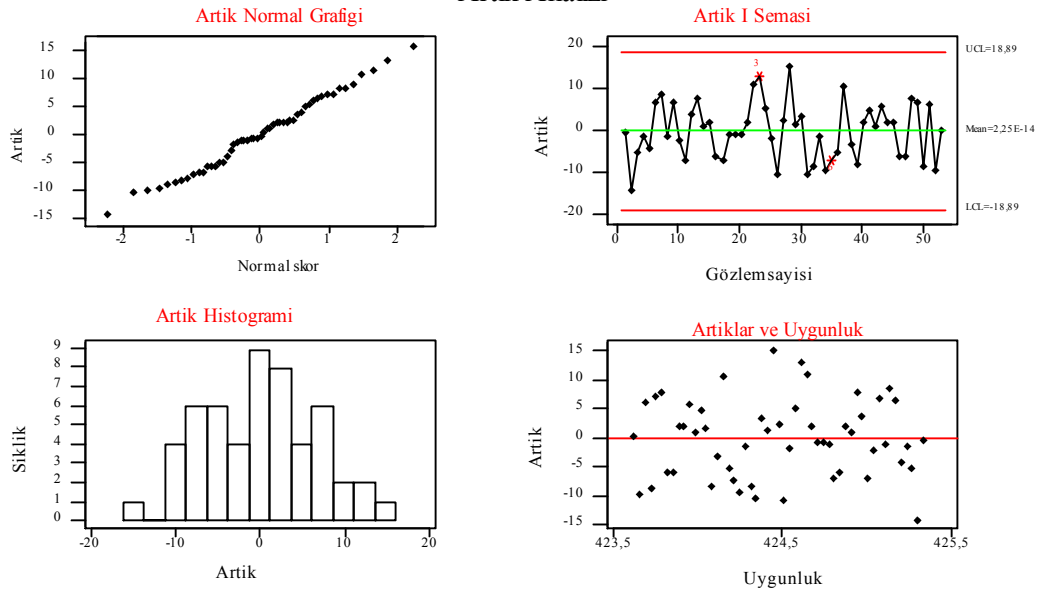


Şekil 1 Tedarikçi 1'in talep miktarının (a) aylara göre değişiminin gösterimi ve (b) korrelogramları



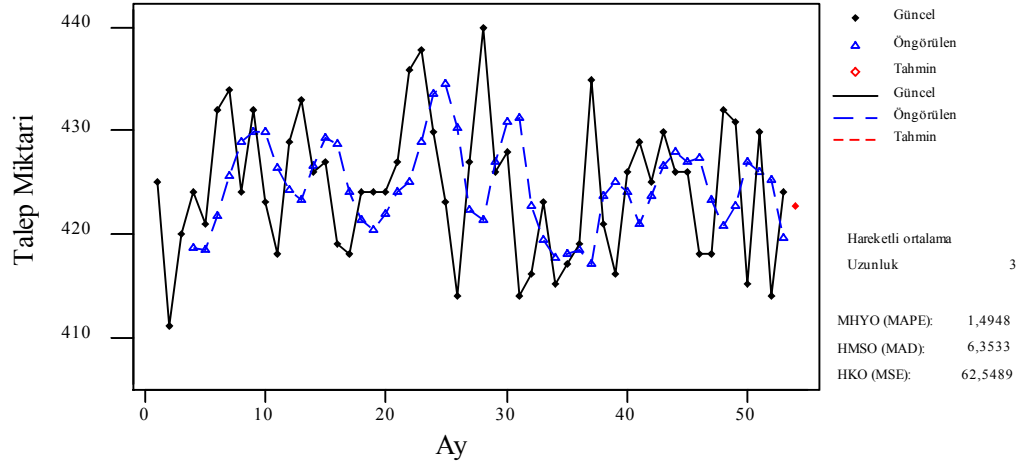
(a)

Artık Analizi



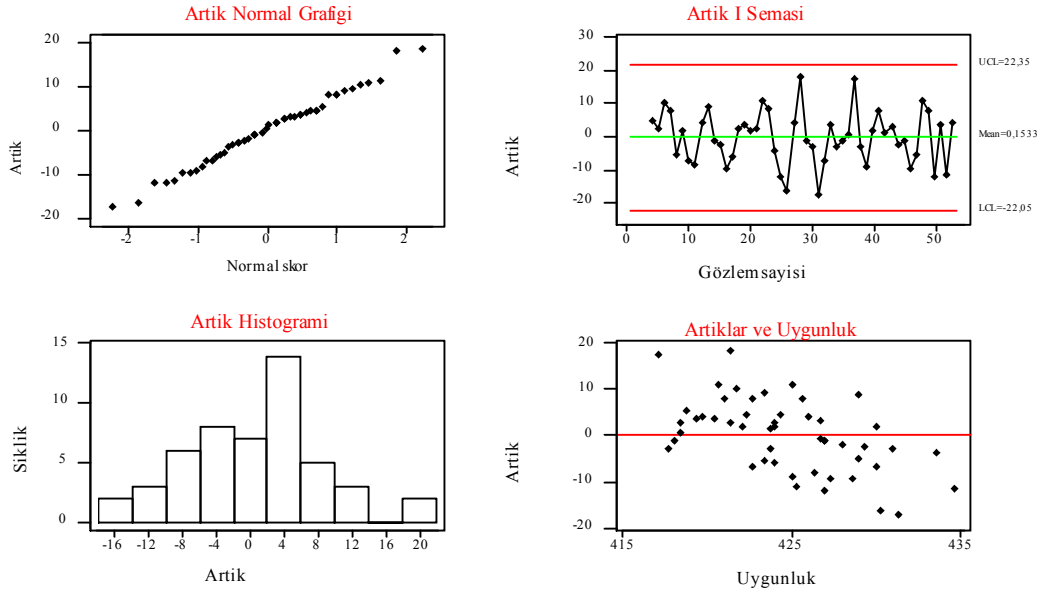
(b)

Şekil 2 Tedarikçi 1'in talep miktarı için (a) trend analizi ve (b) elde edilen artıkların analizi



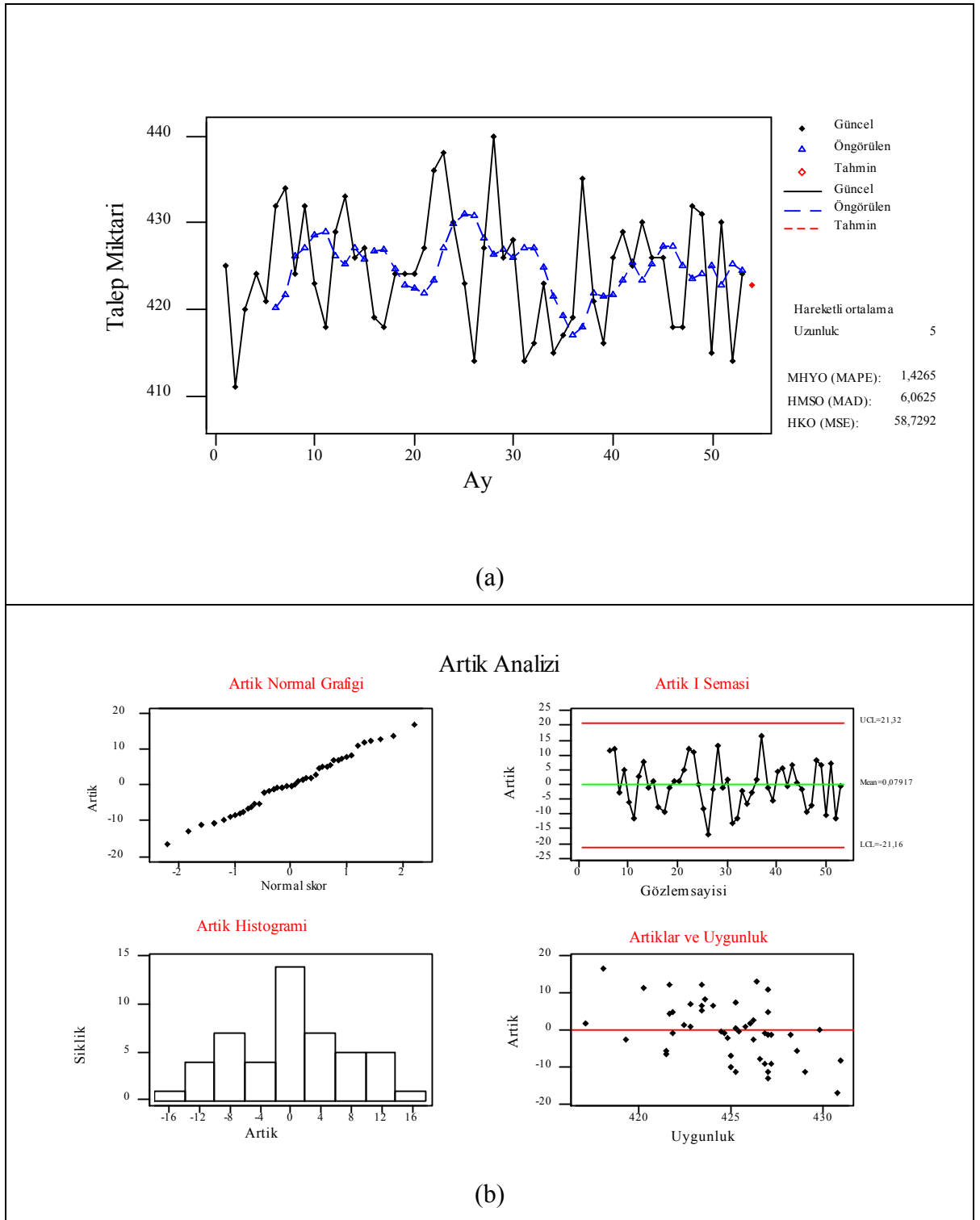
(a)

Artık Analizi

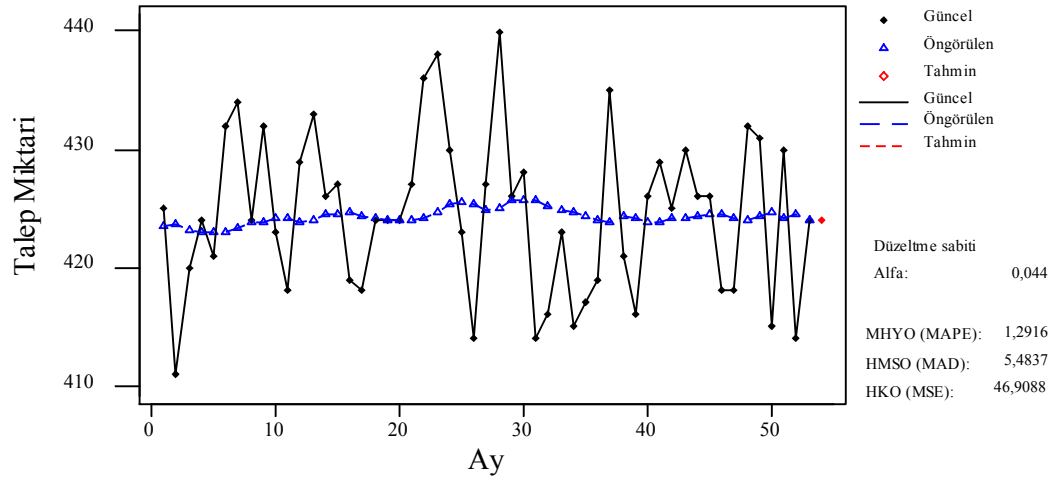


(b)

Şekil 3 Tedarikçi 1'in talep miktarı için (a) üçlü hareketli ortalama yöntemi ve (b) elde edilen artıkların analizi

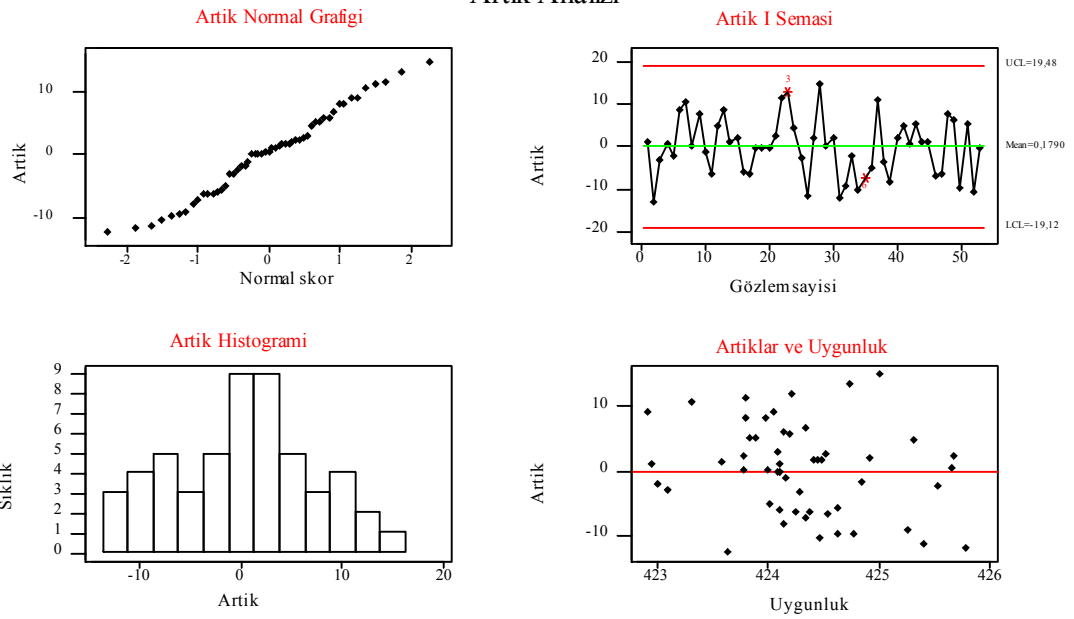


Şekil 4 Tedarikçi 1'in talep miktarı için (a) beşli hareketli ortalama yöntemi ve (b) elde edilen artıkların analizi



(a)

Artık Analizi



(b)

Şekil 5 Tedarikçi 1'in talep miktarı için (a) basit üssel düzeltme yöntemi ve (b) elde edilen artıkların analizi

2. Çoklu regresyon analizi

The regression equation is

$$\text{UreticininTleSiparisMik} = 343 + 0,134 \text{ ÜretimKapasitesi} - 0,167 \text{ DldenUreticiyeVerilenSiparisMiktari} - 0,980 \text{ DlinIstedigiTeminSuresi} + 1,31 \text{ D2inIstedigiTeminSuresi} + 0,00018 \text{ UreticininEnvaterSeviyesi}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	343,358	1,571	218,49	0,000
ÜretimKapasitesi	0,134355	0,003559	37,75	0,000
DldenUreticiyeVerilenSiparisMiktari	-0,166579	0,006799	-24,50	0,000
DlinIstedigiTeminSuresi	-0,98018	0,02074	-47,26	0,000
D2inIstedigiTeminSuresi	1,30599	0,01611	81,06	0,000
UreticininEnvaterSeviyesi	0,000176	0,001950	0,09	0,928

S = 0,4237 R-Sq = 99,6% R-Sq(adj) = 99,6%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	5	2380,77	476,15	2651,74	0,000
Residual Error	47	8,44	0,18		
Total	52	2389,21			

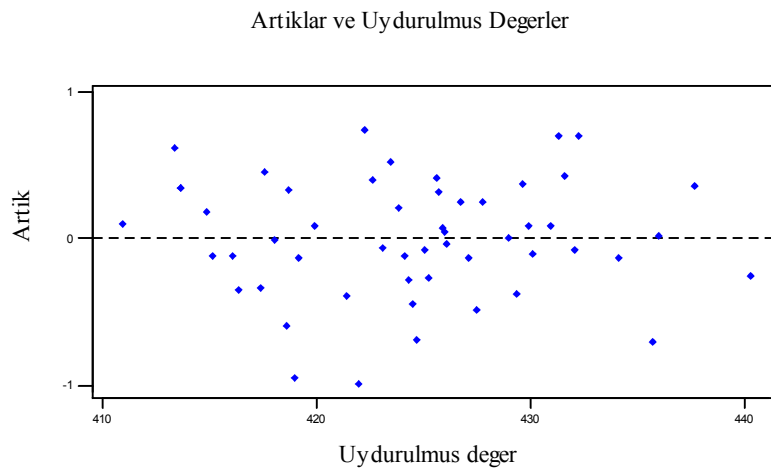
Source	DF	Seq SS
ÜretimKa	1	812,22
DldenUre	1	158,54
DlinIste	1	221,65
D2inIste	1	1188,36
Ureticin	1	0,00

Unusual Observations

Obs	ÜretimKa	Ureticin	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
5	1300	421,000	422,001	0,133	-1,001	-2,49R
17	1240	418,000	418,955	0,177	-0,955	-2,48R
49	1150	431,000	430,920	0,274	0,080	0,25 X
50	1190	415,000	415,125	0,272	-0,125	-0,38 X

Durbin-Watson statistic = 2,11

Şekil 6 Tedarikçi 1'in talep miktarı için çoklu regresyon analizinin sonucu



Şekil 7 Tedarikçi 1'in talep miktarı için çoklu regresyon yöntemi sonucu elde edilen artıkların analizi

3. ARIMA modelleri

ARIMA model for UreticininTleSiparisMiktari

Estimates at each iteration

Iteration	SSE	Parameters		
0	2389,74	0,100	0,100	382,115
1	2307,30	0,181	0,019	347,565
2	2291,90	0,040	-0,131	407,390
3	2277,57	-0,099	-0,281	466,426
4	2262,38	-0,236	-0,431	524,872
5	2246,83	-0,374	-0,581	583,077
6	2240,08	-0,503	-0,731	638,171
7	2239,33	-0,380	-0,632	585,977
8	2239,16	-0,482	-0,723	629,155
9	2238,73	-0,393	-0,644	591,462
10	2238,60	-0,471	-0,714	624,583
11	2238,41	-0,403	-0,653	595,577
12	2238,33	-0,464	-0,707	621,539
13	2238,22	-0,410	-0,659	598,408
14	2238,17	-0,459	-0,702	619,307
15	2238,11	-0,415	-0,663	600,507
16	2238,07	-0,455	-0,699	617,584
17	2238,04	-0,418	-0,666	602,132
18	2238,01	-0,452	-0,696	616,214
19	2237,99	-0,421	-0,669	603,423
20	2237,97	-0,449	-0,693	615,105
21	2237,96	-0,424	-0,671	604,466
22	2237,94	-0,447	-0,691	614,196
23	2237,94	-0,426	-0,673	605,320
24	2237,92	-0,445	-0,690	613,445
25	2237,92	-0,428	-0,674	606,024

** Convergence criterion not met after 25 iterations

Final Estimates of Parameters

Type	Coef	SE Coef	T	P
AR 1	-0,4275	0,4440	-0,96	0,340
MA 1	-0,6743	0,3875	-1,74	0,088
Constant	606,024	1,537	394,20	0,000
Mean	424,535	1,077		

Number of observations: 53

Residuals: SS = 2232,96 (backforecasts excluded)
MS = 44,66 DF = 50

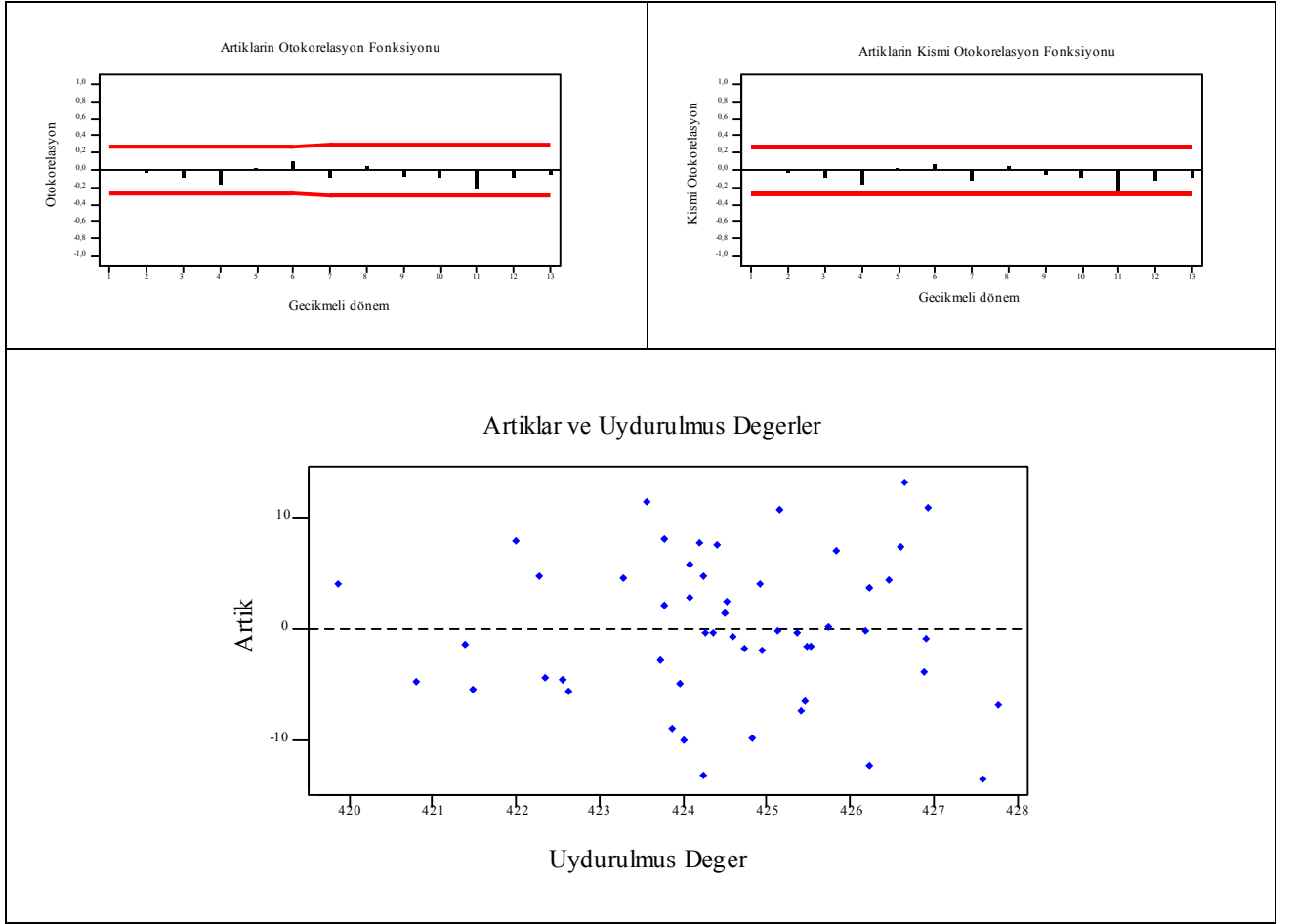
Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square statistic

Lag	12	24	36	48
Chi-Square	7,7	19,8	28,4	41,0
DF	9	21	33	45
P-Value	0,560	0,532	0,696	0,640

Forecasts from period 53

Period	Forecast	95 Percent Limits		Actual
		Lower	Upper	
54	427,550	414,450	440,651	

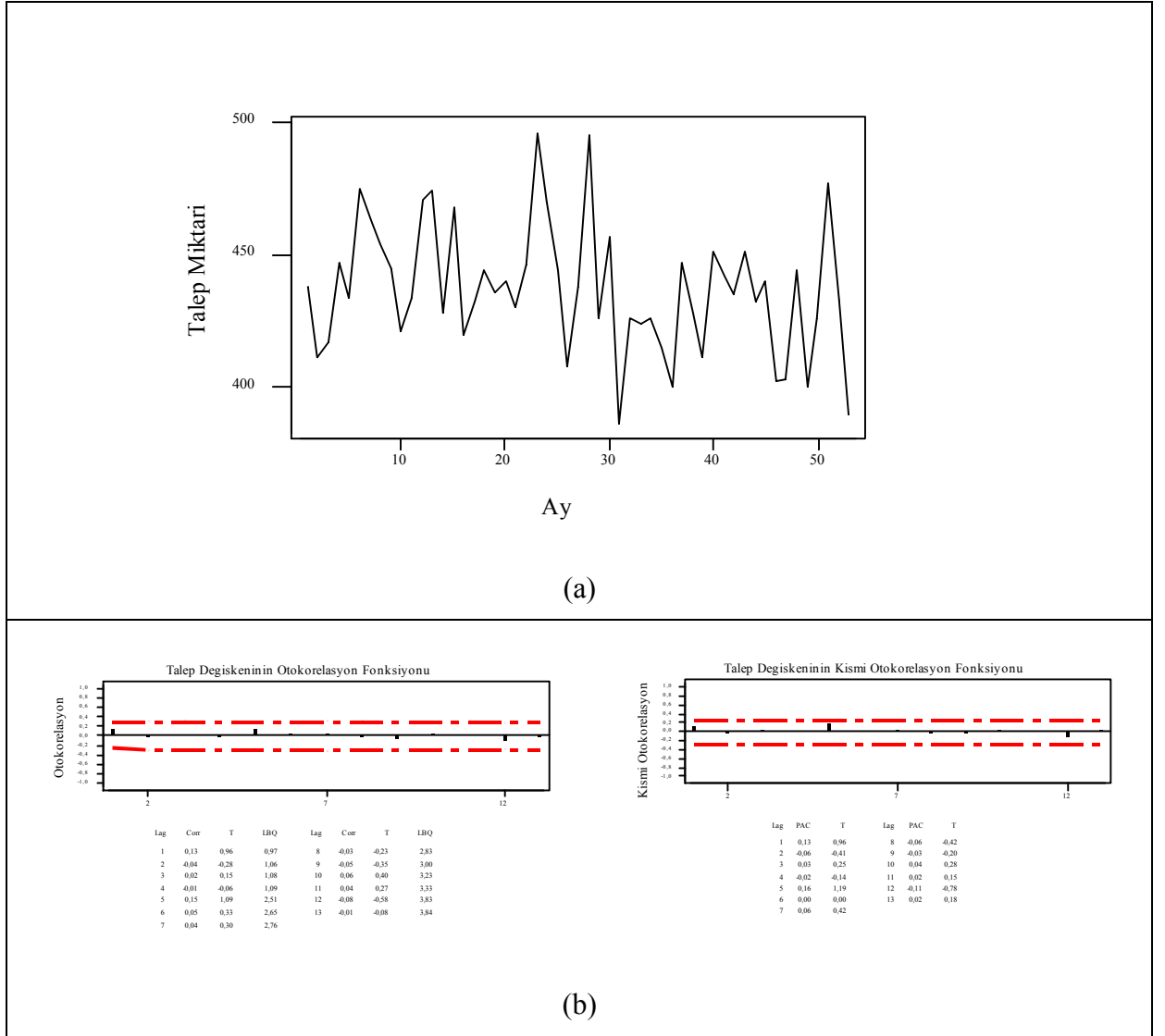
Şekil 8 Tedarikçi 1'in talep miktarı için ARIMA (1, 0, 1) modeli sonuçları



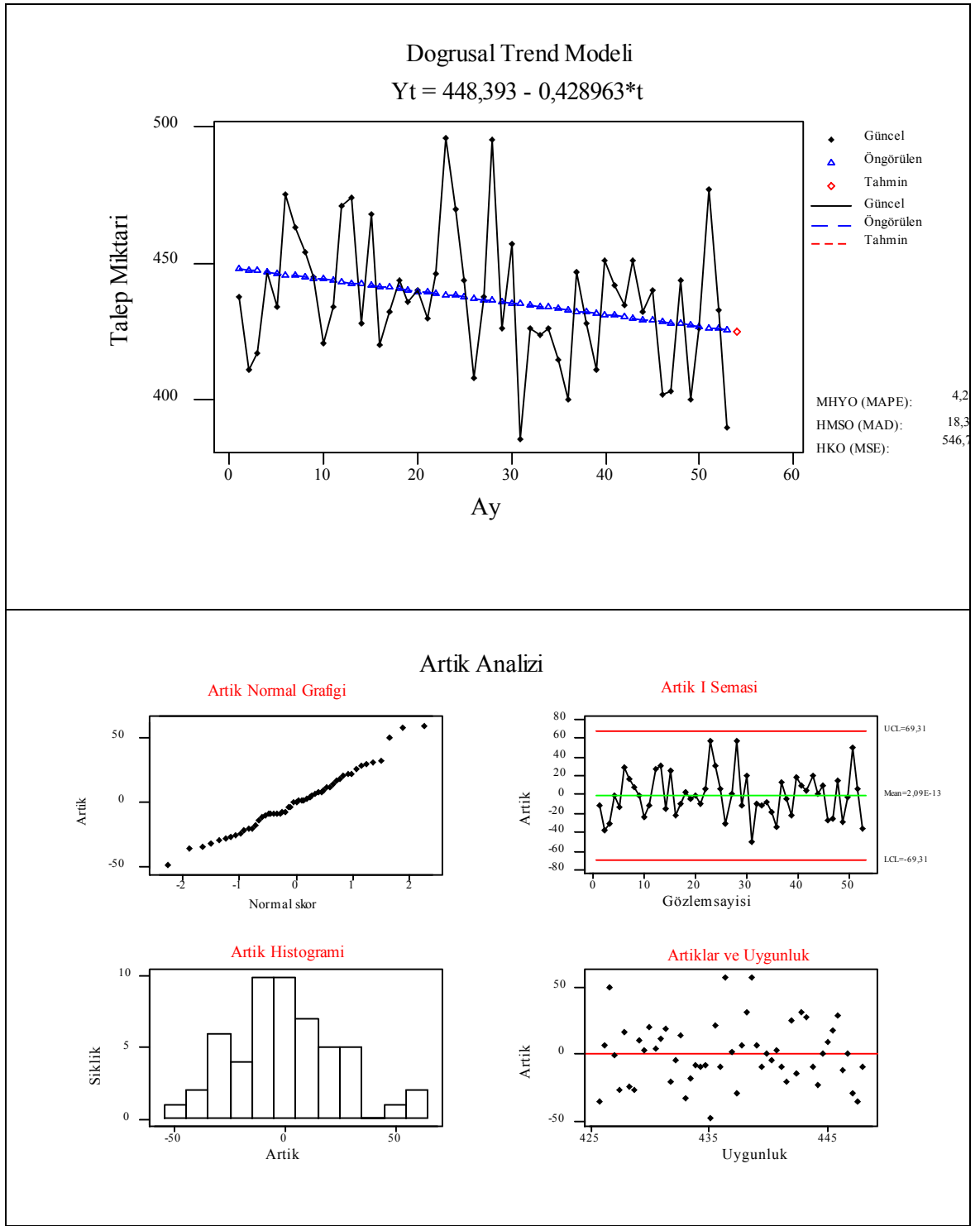
Şekil 9 Tedarikçi 1'in talep miktarı için ARIMA (1, 0, 1) modelinin artık analizi

Ek 6 Tedarikçi 2 İçin İstatistiksel Analiz Grafikleri

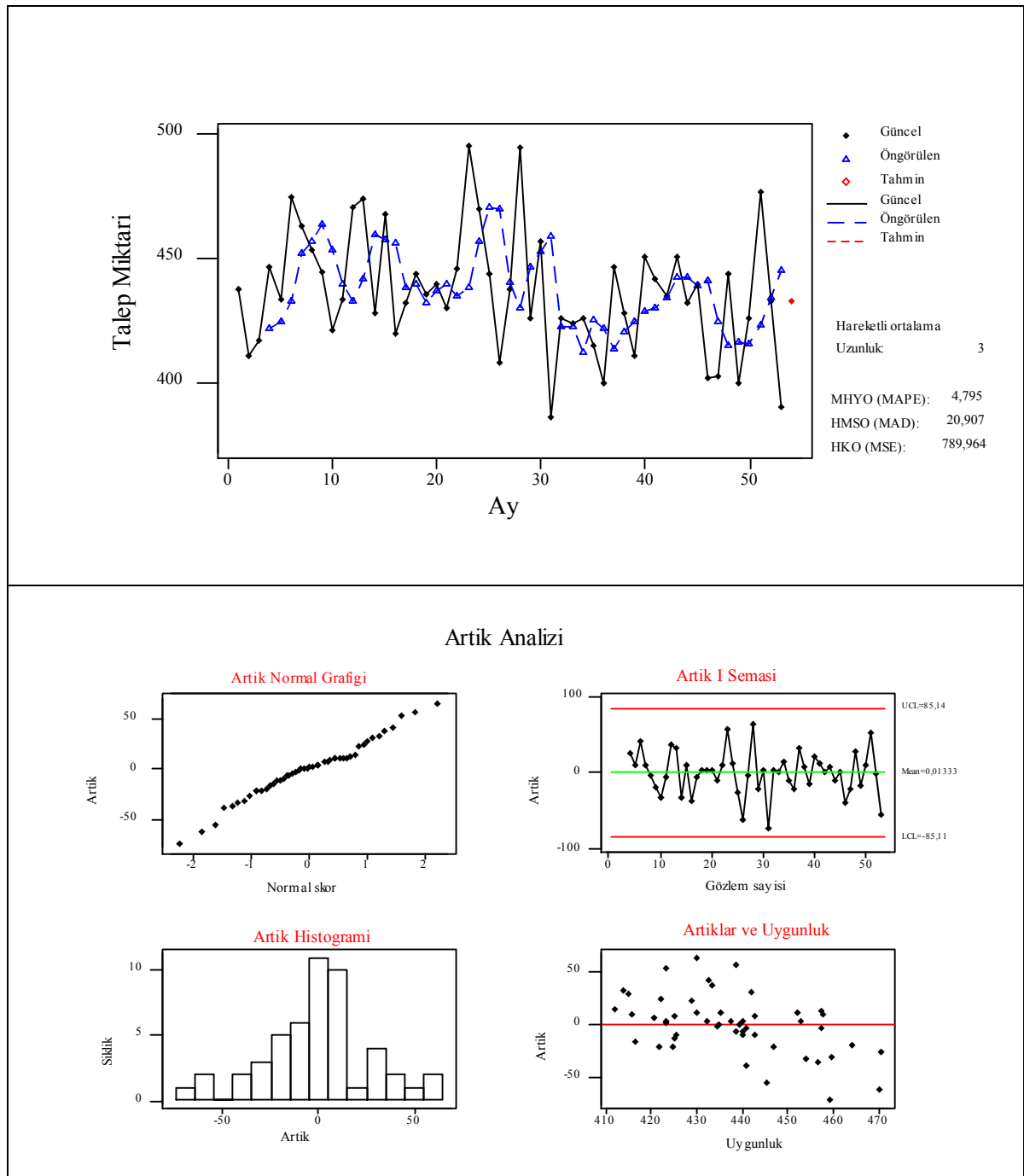
1. Zaman serileri analizi



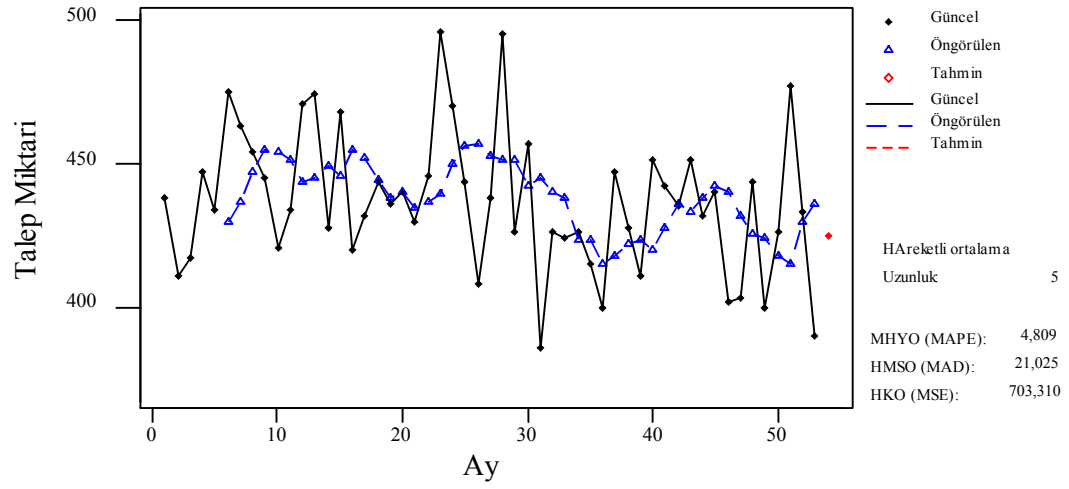
Şekil 1 Tedarikçi 2'nin talep miktarının (a) aylara göre değişiminin gösterimi ve (b) korrelogramları



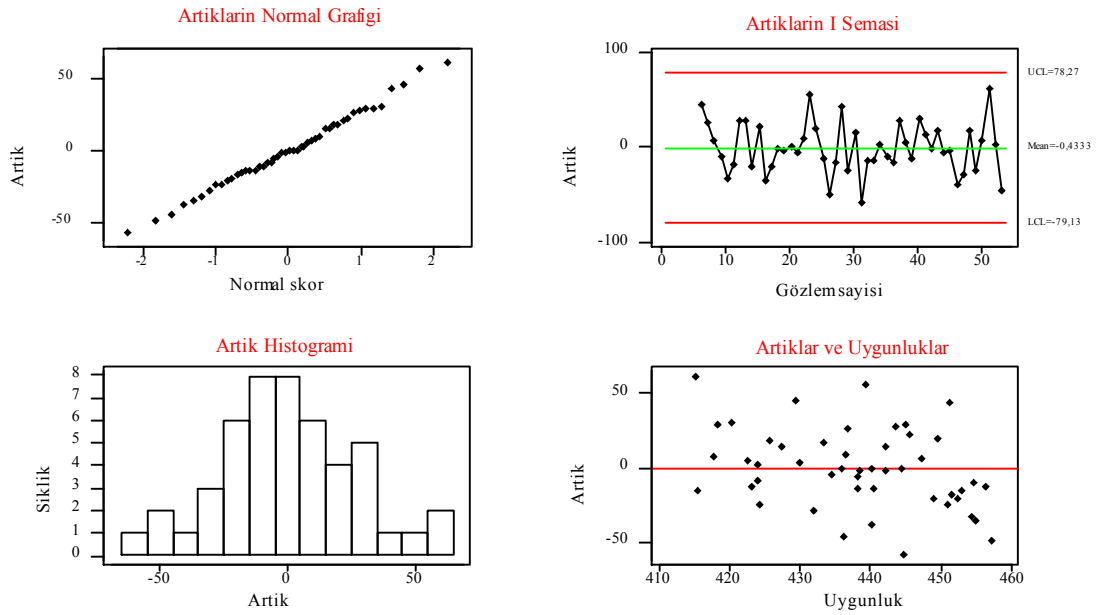
Şekil 2 Tedarikçi 2'nin talep miktarı için (a) trend analizi ve (b) elde edilen artıkların analizi



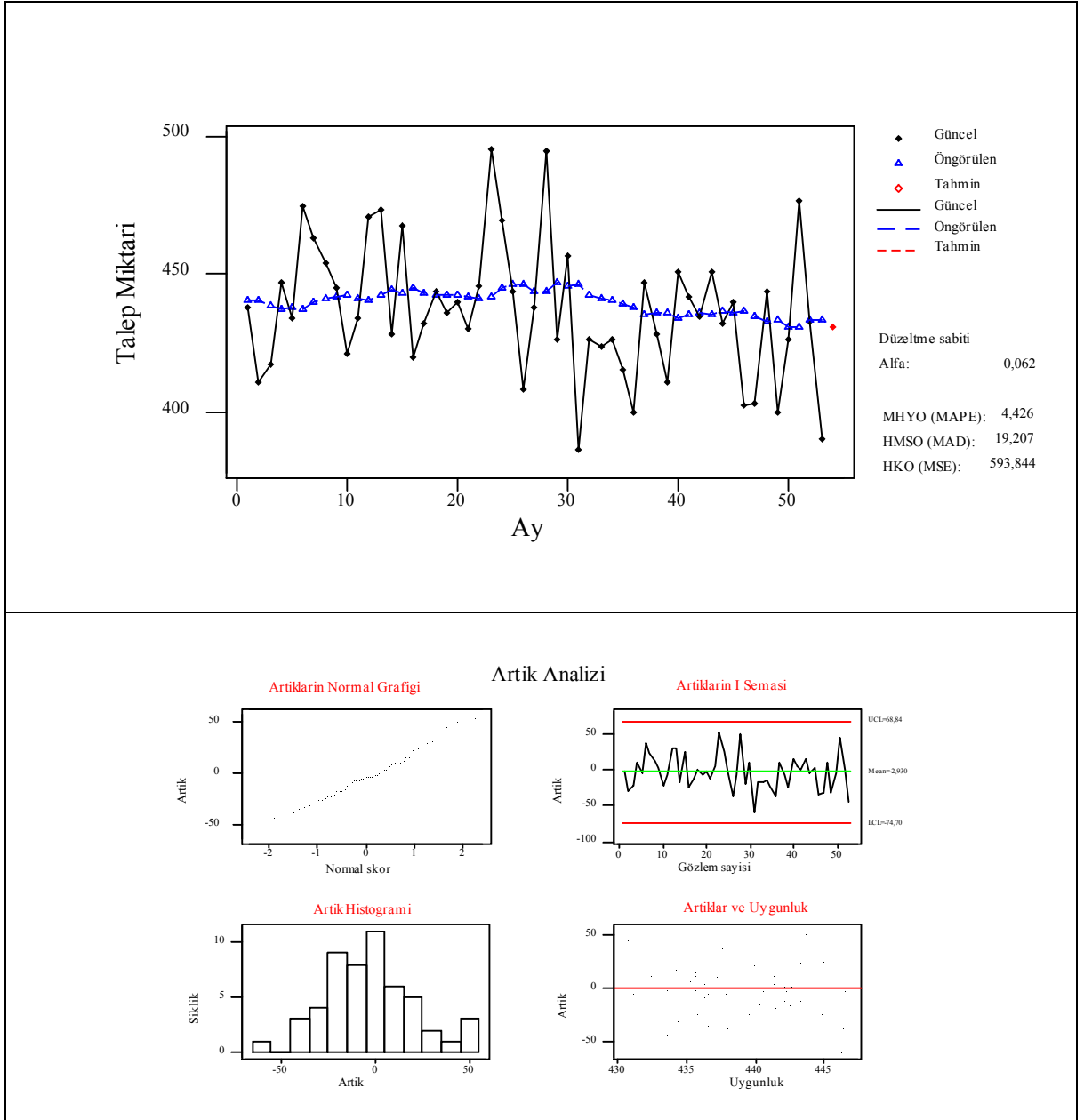
Şekil 3 Tedarikçi 2'nin talep miktarı için (a) üçlü hareketli ortalama yöntemi ve (b) elde edilen artıkların analizi



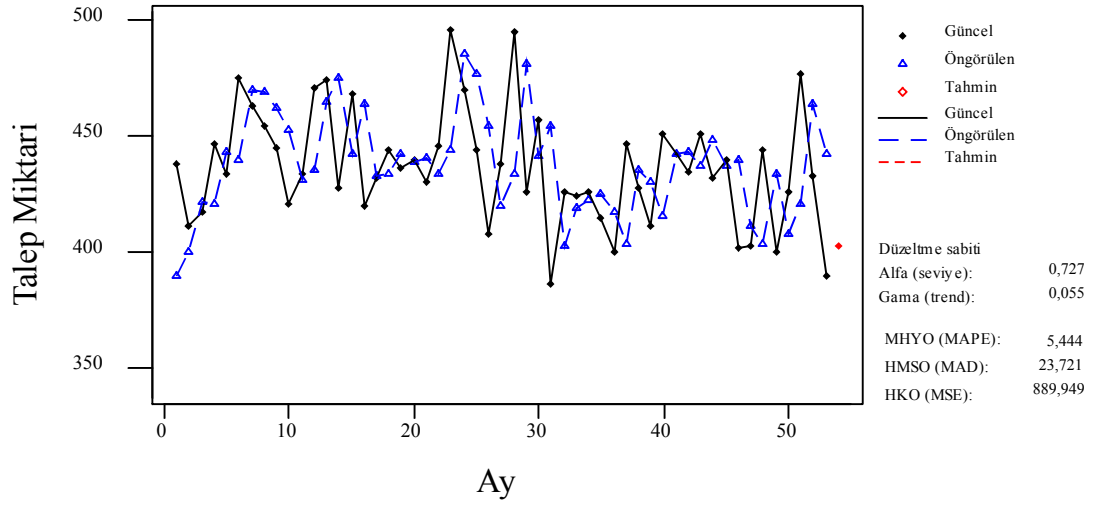
Artık Analizi



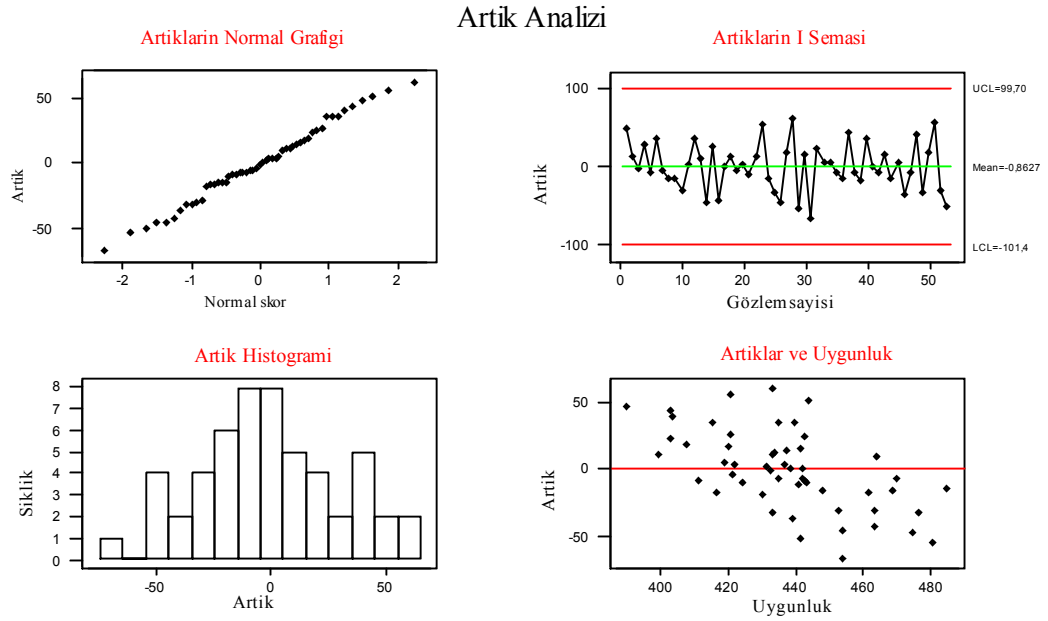
Şekil 4 Tedarikçi 2'nin talep miktarı için (a) beşli hareketli ortalama yöntemi ve (b) elde edilen artıkların analizi



Şekil 5 Tedarikçi 2'nin talep miktarı için (a) basit üssel düzeltme yöntemi ve (b) elde edilen artıkların analizi



(a)



(b)

Şekil 6 Tedarikçi 2 talep miktarı için (a) Holt doğrusal modeli ve (b) elde edilen artıkların analizi

2. Çoklu regresyon analizi

The regression equation is

$$\text{UreticininTleSiparisMiktari} = 64,0 + 0,0351 \text{ ÜretimKapasitesi} + 0,527 \text{ D1denUreticiyeVerilenSiparisMiktari} - 2,16 \text{ D1inIstedigiTeminSuresi} + 1,70 \text{ D2inIstedigiTeminSuresi} + 0,153 \text{ UreticininEnvaterSeviyesi}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	63,975	2,473	25,87	0,000
ÜretimKapasitesi	0,035058	0,005601	6,26	0,000
D1denUreticiyeVerilenSiparisMiktari	0,52708	0,01070	49,26	0,000
D1inIstedigiTeminSuresi	-2,15632	0,03264	-66,06	0,000
D2inIstedigiTeminSuresi	1,69624	0,02536	66,89	0,000
UreticininEnvaterSeviyesi	0,152859	0,003070	49,80	0,000

S = 0,6669 R-Sq = 99,9% R-Sq(adj) = 99,9%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	5	31239,2	6247,8	14047,55	0,000
Residual Error	47	20,9	0,4		
Total	52	31260,1			

Source	DF	Seq SS
ÜretimKapasitesi	1	23824,2
D1denUreticiyeVerilenSiparisMiktari	1	1180,1
D1inIstedigiTeminSuresi	1	3375,8
D2inIstedigiTeminSuresi	1	1756,1
UreticininEnvaterSeviyesi	1	1102,9

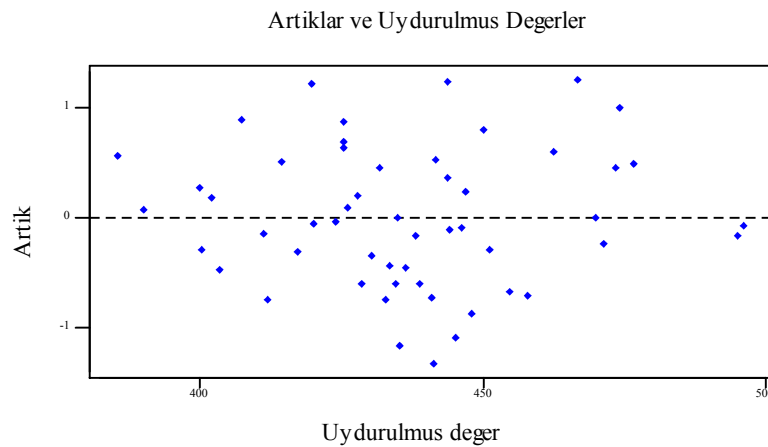
Unusual Observations

Obs	ÜretimKa	Ureticin	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
20	1340	440,000	441,329	0,145	-1,329	-2,04R
49	1150	400,000	399,719	0,432	0,281	0,55 X
50	1190	426,000	425,906	0,428	0,094	0,18 X

R denotes an observation with a large standardized residual
X denotes an observation whose X value gives it large influence.

Durbin-Watson statistic = 1,91

Şekil 7 Tedarikçi 2'nin talep miktarı için çoklu regresyon analizinin sonucu



Şekil 8 Tedarikçi 2'nin talep miktarı için çoklu regresyon yöntemi sonucu elde edilen artıkların analizi

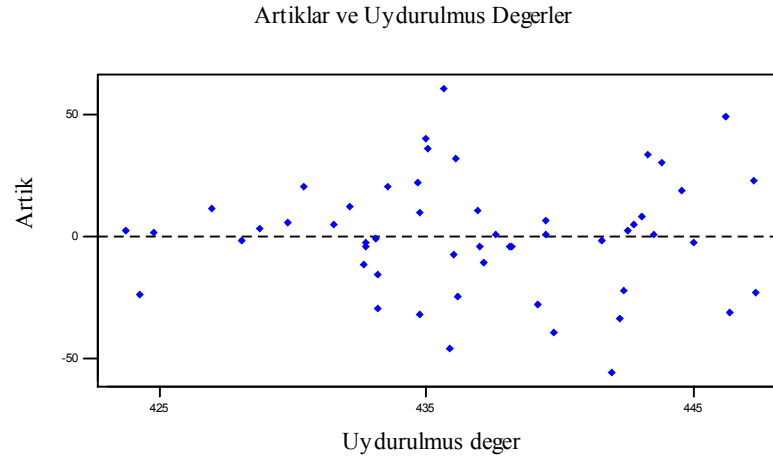
3. ARIMA modelleri

ARIMA model for UreticininTleSiparisMik					
Estimates at each iteration					
Iteration		SSE	Parameters		
0		31260,6	0,100	0,100	393,220
1		30699,9	0,163	0,037	365,509
2		30630,7	0,020	-0,113	427,921
3		30566,9	-0,123	-0,263	490,528
4		30497,2	-0,268	-0,413	553,878
5		30400,6	-0,418	-0,563	619,189
6		30249,3	-0,568	-0,709	684,723
7		29937,8	-0,718	-0,853	750,243
8		29653,9	-0,767	-0,915	771,850
9		29636,6	-0,808	-0,958	789,800
10		29535,4	-0,784	-0,944	779,309
Unable to reduce sum of squares any further					
Final Estimates of Parameters					
Type		Coef	SE Coef	T	P
AR 1		-0,7843	0,1589	-4,94	0,000
MA 1		-0,9440	0,1042	-9,06	0,000
Constant		779,309	6,485	120,16	0,000
Mean		436,749	3,635		
Number of observations: 53					
Residuals: SS = 29524,7 (backforecasts excluded)					
MS = 590,5 DF = 50					
Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square statistic					
Lag	12	24	36	48	
Chi-Square	2,4	10,5	21,7	32,3	
DF	9	21	33	45	
P-Value	0,984	0,972	0,933	0,921	
Forecasts from period 53					
		95 Percent Limits			
Period	Forecast	Lower	Upper	Actual	
54	430,097	382,459	477,734		

Şekil 9 Tedarikçi 2'nin talep miktarı için ARIMA (1, 0, 1) modeli sonuçları



(a)

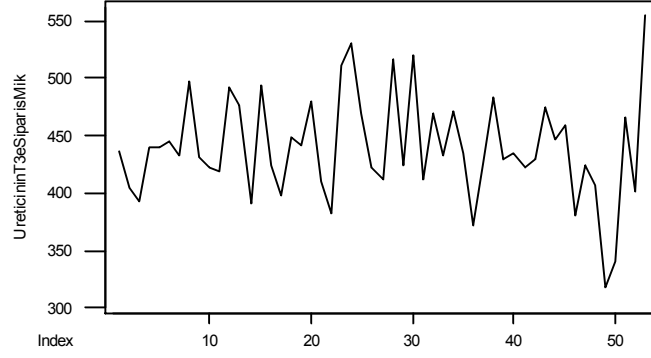


(b)

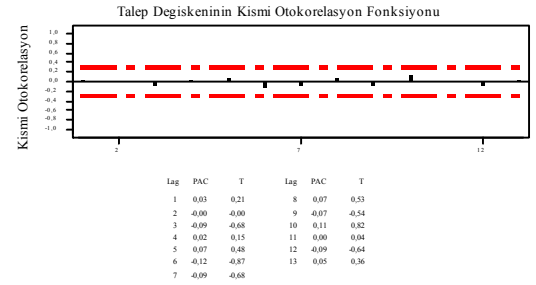
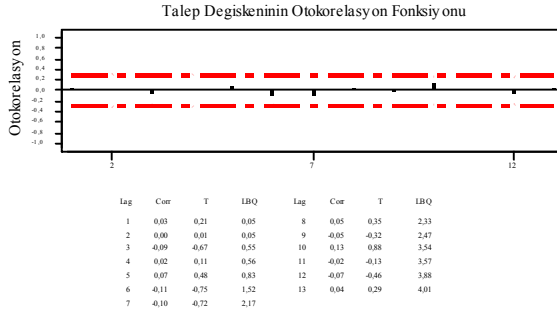
Şekil 10 Tedarikçi 2'nin talep miktarı için ARIMA (1, 0, 1) modelinin artık analizi

Ek 7 Tedarikçi 3 İçin İstatistiksel Analiz Grafikleri

1. Zaman serileri analizi

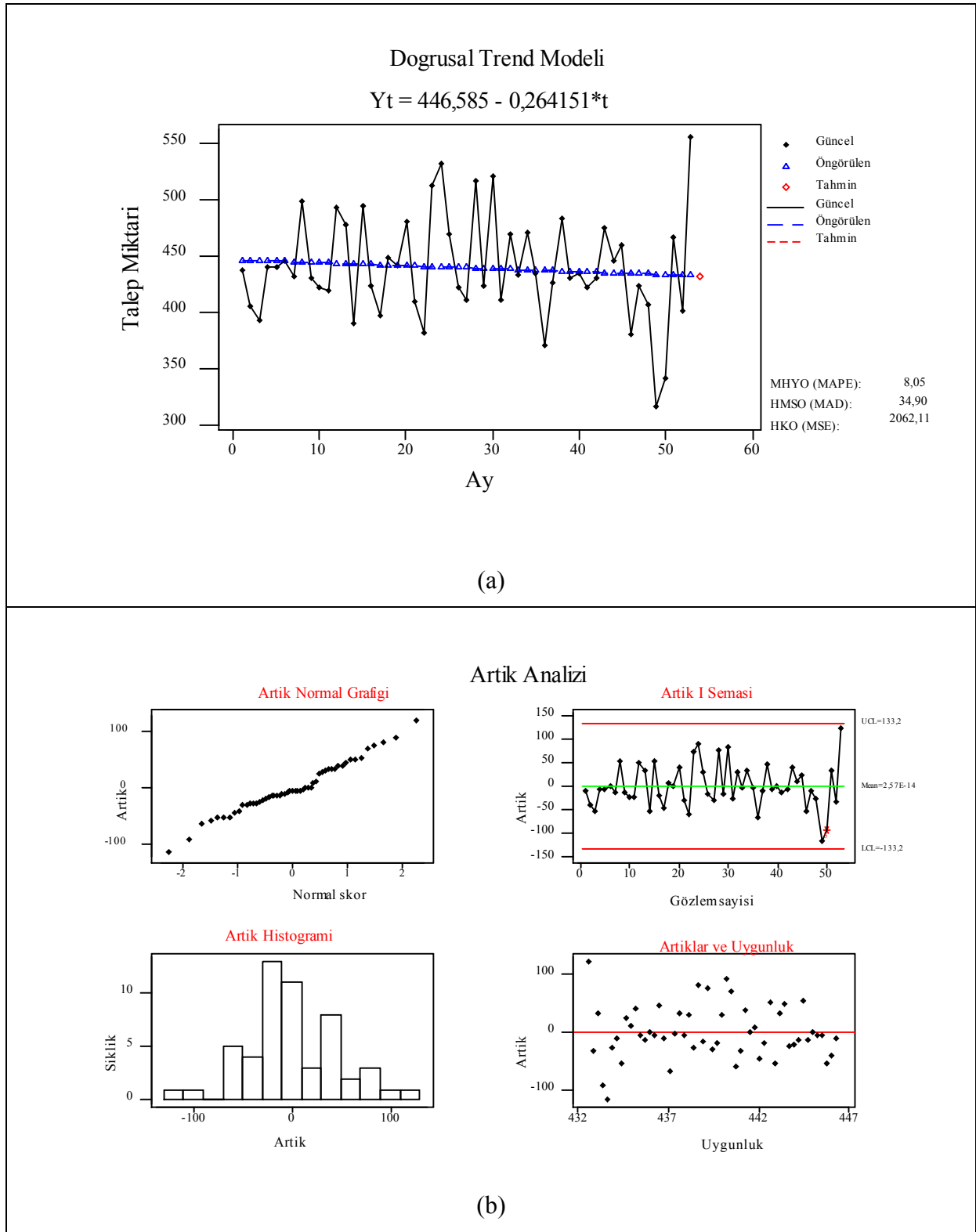


(a)

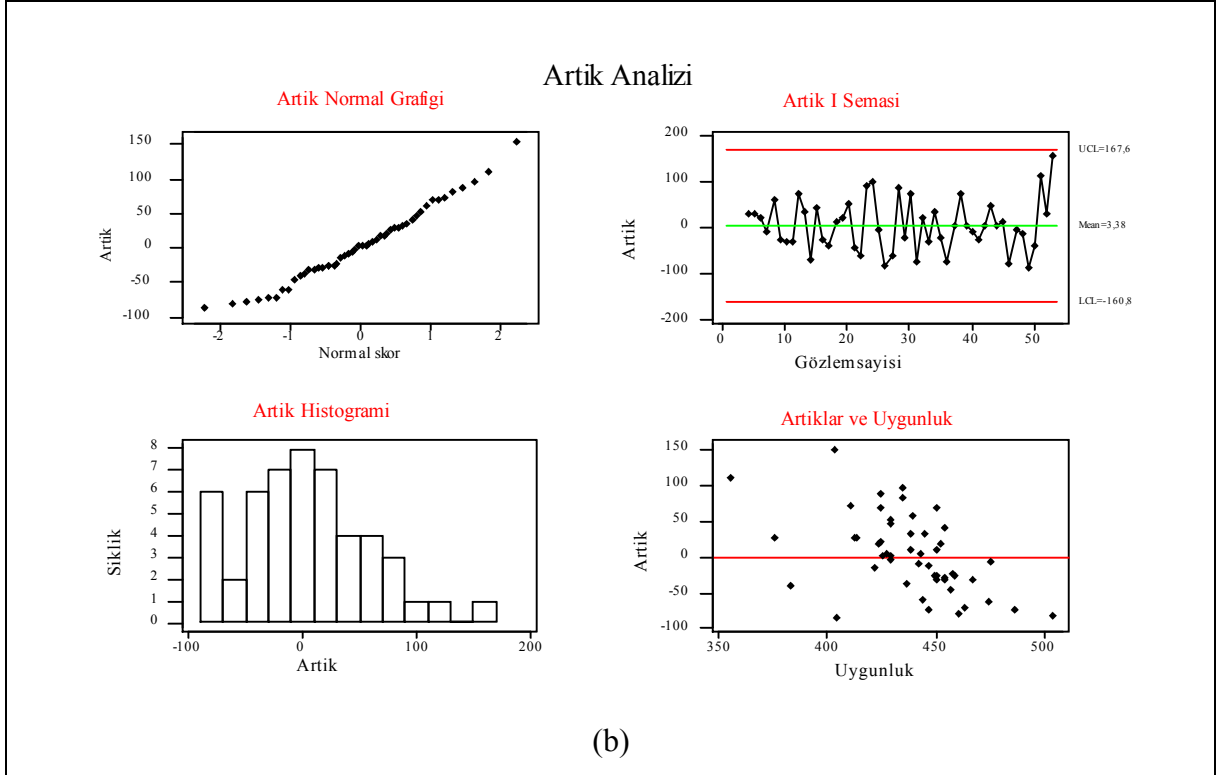
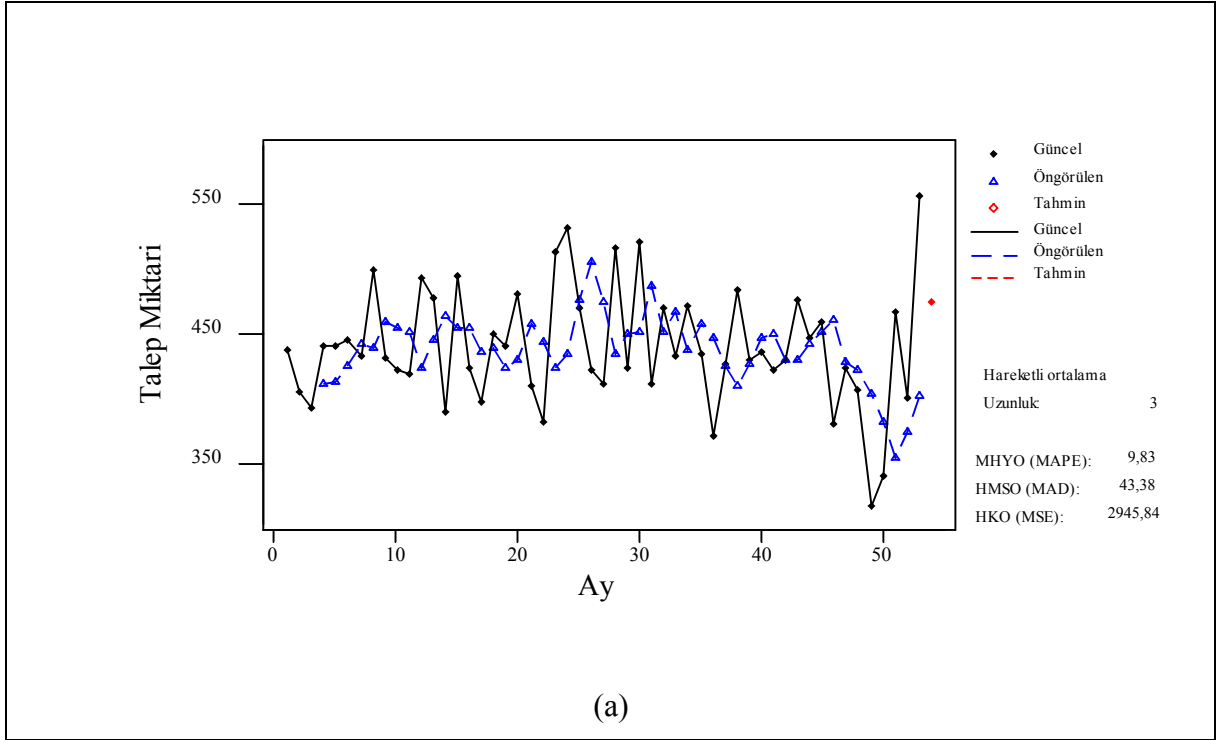


(b)

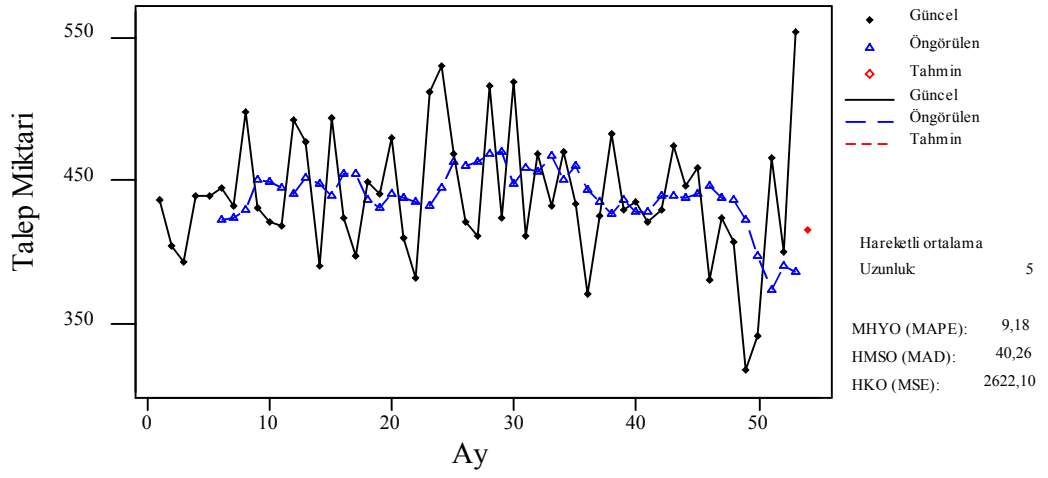
Şekil 1 Tedarikçi 3'ün talep miktarının (a) aylara göre değişiminin gösterimi ve (b) korrelogramları



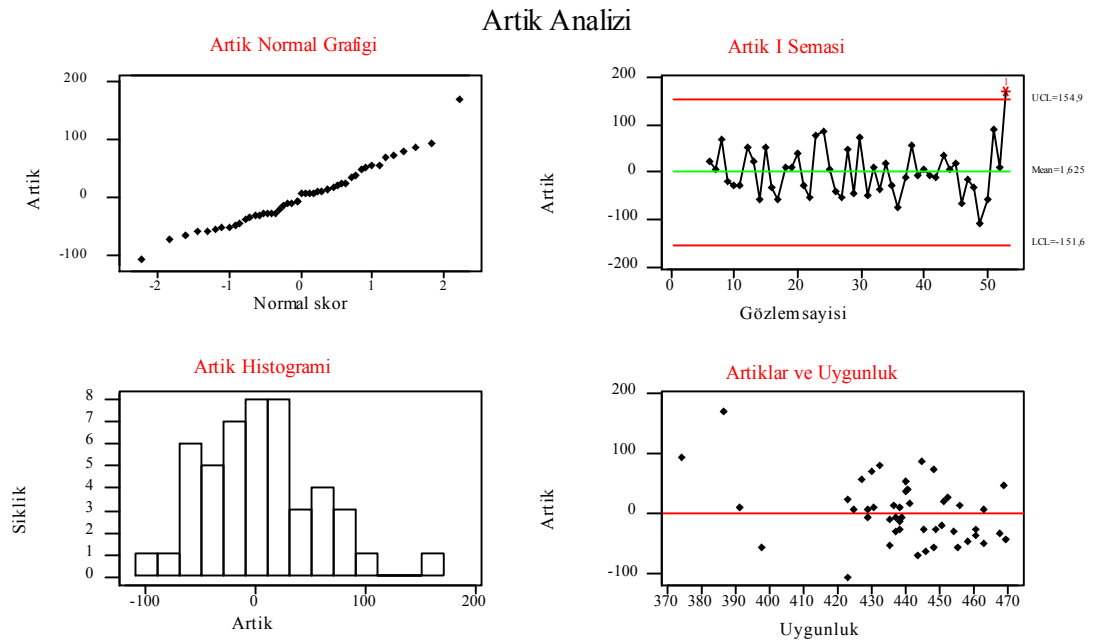
Şekil 2 Tedarikçi 3'ün talep miktarı için (a) trend analizi ve (b) elde edilen artıkların analizi



Şekil 3 Tedarikçi 3'ün talep miktarı için (a) üçlü hareketli ortalama yöntemi ve (b) elde edilen artıkların analizi

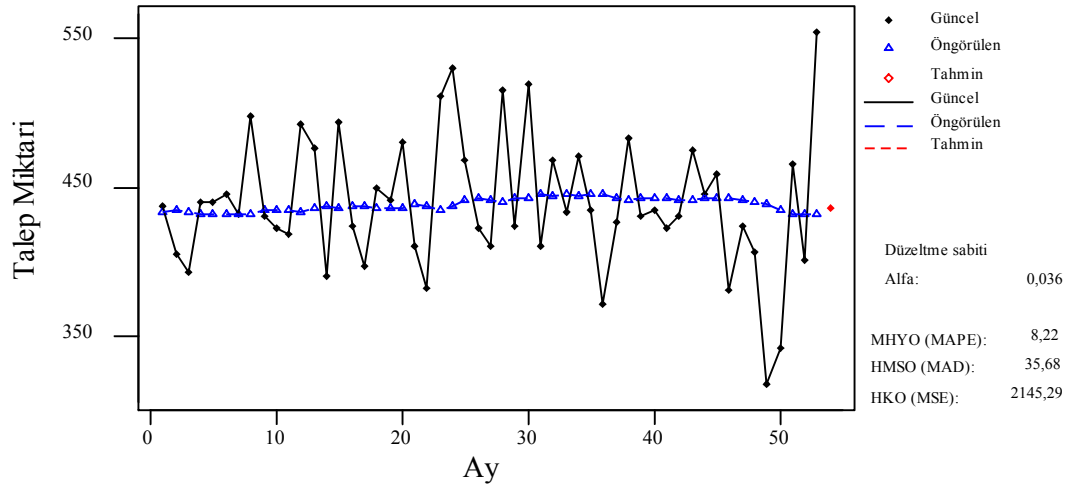


(a)



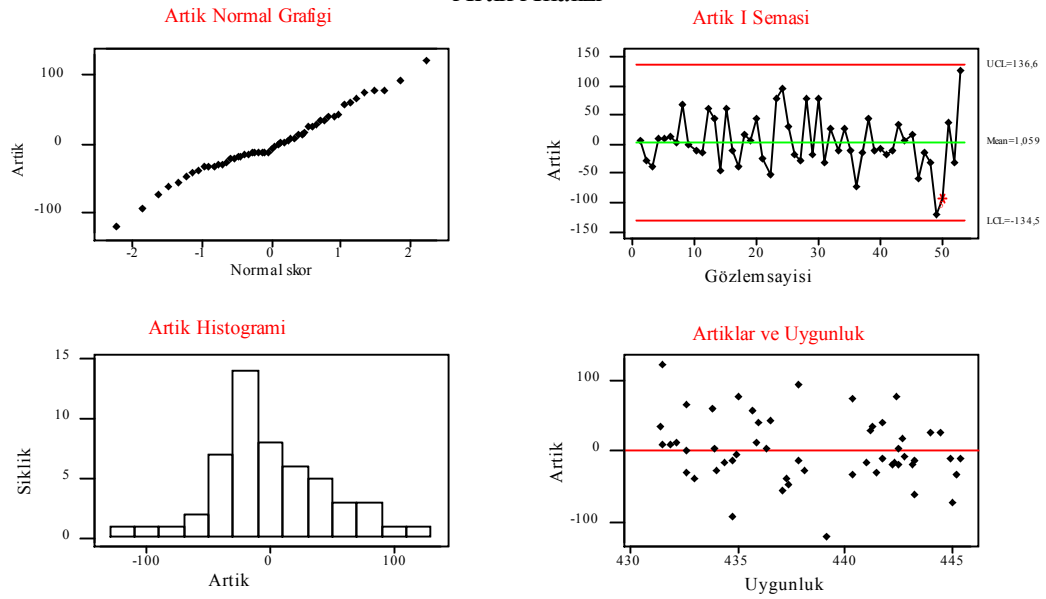
(b)

Şekil 4 Tedarikçi 3'ün talep miktarı için (a) beşli hareketli ortalama yöntemi ve (b) elde edilen artıkların analizi



(a)

Artık Analizi



(b)

Şekil 5 Tedarikçi 3'ün talep miktarı için (a) basit üssel düzeltme yöntemi ve (b) elde edilen artıkların analizi

2. Çoklu regresyon analizi

The regression equation is

$$\text{UreticininT3eSiparisMik} = -534 + 1,38 \text{ ÜretimKapasitesi} - 1,40 \text{ D1denUreticiyeVerilenSiparisMiktari} + 4,58 \text{ D1inIstedigiTeminSuresi} - 3,03 \text{ D2inIstedigiTeminSuresi} - 0,0883 \text{ UreticininEnvaterSeviyesi}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-534,47	48,62	-10,99	0,000
ÜretimKapasitesi	1,3777	0,1101	12,51	0,000
D1denUreticiyeVerilenSiparisMiktari	-1,3974	0,2103	-6,64	0,000
D1inIstedigiTeminSuresi	4,5769	0,6417	7,13	0,000
D2inIstedigiTeminSuresi	-3,0259	0,4985	-6,07	0,000
UreticininEnvaterSeviyesi	-0,08830	0,06034	-1,46	0,150

S = 13,11 R-Sq = 92,7% R-Sq(adj) = 91,9%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	5	102079	20416	118,78	0,000
Residual Error	47	8078	172		
Total	52	110157			

Source	DF	Seq SS
ÜretimKa	1	78003
D1denUre	1	7761
D1inIste	1	9829
D2inIste	1	6118
Ureticin	1	368

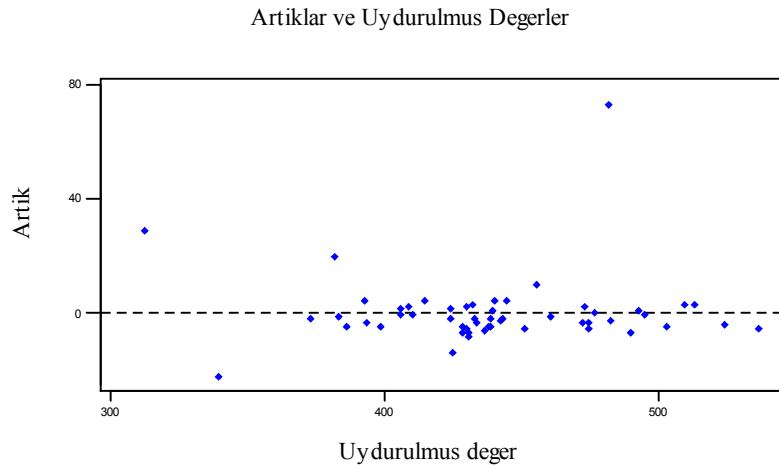
Unusual Observations

Obs	ÜretimKa	Ureticin	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
49	1150	317,00	339,49	8,49	-22,49	-2,25RX
50	1190	341,00	312,31	8,42	28,69	2,85RX
53	1255	555,00	482,21	7,64	72,79	6,83R

R denotes an observation with a large standardized residual
X denotes an observation whose X value gives it large influence.

Durbin-Watson statistic = 0,98

Şekil 6 Tedarikçi 3'ün talep miktarı için çoklu regresyon analizinin sonucu

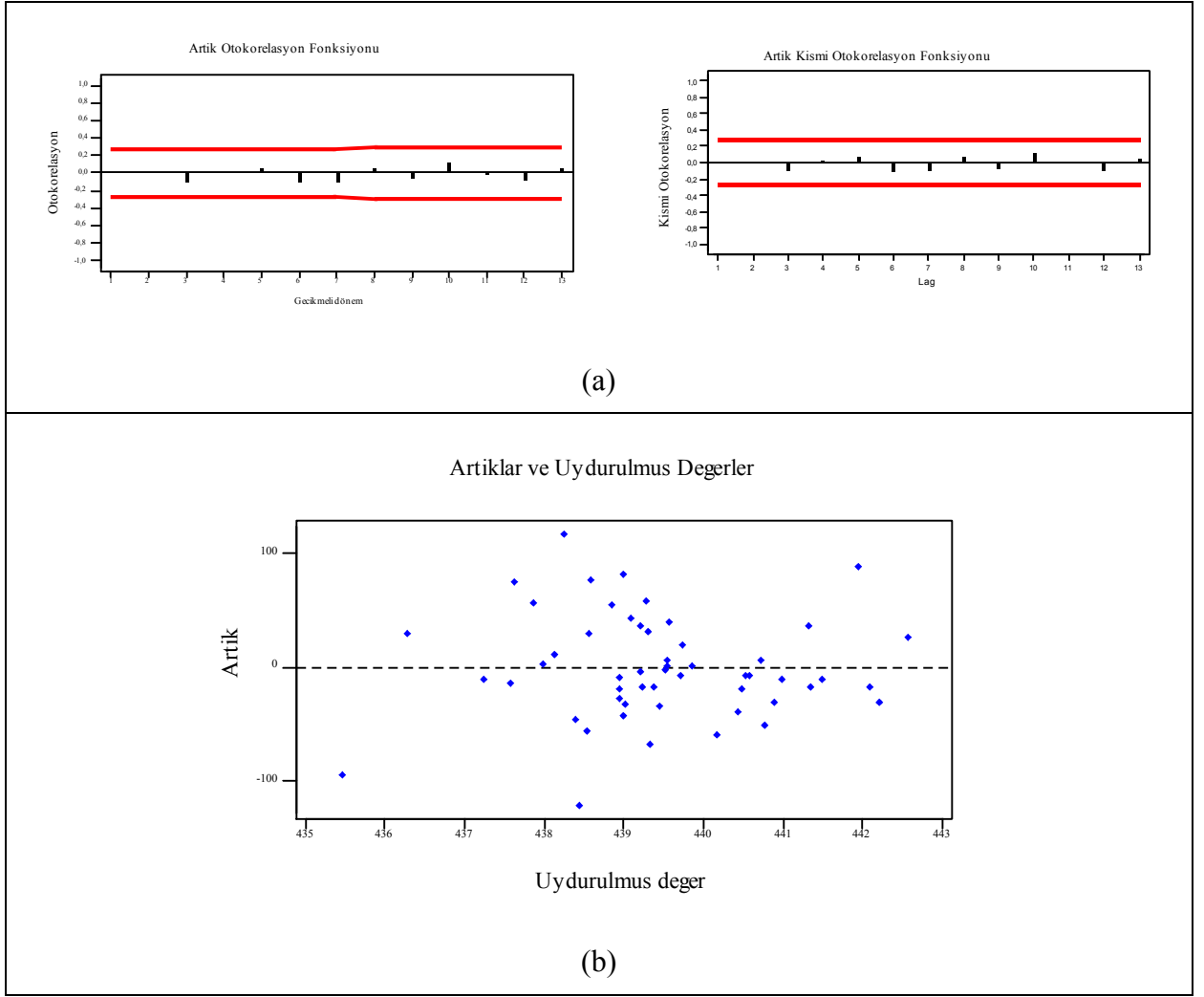


Şekil 7 Tedarikçi 3'ün talep miktarı için çoklu regresyon yöntemi sonucu elde edilen artıkların analizi

3. ARIMA modelleri

ARIMA model for UreticininT3eSiparisMik				
Estimates at each iteration				
Iteration	SSE	Parameters		
0	110158	0,100	0,100	395,598
1	110057	0,115	0,085	388,913
2	110053	-0,034	-0,065	454,280
3	110051	-0,013	-0,045	445,119
4	110051	0,001	-0,032	438,929
5	110050	0,010	-0,023	434,935
6	110050	0,016	-0,017	432,381
7	110050	0,020	-0,013	430,753
8	110050	0,022	-0,011	429,718
9	110050	0,024	-0,009	429,058
10	110050	0,025	-0,009	428,639
11	110050	0,025	-0,008	428,372
12	110050	0,026	-0,008	428,202
13	110050	0,026	-0,007	428,094
14	110050	0,026	-0,007	428,025
15	110050	0,026	-0,007	427,981
16	110050	0,026	-0,007	427,953
17	110050	0,026	-0,007	427,935
18	110050	0,026	-0,007	427,924
19	110050	0,026	-0,007	427,917
Relative change in each estimate less than 0,0010				
Final Estimates of Parameters				
Type	Coef	SE Coef	T	P
AR 1	0,0264	4,5726	0,01	0,995
MA 1	-0,0069	4,5810	-0,00	0,999
Constant	427,917	6,501	65,82	0,000
Mean	439,526	6,677		
Number of observations: 53				
Residuals: SS = 110050 (backforecasts excluded)				
MS = 2201 DF = 50				
Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square statistic				
Lag	12	24	36	48
Chi-Square	3,9	13,6	21,1	32,6
DF	9	21	33	45
P-Value	0,917	0,887	0,946	0,915
Forecasts from period 53				
95 Percent Limits				
Period	Forecast	Lower	Upper	Actual
54	443,382	351,410	535,353	

Şekil 8 Tedarikçi 3'ün talep miktarı için ARIMA (1, 0, 1) modeli sonuçları



Şekil 9 Tedarikçi 3'ün talep miktarı için ARIMA (1, 0, 1) modelinin artık analizi

Ek 8 ÇKA Modelinin Matlab Kodu

```
%ÇKA ile agin egitilmesi--TALEP TAHMİNİ PROBLEMİ-----14 Giriş/4 Çıkış-----%

%-----DESIGN THE NEURAL NETWORK: TRAIN SET-----%
clear all;close all;clc;
load train_input_data;
load train_output_data;
load test_input_data;
load test_output_data;

P=train_input_data;
P=P';
O= train_output_data;
O=O';
net = newff (min and max values for input elements,[size of ith layer},{transfer function of
ith layer}, backpropagation network training function, performance function);
net.trainParam.show=100; % epochs after which a short summary is to be displayed in the main
window.
net.trainParam.lr= ; % the learning rate
net.trainParam.mc=0.07; % momentum constant specify a value between 0 and 1
net.trainParam.epochs=1000; % number of iterations.
net.trainParam.goal=0.01; % error tolerance.
%net.trainParam.min_grad=1e-10; % minimum gradient required before stop.

%-----TRAIN THE NEURAL NETWORK-----%
net = init(net);
[net,tr] = train(net,P,O);
Otrained = sim(net,P);
Otrained = Otrained';
O=O';
%-----NORMALIZE THE RESULTS OF TRAIN SET-----%
O1 = (((O(:,1)-0.1) * (Xo1max-Xo1min)) / (0.9-0.1))+Xo1min); %actual data
O2 = (((O(:,2)-0.1) * (Xo2max-Xo2min)) / (0.9-0.1))+Xo2min);
O3 = (((O(:,3)-0.1) * (Xo3max-Xo3min)) / (0.9-0.1))+Xo3min);
O4 = (((O(:,4)-0.1) * (Xo4max-Xo4min)) / (0.9-0.1))+Xo4min);
O=[O1,O2,O3,O4]

OT1 = (((Otrained(:,1)-0.1) * (XoT1max-XoT1min)) / (0.9-0.1))+XoT1min); %trained data
OT2 = (((Otrained(:,2)-0.1) * (XoT2max-XoT2min)) / (0.9-0.1))+XoT2min);
OT3 = (((Otrained(:,3)-0.1) * (XoT3max-XoT3min)) / (0.9-0.1))+XoT3min);
OT4 = (((Otrained(:,4)-0.1) * (XoT4max-XoT4min)) / (0.9-0.1))+XoT4min);
OTNEW = [OT1,OT2,OT3,OT4]

%-----TEST THE NEURAL NETWORK-----%
S= test_input_data;
S=S';
K=test_output_data;
K=K';
Ktrained = sim(net,S);
Ktrained = Ktrained';
K=K';
%-----NORMALIZE THE RESULTS OF TEST SET-----%
K1 = (((K(:,1)-0.1) * (Xk1max-Xk1min)) / (0.9-0.1))+Xk1min);
K2 = (((K(:,2)-0.1) * (Xk2max-Xk2min)) / (0.9-0.1))+Xk2min);
K3 = (((K(:,3)-0.1) * (Xk3max-Xk3min)) / (0.9-0.1))+Xk3min);
K4 = (((K(:,4)-0.1) * (Xk4max-Xk4min)) / (0.9-0.1))+Xk4min);
K=[K1,K2,K3,K4]

KT1 = (((Ktrained(:,1)-0.1) * (XkT1max-XkT1min)) / (0.9-0.1))+XkT1min);
KT2 = (((Ktrained(:,2)-0.1) * (XkT2max-XkT2min)) / (0.9-0.1))+XkT2min);
KT3 = (((Ktrained(:,3)-0.1) * (XkT3max-XkT3min)) / (0.9-0.1))+XkT3min);
KT4 = (((Ktrained(:,4)-0.1) * (XkT4max-XkT4min)) / (0.9-0.1))+XkT4min);
KTNEW = [KT1,KT2,KT3,KT4]

%----NEW DATA SET----%%
NP = [new_input_data];
NP = NP';
New = sim(net,NP);
New = New'
%-----NORMALIZE THE NEW TRAINED DATA SET-----%
N1 = (((New(:,1)-0.1) * (XN1max-XN1min)) / (0.9-0.1))+XN1min);
N2 = (((New(:,2)-0.1) * (XN2max-XN2min)) / (0.9-0.1))+XN2min);
N3 = (((New(:,3)-0.1) * (XN3max-XN3min)) / (0.9-0.1))+XN3min);
N4 = (((New(:,4)-0.1) * (XN4max-XN4min)) / (0.9-0.1))+XN4min);
New = [N1,N2,N3,N4]
```

Ek 9 RTF Modelinin Matlab Kodu

```

%%RBF ile agin egitilmesi ---- TALEP TAHMİNİ PROBLEMİ-----14 Giriş/4 Çıkış-----%

%-----DESIGN THE NEURAL NETWORK: TRAIN SET-----%
clear all;close all;clc;
load train_input_data;
load train_output_data;
load test_input_data;
load test_output_data;

P= train_input_data;
P=P';
O= train_output_data;
O=O';
eg=0.01; % mean squared error goal
sc=10; % spread constant of radial basis functions
nn=100; % maximum number of neurons
%df=4; % number of neurons to add between displays

-----TRAIN THE NEURAL NETWORK-----%
net = newrb(P,O,eg,sc,nn);
E = sim(net,P);
E = E';
O=O';
%-----NORMALIZE THE RESULTS OF TRAIN SET-----%
O1 = (((O(:,1)-0.1) * (X01max-X01min)) / (0.9-0.1))+X0min); %actual data
O2 = (((O(:,2)-0.1) * (X02max-X02min)) / (0.9-0.1))+X02min);
O3 = (((O(:,3)-0.1) * (X03max-X03min)) / (0.9-0.1))+X03min);
O4 = (((O(:,4)-0.1) * (X04max-X04min)) / (0.9-0.1))+X04min);
O=[O1,O2,O3,O4]

OT1 = (((Otrained(:,1)-0.1) * (XOT1max-XOT1min)) / (0.9-0.1))+XOT1min); %trained data
OT2 = (((Otrained(:,2)-0.1) * (XOT2max-XOT2min)) / (0.9-0.1))+XOT2min);
OT3 = (((Otrained(:,3)-0.1) * (XOT3max-XOT3min)) / (0.9-0.1))+XOT3min);
OT4 = (((Otrained(:,4)-0.1) * (XOT4max-XOT4min)) / (0.9-0.1))+XOT4min);
OTNEW = [OT1,OT2,OT3,OT4]

%-----TEST THE NEURAL NETWORK-----%
S= test_input_data;
S=S';
K=test_output_data;
K=K';
Ktrained = sim(net,S);
Ktrained = Ktrained';
K=K';
%-----NORMALIZE THE RESULTS OF TEST SET-----%
K1 = (((K(:,1)-0.1) * (XK1max-XK1min)) / (0.9-0.1))+XK1min);
K2 = (((K(:,2)-0.1) * (XK2max-XK2min)) / (0.9-0.1))+XK2min);
K3 = (((K(:,3)-0.1) * (XK3max-XK3min)) / (0.9-0.1))+XK3min);
K4 = (((K(:,4)-0.1) * (XK4max-XK4min)) / (0.9-0.1))+XK4min);
K=[K1,K2,K3,K4]

KT1 = (((Ktrained(:,1)-0.1) * (XKT1max-XKT1min)) / (0.9-0.1))+XKT1min);
KT2 = (((Ktrained(:,2)-0.1) * (XKT2max-XKT2min)) / (0.9-0.1))+XKT2min);
KT3 = (((Ktrained(:,3)-0.1) * (XKT3max-XKT3min)) / (0.9-0.1))+XKT3min);
KT4 = (((Ktrained(:,4)-0.1) * (XKT4max-XKT4min)) / (0.9-0.1))+XKT4min);
KTNEW = [KT1,KT2,KT3,KT4]

%---NEW DATA SET---%
NP = [new_input_data];
NP = NP';
New = sim(net,NP);
New = New';
%-----NORMALIZE THE NEW TRAINED DATA SET-----%
N1 = (((New(:,1)-0.1) * (XN1max-XN1min)) / (0.9-0.1))+XN1min);
N2 = (((New(:,2)-0.1) * (XN2max-XN2min)) / (0.9-0.1))+XN2min);
N3 = (((New(:,3)-0.1) * (XN3max-XN3min)) / (0.9-0.1))+XN3min);
N4 = (((New(:,4)-0.1) * (XN4max-XN4min)) / (0.9-0.1))+XN4min);
New = [N1,N2,N3,N4]

```

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 30.08.1979

Doğum yeri İstanbul

Lise 1993-1997 Kabataş Erkek Lisesi

Lisans 1997-2001 Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak.
Endüstri Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2001-2003 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Müh. Anabilim Dalı

Doktora 2003-2008 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Müh. Anabilim Dalı

Çalıştığı kurumlar

2001-Devam ediyor YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi