

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEDARİK ZİNCİRLERİNDE TALEP VE TEMİN
SÜRELERİNE DUYARLI ÇOK AŞAMALI ENVANTER
KARARLARININ İNCELENMESİ VE ENDÜSTRİYEL BİR
UYGULAMA**

Endüstri Yük. Müh. Alev TAŞKIN GÜMÜŞ

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

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 4 Temmuz 2007
Tez Danışmanı : Y. Doç. Dr. Ali Fuat GÜNERİ (YTÜ)
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Füsün ÜLENGİN (DOĞUŞ ÜNV.)
Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN (İTÜ)
Prof. Dr. Hüseyin BAŞLIGİL (YTÜ)
Y. Doç. Dr. Semih ÖNÜT (YTÜ)

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
2. TEDARİK ZİNCİRLERİNDE ENVANTER YÖNETİMİ	3
2.1 Tedarik Zincirlerinde Envanter Yönetimi Politikaları	3
2.2 Tedarik Zincirlerinde Çok-Aşamalı Envanter Yönetimi	7
2.3 Tedarik Zincirlerinde Çok-Aşamalı Envanter Yönetimine Yönelik Literatür İncelemesi	10
3. ÇOK-AŞAMALI ENVANTER KARARLARI VE MODELLERİ	34
3.1 Bütünleşik Tedarik Zinciri Yönetimi	34
3.2 Tedarik Zinciri Yönetiminde Kontrol Stratejileri	38
3.3 Çok-Aşamalı Envanter Yönetimine Yönelik Genel Modeller	40
3.3.1 Çok-Aşamalı Deterministik Envanter Modelleri	40
3.3.1.1 Seviye Talepli Ardışık Stoklama Noktaları	40
3.3.1.2 Seviye Talebi Durumuna Göre Diğer Stratejiler	44
3.3.1.3 Zamana Bağlı Talebi Dikkate Alan Çok-Aşamalı Stok Noktaları	46
3.3.2 Çok-Aşamalı Stokastik Envanter Modelleri	47
3.3.2.1 Olasılıklı Talep	47
3.3.2.2 Temel Stok Kontrol Sistemi	50
3.3.2.3 Seri Bağlı Durum İçin Temin Süresi Talebi ve Yeniden Sipariş Noktalarının Hesaplanması	52
3.3.2.4 Ağaç Yapısının Olduğu Durum	54
3.4 Çok-Aşamalı Envanter Yönetimine Yönelik Özel Modeller	56
3.4.1 METRIC Modeli	56
3.4.1.1 METRIC Modelin Gelişimi	56
3.4.1.2 METRIC Modelin Özellikleri ve Kabulleri	59
3.4.1.3 METRIC Teorisi	61
3.4.2 VARI-METRIC Modeli	63
3.4.2.1 VARI-METRIC Modelin Özellikleri ve Kabulleri	64
3.4.2.2 VARI-METRIC Matematiği	67
3.4.3 MOD-METRIC ve DYNA-METRIC Modelleri	70

4.	YAPAY SİNİR AĞI - BULANIK MANTIK YÖNTEMLERİ VE BİRLİKTE KULLANILMALARI	73
4.1	Yapay Sinir Ağları.....	73
4.1.1	Yapay Sinir Ağlarının Matematik Modeli.....	74
4.1.2	Aktivasyon Fonksiyonu Tipleri.....	75
4.1.3	Perceptron Ağı.....	76
4.1.4	Hata Geriye Yayıma Ağı.....	78
4.1.5	Sinir Ağlarının Eğitilmesi ve Öğrenme.....	79
4.1.5.1	Eğitici Öğrenme.....	80
4.1.5.2	Eğitici Öğrenme.....	81
4.1.5.3	Tasdikli Öğrenme.....	82
4.1.5.4	Topolojik Değişiklikli Öğrenme.....	82
4.1.5.5	Skolastik Öğrenme.....	82
4.1.5.6	Amaca Göre Öğrenme Prosedürü.....	82
4.1.6	Öğrenme Algoritmaları.....	82
4.1.6.1	Hebbian Öğrenimi.....	82
4.1.6.2	Adaline ve En Küçük Kareler Kuralı	83
4.1.6.3	Genelleştirilmiş Delta Kuralı ve Hata Geriye Yayıma Ağları.....	86
4.2	Bulanık Mantık.....	91
4.2.1	Üyelik Fonksiyonları.....	92
4.2.2	Bulanık Mantık Kuralları.....	95
4.2.3	Bulanık Sonuç Çıkarma ve Bulanık Modelleme.....	95
4.2.4	Girişim Yöntemleri.....	96
4.2.4.1	Mamdani Yöntemi.....	96
4.2.4.2	Takagi-Sugeno Yöntemi.....	97
4.2.4.3	Tsukamo Yöntemi.....	98
4.2.5	Durulaştırma.....	98
4.3	Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık Yöntemlerinin Birlikte Kullanılması: Sinirsel-Bulanık Ağlar	100
4.3.1	Sinirsel-Bulanık Bütünleşme Gereksinimi ve Mantığı.....	100
4.3.2	Farklı Sinirsel-Bulanık Melezleştirmeleri.....	105
4.3.3	Bütünleşme Tipleri ve Modelleri.....	107
4.3.4	Çok Kullanılan Sinirsel-Bulanık Sistemler.....	110
4.3.4.1	ANFIS.....	110
4.3.4.2	NEFCLASS.....	114
4.3.4.3	EFuNN.....	116
5.	TEDARİK ZİNCİRLERİNDE TALEP VE TEMİN SÜRELERİNE DUYARLI ÇOK-AŞAMALI ENVANTER YÖNETİMİNE YÖNELİK BİR METODOLOJİ VE MODEL GELİŞTİRİLMESİ.....	123
5.1	Geliştirilen Metodolojinin Tanıtılması	123
5.2	Deterministik ve Stokastik Sinirsel-Bulanık Modellerin Geliştirilmesi ve Formülasyonu	125
5.2.1	Deterministik Sinirsel-Bulanık Model: Model-G1	126
5.2.1.1	Genel Model-G1.....	126
5.2.1.2	Üç-Aşamalı Model-G1.....	126
5.2.2	Stokastik Sinirsel-Bulanık Model: Model-G2.....	129
5.2.2.1	Genel Model-G2.....	129
5.2.2.2	Üç-Aşamalı Model-G2.....	129
5.3	Geliştirilen Metodolojide Sinirsel-Bulanık Hesaplamaların Kullanılması.....	134

5.4	Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Modelin Simülasyonu	136
5.5	Tedarik Zinciri Performansının Değerlendirilmesinde SCOR Modelinin Kullanılması.....	136
5.5.1	SCOR Modelinin Yapısı ve Seviyeleri.....	137
5.5.2	SCOR Prosesleri	138
5.6	SCOR İle Tedarik Zinciri Performans Ölçümü	140
6.	GELİŞTİRİLEN METODOLOJİNİN VE MODELLERİN KULLANIMINA YÖNELİK ENDÜSTRİYEL UYGULAMA ÇALIŞMASI	142
6.1	Uygulamanın Yapıldığı İşletmenin ve Tedarik Zinciri Yapısının Tanıtılması....	142
6.1.1	Lojistik Yapı	142
6.1.2	Tedarik Zinciri Yapısı	143
6.2	Uygulama Çalışmasının Sınırlarının ve Kabullerinin Belirlenmesi	144
6.3	Sinirsel-Bulanık Hesaplamalar Kullanılarak Talep ve Temin Süresinin Tahmin Edilmesi	145
6.3.1	Talep Tahmini.....	145
6.3.1.1	Sinirsel-Bulanık Hesaplamalar ile Talep Tahmini..	146
6.3.1.2	İstatistiksel Analiz ile Talep Tahmini.....	149
6.3.2	Temin Süresi Tahmini	153
6.3.2.1	Sinirsel-Bulanık Hesaplamalar ile Temin Süresi Tahmini..	154
6.3.2.2	İstatistiksel Analiz ile Temin Süresi Tahmini..	157
6.4	Geliştirilen Model-G2'nin Yapay Sinir Ağlarıyla Simüle Edilmesi	159
6.5	Modelin Duyarlılık Analizi	167
6.6	SCOR Modeline Dayanarak Performans Ölçütlerinin Belirlenmesi ve Model Performansının Test Edilmesi	169
6.7	Sonuç ve Değerlendirmeler	173
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	175
	KAYNAKLAR.....	179
	EKLER	190
Ek 1	Talep tahminine yönelik sinirsel-bulanık hesaplama için geliştirilen bulanık sonuç çıkarma sistemi programı	191
Ek 2	Temin süresi tahminine yönelik sinirsel-bulanık hesaplama için geliştirilen bulanık sonuç çıkarma sistemi programı	193
Ek 3	Modelin simülasyonuna ilişkin yapay sinir ağları ile geliştirilen programın ağırlıkları	195
Ek 4	Modelin simülasyonuna ilişkin yapay sinir ağları ile geliştirilen programın eşik değerleri	209
	ÖZGEÇMİŞ.....	210

SİMGE LİSTESİ

A_i	i aşamasındaki birim değişken maliyet
b	Bekleyen sipariş maliyeti
B_3	Bayi için her birim yokluğunda birim değere ödenen değer (yokluk maliyeti)
c_i	i parçasının birim maliyeti
d_k	k . girdi vektörü için sınır ağının olması gereken çıktı değeri
D	Bayi için talep
E, ξ	Hatanın beklenen değeri
h_i	i aşamasında aşama elde tutma maliyeti
H_i	i aşamasındaki her birimin her birim zamanda elde tutma maliyeti
IP	Karar zamanında bir kuruluşun elindeki stok seviyesi
$\bar{I}_i'$	i aşaması ortalama envanter değeri, birim olarak
J	Bayi sayısı
k_i	i aşamasındaki emniyet faktörü
K_i	i aşamasında ikmal sırasında ortaya çıkan sabit hazırlık/sipariş maliyeti
L_i, l_i	i aşaması için temin süresi
n	Çevrim sayısı
O	Ortalama gecikme
p_i	i aşamasındaki hızlandırma maliyeti
Q_i	i aşamasındaki sipariş miktarı, birim
r	Taşıma ücreti
R	Yeniden sipariş noktası
s_{i0}	i parçası için depo stok düzeyi
s_{ij}	Kademe j 'deki i parçasının stoku
S	Tüm sistem geneli için sipariş miktarı (bu modelde ana depo için verilmesi gereken sipariş miktarı)
T	Sabit temin süresi
w_i	i . sınır hücresi ağırlık vektörü
x_i	i . sınır hücresi girdi vektörü
y_k	k . girdi vektörü için sınır ağının fiili çıktı değeri
z	Bir bulanık kümenin durulaştırılan değeri
Z_j	j bayiiine tahsis edilecek stok miktarı
α	Bulanık mantıkta girişim katsayısı
β_{ij}	Kademe j 'deki i parçası için beklenen bekleyen siparişler
δ	Bir çıktı düğümünün hatası
σ_j	j bayisi için bir dönemlik talebin standart sapması
$\sigma_{\approx}^2$	Tüm sistem için talebin varyansı
μ	Bir temin (veya yeniden tedarik) süresi boyunca beklenen talep
θ	Eşik değeri
Ψ	Sinir hücresi aktivasyon fonksiyonu

$\mu(x)$ x değerinin bir kümeye üyeliğinin derecesini

KISALTMA LİSTESİ

ACF	Auto Correlation Function
ADALINE	Adaptive Linear Neuron Computer
ADF Test	Augmented Dickey Fuller Test
AELB	Adapte Edilebilir Lineer Birleştirici
ANFIS	Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System
ARIMA	Autoregressive Integrated Moving Average
Brm	Birim
BSA	Bulanık Sinirsel Ağ
cdf	Cumulative Density Function
EDI	Electronic Data Interchange
EFuNN	Evolving Fuzzy Neural Network
EKK	En Küçük Kareler
ERP	Enterprise Resources Planning
ESM	Ekonomik Sipariş Miktarı
ESPRC	Expected Shortage per Replenishment Cycle
ETC	Expected Total Cost
FCM	Fuzzy Clustering Methods
FNN	Fuzzy Neural Net
GDK	Genelleştirilmiş Delta Kuralı
HGYA	Hata Geriye Yayma Ağı
IP	Inventory Position
Ktcp	Ketçap
MADALINE	Multiple-Neuron Adaptive Linear Neuron Computer
METRIC	Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control
Mkrn	Makarna
MLP	Multi-Layer Perceptron
MPC	Model Predictive Control
MRP	Material Requirements Planning
MRP II	Manufacturing Resources Planning
NEFCLASS	Neuro-Fuzzy Classification
NFS	Neural-Fuzzy System
NN-FLCS	Neural-network-based-fuzzy logic control system
PACF	Partial Autocorrelation Function
pdf	Probability Density Function
SBA	Sinirsel bulanık ağ
SBS	Sinirsel Bulanık Sistem
SCC	Supply Chain Council
SCOR	Supply Chain Operations Reference
SS	Safety Stock
TC	Total Cost
TZEY	Tedarik Zinciri Envanter Yönetimi
TZY	Tedarik Zinciri Yönetimi
YSA	Yapay Sinir Ağı

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	İki aşamalı bir envanter sistemi 10
Şekil 3.1	Bütünleşik tedarik zinciri sistemi..... 36
Şekil 3.2	Optimizasyon tabanlı modelin şematik gösterimi: Çok-aşamalı bir tedarik zincirinde tahmini kontrol yapısı 40
Şekil 3.3	Seri üretim prosesi 41
Şekil 3.4	Deterministik bir iki-aşamalı modelde envanter seviyelerinin davranışı 42
Şekil 3.5	Ağaç yapısı..... 45
Şekil 3.6	Saf bir montaj sistemi 45
Şekil 3.7	Tek geçişli bilgi akışı olan bir çok aşamalı durum 48
Şekil 3.8	Temel stok sisteminde bilgi ve stok akışı 52
Şekil 3.9	1 depo, 3 bayılı ağaç yapısı..... 54
Şekil 4.1	Genel bir yapay sinir ağı modeli..... 74
Şekil 4.2	Bir sinir hücresinin yapısı 74
Şekil 4.3	Çeşitli YSA modellerinde kullanılan aktivasyon fonksiyonları 76
Şekil 4.4	Perceptron yönteminin venn diyagramları ile gösterimi..... 77
Şekil 4.5	Hebbian öğrenme kuralının Pavlov deneyi için grafik gösterimi 83
Şekil 4.6	Ağırlık yüzeyi 88
Şekil 4.7	Bir bulanık kümenin çekirdek, destek ve sınır kısımları 93
Şekil 4.8	Mamdani yöntemiyle kural sonuçlarının bulunması..... 97
Şekil 4.9	Takagi-Sugeno yöntemiyle kural sonuçlarının bulunması 97
Şekil 4.10	Tsukamo yöntemiyle kural sonuçlarının bulunması 98
Şekil 4.11	En büyük ilk üyelik derecesi..... 99
Şekil 4.12	En büyük ortalama üyelik derecesi 100
Şekil 4.13	Mamdani sinirsel-bulanık sistemi. 110
Şekil 4.14	Takagi-Sugeno sinirsel-bulanık sistemi 110
Şekil 4.15	Dört kurallı ve iki-girdili Sugeno bulanık modeli için ANFIS mimarisi..... 113
Şekil 4.16	EFuNN mimarisi..... 117
Şekil 4.17	Mamdani bulanık sonuç çıkarma sistemi..... 118
Şekil 5.1	Geliştirilen metodolojinin şematik olarak gösterimi..... 124
Şekil 5.2	İncelenen 3-aşamalı tedarik zinciri yapısı..... 127
Şekil 5.3	Yapay sinir ağları ile model simülasyon algoritması..... 135
Şekil 5.4	SCOR proses detayları..... 138
Şekil 5.5	SCOR modeli prosesleri 138
Şekil 6.1	X Pazarlama lojistik yapısı 143
Şekil 6.2	T-X tedarik zinciri..... 144
Şekil 6.3	Ocak 1996-Aralık 2005 talep veri seti..... 145
Şekil 6.4	Birim fiyat girdisine ait üyelik fonksiyonları..... 147
Şekil 6.5	Bulunurluk girdisine ait üyelik fonksiyonları 148
Şekil 6.6	Makarna talebi girdisine ait üyelik fonksiyonları 148
Şekil 6.7	Tazelik girdisine ait üyelik fonksiyonları 148
Şekil 6.8	Bulanık kuralların ANFIS ile gösterimi..... 149
Şekil 6.9	ANFIS ile tahmin edilen değerlerin şematik gösterimi 149
Şekil 6.10	Ketçap talepleri serisinin korrelogramı..... 150
Şekil 6.11	Fazlalıklar korrelogramı..... 152
Şekil 6.12	Sinirsel-bulanık ağ ve istatistiksel analiz talep tahmin sonuçları ile gerçekleşen değerlerin kıyaslaması 153
Şekil 6.13	Bayi için Ocak 1996-Aralık 2005 temin süresi veri seti..... 154
Şekil 6.14	Talebin aciliyeti girdisine ait üyelik fonksiyonları 156

Şekil 6.15	Ürünün depodaki miktarı girdisine ait üyelik fonksiyonları.....	156
Şekil 6.16	Talep girdisine ait üyelik fonksiyonları	156
Şekil 6.17	Bulanık kuralların ANFIS ile gösterimi.....	157
Şekil 6.18	ANFIS ile tahmin edilen değerlerin şematik gösterimi	157
Şekil 6.19	Sinirsel-bulanık ağ ve istatistiksel analiz temin süresi tahmin sonuçları ile gerçekleşen değerlerin kıyaslaması.....	159

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Envanter yönetimi politikalarını karakterize eden kriterler 7
Çizelge 2.2	Literatür taramasına ilişkin özet tablo..... 26
Çizelge 4.1	YSA ve bulanık sonuç çıkarma sistemi arasındaki karşılaştırma 105
Çizelge 5.1	Model değişkenleri arasındaki dönüşümler-Sipariş miktarları, talep miktarları ve elde tutma maliyetleri..... 127
Çizelge 5.2	Model değişkenleri arasındaki dönüşümler-Sabit sipariş maliyetleri, değişken maliyetler ve temin süreleri 127
Çizelge 6.1	Talep veri parametreleri 146
Çizelge 6.2	Bulanık kurallar 146
Çizelge 6.3	Talep verisi üyelik dereceleri 147
Çizelge 6.4	ADF/Unit Root testi 151
Çizelge 6.5	ARMA modelinin tahmini 151
Çizelge 6.6	Gerçekleşen talep değerleri, ARMA and SBA tahmin değerleri ile ortalama hatalar..... 153
Çizelge 6.7	Temin süresi veri parametreleri 154
Çizelge 6.8	Bulanık kurallar 155
Çizelge 6.9	Temin süresi verisi üyelik dereceleri 155
Çizelge 6.10	ADF/Unit Root testi..... 158
Çizelge 6.11	Gerçekleşen talep değerleri, ARMA and SBA tahmin değerleri ile ortalama hatalar..... 159
Çizelge 6.12	Model-G2'nin YSA ile 12 aylık simülasyon sonuçları..... 167

ÖNSÖZ

Tedarik zinciri yönetimi, bir firmanın farklı fonksiyonları veya tedarikçiler ve müşteriler arasındaki malzeme planlama ve kontrolü ile bilgi akışına yönelik bütünleşik bir yaklaşımdır. Birçok imalat işletmesi hammadde temin eden, bunları bitmiş ürünlere dönüştüren ve bitmiş ürünleri müşterilere dağıtan üretim ve dağıtım ağları şeklinde organize olmuştur. “Çok-aşamalı” veya “çok-kademeli” üretim/dağıtım ağları kavramları bu tip ağlarla aynı anlama gelir. Tedarik zinciri boyunca envanter çeşitli nedenlerle ve çeşitli biçimlerde mevcuttur. Tedarik zincirlerinde çok-aşamalı envanter yönetimi, tedarik kaynağından son kullanıcıya kadar işbirliği içindeki organizasyon ağının bütününde, envanterin planlanması ve kontrolüne yönelik entegre bir yaklaşımdır. Etkin bir tedarik zinciri envanter yönetimi politikasını tanımlamak için belirsizliğe de değinilmelidir. Belirsizlik, karşılanmamış siparişe yönelik maliyetlerle ilgili olduğu kadar envanter maliyetlerinin tahminiyle de ilgilidir, ve bu problemlerle başedebilmek için etkili tekniklere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında çok-aşamalı envanter yönetimindeki belirsizliklerin giderilmesine ve daha doğru bir toplam tedarik zinciri maliyeti hesaplamasına yönelik sistematik bir metodoloji ve birbirine bağlı iki model önerilmektedir. Esas model olan stokastik-sinirsel-bulanık modelin, talep ve temin süresi belirsizliklerinde tedarik zincirlerinde çok-aşamalı envanter yönetimi problemi ile karşı karşıya kalan yöneticilere yol gösterici bir kaynak sağlayarak kapsamlı ve güvenilir bir destek sunması hedeflenmektedir.

Bu tez çalışmasını hazırlama sürecim boyunca her konuda yardım ve desteğini hissettiğim, bilgi ve deneyimlerinden yararlanma fırsatı bulduğum danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ali Fuat GÜNERİ’ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Değerli hocam, Prof. Dr. Füsün ÜLENGİN’e, bugüne kadar bana aşlamış olduğu ve bu tezin ortaya çıkmasında büyük etkisi olan bilgi birikimi, üzerimdeki emekleri ve değerli katkıları için şükranlarımı sunarım. Tezin eksikliklerinin ortaya çıkarılması ve düzeltilmesi konusunda büyük katkıları bulunan, kendisine her başvurduğumda bana vakit ayıran ve olumlu eleştirileriyle bana yol gösteren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Semih ÖNÜT’e çok teşekkür ederim. Bu aşamaya gelene kadar üzerimde emeği geçen bölümdeki tüm hocalarıma, desteklerinden dolayı tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma, uygulama çalışmasını gerçekleştirdiğim şirket çalışanlarına da ayrıca teşekkür etmek isterim. Son olarak, başta bugünlere gelmemde en büyük payı olan annem ve babam olmak üzere tüm aileme; bu çalışmanın oluşumu sırasında hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan, hayattaki en büyük destekçim sevgili eşim Kağan GÜMÜŞ’e, varlığı ve neşesiyle beni sürekli motive eden sevgili kızım Beyza GÜMÜŞ’e sonsuz teşekkürler.

Mayıs, 2007

Endüstri Yüksek Müh. Alev TAŞKIN GÜMÜŞ

ÖZET

Literatürde tedarik zincirlerinde çok-aşamalı envanter yönetimine yönelik birçok yaklaşım önerilmektedir. Mevcut yaklaşımların karşılaştırmalı analizi sonucunda, envanter yönetim sürecini talep ve temin süresi belirsizliklerinin giderilmesinden, maliyet hesaplamasına ve performans analizine kadar destekleyen yeni modellere ve metodolojilere halen ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir. “Tedarik Zincirlerinde Talep ve Temin Sürelerine Duyarlı Çok Aşamalı Envanter Kararlarının İncelenmesi ve Endüstriyel Bir Uygulama” konulu bu tez çalışmasında, belirsizlik ortamında çok-aşamalı envanter yönetimi sürecinin aşamalarını kapsayan bütünlük bir metodoloji ve bu metodoloji kapsamında deterministik/stokastik-sinirsel-bulanık modeller sunulmaktadır. Sunulan metodolojide sözkonusu iki modelin gereksinim duyduğu değişkenlerin sinirsel-bulanık hesaplamalarla, çeşitli kabullerle ve/veya işletmek için uzmanlardan tespiti sözkonusudur, ve geliştirilen maliyet modelinde bu değerler birleştirilmektedir. Modelin performansının analizini de kapsayan metodoloji, bu yönüyle de daha önceki çalışmalardan farklılaşmaktadır. Burada geliştirilen metodolojinin çok-aşamalı envanter yönetimi literatürüne en önemli katkısı, talep ve temin sürelerine daha gerçekçi bir açıdan yaklaşarak bu değişkenlerin saptanmasına ve maliyet hesaplamaya yönelik olarak sistematik deterministik ve stokastik modeller sunmasıdır. Bu modeller çok-aşamalı ağaç yapılı tedarik zincirlerine yönelik olup, daha az karmaşık hesaplamalar kullanılarak daha doğru ve gerçeğe yakın sonuçlara ulaşmayı sağlamaktadır, ve deterministik model, esas model olan stokastik modelin yapısına girmektedir.

Geliştirilen metodoloji ve modeller adım adım üç-aşamalı bir gıda tedarik zincirinde uygulamaya dönüştürülmüştür. Bu uygulama çalışma sonrasında tatmin edici sonuçlar elde edilmiş ve dikkate alınan ana depo ve zincir performansının iyileştiği gösterilmiştir. Böylelikle metodoloji ve modellerin pratikte uygulanabilirliği gerçek bir uygulama ile doğrulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Tedarik zinciri yönetimi, çok-aşamalı envanter yönetimi, yapay sinir ağları, sinirsel-bulanık ağlar, SCOR modeli.

ABSTRACT

There are many approaches that are proposed in literature about multi-echelon inventory management in supply chains. It is determined by comparative analysis of existing approaches that, there is a necessity of new models and methodologies currently that support the inventory management process from removal of demand and lead time uncertainties to computation of cost and performance analysis. In this thesis study, titled “Analysis of Demand and Lead Time Sensitive Multi Echelon Inventory Decisions and an Industrial Application”, an integrated methodology that covers all phases of multi-echelon inventory management process and deterministic/stochastic-fuzzy-neural models within the context of this methodology are presented. In the presented methodology, the variables that the models need are determined by neuro-fuzzy calculations, several assumptions and/or experts, and these values are combined in the developed cost model. The methodology contains the performance analysis of the model and that differentiates it from previous studies. The most important contribution that the proposed model makes to the multi-echelon inventory management literature is to present systematic deterministic and stochastic models, to determine demand and lead time variables by approaching them more realistic view and to calculate the chain cost. These models are for multi-echelon supply chains with tree structure and use less complex calculations to reach more proper and realistic results, and the deterministic model gets into the stochastic model structure.

The presented methodology and models are used in an application step by step in a three-echelon food supply chain. Then satisfactory results are gained, and it is pointed out that the depot and chain performances are got better. Thus, the applicability of the methodology and models is validated with a real application.

Keywords: Supply chain management, multi-echelon inventory management, artificial neural networks, neural-fuzzy networks, SCOR model.

1. GİRİŞ

Ticaretin temelini teşkil eden karşılıklı değer paylaşımı, arz ve talebi, bunlar da müşteriye ve üreticiyi/satıcıyı ön plana çıkarmaktadır. Yüzyıllar boyunca ürünlerin müşteriye getirildiği kervan zincirleri; iletişim teknolojileri, dağıtım kaynakları, mühendislik, yönetim ve uluslar arası ilişkilerin ticarete etkilerini de artırması ile, bir yandan müşterinin tatminini maksimize eden, diğer bir yandan ise işletmenin rakipleri arasındaki rekabette fark yarattığı tedarik zincirlerine dönüşmüşlerdir.

Kitlesel ve toplu üretim devirlerinin rekabetin artması ile ikinci plana itildiği günümüzde, müşterinin ihtiyaçlarına uygun olarak tam zamanında ve sıfır hata ile gerek üretim, gerekse hizmet sunabilen şirketler ön plana çıkmaktadır. Özellikle coğrafi alanların hizmette fark yaratabildiği sektörlerde, müşteriye hizmet noktalarının etkinliği, verimliliği ve sürekliliği çok önemli rol oynamaktadır. Bu hizmet noktaları müşterinin gerek tahmin edilen, gerekse önceden gerçekleşmiş taleplerini karşılayabilecek büyüklükte ve yeterlilikte olmak, aynı zamanda da ilgili şirketin o bölge, hedef ya da kadroya tahsis ettiği bütçeye de uygun olabilecek şekilde tasarlanmak zorundadır. Bu tasarımın yapılması noktasında sadece müşterinin istekleri veya işletmenin iç dinamikleri dışında ulusal, bölgesel, yerel şartlar da dikkate alınmak zorunda ve bu gibi durumlarda ulusal işletmelerin yerel rekabet konusundaki esneklikleri de detaylı olarak tasarlanmak durumundadır.

Geçmiş satışların ve hedeflere uygun olarak planlanan tahmin edilen satışların oluşturacağı üretim ve dağıtım yükü birçok belirsizlik ve birçok değişken içermektedir. Bu belirsizliklerin tanımlanabilmesi neticesinde programlanabilir, ölçülebilir ve yönetilebilir performans kriterleri ortaya çıkmakta ve bu performans kriterleri satınalma/üretim noktalarından başlayarak müşteriye dağıtım sürecine kadar olan tedarik zincirinin tüm noktalarında geçerli olmaktadır. Müşterinin taleplerinin belirlenmesi kadar, bu taleplere cevap verebilme kabiliyeti de önem taşımaktadır. Müşterinin talep ettiği ürünü, ürün çeşidini, talep miktarını her zaman ve her şekilde elde bulundurmak gerçekçi bir yaklaşım olmayacağından, işletmenin kaynakları ve müşteri talepleri doğrultusunda optimize edilmiş temin süreleri hizmet kalitesinde anahtar rol oynamaktadır.

Günümüz işletmelerinin her alandaki değişim ivmesi karşısında stratejik açıklığa düşmemek için, hızlı hareket edebilen, çabuk ve doğru kararlar alabilen, bilgiyle donatılmış ve teknoloji odaklı organizasyonlar ve böyle tedarik zincirlerinin üyeleri haline gelmeleri ihtiyaç olmaktan çıkıp, bir zorunluluk haline gelmiştir. Teknolojinin büyük bir hızla gelişmesi, müşteri isteklerinin büyük bir hızla artması ve kişiye göre hizmet/ürün anlayışının giderek

yaygınlaşması, tedarik zinciri yönetimini daha önemli ve karmaşık bir yapıya sokmuştur. Kurumların uzun dönemde rekabetçi üstünlüğünü gerçekleştirebilmesinin ardında “müşteri tatmini” ile birlikte “düşük maliyetler”i de hedefleyen tedarik zinciri stratejilerinin geliştirilmesinin büyük önemi bulunmaktadır. Burada, envanter yönetimi önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır.

Envanter yönetimi; üretim, dönüşüm ve dağıtım şirketleri ağı olan bir tedarik zinciri ile büyük ölçüde ilgilenir. Tedarik zincirlerinde envanter yönetimi, tedarik kaynağından son kullanıcıya kadar birlikte çalışan organizasyonların envanterinin planlanması ve kontrolü ile entegre bir yaklaşımdır. Envanter yönetimi, tedarik zinciri yönetiminde, zincirin hızını ve esnekliğini etkileyebilen temel bir sorundur. Bu sorunla başa çıkabilmek, sağlıklı, güvenilir envanter yönetimi politikalarını oluşturmak ve bunun sürekliliğini sağlamak, kalite, verimlilik, müşteri odaklılık ve esneklik gibi hedeflere ulaşılmasında destek almak amaçlarıyla; talebe ve temin sürelerine duyarlı çok-aşamalı envanter yönetiminden faydalanılabilmektedir.

Çeşitli uygulamalar için mevcut olan bazı modellerin gerçek uygulamalara dönüştürülmede başarısızlığı, bu modellerin sınırlayıcı pek çok kabulü benimsemesi, talep ve temin sürelerindeki belirsizliklerin giderilememesi, tedarik zinciri aşamaları arasındaki entegrasyonun yeterince sağlanamaması; internet ve teknolojiye yeterince yararlanılmaması konuya yönelik sistematik bir yaklaşım ihtiyacı doğurmaktadır. Literatürde bu ihtiyacın karşılanmasına yönelik pek çok metodoloji ve yaklaşım bulunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, literatürde en çok kullanılan tedarik zinciri envanter yönetimi tekniklerinden biri olan çok-aşamalı envanter yönetiminin analizi ve sınırlarının ortaya konulması doğrultusunda, temin-süreleri ve talebe duyarlı envanter kararlarının incelenmesi ve buna yönelik olarak bir metodoloji ve maliyet modeli geliştirilmesidir. Bu incelemede, talep ve temin-sürelerindeki belirsizlikle başa çıkmak üzere sinirsel-bulanık mantık hesaplamaları kullanılarak deterministik/stokastik modeller geliştirilmekte, endüstriyel bir uygulama çalışması ile kullanıma uygunluğu değerlendirilmektedir. Yapılan tez çalışmasının, temin süreleri ve talebe ilişkin belirsizlik ortamında, tedarik zincirlerindeki aktörler bir bütün olarak düşünüldüğünde, zincirin yapısına en uygun, doğru çok-aşamalı envanter yönetimini gerçekleştirirken yol gösterici bir kaynak olması hedeflenmektedir.

2. TEDARİK ZİNCİRLERİNDE ENVANTER YÖNETİMİ

Bu bölümde, tedarik zincirlerinde envanter yönetimi kavramı, politikaları ve çok aşamalı envanter yönetimi kavramı açıklanarak netleştirilmektedir. Sonrasında, tedarik zincirlerinde çok-aşamalı envanter yönetimine ilişkin detaylı bir literatür incelemesi sunulmakta; incelenen çalışmalar kullandıkları araştırma tekniği, dikkate aldıkları aşama sayısı, envanter politikası, talep ve temin sürelerine yönelik olarak yaptıkları kabuller, elde ettikleri çözümün kesinliği/yaklaşıklığı ve amaç fonksiyonları temelinde detaylandırılmakta ve karşılaştırmalı olarak incelenerek sunulmaktadır.

2.1. Tedarik Zincirlerinde Envanter Yönetimi Politikaları

Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY), bir firmanın farklı fonksiyonları veya tedarikçiler ve müşteriler arasındaki malzeme planlama ve kontrolü ile bilgi akışına yönelik bütünselik bir yaklaşımdır (Minner, 2003). Bu alan son yıllarda önemli ölçüde dikkat çekmektedir ve firmaların rekabet avantajı elde edebilecekleri bir araç olarak görülmektedir (Routroy ve Kodali, 2005). TZY tedarikçileri, üreticileri, ambarları ve depoları etkin bir şekilde entegre eden, böylece hizmet düzeyi gereksinimlerini karşılamak için sistem maliyetlerini minimize etmeye yönelik olarak malın doğru miktarlarda, doğru lokasyonlarda, doğru zamanlarda üretilip dağıtıldığı bir yaklaşımlar kümesidir (Simchi-Lev ve diğ., 2000; Routroy ve Kodali, 2005). Bu nedenle tedarik zinciri çeşitli üyelerden veya aşamalardan meydana gelir. Bir tedarik zinciri yüzlerce katılımcıyı içerebilen dinamik, stokastik ve kompleks bir sistemdir. Bu, tamamı nihai müşteriye dağıtılmak üzere hammaddenin ürüne dönüştürülmesi ile ilgili tedarikçiler, üreticiler, dağıtıcılar ve bayilerden oluşan bir ağ olarak tanımlanabilir (Routroy ve Kodali, 2005). Bir tedarik zinciri ağı genellikle hammadde satıcılarını, üretim ve montaj tesislerini ve dağıtım merkezlerini kapsayan entegre bir sistem olarak tanımlanır. Ağ, satınalma, üretim ve dağıtım fonksiyonları ile karakterize edilir (Seferlis ve Giannelos, 2004).

Envanter, üretim işletmelerinin toplam varlıklarının genellikle %20'sinden %60'a kadarını temsil eder. Bu nedenle, envanter yönetimi politikalarının bu gibi işletmelerin karlarının saptanmasında kritik olduğu kanıtlanmaktadır. Envanter yönetiminin, satınalma, üretim ve dağıtım işletmelerinden oluşan tüm bir tedarik zinciri dikkate alındığında daha da geniş ölçüde konu ile ilgili olduğu görülür. Envanter yönetimi gerçekten TZY'de temel bir konudur (Giannoccaro ve diğ., 2003; Routroy ve Kodali, 2005).

Araştırmalar göstermiştir ki envanter bulundurmak, değerinin %20'si ile %40'ı arasında maliyete yol açar. Her ne kadar envanter bulundurmak müşteriye hizmeti geliştirmek ve

dağıtım maliyetlerini azaltmak için şartsa da, bilimsel anlamda minimal düzeyi sürdürmek için bu envanterlerin yönetimi ekonomik anlam yaratır. Literatürde tedarik zinciri envanterini yönetmenin çeşitli yararları belirtilmiştir. Bunlardan bazıları; çeşitli kademeler arasında koordine edilmiş kararlar almak, belirsizlik kaynaklarını dahil etmek, ve uygun tedarik zinciri performans ölçütlerini tasarlamaktır (Ganeshan, 1999).

Tedarik zincirlerinde envanterler çeşitli nedenlerle çeşitli biçimlerde bulunur (Ganeshan, 1999). Tedarik zinciri boyunca envanter yönetiminin yeterince koordine edilmemesi sıklıkla kamçı etkisine yol açar, ki bu talep değişkenliğinin üst kademelere gidildikçe artması anlamına gelir. Bu, aşırı envanter yatırımlarına, kayıp gelirlere, yönlendirilmemiş kapasite planlarına, etkin olmayan nakliye, gerçekleştirilemeyen üretim çizelgelerine ve zayıf müşteri hizmetine yol açar. Ayrıca üst tedarik zinciri kademelerinin piyasa talebi artışlarındaki değişiklikleri algılaması için zaman gerektiğinden, tüm tedarik zinciri müşteri gereksinimlerine daha düşük düzeyde yanıt vermiş olur. Tüm bunlar nedeniyle, müşterilerin ürünün kendisi kadar hizmete de önem verdiği gelişmiş pazarlarda, ve hızlı tepki eksikliğinin kayıp satışlara ve modası geçmiş stoklara yol açtığı moda veya bilgisayar gibi yenilikçi pazarlarda tehlikeyle karşılaşılır (Giannoccaro ve diğ., 2003).

Birçok araştırmacı bu problemleri incelemiş ve zincirin müşteri taleplerini etkin ve etkili bir şekilde karşılaması için tedarik zinciri kademeleri arasındaki entegrasyonun gerekliliğini vurgulamışlardır (Örneğin (Towill, 1996)) (Giannoccaro ve diğ., 2003). Clark ve Scarf (1960) kuruluş stoğuna karşılık, aşama stoğu kavramını geliştirmişlerdir. Aşama stoğu politikalarında, verilen bir evredeki sipariş kararları aşama envanter pozisyonuna dayanır ve bu, dikkate alınan aşamadaki ve tüm alt aşamalarındaki envanter pozisyonunun toplamıdır. Bu, zincir içinde sıkı bir koordinasyon ve bilgi paylaşımını gerektirir (Giannoccaro ve diğ., 2003).

Entegrasyon konusunun yanısıra, etkin bir tedarik zinciri politikasını tanımlamak için belirsizliğe de değinilmelidir. Arz (örneğin; temin süreleri) ve talepteki belirsizliğin yanısıra, üretim ve dağıtım prosesleri ile ilişkili bilgi gecikmeleri tedarik zincirlerini karakterize eder. Dahası, belirsizlik, karşılanmamış siparişe yönelik maliyetlerle ilgili olduğu kadar envanter maliyetlerinin tahminiyle de ilgilidir. Tipik bir biçimde, bu problemlerle başedebilmek için stokastik teknikler kullanılmıştır.

Tedarik Zinciri Envanter Yönetimi (TZEY), tedarik kaynağından son kullanıcıya kadar işbirliği içindeki organizasyon ağının bütününde, envanterin planlanması ve kontrolüne yönelik entegre bir yaklaşımdır. TZEY, son-müşteri talebine odaklanmıştır ve müşteriye

yönelik hizmetin geliştirilmesini, ürün çeşitliliğinin artmasını ve maliyetlerin düşürülmesini amaçlar (Giannoccaro ve diğ., 2003). Aşağıda TZEY politikalarının özellikleri detaylı olarak incelenmiştir

Bir envanter politikası lokal veya global amaçlara sahiptir. İlk durumda tedarik zinciri envanter politikası sonucunda lokal politikaların bir toplamı elde edilir, ki burada her bir tedarik zinciri aktörü yalnızca lokal performans kriterlerine dayanan kendi envanter kararlarını alma eğilimindedir. Tersine, global bir politika altında envanter kararları, global performans kriterlerini optimize etmeye yönelir.

Tedarik zinciri envanterinin yönetiminde iki farklı strateji izlenebilir: Merkezi ve merkezileşmemiş envanter kontrolü (Petrovic ve diğ., 1999). İlk durumda merkezi bir karar verici tüm tedarik zinciri maliyetlerini minimize eden politikayı saptar. Merkezi bir kontrol, tedarik zinciri aktörleri arasında yüksek düzeyde koordinasyonu ve iletişimi gerektirir. Çoğu durumda tedarik zincirleri merkezileşmemiş bir envanter kontrolünü benimser. Bu, özellikle, aktörler çeşitli farklı organizasyonları temsil ettiğinde gerçekleşir. Merkezileşmemiş bir kontrol planında, her bir kademe kendi lokal envanterinin durumunu izler ve kendi performans hedeflerine dayalı olarak kendinden önce gelenler için sipariş açar. Son çalışmalar şunu gösterir ki, güdüleyici mekanizmalar sayesinde merkezileşmemiş envanter yönetimi, neredeyse merkezileşmiş optimal politikalar kadar yüksek performans düzeylerine ulaşabilmektedir. Envanter yönetimi politikaları, ayrıca, envanter pozisyonu inceleme sıklığına göre de farklılık gösterebilir (bu, envanter kontrol tipi olarak da adlandırılır). Periyodik-inceleme kontrol politikaları altında envanter pozisyonu her bir kademede, sabit bir T zaman aralığında incelenir. Her bir incelemede envanter pozisyonu hedef bir S düzeyine gelineye kadar azaltılır, tedarikçiye bir yenileme siparişi verilebilir; ki bu sipariş stoğu S'nin üzerine çıkaracak Q miktarı kadardır. Sürekli-inceleme kontrol politikaları altında, dikkate alınan kademedeki envanter pozisyonu daha önceden belirlenen bir düzeyin (yeniden sipariş noktası r) altına düştüğünde bir yenileme siparişi verilir. Bu durumda sabit bir Q miktarı sipariş edilir. Ayrıca hibrit bir kontrol politikası da kullanılabilir. En çok rastlananlar (s,S) ve temel-stok politikalarıdır. (s,S) politikası altında her bir T zaman aralığında, envanter pozisyonu yeniden sipariş noktası s'nin altına düştüğünde, stoğu hedef bir S düzeyine yükseltmek için bir sipariş verilir. Temel-stok politikası altında, herhangi bir zamanda bir çekilme meydana geldiğinde bir yenileme siparişi gerçekleştirilir. Böyle bir politika ayrıca (S-1,S) politikası olarak da adlandırılır (Giannoccaro ve diğ., 2003).

TZEY'deki stratejik seçenekler ayrıca, uygulanan yaklaşımın tedarik zinciri boyunca malzeme akışını yönetmesi ile de ilgilidir. Proaktif veya reaktif planlama yaklaşımı kullanılabilir. Malzeme ihtiyaç planlaması gibi proaktif planlama yaklaşımları her bir zaman evresinde gelecek talep bilgisini gerektirir ve projelendirilen envanter düzeylerini tahmin eder. Diğer yandan, reaktif yaklaşımlar mevcut envanter düzeyine ve anlık talebe dayanır.

Son olarak, envanter politikaları stok düzeyi ölçüm yaklaşımına dayanarak karakterize edilebilir; yani kurulum ve aşama stoğu. Her ne kadar tüm envanter düzeyi (ki bu aşama stoğu olarak adlandırılır) dikkate alınan ve tüm alt stok noktalarındaki lokal envanterin toplamıyken, belli bir stok noktasındaki kurulum stoğu lokal eldeki envanterdir. Aşama stoğu envanter politikaları merkezileşmiş bir karar verme ile daha tutarlıdır ve tedarik zinciri aktörleri arasında güçlü bir bilgi paylaşımını gerektirir. Seri tedarik zinciri aşama stoğu politikaları, kurulum stok politikalarına göre daha iyi performans gösterirler. Clark ve Scarf (1960) aşama temel-stok politikalarının, periyodik inceleme altında belirli bir aralıkta optimal olduklarını göstermiştir. Bu sonuç, Federgruen ve Zipkin (1984) tarafından belirsiz bir aralık için ve Chen ve Zheng (1994) tarafından sürekli inceleme modelleri için genelleştirilmiştir (Giannoccaro ve diğ., 2003; Tayur ve diğ., 1999).

Toparlamak gerekirse, tedarik zincirlerindeki envanter yönetimi politikaları aşağıdaki kriterlere göre sınıflandırılabilir (Çizelge 2.1) (Giannoccaro ve diğ., 2003) :

- Her bir tedarik zinciri evresindeki envanterin bağımsız olarak yönetilip yönetilmediğini tanımlayan *Optimizasyon Hedefi*; yani lokal envanter politikalarının (lokal) veya entegre anlamda global bir envanter politikasının (global) benimsenmesi;
- Eğer tedarik zincirinde merkezi bir karar verici mevcutsa merkezileştirilebilen veya farklı kademelerdeki karar vericiler birbirlerinden farklıysa merkezileştirilemeyen *Kontrol Tipi*;
- Envanter pozisyonu kontrol sıklığına bağlı olarak periyodik, sürekli veya hibrit olabilen *Envanter Kontrol Sıklığı*;
- Tahmin veya müşteri siparişlerine dayanarak gelecekteki talebin bir tahminini gerektiren proaktif bir yaklaşım (zaman-aşamalı) veya envanter stoklarının mevcut tüketimine dayanan reaktif bir yaklaşım (anlık) olup olmaması ile tanımlanan *Zamansal Bilgi Gereksinimi*;
- Tedarik zincirindeki envanter durumunun ölçülme yolunu karakterize eden, kurulum stoğu (installation) veya aşama stoğu (echelon) olarak adlandırılan *Alansal Bilgi Gereksinimi*.

Çizelge 2.1 Envanter yönetimi politikalarını karakterize eden kriterler (Giannoccaro ve diğ., 2003)

Envanter yönetimi kriterleri	Seçenekler
Optimizasyon hedefi	Lokal; global
Kontrol tipi	Merkezileşmemiş; merkezi
Envanter kontrolü	Periyodik; hibrit; sürekli
Zamansal bilgi gereksinimi	Zaman-aşamalı; anlık
Alansal bilgi gereksinimi	Kurulum; aşama

2.2. Tedarik Zincirlerinde Çok-Aşamalı Envanter Yönetimi

Birçok imalat işletmesi hammadde temin eden, bunları bitmiş ürünlere dönüştüren ve bitmiş ürünleri müşterilere dağıtan üretim ve dağıtım ağları şeklinde organize olmuştur. “Çok-aşamalı” veya “çok-kademeli” üretim/dağıtım ağları kavramları bu tip ağlarla (veya tedarik zincirleriyle) aynı anlama gelir. Tedarik zinciri boyunca envanter çeşitli nedenlerle ve çeşitli biçimlerde mevcuttur. Herhangi bir imalat noktasında hammadde, yarı mamul, veya bitmiş ürün olarak yer alabilirler. Üretim depolarında ve hareket halinde ya da “boru hattında” yer alabilirler. Tüm bunlar şu şekilde ilişkilidir (Ganeshan, 1999):

- Alt kademedekiler yukarıdaki envanterler için talep yaratır.
- Bu belirsiz talepler, belirsiz üretim ve/veya nakliye zamanlarıyla birleştiğinde verilen bir mevkideki envanteri belirler.

Üreticiler tedarikçilerden hammadde satın alırlar ve bitmiş ürünlere dönüştürecek şekilde işlerler, ardından bitmiş ürünleri dağıtıcılara, ve sonrasında da bayilere ve/veya müşterilere satarlar. Bir parça, nihai müşteriye varmadan önce birden fazla aşama boyunca hareket ederse, bu “çok-aşamalı” bir envanter sistemi şeklinde bir yapılanmadır (Rau ve diğ., 2003).

Bir stok noktasının aşama stoğu, bu noktadaki tüm stoğa, tüm alt stok noktalarının elindeki veya hareket halindeki stokların eklenmesi ve alttaki stok noktalarındaki birikmiş siparişlerin çıkarılması ile elde edilen sonuca eşittir. Bir stok noktasının aşama envanter pozisyonu, onun aşama stoğuna, bu stok noktasına doğru ilerleyen tüm malzemenin eklenmesine eşittir (Diks ve de Kok, 1998).

İş dünyasına yayılan çok-aşamalı envanter sistemlerinin analizi uzun bir geçmişe sahiptir (Chiang ve Monahan, 2005). Çok aşamalı envanter sistemleri, çok büyük coğrafi alanlardaki müşterilere ürünleri dağıtmak için sıklıkla kullanılmaktadır. Bu sistemlerin önemi üzerine, birçok araştırmacı operasyon karakteristiklerini çok değişik varsayımlar ve durumlar altında dikkate alarak çalışmışlardır (Moinzadeh ve Aggarwal, 1997). Harris’in 1913’te ekonomik sipariş miktarını geliştirmesinden sonra (ESM), araştırmacılar ve uygulamacılar envanter

sistemlerinin değişik operasyon parametreleri ve modelleme varsayımlarının altında analizi ve modellenmesi ile aktif olarak ilgilenmişlerdir (Routroy ve Kodali, 2005). Çeşitli işleme ve dağıtım evrelerinden oluşan tedarik zincirlerinin entegre kontrolü modern bilgi teknolojisi yoluyla fizibil hale geldiği için, son yıllarda çok-aşamalı envanter yönetimi konusundaki araştırmalar önem kazanmıştır (Diks ve de Kok, 1998; Rau ve diğ., 2003; Kalchschmidt ve diğ., 2003).

Clark ve Scarf 1960 yılında ilk olarak iki-aşamalı envanter modelini incelemişlerdir (Rau ve diğerleri, 2003; Bollapragada ve diğerleri, 1998; Tee ve Rossetti, 2002; Diks ve de Kok, 1998; Dong ve Lee, 2003; Chiang ve Monahan, 2005). Saf seri envanter sistemi için bir temel stok politikasının optimalliğini kanıtlamışlardır ve optimum temel stok sipariş politikasını hesaplamaya yönelik etkin bir ayrıştırma metodu geliştirmişlerdir. Bessler ve Veinott (1965), Clark ve Scarf'ın modelini, genel tek bayili yapıları kapsayacak şekilde genişletmişlerdir. Epen ve Schrage tarafından (1981), bir depo-ambar problemi tanımlanmıştır. Eşit paylaşırma kabulü altında azami sipariş düzeyi için kapalı formda bir tanım geliştirmişlerdir. Ehrhardt ve diğerleri (1981), Deuermeyer ve Schwarz (1981), Rosenbaum (1981), Jackson (1983), Federgruen ve Zipkin (1984), Schwarz ve diğ. (1985), Jackson (1988), Jackson ve Muckstadt (1989), Schwarz (1989), ve Erkip ve diğ. (1990) gibi çeşitli başka yazarlar da, bu problemi çeşitli biçimlerde incelemişlerdir (Bollapragada ve diğ., 1998; Tee ve Rossetti, 2002; Moinzadeh ve Aggarwal, 1997; Dong ve Lee, 2003; Parker ve Kapuscinski, 2004). Çok-aşama probleminin kompleksliği ve etkileşimde bulunabilirliği nedeniyle Hadley ve Whitin (1963) envanter sistemlerinde tek yerleşim, tek aşama modellerin adaptasyonunu önermişlerdir (Chiang ve Monahan, 2005).

Sherbrooke (1968), ambar ve bayi için iki-aşamalı bir sipariş politikasını dikkate almıştır. Bayilerdeki stoksuzluğun tamamen biriktirildiği kabul edilmiştir (Rau ve diğerleri, 2003). Ayrıca Sherbrooke burada, bir bütçe kısıtı altında alt aşamadaki karşılanmamış siparişlerin beklenen sayısını minimize eden stok düzeylerini tanımlayan METRIC modelini yapılandırmıştır. Bu model, hizmet parçalarının envanterinin yönetimine yönelik ilk çok-aşamalı envanter modelidir (Chiang ve Monahan, 2005; Ganeshan, 1999). Ardından, genelde optimal lot büyüklüklerinin ve bir çok-aşamalı çatıda emniyet stoklarının saptanmasını inceleyen çok sayıda model, çok sayıda araştırmacı tarafından geliştirilmiştir. Ayrıca, analitik modellere ilaveten simülasyon modelleri de çok-aşamalı envanter problemlerinin kompleks etkileşimlerine yönelik olarak geliştirilmiştir (Chiang ve Monahan, 2005; Seferlis ve Giannelos, 2004). METRIC'in açılımı "Multi-Echelon Technique for Recoverable Item

Control (Geri Dönüştürülebilir Parça Kontrolü İçin Çok-Aşama Tekniği)” şeklindedir (Sherbrooke, 1992).

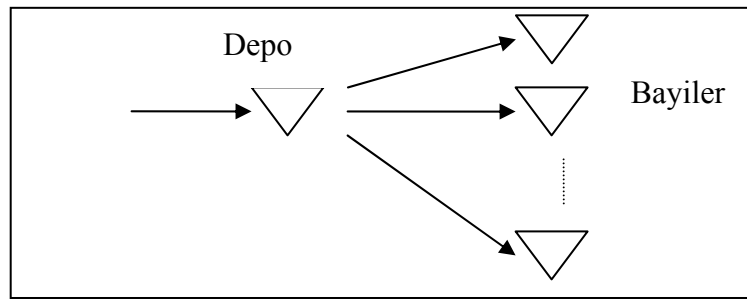
Şimdiye kadar literatür bir yandan inişli çıkışlı talep ve diğer yandan çok-aşamalı tedarik zincirleri için stok politikalarının geliştirilmesi üzerinde ağırlıklı olarak durmuştur (Kalchschmidt ve diğ., 2003). Envanter yönetimi literatüründe ayrıca bilginin rolü de kritik önem taşır. Çok-aşamalı tedarik zincirlerinde envanter yönetimi ile ilgilenen çalışmalar, bilginin global olarak yayılmasına veya lokal olarak yönetilmesine ve kontrolün merkezileşip merkezileşmemesine göre sınıflandırılabilir. Lokal bilgi, her bir yerleşimin talebi, sadece direkt olarak arzda bulunduğu yerleşimlerden gelen siparişler olarak gördüğü biçiminde algılar. Ayrıca sadece kendi envanter durumunu ve maliyet yapısını görür. Global bilgi, karar vericinin sistemdeki tüm yerleşimlerin talep, maliyet ve envanter durumunu görebilmesini içerir. Merkezileşmiş kontrol girişimlerin tüm sistemin bileşik optimizasyonu için yapıldığını benimserken, merkezileşmemiş kontrol kararların bağımsız yerleşimlerle bağımsız olarak alındığını kabul eder (Kalchschmidt ve diğ., 2003).

Stokastik talebe sahip çok aşamalı sistemlerin envanter kontrol politikaları çokça araştırılan bir alan olmuştur. Silver ve diğ. (1972) tarafından da yakın zamanda birçok makale yayımlanmıştır. Periyodik inceleme politikalarında mümkün olan merkezi planlamanın sağladığı avantaj, kurulum stoğu yerine aşama stoğu gereğince farklı aşamaların yeniden sipariş düzeylerinin tanımlanması ile sürekli incelemede de elde edilebilir. Aşama stoğu temelli politikalar, üstün performansı ve hesaplama kolaylığından ötürü, kurulum stoğu temelli politikalardan daha fazla istenir olmuştur (Mitra ve Chatterjee, 2004a).

Bir tedarik zinciri çeşitli kademelerden ve aşamalardan oluştuğu için, yanıtlanması gereken anahtar soru bu kademelerdeki partnerlerin birbirleriyle nasıl etkileşim kurduğudur. Literatür iki temel fakat zıt felsefenin kanıtına dayanır: “itme” ve “çekme” sistemi. Bir dağıtım sisteminde, bir itme felsefesi tüm ilgili tesislerdeki envanter düzeyleri hakkındaki bilgilere erişebilen merkezi bir karar vericinin olduğu anlamına gelir (depo yöneticisi gibi); ardından tüm envanter kararları bu bilgiye dayanılarak verilir. Çekme sisteminde bununla birlikte, envanter kararları lokal yöneticilerce, kendi lokal durumlarına dayanarak verilir. Hem itme, hem de çekme sistemlerinde karar değişkenleri (sipariş miktarı, yeniden sipariş noktası, vb.) saptanmıştır ve böylece toplam sistem maliyetleri minimize edilir (Ganeshan, 1999). Son zamanlarda çok-aşamalı envanter sistemleri, malzeme ihtiyaç planlaması ve dağıtım kaynakları planlaması gibi konvensiyonel itme sistemlerinden, tam zamanında üretim ve temel stok gibi çekme sistemlerine kadar kademeli olarak gelişmektedir. İtme sistemlerindeki

problem, talep tahminlerine dayanarak sabitlenen bir çizelgenin, çizelge revize edilene kadar orta dönemdeki dalgalanmaları hesaba katmamasıdır. Fakat bu durum, bugünün dinamik dünyasında zaman içinde aşırı stok veya stoksuzluğa yol açabilmektedir. Çekme sistemleri bu problemin etkilerini doğru zamanda doğru miktarda stoğu “çekerek” gidermeye çalışmaktadırlar ve muhtemelen bugünün envanter kararları için doğru seçenektir. Çekme sistemlerinin başarısı, bir çok-aşamalı sistemde bilginin aşamalar arasında akışına bağlıdır (Mitra ve Chatterjee, 2004b).

Merkezi bir depo ve çok sayıda bayiden oluşan iki-aşamalı bir envanter sistemi Şekil 1’de görüldüğü gibidir (Axsater, 2003).



Şekil 2.1 İki-aşamalı bir envanter sistemi (Axsater, 2003)

2.3. Tedarik Zincirlerinde Çok-Aşamalı Envanter Yönetimine Yönelik Literatür İncelemesi

Bu çalışmada, konu hakkındaki ilk çalışmalar belirtilmiş, özellikle 1996 yılı ve sonrasında yayınlanan çalışmalar daha güncel bilgilere yer vermeleri açısından, incelenmiş ve sunulmuştur. Özellikle son yıllarda birçok araştırmacı çok-aşamalı sistemlerin modellenmesi ve analizine daha fazla önem vermeye başlamışlardır.

Çok aşamalı envanter/dağıtım sistemlerinin geçmişine kısaca bakmak gerekirse, ilk olarak 40 yıl önce incelenmeye başlandıkları görülür (Clark ve Scarf, 1960). O günden bu yana birçok araştırmacı çok-aşamalı üretim ve dağıtım sistemlerini araştırmıştır (van der Vorst, 2000). Bir periyodik inceleme modelini özel bir ağ için dikkate alan ilk çalışmalardan biri 1981 yılında Eppen ve Schrage tarafından gerçekleştirilmiştir, stoksuz merkezi depolu bir modeli incelemişlerdir. Lokal stok noktaları için eşit stoksuzluk olasılıklarına dayanan bir paylaşım kuralı kullanarak, eşit elde tutma ve ceza maliyetlerine dayanan bir optimal maliyet politikası sunmuşlardır. Farklı bir model de Kok’un (1990) çalışmasında incelenmiştir; ki burada doldurma oranı (eldeki stoktan hemen dağıtılan talep bölümü) üzerinden her bir stok noktası için stoksuz depolu ve bir kısıtlı bir paylaşırma modelini analiz etmiştir. Bu model, Verrijdt

ve de Kok (1995) tarafından genel N-aşamalı ağlara, ve yine Verrijdt ve de Kok (1996) tarafından merkezi stoklu iki-aşamalı sisteme genişletilmiştir. De Kok'un (1990) orijinal modelinin gelişmiş bir analizi van der Heijden'in (1997) çalışmasında gösterilmiştir ve burada bir paylaşırma politikası ve azami sipariş düzeyini ayrı ayrı saptamak için bir ayırma yaklaşımı sunulmuştur. Sonraki model van der Heijden ve diğ. (1997) tarafından, stok tutan merkezi ve ara depolu genel N-aşamalı ayrımlı sistemler için genişletilmiştir (van der Heijden, 1999; van der Vorst, 2000). Thomas ve Griffin (1996), tedarik zincirinin iki veya daha fazla aşaması arasında koordineli planlamayı ve zincirin modellenmesine uygun modelleri özellikle vurgulayan geniş bir inceleme sunmaktadır.

Axsater (1990), bir depo ve N bayiden oluşan bir envanter sistemini dikkate almıştır. Temin süreleri sabittir ve bayiler bağımsız Poisson talebi ile karşı karşıyadırlar. Yenilemeler birebirdir. Burada, farklı kontrol politikalarının elde tutma ve envanter bulundurmama maliyetlerinin saptanmasına yönelik, yenilenen basit prosedürler sunulmaktadır.

Forsberg'in (1996) çalışmasında bir depo ve N farklı bayiden oluşan iki-düzeyle bir envanter sistemi için elde tutma ve stoksuzluk maliyetlerinin nasıl tamamen değerlendirilebileceği gösterilmiştir. Temin süreleri (nakliye süreleri) sabittir, ve bayiler farklı Poisson talep süreçleri ile karşı karşıyadırlar. Ayrıca tüm tesislerin sürekli inceleme (R,Q)-politikalarını uyguladıkları kabul edilmiştir. Verilen bu kabullere göre, farklı politikalar için doğru (tam) maliyetler saptanır. Bu maliyet kalıpları, optimal bir sipariş politikasının etkin bir şekilde saptanmasında kullanılabilir.

Bu makalenin literatüre katkısı, N farklı bayili genel problem için kesin bir sonuç vermesidir (Forsberg, 1996).

Graves'in (1996) çalışması, stokastik talebe sahip çok aşamalı envanter sistemlerini incelemek üzere yeni bir model geliştirir. Model için, sistemdeki her bir mevkinin azami sipariş düzeyi politikasına göre sipariş verdiği, teslimat sürelerinin deterministik olduğu ve talep süreçlerinin bağımsız artışlarla stokastik olduğu kabul edilmiştir.

Yoo ve diğerleri (1997), çok-aşamalı dağıtım ağının çizelgelenmesi için gelişmiş bir dağıtım kaynakları planlaması metodu önermişlerdir; ki burada sipariş miktarları ve sipariş noktaları, tam zamanında üretim anlayışı altında talebi karşılamak ve stoksuzluk olasılığını minimize etmek üzere dinamik olarak elde edilir. Denemeler; çeşitli talep dağılımları, tahmin hatası dağılımları ve temin süreleri ile yapılmıştır. Bu makalede, olasılıksal talep altında sipariş çizelgeleme için sezgisel bir metot sunulmuştur.

Moinzadeh ve Aggarwal'ın (1997) makalesinde, tüm stoklama merkezlerinin envanterlerini normal veya daha pahalı acil yeniden tedarik kanalı aracılığıyla yenileme opsiyonuna sahip olduğu (S-1,S) tipi bir çok aşamalı envanter sistemi incelenmiştir.

Burada tek bir depo ve M bayiden oluşan iki aşamalı bir envanter sistemi incelenmiştir. Her bir bayideki talebin rassal olduğu ve Poisson dağılımını izlediği kabul edilmiştir. Her bir stoklama merkezi (örneğin; depo ve bayiler) (S-1,S) sipariş politikasını kullanır. Bir talep gerçekleştiğinde her bir stoklama merkezi normal veya acil bir kanal yoluyla bir sipariş gerçekleştirir. Eğer acil kanal kullanılırsa taşıma zamanı kısalmakla birlikte stoklama merkezi birim için daha yüksek maliyeti karşılar (Moinzadeh ve Aggarwal, 1997).

Mohebbi ve Posner'in (1998) çalışmasında yeniden siparişlerin ve kayıp satışların yer aldığı bir sürekli-inceleme envanter sistemi bağlamında maliyet analizi yer almaktadır. Burada talebin bileşik Poisson dağılımına ve temin sürelerinin de üssel dağılıma uyduğu kabul edilmiştir.

Talebin ambar düzeyinde gerçekleştiği bir depo-ambar dağıtım sisteminin dikkate alındığı Bollapragada ve diğerlerinin (1998) çalışmasında, her bir periyodun başlangıcında harici bir tedarikçi tarafından bir sipariş verilir; ki bu sipariş sabit bir temin süresinin ardından varır. Alınan sipariş ambarlara nakledilir. Deponun kendisi hiç envanter tutmaz. Depodan ambarlara sıfır olmayan nakliye temin süreleri söz konusudur. Lineer elde tutma maliyetleri depolarda gerçekleşir ve karşılanmamış talepler lineer bir ceza maliyeti ile biriktirilir. Bu çalışma, Eppen ve Schrage'ın (1981) önceki çalışmasından, özdeş olmayan ambarlara izin verilecek şekilde genişletilmiştir.

Bu çalışmada, stokastik ve dışsal taleplerin yer aldığı birkaç ambara arz yapan tek bir depo ve iki-aşamalı bir sistem problemi dikkate alınmıştır. Depo her bir periyodun başında, sabit bir temin süresinin ardından, dışsal bir arzdan gelen bir sipariş alır. Alınan sipariş ambarlara dağıtılır. Deponun kendisi hiç envanter tutmaz. Nakledilenler hedeflerine daha fazla bir gecikmeden sonra varır. Karşılanmamış siparişler ve aşırı envanter için lineer ceza ve elde tutma maliyetleri her bir ambarda değerlendirilir. Depodaki sipariş ve paylaşırma kararları, bir belirsiz zaman aralığı düzenlemesinde tüm ambarlarda beklenen ortalama maliyetleri minimize etmek için yapılmalıdır (Bollapragada ve diğerleri, 1998).

Dekker ve diğerleri (1998) çalışmalarında, 1-depo, N-bayili bir dağıtım sisteminde, kırılma miktarı kuralının envanter maliyetleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Kırılma miktarı kuralı, büyük siparişlerin depodan ve küçük siparişlerin en yakın bayiden dağıtılması olup,

kırılma miktarı kavramı bir siparişin küçük veya büyük olduğunu ayırdeder. Burada, talebin ve temin süresi talebinin normal dağıldığı düşünülmüştür. Ambardaki stoğun sadece büyük siparişleri karşılamak için kullanılabileceği ve temin süreleri boyunca talebin normal dağıldığı kabulleri altında envanter maliyetleri için bir tanım türetilmiştir.

Çoğu 1-depo N-bayi dağıtım sisteminde tüm müşteri talebinin bayilerce karşılandığı kabul edilmiştir. Bununla birlikte bazı çalışmalarda büyük siparişlerin ambardan dağıtılmasının, bayinin envanter maliyetlerinde dikkate değer bir azalmaya öncülük edebileceği gösterilmiştir. Burada, bu çalışmalar ambardaki envanter maliyetlerini içerecek şekilde genişletilmiştir. Burada, temin süresi talebine normal yaklaşım kullanılarak, kırılma noktalarının bir fonksiyonu olarak ortalama envanter maliyeti için bir tanım türetilmiştir (Dekker ve diğerleri, 1998).

Diks ve de Kok (1998), bir dağıtım sistemi veya bir üretim sistemi gibi değişken bir çok-aşamalı envanter sistemini dikkate almışlardır. Sistemin her bir noktasında siparişler periyodik olarak gerçekleşir (veya üretim başlar). Sipariş sabit bir temin süresinin ardından varır. Denge kabulü altında her bir noktanın kontrolünün bir azami sipariş politikası ile yapılmasının maliyet optimal olduğu kanıtlanmıştır. Optimum yenileme siparişi sistem ayırıştırması ile saptanabilir. Ayırıştırma, kompleks çok-boyutlu kontrol problemlerini basit tek-boyutlu problemlere indirger.

Hariga (1998), dizi halinde çeşitli montaj/işlem ve depolama tesislerinden oluşan tek-periyotlu bir üretim sistemi için stokastik bir model sunmuştur. Üretim sistemi, sipariş için montaj ve stoğa montaj politikalarının karma bir stratejisi altında işlem görür. Geliştirilen matematiksel model, daha önceki çalışmalardan daha basit ve daha kompakttır. Burada ayrıca serbest dağılım yaklaşımı altında talep dağılımının sadece ilk iki zamanının bilgisini kabul eden problem analiz edilmektedir. Bu yaklaşımın doğruluğu, farklı talep dağılımları kullanılarak yapılan genişletilmiş deneysel bir kıyaslama gerçekleştirilmesi suretiyle test edilmiştir. Son olarak, bu karma model bütçesel bazı etkiler dikkate alınarak genişletilmiştir.

Korugan ve Gupta'nın (1998) çalışması, geri dönüş akışına sahip iki-aşamalı bir envanter sistemini dikkate alır; ki burada talep ve geri dönüş oranı karşılıklı olarak bağımsız ve olasılıksaldır.

Ganeshan'ın (1999) çalışmasında, çok sayıda bayiye dağıtım yapan merkezi bir depoyu esas alan çok-aşamalı, çok tedarikçili bir üretim/dağıtım ağı için optimale-yakın (s,Q) tipi envanter

politikası sunulmaktadır. Model, üç bileşenin sentezidir: (i) bayilerdeki envanter analizi, (ii) depodaki talep prosesi, (iii) depodaki envanter analizi.

Burada, stokastik talep ve temin süreleri kullanılarak, çok tedarikçi, bir-depo, çok-bayi komponentlerini birleştiren bir model geliştirilmiştir. Bu çalışmada, tedarikçilerin ve bayilerin özdeş olduğu ve tedarikçilerin daima stoklu olduğu kabul edilmiş olup; model iki aşama ile sınırlandırılmıştır (Ganeshan, 1999).

Chen'in (1999) makalesi, müşteri talebinin Aşama 1'e vardığı, Aşama 1'in envanterini Aşama 2'den yenilediği, ve Aşama 2'nin dışsal bir tedarikçiye limitsiz stok ile sipariş verdiği iki-aşamalı bir envanter sistemini inceler. Müşteri talebinin sabit bir oranda sürekli olarak vardığı ve Aşama 1 stoksuz kaldığında biriktirildiği kabul edilir. Envanterin dışsal tedarikçiden Aşama 2'ye veya Aşama 2'den Aşama 1'e transferinde ölçek ekonomileri sözkonusudur. Burada, (R, Q) politikalarının %86 oranında etkin olduğu gösterilmiştir. (R, Q) politikalarının maliyet etkinliğine daha ileri bir kanıt olarak, nümerik örnekler de sunulmaktadır.

Van der Heijden ve diğerlerinin (1999) bu çalışması, stokastik temin sürelerine sahip çok aşamalı değişken sistemlerde tam bir envanter kontrolü ile ilgilenir. Dikkate alınan politika bir aşama stoğu, periyodik inceleme, azami sipariş (R,S) politikasıdır. Burada stokastik talep ve temin süreleri altında inceleme yapımıdır.

Van der Heijden (1999), merkezi bir depo ve çok sayıda (özdeş olmayan) lokal ambardan oluşan iki-aşamalı değişken bir ağda envanter kontrolünü incelemiştir. Geçmiş araştırmalar bu sistem tipi için, (R, S) azami sipariş kontrol kurallarının bir ayırma yaklaşımı kullanılarak elde edilebileceğini göstermiştir. Burada temin sürelerinin sabit ve deterministik olduğu, ve her periyottaki talebin stokastik ve zaman içinde düzenli olduğu kabul edilmiştir.

Axsater ve Zhang (1999), merkezi bir depoya ve birkaç özdeş bayiye sahip iki-aşamalı bir envanter sistemini dikkate almıştır. Bayiler düzenli ve düzensiz Poisson talep ile karşı karşıyadırlar. Envanter pozisyonları sürekli olarak izlenir. Ambar düzenli bir kurulum stoğu toplu-sipariş politikası kullanır, fakat bayiler yeni tip bir politika uygulurlar. Bayi envanter pozisyonlarının toplamı belirli bir "birleşik" yeniden sipariş noktasına indiğinde, en düşük envanter pozisyonuna sahip bayi toplu bir miktarı sipariş eder. Bu çalışmada maliyetlerin nasıl değerlendirilebileceği gösterilmiş ve bu politika bir kurulum stoğu ve bir aşama stoğu politikası ile kıyaslanmıştır.

Andersson ve Marklund (2000) çalışmalarında bir merkezi depo ve N özdeş olmayan bayiden oluşan iki-düzeyle bir dağıtım sisteminde merkezileşmemiş envanter kontrolüne yönelik bir

modeli dikkate almışlardır. Buradaki yaklaşım, bayilerin stokastik temin sürelerini belli ortalamalarla değiştirdiği, yaklaşık bir maliyet değerlendirme tekniğine dayanır. Optimale yakın sonuca ulaşmada normal dağılan talep dikkate alınmıştır.

Iida (2001) bu çalışmasında, düzensiz taleplere sahip, dinamik bir çok-aşamalı envanter problemini incelemiştir. Bu makalenin amacı, miyopa-yakın (near-myopic) politikaların çok-aşamalı envanter problemi için kabul edilebilir olduğunu göstermektir. Herbir aşamadaki temin süresinin sabit olduğu kabul edilmiştir.

Axsater (2001, a) çalışmasında, merkezi bir depo ve çok sayıda bayiden oluşan iki-aşamalı bir envanter sistemini dikkate almıştır. Nihai talep bayilerde gözlenir, ki bunlar stoklarını depodan yenilerler. Depo ise stoğunu bir dış tedarikçiden yeniler. Burada, merkezi bir depo ve birkaç bayiden oluşan bir çok-aşamalı envanter sisteminin merkezileşmemiş kontrolünde kullanılabilen bir maliyet yapısı sağlanmıştır. Bayideki talebin bağımsız Poisson süreçlerinden elde edildiği kabul edilmiştir.

Dğer çalışmasında Axsater (2001, b), stokastik talebe sahip iki-aşamalı bir dağıtım envanter sistemini incelemiştir. Sürekli inceleme (R,Q)-politikalarını incelemeye ve optimizasyona yönelik mevcut metotlar genelde nispeten düşük talep durumlarında çok etkindir. Yüksek talepli sistemler için bir değerlendirme oldukça zaman alıcıdır. Burada, yüksek bir talep sistemine düşük bir talep sistemi ile yaklaşan bir teknik önerilmekte ve değerlendirilmektedir. Gerçek müşteri talebi, standart sapma ve ortalama arasındaki oran korunarak ölçülür. Ardından, düşük talep sistemi optimize edilir. Son olarak, çözüm, orijinal yüksek talep sistemine uydurulmaktadır.

Burada sürekli inceleme ve bileşik Poisson talebe sahip iki-aşamalı bir envanter sistemi için yaklaşık bir optimizasyon metodu önerilmiş ve değerlendirilmiştir (Axsater, 2001b).

Chen ve Song (2001), Markov-modüllü talebe sahip çok-aşamalı bir seri envanter sistemini dikkate almışlardır. Rassal talep Aşama 1'e varır, Aşama 1 Aşama 2'ye sipariş verir, vb. ve Aşama N dışsal bir tedarikçiye limitsiz stok ile sipariş verir. Her bir periyottaki talep dağılımı dışsal bir Markov zincirinin mevcut durumu ile saptanır. Aşırı talep birikir. Lineer elde tutma maliyetleri her bir evrede gerçekleşir, ve lineer birikmiş sipariş maliyetleri Aşama 1'de gerçekleşir. Sipariş maliyetleri ayrıca lineerdir. Amaç, sistemdeki uzun dönem ortalama maliyetlerin minimize edilmesidir.

Nozick ve Turnquist'in (2001) makalesi, çok-ürünlü iki-aşamalı bir envanter sisteminde bağımsız ürünler için envanter yerleşimini ve dağıtım merkezlerinin yerleşimi analizlerinde

bu kararların entegrasyonunu optimize eden bir model sunar. Poisson talep süreci sözkonusudur.

Andersson ve Melchior (2001), merkezi bir depo ve keyfi sayıda bayiye sahip iki-aşamalı bir envanter sistemini dikkate almışlardır. Bayiler bağımsız Poisson süreçlerini izleyen müşteri talebi ile karşı karşıyadırlar ve stoklarını merkezi depodan yenilerler. Depo, döngü halinde, stoklarını dışsal bir tedarikçiden yeniler. Burada, tüm temin sürelerinin sabit olduğu kabul edilmiştir. Tüm kuruluşlar sürekli inceleme (S-1,S) politikalarını kullanır. Müşteri talebinin birikmiş siparişe yol açmasına izin verilmez.

Bu makale, bir depo, çok bayili envanter sistemi için (S-1,S) politikalarının değerlendirilmesi ve optimizasyonu için sezgisel bir model sunar. Değerlendirme tekniği bir çatı olarak iyi bilinen METRIC-yaklaşımını kullanır. Hesapsal açıdan bakıldığında sunulan teknik çok etkin ve basittir. Ayrıca nümerik sonuçlar performansın gerçekten iyi olduğunu gösterir (Andersson ve Melchior, 2001).

Chen ve diğ. (2002), bir tedarikçi ve çok sayıda bayiden oluşan iki-aşamalı bir envanter sistemini dikkate almışlardır. Bayiler stokastik, bağımsız müşteri talepleri ile karşı karşıyadırlar. Her bir yerleşim bir periyodik inceleme (R, nQ) veya lot-büyüklüğü yeniden sipariş noktası envanter politikasını uygular. Burada, her yerleşimin envanter pozisyonlarının düzenli olduğu, ve düzenli dağılımın üniform olup, bir diğer yerleşimden bağımsız olduğu gösterilmiştir.

Sleptchenko ve diğerlerinin (2002) çalışmasında, sonlu onarma kapasiteli, çok-aşamalı hizmet parçaları tedarik sistemleri incelenmiştir. Burada genellikle kullanılan bir yaklaşım olan, onarım biriminden yararlanma nispeten yüksek olduğunda sonsuz kapasitenin ve stok paylaşımının ciddi bir şekilde sistem performansını etkilediği gösterilmektedir. İyi bilinen VARI-METRIC metodu ağıdaki hizmet parçası stoklarını paylaşdırmak üzere modifiye edilmiştir. Buradaki prosedür kesikli olay simülasyonunun sonuçları ile kıyaslanarak doğrulanır.

Burada talebin düzenli Poisson proseslerine göre gerçekleştiği, onarım altındaki parçaların sayısından bağımsız olduğu kabul edilmektedir (Sleptchenko ve diğ., 2002).

Sonlu kapasiteli onarım birimleri otomatik olarak bağımlı onarım temin süreleriyle ilgilenir, çünkü ardışık işlerin bekleme zamanları doğal olarak ilişkilidir (Sleptchenko ve diğ., 2002).

Moinzadeh (2002) makalesinde, tek bir ürün, bir tedarikçi ve çok sayıda perakendeciden oluşan bir tedarik zinciri modelini dikkate almıştır. Perakendecilerdeki talep rassal, fakat

düzenlidir. Her perakendeci, tedarikçiye yönelik siparişlerini iyi bilinen (Q,R) politikasına göre gerçekleştirir. Tedarikçinin talep hakkında, tıpkı perakendecilerdeki ürünün envanter hareketleri hakkında olduğu gibi, güncel bilgiye sahip olduğu ve bu bilgiyi sipariş/yenileme kararlarını verirken kullandığı kabul edilmektedir.

Tee ve Rossetti (2002) çalışmalarında, özellikle Axsater'in (2000) incelediği, standart bir çok-aşamalı envanter sistemi modelinin güvenilirliğini incelemişlerdir. Modelin temel modelleme kabulerine aykırı olan durumlarda, (R,Q) envanter politikalarını kullanan bir ambar, çok bayılı, iki-aşamalı bir sistemin performansını tahmin etmek üzere bir simülasyon modeli geliştirilmiştir.

Bu makale, düzensiz bir Poisson talep süreci altında toplam sistem maliyetini tahmin etmede bir (R,Q) çok-aşamalı envanter modelinin davranışını değerlendirir. Ayrıca burada nakliye temin sürelerinin tüm durumlar için bir gün olduğu kabul edilmiştir (Tee ve Rossetti, 2002).

Rau ve diğerlerinin (2003) çalışmasının amacı, spesifik bir parça için çok-aşamalı bir envanter modeli geliştirmek ve tedarikçi, üretici ve satıcı arasında entegre bir perspektiften bakarak bileşik bir optimal toplam maliyet elde etmektir. Modelde tek tedarikçi, tek üretici ve tek satıcı dikkate alınmıştır. Elde bulundurmamaya izin verilmemiştir. Ayrıca, temin süresi önemsiz olarak kabul edilmiştir. Ve talep ve üretim oranlarının deterministik ve sabit oldukları düşünülmüştür.

Minner (2003) makalesinde, çok tedarik seçenekli envanter modellerini inceler ve tedarik zinciri yönetimine katkılarını tartışır. Ayrıca, tersine lojistik sistemleri ve çok-aşamalı sistemlerle ilgili alanlara ait ilgili envanter problemlerine de yer vermektedir. İnceleme çalışması kapsamında deterministik ve stokastik talep ve temin sürelerinin esas alındığı çalışmalara yer verilmiştir.

TZY konusundaki çoğu kantitatif analize, tek bir satıcı ve tek bir satın almacının veya tek bir satıcı ve çok sayıda satın almacının dikkate alındığı çok-aşamalı seri sistemler veya dağıtım sistemleri çatısı hakimdir. Çok tedarikçi ve tek/çok satınalmacılı duruma daha az önem verilmiştir. Bu makalede çok tedarikçili envanter modelleri hakkındaki literatür incelenmiş, ve TZY konularına potansiyel katkıları tartışılmıştır (Minner, 2003).

Giannoccaro ve diğerleri (2003), aşama stoğu kavramına ve bulanık küme teorisine dayanan bir TZEY politikasını tanımlamaya yönelik bir metodoloji sunarlar. Özellikle aşama stoğu kavramı tedarik zinciri envanterini entegre biçimde yönetmek için benimsenmiştir; bulanık küme teorisi ise pazar talebi ve envanter maliyetleri ile ilgili belirsizliği gerektiği gibi

modellemek için kullanılmıştır. Son olarak, simülasyon kullanılarak üç evreli tedarik zincirinin performansı değerlendirilmiş ve başarısı gösterilmiştir. Burada, belirsizlikle uğraşmada bulanık küme teorisinin katkısı; pazar talebini ve envanter maliyetlerini modellemeye uygunluğu belirtilerek, teorik perspektifte tartışılmıştır. Bu çalışmada temin sürelerinin deterministik ve sabit olduğu kabul edilmiştir.

Bu makale TZEY'nin iki ana konusunu işler; pazar talebiyle ve envanterle ilgili maliyetlerle ilişkili belirsizlik, ve tedarik zinciri kademeleri arasındaki sıkı entegrasyon gereksinimi. Özellikle global envanter yönetimi politikalarını tanımlayan bir metodoloji önerilmiştir; ki bunun uygulanması kolay ve tedarik zincirinin bütünü için optimale yakındır (Giannoccaro ve diğ., 2003).

Metodoloji, pazar talebi ve envanterle ilgili maliyetlerle ilgilenmede stokastik tekniklerden daha uygun olan bulanık küme teorisi ile, özellikle çevre (pazar) kompleks ve karışık olduğunda, belirsizliği tanımlar. Entegrasyon gereksinimi, envanter ve elde tutma maliyetlerini ölçmek üzere aşama kavramının adaptasyonu ile hesaba katılmıştır (Giannoccaro ve diğ., 2003).

Bulanık küme teorisinin belirsizlikle mücadeleye katkısı, pazar talebini ve envanter maliyetlerini modellemeye uygunluğuna dikkat çekilerek, teorik perspektifte tartışılmıştır. Daha ileriki çalışmalar için tedarikçi temin süreleri veya gerçek teslim miktarları gibi diğer belirsizlik kaynaklarıyla ilgilenilmesi önerilmektedir (Giannoccaro ve diğ., 2003).

So ve Zheng'in (2003) makalesinde, yarı iletken üreticilerince tecrübe edilen ve yüksek düzeyde sipariş miktarı değişkenliğine katkıda bulunabilen iki önemli faktörü analiz etmek üzere bir analitik model kullanılmaktadır: Tedarikçinin temin süresi ve talep tahmin güncellemesi. Burada, tedarikçinin değişken teslimat temin süreleri ve harici taleplerin korelasyonunun, tedarik zincirinde aşağıdaki üyenin sipariş miktarlarının değişkenliğini nasıl artırabildiğini incelemek için iki-düzeyle bir tedarik zinciri (bir bayi ve bir tedarikçili) kullanılmıştır.

Bu çalışmada, bir tedarikçinin teslimat temin süresi performansının müşterilerinin sipariş dalgalanmalarını nasıl etkileyebileceğini incelemek üzere iki-aşamalı bir tedarik zinciri modeli kullanılmıştır. Özel olarak bu iki-aşamalı tedarik zinciri bir bayi ve bir tedarikçiden oluşur. Bayi tedarikçiden tek bir parçayı satın alır ve bu parçayı bazı dışsal taleplerini karşılamak üzere kullanır (Alternatif olarak, bayinin, tedarik zincirinde alt kademe bir üretici olduğu ve tedarikçiden satın alınan parçayı kendi ürünlerine montajda kullandığı

düşünülebilir). Ayrıca, bayinin karşılaştığı dışsal taleplerin birbirini izleyen iki zaman periyodu arasında ilişkili olduğu ve bayinin gelecek talep tahminlerini güncellemek için en son talep bilgisini kullandığı kabul edilir. Ayrıca, tedarikçinin teslimat temin sürelerinin değişken olduğu ve bayinin sipariş miktarlarından etkilendiği kabulü de söz konusudur (So ve Zheng, 2003).

Kalchschmidt ve diğerlerinin (2003) çalışması, bir çok-aşamalı yedek parça tedarik zincirindeki envanterlerin yönetilmesi için entegre bir sistem tanımlar; ki bu tedarik zincirinin aynı düzeyinde farklı büyüklükte müşteriler yer alır. Burada, olasılıksal tahmin ve envanter yönetimi aracılığıyla algoritmik bir çözüm sağlanır.

Makale, literatüre üç yoldan katkıda bulunur: Bir yandan, yönetsel çözümler ve tedarik zinciri yapısı arasındaki tutarlılık, işlemsel performansı artırmaya imkan tanır. Diğer yandan, farklı endüstriyel durumları karakterize eden bir problem için yeni bir çözüm sağlar. Ve en sonunda, daha büyük ve daha güvenilir bilgi kümesinin işletilmesinin dikkate değer bir şekilde performansı artırdığının altını çizer (Kalchschmidt ve diğ., 2003).

Tang ve Grubbström (2003), iki düzeyli bir montaj sisteminde alt düzeydeki parçalar için stokastik temin sürelerinin ve bitmiş parçalar içinse deterministik talebin geçerli olduğu detaylı bir koordinasyon problemini incelemişlerdir. Burada, toplam stoksuzluk ve envanter elde tutma maliyetlerini minimize etmek amacıyla optimal planlanan temin sürelerinin tespitine yönelik genel formüller geliştirilmiştir.

Bu makalede, sabit talep oranı ve dışsal olarak saptanan bir lot büyüklüğü söz konusu olan tek-aşamalı ve iki-aşamalı birer montaj sisteminde optimal planlanan temin sürelerinin hesaplanmasına yönelik modeller sunulmuştur. Optimal çözümlerin üst ve alt sınırları ile ilgili teoremler öne sürülmüştür. İki-aşamalı sistemin sonuçları tek-aşamalı sisteminkilere benzemektedir. Ayrıca, hangi parçanın küçük bir temin süresine sahip olması ve sonuç olarak optimal çözüm sağlaması gerektiğini tanımlamak için teoremler ve bir prosedür sağlanmıştır. Bu modelin muhtemel bir uygulaması, temin süreleri ve talep stokastik ve deterministik kabulleri sağladığında, bir üretim-envanter sisteminde yeniden sipariş noktalarını hesaplamaya ve koordine etmeye yönelik olmalıdır (Tang ve Grubbström, 2003).

Son kullanıcı talep bilgisi, bir tedarik zincirinde yukarıya doğru ilerlerken, gecikme ve değişmeden dolayı zarar görür. Tedarik zincirindeki organizasyonlar arasındaki talep bilgisi paylaşma yoluyla sağlanan koordinasyon, bu değişmeye karşı koymaya yönelik olası bir çözümdür. Bununla birlikte, tedarik zincirlerinin modellenmesi ve analizi, tedarik

zincirlerinin çeşitli aşamalar içermesinden ve belirsiz talep ve temin süreleri ile karşı karşıya olmasından dolayı kolay bir iş değildir. Çok-aşamalı tedarik zincirlerinin her bir aşama düzeyinde farklı envanter ve tahmin politikaları benimsemesi için, simülasyon en uygun analiz araçlarından birisidir. Bu çalışmada Ng ve diğerleri (2003), çok-aşamalı tedarik zincirlerinin modellenmesi ve analizinde bir simülasyon işlem sırasının gelişimini tanımlamışlardır.

Martel'in (2003) çalışması, oldukça genel stokastik talep süreçlerini ve satınalma, nakliye, envanter ve stoksuzluk maliyet yapılarını içeren çok-aşamalı tedarik-dağıtım ağlarında malzeme akışını yönetmek için geçen planlama aralığı politikalarının geliştirilmesine yöneliktir. Öncelikle problem bir stokastik program şeklinde formüle edilmiştir, ve bunun deterministik programına “riski yüksek etkili talepler” anlayışına dayanan bir çok-aşamalı lot büyüklüğü modeli ile yaklaşılmaktadır. Ardından, bu yaklaşık modelin bir dağıtım kaynakları planlaması ayrıştırması sunulmaktadır. Son olarak, bir dizi simülasyon denemesi yoluyla buradaki planlama politikaları ile elde edilen çözümler, emniyet stoklarını kullanan klasik bir dağıtım kaynakları planlaması ile verilen çözümlerle kıyaslanmıştır. Sonuçlar, önerilen yaklaşımın önemli gelişmeler sağladığını göstermektedir.

Dong ve Lee (2003), Clark ve Scarf'ın (1960) “Opimal policies for a multi-echelon inventory problem” adlı öncül çalışmasında vurguladığı çok-aşamalı seri envanter sistemiyle ilgili olarak üç anahtar sonuç geliştirmiştir. Birinci olarak, toplam sistem maliyetine yönelik olarak, optimum aşama envanter seviyeleri ve bir üst sınır için basit bir alt-sınır yaklaşımı sağlanmıştır. İkinci olarak, Clark ve Scarf'ın optimum stoklama politikası yapısının tahminde gelişme için bir Martingale modeli kullanılarak zamanla-ilişkili talep süreçleri altında kaldığı gösterilmiştir. Üçüncü olarak ise, zaman-ilişkili talep süreci yaklaşımı genişletilmiştir.

Envanter/fiyatlama modellerinde bir fiyat-talep ilişkisi gerektiğinde sıklıkla uygun (tipik olarak lineer) bir fonksiyon keyfi olarak seçilir. Genel bir yargı olarak herhangi bir aşağı-eğimli talep eğrisi benzer sonuçlar ortaya çıkaracaktır. Lau ve Lau'nun (2003) bu çalışmasında, basit bir envanter/fiyatlama modeli için farklı talep eğrisi fonksiyonları kullanılmıştır ve genel yargı bir tek-aşama sistemi için geçerliken, farklı talep eğrisi fonksiyonlarının kabulünün bir çok-aşamalı sistemde çok farklı sonuçlara öncülük edebileceği gösterilmiştir.

Bu çalışma bir-aşamalı, iki-aşamalı ve üç-aşamalı sistemleri dikkate alır. Bir-aşamalı sistem hem üretim, hem de bayilik yapan entegre bir işletmeden oluşur. İki-aşamalı sistemde üretici ve bayi iki farklı varlıktır. Üretici toptan birim fiyatı w 'yi oluşturur, ardından bayi sipariş

miktarı Q ve birim bayi fiyatı p 'yi oluşturarak yanıt verir. Üç-aşamalı sistemde üretici toptancıya birim fiyat W 'dan satış yapar, toptancı bayiye w 'den satarak yanıt verir, ardından bayi Q ve p 'yi oluşturarak yanıt verir.

Bu çalışmada dikkate alınan talep eğrileri şu şekildedir: Lineer, izo-elastic, üssel ve cebirsel eğriler (Lau ve Lau, 2003).

Axsater (2003), merkezi bir depoya ve birkaç bayiye sahip iki-aşamalı bir dağıtım envanter sistemini dikkate almıştır. Bayiler stokastik talep ile karşı karşıyadırlar. Sistem, verilen toplu miktarlar ile sürekli inceleme kurulum stoğu (R,Q) politikaları yoluyla kontrol edilmektedir. Tüm lokasyonlarda lineer elde tutma maliyetleri ve bayilerde lineer karşılanmamış sipariş maliyetleri görülür. Burada, yeniden sipariş noktalarının yaklaşık optimizasyon için basit bir teknik sunulmaktadır. Tekniğin anlamı, hem bayi talebi ve hem de ambardaki talep, yani bayilerden gelen siparişler, için normal yaklaşımlar kullanıldığıdır.

Minner ve diğerleri (2003) çalışmalarında, üretim esnekliğinin merkezi bir depo ve birkaç lokal stok noktasından oluşan bir dağıtım ağındaki envanter yatırımı üzerindeki etkisini incelemişlerdir.

Bu tip esnekliğin etkisinin incelenmesi için merkezi bir depo ve çok sayıda bayiden oluşan tek ürün/iki-aşamalı bir model dikkate alınmıştır. Bayiler stokastik talep ile karşı karşıyadır. Depodaki, bayilerden gelen siparişlerin temin süresi sabittir, fakat farklı bayiler için farklı olabilir. Üreticideki, depodan ürüne gelen siparişlerin temin süresi sabittir, fakat kısaltılabilir. Hem depo, hem de bayiler periyodik inceleme aşama-azami sipariş politikalarına göre sipariş verirler. İnceleme periyodu depo ve bayiler için aynıdır (Minner ve diğ., 2003).

Mitra ve Chatterjee (2004a) çalışmalarında, De Bodt ve Graves'in (1985) "Continuous-review policies for a multi-echelon inventory problem with stochastic demand" adlı makalelerinde geliştirdikleri iki-aşamalı seri sistem modelini incelemişlerdir. Model, uygulama bakış açısı altında hızlı hareket eden ürünler için analiz edilmiştir, ve yalnızca uygulamayı dikkate alan, fakat ayrıca belli şartlar altında modelin gelişmesine liderlik eden bir modifikasyon önerilmiştir. Modelin önerilen modifikasyonu çok-aşamalı ve iki-aşamalı montaj sistemleri için genişletilebilir.

Çok aşamalı envanter sistemlerinde karar verme genelde bilginin kullanılabilirliğiyle kolaylaşmaktadır. Mitra ve Chatterjee'nin (2004b) çalışmasında, periyodik-inceleme altında, bir-depo iki-bayiden oluşan bir sistemde talep bilgisinden yararlanmanın etkileri incelenecektir. Temin süreleri deterministiktir ve küçüktür.

Bu koşullar altında değerlendirildiğinde, depodaki düzeyin dinamik olarak güncel talep bilgisine dayanarak belirlenmesi, sistemin tümünde beklenen toplam maliyeti azaltır (Mitra ve Chatterjee, 2004b).

Parker ve Kapuscinski (2004) alışmalarında, kapasiteli seri çok-aşamalı üretim/envanter sistemleri için optimum politikaları göstermişlerdir. Clark ve Scarf'ın (1960) retim kapasite limitlerine sahip kuruluşları içeren modeli genişletilerek, modifiye bir aşama temel-stok politikasının alt kuruluşun daha küçük bir kapasitesi olduğu takdirde iki-aşamalı bir sistemde optimum olduğu gösterilmiştir. Optimum yapının hem düzenli, hem de düzensiz stokastik müşteri talebine sahip olduğu gösterilmiştir. Belirli-aralık ve belirsiz-aralık sonuçları, indirilmiş-maliyet ve ortalama-maliyet kriterleri altında yer almaktadır. Burada talep stokastik ve periyoddan bağımsızdır.

Chen ve Lee'nin (2004) bu çalışmasında, belirsiz pazar talebi ve ürün fiyatlarının söz konusu olduğu çok-aşamalı tedarik zinciri ağı için çeşitli ölçülemez hedeflerle uğraşan çok-rnl, çok-aşamalı ve çok-periyotlu bir çizelgeleme modeli önerilmiştir. Belirsiz pazar talepleri, bilinen olasılıklarla belirli sayıda kesikli senaryo şeklinde modellenmiştir ve satıcıların ve satın alıcıların ürün fiyatları üzerinde uyuşmaz tercihlerini tanımlamada bulanık kümeler kullanılmıştır. Burada, tüm çizelgeleme periyotlarında, ürün taleplerinin çeşitli senaryoları bilinen olasılıklarla tahmin edilmiştir.

Kiesmüller ve diğerleri (2004), değişken bir çok-aşamalı ağda merkezileşmemiş envanter kontrolünü dikkate almışlardır. Tüm stok noktaları sürekli inceleme (s,nQ)-kurulum stoğu politikaları ile kontrol edilmektedir. Stok noktalarından daha önceki birimlere yöneltilen siparişlerin beklemek zorunda kalabileceği gerçeğinden dolayı, bu gecikme keyfi bir yenilemenin temin süresinde birleştirilebilir.

Bu makalenin temel katkısı, sonuçların, stokastik nakliye zamanlarına, keyfi lot büyüklüklerine ve birleşik yenileme talebine sahip keyfi değişken çok-aşamalı sistemlere uygulanabilmesi gerçeğidir (Kiesmüller ve diğ., 2004).

Seferlis ve Giannelos (2004) tarafından, bağımsız üretim hatlarına sahip çok-rnl, çok-aşamalı bir tedarik zinciri için iki-aşamalı optimizasyon-tabanlı kontrol yaklaşımı sunulmuştur. Kontrol stratejisi tüm ağ için çok değişkenli model tahminli kontrol prensiplerini kullanır. Optimizasyon-tabanlı kontrol planı, sistemin detaylı bir fark modeli kullanılarak tanımlanmış geçen bir zaman aralığında en az operasyon maliyeti ile müşteri siparişlerini karşılamak için tedarik zincirindeki karar değişkenlerini ayarlamayı amaçlar.

Simüle edilen sonuçlar hem stokastik, hem de deterministik talep değişkenlikleri altında iyi dinamik performans göstermiştir.

Chiang ve Monahan (2005), iki-aşamalı çift-kanallı bir envanter modeli sunmuşlardır. Bu modele göre, stoklar hem bir üretici deposunda (üst aşama), hem de bir perakende ambarında (alt aşama) saklanmaktadır ve ürün iki kanaldan elde edilebilir: Bir geleneksel perakende mağazası ve bir internet-destekli direkt kanal.

Bu çalışmada, üst aşamada bir depolu bir üreticiden ve alt aşamada bir bayi ambarından oluşan iki-aşamalı bir sistem düşünülmüştür. Üretici, ürünlerini dağıtmak için hem geleneksel perakende mağazasını, hem de internet-olanaklı kanalı kullanır.

Sistem, iki müşteri segmentinden de stokastik talep kabul eder (Chiang ve Monahan, 2005).

Jalbar ve diğerleri (2005a), bir-depo ve N-bayiden oluşan bir çok-aşamalı envanter sistemini incelemişlerdir. Amaç; birim zamandaki ortalama maliyeti minimize eden durağan politikaları saptamaktır. Burada, yokluğa/kıtlığa izin verilmez ve temin süreleri önemsizdir. Dış müşteri talep oranlarının biliniyor ve sabit olduğu kabul edilmiştir.

Jalbar ve diğerleri (2005b) bu çalışmada, merkezi bir depo ve N bayiden oluşan çok aşamalı bir dağıtım/envanter sistemini incelenmişlerdir. Bayiler envanterlerini, döngü halinde bir dış tedarikçiye sipariş veren ambardan yenilerler. Müşteri talebi her bir bayiye sabit bir oranda varır. Yokluğa/kıtlığa izin verilmez ve temin süreleri önemsizdir. Burada, optimale yakın politikaları hesaplamak için sezgisel bir prosedür önerilmiştir.

Johansen'in (2005) çalışmasında, Poisson talebe, ihmal edilebilir hazırlık maliyetlerine ve Erlang temin sürelerine sahip bir tek-parça envanter sistemi dikkate alınmıştır. Sistemin temel-stok politikası ile kontrol edildiği kabul edilmektedir. Temin sürelerinin bağımsız ve stokastik olarak bağımlı olma durumları kıyaslanmıştır.

Chandra ve Grabis (2005), sipariş büyüklükleri otoregresif modeller kullanılarak elde edilen çok adımlı tahminlere göre hesaplandığında kamçı etkisinin nasıl olacağını ölçmüşlerdir. Burada, otoregresif talep altında, bir bayi ve bir distribütörden oluşan iki-evreli bir tedarik zincirinde envanter yönetimi dikkate alınmıştır. Temin süresi deterministik olarak kabul edilmiştir.

Liberopoulos ve Koukoumialos'ın (2005) çalışmasında, çok-aşamalı üretim/envanter sistemlerinin kontrolüne yönelik olarak kullanılan gelişmiş talep bilgisine sahip temel stok

politikaları ve hibrit temel stok/kanban politikalarının planlanan tedarik temin süreleri, kanban sayıları ve optimale-yakın temel stok düzeyleri arasındaki etkileşim araştırılmıştır.

Burada, tek-aşamalı ve iki-aşamalı üretim/envanter sisteminde tedarik temin süresi boyunca beklenen talebi karşılamak ve maliyetli geri dönüşlere yol açabilen üretim veya talepteki belirsizliklere karşı sistemi korumak için, herhangi bir talep varmadan önce optimal temel stok düzeyleri, kanban sayıları ve planlanan tedarik temin süreleri arasındaki ilişkiler nümerik olarak incelenmiştir (Liberopoulos ve Koukourmialos, 2005).

Liang ve Huang'ın (2005) çalışması, bir tedarik zincirini simüle etmek üzere çok-ajanlı bir sistem geliştirir; ki burada ajanlar bu varlıkları farklı envanter sistemleri ile işletir. Ajanlar, bilgiyi paylaşarak ve tahmin ederek bir tedarik zincirindeki toplam maliyeti minimize etmek ve envanteri kontrol etmek için koordine edilmişlerdir. Talep genetik algoritmalarla tahmin edilmiştir ve sipariş miktarı her aşamadaki “sistemsel düşünme” perspektifi ile birleştirilerek tahmin edilmiştir.

Seifbarghy ve Jokar'ın (2005) dikkate aldığı envanter sistemi, sürekli inceleme (R,Q) envanter politikası ile kontrol edilen, merkezi bir depo ve çok sayıda özdeş bayiden oluşur. Bayiler için sabit nakliye zamanlarının sözkonusu olduğu bağımsız Poisson talepler ve depo için dışsal bir tedarikçiden gelen yenileme siparişleri için sabit bir temin süresi çalışmada yapılan kabullerdendir.

Routroy ve Kodali (2005), tedarik zinciri envanter sermayesi, tedarik zinciri sipariş/hazırlık maliyeti ve tedarik zinciri envanter stok bulundurmama maliyetini kapsayan toplam sistem maliyetini minimize etmek için bir bayi, bir depo ve bir üreticiden oluşan seri bir tedarik zincirinin envanter planlaması (yani sipariş/üretim miktarının ve her bir üyenin hizmet düzeyinin saptanması) için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Her bir aşamada envanteri izlemek için sürekli inceleme (Q,r) politikası kullanılmıştır. Talebin ortalama oranının sabit olduğu ve zaman içerisinde talebin normal dağıldığı kabul edilmiştir. Ayrıca temin süresinin sabit olduğu kabulü de sözkonusudur.

Çok-yerleşimli envanter modelleri matematiksel envanter teorisinde en çok incelenen alanlardan biri olduğu halde, analitik olarak izlenebilen metotlar çeşitli kısıtlayıcı kabullerden zarar görmektedir. Bu kısıtlamaların üstesinden gelmek için simülasyon kullanılabilir. Bununla birlikte, simülasyon bir optimizasyon yaklaşımı değildir. Köchel ve Nielander (2005), bir simülatörün uygun optimizasyon aracı ile birleştiği noktada simülasyon optimizasyon yaklaşımını önermektedirler. Bu çalışmada, simülasyon optimizasyonunun, çok

genel çok-aşamalı envanter sistemlerinde optimum politikaların tanımlanmasında kullanılabileceği gösterilmiştir. Bu yaklaşımın kullanılabilirliği nümerik bir örnekle gösterilmiştir.

Temin süresinin sıfır ve rassal olduğu durumlara göre; ve talep karakteristiklerinin oransal olarak Poisson veya keyfi süreç ve boyut olarak sabit veya rassal olduğu durumlara göre incelemeler yapılmıştır (Köchel ve Nielander, 2005).

Han ve Damrongwongsiri'nin (2005) amacı, modern global TZY problemine yönelik olarak stratejik bir kaynak paylaşımı modeli kurmaktır. Burada, çok sayıda talep-tedarikçi ağ problemine sahip stokastik çok-periyotlu iki-aşamalı envanteri tanımlamak için matematiksel bir model oluşturulmuştur. İki-evreli optimizasyon süreci yoluyla optimum çözümleri türetmek üzere Genetik Algoritmalar kullanılmıştır. Her bir periyottaki talep, normal veya üssel dağılımlar gibi bir olasılık dağılımıyla gösterilebilmektedir. Burada, ambarlar ürünleri kaynaklarından satın aldığında, temin süresinin söz konusu olmadığı kabul edilmiştir.

Tez kapsamında literatür incelemesinin özeti niteliğinde bir tablo hazırlanmış ve Çizelge 2.2'de sunulmuştur.

Çizelge 2.2 Literatür taramasına ilişkin özet tablo

Yazar, Yıl	Araştırma Tekniği	Aşama Sayısı	Envanter Sistemi/ Politikası	Talep Kabulü	Temin Süresi Kabulü	Kesin/ Yaklaşık Çözüm	Amaç
Forsberg (1996)	Matematik modelleme ve simülasyon	2-bir depo, N farklı bayi	Sürekli inceleme (R,Q)** politikaları	Stokastik-Poisson	Sabit	Kesin	İki-aşamalı bir envanter sistemi için elde tutma ve yokluk maliyetlerinin kesin olarak nasıl değerlendirileceğinin gösterilmesi
Graves (1996)	Matematik modelleme ve simülasyon	2-bir merkezi depo, çeşitli bayiler	Sipariş yükseltme politikası	Stokastik	Deterministik	Yaklaşık	Stokastik talepli çok-aşamalı envanter sistemlerinin incelenmesi için yeni bir model geliştirilmesi
Verrijdt ve de Kok (1996)	Matematik modelleme ve simülasyon	2-bir merkezi depo, çok sayıda son stok noktası	Sipariş yükseltme politikası	Stokastik	Sabit	Yaklaşık	Belli durumlarda hizmet performansını geliştirmek ve dengesizlik kavramını genelleştirmek için iki ayarlama metodunun sunulması
Thomas ve Griffin (1996)	Literatür İncelemesi	2 veya daha çok aşama	-	-	-	-	Tedarik zincirinin iki veya daha fazla aşaması arasında koordineli planlamayı tanımlayan literatürün incelenmesi
Yoo ve diğ. (1997)	Sezgisel bir metot	2-bir merkezi dağıtım merkezi, N bölgesel dağıtım merkezi	Yeniden sipariş noktası politikası ve sabit sipariş aralığı politikası	Olasılıklı	Sabit	Yaklaşık	Çok-aşamalı dağıtım ağının çizelgelenmesi için gelişmiş bir dağıtım kaynakları planlaması metodu önerilmesi
Moinzadeh ve Aggarwal (1997)	METRIC modeli ve simülasyon	2- bir depo ve M bayi	(S-1,S)** tipi envanter sistemi	Rassal ve Stokastik - Poisson	Deterministik	Yaklaşık	Siparişlerin geri kalan temin süreleri bilgisini kullanan bir sipariş/hızlandırma politikasının önerilmesi ve test edilmesi
Mohebbi ve Posner (1998)	Matematik modelleme ve simülasyon	1- iki veya daha fazla tedarikçi	Sürekli inceleme envanter sistemi- bir (s,Q)** politikası	Stokastik - Bileşik Poisson	Stokastik- Üstel dağılmış	Kesin	Bir kayıp satış envanter sistemi bağlamında çift kaynaklamaya karşılık tek kaynaklama probleminin kesin bir iyileştirilmesinin sunulması
Bollapragada ve diğ. (1998)	Matematik modelleme ve simülasyon	2- çeşitli depolara tedarik sağlayan tek bir depo	Temel stok politikası- Depoda optimal	Stokastik	Sabit	Yaklaşık	Eppen ve Schrage'ın çalışmasının, özdeş olmayan depolara izin verecek şekilde, genelleştirilmesi

			taahsis politikası				
Dekker ve diğ. (1998)	Matematik modelleme ve simülasyon	2- bir depo, N bayi	-	Stokastik - Normal dağılmış	Stokastik- Normal dağılmış	Kesin	Envanter elde tutma maliyetleri üzerinde kırılma miktarı kuralının etkisi altında bir anlayış sağlanması
Diks ve de Kok (1998)	Matematik modelleme	Farklılaştırılan N aşama	Sürekli inceleme sipariş yükseltme politikası	b.ö.d.*	Sabit	Kesin	Her periyotta beklenen elde tutma ve ceza maliyetlerinin minimize edilmesi
Hariga (1998)	Matematik modelleme	N aşama	Montaj ve siparişin birleşik bir stratejisi ve önceden montaj politikaları	Stokastik – Farklı talep dağılımları	-	Yaklaşık	Seriler halinde çeşitli montaj/işlem ve depolama tesislerinden oluşan bir tek-periyot üretim sistemi için stokastik bir model sunulması
Korugan ve Gupta (1998)	Matematik modelleme ve simülasyon	2- bir depo ve N bayi, ve bir depo ve M müşteri	Sürekli bir (Q, r)** envanter politikası	Talep oranı olasılıklı	-	Yaklaşık	Sonlu tampona sahip açık bir kuyruk ağının kullanımı ile iki-aşamalı bir envanter sisteminin modellenmesi
Ganeshan (1999)	Matematik modelleme ve simülasyon	3- çok sayıda bayi, bir depo ve çeşitli tedarikçiler	Optimale yakın bir (s,Q)**-tipi envanter politikası	Stokastik	Stokastik	Yaklaşık	Bir üretim/dağıtım ağı için optimale-yakın (s,Q) tipi envanter-lojistik maliyet minimizasyonu modeli sunulması
Chen (1999)	Matematik modelleme	2- müşteri talebi Aşama 1'e gelir, Aşama 1 envanterini Aşama 2'den, ve Aşama 2 dışsal bir tedarikçiden yeniler	(R,Q)** politikası	Deterministik	Sıfır	Yaklaşık	Sistemdeki (uzun dönem ortalama) toplam maliyetin minimizasyonu
Van der Heijden ve diğ. (1999)	Matematik modelleme ve simülasyon	2- ve ardından N aşamaya genişletilir	Sürekli inceleme sipariş yükseltme (R,S)** politikası	Stokastik	Stokastik	Yaklaşık	Stokastik talep ve temin süreleri altında tamamlayıcı (R,S) envanter kontrolü ile çok aşamalı aykırı ağların analizi için bir algoritma geliştirilmesi
Van der Heijden (1999)	Matematik modelleme ve simülasyon	2- merkezi bir depo ve çok sayıda (özdeş	Sipariş yükseltme (R, S)** politikası	Stokastik ve zaman içinde durağan	Sabit ve deterministik	Yaklaşık	Her aşamasında farklı nakliye sıklıkları olan iki aşamalı bir dağıtım sisteminde kontrol parametrelerinin türetilmesi için hesapsal bir

		olmayan) lokal depolar					metot sunulması
Axsater ve Zhang (1999)	Matematik modelleme	2- merkezi bir depo ve çok sayıda özdeş bayi	Depo, düzenli bir kuruluş stok yığın-sipariş politikası kullanır	Stokastik – Durağan ve bağımsız Poisson talep	Sabit	Kesin	Maliyetlerin nasıl değerlendirilebileceğinin gösterilmesi ve politikanın hem bir kuruluş hem de bir aşama stok poltikası ile kıyaslanması
Andersson ve Marklund (2000)	Matematik modelleme ve simülasyon	2- bir merkezi depo ve N özdeş-olmayan bayi	Bir kuruluş stok (R,Q)** politikası	Stokastik – Normal dağılmış	Stokastik	Yaklaşık	İki-aşamalı bir dağıtım sisteminin merkezileşmemim kontrolü için kavramsal olarak basit bir modelin analizi
Axsater (2000)	Matematik modelleme ve simülasyon	2- bir merkez depo ve N bayi	Sürekli inceleme kuruluş stoku (R,Q)** politikaları	Stokastik – Bağımsız bileşik Poisson talep	Sabit	Kesin	Bayi envanter düzeylerinin tam olasılık dağılımlarını sağlayan kontrol politikalarının kesin bir değerlendirilmesi için bir metot sunulması
Iida (2001)	Markov karar süreci	N- aşamalı seri envanter sistemi	Miyopa-yakın politika	Stokastik - Değişken	Sabit	Yaklaşık	Çok-aşamalı envanter problemi için miyopa-yakın politikaların kabul edilebilir olduğunun gösterilmesi
Axsater (2001a)	Stackelberg oyunu	2- merkezi bir depo ve çok sayıda bayi	S veya (R,Q)** politikaları	Stokastik - Bağımsız Poisson süreçlerinden türetilmiş	Sabit	Yaklaşık	Bir çok-aşamalı envanter sisteminin merkezileşmemiş kontrolü için kullanılabilecek bir maliyet yapısı sağlanması
Axsater (2001b)	Matematik modelleme ve simülasyon	2- aşama dağıtım envanter sistemi	Sürekli inceleme (R,Q)** politikaları	Stokastik	Sabit	Yaklaşık	İki-aşamalı bir envanter sisteminin optimizasyonu için yaklaşık bir metot önerilmesi ve değerlendirilmesi
Chen ve Song (2001)	Markov karar süreci	N- aşama seri envanter sistemi	Duruma bağlı (s,S)** politikası	Markov-ayarlı talep	Sabit	Kesin	Sistemdeki uzun dönem ortalama maliyetlerin minimizasyonu
Nozick ve Turnquist (2001)	Matematik modelleme	2- çok-ürünlü bir envanter sistemi	-	Stokastik – Poisson	-	Kesin	Tekil ürünler için envanterin lokasyonunun optimizasyonuna yönelik bir model sunulması ve dağıtım merkezleri için bütünleşme lokasyon analizleri
Andersson ve Melchior	METRIC modeli	2- bir merkezi depo ve keyfi	Sürekli inceleme, (S-	Stokastik – Bileşik	Sabit	Yaklaşık	Bir depo, çok bayili envanter sistemi için bir sezgisel metot ile (S-1,S) politikalarının

(2001)		sayıda bayi	1,S)** politikaları	Poisson talep			değerlendirilmesi ve optimize edilmesi
Chen ve diğ. (2002)	Markov karar süreci	2- bir tedarikçi ve çok sayıda bayi	Bir periyodik inceleme (R,nQ)**, veya lot-boyutu yeniden sipariş noktası envanter politikası	Stokastik, bağımsız talepler	Sabit	Kesin	Her bir lokasyonun envanter pozisyonlarının durağan olduğunun, ve durağan dağılımın uniform ve birbirinden bağımsız olduğunun gösterilmesi
Sleptchenko ve diğ. (2002)	VARI-METRIC modeli	Çok-aşamalı, çok-çok-parçalı tedarik sistemleri	(S-1,S)** envanter politikası	Stokastik – Durağan Poisson süreçleri	Bağımlı onarım temin öğeleri	Yaklaşık	Genel olarak kullanılan bir kabul olan sonsuz kapasitenin, onarım biriminden yararlanma görelisi olarak yüksek olduğunda, ciddi şekilde sistem performansını ve stok dağıtım kararlarını etkileyebileceğinin gösterilmesi
Moinzadeh (2002)	Matematik modelleme ve simülasyon	2- bir tedarikçi ve M özdeş bayi	(Q, R)** politikası	Stokastik – Rassal, fakat durağan	Sabit	Kesin	Tedarikçi için bir yenileme politikası önerilmesi ve işlem ölçütleri için kesin bir analiz sunulması
Tee ve Rossetti (2002)	Simülasyon	2- bir depo, çok bayili sistem	(R,Q)** envanter politikası	Stokastik - Düzensiz Poisson talep süreçleri	Bir gün	Yaklaşık	Çok-aşamalı envanter sistemlerinin standart bir modelinin sağlamlığının test edilmesi, özellikle Axsater'in (2000) tartıştığı modeller
Rau ve diğ. (2003)	Matematik modelleme	3- tek tedarikçi, tek üretici ve tek bayi	-	Talep oranı deterministik ve sabit	İhmal edilebilir	Kesin	Bozulan bir parça için çok-aşamalı bir envanter modelinin geliştirilmesi ve tedarikçi, üretici ve satıcı arasında entegre bir perspektiften birleşik optimal bir toplam maliyetin türetilmesi
Minner (2003)	Literatür incelemesi	-	-	-	-	-	Çok tedarikçili envanter modelleri literatürünün incelenmesi ve TZY konularına potansiyel katkılarının tartışılması
Giannoccaro ve diğ. (2003)	Simülasyon ve bulanık küme teorisi	N- aşama seri sistem	Aşama periyodik-inceleme kontrol politikası	Bulanık	Deterministik ve sabit	Yaklaşık	Aşama stoku ve bulanık küme teorisi kavramlarına dayanan, bir tedarik zinciri envanter yönetimi politikasını tanımlayan bir metodolojinin sunulması
So ve Zheng (2003)	Matematik modelleme	2- bir bayi ve bir tedarikçi	Sipariş yükseltme politikası	Stokastik – b.ö.d.*	Değişken ve bayinin sipariş miktarlarından etkilenir	Yaklaşık	Yarı iletken üreticilerince tecrübe edilen yüksek oranda sipariş miktar değişkenliklerine katkıda bulunabilen iki önemli faktörün analiz edilmesi: Tedarikçinin temin süresi ve talep

							güncellemesinin tahmini
Kalchschmidt ve diğ. (2003)	Olasılıklı tahmin ve envanter yönetimi ile sağlanan algoritmik bir çözüm	1 ve 2- merkezi depo, bir-aşamalı ve iki-aşamalı bir tedarik zincirinde tek taraflı olarak hizmet sunar	Sipariş yükseltme politikası	Stokastik – Değişken ve inişli çıkışlı	-	Yaklaşık	Farklı büyüklükte müşterilerin tedarik zincirinin aynı düzeyinde bulunduğu bir çok-aşamalı yedek parça tedarik zincirinde envanterlerin yönetimi için entegre bir sistem tanımlanması
Tang ve Grubbström (2003)	Matematik modelleme ve simülasyon	2- aşama montaj sistemi	Parti-parti politikası	Sabit ve deterministik	Stokastik	Yaklaşık	Yerel stoksuzluk ve envanter elde tutma maliyetlerinin minimizasyonu
Ng ve diğ. (2003)	Simülasyon	N- aşama tedarik zinciri	Aşama düzeyinde farklı envanter politikaları	Belirsiz	Belirsiz	Yaklaşık	Çok-aşamalı tedarik zincirlerinin analizi ve modellenmesi için bir simülasyon çatısı geliştirilmesi
Martel (2003)	Simülasyon	N ve nümerik örnek için 3- aşama	(S-1,S)** politikası	Stokastik	Önceden planlanan bir tamsayı	Yaklaşık	Çok-aşamalı tedarik-dağıtım ağlarındaki malzeme akışlarının yönetilmesi için dalgalı planlama ufku politikalarının geliştirilmesi
Dong ve Lee (2003)	Matematik modelleme	M- aşama seri periyodik inceleme envanetr sistemine nümerik örnek için 3- aşama	Bir aşama temel-stok envanetr politikası, sipariş yükseltme S politikası	Otoregresif bir talep modeli; b.ö.d.*	Temin sürelerinin etkisini görmek için değişken	Yaklaşık	Clark ve Scarf'ın (1960) zamanla ilişkili talep sürecine yönelik yaklaşımının genişletilmesi
Lau ve Lau (2003)	Stackelberg oyunu	1- entegre bir işletme 2- üretici ve bayi 3- üretici, toptancı ve bayi	-	Farklı talep-eğrisi fonksiyonları (Lineer, iso-elastik, üstel, ve cebirsel)	-	Yaklaşık	Basit bir envanter/fiyatlama modeli için farklı talep-eğrisi fonksiyonlarının uygulanması ve elde edilen farklı sonuçların gösterilmesi
Axsater (2003)	Matematik modelleme ve simülasyon	2- merkezi bir depo ve çok sayıda bayi	Verilen yığın miktarları ile sürekli inceleme kuruluş stoku (R,Q)**	Stokastik	Sabit ve stokastik	Yaklaşık	Yeniden sipariş noktalarının yaklaşık optimizasyonu için basit bir teknik sunulması

			politikaları				
Minner ve diğ. (2003)	Markov karar süreci	2- merkezi bir depo ve çok sayıda yerel stok noktaları	Sürekli inceleme aşama-sipariş yükseltme politikaları	Stokastik	Sabit, farklı bayiler için farklı olabilir	Yaklaşık	Merkezi bir depo ve çok sayıda yerel stok noktasından oluşan bir dağıtım ağında üretim esnekliğinin envanter yatırımları üzerindeki etkisinin incelenmesi
Mitra ve Chatterjee (2004a)	Matematik modelleme	2- taleple karşılaşan Aşama 1 Aşama 2'den tedarik sağlar, Aşama 2 ise dışsal bir kaynaktan	İç içe ve aşama stok tabanlı politika altında sürekli inceleme (R,Q)** sistemi	Stokastik	Birleşik ve deterministik	Yaklaşık	De Bodt ve Graves'in (1985) "Continuous-review policies for a multi-echelon inventory problem with stochastic demand" adlı makalelerinde geliştirdikleri modelinin incelenmesi ve bir modifikasyon önerilmesi,
Mitra ve Chatterjee (2004b)	Matematik modelleme ve simülasyon	2- bir depo, iki bayi	Periyodik inceleme envanter politikası	Stokastik – Durağan, bağımsız ve normal dağılımı	Deterministik	Yaklaşık	Bir çok-aşamalı sistemde talep bilgisinden yararlanmanın etkisinin incelenmesi
Parker ve Kapuscinski (2004)	Matematik modelleme (Dinamik programlama) ve Markov karar süreci	2- aşama sistem	Modifiye bir aşama tabanlı stok politikası (MATSP)	Stokastik ve periyottan bağımsız	Tamsayı ve temin süresi modeli MATSP politikasını izler	Kesin	Yetkili seri çok-aşamalı üretim/envanter sistemleri için optimal politikaların gösterilmesi
Chen ve Lee (2004)	Kesikli senaryo tabanlı yaklaşım, bulanık mantık ve matematik modelleme	Çok-aşama, çok-ürün ve çok-periyot çizelgeleme sistemi	-	Stokastik – Talebin farklı senaryoları bilinen olasılıklarla tahmin edilir	Bulanık	Yaklaşık	Belirsiz pazar talebi ve ürün fiyatına sahip bir çok-aşamalı tedark zincir ağı için çoklu kıyaslanamaz hedeflerin tartışılması
Kiesmüller ve diğ. (2004)	Simülasyon	N- aşama ve nümerik örnek için 2 ve 3 aşama	Continuous review (s,nQ)**- installation stock policy	Stokastik – Bileşik yenileme talebi	Stokastik	Yaklaşık	Ayrık bir çok-aşamalı dağıtım ağının performans karakteristikleri için analitik yaklaşımlar türetilmesi
Seferlis ve Giannelos (2004)	Matematik modelleme ve simülasyon	4- iki üretim düğümü, iki depo düğümü, dört	Merkezileşme-miş bir emniyet envanter control	Stokastik ve deterministik talep	-	Yaklaşık	Deterministik tedarik zinciri ağı modelindeki belirsizliğin iyileştirilmesi, bir dalgalı-dönem, model-tahminli kontrol yaklaşımının önerilmesi

		dağıtım merkezi ve 16 bayi düğümü	politikası	değişimleri			
Chiang ve Monahan (2005)	Markov karar süreci ve senaryo analizi	2- bir üretici depo ve bir bayi	Bire bir yenileme envanter kontrol politikası	Stokastik	Stokastik – Bağımsız üstel rassal değişkenler	Kesin	Müşterilerin inceleme oranlarının kanal performansı üzerindeki etkisinin analizi ve iki-aşamalı çift-kanallı bir modelin sunulması
Jalbar ve diğ. (2005a)	Matematik modelleme, Schwarz sezgiseli, Graves ve Schwarz prosedürü, Muckstadt ve Roundy yaklaşımı ve $O(N \log N)$ sezgiseli	2- bir depo ve N-bayi	Tek-çevrim-politikalar	Talep oranlarının bilindiği ve sabit olduğu kabul edilir	İhmal edilebilir	Yaklaşık	Her birim zamanda ortalama maliyeti minimize eden tek-çevrim politikaların saptanması
Jalbar ve diğ. (2005b)	Roundy prosedürü ve $O(N \log N)$ sezgiseli	2- bir depo ve N-bayi	İççe politika	Her bayiye sabit oranda varır	İhmal edilebilir	Yaklaşık	Optimale-yakın politikaların hesaplanması için sezgisel bir süreç sunulması
Johansen (2005)	Markov karar süreci, simülasyon ve Erlang'ın zarar formülü	Tek parça envanter sistemi ve sıralı bir tedarik sistemi	Temel-stok politikası	Stokastik - Poisson	Stokastik-Erlang	Yaklaşık	Seri bir tedarik sistemi ve Erlang temin süreleri ile bir kayıp-satış envanter modeli için optimal temel-stokun nasıl hesaplanacağını incelenmesi
Chandra ve Grabis (2005)	Simülasyon ve istatistiksel analiz	2- bir bayi ve bir dağıtıcı	Bir sipariş yükseltme politikası ve MRP	Otoregresif talep	Deterministik	Yaklaşık	Seri bağlı dışsal talep durumunda kamçı etkisinin sayısallaştırılması
Liberopoulos ve Koukoumialos (2005)	Simülasyon	Tek-aşama ve 2-aşama üretim/envanter sistemleri	Temel stok politikası ve hibrit tabanlı stok/kanban politikası	Rassal olarak sabit talep temin süresi ile varır	Analitik ve sabit bir temin süresi parametresi	Yaklaşık	Temel stok politikalarında ve hibrit temel stok/kanban politikalarında optimale-yakın temel-stok düzeyleri arasındaki etkileşimin, kanban sayılarının, ve planlanan tedarik temin sürelerinin incelenmesi

Liang ve Huang (2005)	Ajan-tabanlı sistem, genetik algoritma, bira oyunu ve istatistiksel analiz	4- tedarikçi (P sistemi), üretici (Q sistemi), dağıtıcı (P sistemi) ve bayi (opsiyonel sistem)	(P Q P O) envanter politikası- Periyodik inceleme (P), sürekli inceleme (Q) ve opsiyonel (O) sistemler	Talep bir genetik algoritma ile tahmin edilir	Temin süresi, verisi ajanların kontrolü ile toplanır	Yaklaşık	Bir tedarik zincirini simüle etmek için bir çok-ajanlı sistem geliştirilmesi
Seifbarghy ve Jokar (2005)	Matematik modelleme (deterministik) ve simülasyon	2- bir merkezi depo ve çok sayıda özdeş bayi	Sürekli inceleme envanter politikası (R,Q)**	Stokastik - Bağımsız Poisson talebi	Sabit	Yaklaşık	Tüm kuruluşlarda verilen yığın büyüklükleri için optimal yeniden sipariş noktalarının bulunmasına yönelik yaklaşık bir maliyet fonksiyonu geliştirilmesi
Routroy ve Kodali (2005)	Matematik modelleme ve diferansiyel genişleme algoritması	3- bir bayi, bir depo ve bir üretici	Bir sürekli inceleme politikası (Q,r)**	Stokastik - Normal dağılımı	Sabit	Yaklaşık	Toplam sistem maliyetinin minimize edilmesi, ör; tedarik zinciri envanter sermayesi, tedarik zinciri sipariş/hazırlık maliyeti ve tedarik zinciri envanter stoksuzluk maliyeti
Köchel ve Nielander (2005)	Simülasyon ve genetik algoritmalar	5- fabrika deposu, merkezi stok, bölgesel depo, şube mağaza ve bayi satış noktası	Sürekli inceleme, sipariş noktası, sipariş miktarı stratejisi (s,Q)**	Stokastik - Poisson, sabit veya rassal	Sıfır veya rassal	Yaklaşık	Simülasyon optimizasyonunun, çok genel çok- aşamalı envanter sistemlerinde optimal politikaların tanımlanması için başarıyla uygulanabildiğinin gösterilmesi
Han ve Damrongwon g-siri (2005)	Matematik modelleme ve genetik algoritmalar	2- I sayıda depo ve J sayıda pazar	Bir (t,S)** kontrol politikası	Stokastik – Olasılık dağılımı ile temsil edilir (normal veya üstel)	Temin süresi yok	Yaklaşık	Modern global tedarik zinciri probleminin kompleksliğinin yakalanması ve azaltılması için stratejik bir kaynak paylaşırma modelinin kurulması

*b.ö.d. = bağımsız ve özdeş dağılımı

** (Q,r), (Q,R), (R,Q), (R,nQ), (s,Q), (s,nQ) stok düzeyi yeniden sipariş noktası r, R veya s' 'ye düştüğünde Q veya nQ kadar bir sipariş gerçekleştirilir (s,S), (S-1,S) stok düzeyi S' 'ye eşittir (sipariş yükseltme düzeyi) ve her talep derhal bir yenileme parçası için bir talep üretir (R,S) her R periyodunda merkezi yetkili bir yenilenme siparişi verir ki, bu aşama envanter pozisyonunu S düzeyine çıkarır (t,S) envanter, envanter sipariş düzeyi S için, çizelgeleme periyodu t' 'ye göre yenilenecektir

3. ÇOK-AŞAMALI ENVANTER KARARLARI VE MODELLERİ

Burada öncelikle çok-aşamalı tedarik zincirlerinde bütünleşme ve kontrol konularına değinilmekte, ardından bunları sağlamaya yardımcı olmak üzere envanter yönetimine ilişkin kullanılan genel ve özel modeller tanıtılmakta ve açıklanmaktadır. Bu genel modeller, tez kapsamında geliştirilen modeller için de bir temel oluşturmaktadır.

3.1 Bütünleşik Tedarik Zinciri Yönetimi

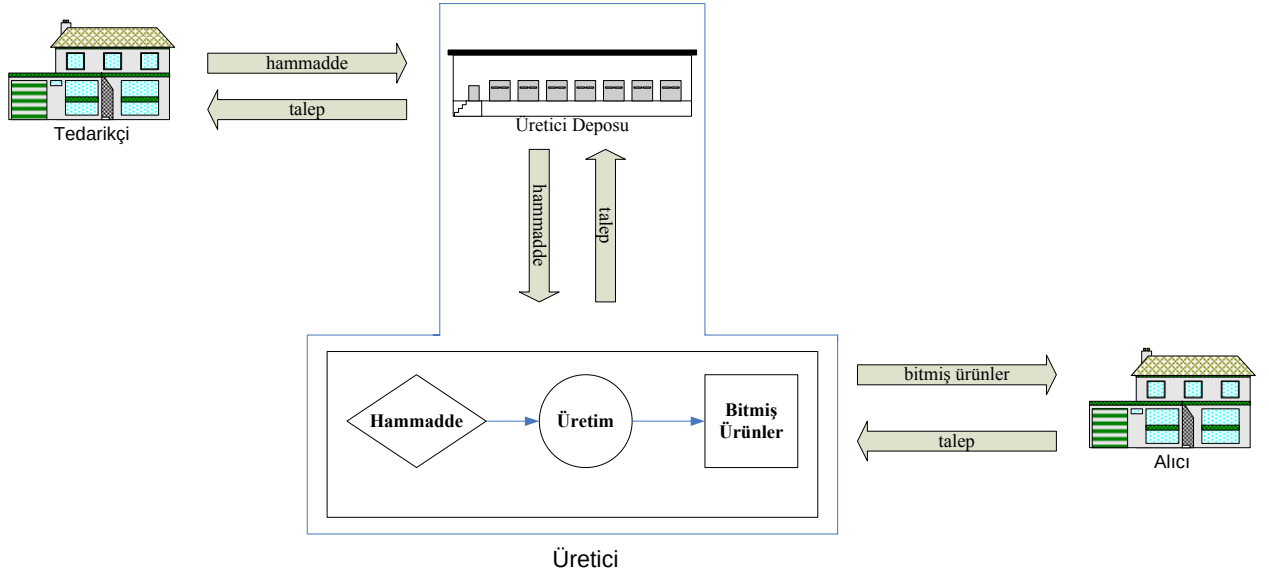
Çevrenin daha rekabetçi hale gelmesiyle birlikte, tedarik zinciri yönetimi birçok yazarın ilgi konusu olmuştur (Rau ve diğ., 2003). Çoklu lokasyon ve katmanlar boyunca kararların koordinasyonunu içeren tedarik zinciri yönetimi için en iyi uygulama iş süreçlerinin bütünleşmesidir. Pratikte işletmeler, birbirleri arasındaki satış ve reklam bilgilerini paylaşarak tedarikçi yönetimli envanter ile işbirlikçi planlama, tahmin ve ikmalin entegre olmasına çabalarlar (Sherman, 1998). Bütünleşme boyutu ürün tasarımı ile başlamakta ve son olarak satışa kadar olan tüm adımları kapsamaktadır (Şekil 3.1) (Power, 2005).

“Bütünleşik tedarik zinciri” kavramı, son on yıldır popülerlik kazanmıştır. Bu beraberinde üretim ve tedarik stratejilerinde değişiklik getirmiş ve global rekabet düzeylerini artırmıştır (Handfield ve Bechtel, 2002; Ragatz ve diğ., 2002). Firmalar, rekabetçi olmak için, rakiplerinden daha yüksek kalitede ürünler sunmaları ve daha ucuz fiyatlara sahip olmaları gerektiğinin farkına varmışlardır. Bunun anlamı, firmaların yalnızca üretim tekniklerini geliştirmelerinin yeterli olmadığı, müşteri talebi ile tedarik faaliyetinin entegrasyonuna odaklanmaları gerektiğidir (Frohlich ve Westbrook, 2001; Stump ve diğ., 2002). Bu gelişmeler, geri dönüşü maksimize etmek için düşük maliyetle, zamanında, yüksek kaliteli ürünlerin teslimatını yönlendirir. Bu ayrıca, tedarikçileri, üreticileri ve müşterileri bağlayan bütünleşme kavramına yol açar (Calantone ve diğ., 2002). Eğer firma tüketiciye üstün değer teslimini amaçlıyorsa, işletmelerin değer/tedarik zincirlerine (değişen dereceler için) tedarikçileri bağlamak için ortaya çıkan konular kritiktir (Ragatz ve diğ., 2002). Ayrıca, tedarikçi bütünleşmesinin maliyet azaltımı, teslimat kalitesi, ve daha kısa çevrim zamanı ile ilgili olarak önemli gelişmelere öncülük edeceği gösterilmiştir (Cousins ve Menguc, 2005).

Frohlich ve Westbrook (2001), bütünleşme konusunun iş süreci literatüründe bir önceliği olduğunu göstermişlerdir, firmanın üretim süreçleri ve tedarik zinciri arasında daha büyük bir koordinasyon için uğraşırlar, bu yüzden müşteri “kusursuz” bir etkileşim hisseder. Bu yaklaşım, ayrıca stratejik işbirliği literatüründe de desteklenir; ki burada yazarlar iş süreçlerinin etkili işbirliğinin yalnızca iş politikalarının ve stratejilerinin iki parti arasında

dayanıklı bütünleşmesi sözkonusu olduğunda gerçekleştirilebileceğini gösterirler (Cousins ve Menguc, 2005).

Literatürün bir kısmında, bütünleşik tedarik zinciri sistemlerinin optimizasyonu için modeller kurulmuştur. Goyal (1976), alıcı ve tedarikçi için birleşik toplam maliyet fikrini ilk olarak sunmuştur. Cohen ve Lee (1988), bütünleşik tedarik zinciri sistemindeki her kademedeki tüm malzemeler için bir malzeme ihtiyaç politikası kurmaya yönelik bir model geliştirmişlerdir. Pyke ve Cohen (1993), bütünleşik sistemin analizi için dahili rassal değişkenlerin değerlerini hesaplamak için stokastik alt-modeller kullanmışlardır. Tzafestas ve Kapsiotis (1994), bir tedarik zincirini optimize etmek için deterministik bir matematik programlama yaklaşımı geliştirmeye yönelik olarak bir simülasyon metodu uygulamıştır. Kim ve Ha (1997), JIT kavramları ve minimal birleşik toplam maliyet üretmek için küçük lot büyüklükleri ile birlikte bütünleşik bir envanter modeli geliştirmişlerdir. Gyana ve Bhaba (1999), hammaddelerin tedariği için optimal bir çoklu sipariş politikasını dikkate almışlardır. Hamaddeler ve bitmiş ürünler için toplam envanter maliyetini minimize etmek için tek bir üretim sistemi geliştirilmiştir. Ganeshan (1999), ambar ve bayiler için toplam lojistik maliyetlerini minimize eden bir sipariş miktarı (s, Q) -tipi envanter politikası, optimale-yakın bir yeniden sipariş noktası sağlamıştır. Wang (1999), kısa ürün yaşam çevrimli bir ürün için fiyat-duyarlı rassal talebi karşılamak için çalışan üreticinin ve dağıtıcının kararlarını koordine etme problemini adreslemek için bir iskelet geliştirmiştir. Yang ve Wee (2000), alıcılar ve satıcıların her ikisi için de bütünleşik bir bozulan ürün envanter modeli geliştirmişlerdir; alıcının bağımsız kararı ile karşılaştırıldığında bu bütünleşik yaklaşımın etkili bir maliyet azaltımı ile sonuçlandığı gösterilebilir. Bununla birlikte, bu yaklaşım model geliştirmeyi basitleştirmek için sürekli sevkiyat kabulü yapar. Rau ve diğerlerinin çalışması (2003), bu kabulü benimsemeyerek tedarikçi, üretici ve alıcı arasında bütünleşik bir envanter modelini dikkate alır.



Şekil 3.1 Bütünleşik tedarik zinciri sistemi (Power, 2005)

Literatür, tedarik zinciri entegrasyonu için iki farklı yaklaşım önerir (üretim firmalarına uygulanmış yaklaşımlar). İlki “ileriye yönelme” bütünleşmesi olarak bilinir; bütünleşme tedarik zinciri boyunca tedarikçiden üreticiye ve müşteriye olmak üzere ileriye doğru yönetilir (Trent ve Monczka, 1998). Bu yaklaşım, tam zamanında üretimin ilgili alanlarını (Choi ve Hong, 2002) ve tedarik zincirinde yığın uyarlamasını (Berman, 2002) içine alma eğilimindedir (Cousins ve Menguc, 2005).

Bütünleşmenin ikinci tipi “geriye yönelme” olarak bilinir. Bu, bilgi akışının müşteriden üreticiye ve tedarikçiye doğru koordinasyonunu gerektirir (Trent ve Monczka, 1998). Bu doğrultudaki bilgi akışları firmanın müşteri isteklerine direkt olarak yanıt vermesine izin verir ve çoklu organizasyonlar veya ağlar aracılığı ile koordine edilebilir. Bu bilgi akışları önceleri elektronik veri değişimi (EDI-electronic data interchange) ile mümkün olmaktaydı. Bu teknoloji şimdi internet ve elektronik ticaretin ortaya çıkışı ile bunlarla yer değiştirmiştir (Rossenbloom, 2002; Cousins ve Menguc, 2005).

Bu yöndeki çalışmalar, ileriye veya geriye yönelmenin bütünleşmesine ulaşmak için, firmanın doğru tedarik zinciri ilişkilerine sahip olması gerektiğini gösterirler. Bu yalnızca müşteri talebi bakımından bilgi akışını geliştirmekle kalmaz, ayrıca tedarik zincirinin inovasyon geliştirme gibi daha yüksek değer eklenen konulara yanıt vermesine izin verir. Tedarik zinciri entegrasyonu ve sosyalizasyonu kavramları birbirleriyle yakın ilişkilidir. Sosyalizasyon, bütünleşme faaliyetinin gerçekleşmesine izin vermek için mekanizma sağlar. Örneğin; çapraz

fonksiyonel takımlar, projeler bazında personel değişimi, kaizen çalışmalarına katılma ve diğer takım yapılandırma egzersizleri gibi dahili sosyalizasyon mekanizmaları dahili iletişimin değiş tokuşunu kolaylaştırır ve dışsal ilişki yapılandırma faaliyetlerine yardım edebilecek firmadaki ilişkileri geliştirmeyi mümkün kılar (Cousins ve Menguc, 2005).

Bütünleşik bir tedarik zinciri modelinin üç ana elemanı vardır; bilgi sistemleri (bilgi ve finansal akışın yönetimi), envanter yönetimi (ürünün ve malzeme akışının yönetimi) ve tedarik zinciri ilişkileri (ticari ortaklar arasındaki ilişkilerin yönetimi) (Power, 2005). Bütünleşme çalışmaları küresel tedarik zinciri tasarımı da etkilemektedir. İyi koordine edilmiş bütünleşik bir tedarik zinciri taklit edilemeyeceğinden rekabet avantajını arttırıcı bir unsurdur.

Tedarik zinciri entegrasyonu, operasyon yönetimi disiplini ve uygulama için temel bir mücadele alanıdır. Tedarik ağlarındaki çoğu ilerleme iletişim ve bilgi teknolojisi alanlarındaki gelişmelerle sağlanmıştır. Gelişme olanaklarına rağmen, hala bütünleşme kavramı hakkında cevaplanması gereken birçok soru vardır. Bir yandan, içsel süreçleri dışsal tedarikçilerle ve müşterilerle ilişkilendiren bazı ifadeler vardır ve bunlar, bütünleşmenin stratejik önemi konusunda başarı ve araştırmacılar arasında bir fikir birliği için ön koşuldur (Stevens, 1989). Diğer yandan, bütünleşme çok iyi tanımlanmamış bir kavramdır ve deneysel olarak ölçülmesi zordur (Frohlich ve Westbrook, 2001). Farklı endüstri tiplerindeki tedarik zinciri uygulamaları, bütünleşmenin farklı şekillerde anlaşılabilirliğini veya özel bir yönünün vurgulanabileceğini gösterir. Gıdaların tedarikinde, örneğin; bütünleşme, bilginin şeffaflığı ile aynı anlamda görünmektedir ve çoğu çaba iletişim ve bilginin paylaşımına odaklanmıştır (ör; Satış noktası verisi ve işbirlikçi planlama, tahmin ve ikmal). Otomotiv endüstrisinde bütünleşme, JIT ve yalın üretim gibi kavramlarla yakından ilişkilidir. Burada odak nokta, düşük stok düzeyleri ve kısa temin süreleri ile üretim kademelerinin birleştirilmesidir. Görünüşte, tedarik zincirinin farklı karakteristikleri farklı bütünleyici uygulamalara liderlik eder. Bu olgunun bir açıklaması, farklı karakteristiklerin, düzgün malzeme ve bilgi akışına yönelik çabası içinde tedarik zinciri üyelerinin farklı engellerle uğraşmasına neden olabileceğidir. Bununla birlikte, tedarik zinciri karakteristikleri arasındaki ilişkinin kesinliği ve bütünleşme engelleri henüz yeterince anlaşılmamıştır. Ayrıca, farklı tipteki engellerle uğraşmanın en iyi yolu net değildir (Van der Vaart ve Van Donk, 2004).

Literatürde, tedarik zinciri yönetimi veya faaliyetlerine yönelik genel olarak kabul görmüş bir tanım yok gibi görünmektedir (New, 1996; Bechtel ve Jayaram, 1997; Croom ve diğ., 2000; Tan, 2001). Aynı şey bütünleşik tedarik zincirleri için de sözkonusudur. Bununla birlikte,

tedarik zinciri yönetiminin ve entegrasyonunun hedefleri konusunda küçük bir anlaşmazlık vardır. Naylor ve diğ. (1999), bütünleşik bir tedarik zincirinin hedefinin malzeme, nakit, kaynak ve bilgi akışını kolaylaştırmak için tüm sınırları uzaklaştırmak olduğunu belirtirler. Tedarik zinciri yönetimi ve operasyon yönetimi alanlarındaki çoğu girişim, bu sınırların kaldırılmasına veya daha genel olarak engellerin kaldırılmasına yönelmiştir (Van der Vaart ve Van Donk, 2004).

Operasyon yönetimi ve üretim ekonomisi alanlarında çok-kademeli tedarik kontrolü, Van der Vlist ve diğerleri (1997) tarafından tanımlanan bütünleyici bir kavramdır. Çok-kademeli tedarik kontrolü kavramında, tedarikçi ürün ve süreç yapısının çeşitli kademelerinde adım adım kontrol edilir. Van der Vlist ve diğerleri (1997) şunu kanıtlamaya çalışırlar ki: “ürüne yönelik sipariş için montaj endüstrilerinde çok-kademeli tedarik kontrolü son derece güçlü bir tedarik zinciri kontrol mekanizması sunar. Ayrıca stoğu elimine eder, tedarikçilerle süreçleri bütünleştirir ve genişletilmiş bir kurum yaratır” (Van der Vaart ve Van Donk, 2004).

Bütünleşmeyi gerçekleştirmenin önündeki önemli bir engel grubu, tedarik zincirinin üyeleri arasındaki ilişkilerle bağlantılıdır. İyi bilinen örnekler, ilişkilerde güven eksikliği veya üyelerin işbirliğine gönülsüz olmalarıdır. Christopher ve Jüttner (2000), güven inşasının, uzun vadeli karşılıklı avantajlar elde etmek için temel bir öncelik olduğunu belirtirler, ki bu ilişkiyel engellerin eliminasyonu anlamına da gelir. Ayrıca, tedarik zincirlerinde gücün rolü de bu bağlamda önemlidir. Cox’a göre (2001): “Bütünleyici tedarik zinciri yaklaşımları, genişletilmiş alıcı üstünlüğü veya genişletilmiş alıcı ve tedarikçi bağımsızlığının olduğu tedarik zinciri yapılarında en iyi şekilde işler”. Bu yüzden, bir tedarik zincirinde güç rejimi, ayrıca, düzgün bilgi ve malzeme akışlarının yaratılmasını engelleyen olası bir engel olarak da düşünülebilir. Diğer yandan, güç, belirli engellerin eliminasyonu için de kullanılabilir (Van der Vaart ve Van Donk, 2004).

3.2 Tedarik Zinciri Yönetiminde Kontrol Stratejileri

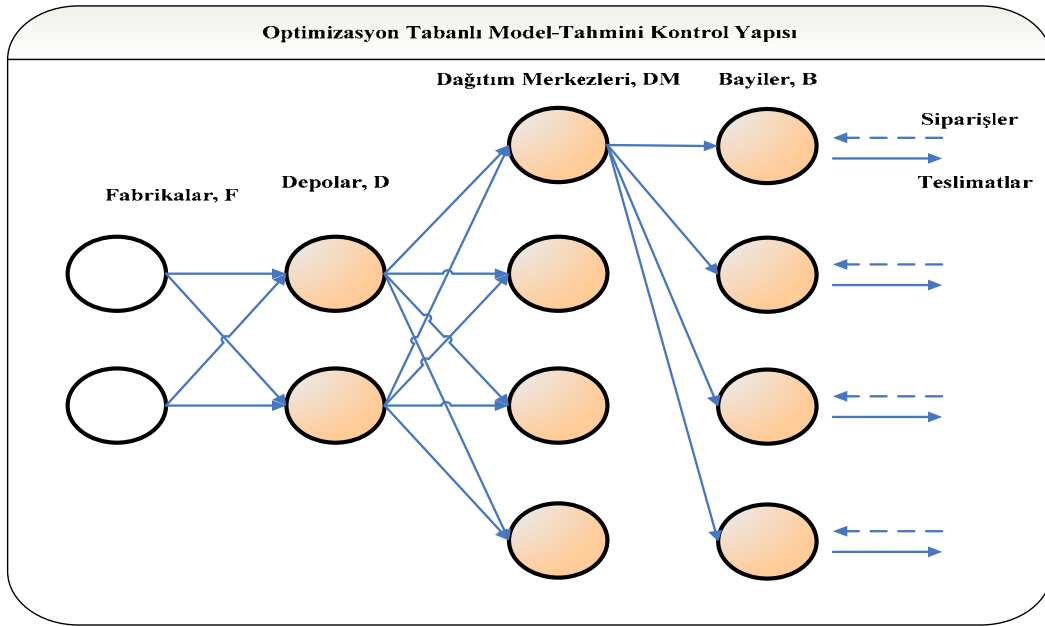
Tedarik zinciri yönetimi, son müşteri gereksinimlerini karşılamak için her zaman periyodunda çok sayıda karar almayı gerektirir. Toplam tedarik zinciri performansı çok boyutludur ve direkt veya endirekt olarak, hizmet kalitesi ve toplam işletim maliyetleri gibi bazı faktörlerden etkilenir. Bu faktörlerin genellikle rekabet etmesi koşuluyla, takaslar ve uzlaşmalar en iyi performansa ulaşmak için gereklidir. Ürünlerin, birbirini izleyen aşamaları birleştiren, izin verilen rotalarda ilişkili nakliye maliyetleri ile akışı, ürünlerin ilişkili depolama ve envanter maliyetleri ile ağ düğümlerindeki envanterleri (envanterin üretimine yönlendirilen varlıklar),

müşteri talep tatmininin olduğu kadar dikkate alınması gereken önemli ana faktörlerdir (Seferlis ve Giannelos, 2004).

Kontrol sistemi, talep belirsizliğinin etkisine rağmen tedarik zincirini optimal noktada işletmeyi amaçlar. Kontrol sistemi, talep belirsizliği ve değişkenliğinin zararlı etkilerini başarıyla yatıştırmaya yönelik olarak, anlamlı ve tanımlayıcı maliyet performans göstergeleri ve mekanizmaları aracılığıyla optimal işletim politikasını algılamak için yerleşik yeteneklere sahip olmayı gerektirir. Tedarik zinciri ağı için kontrol stratejisinin ana amaçları şu şekilde özetlenebilir: (i) müşteri tatminini maksimize et, ve (ii) tedarik zinciri işletim maliyetlerini minimize et. İlk hedefe, bir zaman periyodu boyunca bekleyen siparişlerin (yani karşılanmamış siparişler) minimizasyonu ile ulaşılabilir, çünkü karşılanmamış talep işletme ismi ve ardından gelecek talep ve toplam gelirler üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. İkinci hedefe, nakliye ve envanter maliyetlerini içeren; ki bu sonradan tedarik zinciri ağına depolama maliyetleri ve envanter varlıkları olarak bölünebilir, işletim maliyetlerinin minimizasyonu ile ulaşılabilir (Seferlis ve Giannelos, 2004).

Tedarik zincirleri için uzun vadeli analizler, ekonomik rekabet açısından optimal envanter kademelerinin sürdürülmesini gerektirir. Envanterler, üretim ve depolama için yüksek maliyetlere dönüşür. Diğer yandan, envanter kademeleri, ürün talebindeki karışıklığın ve dalgalanmaların etkilerini azaltabilir. Talep varyasyonu, depolama faaliyetlerinin geçerli olduğu düğümlerdeki envanter düzeylerini kuvvetli bir şekilde etkiler. Kontrol, optimal operasyonu sürdürürken, envanter kademelerinin kabul edilebilir limitlerde kalmasını gerektirir.

Envanterin hedef düzeylerde muhafaza edilmesinin genellikle hizmet kalitesinden daha az önemli olduğu düşünüldüğünde, ikinci bir katman ortaya çıkar. Envanter kademelerinin çabuk ayarlanması, gelen akışı üst ağ düğümlerinden sona doğru beceriyle yönlendiren basit geri besleme kontrolcülerini ile gerçekleştirilir. Atanan tek bir kontrolcü her bir depolama düğümündeki her bir ürünün envanterini muhafaza eder. Her bir düğümdeki envanter kontrolünün göreceli olarak hızlı dinamikleri, bundan dolayı, tüm ağ için toplam kontrol amaçlarından ayrılır. Toplam kontrol çatısında (Şekil 3.2) geri besleme envanter kontrolcülerinin birbirleriyle temas kurması sözkonusudur (Seferlis ve Giannelos, 2004).



Şekil 3.2 Optimizasyon tabanlı modelin şematik gösterimi: Çok-aşamalı bir tedarik zincirinde tahmini kontrol yapısı (Seferlis ve Giannelos, 2004)

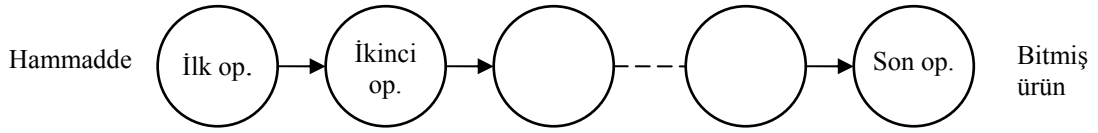
3.3 Çok-Aşamalı Envanter Yönetimine Yönelik Genel Modeller

3.3.1 Çok-Aşamalı Deterministik Envanter Modelleri

Burada, dışsal talep oranlarının kesinlikle bilindiği basit durumlarla ilgilenilir. Bunun idealizasyon olduğu kabul edilse de, çeşitli nedenlerle çalışılması önemlidir. İlk olarak, model farklı aşamalarda, değiştirme miktarları arasındaki basit etkileşimleri göstermektedir. İkincisi, deterministik durum, olasılıklı durum için değişim miktarlarının kurulmasında temel teşkil eder. Son olarak, üretim çevresi ara sıra deterministik talep ve üretim oranlarıyla yaklaşık tahmin edilebilir. Değişim tedarik zamanlarının bilindiği ve sabit olduğu da kabul edilmektedir.

3.3.1.1 Seviye Talepli Ardışık Stoklama Noktaları

Çok aşamalı durumların en basiti olan bu modelde stoklama noktaları seri olarak bağlanmıştır; örneğin bir merkezi depo, bir toptancı deposu ve bayi deposu. Benzer bir üretim yorumu Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Bir ürün, her operasyonun tek bir öncül operasyonu ve tek bir ardıl operasyonu olduğu operasyonlar serisinden geçerek işlenir. Açıklamak amacıyla, örnek en basit şekle kısıtlanacaktır. İki aşamalı modelde W ile ana depo, R ile bayi temsil edilir (Dong, 2001; Graves, 2005).



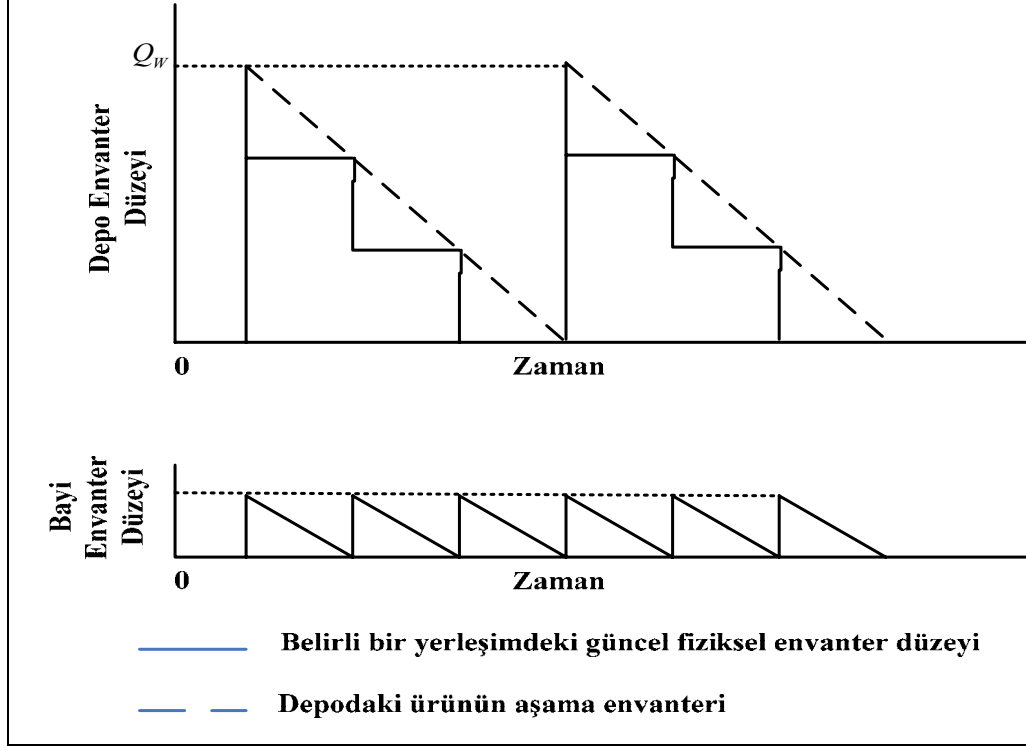
Şekil 3.3 Seri üretim prosesi

Notasyon;

- D = bayi için deterministik ve sabit talep, birim/birim zaman (genelde bir yıl)
 K_W = depoda ikmal sırasında ortaya çıkan sabit hazırlık maliyeti, para birimi
 K_R = bayide ikmal sırasında ortaya çıkan sabit hazırlık maliyeti, para birimi
 A_W = depolardaki birim değişken maliyet ya da birim ürünün değeri, YTL/birim
 A_R = bayilerdeki birim değişken maliyet ya da birim ürünün değeri, YTL/birim
 r = taşıma ücreti, YTL/birim zaman
 Q_W = depodaki sipariş miktarı, birim
 Q_R = bayideki sipariş miktarı, birim

Kontrol edilebilir iki değişken, yeniden doldurma miktarları olan Q_W ve Q_R 'dir. Şekil 3.4 ile, $Q_W = 3Q_R$ olan iki aşamalı envanter modelinin davranışı gösterilmiştir. Deterministik talepli durumlarda açıkça görülmektedir ki Q_W , Q_R 'nin tam katıdır. Dolayısıyla, n pozitif tamsayı olmak koşuluyla,

$$Q_W = nQ_R \quad n=1,2,3,\dots \quad (3.1)$$



Şekil 3.4 Deterministik bir iki-aşamalı modelde envanter seviyelerinin davranışı (Graves, 2005)

Şekil 3.4'ten, ana depodaki envanterin kullanımının belirli ve sabit olmasına rağmen düzenli testere dişi yapısında olmadığı görülmektedir. Bunun sebebi, depodan çekilen miktarların Q_R 'lik partiler halinde olmasıdır. Ortalama envanter seviyesinin hesaplanmasını karmaşıktıracağı için klasik envanter tanımları yerine Clark ve Scarf (1960) tarafından tanıtılmış aşamalı stok ile açıklamak daha kolay olacaktır. Aşama j 'nin aşama stok sistemi, j 'de işlem gören ya da görmüş fakat dış müşteriye gönderilmemiş birim sayısı olarak tanıtılmaktadır. Bekleyen siparişlere izin verildiği durumda aşama stoğu negatif olabilmektedir. Bu tanım ve üniform son ürün talebi ile her bir aşamanın stoğu Şekil 3.4'teki gibi düzgün testere dişi yapısında olacaktır. Dolayısıyla, aşama stoğunun ortalama değerini hesaplamak kolay olacaktır (Dong, 2001; Graves, 2005).

Buna rağmen, toplam envanter taşıma maliyetini basitçe her ortalama aşama stoğunu standart A_R ile çarpıp toplayarak elde edemeyiz. Sebebi, birden çok aşamanın envanterinde stoğun aynı fiziksel büyüklüğünün ortaya çıkabilmesidir. Örnek olarak iki aşamalı proseste, gerçek bitmiş envanter, bitmiş aşama envanteri ile depo aşama envanterinin sayılmasıyla bulunur. Bir üst yerleşim veya bir alt yerleşimde depolanması gibi alınan kararın sonucu elde tutma maliyeti, ürünün bayiye taşınmasının artışı maliyetidir. Bu artışlı maliyet tam olarak aşama

elde tutma maliyetidir. Bu nedenle, buradaki iki aşamalı örnekte depo aşaması envanteri $A'_W = A_W$ olarak, bayi aşaması envanteri ise $A'_R = A_R - A_W$ olarak ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Daha genel olarak, bir üretim montajı bağlamında belirli bir i aşamasında aşama değerlendirme A' şöyle bulunur:

$$A'_i = A_i - \sum A_j \quad (3.2)$$

ki burada toplam olarak, j ile temsil edilen bir önceki işlemlerin toplamı hesaplanmıştır.

Seri iki-aşamalı durum için, birim zaman için hazırlık ve taşıma maliyetlerinden oluşan toplam maliyet hesaplanabilir:

$$TC(Q_W, Q_R) = \frac{K_W D}{Q_W} + \bar{I}'_W A'_W r + \frac{K_R D}{Q_R} + \bar{I}'_R A'_R r \quad (3.3)$$

$\bar{I}'_W$ = depo aşaması ortalama envanter değeri, birim olarak

$\bar{I}'_R$ = bayi aşaması ortalama envanter değeri, birim olarak

$Q_W = nQ_R$ yerine konarak ve aşama stoklarının testere dişi modeli izlediği belirtilerek, aşağıdaki formül elde edilir:

$$\begin{aligned} TC(nQ_R, Q_R) &= \frac{K_W D}{nQ_R} + n \frac{Q'_R A'_W r}{2} + \frac{K_R D}{Q_R} + \frac{Q'_R A'_R r}{2} \\ &= \frac{D}{Q_R} \left(K_R + \frac{K_W}{n} \right) + \frac{Q'_R r}{2} (nA'_W + A'_R) \end{aligned} \quad (3.4)$$

Uygun bir yaklaşım, TC'nin Q_R 'ye dayanarak kısmi türevini sıfıra eşitlemek ve ilgili $Q_R^*(n)$ için çözmektir:

$$Q_R^*(n) = \sqrt{\frac{2 \left[K_R + \frac{K_W}{n} \right] D}{(nA'_W + A'_R) r}} \quad (3.5)$$

Ardından,

$$TC^*(n) = \sqrt{2 \left[K_R + \frac{K_W}{n} \right] D (nA'_W + A'_R) r} \quad (3.6)$$

$TC^*(n)$ 'i minimize eden n değeri, ayrıca aşağıdaki denklemi de minimize eder:

$$F(n) = \left[K_R + \frac{K_W}{n} \right] (nA'_W + A'_R) \quad (3.7)$$

$$\frac{dF(n)}{dn} = 0 \text{ 'dan,}$$

$$\left[-\frac{K_W}{n^2} \right] (nA'_W + A'_R) + \left[K_R + \frac{K_W}{n} \right] A'_W = 0 \quad (3.8)$$

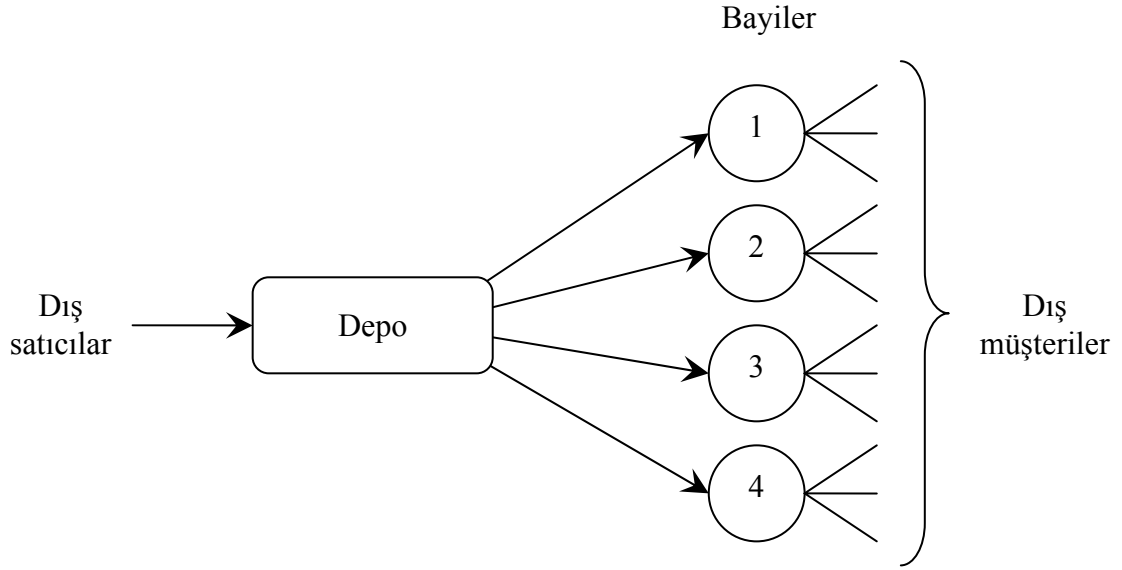
Bundan dolayı,

$$n^* = \sqrt{\frac{K_W A'_R}{K_R A'_W}} \quad (3.9)$$

3.3.1.2 Seviye Talebi Durumuna Göre Diğer Stratejiler

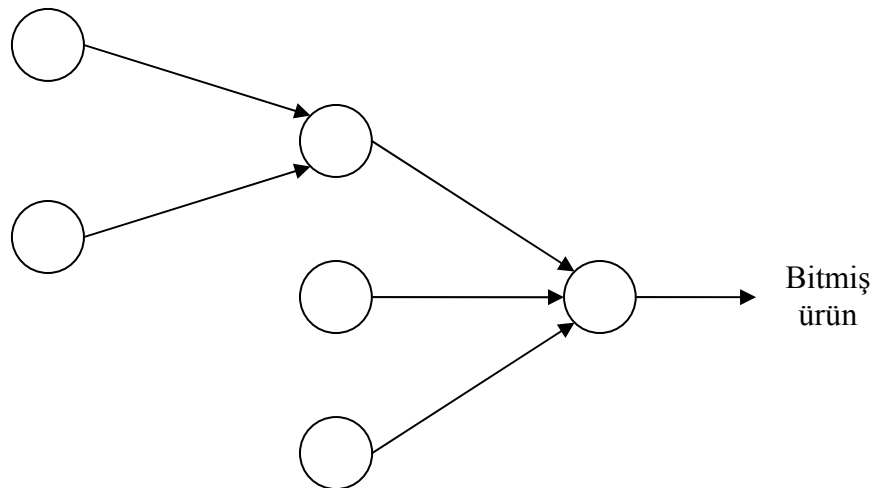
3.3.1.1'de bahsedilen seri durumlar için Szendrovits (1975) farklı bir kontrol önermiştir: Tüm operasyonlar için aynı parti büyüklüğü kullanılır ve operasyonlar arası alt-partiler taşınabilir. Bu, operasyonların üstüste binmesine neden olur ve üretim çevrim zamanını düşürür. Belirli şartlar altında bu tür kontrol prosedürünün, önceki bölümdeki önermeyi performans olarak aştığını göstermiştir (Graves, 2005).

Bazı yazarlar seri sistemden daha genel sistemler konusunda çalışmışlardır. Schwarz (1973) Şekil 3.5'te gösterilen bir depo ve n bayi sistemi üzerine çalışmıştır. $n \geq 3$ olduğu durumlarda optimallik politikası çok karmaşık hale gelecektir ve özel olarak talep ve maliyet faktörlerinin zamandan bağımsız olmasına rağmen bir ya da daha çok bölgede sipariş miktarları zamana göre farklılıklar göstermektedir. Ve haklı olarak her bölgenin sipariş miktarlarının zaman bağımsız olması gibi basitleştirme stratejileri geliştirmiş ve etkili sezgisel yöntem geliştirerek iyi sonuçlar bulmuştur (Graves, 2005).



Şekil 3.5 Ağaç yapısı (Graves, 2005)

Schwarz ve Schrage (1975), saf montaj denilen başka bir deterministik durum için aslında aynı yaklaşımı adapte etmişlerdir (Şekil 3.6'da gösterildiği gibi her düğüm en fazla bir başka düğüme bağlanır). Bu yazarlar, *miyopik strateji* denilen ve her düğümü ve bunun sonraki düğümünü izole ederek iki aşamalı seri model haline getirerek incelerler. Graves ve Schwarz (1977) benzer analizi, dallanmış sistemler için gerçekleştirmişlerdir, ki bu saf montajın tam zıttıdır. Yani her düğüm en fazla bir bağlantıyı sadece bir önceki düğümden alır (Graves, 2005).



Şekil 3.6 Saf bir montaj sistemi (Graves, 2005)

3.3.1.3 Zamana Bağlı Talebi Dikkate Alan Çok-Aşamalı Stok Noktaları

Son ürün kullanımının bilindiği fakat her periyot için değişebildiği kabul edilir. Tabii ki, taşıma maliyetleri sadece periyot bitiş envanterlerinde ortaya çıkacaktır. Burada, montaj yapısını dikkate alan Blackburn ve Millen'in (1982) çalışması temel alınacaktır. Açıklamak için iki aşamalı seri proses üzerine konsantre olunacaktır (Dong, 2001).

Bazı prosedürleri aşama aşama sırayla çalıştırmak basitçe bir yaklaşımdır. Mesela, Silver-Meal sezgiseli bayiler için değişim miktarlarını hesaplamada kullanılabilir. Bu, depo için gereken miktarlarla ilgili bir fikir verir, ki bu rakamlar depo için Silver-Meal'ı kullanma sırasında veri olarak kullanılır. Bu yaklaşımın basit olması iki aşama arasındaki maliyet bağımsızlığından kaynaklanmaktadır. Bayiler için seçilen yenileme stratejisi depolardaki maliyetleri dikkate almaz.

Sırasıyla uygulanabilecek, fakat maliyet bağımlılıklarını dikkate alan bir prosedür geliştirilmek istenirse, aşama talep durumunun incelenmesi burada önemli bir kavrama sağlar. Eşitlik 3.4 tekrar edilirse,

$$TC(Q_W, Q_R) = \frac{D}{Q_R} \left(K_N + \frac{K_W}{n} \right) + \frac{Q_R r}{2} (nA'_W + A'_R) \quad (3.10)$$

ki,

$$Q_W = nQ_R \quad (3.11)$$

Eşitlik 3.10 yenilemenin ayarlanmış sabit maliyetinin,

$$\hat{K}_R = K_R + \frac{K_W}{n} \quad (3.12)$$

olduğu durumlarda tek aşamalı probleme benzer. Ve ürünün ayarlanmış birim değişken maliyeti ise şöyle olur:

$$\hat{A}_R = nA'_W + A'_R \quad (3.13)$$

K_W / n terimi, deponun hazırlık maliyetinin sadece her n . bayi hazırlık zamanında ortaya çıktığını göstermektedir. n 'in iyi tahmin edilebilmesi durumunda, Q_R seçilebilir (Eşitlik 3.5). Bölüm 3.3.1.1'deki ilk üç adım kullanılabilir. Fakat Blackburn ve Millen, Eşitlik 3.5'i kullanarak basitçe şu eşitliği geliştirmişlerdir;

$$n = \max \left[\sqrt{\frac{K_W A_R'}{K_R A_W'}}, 1 \right] \quad (3.14)$$

Zamana göre değişen talebi dikkate alan duruma dönülürse, n , Eşitlik 3.14'ten hesaplanır ve n 'i kullanarak bayi için ayarlanmış hazırlık maliyeti ve ayarlanmış birim değişken maliyeti Eşitlik 3.12 ve 3.13 ile hesaplanabilir. Silver-Meal sezgiseli $\hat{K}_R$ ve $\hat{A}_R$ 'yi kullanarak bayi için uygulanabilir. Silver-Meal veya başka bir parti büyüklüğü prosedürü depo için K_W ve A_W kullanılarak hesaplanabilir.

3.3.2 Çok-Aşamalı Stokastik Envanter Modelleri

3.3.2.1 Olasılıklı Talep

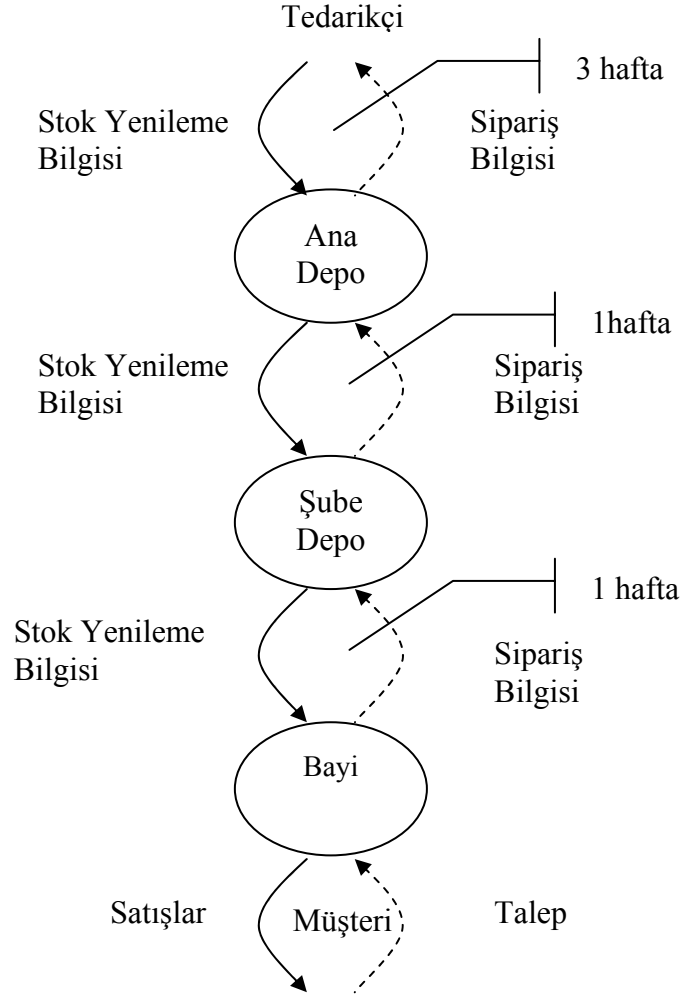
Olasılıklı talebin çok aşamalı stok sisteminde yer alması ile bir çok yeni yayın ve karmaşık uç modeller literatüre girmiştir. Şekil 3.7'de gösterilen, birbiri ile ilişkili basit bir üç aşamalı dağıtım sistemi üzerinde çalışılmıştır.

Ardışık aşamalar arasındaki yenilenebilir tedarik zamanları;

Şube	-	Bayi	1 hafta
Merkez	-	Şube	1 hafta
Tedarikçi	-	Merkez	3 hafta

Her stok seviyesinde bayileri, şube depoları ve merkez depoları bağımsız olarak gözden geçirme kararları maliyet faktörü ve servis koşulları, tahmin edilen talep ve yenilenebilir tedarik zamanı temelinde olmaktadır.

Sistemin üç kusuru vardır. Birincisi, bayi için izlenen temin süresi, şube deponun sipariş doldurma başarısına bağlıdır. Eğer stok mevcut ise temin süresine bayi için taşıma zamanı eklenerek bulunur. İkinci olarak, bir sonraki seviyede sipariş kullanan aşamadaki maliyet dikkate alınmamaktadır. Üçüncüsü, son kullanıcı talebi düzgün olmasına rağmen sipariş oldukça büyük miktartlı ve az sıklıktadır. Bu durum *kamçı (bullwhip) etkisi* olarak da bilinir. Merkezileşmemiş kontrol ve sipariş noktası temelinde çalışan bir sistemde emniyet stokları, - son ürün kullanımı küçük değişkenliğe sahip iken- sıklığı az olan talepleri karşılamak içindir. Talep meydana geldiğinde merkezi depolar tepki verir. Merkezi kontrol sistemi kullanılırken aşama değişimlerinde talep ilişkileri ve stok durumları bilgilerinin çabuk ve güvenilir olması gereklidir. Ayrıca bağımsız karar değişken sayısı da hızla artacaktır.



Şekil 3.7 Tek geçişli bilgi akışı olan bir çok aşamalı durum (Dong, 2001)

Karmaşıklık yaratan diğer faktörler;

1. Çok aşamalı durumda, servis yapısı nasıl tanımlanır? Normalde servis sadece en düşük aşama ile ölçülür. Çok aşamalı bir sistemde, daha yüksek bir aşamanın stok dışı kalması ikincil bir etkiye sahiptir. Bu belki alt seviyedeki aşamanın temin süresini uzatabilir, ki bu da müşterinin servis almasına sebep olabilir. Belirli aşamalarda emniyet stoklarının stok dışı kalmada diğer aşamalara etkisi olduğunu görebiliriz. Bu yüzden gereksiz emniyet stoklarından uzaklaşılması konusunda dikkatli olunmalıdır.
2. Şube deponun merkezi depoya Q_b kadar bir sipariş vermiş olduğu farz edilsin. Merkez depoda Q_b 'den az stok var ise ne yapılabilir? Parçalı bir sevkiyat mı yapılır yoksa siparişlerin taşınması için uygun bir seviyeye gelmesi mi beklenir?
3. Merkez depodan bayilere acil durumlarda stok aktarımları mümkün müdür?

4. Daha karmaşık yapılarda aynı aşama üzerinde farklı noktalar arasında taşımalar mümkün olabilir.

5. Yine karmaşık yapılarda merkezi bir tesis sonraki aşamalarda ki birçok farklı stok noktasının tedarikini yapabilir. Elinde tüm ihtiyacı karşılayacak yeterli stok yok iken, bir çok istekle karşı karşıya kaldığında merkezi depo oranlama politikası uygulayabilir.

Araştırmalar sonucu bu karmaşıklıkta çalışacak belli başlı bir çok yaklaşım geliştirilmiştir. İlk yaklaşım, karmaşık problemin sadeleştirilerek daha kolay çözümlü bir modele uyarlandığı durumdur. İkinci bir yaklaşım, stok politikasında kısıtlama yapmaktır ve 3.3.1.1. kısmında süreç tartışılmıştır. Bu modelin çalışması ise 3.3.2.3'te tartışılmıştır. Bununla birlikte diğer bir durum, aşamalar arasındaki ilişkilerin tahmin edilmesi problemidir ve kritiktir. Üç esas yaklaşım geliştirilmiştir. İlki, en geniş çapta kullanılır ve aşağı akışlı bir yerleşimde temin süreleri dağılımını inceleyen bir buluş ya da yaklaşımdır, ki bu 3.3.2.3 kısmında gösterilecektir. İkinci yaklaşım, tüm bayiler içinde bekleyen toplam sipariş sayısının dağılımı ile ilgilenir. Bunlar daha sonra birleştirilerek her bir bayinin bekleyen sipariş sayısını bulan bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Üçüncüsü, talep edilen birim ile sağlanan birimleri karşılaştırarak, eldeki bilgilerle maliyeti hesaplar (Axsater, 1993; Chen ve Zheng, 1997).

Bu karmaşıklığa rağmen, Muckstadt ve Thomas (1980), hala çok aşamalı kontrol sistemlerinin kullanılabilir olduğu iddiasını kanıtlamaya çalışmışlardır. Bu yazarlar bu sistemlerin bir askeri tedarik sisteminde faydalı olduğunu göstermişlerdir. Lawrance (1977) ticari bir dağıtım sistemi içinde aynı iddiayı savunmuştur. Açıktır ki; çok aşamalı model tekniklerinin çoğu dikkate değerdir ve maliyet ile servisler açısından önemli iyileştirmeler sağlamaktadırlar.

Konu üzerinde iki boyutta çalışılması daha uygun ve anlaşılır olacaktır: Lokale karşılık global bilgi ve merkezileşmeye karşı merkezi olmayan kontrol. Lokal bilgi ile her bir aşamada siparişlerden o aşamaya ulaşan sipariş yapısı ve talebi görülebilir. Sadece kendi stok durumunu ve maliyet ile bilgileri alabilir. Global bilgide ise karar verici tüm aşamalardaki talep, maliyetler, ve stok durumlarını görebilecektir. Merkezi kontrol grup yada birey kararlarının birleştirilerek tüm sistemin optimize edilmesini içermektedir. Merkezi kontrol genellikle itme sistemi olarak tanımlanır. Çünkü; karar vericiler sistem nerde daha çok ihtiyaç duyarsa o aşamalara stok itilmesi kararını verir. Merkezileşmemiş kontrolde, kararlar birbirinden ayrı aşamalarla ve tamamen bağımsız olarak verilir. Merkezileşmemiş sistemde genel olarak; bağımsız karar vericiler tedarikçilerinden stok çektiklerinden çekme sistemi olarak bilinir (Pyke ve Cohen, 1990). En iyi çözümler global bilgi akışı ve merkezi bir

kontrolün olduğu model çözümlerinde elde edilmiştir. Çünkü; sistemin tümünde her aşamadaki bilgiler kullanılmış ve net kararlar alınmıştır. Şaşırtıcı bir şekilde aşağı akışta yenilenen büyük siparişlerden kurtulunmuştur. Yine de bu çözümler, bazı durumlarda firmalar arasında, fonksiyonlar arasında ve operasyonlarla birlikte çok sayıda parçanın birlikte ve eşgüdümlü çalışmasını gerektirir. Merkezi kontrol sistemindeki örnekler global bilgi akışını içine alan satıcı yönetiminde stok ve dağıtım kaynakları planlamasındaki uygulamalar gibi bazı modellerin üzerinde tartışılmasını içine almaktadır. İmalatçıların ve satıcıların talep tahminlerini geliştirilmesi ile ilgili ilk odaklandıkları, sipariş ikmal ve tahminlerin birlikte çalıştırılması olarak isimlendirilen diğer bir örnektir (Dong, 2001).

Eğer bir firma merkezileşmemiş bir kontrol ve lokal bir bilgi akışı ile karşı karşıya ise her bir aşamada kullanılabilecek yaklaşımlar geleneksel tek ürünlü stok yönetim modelleri olacaktır. Merkezileşmemiş kontrolün kalıntıları varken bile bilginin paylaşımı kazancı artıracaktır. Aşağıda tartışılan temel stok kontrol sisteminde merkezileşmemiş bir kontrol ve global bir bilgi akışının olduğu farzedilmiştir.

3.3.2.2 Temel Stok Kontrol Sistemi

Alt aşamaların talebi temelinde yeniden sipariş verme kararı alınması oldukça zordur ve temel stok sistemi buna cevap veren bir modeldir. Anahtar değişiklik, her stok noktasında karar vermek için son ürün talebi bilgisinin mevcut olmasıdır. Bu da doğru ve zamanlı bilginin elde edilebileceği elektronik veri değişimi gibi etkili bir iletişim sistemini gerektirir. Hassas ve potansiyel verinin firmalar tarafından paylaşılmasından dolayı tedarik zinciri içinde çok fazla güven olması gerekir. Her bir stok noktası sipariş yenileme işlemini bir sonraki aşamadan yenilenen siparişlere göre değil, son ürün müşterisinin talebine göre yapar (Şekil 3.8).

Temel stok sisteminin çok yaygın bir tipi olarak, literatürdeki araştırmalarda olduğu kadar pratikte de iyi olan sipariş yükseltme politikası kullanılmaktadır. Bu metot, tek ürünlü ve olasılıklı talebin kullanıldığı modelleri içine almaktadır. Burada çok aşamalı bir duruma daha uygun (s,S) sistemi üzerinde çalışılmıştır. Her aşamadaki stok noktası bağımsız Q siparişini vermektedir. Daha sonra yeniden sipariş noktası s, son ürün talep kestirimi ile tedarik zamanlarına uygun olarak hesaplanmıştır. Bu sistemler tedarik zamanını artıran sonraki üst aşamaların potansiyel stok dışı kalışlarını genellikle dikkate almazlar. Örneğin merkezi depoda tedarik zamanı 3 haftadır. Sipariş yükseltme seviyesi S, aşağıdaki ilişki ile temel stok seviyesi olarak isimlendirilir.

$$S = s + Q \quad (3.15)$$

Fiziksel operasyon terminolojisinde her bir seviyedeki aşamalı stok pozisyonu, takip eden ilişki ile denetlenmektedir:

$$\text{Aşamanın stok pozisyonu} = \text{Aşamalı stok} + \text{Sipariş}$$

Aşama j'nin stoğunda, sistemde mevcut olan birim sayısı ve henüz ulaşmamış dışarıdaki müşteri siparişlerin birim sayısı yer alır. Sipariş kısmı ise sonraki üst aşamada yer alan siparişlerle ilgilidir. Bu durumu açıklamak için kullanılan örnekte, stokların durumu, herhangi bir andaki nokta için:

Şube depo – 50 birim

Bayi çıkışı – 20 birim

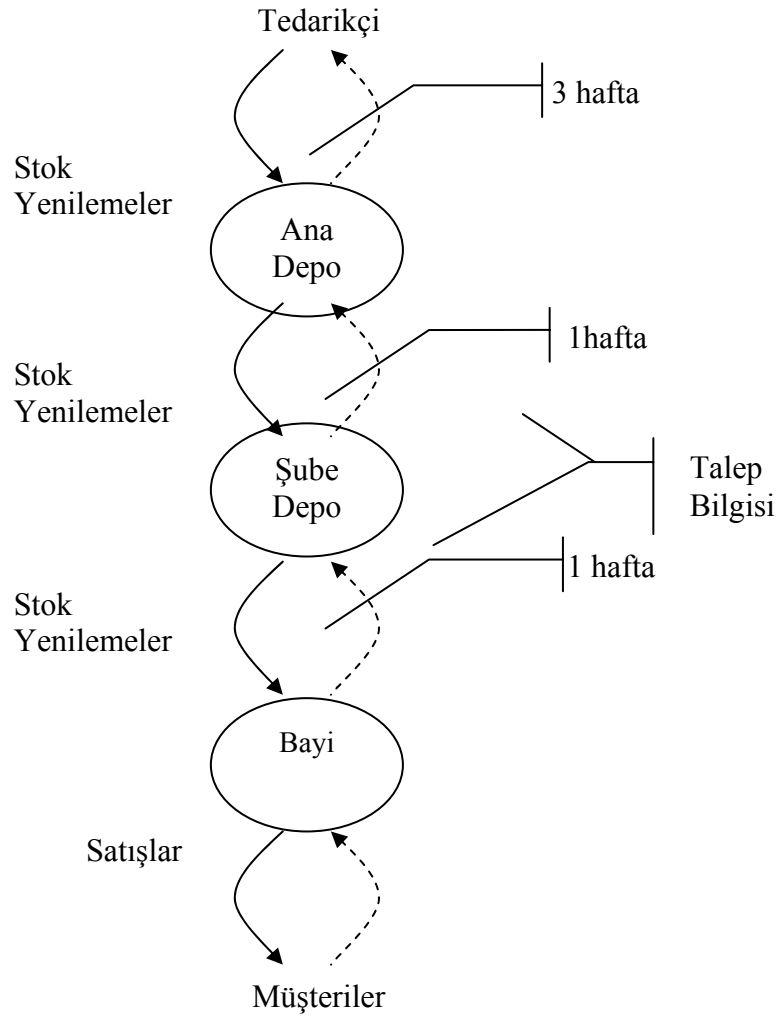
olsun.

Ayrıca henüz karşılanmayan müşteri talebi 5 birim olsun. Bundan başka, merkez depoyla şube depo arasında bekleyen siparişin olmadığı ve 10 birimin şube depodan bayiye halen aktarıldığı kabul edilsin. Şube depo için aşamalı stok pozisyonu:

$$\text{Stok pozisyonu} = (50 + 10 + 20 - 5) + (0) = 75 \text{ birim}$$

Aşamalı stok pozisyonu her bir işlemten sonra ya da periyot temelinde gözden geçirilmelidir. Buna göre aşamalı stok pozisyonu bilinebilir ve yeniden sipariş noktası s ile karşılaştırılabilir: Eğer s kadar ya da daha az ise bir önceki aşamanın temel stok seviyesi S de siparişi yükseltmek için yeterlidir.

Temel stok seviyesinde herhangi bir stok noktası için sipariş kararları son ürün talebinin bir sonucudur ve artık bir sonraki aşamanınki değildir. Daha öncekilerle arasında çok küçük bir yapı değişikliği vardır ve böylece temel stok sistemi kullanılarak özellikle düşük güvenlik stokları elde edilmiş ve taşıma maliyetlerinin düşürülmesi başarılmıştır.



Şekil 3.8 Temel stok sisteminde bilgi ve stok akışı (Dong, 2001)

3.3.2.3 Seri Bağlı Durum İçin Temin Süresi Talebi ve Yeniden Sipariş Noktalarının Hesaplanması

Graves'in (1985) sipariş miktarları ve yeniden sipariş verme noktalarının belirlenmesinde geliştirdiği yöntem, üst aşamadaki stok miktarlarının belirlenmesinde alt aşamadaki sistemin tedarik sürelerini dikkate almaktadır. Modelde, talep bilgilerinin tüm lokasyonlar tarafından bilindiği (global bilgi) ve alınacak kararların merkezi (merkezi kontrol) olduğu varsayımları vardır. Model, örnek olması açısından iki-aşama, depo-bayi ile sınırlandırılmıştır.

Karar kurallarının belirlenmesinde aşağıdaki varsayımlar ve notasyon kullanılmıştır:

1. Dış talep yalnızca bayi aşamasında mevcut olup, durağan bir yapıdadır.
2. Her iki aşama ile ilişkili deterministik temin süreleri (L_W ve L_R) vardır. Ayrıca L_R temin süresi, depoda bayi ihtiyacını karşılayacak miktarda stok olduğu zaman başlayacaktır.

L_W = Depo için temin süresi

L_R = Bayi için temin süresi

D = Yıllık talep

A_W = Depo için birim başına değişken maliyet

A_R = Bayi için birim başına değişken maliyet

3. Aşağıdaki dört parametreyi dikkate alan sürekli inceleme (s,Q) stok politikası uygulanacaktır;

r_W = Depo için yeniden sipariş verme noktası (bayideki stok miktarına bağlı)

Q_W = Depo için sipariş miktarı

r_R = Bayi için yeniden sipariş verme noktası

Q_R = Bayi için sipariş miktarı

$Q_W = nQ_R$ kısıtının, politikaların sabit olduğunu gösterdiği belirtilmelidir: Depo sipariş verdiğinde, bayi de sipariş vermiş olur. Bu politika ister istemez sabittir, çünkü deponun envanter pozisyonu yalnızca bayi sipariş verdiğinde değişir. Sabit politikanın anlamı, en yakın ardıl operasyonlarda ikmal olmadıkça, bir operasyonda ikmal olamayacağıdır.

Her bir bayi için yeniden sipariş noktası aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$r_R = \bar{x}_{L_R} + k_R \sigma_{L_R} \quad (3.16)$$

$\bar{x}_{L_R}$ = Bayi için temin süresi boyunca ortalama tahmini talep

σ_{L_R} = Bayi temin süresi boyunca tahmin hatalarının standart sapması

k_R = Aşağıdaki eşitliği sağlayan, bayi için emniyet faktörü

$$p_U \geq (k_R) = \frac{Q_R(A_R - A_W)r}{B_2 A_R D} \quad (3.17)$$

Burada B_2 , her birim yokluğunda birim değere ödenen değerin kesiridir (yokluk maliyeti) ve r , bir birimi birim zaman stokta taşımanın oranıdır (taşıma maliyeti).

$G_u(k) = \int_k^\infty (u_0 - k) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-u_0^2 / 2) du_0$ birim normal değişkenin özel bir fonksiyonudur (ortalama 0, standart sapma 1). $G_u(k)$, her ikmal çevriminde beklenen yoklukların bulunmasında kullanılır;

$p_u \geq (k) =$ Bir birim normal değişkenin k veya daha büyük bir değer alma olasılığıdır. $p_u \geq (k)$ genellikle $1 - \Phi(k)$ ile ifade edilir; ki burada $\Phi(k)$, k 'da değerlendirilen birim normalin kümülatif dağılım fonksiyonudur (veya sol kuyruğu) (Graves, 2005).

Benzer şekilde, depo için yeniden sipariş noktası aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$r_W = \bar{x}_{L_W+L_R} + k_W \sigma_{L_W+L_R} \quad (3.18)$$

$\bar{x}_{L_W+L_R}$ = Depo temin süresi ve bayi temin süresi boyunca beklenen talep

$\sigma_{L_W+L_R}$ = Depo temin süresi ve bayi temin süresi boyunca tahmin hatalarının standart sapması

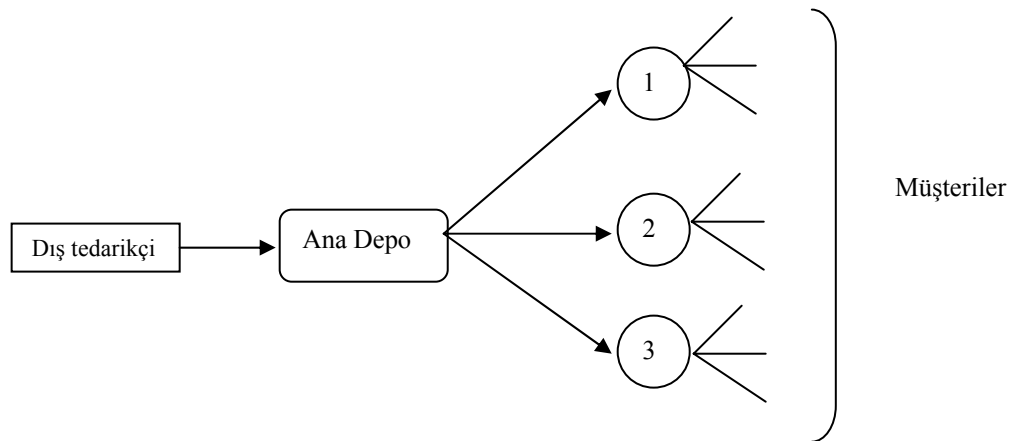
k_W = Aşağıdaki eşitliği sağlayan, depo için emniyet faktörü

$$p_u \geq (k_W) = \frac{Q_R(A_R + (n-1)A_W)r}{B_2 A_R D} \quad (3.19)$$

$L_W + L_R$ kombinasyonu 3.18 eşitliğinde gerçekleşir, çünkü bayideki her n . yeniden doldurmada, ilgili bir depo yeniden doldurması vardır ve $L_W + L_R$ uzunluğundaki bir periyot boyunca yokluklara karşı korumak için yeterli aşama stoğu olduğunda sonraki başlatılmalıdır.

Eşitlik 3.17 ile eşitlik 3.19 karşılaştırıldığında, eşitlik 3.17'nin sağ tarafı her zaman 3.19 numaralı eşitliğinin sağ tarafından küçük olacaktır. Böylece bayi için güvenlik faktörü, depo için olan güvenlik faktöründen büyük olacaktır.

3.3.2.4 Ağaç Yapısının Olduğu Durum



Şekil 3.9 1 depo, 3 bayili ağaç yapısı (Graves, 1985)

Olasılıklı ve Depoda Stok Bulundurulamadığı Durumda Bir Ağaç Yapısı Sisteminin Modellenmesi

Alınacak kararlar her bir gözden geçirme aralığında depo için ne kadar sipariş verilmesi gerektiği ve bunların ağaç yapısında olan bayilere hangi oranlarda dağıtılacağıdır. Bayiye olan taleplerin normal dağılıma sahip ve tüm bayiler için stok taşıma ve yok satma maliyetlerinin eşit olduğu varsayımlardır (Federgruen ve Zipkin, 1984).

Notasyon:

J = Bayi sayısı

R = Gözden geçirme periyodu

S = Tüm sistem geneli için sipariş miktarı (bu modelde ana depo için verilmesi gereken sipariş miktarı)

B_3 = Bayi için her birim yokluğunda birim değere ödenen değer kesiridir (yokluk maliyeti)

L_{RE} = Birimlerin yüklemeye hazır olduğu varsayımı altında, depodan bayiye aktarım için tedarik zamanı (Burada R (bayi) yerine RE kullanılması periyodik gözden geçirme olduğunu vurgulamak içindir.)

x_j = j bayisi için dönemlik beklenen talep

$x = \sum_{j=1}^J x_j$ = Bir dönem için toplam sistem talebi

σ_j = j bayisi için bir dönemlik talebin standart sapması ($\sigma = \sum_{j=1}^J \sigma_j$)

$\sigma_{\approx}^2$ = Tüm sistem için talebin varyansı = $\sum_{j=1}^J \sigma_j^2$

S 'nin belirlenmesinde kullanılacak karar kuralları ise,

$$\frac{1}{R} \sum_{i=0}^{R-1} (1 - p_u(k_i)) = \frac{B_3}{B_3 + r} \quad (3.20)$$

ve

$$k_i = \frac{S - (L_W + L_{RE} + 1 + i)x}{\sqrt{(L_{RE} + 1 + i)\sigma^2 + L_W \sigma_{\approx}^2}} \quad (3.21)$$

Ayrıca Federgruen ve Zipkin (1984) değişik tahsis metodları da geliştirmişlerdir. Burada yalnızca bunlardan bir tanesi anlatılacaktır. Tahsis politikası, tüm bayilerin dönemlik stoksuz kalma olasılıklarının eşit olması ilkesine dayanmaktadır. Söylenenler matematiksel eşitliğe dökülecek olunursa, her j bayisi için,

$$\frac{IP_j + Z_j - (L_{RE} + R)x_j}{\sqrt{L_{RE} + R\sigma_j}} \quad (3.22)$$

burada IP_j , karar zamanında j bayiinin elindeki stok seviyesi, Z_j ise j bayiine tahsis edilecek miktarı göstermektedir.

Bu konu ile ilgili Zipkin'in, 1984 yılında yaptığı, bayilerde dengelenmiş stok mantığına dayalı bir çalışması vardır. Jonsson ve Silver (1987) ana depoda bir miktar stok bırakılmasının yararlı olduğunu çalışmalarında göstermişlerdir. Graves (1996) iki aşamalı, deterministik tedarik zamanlı modelinde, sanal tahsisi kullanarak, bayi için talep gelir gelmez depoda ilgili birim için tahsis yapılması üzerinde çalışmış ve modeli iyi sonuçlar vermiştir. Graves, modelin tedarik zincirindeki birimler arasındaki bilgi akışının etkin olmasıyla daha da faydalı olacağını belirtmektedir.

3.4 Çok-Aşamalı Envanter Yönetimine Yönelik Özel Modeller

3.4.1 METRIC Modeli

3.4.1.1 METRIC Modelin Gelişimi

Sherbrooke (1968), bütçe kısıtı altında daha alt aşamada bekleyen siparişlerin beklenen sayısını minimize eden stok düzeylerini tanımlayan METRIC modelini yapılandırmıştır (Chiang ve Monahan, 2005). İlk sistem yaklaşımlarından biri olarak düşünülen “Yeniden Elde Edilebilir Parça Kontrolü İçin Çok-Aşama Tekniği-METRIC (Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control)” önemli bir katkı olup, ilk olarak Sherbrooke RAND işletmesinde çalışırken Amerikan Hava Kuvvetleri için geliştirilmiştir (Rustenburg ve diğ., 2001; Sleptchenko ve diğ., 2002; Sherbrooke, 1992).

Bu model, hizmet parçalarının envanterini yönetmeye yönelik ilk çok-aşamalı envanter modelidir. Sonrasında, genellikle bir çok-aşamalı yapıda optimal lot büyüklüklerini ve güvenlik stoklarını inceleyen geniş bir model kümesi çok sayıda araştırmacı tarafından üretilmiştir (örneğin; Deuermeyer ve Schwarz, 1981; Moinszadeh ve Lee, 1986; Axsater, 1990, 1993; Nahmias ve Smith, 1994; Aggarwal ve Moinszadeh, 1994; Grahovac ve Chakravarty, 2001). Analitik modellere ek olarak, ayrıca, çok-aşamalı envanter

problemlerinin kompleks etkileşimlerini ortadan kaldırmak için simülasyon modelleri de geliştirilmiştir (örneğin; Clark ve diğerleri, 1983; Pyke, 1990; Dada, 1992; Alfredsson ve Verrijdt, 1999) (Chiang ve Monahan, 2005).

İlk sürekli inceleme çok-aşamalı envanter modellerinden birini sağlayan Sherbrooke'un modelinde (1968), en alt aşamada birkaç bayi ve bu bayilere tedarik sağlayan bir ambardan oluşan iki aşamalı bir sistem dikkate alınmıştır. Sistemdeki optimal envanter düzeyini saptarken, şimdi klasik olan METRIC yaklaşımını sunmuştur. Talep dağılımı Poisson iken, METRIC yaklaşımı aslında göze çarpan bayi siparişlerini Poisson olarak karakterize eder. Graves (1985) METRIC yaklaşımını, göze çarpan bayi siparişlerini tanımlamak için, ortalama ve varyans parametrelerini tahmin ederek genişletir. Optimal envanter politikasını saptamak için bu parametrelere negatif binomial dağılımı uydurur. Sonrasında Axsater (1993) probleme kesin çözüm sağlar ve bayi bekleyen siparişleri için METRIC yaklaşımının düşük tahminler yaparken, Graves (1985) iki-parametre yaklaşımının fazla tahminler yaptığını göstermiştir. Muckstadt (1973), ve sonrasında Lee (1987) ayrıca temel Sherbrooke modeli için basit genişletmeler sağlamışlardır (Ganeshan, 1999).

Bu metodun amacı, optimal tedarik kararlarını ilk tedarik periyodunda gerçekleştirmektir. Son otuz yılda METRIC'e yönelik çok sayıda önemli gelişmeler önerilmiştir. Muckstadt (1973), yeniden elde edilebilir parça kontrolü hakkında ürün yapısının öneminin farkına varan ilk kişiydi. İki-aşamalı, tek-reçete seviyeli bir model olarak karakterize edilebilen mevcut METRIC modelini iki-aşamalı iki-reçete seviyeli bir modele genişletti, ki bu ayrıca MOD-METRIC olarak adlandırılmaktadır. METRIC'in bir diğer değişik biçimi, Slay (1984) tarafından geliştirilen iki-aşamalı tek-reçete seviyeli bir model olan VARI-METRIC'tir. İlk METRIC model analizlerinin çekirdek noktası, her bir ürün için onarımdaki parça sayısının bir Poisson dağılımını (varyansı ortalamaya eşit olan) izlediğinin kabul edilmesidir. VARI-METRIC metotta, Slay, onarımdaki parça sayısının varyansları için yaklaşık bir matematiksel ifade türetmiştir. Ardından, her bir ürün için, daha kesin bir yaklaşım elde etmek amacıyla, bu parçaların ilk iki momentinde negatif binomial dağılım uydurur. Graves (1985) bağımsız olarak onarımdaki parça sayısının varyansları için biraz daha basit bir yaklaşım geliştirmiştir. Ardından, ayrıca, ilk iki momentlerde negatif binomial bir dağılım uydurarak devam etmiştir. Sherbrooke (1986) orijinal VARI-METRIC metodunu geliştirmiş ve VARI-METRIC'in iki-reçete seviyeli iki-aşamalı versiyonunu geliştirmiştir. Simülasyonla, bu metodun ürettiği sonuçların tamamen kesin olduğu gösterilmiştir (Rustenburg ve diğ., 2001).

Araştırmanın bir başka önemli hattı Gross (1982) tarafından başlatılmıştır. VARI-METRIC model ve Gross'un modelleri arasındaki temel farklılık onarım süreçlerinin kısıtlarındadır. VARI-METRIC'te tüm onarım temin sürelerinin bağımsız değişkenler olduğu kabul edilmiştir ve bu sonsuz bir onarım kapasitesine tekabül eder. Gross'un modelinde sınırlı bir onarım kapasitesi kabul edilmiştir. Bu modellerde, ürünlerin onarım, dağıtım ve kullanımı arasındaki dolaşımı genellikle kapalı bir kuyruk ağı olarak modellenmiştir ve bundan dolayı, yedek parça literatüründe, bu modeller ayrıca "yedek parça yönetimi için kapalı kuyruk ağı modelleri" olarak bilinmektedir (Rustenburg ve diğ., 2001).

METRIC Modeli, herbir envanter lokasyonundaki beklenen müşteri bekleyen siparişlerinin ortalama envanter düzeyinin sistem performans metriklerini değerlendirmek için kuyruk teorisinin (ör; Palm'ın Teoremi (Palm, 1938) ve Little Kanununun (Little, 1961)) sonuçlarını kullanır. METRIC model yaklaşımının temel fikri, durgun durumda, ortalaması ortalama ikmal temin süresi ve Poisson rassal değişkeni ile bir stoklama merkezinin önemli siparişlerinin dağılımına yaklaşımdır. Bu yaklaşım sağlamlığa yöneliktir (Wang ve diğ., 2000).

Uygulama başarısından ötürü METRIC modeli önemli ölçüde akademik dikkat çekmiştir. Takip eden yayınlar çok sayıdadır (Sleptchenko ve diğ., 2002; Wang ve diğ., 2000). Simon (1971) ve Shanker (1981), sabit temin süresi kabulü altında modelin hassas bir analizini gerçekleştirmiştir. Graves (1985), stoklama merkezlerinin önemli siparişleri için iki-fazlı bir yaklaşım geliştirmiştir. Svoronos ve Zipkin (1991), sipariş sırasını koruyarak (ardışık temin süreleri olarak atıfta bulunularak) dışsal olarak türetilen stokastik temin sürelerine sahip bir model çalışması sunmuşlardır. Tüm sistem performansını değerlendirmeye yönelik prosedürler türetmişlerdir. Son zamanlarda, Wang ve diğerleri (2000), iki tip müşteri hizmet sınıfına sahip iki-aşamalı bir sistem incelemişlerdir; ki burada iki hizmet sınıfı arasında teslimat temin sürelerine dayanan bir ayrım vardır. METRIC model çatısının diğer uzantıları; yığın-sipariş envanter politikalarını dikkate alan Deuermeyer ve Schwarz (1981), Schwarz ve diğerleri (1985), Moinszadeh ve Lee (1986), Lee ve Moinszadeh (1987a, 1987b) ve Chen ve Zheng'i (1997); stoklama merkezleri arasında yanal sevkiyatları inceleyen Lee (1987), Axsater (1990), ve Dada'yı (1992); çok-reçete seviyeli bir ürün yapısına sahip bir modeli inceleyen Muckstadt (1973) ve Sherbrooke'u (1986) içerir (Wang ve diğ., 2000). Yeni bir çalışmada (Cohen ve diğ., 1999) METRIC yaklaşımı, yarı iletken üreticilerince kullanılan elektronik bir malzeme sınıfı için, dünya çapında bir hizmet parçaları lojistik ağını analiz etmek üzere kullanılmıştır (Wang ve diğ., 2000).

3.4.1.2 METRIC Modelin Özellikleri ve Kabulleri

Sherbrooke tarafından yapılan anahtar kabullerden birisi, ağıdaki tüm onarım atölyelerinin sonsuz kapasiteye sahip olduğudur. Her ne kadar uygulamada bu doğru olmasa da, bu kabul bazı kanıtlarla doğrulanabilir. Öncelikle, bazı durumlarda hizmet parçalarının onarımı önleyici bakımın yanısıra tamircinin faaliyetlerinden biridir. Eğer hizmet parçası onarımı yüksek önceliğe sahipse, sonlu kapasitenin etkisi ihmal edilebilir. Bununla birlikte, bu yalnızca hizmet parçası onarımı her bir tamirci için ana görev olmadığında doğrudur. Bunun yanısıra, önleyici bakım yüksek önceliğe de sahip olabilir, ör; bir üretim sisteminin önleyici bakımı, düzenli üretim saatleri dışında kısıtlı zaman periyodu boyunca gerçekleştirilmelidir. İkinci olarak, bazı durumlarda onarım atölyesi kapasitesi esnek, ör; eğer iş yükü fazlaysa tamirci fazla mesaisi veya modüller teknik olarak komplike ve onarım özel beceriler gerektiriyorsa. Bu esnek kapasiteyi kullanarak, onarım atölyesi hemen hemen sonsuz kaynaklara sahiptir. Bununla birlikte, fazla mesai, dış kaynak kullanımı her zaman mümkün değilken, yüksek fazla mesai maliyetlerine yol açabilir, özellikle parçalar veya modüller teknik olarak komplike ve onarım özel beceriler gerektiriyorsa. Üçüncü olarak, sonlu kapasite onarım atölyesindeki mevcut üretilen yerine konma zamanını (bekleme ve onarım zamanlarından oluşur) ölçerek ve bu değerler brüt onarım zamanı (= net onarım zamanı artı bekleme zamanı) şeklinde modele bağlanarak hesaba katılabilir. Her ne kadar bu basit ve açık bir çözüm gibi görünse de, ölçülen yerine konma zamanı yalnızca mevcut koşullar altında geçerlidir. Açıkça, üretilen yerine konma zamanları hizmet parçası talebi, dönüş prosedürleri ve onarım atölyesi kapasitesine bağlıdır. Bu nedenle, bu prosedür eğer-ise analizleri için uygun değildir ve ciddi bir engeldir (Sleptchenko ve diğ., 2002).

Birçok onarılabılır envanter teorisi modelleri, onarılabılır envanter düzeylerinin saptanması ve bu birimlerin dağıtılması için, dolayısıyla istenen hizmet düzeylerine ulaşılması için Sherbrooke'un METRIC modeline dayanır, kademe düzeyinde beklenen bekleyen siparişler ile ölçülür (Sherbrooke, 1968). MOD-METRIC ve VARI-METRIC gibi sonraki modeller, temel METRIC modeli ve birçok modifikasyonun uzantılarıdır, yığın onarımlara veya yanal sevkiyatlara izin veren birçok modifikasyon METRIC mantığına dayanır (Guide Jr. ve Srivastava, 1997).

Özetlemek gerekirse; METRIC aşağıdaki kabullere dayanır (Guide Jr. ve Srivastava, 1997):

1. Her bir kademedeki birimlerin talebi durağan bir Poisson sürecidir.
2. Kademeler arasında yanal yeniden tedarik (aktarmalar) yoktur.
3. Parçaların kullanıma uygunsuzluğu yoktur (tüm parçalar onarılabılırdır).

4. Tüm parçalar aynı şartlara sahiptir.
5. Onarım tesisinde parçalar onarıma başlamadan önce parçaların gecikmesi veya yığılması sözkonusu değildir.
6. Onarım zamanları istatistiksel olarak bağımsızdır.
7. Bir parçanın bozulma olasılığı, diğer parçalar için gerçekleşen bozulmalardan bağımsızdır.
8. Onarılan her bozulmaya, çoğu zaman bir tek parçanın/bileşenin bozulması neden olur.

Ayrıca, METRIC, aşağıdaki bilgilerin bilinmesini gerektirir (Guide Jr. ve Srivastava, 1997):

1. Talebin varyansının ortalamaya oranı;
2. Optimizasyon hedefleri, eldeki maksimum dolar ve/veya her parça için izin verilen maksimum beklenen bekleyen siparişler olarak tanımlanmıştır;
3. Her bir i parçası için ortalama depo onarım zamanı;
4. Her bir i parçası için parça birim maliyeti;
5. Yeniden elde edilebilir her bir i parçasının ortalama kesri;
6. Her bir i parçası için ortalama j . kademe onarım zamanı;
7. j . kademedan, i . parça için ortalama sipariş ve nakliye zamanı;
8. n zaman periyodu boyunca gözlenen talep;
9. Planlanan uçuş zamanlarının tahminleri veya kestirimleri.

Shebrooke'a (1992) göre METRIC modelin en temel dört kabulü aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

1. *Bir bayinin onardığı bir parçanın stok düzeylerine veya iş yüküne dayanıp dayanmadığı kararı.* Her bir parça üzerindeki bazı onarım kısımlarının bayinin onarım kapasitesi sınırları içinde olduğu kabul edilmiştir, çünkü test ekipmanına, personele ve diğer kaynaklara sahiptir. Bayi her ne zaman kapasiteye sahipse, bakım iş yüküne bakılmaksızın onarım gerçekleştirilir. Eğer gerekli yedek parçalar bayide mevcut değilse, depodan parçaları talep ettiği farz edilir (Sherbrooke, 1992).
2. *Bayi depodan yeniden-tedarik alır, bir başka bayiden yanal tedarik sözkonusu değildir.* Bu, stok düzeylerinin kurulması için uygun gözükmemektedir, çünkü yatay gönderimlerin sayısı tipik olarak küçüktür ve özel taşıma maliyetlerini teşvik etmeye yöneliktir. Yanal tedarik yok sayıldığında, depolar ve bayiler arasında taşıma maliyetlerine gerek olmaz, çünkü toplam taşıma maliyeti stoklama politikasının bir fonksiyonu değildir (Sherbrooke, 1992).

3. *(s-1, s) envanter politikası, her bir aşamadaki her bir parça için uygundur.* Birinci reçete seviyesindeki parçalar için, talep oranları yeterli derecede düşüktür ve maliyetler yeterli derecede yüksektir; ki ekonomik sipariş miktarı bire yakındır. Bunun anlamı şudur ki, bir parçanın birimleri onarım için partiler haline getirilmemiştir, ve herhangi bir artık birim bire bir temelinden sağlanır.

Elbette bu üç kabulden bazı sapmalar izin verilebilirdir. Depoda onarım durumunda, parçanın onarılması için, bağdaştırıcının otomatik test ekipmanına kurulumuna yönelik olarak bir miktar hazırlık zamanı gerekli olabilir. Eğer depodaki parça talebi orta ölçüde yüksekse, bakım yönetimi parçanın çeşitli birimlerini parti halinde onarmak isteyecektir. Böyle bir durumda modelde kullanılan ortalama onarım zamanı, depo onarımı başlatılmadan önceki ortalama bekleme zamanını içermelidir.

Tipik olarak, ilk-reçete seviyeli parçalar için kusur veya artık oranı oldukça düşüktür. Kusur oranı tedarik kararları için dikkate alınmalıdır, fakat burada depoda (s-1,s) politikasının kullanıldığı kabul edilmiştir (Sherbrooke, 1992).

4. *Optimal durgun-durum stok düzeyleri saptanır.* Kabul, gelecekte birkaç zaman periyodu boyunca, uçak veya uçuş saatlerinin sayısı oldukça sabit kalacak olmasıdır. Eğer talebe katkıda bulunan faktörler değişiyorsa, “en yüksek (tepe) program” için hesaplamak isteyebiliriz, fakat beliren stok düzeyleri durgun-durum düzeyleridir. Bunun anlamı, her bir parça için talep oranlarının sabit olması demek değildir.

Orijinal METRIC makalesi bileşik Poisson talebini incelemiş olup, talebin kümeler halinde meydana geldiği Poisson’un bir genelleştirmesidir. Bir kümedeki talep sayısı örneğin geometrik dağılım gibi bir olasılık dağılımı ile verilmiştir; kümeler arasındaki zamanın olasılık dağılımı üsseldir. Poisson dağılımı, küme boyutu daima birken, bileşik Poisson dağılımının özel bir durumu olarak düşünülebilir (Sherbrooke, 1992).

3.4.1.3 METRIC Teorisi

METRIC şu şekilde ifade edilebilir: $\beta_{ij}(s_{i0}, s_{ij})$ kademe j’deki i parçası için beklenen bekleyen siparişler olsun; depo stok düzeyi s_{i0} ve kademe j’deki stok s_{ij} ve c_i birim parça maliyeti iken, problem, müsaade edilebilir stoksuzlukların sayısının üst limitleri kısıtı altında onarılabilir yedeklerin maliyetinin minimizasyonudur, veya:

$$\text{Minimize et} \quad \{s_{ij}\} \sum_{i=1}^I c_i \sum_{j=0}^J s_{ij} \quad (3.23)$$

$$\text{Şu kısıtlar altında } \sum_{i=1}^I \beta_{ij}(s_{i0}, s_{ij}) \leq b_j \quad (3.24)$$

METRIC modelin mantığı beş adımda kolaylıkla açıklanabilir (Sherbrooke, 1968). İlk aşamada, depodan yeniden tedarik için bir kademe talebi için gereken ortalama zaman hesaplanmıştır, bu gecikme her bir j kademe için de hesaplanmalıdır. Depoda talebi ($s_0 \rightarrow \infty$) karşılamak için daima yeterli miktarda stok bulunması durumu gözönüne alınırsa, bir yeniden tedarik siparişinin alınma ve nakliye zamanları arasında gecikme olmayacaktır. Ortalama gecikme zamanı yalnızca sipariş ve nakliye zamanı, O_j , olacaktır. Eğer, diğer yandan, depodaki ortalama stok δ gibi bir miktarsa, ortalama onarım zamanı D 'den dolayı bir gecikme olacak ve yeniden tedarik zamanı $O_j + D$ olacaktır. Depodaki gecikme s_0 'ın bir fonksiyonu olarak tanımlanabilir; eğer depo onarımında s_0 veya daha az birim varsa, yeniden tedarik gecikmesi olmayacak fakat onarımda s_0 'dan daha fazla varsa $x - s_0$ birimin yeniden tedarigi geciktirilecektir. Gecikmenin gerçekleşeceği birimlerin beklenen sayısı şu şekilde tanımlanabilir (Guide Jr. ve Srivastava, 1997; Sherbrooke, 1992):

$$B(s_0|\lambda D) = \sum_{x=s_0+1}^{\infty} (x - s_0) p(x|\lambda D) \quad (3.25)$$

Bu, depodaki bekleyen sipariş birimlerinin beklenen sayısıdır. Bu, yalnızca kademelerde bekleyen siparişlerin toplamını minimize etmeye çalışan amaç fonksiyonunun belirgin bir parçası değildir. Herhangi bir zaman periyodu boyunca toplam beklenen gecikme, gecikmenin gerçekleştiği birimlerin beklenen sayısı, $B(s_0|\lambda D)$, ilgilenilen zaman periyodunun uzunluğu ile çarpılarak hesaplanabilir (Guide Jr. ve Srivastava, 1997; Sherbrooke, 1992).

İkinci adımda, depo stoğu s_0 'ın her düzeyi ve her bir kademe için beklenen bekleyen siparişler kademe stoğu s_j 'nin bir fonksiyonu olarak hesaplanabilir. Beklenen bekleyen siparişler kademe stoğunun bir fonksiyonu olarak şu şekilde verilir:

$$B(s_j) = \sum_{x=s_0+1}^{x=\infty} (x - s_j) p(x|\lambda_j T), \quad (3.26)$$

$$T = r_j A_j + (1 - r_j) [O_j + \delta(s_0) D], \quad (3.27)$$

burada $\delta(s_0) = B(s_0|\lambda D) / B(O|\lambda D)$, A_j = ortalama kademe onarım zamanı, ve r_j = kademe onarılabilir birimlerin ortalama kesridir (Guide Jr. ve Srivastava, 1997; Sherbrooke, 1992).

Adım üçte depo stoğunun her bir düzeyi için, s_0 , J kadememin her birinin stok birimlerinin optimal tahsisi, böylece tüm kademelerdeki beklenen bekleyen siparişlerin toplamının minimizasyonu için saptanmalıdır. Bu, bir sonraki stok birimini kademeye ekleyerek yapılan marjinal analiz yoluyla kolaylıkla yapılabilir; ki bu beklenen bekleyen siparişlerde, $B(s_j)$, en büyük azalma ile sonuçlanır (Guide Jr. ve Srivastava, 1997; Sherbrooke, 1992).

Dördüncü adımda, sabit toplam sistem stoğunun her bir düzeyi için, $s_0 + s$, beklenen minimum sistem bekleyen siparişleri seçilir. Beşinci adımda, çok-aşama problemi marjinal analiz ile adreslenir. Birim maliyetle bölünen beklenen bekleyen siparişlerdeki maksimum azalmayı üretecek şekilde, parçaya bir sonraki yatırım tahsis edilir.

METRIC, bekleyen siparişlerin süresi ve sayısının lineer olarak ilişkili olduğu kabulüne dayanır ve bu kabul için başlıca neden izlenebilirliktir (Sherbrooke, 1968). METRIC'in kullanımı için bir diğer önemli kabul maliyetlerin lineer yapısıyla ilgilidir; ki bekleyen sipariş maliyetleri ve elde tutma maliyetleri gibi tüm maliyet yapılarının lineer ilişkileri sıkıca izlediğini kabul eder. METRIC'in ve METRIC-tabanlı hesaplamaların doğasındaki önemli bir kabul, birimler için kusursuzca ilişkili bozulma ve taleptir. Bu durumda bir birimin bozulması, zamansal bir gecikme olmaksızın onarılmış bir birim için derhal talep üretir, ve bir $(s-1, S)$ sisteminde bu makul bir kabuldür. Bununla birlikte, bir yığın sistemi bunu kullandığında, makul olmayabilir (Guide Jr. ve Srivastava, 1997).

METRIC, birimlerin kullanıma uygunsuzluğuna izin vermez ve ayrıca METRIC tek bir parçadan oluşan birimlerle sınırlıdır (tek bir reçete düzeyi) ve sonuç olarak maliyetler hakkında tek aşama modellerdeki gibi sınırlamalardan şikayet eder. Kısmen, VARI-METRIC, çok-reçete seviyeli birimler ile ilişkili problemlerle başedebilmek için Sherbrooke (1986) tarafından formüle edilmiştir (Guide Jr. ve Srivastava, 1997).

3.4.2 VARI-METRIC Modeli

METRIC geliştirildiğinde, bayi bekleyen siparişlerini olduğundan az gösterdiği bilinmekteydi. Çoğu durumda hata çok fazla değildi, ve basitlik, kesinlik eksikliğinden daha önemli görünmekteydi (Sherbrooke, 1992).

Sonrasında, diğer araştırmacılar genellikle daha kısıtlayıcı kabuller pahasına kesin sonuçlar türettirler, Simon (1971) keyfi yeniden tedarik zamanları yerine sabit ve bileşik Poisson talep yerine Poisson kabulleri yapmıştır. Kruse (1979), çok-aşama problemi için kesin bir sonuç geliştirmiştir. Bununla birlikte, hem Kruse'nin hem de Simon'un modelleri önemli bilgisayar

zamanları gerektirir, ki bu çoğu aşamayı veya reçete seviyesini modellerken önemli bir unsurdur (Sherbrooke, 1992).

Slay (1984), METRIC'te bir gelişme gerçekleştirmiştir ve adına VARI-METRIC denmiştir, ve Graves (1985) daha sonra bu yaklaşımın basit bir türevini yayınlamıştır. VARI-METRIC tekniğinin avantajı, daha önceki gelişmelere nazaran daha fazla hesaplama kolaylığı sağlamasıdır. Graves, sabit yeniden tedarik zamanları kabulünü gerekli görmesine rağmen, bileşik Poisson talebi kabulünü sürdürmüştür. Graves, örneklerin %11'inde METRIC stok düzeylerinin optimal sonuçlardan en az bir birim farklı olduğunu; VARI-METRIC düzeylerinin örneklerin sadece %1'inde farklı olduğunu göstermiştir (Sherbrooke, 1992).

VARI-METRIC metodu, aşama yapısında en yukarıdaki lokasyondaki en aşağıdaki reçete seviyesi parçalardan başlayarak uygun bekleyen sipariş dağılımlarını, hemen akabinde çeşitli parçalar ve çeşitli lokasyonların bekleyen sipariş dağılımlarını türeterek, analiz eder. Bunu kolaylaştırmak için, ağıdaki tüm onarım atölyelerinde tüm parçaların (montaj ve alt montajdakiler) varış oranları hesaplanmıştır (Sleptchenko ve diğ., 2002).

Onarılabilir yedek parça tedarik ağlarının optimizasyonu yıllardır araştırma konusu olmuştur. Çoğu çaba, stok düzeylerinin optimizasyonuna harcanmıştır. Bu alandaki temel referans, VARI-METRIC modeller sınıfını geliştiren Sherbrooke'tur (1968, 1992). Tüm bu modellerde, onarım atölyeleri M/G/N kuyukları ile modellenmiştir, böylece sonlu onarım kapasitesinin etkisi gözardı edilmiştir. Bununla birlikte, sonlu onarım kapasitesi sistem uygunluğu üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir, özellikle eğer kullanım yüksekse. Bu sorunla mücadele etmenin bir yolu, yedek parça ağlarını kuyruk ağları gibi modellemektir. Bu modeller hesapsal olarak çaba gerektiren ve/veya sınırlı kapsamlı olma eğilimindedir (ör; tek-parça tahsis edilmiş onarım atölyeleri). Araştırmanın bir diğer boyutu, VARI-METRIC sınıfı modellerin, M/G/N kuyruk sistemleri ile sonlu kapasite kuyuklarının yer değiştirmesi ile genişletilmesidir. Burada, farklı onarım zamanı karakteristiklerine sahip çeşitli parçaları işleyen onarım atölyelerine izin verilmez. Sleptchenko ve diğerleri (2002) bunu, onarım atölyeleri için daha genel bir çok-sınıflı, çok-servisli model kullanarak yeniden çözer (Sleptchenko ve diğ., 2003).

3.4.2.1 VARI-METRIC Modelin Özellikleri ve Kabulleri

Bu bölümde, temel kabuller ve notasyonlar, VARI-METRIC'in temelleri ve onarım kapasitesi ve yedek parça envanterinin eşzamanlı optimizasyonu ile ilgili sorunlar tanımlanmaktadır. Burada, Sherbrooke'un (1992) genel olarak kullanılan aşağıdaki kabulleri kullanılmıştır: (Sleptchenko ve diğ., 2003; Sherbrooke, 1992; Sleptchenko ve diğ., 2005).

1. Sistem hataları durağan bir Poisson sürecine göre gerçekleşir, bu yüzden sabit bozulma oranına sahiptir.
2. Her bir montaj hatası, en fazla bir alt montaj hatasından kaynaklanır.
3. Her bir stok noktasında parça talebi ilk giren ilk çıkar (first in first out-FIFO) kuralına göre ele alınır.
4. Her bir stok noktası kesinlikle bir tedarikçiye sahiptir, diğer stok noktalarından yanal tedarik söz konusu değildir.
5. Her bir stok noktası, her bir parça için bir (S-1,S) birebir envanter ikmal kuralı kullanır.
6. İşlerin onarım atölyelerine atanması yalnızca bozulma, tamircinin becerileri ve ekipman uygunluğunun yol açtığı gibi teknik konulara dayanır, bu kesikli bir olasılık dağılımıyla temsil edilir.
7. Parça onarım zamanları bağımsız, özdeş dağılan rassal değişkenlerdir.
8. Onarım atölyeleri, işlerini FIFO disiplinine göre ele alır (yani onarım önceliği yoktur) (Sleptchenko ve diğ., 2003).

Kabul 1 hakkında alıştırma ve önleyici bakım, sürekli olmayan bir aksamaya neden olur. Bozulmalar arası zaman için bir Weibull dağılımı almak daha gerçekçi görünmektedir. Bununla birlikte, Kabul 1'i gevşetmek analiz için ciddi karmaşıklıklara yol açar, çünkü onarım atölyeleri (çok-sınıflı) G/G/k kuyrukları ile modellenmelidir. Bundan dolayı, kendimizi Poisson bozulmalar için kısıtlarız. İlaveten, hem parça istekleri (Kabul 3) ve hem de onarım istekleri (Kabul 8) için FIFO disiplininin uygulamada sıklıkla kullanıldığı şüphelidir. Onarım ve dağıtımda basit öncelik kurallarının sistem performansı üzerinde pozitif bir etkiye sahip olabileceği mantıklıdır; Pyke'ın (1990) ayrıca simülasyon kullanarak gösterdiği gibi. Bununla birlikte, dağıtım ve/veya onarım önceliklerinin varlığında stokların optimizasyonuna yönelik analitik modellerin farkında değiliz. Buradaki modelin daha ileri bir genişlemesi olarak böyle bir analiz öncelik kuyruklarını rahatlatılabilir. Burada kendimizi FIFO disiplini ile kısıtlarız (Sleptchenko ve diğ., 2003).

VARI-METRIC, yedek parça ağlarındaki stok düzeylerini optimize etmeye yönelik bir sezgiseldir. Her bir iterasyonda, belirli bir lokasyondaki belirli bir parçanın envanter düzeyi artmaktadır. Parça ve lokasyon için seçim kriteri beklenen siparişteki sarfedilen her dolardaki azalmadır; çünkü tesis edilmiş kademenin ortalama uygunluğunun maksimizasyonu, tüm aşağıdaki stok lokasyonlarındaki tüm en yüksek reçete seviyesindeki parçaların beklenen bekleyen siparişlerinin toplamının minimizasyonuna eşittir. Bu kriter fonksiyonunun hesaplanması, eğer tüm onarım atölyelerinin sonsuz kapasiteye sahip olduğu kabul edilirse,

görelî olarak kolaydır. Bunun sebebi, bir $M=G=1$ kuyruğundaki parça sayısının Poisson dağıldığını ifade eden Palm'ın teoreminin kullanılabilmesidir (Sleptchenko ve diğ., 2005).

Eğer bir onarım atölyesinin kapasitesi sonlu ise, onarım atölyeleri $M=M=k$ kuyrukları veya $M=M=c$ kuyrukları ile modellenenebilir. Bununla birlikte, bu modeller pratikte yaygın olduğu gibi farklı onarım zamanlarına sahip çeşitli parçalar aynı onarım atölyesini kullandığında yeterli değildir. Bu durumda, çeşitli iş sınıfları ayırt edilmeli ve çok-sınıflı, çok-servisli bir kuyruk modeli ile bitirilmelidir. Sleptchenko ve diğ. (2002) böyle bir modelin, her bir onarım atölyesi kuyruğundaki her parça sınıfındaki parça sayılarının ilk iki momentini hesaplamak için, varsayılan $M=G=1$ 'den ziyade çok-sınıflı $M=M=k$ kuyruğu kullanılarak VARI-METRIC yapısında yer alabileceğini göstermiştir. Palm'ın $M=G=1$ kuyruğu için olan teoremini basitçe kullanmak yerine, çok-sınıflı $M=M=k$ kuyruğunu analiz etmek için geliştirilen bir algoritmayı kullanmışlardır. Bu algoritma, sistem durum olasılık dağılımını bulmayı amaçlar, böylece tüm ilgili performans ölçütleri (ör; sistemdeki parça sayılarının tüm momentleri) hesaplanabilir (Sleptchenko ve diğ., 2005).

Bu kuyruk modelini VARI-METRIC yapısına katarken, Sleptchenko ve diğ. (2002) sistemdeki parça sayısına, ilk iki momente uydurulan basit bir olasılık dağılımı ile yaklaşırlar. Bu yaklaşımın nedeni, tüm alt stok lokasyonlarındaki tüm en yüksek reçete seviyesindeki parçaların bekleyen siparişlerinin ortalama sayısının toplamının hesaplanmasını kolaylaştırmaktır. Ortalama bekleyen siparişler, tüm onarım atölyelerindeki tüm parça sayılarının olasılık dağılımına bağlıdır, bundan dolayı kesin olasılık dağılımları kullanımı aşırı hesaplamalara sebep olabilir. Her ne kadar VARI-METRIC yaklaşımı hala uygulanabilse de; onarım atölyesi kapasiteleri sonlu ise, analiz, çeşitli parçaların bekleyen siparişleri ile ilişkili olduğu için komplikedir. Bu ilişkileri görmezden gelmek, ortalama sistem uygunluğunun tahmininde bir hataya yol açar (Sleptchenko ve diğ., 2005).

Benzer şekilde, eğer kuyruk sistemindeki, parça sayılarının ilk iki momenti değerlendirilebilirse, onarım atölyeleri için olan diğer kuyruk modelleri VARI-METRIC'e adapte edilebilir. Genellikle kuyruk analizi, ortalama bekleme zamanı ve ortalama kuyruk uzunluğu gibi birkaç çekirdek performans karakteristiği ile sınırlıdır. Kuyruk uzunluğunun varyansı değerlendirilebilse bile, VARI-METRIC'te kullanıma uygun değildir, çünkü sistemdeki toplam parça sayısının varyansına ihtiyaç duyulmaktadır. Kuyruktaki parça sayıları ve onarımdaki parça sayıları ilişkilidir, bu yüzden basitçe her iki varyans toplanamaz (Sleptchenko ve diğ., 2005).

3.4.2.2 VARI-METRIC Matematiği

Burada, VARI METRIC'ten, parça ve aşama ile bekleyen sipariş hedefleri kullanılarak yeniden sipariş noktasını ve sipariş miktarını hesaplamak için bir prosedür geliştirilmiştir. Özel bir parça için aşağıdaki değişkenler tanımlanmıştır (Sherbrooke, 1992):

μ = bir temin (veya yeniden tedarik) süresi boyunca beklenen talep

T = sabit temin süresi

σ = bir temin süresi boyunca talebin standart sapması

R = yeniden sipariş noktası

k = koruma düzeyi = $(R - \mu) / \sigma$

Q = sipariş miktarı

$EBO(Q, k)$ = zamanın rassal bir noktasındaki beklenen bekleyen siparişler; daha önce s'ye dayanmaktayken, şimdi Q ve k gibi k parametreye dayanır. (Yeniden sipariş noktası R 'nin, k 'dan hesaplanabileceğine dikkat ediniz).

Temin süresi talebi için Laplace dağılımı şu şekilde verilmiştir:

$$lap(x) = \left(\frac{\sqrt{2}}{2\sigma}\right)e^{-\frac{\sqrt{2}|(x-\mu)|}{\sigma}} \quad \text{tüm x'ler} \quad (3.28)$$

Hadley ve Whitin'in yaklaşımını kullanarak, t zamanında bekleyen sipariş birimlerinin sayısının y , $y + dy$ arasında olma olasılığı, t-T zamanında envanter pozisyonunun (eldeki artı verilen sipariş eksi bekleyen siparişler) L , $L + dL$ arasında olduğunu verir:

$$\left(\frac{\sqrt{2}}{2\sigma}\right)e^{-\frac{\sqrt{2}|(L+y-\mu)|}{\sigma}} dy \quad (3.29)$$

Bunun nedeni t-T'de verilen siparişteki herhangi bir stoğun t zamanında varması gerektiği, ve t-T zamanından sonraki hiçbir talebin ikmal edilemeyeceğidir. Hadley ve Whitin, envanter pozisyonunun L ve $L + dL$ arasında olma olasılığının dL/Q olduğunu göstermişlerdir. Bu nedenle, Presuti ve Trepp şunu bulmuştur ki, y ve $y + dy$ arasında bekleyen sipariş birimlerinin sayısının olasılığı,

$$\Pr\{y \leq BO \leq y + dy\} = \int_R^{R+Q} \left(\frac{\sqrt{2}}{2\sigma}\right)e^{-\frac{\sqrt{2}(L+y-\mu)}{\sigma}} dy \frac{dL}{Q} \quad (3.30)$$

Eşitlik 3.29'dan kesin değerler silinebilir, çünkü $L+y$ 'nin μ 'den büyük olması gibi y 'nin değerlerini dikkate alırız. Bu, pozitif bir emniyet düzeyi gereksinimine eşittir.

$$\Pr\{BO = y\} = \frac{1}{Q} \int_R^{R+Q} \left(\frac{\sqrt{2}}{2\sigma}\right) e^{-\frac{\sqrt{2}(L+y+\mu)}{\sigma}} dL \quad (3.31)$$

$$\Pr\{BO = y\} = \left(\frac{5}{Q}\right) e^{-\frac{\sqrt{2}(y+k\sigma)}{\sigma}} \left(1 - e^{-\frac{\sqrt{2}Q}{\sigma}}\right) \quad (3.32)$$

Ve beklenen bekleyen siparişler,

$$EBO(Q, k) = \int_0^\infty \Pr\{BO = y\} dy = \left(\frac{25\sigma^2}{Q}\right) e^{-\sqrt{2}k} \left(1 - e^{-\frac{\sqrt{2}Q}{\sigma}}\right) \quad (3.33)$$

Bir parçayı bir yerde tutmanın ve sipariş etmenin yıllık maliyetleri,

$$\min \frac{\Omega m}{Q} + \iota c \left[\frac{Q+1}{2} + R - \mu + EBO(Q, k) \right] \quad (3.34)$$

Şu kısıtlar altında,

$$EBO(Q, k) \leq \beta$$

$$Q \geq 1$$

$$R \geq -1$$

Burada,

m = bir üst aşamadaki ortalama talep/yıl

Ω = sabit sipariş maliyeti

ι = yıllık birim başına elde tutma maliyeti

c = parça maliyeti

β = VARI-METRIC ile saptanan bekleyen sipariş (bu, bir üst aşamadan yeniden tedarik edilen stok bölümü için bekleyen siparişler olmalı)

3.34 Eşitliğinin ilk terimi, sipariş başına ortalama maliyet ile yıl başına siparişlerin ortalama sayısının çarpımıdır; geri kalan terimler parçanın bir birimini elde tutmanın ortalama yıllık maliyeti ile eldeki ortalama stoğun çarpımıdır. $k\sigma = (R - \mu)$ eşitliği 3.34 eşitliğinde yerine konur, böylece değişkenler artık Q ve R yerine Q ve k 'dır. 3.34 Eşitliğinin toplamının, bir Lagrange çarpanı, λ , ilavesiyle, kısıt denklemi 3.33 ile çarpılmasıyla minimize edilmesi istenmektedir:

$$\lambda = \iota c \left(\frac{4Q}{\sqrt{2}\sigma\Psi e^{-\sqrt{2}k}} - 1 \right) \quad (3.35)$$

$$\Psi = 1 - e^{-\frac{\sqrt{2}Q}{\sigma}} \quad (3.36)$$

Aynı ifade Q bakımında farklılaştırılır ve sıfıra eşitlenirse, Lagrange çarpanını Eşitlik 3.35'ten çekmek ve elde etmek mümkündür:

$$0 = -\frac{\Omega m}{Q^2} + \frac{ic}{2} - \frac{ic}{\sqrt{2}\mu} \left(\frac{\Psi}{Q} - \left(\frac{\sqrt{2}}{\sigma} \right) e^{-\frac{\sqrt{2}Q}{\sigma}} \right) \quad (3.37)$$

3.37 Eşitliği, yeniden sipariş noktası R 'yi tanımlayan k 'dan ve bekleyen sipariş kısıtı g 'den bağımsızdır. Bunun sebebi tabii ki, Laplace dağılımının kullanılmasıdır. Eşitlik 3.37, Q için açıkça çözülemez. İteratif bir çözüm mümkündür, fakat daha kolay bir alternatif, çoğu durumda Eşitlik 3.36'daki Ψ 'nün yaklaşık bir olduğunu kabul etmektir, böylece Eşitlik 3.37 şu şekilde yazılabilir:

$$0 = -\frac{\Omega m}{Q^2} + \frac{ic}{2} - \frac{ic\sigma}{\sqrt{2}Q} \quad (3.38)$$

ve

$$Q = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} + \sqrt{\frac{2\Omega m}{ic} + \frac{\sigma^2}{2}} \quad (3.39)$$

k , Eşitlik 3.33'ten direkt olarak çözülebilir, çünkü bekleyen siparişler, Eşitlik 3.34'ü minimize etmek üzere kısıt β 'ya eşit olmalıdır:

$$k = -\frac{1}{\sqrt{2}} \log \frac{4Q\beta}{\sigma^2 (1 - e^{-\frac{\sqrt{2}Q}{\sigma}})} \quad (3.40)$$

Eşitlik 3.35'in minimizasyonundaki R 'deki kısıt şunu gösterir $k \geq -(1 + \mu)/\sigma$.

Bu denklemlerin çözülmesi kolaydır. Q 'yu elde etmek için Eşitlik 3.39'da yerine koyarız ve bu değeri Eşitlik 3.40'ta, k ve yeniden sipariş noktası R için çözmek için yerine koyarız. Q ve R 'nin bir üst aşamadaki taleple ilgili olduğu hatırlanmalıdır; lokal olarak onarılan talepler haricinde. Eşitlik 3.39'da σ 'nın sıfıra gitmesine izin verildiğinde, Wilson lot büyüklüğünün ($Q = \sqrt{\frac{2\Omega m}{ic}}$) türetildiği görülür.

Temin süresinin sabit olmadığı kabul edilsin. Beklenen bekleyen siparişlerin türetilmesinde sabit temin süresi kabulü kullanılmıştır. Eğer temin süresinin değişmesine izin verilseydi, beklenen bekleyen siparişlerin tahmini kesin olarak doğru olmayacaktı. Tabii ki, Laplace

dağılımı kullanıldığı için, bu bir yaklaşımdır. Fakat, eğer temin süreleri sabit değilse, σ temin süresi boyunca talebin standart sapmasıdır; ki sabit bir temin süresince talep değişkenliğini ve temin süresi değişkenliğini içerir. Bu yüzden, σ , sabit temin süresi durumundan daha büyük olmalıdır (Sherbrooke, 1992).

3.4.3 MOD-METRIC ve DYNA-METRIC Modelleri

Yinelenen problemlerden birisi, çok-aşamalı sistemde yedek parçaların nerede yer alacağıdır. Muckstadt (1973) buna MOD-METRIC sisteminde bir cevap verir. MOD-METRIC sistem, daha önceki sistemlerde olduğu gibi tüm parçaların beklenen bekleyen sipariş maliyetlerinin yerine, son ürünün (uçak motorları) beklenen bekleyen sipariş maliyetini minimize eder. MOD-METRIC sistem, makine ve modül stok düzeylerini saptamak ve son ürün için ortalama yeniden tedarik zamanını kullanır. Algoritma, problemi iki parçaya bölerek geliştirilmiştir; biri makine tedariğinin optimizasyonu ile ve diğeri ise modüllerin optimizasyonu ile ilgilidir (Kennedy ve diğ., 2002).

Sherbrooke, amaç fonksiyonunun operasyonel olmayan bitmiş ürünün beklenen sayısını direkt olarak minimize etmesi için METRIC'in yeniden bir formülasyonunu sunar. Bununla birlikte, amaç fonksiyonundaki bu değişim optimallliği daha fazla sağlayamaz ve yalnızca yaklaşık çözümler sağlar. Muckstadt (1973) METRIC'in MOD-METRIC olarak bilinen bir uzantısını geliştirir, ve burada çok sayıda reçete seviyelerine izin verir (yani bir son parça ve komponentleri için yedek gereksinimlerine). Bununla birlikte, MOD-METRIC parça düzeylerinin sayısı arttıkça, artarak kompleksleşir; Muckstadt (1973) tartışmayı iki aşamalı bir örnek için sınırlar. Muckstadt (1978), daha hızlı bir hesaplama hızında MOD-METRIC formülasyonunu çözmek için bir Lagrange optimizasyon tekniği önerir. Yaklaşım metodu, optimal sonuca çok yaklaşmayı sağlarken, MOD-METRIC kullanımını çok geniş problemler için daha pratik yapar. Yaklaşım tekniğine Muckstadt'ın kıyaslamaları yüksek talepli parçalar için sınırlıdır ve uçak motorları gibi çok pahalı birimler için son parça düzeyinde yüksek talebe bağlı olup olmadığı çok açık değildir. Muckstadt (1979) ayrıca METRIC'i üç-aşamalı tedarik sistemi durumu için genişletmiştir; ki burada kademelere ve merkezi bir depoya ilaveten bir ara bakım yerleşimi söz konusudur, ve tüm ürünlerin modüler bir tasarımda olduğu kabul edilmiştir (Guide Jr. ve Srivastava, 1997).

Simon (1971), envanter pozisyonları için kesin ifadeler türetir ve kullanıma uygunsuzluklara izin verir ve METRIC'in yaklaşımlarını çalışmasında özel örnekler şeklinde sunar. Bununla birlikte, Simon'un (1971) modeli METRIC'in hiçbir kabulünü yumuşatmaz ve aynı kısıtlamalara izin verir.

Shanker (1981), deterministik onarım zamanlarını kabul ettiği için, METRIC'ten daha az genel olan bir sistem için kesin ifadeler sağlar. Shanker (1981) yığın ve birim denetim politikalarını inceler, ki her ikisi de birimlerin kullanıma uygunsuzluğuna izin verir. METRIC'in tüm kabulleri bu analizde yer alır, ayrıca yenileri de eklenir.

Lee (1987), iki-aşamalı bir sistem için, bazı yanal aktarmalara izin veren, METRIC-tabanlı bir yaklaşım sağlar. Yanal aktarmalar, parçaların bekleyen sipariş olduğu bir kademede stoklardan bir başka kademeye transfer edilebilmesi, bir başka kademede yeterli stok bulunmasının sağlanmasıdır ve kademeler aynı çalışma grubundadır.

Demmy ve Presutti, 1981'de hava kuvvetleri lojistik kuvvetlerinde çok-aşamalı envanter teorisini uygulamalarını incelemişlerdir. METRIC'i adım adım tartışır, MOD-METRIC'i, tedarik modellerini tartışır ve bir tedarik-onarım modelini (sınırlı onarım fonları) dikkate alırlar. Bu senaryoda, eğer mevcut zamanda fonlar uygun değilse, hizmet dışı varlıklar sonradan onarılmak üzere bir havuzda tutulabilirler. Yenileme yedekleri için METRIC tabanlı "Değişken Güvenlik Düzeyi" kullanılırken, yedeklerin başlangıç ikmali için bir metot olarak tartışılmıştır. Silver (1972), METRIC'e dayanan, (s-1,s) envanter politikasını kullanan, Kanada hava kuvvetleri için geliştirilen bir model sunar; fakat uçağın hazır bulunma oranını (burada hazır bulunma oranı, sıfır bekleyen sipariş olasılığı şeklinde tanımlanmıştır) maksimize etme amacını taşır. Silver'ın (1972) formülasyonu kullanılmış parça kullanımına (cannibalization) izin verir, fakat METRIC'teki aynı kısıtlayıcı kabullerin tümünü kullanır. Model, tek kademe reçete seviyeli ürünlerle sınırlıdır ve bunun maksimizasyon yapısından dolayı yalnızca yaklaşık çözümler sağlar.

METRIC'in eksikliklerinden dolayı, iki model formüle edilmiştir: DYNA-METRIC ve VARI-METRIC. VARI-METRIC çok reçete seviyeli ürünlerin problemlerini ve tedarik hattındaki envanterlerin varyansını adresler. DYNA-METRIC, savaş zamanı boyunca onarılabılır parçalar için talepteki dalgalanma problemiyle (yani durgun durum olmayan koşullar) uğraşır.

VARI-METRIC, çok-parçalı çok-aşamalı onarılabılır envanter sistemindeki kademelerin karşılaştığı bekleyen siparişlerin gerçek sayısının doğru tahminlerini gerçekleştirmek ve METRIC'in hesapsal hızında gelişme sağlamak için Sherbrooke (1986) tarafından geliştirilmiştir. METRIC'e benzer şekilde, model bir sürekli inceleme (s-1,s) sistemi kullanır ve birimlerin ve aktarmanın herhangi bir biriminin kullanıma uygunsuzluğunu yasaklar. Bu, problemin doğasından ötürü optimallikten ziyade, bir yaklaşım sağlar (Guide Jr. ve Srivastava, 1997).

DYNA-METRIC, savaş zamanı boyunca askeri onarılabılır envanter sistemlerinin büyük talep dalgalanmalarına (durgun durum olmayan davranış) bağlı olacağı teorisine dayanır, bu yüzden varyans-ortalama oranları birden büyük olabilir. Model bununla birlikte bozulma oranlarını durağan kabul eder. DYNA-METRIC yedeklerin stoklanması, öncelik onarımı ve dağıtımı ile ilişkili bir simülasyon modelidir ve model hareketsiz duran uçakların beklenen sayısını minimize eden kararlar almaya çalışır. Aktarmalara izin verir ve yeterli hizmet kanallarının uygun olduğunu kabul etmez. Pyke (1990), DYNA-METRIC'i, yalnızca elektronik bileşenler kullanarak, üç-aşamalı bir sistem için değerlendirir ve çok sayıda önemli sonuca ulaşır. Pyke (1990) onarım zamanlarında çok küçük bir artışın, beklenen hareketsiz duran uçak sayısında çok büyük bir artışa yol açtığını inceler, ve bu iki genel gözlemle sonuçlanır: birincisi, onarım atölyesi kullanım oranları 0.80'den daha büyük olmamalı; ve ikincisi, eğer aktarmalar kullanılıyorsa, daha kısa aktarma zamanları maksimum faydayı sağlar. Pyke'ın değerlendirmesi, DYNA-METRIC'in kendisi de kısıtlanmış olduğu gibi, tek bir parçadan oluşan tek reçete seviyesi ürünler ile sınırlıdır (Pyke, 1990). DYNA-METRIC simülasyon-tabanlı bir model olduğu için, yalnızca yaklaşık çözümler uygundur (Guide Jr. ve Srivastava, 1997).

4. YAPAY SİNİR AĞLARI - BULANIK MANTIK YÖNTEMLERİ VE BİRLİKTE KULLANILMALARI

Bu bölümde öncelikle yapay sinir ağları ve bulanık mantık yöntemleri ayrı ayrı tanıtılmaktadır. Ardından, iki yöntemin bütünleşme mantığı açıklanarak bu bütünleşmeyle elde edilen sinirsel-bulanık ağlar ve çeşitleri detaylandırılmaktadır. Böylece tezde geliştirilen modellerin yapıları gereği kullanılacak olan sinirsel-bulanık ağlar ve hesaplama detayları sunulmuş olacaktır.

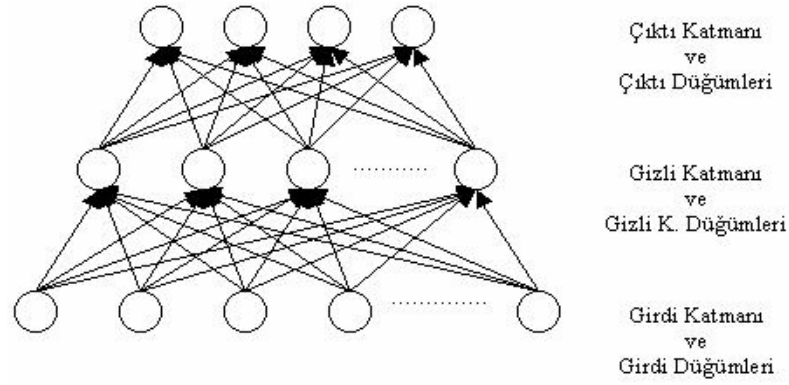
4.1 Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağı (YSA), insan beyninin çalışma ve düşünebilme yeteneğinden yola çıkılarak oluşturulmuş bir bilgi işlem teknolojisidir.

Yapay sinir ağının işleyiş özelliklerine dayanan ikinci bir diğer tanımı ise Dr. Robert Hecht-Nielsen'e ait bir tanımdır: "Yapay sinir ağı dışarıdan gelen girdilere dinamik olarak yanıt oluşturma yoluyla bilgi işleyen, birbiriyle bağlantılı basit elemanlardan oluşan bilgi işlem sistemidir" (Pankaj ve Benjamin, 1992).

Yapay Sinir Ağı Modelleri, Nöron Ağı Modelleri, İlişkisel Modeller, Paralel Dağıtılmış İşleme Modelleri veya Neuronorfik Sistem gibi değişik şekillerde isimlendirilmektedir. Ancak ismi ne olursa olsun tüm bu modeller, biyolojik sinir sisteminin bilinen yapısını göz önüne alarak, yüksek bir performansın elde edilmesini sağlayacak şekilde basit hesaplama elemanlarının yoğun bağlantılarından meydana gelmiştir. Yapay sinir ağı modelleri, paralel ve yüksek hesaplama hızlarının gerekli olduğu ve mevcut en iyi bilgisayar sistemlerinin dahi gerçekleştirmekten oldukça uzak olduğu, özellikle konuşma ve görüntü algılama başta olmak üzere çeşitli sahalarda büyük bir potansiyele sahiptir. Von Neumann bilgisayarlarında olduğu gibi program komutlarının sırasal olarak icra edilmesi yerine, YSA modelleri bir çok hesaplama elemanının değişken ağırlıklarla birbirlerine bağlanmasını ve yoğun paralel işlemlerin yapılmasını öngören çeşitli varsayımlara dayandırılmaktadır (Simpson, 1990).

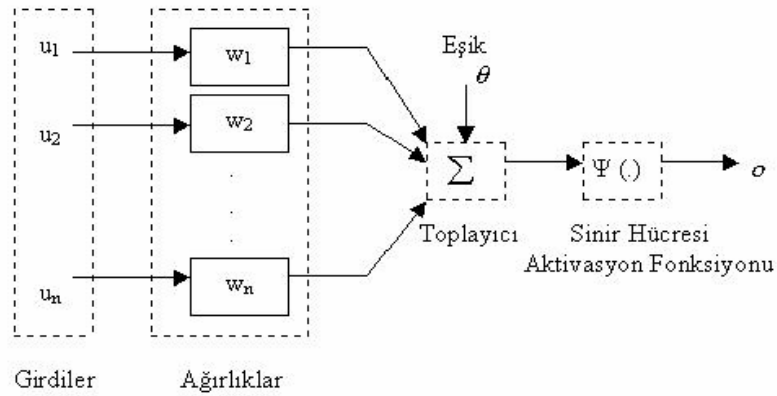
Genel olarak bir YSA modeli Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, n adet katman, her katmanda biyolojik sinir hücrelerine benzer işlevi yerine getiren ve değişik sayılarda olabilen hesaplama elemanları, katmanlar boyunca bu hesaplama elemanları arasındaki yoğun bağlantılardan meydana gelmektedir. Çeşitli YSA modellerinde kullanılan hesaplama elemanları; yapay sinir hücresi, düğüm, birim veya işlem elemanı olarak isimlendirilmektedir (Kuo ve Xue, 1998a,1998b; Haykin, 1999; Geva ve Sitte, 1992; Hush ve Horne, 1993; Lippmann, 1987).



Şekil 4.1 Genel bir yapay sinir ağı modeli

4.1.1 Yapay Sinir Ağlarının Matematik Modeli

Sinir hücreleri, sinir ağlarını oluşturan, tek başına ele alındıklarında çok basit işleve sahip işlemcilerdir (Taskin ve Guneri, 2006). Bir sinir hücresi yapısı içerisinde üç ana bölüm bulunur. Bunlar sırasıyla sinapslar, toplayıcı ve aktivasyon fonksiyonudur (Haykin, 1999). Şekil 4.2’de bir sinir hücresinin modeli gösterilmektedir. Bu şekilden de görülebileceği gibi, sinir hücresi girdileri sinaptik bağlantılar üzerindeki ağırlıklar ile çarpılarak bir toplayıcıya uygulanmakta ve elde edilen toplam, sinir hücresinin aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek çıkışlar hesaplanmaktadır. (4.1) denkleminde ağırlıklı toplamın oluşturulması, (4.2) denkleminde ise sinir hücresi çıkışının hesaplanması verilmektedir (Haykin 1999; Önder ve Kaynak, 2000):



Şekil 4.2 Bir sinir hücresinin yapısı (Haykin 1999)

$$S = w_1u_1 + w_2u_2 + \dots + w_nu_n - \theta = \sum_{i=1}^n w_iu_i - \theta \quad (4.1)$$

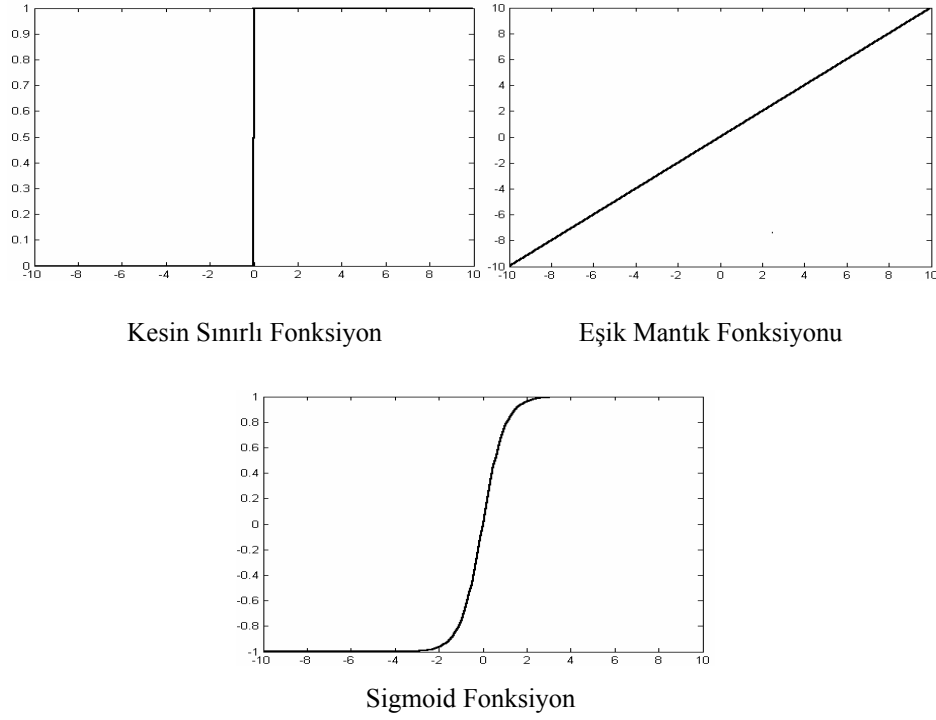
$$o = \Psi(S) \quad (4.2)$$

Her bir girdideki değişim, nöron çıkışında belirli bir değişime neden olmakta ve bu değişimin genliği, girdinin etki derecesini belirleyen bağlantı kazançlarına, toplayıcının eşik değerine ve nöron aktivasyon fonksiyonunun tipine bağlı olmaktadır. Burada w_i ile gösterilen kazançlar ağırlık olarak, θ değeri eşik olarak, Ψ fonksiyonu da sinir hücresi aktivasyon fonksiyonu olarak isimlendirilmektedir. Denklem (4.1) ve (4.2)'den de görülebileceği üzere eşik değerinin girdilerden bağımsız olmasından dolayı bütün girdilerin sıfır olduğu durumlarda sinir hücresi çıkışında $\Psi(0)$ yerine $\Psi(\theta)$ değeri gözlenir ki bu da, belirtilen şartlar altında sinir hücresi çıkışının sıfır olması zorunluluğunu ortadan kaldırır. Eşik değerinin kullanımı, pratikte +1 ya da -1 değerine sahip bir girdinin θ ağırlığına sahip bir bağlantı ile toplayıcıya girdiği şeklinde ele alınır.

4.1.2 Aktivasyon Fonksiyonu Tipleri

Kullanılan YSA modeline göre çıktı değerinin elde edilmesi için uygulanan doğrusal olmayan fonksiyon Şekil 4.3'te görüldüğü gibi kesin sınırlı, eşik mantık elemanı ve sigmoid düzende olabilmektedir.

Kullanılan modele bağlı olarak bu şekilde çıktı değeri hesaplanan bir düğüm, ağın içerisinde bağlantılı olduğu düğümlere çıktısını gönderecektir. Bir YSA'nın öğrenim süreci, girdi katmanındaki düğümlere uygulanan girdi değerlerine göre, kabul edilebilir düzeydeki doğru çıktıyı hesaplayacak ağırlık matrisinin oluşturulmasıdır. Bağlantı ağırlıklarının nasıl düzenleneceği YSA araştırmalarının temel konusu olup, bu düzenleme *Uyum Gösterme (Adaptasyon)* veya *Öğrenme* olarak isimlendirilmektedir. Uyum gösterebilme yeteneği ve sürekli öğrenim, eğitim verilerinin kısıtlı olduğu ve yeni konuşmacılar, yeni kelimeler, yeni şiveler, yeni tümceler ve yeni çevrenin sürekli eklendiği bir sahada en önemli koşuldur. Uyum gösterme aynı zamanda işlem elemanlarının özelliklerinde küçük değişikliklerin giderilebilmesi için belirli bir düzeye kadar sisteme güç kazandırmaktadır (Taşkın, 2003).



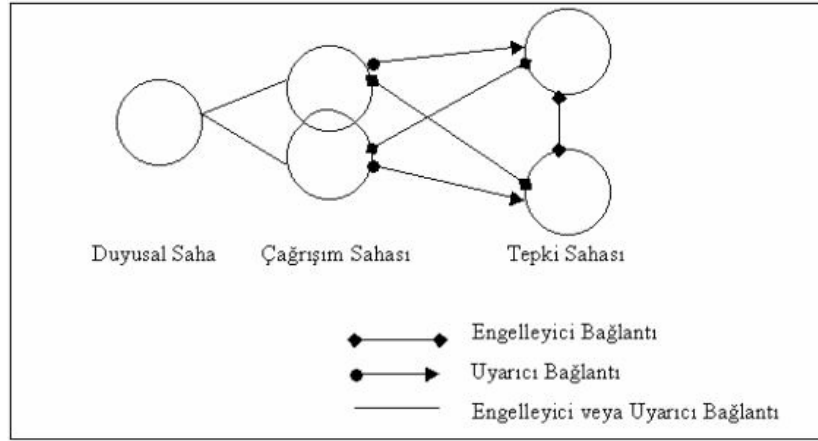
Şekil 4.3 Çeşitli YSA modellerinde kullanılan aktivasyon fonksiyonları

Bir düğüm birden fazla düğüm tarafından etkilendiği için, etkileyici düğümlerdeki verilerin yetersiz veya bozuk olması, sistemin tüm performansını etkilemeyecektir. Bu durum YSA'nın klasik bilgi işlem uygulamalarına göre, yetersiz veya bozuk verilerle çalışma sırasında ortaya çıkabilecek hatalara karşı ne kadar esnek olduğunun bir göstergesidir.

4.1.3 Perceptron Ağı

1950'li yılların sonlarında Cornell Üniversitesi'nden psikolog Frank Rosenblatt'ın Perceptron olarak bilinen çalışması, yapay sinir ağlarının gelişiminde ve aynı zamanda duraklamasında önemli bir yere sahip olmuştur (Vellido ve diğ., 1999).

Rosenblatt, biyolojik sinir ağlarındaki bağlantıların tesadüfi olarak oluştuğunu ileri sürmüş, bu düşüncenin bir sonucu olarak McCulloch-Pitts Modeli gibi sembolik mantığın kullanıldığı önceki analizlerin aksine, en uygun aracın Olasılık Teorisi olacağını belirtmiştir. Bu düşüncenin paralelinde herhangi bir şekilde tesadüfi olarak birbirine bağlanan ağların genel özelliklerinin tanımlanabilmesi için “İstatistiksel Ayrılabilirlik ve Perceptron Öğrenme Kuramını” geliştirmiştir.



Şekil 4.4 Perceptron yönteminin venn diyagramları ile gösterimi (Rumelhart ve McClelland, 1986)

Şekil 4.4'te Venn diyagramları kullanılarak iki tepki düğümünden meydana gelen basit bir perceptronun tüm bağlantı şeması görülmektedir. Bu grafik, her tepki düğümünün kendi kaynak kümesinin tamamlayıcısı olan çağrışım düğümlerini ve her tepki düğümünün diğerlerini engellediğini göstermektedir. Bu faktörler retinada beliren her uyarım örüntüsü için bir tek kazanan tepki düğümünün oluşmasına yardımcı olmaktadır. Tepki düğümleri, çağrışım düğümlerinde gerçekleştirilene benzeyen bir şekilde tepki göstermektedir. Tepki düğümü girdileri toplamının, belirli bir eşik değerini aşması halinde çıktı değeri +1 , aksi halde -1 olmaktadır.

Perceptron ancak belirli bir eğitim sürecinden geçtikten sonra, farklı örüntüleri birbirinden ayırt edebilme yeteneğini kazandığı için öğrenen bir yöntemdir. Verilen bir örüntü için perceptronun doğru tepkilerine katılan veya katılmayan çağrışım düğümlerine bağlı olarak, çağrışım düğümlerinin çıktısı arttığı veya azaldığı için öğrenme kuvvetlendirici bir işlemi gerçekleştirmektedir. Retinaya bir örüntü uygulanmakta ve bir tepki düğümü aktif hale gelinceye kadar, katmanlar arasında uyarım yayılmaktadır. Doğru tepki düğümünün aktif olması halinde, işleme katılan çağrışım düğümünün çıktı değeri artırılmakta, yanlış bir tepki düğümünün aktif olması halinde ise çıktı değeri azaltılmaktadır (Rumelhart ve McClelland, 1986).

Rosenblatt'ın bu çalışması "Perceptron Yakınsama Kuramı" olarak bilinen önemli bir sonucun ispatını sağlamıştır. Kuram iki farklı sınıfın farklı örüntülerini öğrenen tek bir tepki düğümlü perceptron için ispatlanmıştır. Sınıflandırma perceptron tarafından öğrenilebiliyorsa, anlatılan süreç sonlu sayıdaki eğitim dönemlerinin sonucunda, perceptronun öğrenebileceğini garanti etmektedir (Geva ve Sitte, 1992).

Sistemdeki tepki düğümlerinin sayısına göre, bu veya buna benzeyen bir sistem retinada beliren bir örüntüyü, yeterince birbirine benzeyen örüntüler aynı tepki düğümünü uyuracak şekilde sınıflandırmada kullanılabilir.

Çok katmanlı perceptron ağı ilk defa M. Minsky ve S. Papert tarafından 1969 yılında tanıtılmıştır. Bir önceki bölümde anlatılan perceptronun daha gelişmiş bir versiyonudur. Burada girdi ve çıktı kademeleri arasında bir de gizli sinir kademesi vardır.

Buradaki gizli katmanın fonksiyonu, girdi vektörleri ile sinir ağına çıkışı arasında ilişki kurmaktır. Bu ek kademe sayesinde sinir ağı özellikle girdi değişkenlerinin çok olduğu durumlarda, istatistiki bilgilerin çıkarımı konusunda kabiliyet kazanmaktadır (Kuo ve Cohen, 1998).

Girdi katmanındaki sinir hücreleri bir sonraki kademedeki sinir hücreleri için girdi sinyali oluşturmaktadırlar. Çıktı katmanındaki sinir hücrelerine ait çıktı ise yapay sinir ağına girdi katmanındaki değerlere karşı ürettiği nihai cevabı oluşturmaktadır. Girdi katmanında üç tane sinir hücresi, ara katmandaki iki tabakanın ilkinde iki tane, ikincisinde üç tane sinir hücresi ve nihayet çıktı katmanında üç tane çıktı değeri olan sinir ağına basitçe $3 \times 2 \times 3 \times 3$ 'lük bir sinir ağı denir (Parlos ve diğ., 1994).

4.1.4 Hatayı Geri Yayma Ağı

Karmaşık örüntülerin sınıflandırılmasında kullanılan etkin YSA modellerinden birisi, ilk olarak Werbos tarafından düzenlenen, daha sonra Parker, Rummelhart ve McClelland tarafından geliştirilen hatayı geri yayma ağıdır (Rumelhart ve McClelland, 1986).

Yayma ve uyum gösterme olmak üzere iki aşamada işlemleri gerçekleştiren hatayı geriye yayma ağı (HGYA), katmanlar arasında tam bir bağlantının bulunduğu çok katmanlı, ileri beslemeli ve eğiticili olarak eğitilen bir YSA modelidir. Bu model içerisinde girdi, gizli ve çıktı olmak üzere üç katman bulunmakla birlikte, problemin özelliklerine göre gizli katman sayısını artırabilmek mümkündür.

Geri besleme bağlantılarının bulunmadığı bu modelde, bir katmandan bir başka katmana, aradaki katmanı atlayarak geçebilmek mümkün değildir. Bir girdi örüntüsü ağına ilk katmanında yer alan düğümlere uygulandığında, en üst katman olan çıktı katmanına erişilinceye kadar, bu örüntü üzerinde çeşitli işlemler gerçekleştirilir. Bu işlemlerin sonucunda elde edilen fiili çıktı, olması gereken çıktı ile karşılaştırılır. Fiili ve olması gereken değerler arasındaki fark, her çıktı düğümü için bir hata sinyali olarak hesaplanır. Hesaplanan hata sinyalleri, her çıktı düğümüne karşı gelen ara katmandaki düğümlere aktarılır. Böylece ara

katmandaki düğümlerin her biri toplam hatanın sadece hesaplanan bir kısmını içerir. Bu süreç her katmandaki düğümler toplam hatanın belirli bir kısmını içerecek şekilde girdi katmanına kadar tekrarlanır. Elde edilen hata sinyalleri temel alınarak, bağlantı ağırlıkları her düğümden yeniden düzenlenir. Bu düzenleme tüm örüntülerin kodlanabileceği bir duruma doğru ağırlık yakınsamasını sağlar. Girdileri ve çıktıları arasında işlevsel bir ilişkiyi hesaplayabilen yapay sinir ağları “haritalama ağı” olarak isimlendirilmektedir.

Örneğin ağı öğrenmesine yetecek kez, girdi olarak ilgili düğümlere iki sayı uygulandığında ve bu girdilerin olması gereken çıktı değeri olarak bu sayıların toplamı tanımlandığında, ağ bu işlemi tanıyacak ve eğitim sürecinin sonucunda verilen keyfi iki sayıyı toplamayı öğrenecektir. Böylesine basit bir işlem için yapay sinir ağlarına gerek olmamasına rağmen, yapılan işlemin temel amacı budur. Bu durumda kendi algoritmasını keşfeden bir YSA üstün düzeyde fayda sağlayacaktır.

Ağın eğitimindeki bu süreç ara katmanlardaki düğümlerin, farklı düğümlerin toplam girdi uzayının farklı özelliklerini tanıyacak şekilde, kendilerini organize etmelerini sağlamaktadır. Eğitim sonrasında bozuk veya tam olmayan rasgele girdi örüntüleri verildiğinde, ağı gizli katmanlarındaki düğümler, yeni girdi eğitim sırasında öğrenilen örüntüleri anımsatacak bir örüntüye sahipse, aktif bir çıktı ile cevap vermektedir. Ancak yeni girdi örüntüsü, gizli katman düğümlerinin eğitim sırasında tanıdığı özellikleri içermiyorsa, bu düğümler çıktıyı engelleyici bir eğilime sahip olmaktadır.

Sinyallerin ağ içerisinde farklı katmanlarda yayılımı sırasında her üst katmanı temsil eden faaliyet örüntüsü, daha alt katmandaki düğümlerce tanınabilen özel bir örüntü gibi düşünülebilir. Üretilen çıktı örüntüsü bir özellik haritası gibi düşünülebilmekte, girdideki bir çok farklı özellik kombinasyonunun varlığı veya yokluğunun belirlenmesine gerek duymaktadır.

Birçok araştırmacı eğitim sırasında HGYA’nın düğümler arasında, eğitim verilerinin yeni örüntü sınıfları organize edecek şekilde, iç ilişkiler geliştirme eğiliminde olduğunu görmüşlerdir. Bu eğilim HGYA’daki tüm gizli katman düğümlerinin eğitimin bir sonucu olarak, girdi örüntülerinin belirli özellikleri ile çağrışıma girdiği varsayımına uzatılabilmektedir (Haykin, 1999).

4.1.5 Sinir Ağlarının Eğitilmesi ve Öğrenme

İnsan beyninde bilgi bir sinir hücresinden diğerine dendritler boyunca elektriksel sinyaller şeklinde iletilir. Eğer belli eşik değerleri arasında olan uyarıcı, bir hücre tarafından alınırsa bu

sinir hücresi diğer bağlı bütün hücelere iletmek üzere bir çıktı üretir. Bu şekilde gelen bilgi reaksiyonun meydana geldiği beyin bölgesine doğru iletilir. İnsan beyninin nasıl öğrendiğini açıklamak oldukça zordur ve bunu tam olarak kimse bilememektedir. Varsayılanına göre öğrenme süreci içinde sinirler arasındaki bağlanma yapısı değişmektedir. Bu sayede belli uyarıcılar sadece belli sinir hücreleri tarafından kabul edilmektedir. Belli bir şeyi bir kere öğrenen hücreler arasında sağlam bir bağlantı oluşur. Bu bağlantı yapısı sayesinde bilgi tekrar hatırlanmaktadır. Ancak böyle bir yapının oluşmasına neden olmuş bir öğrenmeye ait bilgi uzun süre kullanılmazsa ilk başta sağlam olan sinirler arasındaki ilişki zayıflayacaktır. Bunun sonucunda da önceden öğrenilen bir bilgi daha sonra unutulabilmekte veya bulanık olarak hatırlanmaktadır.

Daha önce de bahsedildiği gibi yapay sinir ağları, beynin öğrenme yeteneğini simüle etmeye dayalı yapılardır. Fakat YSA'larının da sinir hücreleri arasındaki bağlantı şeklinin, yani sinir ağının yapısı değişmezdir. Sinir hücrelerini birbirleriyle ilişkilendiren bağlayıcılar ağırlık değerleriyle karakterize edilir. Bu değerler $[-1, 1]$ arasında değişir. Öğrenme süreci içinde bu ağırlık değerleri değiştirilerek sinir ağının öğrenmesi sağlanır. Ağırlık değeri, eğer bilgi bağlı sinirler arasında taşıımıyorsa artacak, bunun aksi durumlarda ise azalacaktır (Öztemel, 1996). Farklı girdileri öğrenirken ağırlık değerleri dinamik bir şekilde değişerek bir denge değerine ulaşır. Bu sayede her bir girdi arzulanan çıktıyı üretecektir. Fakat bu garanti edilmiş sonuçlar üretmez. Çünkü bu süreç içinde elimine edilemeyen bir hata unsuru vardır. Sinir ağı inşa edilirken amaca uygun sinir ağı seçilmeli ve yine amaca uygun öğrenme algoritması kullanılmalıdır.

4.1.5.1 Eğitici Öğrenme

Burada arzulanın çıktı ve buna bizi götüren girdiler hakkında istatistiki veriler mevcuttur. Girdi çıktı çiftleri YSA'na tanıtılarak sinir ağı eğitilmeye çalışılır. Bu amaçla belli “m” girdi takımı sinir ağına tanıtılır. Sinir ağı boyunca işleme tabi tutulan bu girdi değerine karşılık sinir ağınca üretilen cevap arzulanınla karşılaştırılır, çıktı ile hedef arasındaki farka bağlı olarak bir hata değeri hesaplanır (Öztemel, 1996).

Bu hata değeri sinir ağının hayali bir eğitici tarafından kontrol edilebilen öğrenme durumuna işaret eder. Daha sonra bu hata değerine bağlı olarak sinirler arasındaki bağlantıların ağırlık değerleri güncellenir. Bu güncelleme sırasında iki aynı teknik kullanılabilir. Birinci metotta sinir ağı içinde yer alan sinir hücrelerinin payına düşen hata kısmı hesaplanmadan ağırlıkların güncellenmesi yapılır. Bu yöntemin nasıl işlediği perceptron üzerinde açıklanacaktır, *ileri gidişli* olarak adlandırılan bu yöntemin nasıl işlediği adım adım aşağıda verilmiştir (Dayhoff, 1990).

1. Sinir ağı içindeki ağırlık değerleri rasgele olarak $[-1, 1]$ aralığında olacak şekilde verilir,

2. İlk eğitim setini oluşturan ikili sayı düzenindeki girdi değerleri sinir ağının girdi kademesindeki sinirlerine tanıtılır,
3. Her bir izleyen sinir hücresi aktiflenir,
4. Kendisine bağlı sinir hücrelerinin çıktı değerleri ile bağlantıyı sağlayan dendritlerin ağırlık değerleri çarpılır,
5. Bu değerler toplanır,
6. Toplam o sinir hücresine ait çıktı değerine ulaşmak için aktivasyon fonksiyonundan geçirilir,
7. Buraya kadar olan işlemler çıktı kademesine ulaşıncaya kadar tekrar edilir,
8. Hesaplanan çıktı değeri hedefle karşılaştırılır ve hata değeri hesaplanır,
9. Bütün ağırlık değerleri hata değerinin eski ağırlık değerlerine eklenmesiyle güncellenir,
10. 2. adıma geri dönülür,
11. Bu algoritma bütün çıktı desenleri kendilerine ait hedef desene uygun olana dek sürer.

4.1.5.2 Eğitici-siz Öğrenme

Bu tip öğrenmede mevcut hedef çıktı değerleri yoktur. Bu tip öğrenmede, öğrenme süreci sonucunun ne olacağı önceden belirlenemez. Öğrenme süreci içinde sinirleri birleştiren bağlantıların ağırlıkları verilen girdi değerlerine bağlı olarak belli bir aralık içinde düzenlenir. Burada amaç birbirlerine benzer birimleri belli değer aralıkları içinde gruplamaktır. Kendi kendine organizasyon bir eğitimci-siz öğrenme algoritmasıdır. Kendi kendine organizasyon biyolojik insan beynini simüle etme amacına ulaşmada en uygun öğrenme algoritmasıdır. Bilindiği üzere beynin korteks tabakası farklı bölgelere ayrılmıştır. Her bir bölge belli fonksiyonları yerine getirir. Sinir hücreleri gelen bilgiye göre kendilerini gruplar halinde organize eder. Bu gelen bilgiler tek bir sinir hücresi tarafından alınmakla kalmaz bu sinir hücresinin komşuluğundaki diğer sinir hücrelerini de etkiler. Bu organizasyonun sonunda bir çeşit harita ortaya çıkar. Bu harita içinde benzer fonksiyonları yerine getiren birimler ağırlık haritasının belli alanları içinde temsil edilirler.

Girdi kademesindeki her bir sinir hücresi diğer tüm sinir hücreleriyle ilişkilidir. Nihai ağırlık matrisi girdi değerlerinin harita sinirlerine iletilmesi için kullanılır. Ek olarak harita üzerindeki her bir sinir hücresi diğerleriyle ilişki halindedir. Bu bağlantılar en yüksek aktivasyona sahip sinir hücresi komşuluğundaki hücreleri etkilemek için kullanılır, iki sinir hücresi arasındaki geri besleme miktarı genellikle Gauss fonksiyonu kullanılarak hesaplanmaktadır (Geva ve Sitte, 1992).

4.1.5.3 Tasdikli Öğrenme

Eğiticili ve eğiticişiz yöntemler arasında yer tutan tasdikli eğitimin temel prensibi tasdik etmektir. Eğer ağa giriş vektörü verildiğinde, ağın davranışı normal ise o zaman tasdik (+1) sinyali verilir, aksi durumda tasdik sinyali (0 veya -1) verilir. Son durumda ağın ağırlık katsayıları değerleri değiştirilir ki bu da tasdik sinyalini elde edinceye dek devam eder.

4.1.5.4 Topolojik Değişiklikli Öğrenme

Bu yöntemde ağda ilişkili ve ilişkisiz (serbest) nöronlar mevcuttur. Eğitim sürecinde serbest nöronlardan bazıları ağa eklenerek yeni ilişkiler oluşturabilirler. Bunların yardımı ile problemin çözümüne kavuşulur. Yöntem yenidir. Girişe konulan talep yönteminde bir örnek kümesi verilmekte ve bu küme ile eğitim yapılmaktadır.

4.1.5.5 Skolastik Öğrenme

Eğitici küme nöronların aktifleşme ihtimalinin amaçlı paylanmasından oluşmaktadır. Eğitmenin amacı, elemanların çalışmasının cari ihtimaller paylanmasının arzu edilene en çok yakınlaştırılmasıdır.

4.1.5.6 Amaca Göre Öğrenme Prosedürü

Yapay sinir ağının hangi amaç için kullanılacağı, seçilecek öğrenme süreciyle yakından ilişkilidir. Amaca göre en uygun öğrenme süreçleri şu şekildedir (Dayhoff, 1990): Yakınsama, bağdaştırma, desen tanıma, öngörme, kontrol, sinyal ayırmsama.

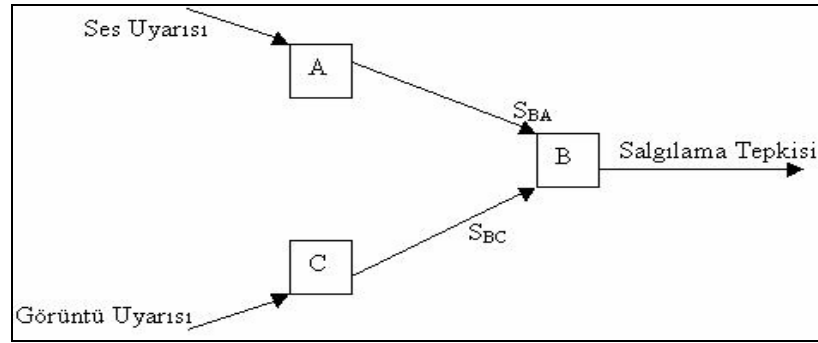
4.1.6 Öğrenme Algoritmaları

4.1.6.1. Hebbian Öğrenimi

Biyolojik sinir sistemlerinin tüm bilgi ve yetenekleri ile önceden programlanarak doğmadığı açıktır. Zaman içerisinde yaşanan öğrenme süreci sonucunda, sinir sistemi ağı kendisini sürekli düzenleyerek, yeni bilgileri bünyesine katmaktadır. Ancak bu öğrenme sürecinin nasıl gerçekleştiği, karşılaşılan en önemli sorudur. 1949 yılında Donald Hebbian tarafından yayınlanan Organization of Behaviour (Davranışın Organizasyonu) isimli kitapta sunulan ve günümüzde çeşitli YSA mimarilerinde kullanılan bir model, öğrenme sürecinin nasıl gerçekleştiğine cevap arayan önerilerden birisidir. Bu modeldeki temel fikrin kolayca anlaşılabilmesi için, psikolojinin temel deneylerinden birisi olan Pavlov Deneyi'nin hatırlanmasında yarar bulunmaktadır (Koçel, 1983).

Psikoloji kaynaklarında “Öğrenimde Klasik Koşullama” örneği olarak gösterilen bu deney, 1849-1936 yılları arasında yaşayan Rus fizyologu İvan Pavlov tarafından köpekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Doğal uyarıcı olan etin verilmesi, köpeğin doğal tepki sonucunda

salgılamada bulunmasına neden olmaktadır. Deneyde ise, bir zil sesinden bir kaç saniye sonra köpeğe et verilmiştir. Başlangıçta zil sesine her hangi bir salgılamada bulunmayan köpek, deneyin defalarca tekrarı sonucunda zil sesine tepki göstererek salgılamada bulunmuş, Pavlov köpeğin zil sesine yaptığı salgılama davranışını “Koşullu Tepki” olarak isimlendirmiştir. Zil sesi ve etin verilmesi sonucunda uyarılan sinir hücrelerinin sırasıyla C ve A ile, salgılama tepkisi veren sinir hücresinin B ile, oluşan iki sinaptik bağlantının ise SBA ve SBC ile simgelendiği üç sinir hücresi ve aralarındaki bağlantı yapısı Şekil 4.5’te görülmektedir. Doğal uyarıcı olan etin görülmesi sonucunda uyarılan C sinir hücresi, doğal tepki kuralı gereğince salgılama tepkisi veren B sinir hücresini uyarmaktadır. Ancak başlangıçta zil sesi gibi A sinir hücresinin uyarılmasını sağlayan ilave bir uyarıcı bulunmadığı için, A sinir hücresinin B sinir hücresini uarması söz konusu değildir. Buna karşılık, etin gösterilmesi ile uyarılan C sinir hücresinin B sinir hücresini uarması sırasında, A sinir hücresi zil sesi ile uyarılacak olursa, B sinir hücresinin uyarılmasına A sinir hücresi de katılmış olacaktır. Hebbian, bu durumun yeterli sayıda tekrarlanması halinde, A sinir hücresi ile B sinir hücresi arasında yeni bir düzenlemenin oluştuğunu, A sinir hücresinin B sinir hücresi üzerindeki etkisini artırdığını ve et verilmediği durumda dahi A sinir hücresinin B sinir hücresini uyatabildiğini savunmuştur (Taşkın, 2003).



Şekil 4.5 Hebbian öğrenme kuralının Pavlov deneyi için grafik gösterimi (Taşkın, 2003)

4.1.6.2 Adaline ve En Küçük Kareler Kuralı

1956 yılında yapay zekanın bir disiplin olarak doğduğu Dartmouth Konferansı'na da katılan, Stanford Üniversitesinden Bernard Widrow ve Stanford Üniversitesi'ndeki öğrencileri, ilk olarak 1960'lı yılların başlarında Adaline (Adaptive Linear Neuron Computer) projesini gerçekleştirmişlerdir. Negatif geri besleme yapısının kullanıldığı Adaline, perceptronun çözümleyemediği bir çok problemin üstesinden gelmiştir. Bu çalışmayı, konuşulan kelimeleri ve görüntü örüntülerini tanıma yeteneğine sahip olan Madaline (Multiple-Neuron) izlemiş,

Widrow ve öğrencisi Hoff, yapay sinir ağlarının eğitiminde halen yaygın olarak kullanılan basit öğrenme kurallarını geliştirmişlerdir (Kuo ve Cohen, 1998).

Adaline teknik olarak bir YSA modeli sayılmayan, fakat YSA modellerinin gelişimine önemli katkılarda bulunan ve tek bir düğümden meydana gelen bir cihazdır. Adaline, genel hesaplama elemanı ile önemli benzerlikler göstermektedir, genel hesaplama elemanı ile Adaline arasında sadece (Hecht-Nielsen, 1990),

- Eşik (bias) değeri olarak ifade edilen w_0 ağırlıklı ve girdi değeri daima 1'e eşit olan ilave bir bağlantının bulunması,
- Çıktı değerinin belirlenmesinde çift kutuplu bir şartın bulunması şeklinde iki farklılık görülmektedir.

Adaline cihazının “Adapte Edilebilir Lineer Birleştirici (AELB)” olarak isimlendirilen bölümünün çıktı değerinin pozitif olması durumunda, Adaline cihazının çıktı değeri +1, negatif olması durumunda ise -1 olmaktadır. AELB bölümünde, genel hesaplama elemanının gerçekleştirdiği işlemlerin aynısı yapılmaktadır. AELB, girdi ve ağırlık vektörlerini kullanarak, çarpımların toplamını hesaplamakta ve tek bir çıktı değerinin elde edilebilmesi için bir çıktı fonksiyonunu hesaplanan değere uygulanmaktadır. w_0 , eğimin ağırlık değerini simgelemek üzere bu fonksiyon (4.3)'te görülmektedir,

$$y = w_0 + \sum_{j=1}^n w_j x_j \quad (4.3)$$

eşitliği, yapılan bu hesaplamayı ifade etmektedir.

En Küçük Kareler Öğrenme Kuralı

Girdi katmanında yer alan düğümlere x girdi vektörü uygulandığında, y çıktı değerini sonuç olarak verecek olan w ağırlıklar kümesinin belirlenmesi, daha önce de belirtildiği şekilde öğrenme sürecini oluşturmaktadır. Sırasıyla girdi katmanında yer alan düğümlere $\{x_1, x_2, \dots, x_L\}$ girdi vektörleri uygulandığında, hesaplamalar sonucunda her vektörün d_k ($k = 1, \dots, L$) şeklinde tek bir çıktı değeri olacaktır. Öğrenme sürecinin tamamlanabilmesi için aynı sınıfa ait tüm girdi vektörlerini, çıktı değerleri ile bağlantılı kılacak tek bir ağırlık vektörünün bulunması gerekmektedir. Adaline cihazında, ilgili ağırlık vektörünün bulunması için kullanılan yöntem “En Küçük Kareler (EKK) Öğrenme Kuralı” olarak isimlendirilmektedir. Bu yöntemde eğitim kümesinde bulunan girdi vektörleri ve bu vektörlere bağlı olarak elde edilmesi gereken çıktı değerleri, AELB doğru çıktı değerlerini verinceye kadar sisteme uygulanmaktadır. Eğitim olarak isimlendirilen bu uygulama sırasında, uygulanan girdi

vektörü için doğru çıktı değerini verecek şekilde, ağırlık vektörü değerleri sürekli olarak yeniden düzenlenmektedir (Akpınar, 1993; Taşkın, 2003).

x_k girdi vektörlerini, d_k olması gereken çıktı değerlerini, w^* bu ikisi arasındaki bağlantıyı sağlayacak ağırlık vektörünü temsil ettiğinde ve k . girdi vektörü için tesadüfi bir ağırlık vektörü kullanıldığında, fiili çıktı değeri ile (y_k), elde edilmesi gereken çıktı değeri (d_k) arasında,

$$E_k = d_k - y_k \quad (4.4)$$

yukarıdaki (4.4) eşitliği ile ifade edilen bir hata değeri bulunacaktır. L eğitim kümesindeki girdi vektörlerinin sayısını göstermek üzere, hatanın beklenen değeri,

$$\langle E_k^2 \rangle = 1/2 \sum_{k=1}^L E_k^2 \quad (4.5)$$

olacaktır. (4.4) ve (4.5) eşitliklerinden yararlanarak, (4.6) eşitliği,

$$\langle E_k^2 \rangle = \langle (d_k - w^t x_k)^2 \rangle \quad (4.6)$$

ve eğitim kümesinin istatistiksel olarak durağan olduğu varsayımı altında (4.7) eşitliği,

$$\langle E_k^2 \rangle = \langle d_k^2 \rangle + w^t \langle x_k x_k^t \rangle w - 2 \langle d_k x_k^t \rangle w \quad (4.7)$$

elde edilir. “Girdi İlişki Matrisi” olarak isimlendirilen R matrisi ile $\langle x_k, x_k^t \rangle$, p vektörü ile $\langle d_k x_k^t \rangle$ ve ξ ile $\langle E_k^2 \rangle$ ifade edilecek olursa, yukarıdaki eşitliği (4.8) şeklinde yazmak mümkün olacaktır,

$$\xi = \langle d_k^2 \rangle + w^t R w - 2 p^t w \quad (4.8)$$

(4.8) eşitliğinin türevi sıfıra eşitlenirse, beklenen hata değerini minimize edecek w^* ağırlık vektörü, aşağıdaki eşitliklerdeki gibi, bulunacaktır.

$$\frac{\partial \xi(w)}{\partial w} = 2 R w - 2 p \quad (4.9)$$

$$2 R w^* - 2 p = 0 \quad (4.10)$$

$$R w^* = p \quad (4.11)$$

$$w^* = R^{-1} p \quad (4.12)$$

ξ' nin skaler bir değer, $\partial \xi(w)/\partial w$ işleminin bir vektör olduğuna dikkat edilmesi gerekmektedir. (4.13) eşitliği ξ değerinin, yine bir vektör olan $\nabla \xi$ gradyenini temsil etmektedir.

$$\nabla \xi = \left[\frac{\partial \xi}{\partial w_1}, \frac{\partial \xi}{\partial w_2}, \dots, \frac{\partial \xi}{\partial w_n} \right]^t \quad (4.13)$$

4.1.6.3 Genelleştirilmiş Delta Kuralı ve Hata Geri Yayma Ağları

Bu kısımda hata geriye yayma ağlarının (HGYYA) eğitiminde kullanılan “Genelleştirilmiş Delta Kuralı (GDK)” öğrenim algoritması ve bir önceki kısımda sözel olarak ifade edilen HGYYA’daki işlemler, matematik yöntemlerle işlenecektir.

YSA’da öğrenme, bir sınıfa ait çeşitli özellikleri temsil edebilecek ağırlık değerlerinin bulunmasıdır. GDK, Adaline cihazının incelenmesi sırasında tanımlanan EKK öğrenme kuralının genelleştirilmiş bir şeklidir.

$y = \phi(x) : x \in \mathbb{R}^N, y \in \mathbb{R}^M$ bağıntılarının bulunduğu bir fonksiyonda, $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_p, y_p)$ şeklinde x girdi, y olması gereken çıktı değerlerini gösteren vektör olmak üzere P vektör çiftleri kümesini kullanarak, ağın $o = y' = \phi'(x)$ yakınsamasını sağlayacak şekilde eğitilmesi GDK’nın amacını oluşturmaktadır. GDK eğitim için yeterli sayıda ve uygun eğitim vektör çiftlerini kullanarak bu yakınsamayı gerçekleştirmektedir. EKK kuralında doğrusal ayrılabilirlik söz konusu olduğu için, bu kuralın doğrusal olmayan ve çok boyutlu problemlerde kullanımı mümkün değildir. Bu nedenle GDK’da “en küçük adımlar tekniği” isimli basit ve en küçük kareler yönteminin iteratif bir modeli olan bir teknik kullanılmaktadır (Önder ve Kaynak, 2000).

$x_p = (x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{pN})^t$ şeklindeki bir girdi vektörü, ağın girdi katmanındaki düğümlere uygulandığında, gerekli hesaplamalar yapılarak elde edilen değerler gizli katman düğümlerine yayınırlar. h gizli katmanı, w_{ji}^h j . düğümün i . girdi katman düğümü ile olan bağlantı ağırlığını, θ_j^h eşik değerini göstermek üzere, gizli katmanda j . düğümün net girdi değeri,

$$\text{net}_{pj}^h = \sum_{i=1}^N w_{ji}^h x_{pi} + \theta_j^h \quad (4.14)$$

(4.14) eşitliğinden hesaplanmaktadır. Bu düğüm için faaliyet değerinin net girdi değerine eşit olduğu kabul edildiğinde, bu düğümün çıktı değeri (4.15)’ten,

$$i_{pj} = f_j^h(\text{net}_{pj}^h) \quad (4.15)$$

şeklinde bulunacaktır.

Katmanlarda yer alan düğümler arası bağlantı ağırlıklarının başlangıç değerlerinin belirlenmesi, problemin çözümüne giden yolda ilk adımdır. Bazı yöntemlerin aksine, burada açıklanan teknik iyi bir ilk tahmin yapılmasına bağımlı değildir. Başlangıç ağırlık değerlerinin seçilmesinde, daha sonra tartışılacak olan çeşitli yol gösterici yöntemler bulunmaktadır. Ağın eğitimi için izlenmesi gereken temel süreç sırasıyla şu aşamalardan meydana gelmektedir (Feng ve diğ., 2002);

1. Ağa bir girdi vektörü uygulanır ve buna ilişkin çıktı değeri hesaplanır,
2. Olması gereken çıktı değeri ile fiili çıktı değeri karşılaştırılır ve elde edilen fark hata ölçüsü olarak yorumlanır,
3. Hata değerini azaltabilmek için her ağırlığın hangi yönde (- veya + yönde) değişmesi gerektiği belirlenir,
4. Her ağırlık değerinin değişmesi gereken miktarı hesaplanır,
5. 4.adımda hesaplanan bu miktarlara göre ağırlık değerleri yeniden düzenlenir,
6. Eğitim kümesindeki vektörler için hata değeri kabul edilebilir bir düzeye erişinceye kadar, ilk 5 adım tekrarlanır.

Daha önce anlatılan EKK kuralının temel denklemi (4.16)'da görüldüğü gibi,

$$w(t+1)_i = w(t)_i + 2\mu E_k x_{ki} \quad (4.16)$$

şeklindedir. Bu denklemde μ pozitif sabiti, x_{ki} k. eğitim vektörünün i. elemanını, E_k ise fiili çıktı ile olması gereken çıktı arasındaki farkı ($E_k = d_k - y_k$) göstermektedir. Benzer bir eşitlik ağın daha fazla katmandan meydana gelmesi ve çıktı fonksiyonunun doğrusal olmaması halinde de kurulabilmektedir.

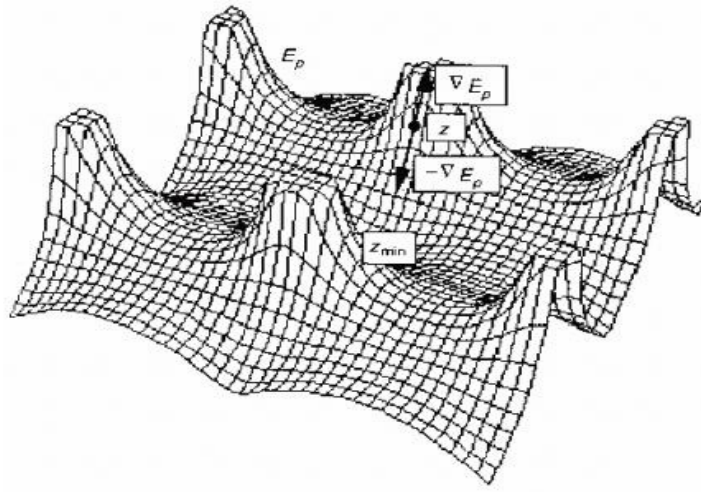
Çıktı Katmanındaki Ağırlıkların Düzenlenmesi

k. girdi vektörü için, d_k olması gereken çıktıyı. y_k fiili çıktıyı gösterdiğinde, $E_k = d_k - y_k$ eşitliği ile elde edilen hata değeri, EKK kuralının türevi alınarak hesaplanmaktadır. Ancak HGYA çok katmanlı olduğu için, E_k şeklindeki tek bir hata değerinin kullanılması yeterli olmayacaktır. Kullanılan simgeler değiştirilerek, “p” p. eğitim vektörünü, “k” k. çıktı düğümünü göstermek üzere tek bir çıktı düğümünün hatası, $\delta_{pk} = (y_{pk} - o_{pk})$ ile ifade edilecektir. Bu durumda y_{pk} olması gereken çıktı değerini, o_{pk} ise fiili çıktı değerini göstermektedir. GDK tarafından minimize edilecek olan hata, tüm çıktı düğümleri için elde edilen hataların karelerinin toplamı olacaktır (Zurada, 1992).

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M \delta_{pk}^2 \quad (4.17)$$

(4.17) eşitliğinde kullanılan $\frac{1}{2}$ faktörü, daha sonraki türev hesaplamalarında kolaylık sağlanması amacı ile ilave edilmektedir. En son elde edilen sonuçta keyfi bir sabit olarak kalacağı için kullanımı sonucu etkilemeyecektir (Nyguen ve Widrow, 1990).

Ağırlıkların hangi yönde değişeceğini belirlenmesi için, w_{kj} ağırlıklarını göz önüne alarak, E_p değerinin negatif gradyeni olan ∇E_p değerinin hesaplanması gerekmektedir. Daha sonra toplam hatayı azaltacak, ağırlık değişikliklerinin hesaplanması gerekmektedir. E_p' yi ağırlık uzayındaki bir yüzey olarak düşünmekte yarar bulunmaktadır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Ağırlık yüzeyi (Nyguen ve Widrow, 1990)

Olayları basitleştirebilmek için $\nabla E_p'$ nin her elemanın ayrı ayrı göz önüne alınması gerekmektedir. (4.17) eşitliğinden ve δ_{pk}' nin tanımından,

$$E_p = 1 / 2 \sum_k (y_{pk} - o_{pk})^2 \quad (4.18)$$

ve

$$\frac{\partial E_p}{\partial w_{kj}^o} = - (y_{pk} - o_{pk}) \frac{\partial f_k^o}{\partial (net_{pk}^o)} \frac{\partial (net_{pk}^o)}{\partial w_{kj}^o} \quad (4.19)$$

eşitlikleri yazılabilir. Bu aşamada f_k^o ' nın türevinin alınması yerine, basit olarak türevin $f_k^o'(net_{pk}^o)$ şeklinde ifade edilmesi yoluna gidilmektedir.

$$\text{Negatif grad } (net_{pk}^o) i_{pj} \quad (4.20)$$

Ağırlık değerlerindeki değişme miktarı, yukarıdaki eşitliğin negatif gradyeni alınarak hesaplanır. Böylece çıktı katmanındaki ağırlıklar (4.21)'den görüldüğü gibi,

$$\nabla_p w_{kj}^o(t) = \eta (y_{pk} - o_{pk}) f_k^o{}' (net_{pk}^o) i_{pj} \quad (4.21)$$

olmak üzere,

$$w_{kj}^o(t+1) = w_{kj}^o(t) + \nabla E_p w_{kj}^o(t) \quad (4.22)$$

yukarıdaki gibi (4.22) eşitliğine göre yeniden düzenlenir.

Yukarıdaki eşitliklerde $f_k^o{}'$, f_k^o fonksiyonunun türevi olarak ifade edilmiştir. Çıktı fonksiyonunun iki değişik durumu söz konusudur:

$$a) f_k^o(net_{jk}^o) = net_{jk}^o \quad (4.23)$$

$$b) f_k^o(net_{jk}^o) = (1 + e^{-net_{jk}^o})^{-1} \quad (4.24)$$

(4.23)'te görülen birinci fonksiyon doğrusal çıktı düğümünü tanımlamakta, (4.24)'teki ikinci fonksiyon ise sigmoid fonksiyon olarak isimlendirilmektedir. Kullanılacak çıktı fonksiyonu, elde edilecek çıktı değerlerinin türevli veya parçalı olmasına göre seçilebilir. Örneğin çıktı değerlerinin türevli olması isteniyorsa sigmoid fonksiyon, diğer durumlarda problemin yapısına bağlı olarak doğrusal veya sigmoid çıktı fonksiyon seçilebilir. Birinci fonksiyonda (4.25)'teki gibi (Nyguen ve Widrow, 1990),

$$f_k^o{}' = 1; \quad (4.25)$$

ikinci fonksiyonda ise (4.26)'daki gibi,

$$f_k^o{}' = f_k^o(1 - f_k^o) = o_{pk}(1 - o_{pk}) \quad (4.26)$$

olacaktır. Buradan doğrusal çıktı için (4.27),

$$w_{kj}^o(t+1) = w_{kj}^o(t) + \eta (y_{pk} - o_{pk}) i_{pj} \quad (4.27)$$

ve sigmoidal çıktı için (4.28),

$$w_{kj}^o(t+1) = w_{kj}^o(t) + \eta (y_{pk} - o_{pk}) o_{pk}(1 - o_{pk}) i_{pj} \quad (4.28)$$

eşitlikleri kurulur. Ağırlık değerlerinin yeniden düzenlenmesi için kullanılacak olan denklemler (4.29) ve (4.30)'daki gibi tanımlanacaktır,

$$\delta_{pk}^o = (y_{pk} - o_{pk}) f_k^o{}'(net_{pk}^o) \quad (4.29)$$

$$= \delta_{pk} f_k^o{}'(net_{pk}^o) \quad (4.30)$$

Bu durumda, ağırlık değerlerinin yeniden düzenlenmesini sağlayan (4.30) eşitliğinden, f_k^o ' çıktı fonksiyonunun doğrusal veya sigmoidal olmasından bağımsız olarak (4.31) eşitliği yazılabilir (Simpson, 1990),

$$w_{kj}^o(t+1) = w_{kj}^o(t) + \eta \delta_{pk}^o i_{pj} \quad (4.31)$$

Gizli Katmandaki Ağırlıkların Düzenlenmesi

Çıktı katmanı için yapılan hesaplamaların benzerinin, gizli katman için de tekrarlanması gerekmektedir. Ancak gizli katman düğümlerinin çıktı değerlerinin hata ölçüsünün belirlenmesinde bir problem ortaya çıkmaktadır. Çıktı katmanında, olması gereken çıktı değerleri baştan bilinmektedir. Buna karşılık gizli katmanda bulunan düğümlerin, olması gereken çıktı değerlerinin baştan bilinmesi mümkün değildir. Ancak toplam hata değeri olan E_p 'nin gizli katman düğümlerinin çıktı değerleri ile ilişki içinde olduğu (4.18), yani $E_p = 1/2 \sum_k (y_{pk} - o_{pk})^2$ eşitliğine geri dönülerek düşünülebilir (Simpson, 1990):

$$E_p = 1/2 \sum_k (y_{pk} - o_{pk})^2 \text{ ve,}$$

$$E_p = 1/2 \sum_k (y_{pk} - f_k^o(\text{net}_{pk}^o))^2 \quad (4.32)$$

$$E_p = 1/2 \sum_k (y_{pk} - (\sum_j w_{kj}^o i_{pj} + \theta_k^o))^2 \quad (4.33)$$

i_{pj} değeri, (4.14) ve (4.15) eşitliklerinden, gizli katmandaki ağırlık değerlerinin değişimine bağlı olduğundan; gizli katmandaki ağırlık değerlerinin toplam hatası olan E_p 'nin gradyeninin hesaplanması mümkün olacaktır,

$$\frac{\partial E_p}{\partial w_{ji}^h} = \sum_k (y_{pk} - o_{pk}) f_k^o(\text{net}_{pk}^o) w_{kj}^o f_j^h(\text{net}_{pj}^h) x_{pi} \quad (4.34)$$

(4.38) eşitliğinden yararlanılarak, gizli katman ağırlık değerlerinin hesaplanması için,

$$\nabla_p w_{ij}^h = \eta f_j^h(\text{net}_{pj}^h) x_{pi} \sum_k (y_{pk} - o_{pk}) f_k^o(\text{net}_{pk}^o) w_{kj}^o \quad (4.35)$$

eşitliği elde edilir. Önceki kısımda tanımlanan δ_{pk}^o 'nin ilavesi ile (4.35) eşitliği,

$$\nabla_p w_{ij}^h = \eta f_j^h(\text{net}_{pj}^h) x_{pi} \sum_k \delta_{pk}^o w_{kj}^o \quad (4.36)$$

şeklinde (4.36)'daki gibi yazılabilir.

Gizli katmandaki ağırlık değerlerinin yeniden düzenlenmesi çıktı katmanındaki toplam hatayı gösteren δ^o_{pk} değerine bağlı olacaktır. Bu nedenle çıktı katmanındaki bilinen hata değerleri, gizli katmandaki uygun ağırlık değerlerinin belirlenebilmesi için gizli katmana doğru geriye yayınır. Bir gizli katman hata değerinin belirlenmesinde (4.37) eşitliği kullanılır (Nyguen ve Widrow, 1990),

$$\delta^h_{pj} = f'_j(\text{net}^h_{pj}) \sum_k \delta^o_{pk} w^o_{kj} \quad (4.37)$$

Buradan da çıktı katmanındaki hesaplamalara benzer şekilde gizli katmandaki ağırlık değerlerinin yeniden düzenlenebilmesi için,

$$w^h_{ji}(t+1) = w^h_{ji}(t) + \eta \delta^h_{pj} x_i \quad (4.38)$$

yukarıdaki (4.38) eşitliğini yazmak mümkün olacaktır.

4.2 Bulanık Mantık

Günlük hayatta rastgele kullandığımız bir çok terim genellikle bulanık bir yapıya sahiptir. Bir şeyi tanımlarken, bir olayı açıklarken, komut verirken ve daha bir çok durumda kullandığımız sözel veya sayısal ifadeler bulanıklık içerir. Bu terimlere örnek olarak; **yaşlı, genç, uzun, kısa, sıcak, soğuk, ılık, bulutlu, parçalı bulutlu, güneşli, hızlı, yavaş, çok, az, biraz, fazla, çok az, çok fazla** gibi daha pek çok sözel terim gösterilebilir. Biz insanlar bir olayı anlatıp, bir durum karşısında karar verirken bu tür *kesinlik ifade etmeyen* terimler kullanırız. Kişinin yaş durumuna göre ona *yaşlı, orta yaşlı, genç, çok yaşlı* ve *çok genç* deriz. Yolun kayganlık ve rampa durumuna göre arabanın gaz veya fren pedalına *biraz daha yavaş* veya *biraz daha hızlı* basarız. Çalıştığımız odanın ışığı yetersiz ise onu *biraz artırır*, yeterinden fazla ise *biraz azaltırız*. Bütün bunlar insan beyninin belirsiz ve kesinlik içermeyen durumlarda nasıl davrandığına ve olayları nasıl değerlendirip, tanımlayıp, komut verdiğine dair birer örnektir (Ross, 1995; Altaş, 1999; Palancıoğlu ve Beşdok, 2003).

Bulanık mantığın ve bu mantık kurallarını kullanan bulanık küme teorisinin Lotfi A. Zadeh tarafından geliştirilip 1965 tarihli orijinal makalesinde (Zadeh, 1965) yayınlanmasından sonra belirsizlik içeren sistemlerin incelenmesi yeni bir boyut kazanmıştır. 1965'te ortaya atılmasına rağmen, bulanık küme kavramı ancak 1970'li yılların ikinci yarısından sonra kullanılmaya başlanmıştır. Bunda özellikle Zadeh'in 1965'teki ilk makalesinden daha fazla etkili olan ve bulanık mantığın belirsizlik içeren sistemlere uygulanabilirliğini açıklayan makaleleri etkili olmuştur. 1980'li yılların ikinci yarısından sonra Japonların ürünlerinde

bulanık mantığı kullanmalarıyla da hız kazanarak, günümüzdeki doruk noktasına gelmiştir. Artık hemen her alanda bulanık mantık uygulamalarına rastlamak mümkündür (Altaş, 1999).

Bulanık mantık teorisinde amaç, veriyi ifade ederken sayıları kesin değil, bulanık şekilde kullanmaktır. Bu sebeple bulanık mantık, insan düşünme sistemini bilgiye dayalı problemlerin çözümünde kullanılmasını mümkün kılar. Düşünce sisteminde yer alan belirsizlik durumları (az veya çok olma durumu, büyük veya küçük olma durumu gibi) bulanık mantık felsefesi yardımıyla matematiksel hale dönüşerek sistemlerin ifade edilmesinde kullanılır. Bulanık sistemlerin iki temel karakteristikleri vardır (Ross, 1995; Palancıoğlu ve Beşdok, 2003):

1. Bu sistemler belirsizlik içeren ve yaklaşımlara dayalı modelleme işlemlerinde, özellikle matematiksel modelin elde edilmesinin zor olduğu durumlarda yüksek performans gösterir.
2. Ayrıca, verinin kesin şekilde elde edilemediği veya kısmen elde edildiği sistemler için bir karar verme mekanizması geliştirmekte oldukça başarılıdır.

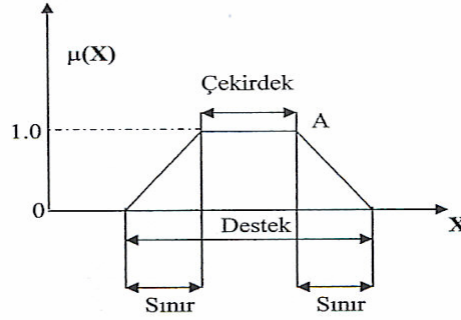
Klasik Boolean mantığında bir bilgi $x \rightarrow \{0, 1\}$ şeklinde ifade edilir. Bu mantıkta bir şey ya var $\{1\}$ veya yok $\{0\}$ olmak durumundadır. Bulanık mantıkta ise bilgi $\mu(x) \rightarrow \{0, 1\} \quad \forall x \in A$ olarak belirlenir. Burada $\mu(x)$, x değerinin A kümesine üyeliğinin derecesini verir. Bir başka deyişle, x değeri 0 ile 1 arasında bütün değerleri alabilir (Palancıoğlu ve Beşdok, 2003).

Bulanık mantık sistemleri son zamanlarda birçok alana uygulanmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır (Wang, 1997; Zadeh, 1965). Bulanık sistemler modellenecek sistemin giriş ve çıkışı arasındaki ilişkiyi kural dizisi halinde tanımlar. Sistem hakkında uzman bir kişi veya adaptif yaklaşımla veya bir sezgisel yöntem aracılığıyla giriş-çıkış ilişki kuralları belirlendikten sonra, bulanık sistemler girişten çıkışa olan transformasyonu, bulanıklaştırma (fuzzification), sonuç çıkarma (inference) ve durulaştırma (defuzzification) aşamalarından geçerek tamamlar. Bulanıklaştırma aşamasında normal (crisp) sayılarla ifade edilen giriş bilgileri, bir üyelik fonksiyonu kullanılarak bulanık mantık sisteminde kullanılmaya hazır hale getirilir (Zadeh, 1989). En uygun üyelik fonksiyonlarının seçimi bir optimizasyon problemidir. Bütün girişler bulanıklaştırma işlemine tabi tutulduktan sonra, uzman kişi veya bir optimizasyon algoritmasıyla elde edilen kurallara göre en uygun çıkış, bulanık halde belirlenir ve durulaştırma işlemiyle kesin çıkış bilgisi elde edilir (Palancıoğlu ve Beşdok, 2003).

4.2.1 Üyelik Fonksiyonları

Bu fonksiyonlarda, fonksiyona göre değişen sayıda olmak üzere (2, 3 veya 4) katsayılar bulunmaktadır. Üyelik fonksiyonları, girişteki bilgiyi bulanıklaştırma işleminde kulanıldıklarından dolayı doğru belirlenmeleri gerekmektedir.

En genel haliyle bir üyelik fonksiyonu aşağıda verilmektedir (Şekil 4.7). Bu yamuk şeklindeki üyelik fonksiyonunun değişik kısımlardan oluştuğu gözden kaçmamalıdır (Ross, 1995).



Şekil 4.7 Bir bulanık kümenin çekirdek, destek ve sınır kısımları (Ross, 1995)

Bu şekilde de görülmektedir ki, verilen bir bulanık alt kümede birden fazla öğenin üyelik derecesi 1 olarak kabul edilebilir. Üyelik derecesi 1 olan üyeler sadece o alt kümeye dahildir. Bu şekilde üyelik derecesi 1 olan öğeler alt kümenin orta kısmına toplanmışlardır. Bu kısım o alt kümenin çekirdeğidir. Yamuk şeklinde olan üyelik fonksiyonlarında şekilde de görüldüğü gibi birden çok öğenin üyelik derecesi 1'e eşit olabilirken, üçgen şeklinde olan üyelik fonksiyonlarında sadece bir öğenin üyelik derecesi 1 olabildiği için, çekirdek kısmı karşımıza sadece bir nokta şeklinde çıkmaktadır. Şekilde yamuğun tabanının başlangıcı ve bitişi arasına dikkat çekilirse; bu aralık kümenin tüm öğelerini kapsamaktadır ve "destek aralığı" olarak adlandırılır. Bu aralıktaki öğelerin üyelik dereceleri 0 ve 1 arasında farklı ondalık değerler almaktadır.

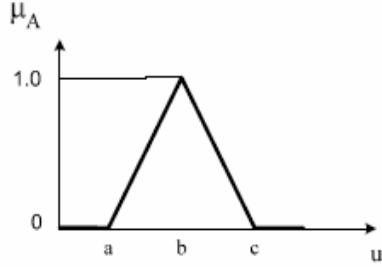
Son olarak da üyelik derecesinin 0 veya 1 gibi tamsayılara değil de ondalıklı sayılara tekabül ettiği kısımlardan bahsedilirse; bu aralıklar şekilde sınır olarak gösterilen yerlerdir. Bu kısımların diğer bir ismi de geçiş bölgeleridir. Genel olarak üyelik fonksiyonlarında sağ tarafta bir adet ve sol tarafta bir adet olmak üzere iki adet geçiş bölgesi bulunur.

Ayrıca, bulanık küme normal yapıda olmalıdır; yani, o küme içinde en az bir adet öğenin üyelik derecesi 1'e eşit olmalıdır. Bir de bulanık küme dışbükey yapıda, yani konveks olmalıdır. Bunun matematiksel olarak açıklanması gerekirse;

$$\text{Herhangi } x < y < z \text{ elemanları için; } \mu_A(y) \geq \min [\mu_A(x), \mu_A(z)] \quad (4.39)$$

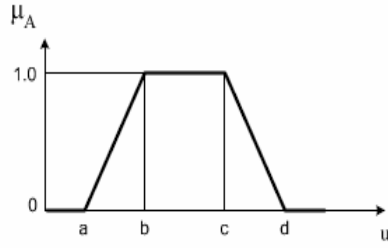
Pratikte sık kullanılan üyelik fonksiyonları şunlardır: s-fonksiyon, π -fonksiyon, Üçgen, Yamuk, Üstel, Gausyen. Bunlar matematiksel olarak şu şekilde ifade edilebilir:

Üçgen Üyelik Fonksiyonu:



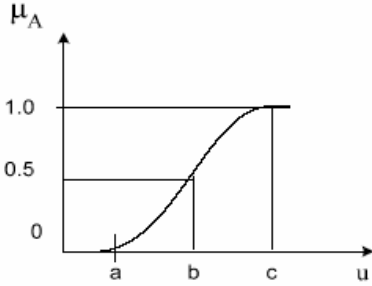
$$\tilde{U}(u; a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ (u - a)/(b - a) & a \leq u \leq b \\ (c - u)/(c - b) & b \leq u \leq c \\ 0 & u > c \end{cases} \quad (4.40)$$

Yamuk Üyelik Fonksiyonu:



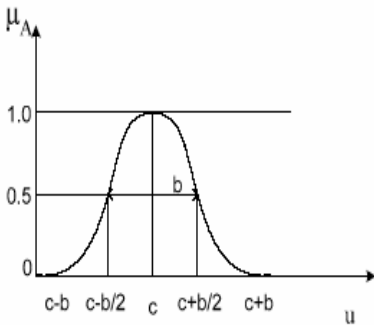
$$Y(u; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & u < a \\ (u - a)/(b - a) & a \leq u < b \\ 1 & b \leq u \leq c \\ (d - u)/(d - c) & c < u \leq d \\ 0 & u > d \end{cases} \quad (4.41)$$

S-Üyelik Fonksiyonu:



$$S(u; a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ 2[(u - a)/(c - a)]^2 & a \leq u \leq b \\ 1 - 2[(u - c)/(c - a)]^2 & b \leq u \leq c \\ 1 & u > c \end{cases} \quad (4.42)$$

π-Üyelik Fonksiyonu:



$$\pi(u; b, c) = \begin{cases} S(u; c - b, c - b/2, c) & u \leq c \\ 1 - S(u; c, c + b/2, c + b) & u \geq c \end{cases} \quad (4.43)$$

4.2.2 Bulanık Mantık Kuralları

Bir bulanık mantık kuralı, en basit şekli ile, ve bilgisayar programlama dillerinde yerleşmiş standart yazılım kullanılırsa;

IF x is A THEN y is B (Eğer x A ise, o halde y B dir)

Burada “ x is A kısmına” şart, öncül, “ y is B” kısmına sonuç denir. x girdi değişkeni, A ise bulanık kümenin dilsel değeri (etiketi) dir. Aynı şekilde, y çıktı değişkeni, B ise, ait olduğu bulanık kümenin dilsel tanımlayıcısıdır. Bir bulanık mantık kuralında birden fazla koşul bulunabilir. Bu koşullar birbirleriyle “and”, “or”, “not” gibi operatörler ile bağlanırlar. Örneğin, “Eğer sıcaklık düşükse ve yağış az ise SO_2 konsantrasyonu yüksektir” (Ross, 1995; Yıldırım ve Bayramoğlu, 2004).

4.2.3 Bulanık Sonuç Çıkarma ve Bulanık Modelleme

Bulanık sonuç çıkarma bir girdi vektöründeki değerleri yorumlar ve bir takım bulanık mantık kuralları vasıtasıyla çıktılara değer verir. Bulanık sonuç çıkarma sistemi üç kavramsal bileşenden oluşan bir yapıya sahiptir.

- **Kural tabanı:** Sistemi modellemede kullanılan kurallar topluluğu.
- **Veri tabanı:** İncelenen sistemde, değişkenleri tanımlamada kullanılan bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları (tipleri, parametreleri) bir veri tabanı oluşturur.
- **Düşünme mekanizması:** Sonuç çıkarma işlemini yerine getirir.

Bulanık mantıklı düşünme mekanizması sonuç çıkarma işlemini 5 adımda gerçekleştirir (Yıldırım ve Bayramoğlu, 2004):

1. Üyelik fonksiyonu vasıtasıyla girdi değişkenlerinin bulanıklaştırılması (fuzzification),
2. Kuralların öncül kısımlarına bulanık işlemlerin uygulanması,
3. Her bir kuralın öncül kısmından kural sonucunun, çıktının üyelik fonksiyon değeri olarak (bulanık değer halinde) elde edilmesi (implication),
4. Kural çıktılarının nihai bir bulanık kümede birleştirilmesi (aggregation),
5. Nihai bulanık kümeden, durulaştırma yoluyla, tek bir normal (crisp) çıktının elde edilmesi (defuzzification).

Sonuç çıkarma işlemlerinin tipine bağlı çoğu bulanık uzman sistemler 3 tipte sınıflandırılır: Mamdani sistemi, Sugeno sistemi ve Tsukamoto sistemi. Mamdani sistemi proses kontrol amaçları bakımından daha popülerdir. Sugeno sistemi ise, hesaplama açısından daha kolaydır, yukarıda bahsedilen durulaştırma işlemine gerek yoktur, zira, doğrudan normal çıktı üretir. Bu

açından, Sugeno sistemi, verilerin bulanık modellenmesinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Babuska, 1998; Yıldırım ve Bayramoğlu, 2004).

Sugeno sisteminde bir bulanık kural, 2 adet girdi değişkenli bir sistem için:

IF x_1 is A_1 AND x_2 is A_2 THEN $y = f(x_1, x_2)$

şekilde tanımlanır (Sugeno ve Kang, 1988; Yıldırım ve Bayramoğlu, 2004).

f fonksiyonel bağıntısı için bir kısıtlama olmamasına rağmen, en çok kullanılan 1. mertebe lineer fonksiyondur. Öneğin, herhangi bir i . kural için:

$$f_i = p_{i,0} + p_{i,1}x_1 + p_{i,2}x_2 \quad (4.44)$$

olarak yazılır. G girdi değişken sayısı ise, model parametre sayısı $G+1$ olur.

Bulanık mantık modelleme iki temel aşamada gerçekleşir:

1. Yapının belirlenmesi

- Uygun girdi değişkenlerinin seçilmesi,
- Bulanık mantık sisteminin seçilmesi,
- Bulanık kural sayısının belirlenmesi,
- Üyelik fonksiyon sayılarının belirlenmesi.

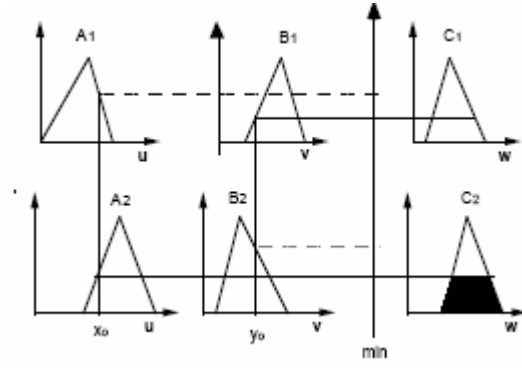
2. Model parametrelerin optimum değerlerinin tahmini.

4.2.4 Girişim Yöntemleri

Girişim yöntemleri olarak üç temel yöntem yaygındır. Bu yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

4.2.4.1 Mamdani Yöntemi

Mamdani yönteminde (Babuska ve diğ., 1996; Babuska, 1998); bulanıklaştırılan giriş bilgileri önceden belirlenmiş kurallara tabi tutulur. Kurallar uygulanırken, şartlar arasındaki “ve” durumunda giriş üyelik değerlerinden en küçük olanı, “veya” durumunda ise en büyük olanı alınarak çıkış üyelik fonksiyonunda bu sayının altında kalan alan bulunur. Şekil 4.8’de iki giriş ve bir çıkışa sahip olan bir sistemde birinci giriş değerinin x olması ve ikincinin ise y olması durumunda (üyelik fonksiyonu olarak gaussian fonksiyonu kullanılmıştır), sonucu hesaplama yöntemi verilmiştir. Her bir kurala ait çıkış üyelik fonksiyon bölgeleri bulunduktan sonra bu alanlar çeşitli durulaştırma yöntemleri yardımıyla kesin çıkış bilgisinin elde edilmesinde kullanılır.



Şekil 4.8 Mamdani yöntemiyle kural sonuçlarının bulunması (Babuska, 1998)

4.2.4.2 Takagi-Sugeno Yöntemi

Takagi-Sugeno yönteminde (Tanaka ve Sugeno, 1992) giriş üyelik fonksiyonlarına uygulanan kurallar aşağıdaki gibidir. i. kurala ait çıkış,

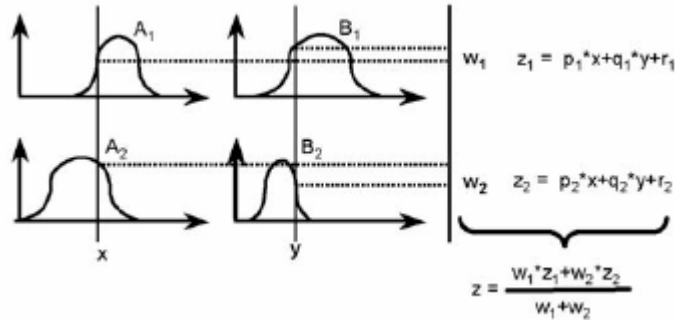
$$z_i = \alpha_0 + \sum_{k=1}^i \alpha_k \mu(x_k) \quad (4.45)$$

olarak verilir. Formülde α değerleri, girişim katsayıları (consequent parameters) ve $\mu(x_k)$ ise k. girişe ait üyelik değerleridir. Kesin çıkış bilgisi ise,

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^N w_i z_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (4.46)$$

şeklinde hesaplanır. Burada N kural sayısı, w_i ise i. kurala ait ağırlık değeridir.

Şekil 4.9'da Takagi-Sugeno yöntemi grafik olarak gösterilmiştir. Bu yöntemde hem girişim katsayılarının hem de kural ağırlıklarının uzman kişi tarafından elde edilmesi zor olacağından, bu sayıların bir optimizasyon algoritması yardımıyla bulunması gerekir.

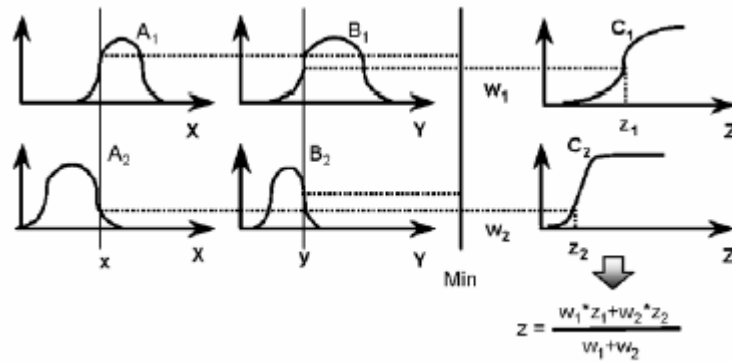


Şekil 4.9 Takagi-Sugeno yöntemiyle kural sonuçlarının bulunması (Tanaka ve Sugeno, 1992)

4.2.4.3 Tsukamo Yöntemi

Mamdani yöntemi ile Takagi-Sugeno yöntemi arasında olan bu yöntemde (Babuska, 1998) her bir kurala ait çıkış üyelik fonksiyonu yardımıyla elde edilen değerlerin ağırlıklı ortalaması alınarak kesin çıkış bilgisi bulunur. Bu yöntemde kullanılan çıkış üyelik fonksiyonlarının hiç azalmayan şekilde olması gereklidir. Şekil 4.10'da Tsukamo yöntemi grafik olarak gösterilmiştir.

Yukarıda anlatılan girişim yöntemleri aynı zamanda durulaştırma işlemlerini de içermektedir. Durulaştırma işlemlerinden sonra kesin çıkış bilgisi elde edilir.



Şekil 4.10 Tsukamo yöntemiyle kural sonuçlarının bulunması (Babuska, 1998)

4.2.5 Durulaştırma

Bulanık kümeden kesin sayılara ulaşma işlemi durulaştırma olarak tanımlanmaktadır. Durulaştırma işlemi gerçekleştirilirken bulanık çıkarım işleminden yola çıkılır. Durulaştırma işlemi için birden fazla metot bulunmaktadır: En büyük üyelik derecesi ilkesi; Ağırlık merkezi (centroid) ilkesi; Ağırlıklı ortalama yöntemi; Ortalama en büyük üyelik; Toplamların merkezi; En büyük alanın merkezi; En büyük ilk (veya son) üyelik derecesi (Ross, 1995).

Burada en çok tercih edilen durulaştırma operatörlerine değinilmektedir.

Ağırlık Merkezi (Centroid)Yöntemi

Burada önemli olan, bulanık çıktı kümesinin ağırlık merkezidir. Bir bulanık küme C'nin durulaştırılan değeri, bulanık ağırlık merkezi olarak tanımlanır (Ross,1995):

$$z_0 = \frac{\int zC(z)dz}{\int C(z)dz} \quad (4.47)$$

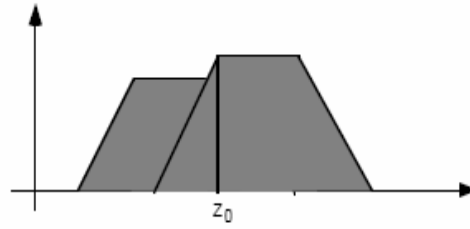
Bu durulaştırılan değerin hesaplanması, W'nin ve dolayısıyla C(w)'nin sonlu uzayı kabul edildiğinde basitleştirilebilir:

$$z_0 = \frac{\sum z_j C(z_j)}{\sum C(z_j)} \quad (4.48)$$

En Büyük İlk Üyelik Derecesi

Bir bulanık küme C'nin durulaştırılan değeri, en küçük maksimize eden elemanıdır:

$$z_0 = \min \left\{ z \mid C(z) = \max_w C(w) \right\} \quad (4.49)$$



Şekil 4.11 En büyük ilk üyelik derecesi (Ross,1995)

En Büyük Ortalama Üyelik Derecesi

Kesikli bir bulanık küme C'nin durulaştırılan değeri, maksimal üyelik derecelerine sahip, uzaydaki tüm değerlerin bir ortalaması olarak tanımlanır.

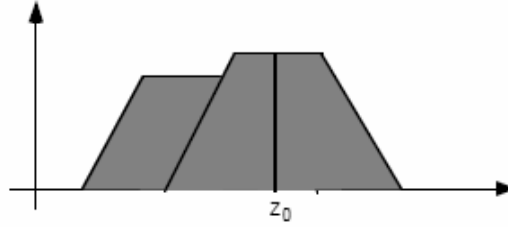
$$z_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N z_j \quad (4.50)$$

burada $\{z_1, \dots, z_N\}$, C'nin maksimum değerine ulaşan W uzayının elemanlarıdır.

Eğer C kesikli değilse, bir bulanık C kümesinin durulaştırılan değeri şu şekilde tanımlanır:

$$z_0 = \frac{\int_G z dz}{\int_G dz} \quad (4.51)$$

Burada G, C'nin maksimize elemanlarının bir kümesidir.



Şekil 4.12 En büyük ortalama üyelik derecesi (Ross,1995)

Yükseklik Durulaştırması

W'nin uzayının, üyelik dereceleri belli bir α değerinden düşük olan elemanları tamamen çıkarılarak, durulaştırılan değer z_0 , W'nin α 'dan daha küçük üyelik derecelerine sahip olmayan elemanlarına ağırlık merkezi yöntemi kullanılarak hesaplanır.

$$z_0 = \frac{\int zC(z)dz}{\int C(z)dz} \quad (4.52)$$

Burada $[C]^\alpha$, C'nin α -düzey kümesini temsil eder.

4.3 Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık Yöntemlerinin Birlikte Kullanılması: Sinirsel-Bulanık Ağlar

4.3.1 Sinirsel-Bulanık Bütünleşme Gereksinimi ve Mantığı

Yapay sinir ağları ve bulanık modeller, kendi avantajlarını sergileyerek, birçok uygulamada kullanılmışlardır (Lee, 1990). Bu nedenle, bu yaklaşımları başarılı bir şekilde kombine etmenin bir yolu ileriki çalışmalar için oldukça uygun ve faydalı bir konudur (Kuo, 2001)

Bulanık mantık, denetim ve bilgi süreçlerinin birçoğu için güçlü bir problem çözme yöntemidir ve kesin olmayan bulanık bilgidен dikkate alınacak kadar basit bir şekilde kesin sonuçlar elde edilmesine olanak sağlar (Zadeh, 1965). Yapay sinir ağlarının en önemli özelliği öğrenebilme yeteneğidir. Bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının birbirlerini tamamlayıcı özelliklerinden faydalanarak birçok uygulama gerçekleştirilmiştir (Chen ve Chen, 1994; Buja ve Todesco, 1994; Canberi ve Kuzucu, 2005; Oh ve diğ., 2003).

Sinir ağları da bulanık sistemler de, giriş-çıkış fonksiyonlarını tahmin eden dinamik, paralel işleme sistemleridir. Herhangi bir matematiksel model olmaksızın ve örnek veri ile *tecrübeden öğrenerek* tahmin yaparlar. Bir bulanık sistem, temsili nümerik örneklerden adaptif olarak bulanık ilişkilerini çıkarır ve modifiye eder. Diğer yandan, sinir ağları eğitim

verisinden *gözü kapalı olarak (blindly)* bulanık kurallar üretir ve rafine eder. Bulanık kümelerin mantıksal alanda ve daha yüksek komut işlemeyi kolaylıkla gerçekleştirmede avantajlı olduğu düşünülmektedir. Yüksek esneklik, öğrenme ile üretilen sinir ağlarının karakteristik özelliğidir ve bundan ötürü veri-güdümlü işlemeye uygundur. Hayashi ve Buckley (1994) şunları gösterir 1) herhangi bir kural tabanlı bulanık sisteme bir sinir ağı ile yaklaşılabılır, ve 2) herhangi bir sinir ağına (ileri beslemeli, çok katmanlı) bir kural tabanlı bulanık sistem ile yaklaşılabılır. Jang ve Sun (1993) göstermiştir ki, ağın lokal alıcı alanları ve bulanık sistemin üyelik fonksiyonları arasındaki benzerliğe dayanarak, bulanık sistemler fonksiyonel olarak radyal tabanlı fonksiyon (radial basis function-RBF) ağlarının bir türüne denktir (Mitra ve Hayashi, 2000).

Genellikle geleneksel bulanık sistem her ne kadar çok objektif olmasa da uzman bilgiye dayanır. Ayrıca, sağlıklı bilgiyi elde etmek ve bireysel uzmanları bulmak çok güçtür. Son zamanlarda, YSA öğrenme algoritması bir bulanık sistemin performansını geliştirmek üzere, yeni ve ümit verici bir yaklaşım şeklinde, kullanılmıştır. Takagi ve Hayashi (1991), bulanık sonuç çıkarmada ileri beslemeli bir YSA tanıtmışlardır, ve tüm üyelik fonksiyonları yalnızca bir YSA ile temsil edilmektedir. Algoritmaları üç ana parçaya bölünmüştür: (1) sonuç çıkarma kurallarının bölümlenmesi, (2) IF parçalarının tanımlanması, ve (3) THEN parçalarının tanımlanması. Her bir kural ve tüm üyelik fonksiyonları farklı YSA'larca temsil edildikten sonra, ayrı ayrı eğitilmişlerdir. Başka bir deyişle, parametreler eşzamanlı olarak güncellenemez (Kuo, 2001).

Jang (1992) ve Jang ve Sun (1993), bulanık sonuç çıkarma sistemini fonksiyonel eşdeğer bir adaptif ağı dönüştüren ve ardından öncül parametreleri güncellemek için hata geri-yayma-tipi öğrenme algoritmasını ve ardıl parametrelerin tanımlanmasında en küçük kareler metodunu kullanan bir metot önermişlerdir. Ayrıca, Wang ve Mendel (1992) ve Shibata ve diğ. (1992) benzer metotları sunmuşlardır. Nakayama ve diğ. (1992) sinirsel bulanık ağ (SBA) olarak adlandırılan, içinde her bir sonuç çıkarma kuralı için her bir üyelik fonksiyonunun bir veya iki sigmoid fonksiyondan oluştuğu bir bulanık sonuç çıkarma sistemini gerçekleştirmek için özel bir yapıya sahip olan bir ağ önermiştir. Üyelik fonksiyonu kurulum prosedürü eksikliğinden dolayı, bu SBA'nın kural saptaması ve üyelik fonksiyonu kurulumu, kararın oldukça subjektif olduğu uzmanlarca karara bağlanmaktadır. Benzer şekilde, Lin ve Lee (1991) ve Lin ve Lu (1994) sinir ağı tabanlı bulanık mantık kontrol sistemi (neural-network-based-fuzzy logic control system-(NN-FLCS)) önermişlerdir. Sinir ağlarının düşük düzey öğrenme gücünü bulanık mantık sistemi içinde tanıtmışlar, ve normal birleştirici mimari için yüksek düzey

insanca-anlaşılır anlam sağlamışlardır. Ardından, Kuo ve Cohen (1999) ayrıca bir ileri beslemeli YSA'yı Takagi'nin bulanık modellemesi ile temsil edilen bulanık sonuç çıkarmada tanıtmışlar ve çok-sensör entegrasyonu için uygulamışlardır. Buckley ve Hayashi (1994) öğrenme algoritmaları ve SBA'ların uygulamaları üzerine son bulguları incelemişler, ayrıca hata geriye yayma-öğrenme algoritmaları için çeşitli metotlar sunmuşlardır.

Bahsedilen sinirsel-bulanık ağlar yalnızca nümerik veri için uygundur. Bununla birlikte, uzmanların bilgisi her zaman bulanık tiptedir, ve bu yüzden bazı araştırmacılar bu probleme yönelmeye teşebbüs etmişlerdir. Ishibuchi ve diğerleri (1993, 1995), sinir ağlarının öğrenme metotlarının yalnızca nümerik veriden değil, ayrıca bulanık If-Then kuralları ile temsil edilen uzman bilgiden de yararlanabilmesini planlamıştır. Ayrıca Lin (1995), bulanık girdi ve çıktılarının her ikisini de işleme yeteneği olan bir SBA sunmuştur. Son zamanlarda, Kuo ve Xue (1998a,b) yeni bir bulanık sinir ağı önermiştir ki; girdileri, çıktıları ve ağırlıklarının tümü asimetrik Gauss fonksiyonudur ve öğrenme algoritması bir hata-geriye-yayma-tipi öğrenme prosedürüdür (Kuo, 2001).

Bulanık sistemler genelde iki tür içinde kategorize edilebilirler. İlki If-Then kurallarının toplanmasına dayanan linguistik modelleri içerir, ki öncüller ve izleyenler bulanık değerlerden yararlanır. Bulanık muhakeme kullanır ve sistem davranışı *doğal (natural)* terimlerle tanımlanabilir. Bu bilgi şu şekilde gösterilir (Mitra ve Hayashi, 2000):

$$R^i = \text{If } x_1 \text{ is } A_1^i \text{ and } x_2 \text{ is } A_2^i \dots$$

$$\text{and } x_n \text{ is } A_n^i, \text{ then } y^i \text{ is } B^i \quad (4.53)$$

burada R^i ($i=1, 2, \dots, \ell$) i. bulanık kuralı ifade eder, x_j ($j=1, 2, \dots, n$) girdidir, y^i bulanık kuralı R^i 'nin çıktısıdır, ve $A_1^1, A_1^2, \dots, A_n^i, B^i$ ($i=1, 2, \dots, \ell$) genellikle linguistik terimlerle ilişkili bulanık üyelik fonksiyonlarıdır (Mitra ve Hayashi, 2000).

Sugeno-tipi sistemlere dayanan ikinci kategori, bulanık öncül ve *fonksiyonel* ardıl parçalara sahip bir kural yapısı kullanır. Bu lineer parçanın açılımı olarak görülebilir, şu şekilde gösterilir (Mitra ve Hayashi, 2000):

$$R^i = \text{If } x_1 \text{ is } A_1^i \text{ and } x_2 \text{ is } A_2^i \dots \text{ and } x_n \text{ is } A_n^i$$

$$\text{then } y^i = a_0^i + a_1^i x_1 + \dots + a_n^i x_n \quad (4.54)$$

Yaklaşım, tüm girdi uzayını birkaç kısmi bulanık uzayına ayrıştırarak ve her bir çıktı uzayını lineer bir denklemlerle temsil ederek, çeşitli lineer sistemlerin bir kombinasyonu ile lineer

olmayan bir sisteme yaklaşıır. Bu gibi modeller hem kalitatif hem de kantitatif bilgiyi temsil etme yeteneğine sahiptir ve veriden tanımlanmaları için güçlü öğrenme tekniklerinin görel olarak daha kolay uygulamasına izin verir. Kompakt bir kümede herhangi bir doğruluk derecesi için, herhangi bir sürekli gerçek-değerli fonksiyona yaklaşma yeteneğine sahiptirler. Bu tip bir bilgi gösterimi, çıktı değişkenlerinin linguistik terimlerle tanımlanmasına izin vermez ve parametre optimizasyonu tekrarlı bir şekilde lineer olmayan bir optimizasyon metodu kullanılarak gerçekleştirilir (Mitra ve Hayashi, 2000).

Bununla birlikte, okunabilirlik ve kesinlik arasında bir değiş-tokuş vardır. Birisi daha kesin bir sonuç ile ilgilenerek, genellikle linguistik yorumlayabilirlikle ilgilenmez. Sugeno-tipi sistemler bu gibi durumlar için uygundur. Diğer yandan, tercih Mamdani-tipi sistemlerdir. Bulanık modellemenin iki birincil görevi yapı tanımlama ve parametre ayarlamadır. İlki girdi-çıktı uzayını bölmeyi, If-Then kurallarının öncül ve ardıl değişkenlerini, bu kuralların sayısını, ve üyelik fonksiyonlarının başlangıç pozisyonlarını tanımlar. İkincisi verilen yapı altındaki parametrelerin fizibil bir kümesini tanımlar.

Sinir ağları, bulanık sistemler gibi, bilgi işlemeyi beynimizin davranışına benzer şekilde gerçekleştirebilen insan-yapımı sistemlerin geliştirilmesinde mükemmeldir. Gerçekte, YSA kavramı biyolojik sinir ağlarından esinlenmiştir; içsel olarak non-lineer, yüksek ölçüde paralel, sağlam ve hata toleranslıdır. Bir biyolojik sinir ağı şunları yapabilir: 1) kuşatıldığı çevrede sinaptik ağırlıklarını değişimlere adapte eder; 2) kesin olmayan, bulanık, gürültülü ve olasılıklı bilgiyi kolaylıkla işler; 3) bilinmeyen görevleri genelleştirir. YSA'lar, etkili bir şekilde kompleks problemleri çözmek için genellikle sinir sistemlerinin kurallarını kullanarak bu karakteristikleri taklit etmeye kalkışır. Bulanık mantık kesinsizliği modelleme, belirsizliği işleme ve insan-tipi muhakemeyi destekleme yeteneklerine sahiptir (Mitra ve Hayashi, 2000).

Bir sinir ağı geniş ölçüde tahminleri hakkında küçük ölçüde açıklama sunan kara bir kutu olarak görülmüştür. Sinir ağlarından kuralların çıkarımı, insanlar tarafından bu tahmin sürecinin daha iyi şekilde anlaşılmasını olanaklı kılar. Bilginin bir biçimi olan kurallar, insan uzmanları tarafından kolaylıkla doğrulanabilir, iletilebilir ve genişletilebilir. *Doğal (natural)* formda gösterilen kurallar, insanlar için anlaşılabilirliklerini geliştirmeye yardım eder. Bu durum, bulanık küme teorisi kavramlarıyla, uygun bir şekilde ele alınabilir.

Sinir ağları ve linguistik bilgi arasındaki ilişki iki yönlüdür (Ishibuchi ve diğ., 1998). Bu nedenle 1) sinir ağı-tabanlı sınıflama sistemleri nümerik veri ve dilsel bilgi ile eğitilebilir ve 2) bulanık kural-sınıflama sistemleri linguistik bilgi ve sinir ağlarıyla çıkartılan bulanık kurallarla dizayn edilebilir.

Bulanık mantık ve sinir sistemleri çok zıt uygulama gereksinimlerine sahiptir. Örneğin; bulanık sistemler proses hakkında yeterli uzman bilgisi bulunduğunda uygundur; ki sinir sistemleri yeterli proses bilgisi bulunduğunda veya ölçülebilir olduğunda kullanışlıdır. Her iki yaklaşım da sınırlı sürekli değişkenlere dayanan lineer olmayan sistemler inşa eder, fark ise sinir sistemleri nümerik kantitatif şekilde davranırken, bulanık sistemlerin sembolik kalitatif bir şekilde davranmasıdır. Bulanık sistemler bununla birlikte hem sembolik hem de nümerik özellikler sergiler. Örneğin; linguistik etiketlerle özetlenen nesnelerin kolleksiyonları olarak davrandığında, kural tabanlı operasyonlar aracılığıyla sembolik işleme için kendilerini verirler, ki linguistik etiketlerin tanımları için üyelik fonksiyonları ayrıca nümerik işleme için de uygundur. Bu nedenle, sinir sistemleri ve bulanık sistemlerin entegrasyonu ortak bir ilişkiye yol açar ki burada sinir ağları bilişimsel olarak etkili donanım uygulamaları için öğrenme becerileri ve istisnai uygunluk sağlarken, bulanık sistemler uzman bilgi temsili için güçlü bir çatı sağlar. Bu entegrasyonun anlamı, farklılıklar dikkate alındığında daha açık hale gelir. Bulanık mantık kontrolörleri otomasyon uygulanan öğrenmeye yönelik yeteneklere sahip değilken, sinir ağları bilgi temsili için güçlü bir plan sağlamaz (Mitra ve Hayashi, 2000).

Bir bulanık sonuç çıkarma sistemi, temel komponentlerini bir kural tabanında ve veri tabanında depolayarak insan uzmanlığı sağlayabilir ve bulanık sonuç çıkarmayı toplam çıktı değerini elde etmek için kullanır. Bununla birlikte, insan uzmanların bilgilerinin deneyimlerini, bir bulanık sonuç çıkarma sisteminin bilgi tabanı için dönüştürmeye yönelik sistematik bir yol bulunmamaktadır. Bir bulanık sonuç çıkarma sistemi inşa etmek için, bulanık kümeler, bulanık operatörler ve bilgi tabanının tayin edilmesi gerekmektedir. Bir uygulama için bir YSA yapılandırmak için kullanıcı mimariyi ve öğrenme algoritmasını tayin etmelidir. Bir YSA'nın öğrenme mekanizması insan uzmanlığına dayanmaz. YSA'nın homojen yapısından dolayı, YSA'nın ağırlıklarından veya konfigürasyonundan yapılandırılmış bilginin özetlenmesi zordur. Pratikteki birçok problem için genellikle insan uzmanlardan bir ön bilgi elde edilir ve bu bilginin bir bulanık if-then kuralları kümesi ile tanımlanması için oldukça uygundur. Bununla birlikte, ön bilginin bir YSA'ya kodlanması kolay değildir. Çizelge 4.1, YSA ve bulanık sonuç çıkarma sisteminin karşılaştırılmasını özetler. Entegre sinirsel-bulanık sistem, YSA ve bulanık sonuç çıkarma sisteminin avantajlarını kombine eder. Bulanık sonuç çıkarma sistemi açısından bakıldığında öğrenme yeteneği bir avantaj iken, linguistik kural tabanının oluşturulması YSA açısından bakıldığında bir avantaj olacaktır (Abraham, 2001).

Birleşmiş bir sinirsel-bulanık ağ mimarisinde, YSA öğrenme algoritmaları bulanık sonuç çıkarma sisteminin parametrelerinin saptanmasında kullanılır. Birleşmiş sinirsel-bulanık ağ sistemleri veri yapılarını ve bilgi önermelerini paylaşır. Bir öğrenme algoritmasını bir bulanık sistem için uygulamanın yaygın yolu, onu özel bir YSA benzeri mimaride göstermektir. Bununla birlikte geleneksel YSA öğrenme algoritmaları (gradient descent), sonuç çıkarma prosesinde kullanılan fonksiyonlar genellikle farklılaştırılmadığı için, böyle bir sisteme direkt olarak uygulanamaz. Bu problem, sonuç çıkarma sisteminde farklılaştırılabilir fonksiyonlar kullanılarak veya standart sinirsel öğrenme algoritması kullanılmayarak aşılabilir. Bu alandaki bazı temel çalışmalar GARIC, FALCON, ANFIS, FUN, SONFIN, FINEST, EfuNN, dmEFuNN, neuro-fuzzy sistemlerin evrimsel tasarımı ve diğer bazılarıdır (Abraham, 2001).

Çizelge 4.1 YSA ve bulanık sonuç çıkarma sistemi arasındaki karşılaştırma (Abraham, 2001)

Sinir Ağları	Bulanık Sonuç Çıkarma Sistemi
Ön kural tabanlı bilgi kullanılamaz	Ön kural tabanı birleştirilebilir
Araştırmak öğrenme	Öğrenemez (dilsel bilgi kullanır)
Kara kutu	Yorumlanabilir (if-then kuralları)
Komplike öğrenme algoritmaları	Basit yorumlama ve uygulama
Bilginin çıkartılma zorluğu	Bilgi elde mevcut olmalı

Sinirsel ve bulanık yaklaşımların meziyetlerinin makul bir entegrasyonu olan sinirsel-bulanık hesaplama, daha akıllı karar-verme sistemlerinin inşa edilmesine imkan verir. Bu, sistemdeki veri-zengini ortamlarda sinir ağlarının paralellik, sağlamlık ve öğrenme gibi jenerik (türsel) avantajlarını birleştirir. Kesin olmayan ve kalitatif bilginin modellenmesi, belirsizliğin giderilmesine ek olarak mümkündür. Bu jenerik avantajların yanısıra sinirsel-bulanık yaklaşım ayrıca uygulamaya ilişkin özel meziyetler sağlar (Mitra ve Hayashi, 2000).

4.3.2 Farklı Sinirsel-Bulanık Melezleştirmeleri

Sinirsel-bulanık melezleştirmesi genelde iki yolla gerçekleştirilir: bulanık bilgiyi kullanma yeteneğiyle donatılmış bir sinir ağı [*bulanık sinirsel ağ (BSA)-fuzzy-neural net (FNN)*] ve esneklik, hız ve adapte olabilirlik gibi karakteristiklerini geliştirmek için sinir ağlarınca genişletilen bir bulanık sistem [*sinirsel bulanık sistem (SBS)-neural-fuzzy system (NFS)*] (Mitra ve Hayashi, 2000).

Bir BSA'da girdi işaretleri ve/veya bağlantı ağırlıkları ve/veya çıktılar bulanık alt kümeleridir veya bulanık kümeler için üyelik değerlerinin bir kümesidir, ör. (Mitra ve Pal, 1995; Pal ve Mitra, 1992). Genellikle, *düşük*, *orta* ve *yüksek* gibi linguistik değerler veya bulanık rakamlar

veya aralıklar bunları modellemek üzere kullanılır. Bulanık nöronlara sahip sinir ağları, ayrıca, bulanık bilgiyi işleme yeteneğine sahip oldukları için BSA olarak adlandırılır.

Bir SBS, diğer yandan, bulanık muhakeme sürecini gerçekleştirmek üzere tasarlanmıştır. Burada ağın bağlantı ağırlıkları bulanık muhakeme parametrelerine tekabül eder. Geri besleme-tipi öğrenme algoritmaları kullanılarak, SBS bulanık kuralları tanımlayabilir ve bulanık muhakemenin üyelik fonksiyonlarını öğrenebilir. Genellikle bir SBS için, ağ ve bulanık sistem arasında birebir ilişki kurulması kolaydır. Başka bir deyişle, SBS mimarisi önceki hükümler, birleşme operatörleri ve sonraki hükümler için ayrı düğümlere sahiptir. Bir bulanık kontrol sistemi ayrıca SBS olarak adlandırılabilir. Tabii ki bir başka kara kutu-tipi SBS olabilir, ki burada bir bulanık sistemce girdi-çıkı ilişkisini saptamak için çok katmanlı ağ kullanılmıştır. Böyle bir sistem için ağ yapısı bulanık muhakeme sisteminin mimarisi için böyle bir ilişkiye sahip değildir (Mitra ve Hayashi, 2000).

Bir SBS dilsel kuralları ve/veya üyelik fonksiyonlarını öğrenebilmeli veya mevcut olanları optimize edebilmelidir. Üç olasılık vardır: 1) sistem kurallar olmaksızın başlar ve öğrenme problemi çözülene kadar yeni kurallar yaratır. Yeni bir kural yaratımı yetersiz bir şekilde mevcut kural tabanını ihtiva eden bir eğitim örneği ile tetiklenir; 2) sistem, değişkenlerin bölünmesinden dolayı yaratılabilen tüm kurallarla başlar ve yetersiz kuralları performanslarının bir değerlendirmesine dayanarak veri tabanından siler; 3) sistem sabit sayıda kurallardan oluşan bir kural tabanı ile başlar. Öğrenme sırasında, kurallar bir optimizasyon prosesi ile yenilenir.

Makul bir şekilde sinirsel-bulanık kavramlarının birleştirilmesinin farklı teknikleri çeşitli kademelerde sentez gerektirir. Genelde, bu metodolojiler yaygın olarak aşağıdaki gibi organize edilebilirler (Pal ve Ghosh, 1996). 1, 3-5 kategorileri BSA'ya ve kategori 2 SBS'ye aittir (Mitra ve Hayashi, 2000):

1. Sinir ağı çatısında bulanıklığın birleştirilmesi: girdi verisinin bulanıklaştırılması, eğitim örnekleri için bulanık etiketlerin atanması, öğrenme prosedürünün imkan dahilinde bulanıklaştırılması, ve sinir ağı çıktılarının bulanık kümelerle dayanarak elde edilmesi (Mitra ve Pal, 1995).
2. Bulanık mantık kuralcılığı ile yönlendirilen sinir ağlarının tasarımı: bulanık mantık ve bulanık karar-vermeyi uygulamak ve bulanık kümeleri temsil eden üyelik fonksiyonlarını gerçekleştirmek için sinir ağlarının tasarımı (Jang, 1993).

3. Nöronların temel karakteristiklerinin değiştirilmesi: nöronlar, klasik çarpma ve toplama operasyonları yerine bulanık küme teorisinde kullanılan çeşitli operasyonları gerçekleştirmek üzere tasarlanmışlardır (bulanık birleşme, kesişme, toplama gibi).
4. Bir ağın hatası ve istikrarsızlığı için bulanıklığın ölçütlerinin kullanılması: bir bulanık kümenin bulanıklık ve belirsizlik ölçütleri sinir ağı-tabanlı sistemin hatasını veya istikrarsızlığını veya enerji fonksiyonunu modellemek için kullanılır.
5. Nöronların ayrı ayrı bulanık yapılması: nöronların girdi ve çıktısı bulanık kümelerdir ve bulanık nöronları içeren ağların faaliyeti ayrıca bir bulanık prosestir.

Sinirsel bulanık modeller için, literatürde yer alan başka tiplerde kategorizasyonlar vardır. Buckley ve Hayashi (1994) bulanık sinir ağlarını aşağıdaki şekilde sınıflamışlardır. Ağ şunlara sahiptir: 1) gerçek sayı girdiler, bulanık çıktılar, ve bulanık ağırlıklar; 2) bulanık girdiler, bulanık çıktılar, ve bulanık ağırlıklar; 3) bulanık girdiler, bulanık çıktılar, ve gerçek sayı ağırlıklar. Hayashi ve diğerleri (1993), girdi, çıktı ve ağırlık kademelerinde bulanık sayıları kullanarak delta kuralını çok katmanlı perceptron (multi layer perceptron-MLP) için bulanıklaştırmıştır. Fakat kuralı durdurmada problemler vardı. Ishibuchi ve diğerleri (1995), üçgen ve yamuk bulanık sayı ağırlıkları birleştirmiştir, böylece algoritmanın kompleksliği artar. Tüm bu bulanık sinir ağları, bununla birlikte, Mitra ve Hayashi (2000) tarafından 1 ve 3 kategorileri altında gruplandırılabilmiştir.

Temelde sinirsel-bulanık kontrolle ilgilenenler şunları önerirler: 1) *bir işbirliği* sistemi, YSA ve bulanık sistem birbirinden bağımsız olarak çalıştığında, kombinasyon bir bulanık sistemin kesin parametrelerinin bir YSA tarafından sağlanmasıyla gerçekleştirilir, ve 2) *bir hibrit sinirsel-bulanık* sistemi, bir bulanık sistemi bir YSA ile uygular; burada homojen bir varlık üretilir ki bu bir bulanık sisteme ya da bir YSA'ya bölünemez.

4.3.3 Bütünleşme Tipleri ve Modelleri

Kullanılan bulanık sonuç çıkarma metoduna dayanarak, sinirsel-bulanık sistemler farklı tipler halinde sınıflandırılabilir. Bundan sonraki kısımda, Mamdani ve Takagi-Sugeno bulanık sonuç çıkarma sistemi uygulanarak sinirsel-bulanık sistemlerin nasıl modelleneceği tartışılacaktır (Abraham ve Nath, 2000; Abraham 2001).

1) Sinirsel-Bulanık Sistem-Mamdani bulanık sonuç çıkarma sistemi

Şekil 4.13'e atfen, her bir katmanın detaylı işletilmesi aşağıdaki gibidir (Abraham, 2001):

Katman 1 (*girdi katmanı*): Bu katmanda hiçbir hesaplama yapılmaz. Bu katmandaki bir girdi değişkenine tekabül eden her bir düğüm, yalnızca girdi değerlerini bir sonraki katmana direkt olarak aktarır. Katman 1'deki bağlantı ağırlığı birdir.

Katman 2 (*bulanıklaştırma katmanı*): Bu katmandaki her bir düğüm, katman 1'deki girdi değişkenlerinin biri için bir linguistik etikete (mükemmel, iyi, vb.) tekabül eder. Başka bir deyişle, çıktı bağlantısı üyelik değerini temsil eder, ki bu bir girdi değerinin bir bulanık kümeye ait olduğu dereceyi belirtir, ve katman 2'de hesaplanır. Bir kümeleme algoritması, girdi değişkenlerinin her birini ayırmak için üyelik fonksiyonlarının ilk sayısına ve tipine karar verecektir.

Katman 3 (*kural sonucu katmanı*): Bu düğüm temel olarak iki göreve sahiptir. Gelen kural öncüllerini kombine etmek ve hangi çıktı linguistik etiketine ait olduklarının derecesini saptamak (yüksek, orta, düşük, vb.) Bu katmandaki düğümlerin sayısı, kuralların sayısına eşit olacaktır.

Katman 4 (*kombinasyon ve durulaştırma katmanı*): Bu düğüm tüm kural sonuçlarının bir T-norm (bulanık kesişme) operatörü kullanarak kombinasyonunu gerçekleştirir ve son olarak durulaştırma sonrasında normal çıktıyı hesaplar.

2) Sinirsel-Bulanık Sistem-Takagi-Sugeno bulanık sonuç çıkarma sistemi

Şekil 4.14'e atfen, her bir katmanın detaylı işletilmesi aşağıdaki gibidir (Abraham, 2001; Nassimbeni ve Battain, 2003):

1, 2 ve 3 katmanları Mamdani bulanık sonuç çıkarma sistemindeki ile aynı şekilde işletilir. Geri kalan katmanların işletilmesi aşağıdaki gibidir.

Katman 4 (*kural kuvveti normalleştirme*): Bu katmandaki her bir düğüm, i. kuralın ateşleme kuvvetinin tüm kuralların ateşleme kuvvetlerinin toplamına oranını hesaplar.

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i=1, 2, \dots \quad (4.55)$$

Katman 5 (*kural sonuç katmanı*): Bu katmandaki her bir i düğümü bir düğüm fonksiyonu iledir:

$$\bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x_1 + q_i x_2 + r_i), \quad (4.56)$$

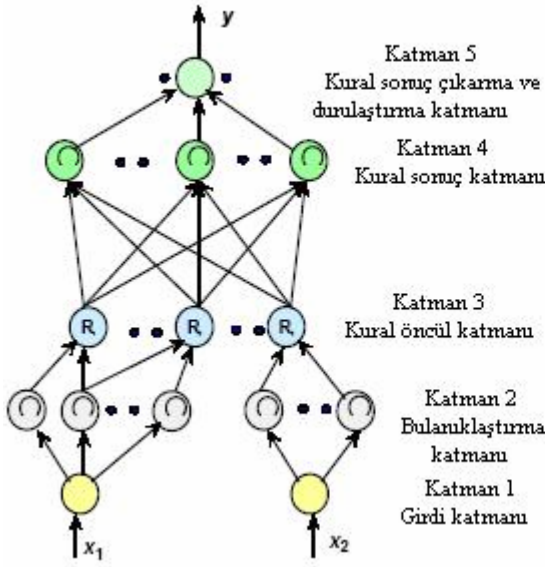
Burada $\bar{w}_i$ katman 4'ün çıktısı, ve $\{p_i, q_i, r_i\}$ parametre kümesidir. İyi kurulan bir yol, ANFIS ve SONFIN'de kullanıldığı gibi en küçük kareler algoritması kullanılarak sonuç parametrelerinin tahmin edilmesi içindir.

Katman 6 (*kural sonuç çıkarma katmanı*): Bu katmandaki tek düğüm, tüm gelen işaretlerin toplamı olarak toplam çıktıyı hesaplar.

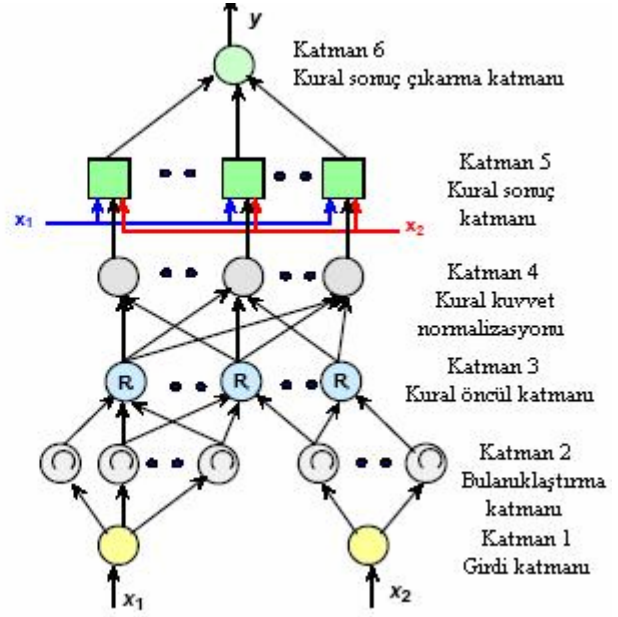
$$Toplam\ çıktı = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (4.57)$$

Bütünleşmiş Sinirsel-Bulanık Sistemlerde Öğrenme

Takagi-Sugeno sinirsel bulanık sistemleri (Şekil 4.14), üyelik fonksiyonlarını öğrenmek için geriye yayılmanın bir karışımını ve kural sonuçları içinde lineer kombinasyonların lineer katsayılarını saptamak için en küçük kareler tahminini kullanır. Öğrenme prosedüründe bir adım iki parçaya sahiptir: İlk parçada girdi örnekleri yayılır, ve optimal sonuç parametreleri tekrarlanan bir en küçük kareler prosedürü ile tahmin edilirken; öncül parametreler (üyelik fonksiyonları) eğitim kümesi aracılığı ile mevcut çevrim için sabit kabul edilmektedir. İkinci parçada örnekler tekrar yayılır, ve bu evrede geriye yayılma, sonuç parametreleri sabit kalırken, öncül parametreleri modifiye etmek için kullanılır. Ardından bu prosedür tekrarlanır. Bir Mamdani sinirsel-bulanık sistemi (Şekil 4.13), üyelik fonksiyonlarını öğrenmek için denetleyicili bir öğrenme tekniği kullanır (geriye yayma öğrenmesi) (Abraham, 2001).



Şekil 4.13 Mamdani sinirsel-bulanık sistemi
(Abraham, 2001)



Şekil 4.14 Takagi-Sugeno sinirsel-bulanık sistemi
(Abraham, 2001)

4.3.4 Çok Kullanılan Sinirsel-Bulanık Sistemler

Bu alanda yapılan çalışmalarda en çok ANFIS, EFuNN, NEFCLASS sinirsel bulanık sistemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Bu bölümde bu sistemlere değinilecektir.

4.3.4.1 ANFIS

Zadeh (1965) komplike sistemleri tanımlamak için bulanık mantık teoremini önerdikten sonra, çok popüler olmuş ve çeşiti problemlerde başarıyla uygulanmıştır. Bununla birlikte bulanık mantığın temel problemi, bir bulanık kontrolcünün tasarımı için sistematik bir prosedür olmamasıdır. Diğer yandan, bir sinir ağı çevreden (girdi-çıkı çiftleri) öğrenme yeteneğine sahiptir, yapısını kendisi organize eder, ve interaktif bir biçimde adapte eder. Bu nedenle, kendi kendini organize eden ağ yapısı ve tahmin için parametreleri adapte etmek üzere, adaptif sinirsel-bulanık sonuç çıkarma sistemi (adaptive neuro-fuzzy inference system-ANFIS) metodolojisi uygulanması önerilir (Chang ve Chang, 2006).

ANFIS bir sinirsel-bulanık sistemdir (Jang, 1993) ve bir bulanık sonuç çıkarma sistemini sinir ağı içine aktarır (Thomassey ve diğ., 2005). Esasen ANFIS yapısı, Sugeno tipi bulanık sistemlerin, sinirsel öğrenme kabiliyetine sahip bir ağ yapısı olarak temsilinden ibarettir. Bu ağ, her biri belli bir fonksiyonu gerçekleştirmek üzere, katmanlar halinde yerleştirilmiş düğümlerin birleşiminden oluşmuştur (Özçalık ve Uygur, 2003).

ANFIS, bir girdi uzayını bir çıktı uzayına eşlemek için, sinir ağı öğrenme algoritmalarını ve bulanık sonuç çıkarmayı kullanan, çok katmanlı ileri beslemeli bir ağıdır. Bir bulanık sistemin sözel gücü ile bir sinir sistem adaptif ağının nümerik gücünü birleştirme yeteneğine sahiptir ve bu bağlamda ANFIS'in modelleme gücü kanıtlanmıştır (Chang ve Chang, 2006).

ANFIS, öğrenme, yapılandırma, sarf etme ve sınıflandırma konularında iyi bir yeteneğe sahiptir. Nümerik veriden veya uzman bilgidenden bulanık kuralların çıkarılmasını sağlaması ve adaptif olarak bir kural tabanını yapılandırması avantajına sahiptir. Ayrıca, insan zekasının bulanık sistemlere komplike dönüşümünü ayarlayabilir. ANFIS tahmin modelinin temel kusuru yapının eğitimi ve parametrelerin saptanması için zaman gereksinimidir, ki bunlar çok zaman alır.

Basitlik için bulanık sonuç çıkarma sisteminin iki girdisi, x ve y , ve bir çıktısı, z , olduğu kabul edilir. Birinci-sıra Sugeno bulanık modeli için iki bulanık if-then kuralı ile tipik bir kural kümesi şu şekilde tanımlanabilir (Chang ve Chang, 2006):

Kural-1: If x A_1 and y B_1 Then $f_1 = p_1 * x + q_1 * y + r_1$

Kural-2: If x A_2 and y B_2 Then $f_2 = p_2 * x + q_2 * y + r_2$

Burada p_i , q_i ve r_i ($i=1$ veya 2), birinci-sıra Sugeno bulanık modelinin then-parçasının (izleyen parça) lineer parametrelerdir. ANFIS mimarisi beş katmandan oluşur (Şekil 4.15), ve modelin özet bir tanıtımı şu şekildedir (Escoda ve diğ., 1997; Chen ve Huang, 2001; Özçalık ve Uygur, 2003; Yıldırım ve Bayramoğlu, 2004; Avcı ve Türkoğlu, 2005; Chang ve Chang, 2006):

Katman 1: girdi düğümleri. Bu katmanın her bir düğümü, üyelik fonksiyonlarını kullanarak ait oldukları uygun bulanık kümelerin herbirinin üyelik derecelerini üretir (Chang ve Chang, 2006).

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x) \quad \text{for } i=1, 2$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y) \quad \text{for } i=3, 4 \quad (4.58)$$

Burada x ve y , i düğümünün normal girdileridir, ve A_i ve B_i (büyük, küçük, vb.) linguistik etiketlerdir ki uygun üyelik fonksiyonları μ_{A_i} ve μ_{B_i} ile karakterize edilirler. Notasyonu düzeltmek ve kısaltmak için, Gauss ve çan-şekilli üyelik fonksiyonları, bulanık kümeleri belirtmek için gittikçe popüler olmaktadır. Çan-şekilli üyelik fonksiyonları, Gauss üyelik fonksiyonlarından bir fazla parametreye sahiptir, bu yüzden serbest parametre ayarlandığında

bulanık-olmayan bir kümeye yaklaşılabılır. Bu çalışmada çan-şekilli üyelik fonksiyonu kullanılmıştır:

$$\mu_{A_i} = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^{2b_i}} \quad \mu_{B_{i-2}} = \frac{1}{1 + \left| \frac{y - c_i}{a_i} \right|^{2b_i}} \quad (4.59)$$

burada $\{a_i, b_i, c_i\}$, üyelik fonksiyonlarının şekillerini değiştiren if-then kurallarının önerme parçasında üyelik fonksiyonlarının parametre kümesidir. Bu katmandaki parametreler, önerme parametreleri olarak adlandırılır.

Katman 2: kural düğümleri. İkinci katmanda AND operatörü, bu kuralın öncül sonuçlarını temsil eden bir çıktının elde edilmesi için uygulanır; örneğin, ağırlık dereceleri. Ağırlık derecelerinin anlamı, bir bulanık kuralın öncül parçası için tatmin edilen dereceler anlamındadır ve kural için çıktı fonksiyonunu şekillendirir. Bu yüzden bu katmanın çıktıları $O_{2,k}$, katman 1’de tekabül eden derecelerin çarpımlarıdır (Chang ve Chang, 2006).

$$O_{2,k} = w_k = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_j}(y) \quad k=1, \dots, 4; i=1, 2; j=1, 2 \quad (4.60)$$

Katman 3: orta düğümler. Üçüncü katmanda temel amaç her bir i. kuralın ağırlık derecelerinin tüm kuralların ağırlık derecelerinin toplamına oranının hesaplanmasıdır. Sonuç olarak, $\bar{w}_i$ normalize ağırlık derecesi olarak alınmıştır,

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{k=1}^4 w_k} \quad i=1, \dots, 4 \quad (4.61)$$

Katman 4: sonuç düğümleri. Dördüncü katmanın düğüm fonksiyonu her bir i. kuralın, toplam çıktıya karşı katkısını hesaplar ve fonksiyon şu şekilde tanımlanır:

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i), \quad i=1, \dots, 4 \quad (4.62)$$

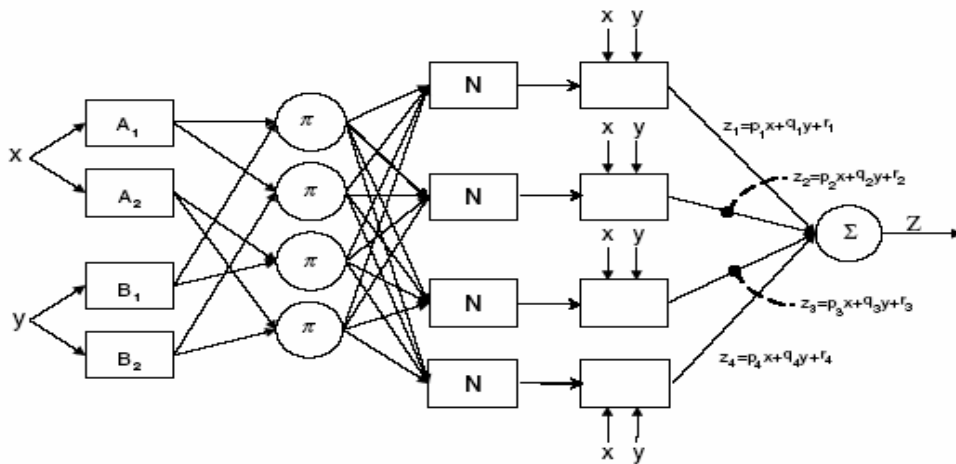
burada $\bar{w}_i$, önceki katmandan i. düğümün çıktısıdır. $\{p_i, q_i, r_i\}$ parametreleri için, bu lineer kombinasyonun katsayılarıdır ve ayrıca Sugeno bulanık modelinin sonuç parçasındaki parametre kümesidir (Chang ve Chang, 2006).

Katman 5: çıktı düğümleri. Tek düğüm, gelen tüm işaretleri toplayarak toplam çıktıyı hesaplar. Dolayısıyla, bu katmanda durulaştırma süreci, her bir kuralın bulanık sonucunu normal bir çıktıya dönüştürür:

$$O_{5,i} = \sum_{i=1}^4 \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_{i=1}^4 w_i f_i}{\sum_{i=1}^4 w_i} \quad (4.63)$$

Bu ağ, denetleyicili eğitim ile eğitilmiştir. Amaç, eğitim verisi ile verilen bilinmeyen fonksiyonlara yaklaşılabilecek adaptif ağırları eğitmektir ve ardından, yukarıdaki parametrelerin kesin değerlerini bulmaktır.

Yaklaşımın ayırdedici karakteristiği, parametreleri güncellemek için ANFIS eğim düşümü (gradient descent) ve en küçük kareler metotlarıyla bir hibrit-öğrenme algoritması uygulamasıdır. Eğim düşümü metodu, öncül non-lineer parametreleri ayarlamak için kullanılmaktadır $\{a_i, b_i, c_i\}$, en küçük kareler metodu ise izleyen lineer parametrelerin tanımlanması için kullanılır $\{p_i, q_i, r_i\}$. Şekil 4.15'ten görüldüğü gibi, parametre değişkenleri olmayan (parametreler eğitim esnasında değişir) dairesel düğümler sabit düğümlerdir (adaptif değil). Öğrenme prosedürünün görevi iki adımlıdır: İlk adımda, öncül parametrelerin eğitim kümesi vasıtası ile mevcut çevrim için sabitlendiği kabul edilirken; izleyen parametreleri tanımlamak için en küçük kareler metodu kullanılır. Ardından, hata işaretleri geriye yayılır. Eğim düşümü metodu, izleyen parametreler sabit kalırken, toplam kuadratik maliyet fonksiyonunu minimize ederek öncül parametreleri güncellemek için kullanılır (Chang ve Chang, 2006).



Şekil 4.15 Dört kurallı ve iki-girdili Sugeno bulanık modeli için ANFIS mimarisi (Chang ve Chang, 2006)

4.3.4.2 NEFCLASS

Veriden bulanık kuralların saptanması; bulanık kontrolcüler, bulanık sınıflayıcılar inşa edilmesi veya karar verme proseslerin desteklenmesi gibi görevlerin yerine getirilmesi için önemli bir konudur (Nauck ve diğ., 1996; Nauck ve Kruse, 1997).

Sınıflandırma kurallarının veriden öğrenilmesi için NEFCLASS (neuro-fuzzy classification-sinirsel-bulanık sınıflandırma) modeli veri analizi problemlerinde kullanılır. NEFCLASS bulanık sınıflandırma kurallarını farklı normal sınıflardan ayrılabilen bir veri setinden türetmek için kullanılır. Veriyi tanımlayan bulanık kurallar şu formdadır:

if x_1 is μ_1 and x_2 is μ_2 and ... and x_n is μ_n

then pattern $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ belongs to class C,

burada $\mu_1, \dots, \mu_n$ bulanık kümelerdir. NEFCLASS modelinin görevi bu kuralların tespiti, ve üyelik fonksiyonlarının şeklinin öğrenilmesidir. Örnekler vektörlerdir $x = (x_1, \dots, x_n) \in R^n$ ve bir C sınıfı R^n 'in (normal (crisp)) bir alt kümesidir. İki farklı sınıfın kesişiminin boş olduğu kabul edilir. Örnek özellik değerleri linguistik kuralların bir kümesi ile tanımlanır. Her bir girdi özelliği x_i için q_i bulanık küme $\mu_1^{(i)}, \dots, \mu_{q_i}^{(i)}$ vardır, ve kural tabanı k bulanık kuralı $R_1, \dots, R_k$ içerir. NEFCLASS bulanık sınıflandırma kurallarını gruplar için araştırarak değil, her bir tekil boyut için tanımlanan bulanık bölmelemeyi modifiye ederek yönlendirir. Veriden bulanık kurallar türetmeye yönelik diğer yaklaşımlar genellikle hiper-elipsel veya hiper-dikdörtgensel kümeleri inceler (Abe ve diğerleri, 1996). Ardından bulanık kümeler, gruplar tasarlanarak yapılandırılır.

Bulanık gruplama metotları (fuzzy clustering methods-FCM) örnek uzayda hiper-küre veya hiper-elipsel kümeleri inceler. Tek bir örnek, her biri farklı üyelik derecelerine sahip çeşitli gruplara bir kez ait olabilir. Bir örneğin tüm gruplardaki üyelik dereceleri toplamı genellikle 1 yapar (olasılıksal yorum), fakat bazı yaklaşımlarda bu özellik yürütülmemiştir (olasılıksal yorum). Her bir grup bir bulanık kuralı temsil eder. Yorumlanabilir bir linguistik kural elde etmek için, her bir girdi özelliği için tek-boyutlu bulanık kümelerin yapılandırılması şarttır. Bunlar grupların her bir tekil-boyut için grupların tasarlanması ile yaratılmıştır. Bununla birlikte, bu metot, yorumlanması zor kurallar üretme eğilimindedir, çünkü her bir kural için bulanık kümeler bireysel olarak üretilmiştir. Bu nedenle bulanık kümelerin linguistik terimlerle etiketlenmesi güçtür. Hiper-dikdörtgensel gruplar kullanıldığında bundan yalnızca tamamen kaçınılabilir (Nauck ve diğ., 1996; Nauck ve Kruse, 1997).

NEFCLASS Modeli

Bir NEFCLASS sistemi, jenerik bir bulanık perceptron'dan türetilen 3-katmanlı ileri beslemeli bir mimariye ve aşağıdaki özelliklere sahiptir (Nauck ve diğ., 1996; Nauck ve Kruse, 1997).

(i) $U = \bigcup_{i \in M} U_i$ ünitelerin (nöronlar) boş olmayan bir kümesidir ve $M = \{1, 2, 3\}$ U 'nun indeks kümesidir. Tüm $i, j \in M$ için, $U_i \neq \emptyset$ ve $i \neq j$ ile $U_i \cap U_j = \emptyset$. U_1 girdi katmanı, U_2 kural katmanı (gizli katman), ve U_3 çıktı katmanı olarak adlandırılır.

(ii) Ağ (bağlantılar) yapısı şu şekilde tanımlanır $W: U \times U \rightarrow F(\mathfrak{R})$, ki burada yalnızca $u \in U_i$, $v \in U_{i+1}$ ile $W(u, v)$ bağlantıları vardır.

(iii) A , her bir $u \in U$ için, aktivasyon a_u 'yu hesaplamak için, aktivasyon fonksiyonu A_u 'yu tanımlar.

(a) girdi ve kural düğümleri için $u \in U_1 \cup U_2$:

$$A_u: \mathfrak{R} \rightarrow \mathfrak{R}, \quad a_u = A_u(net_u) = net_u, \quad (4.64)$$

(b) çıktı üniteleri için $u \in U_3$:

$$A_u: F(\mathfrak{R}) \rightarrow F(\mathfrak{R}), \quad a_u = A_u(net_u) = net_u \quad (4.65)$$

(iv) O , çıktı o_u 'yu hesaplamak için, her bir $u \in U$ için bir çıktı fonksiyonu O_u 'yu tanımlar.

(a) girdi ve kural düğümleri için $u \in U_1 \cup U_2$:

$$O_u: \mathfrak{R} \rightarrow \mathfrak{R}, \quad o_u = O_u(a_u) = a_u, \quad (4.66)$$

(b) çıktı üniteleri için $u \in U_3$:

$$o_u = O_u(a_u) = DEFUZZ_u(a_u), \quad (4.67)$$

burada $DEFUZZ_u$, uygun bir durulaştırma fonksiyonudur.

(v) NET , ağ girdisi net_u 'yu hesaplamak için, her bir ünite $u \in U$ için bir geri yayılım fonksiyonu NET_u 'yu tanımlar.

(a) girdi üniteleri için $u \in U_1$:

$$NET_u: \mathfrak{R} \rightarrow \mathfrak{R}, \quad net_u = ex_u, \quad (4.68)$$

(b) kural üniteleri $u \in U_2$:

$$NET_u : (\mathfrak{R} \times F(\mathfrak{R}))^{U_1} \rightarrow [0,1], \quad net_u = \bigwedge_{u' \in U_1} \{W(u', u)(o_{u'})\}, \quad (4.69)$$

burada T bir t-normudur (bulanık kesişme).

(c) çıktı üniteleri için $u \in U_3$:

$$NET_u : ([0,1] \times F(\mathfrak{R}))^{U_2} \rightarrow F(\mathfrak{R}),$$

$$net_u : \mathfrak{R} \rightarrow [0,1],$$

$$net_u(x) = \bigwedge_{u' \in U_2} \{T(o_{u'}, W(u', u)(x))\}, \quad (4.70)$$

burada T bir t-konormudur (bulanık birleşme).

Eğer bulanık kümeler $W(u', u)$, $u' \in U_2$, $u \in U_3$ destekleri üzerinde monotoniklerse, ve $W^{-1}(u', u)(\tau) = x \in \mathfrak{R}$, $W(u', u)(x) = \tau$ gibi, o halde bir çıktı ünitesi $u \in U_3$ 'ün yayılım fonksiyonu net_u alternatif olarak şu şekilde tanımlanır:

$$net_u(x) = \begin{cases} 1 & \text{eğer } x = \frac{\sum_{u' \in U_2} o_{u'} m(o_{u'})}{\sum_{u' \in U_2} o_{u'}} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (4.71)$$

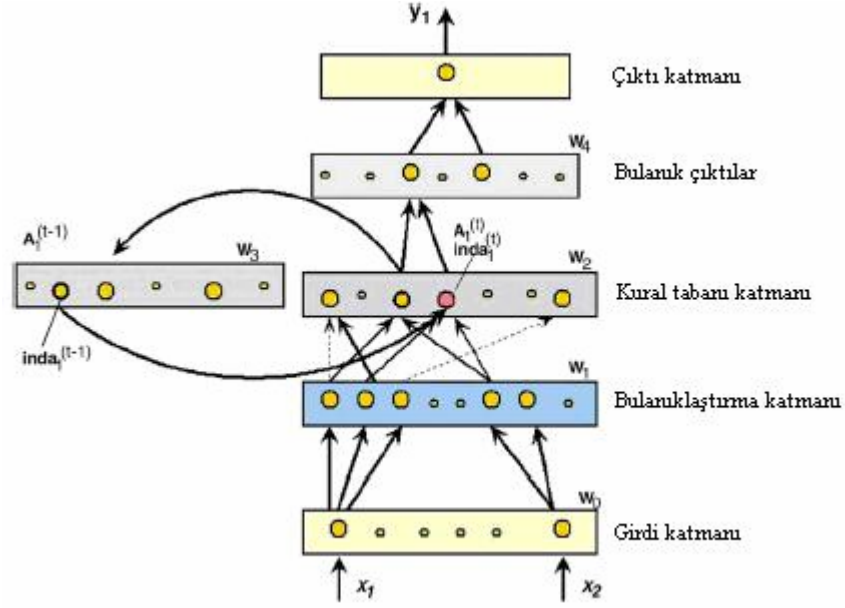
$m(o_{u'}) = W^{-1}(u', u)(o_{u'})$ ile. Bu durumda çıktı o_u 'yu hesaplamak için: $o_u = x$, with $net_u(x) = 1$. Bu, (iv(b)) yerine kullanılır.

(vi) $ex : U_1 \rightarrow \mathfrak{R}$, her bir girdi ünitesi $u \in U_1$ için dışsal çıktısı $ex(u) = ex_u$ 'yu tanımlar. Diğer tüm üniteler için ex tanımlanmamıştır (Nauck ve diğ., 1996; Nauck ve Kruse, 1997).

4.3.4.3 EFuNN

Burada, YSA ve bulanık sonuç çıkarma sisteminin, sinir ağı öğrenme algoritmalarının bulanık sonuç çıkarma sisteminin parametrelerini saptadığı bir kombinasyondan ibaret olan bir sinirsel-bulanık ağ sistemi tanımlanmaktadır. Bu sistemin bulanık if-then kuralları anlamında daima yorumlanabilir olması gerekir, çünkü muğlak bilgiyi yansıtan bulanık sisteme dayanır. Bir Mamdani tipi bulanık sonuç çıkarma sistemini kullanan *genişleyen bulanık sinir ağları*

(evolving fuzzy neural network-EFuNN) burada kullanılmakta ve tüm düğümler öğrenme esnasında yaratılmaktadır. EFuNN beş-katmanlı bir yapıya sahiptir (Şekil 4.16).

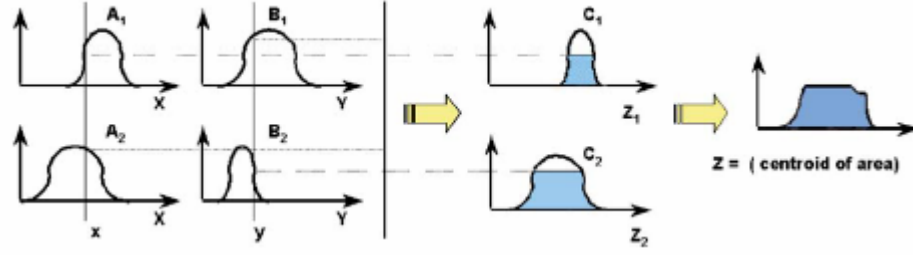


Şekil 4.16 EFuNN mimarisi (Abraham ve Nath, 2001)

Şekil 4.17, bir Mamdani bulanık sonuç çıkarma sistemini max-min metodunu kullanarak ve iki bulanık kuralı kombine ederek tasvir eder. Mamdani bulanık sonuç çıkarma sistemine göre kural öncülleri ve ardılları bulanık kümelerle tanımlanır ve şu yapıya sahiptir (Abraham ve Nath, 2001):

if x is A_1 and y is B_1 , then $z_1 = C_1$

burada A_1 ve B_1 , girdi değişkenlerini temsil eden bulanık kümelerdir ve C_1 çıktı bulanık kümesini temsil eden bulanık kümedir. EFuNN’de girdi katmanı, her bir girdi değişken uzayının bulanık ölçüsünü temsil eden düğümlerin olduğu ikinci katman tarafından izlenir. Her bir girdi değişkeni, uzaysal olarak düzenlenen nöronların bir grubu ile temsil edilir. Farklı üyelik fonksiyonları bu nöronlara eklenebilir (üçgensel, Gauss, vb.). Üyelik fonksiyonlarını temsil eden düğümler öğrenme esnasında modifiye edilebilir. Eğer verilen bir girdi vektörü için ilgili değişken değeri herhangi bir mevcut üyelik fonksiyonuna ait değilse, bir üyelik eşliğinden daha büyük bir derece için yeni nöronlar bu katmanda evrim geçirebilirler.



Şekil 4.17 Mamdani bulanık sonuç çıkarma sistemi (Abraham ve Nath, 2001)

Üçüncü katman, kural düğümlerini içerir, ki bunlar hibrit deneticili/deneticisiz öğrenme esnasında modifiye edilir. Kural düğümleri girdi-çıktı veri ilişkilerinin prototiplerini temsil eder, grafiksel olarak bulanık girdi ve bulanık çıktı uzaylarından hiper-kürelerin bir ilişkisi olarak temsil edilir. Her bir kural düğümü, ör; r_j , bulanık girdi uzayından ve bulanık çıktı uzayından birer hiper-küre arasındaki ilişkiyi temsil eder; bulanık girdi uzayında kürenin merkezinin koordinatlarını temsil eden $W_1(r_j)$ bağlantı ağırlıkları ve $W_2(r_j)$ -bulanık çıktı uzayının koordinatları. Bir kuralın bir girdi hiper-küresinin yarıçapı ($1-S_{thr}$) ile tanımlanır; S_{thr} , bir kural düğümünün minimum aktivasyonunu tanımlayan, duyarlılık eşik parametresidir

R_1 girdi küresi ve r_1 çıktı küresi içine düşerlerse, iki çift girdi-çıktı veri vektörü $d_1 = (X_{d1}, Y_{d1})$ ve $d_2 = (X_{d2}, Y_{d2})$ ilk kural düğümü r_1 için tahsis edilmiş olacaktır; örneğin, X_{d1} ve X_{d2} arasındaki lokal normalize bulanık fark r 'nin yarıçapından daha küçüktür ve Y_{d1} ve Y_{d2} arasındaki lokal normalize bulanık fark bir hata eşiği Err_{thr} 'den daha küçüktür. d_1 ve d_2 'nin iki gerçek değeri verisi önceden tanımlanan üyelik fonksiyonuna aitken, üyelik derecelerini temsil eden iki üyelik vektörü d_{1f} ve d_{2f} arasındaki lokal normalize bulanık fark $D(d_{1f}, d_{2f}) = \text{sum}(\text{abs}(d_{1f} - d_{2f}))$ olarak hesaplanır.

Eğer veri örneği $d_1 = (X_{d1}, Y_{d1})$ (burada X_{d1} ve X_{d2} =girdi ve çıktı üyelik derece vektörleri) ve veri örneği bir r_1^1 merkezli bir kural düğümü r_1 ile ilişkili ise, ardından yeni bir veri noktası $d_2 = (X_{d2}, Y_{d2})$ ayrıca bu kural düğümüyle, bir kural düğümünü yeni veri noktaları ile ilişkilendiren (öğrenme) süreç aracılığıyla, ilişkilidir. Bu düğüm hiper-kürelerinin merkezleri bulanık girdi uzayında bir öğrenme oranı lr_1 'e ve bulanık çıktı uzayında bir öğrenme oranı lr_2 'ye bağlı olarak, iki veri noktası d_1 ve d_2 'de ayarlama yapar. r_1^1 merkezinin yeni pozisyonu r_1^2 'ye ayarlanması matematiksel olarak kural düğümü, $W_1(r_1^1)$ ve $W_2(r_1^1)$ 'den $W_1(r_1^2)$ ve $W_2(r_1^2)$ 'ye kadar r_1 'in bağlantı ağırlıklarındaki değişimle, aşağıdaki vektör operasyonlarına göre temsil edilebilir (Abraham ve Nath, 2001):

$$W_2(r_1^2) = W_2(r_1^1) + lr_2 \times \text{Err}(Y_{d1}, Y_{d2}) \times A_1(r_1^1) \quad (4.72)$$

$$W_1(r_1^2) = W_1(r_1^1) + lr_1 \times \text{Ds}(X_{d1}, X_{d2}) \quad (4.73)$$

Burada $\text{Err}(Y_{d1}, Y_{d2}) = \text{Ds}(Y_{d1}, Y_{d2}) = Y_{d1} - Y_{d2}$ bulanık fark vektörünün kesin değerinden ziyade belirlenen değeridir; $A_1(r_1^1)$ ise girdi vektörü X_{d2} için kural düğümü r_1^1 'in aktivasyonudur.

W_1 ve W_2 'den bağlantı ağırlıkları, öğrenilen verinin (hiper-kürelerin merkezleri) uzaysal karakteristiklerini yakalar, bağlantı ağırlıkları W_3 'ün geçici katmanı ardıl veri örnekleri arasında geçici bağılıkları yakalar. (t-1) momentinde kazanç kural düğümü (girdi veri vektörü (t-1) momentinde ilişkilendirilir) $r_1 = \text{inda}_1(t-1)$, ve t momentinde kazanç düğümü $r_2 = \text{inda}_1(t)$ 'dir; sonrasında iki düğüm arasındaki ilişki şu şekilde kurulur (Abraham ve Nath, 2001):

$$W_3(r_1, r_2)^{(t)} = W_3(r_1, r_2)^{(t-1)} + lr_3 \times A_1(r_1)^{(t-1)} A_1(r_2)^{(t)} \quad (4.74)$$

Burada $A_1(r)^{(t)}$, bir zaman momenti (t)'de, bir kural düğümü r'nin aktivasyonunu ifade eder; lr_3 , EFuNN'in kurallar (gruplar, prototipler) arasındaki bağlantıları ilişkilendirme derecesini tanımlar; ki bu kurallar ardışık veri örneklerini içerir.

Öğrenilen geçici ilişkiler, geçici, örnek benzerliğine dayanan kural düğümlerinin aktivasyonunu desteklemek üzere kullanılabilir. Burada, geçici bağılıklar, yapısal bağlantıların kurulması ile öğrenilebilir. Uzaysal benzerlik/geçici korelasyon oranı farklı uygulamalar için S_s ve T_c parametreleri aracılığıyla dengelenebilir, böylece yeni bir veri örneği d_{new} için bir kural düğümü r'nin aktivasyonu aşağıdaki vektör operasyonlarıyla tanımlanabilir:

$$A_1(r) = f(S_s \times D(r, d_{\text{new}}) + T_c \times W_3(r^{(t-1)}, r)) \quad (4.75)$$

burada f kural düğümü r'nin aktivasyon fonksiyonudur, $D(r, d_{\text{new}})$ normalize bulanık mesafe değeri ve $r^{(t-1)}$ önceki zaman momentinde kazanan nörondur.

Nöronların dördüncü katmanı çıktı değişkenleri için bulanık ölçmeyi temsil eder. Beşinci katman çıktı değişkenleri için gerçek değerleri temsil eder.

EFuNN yayılma algoritması aşağıdaki adımları içeren bir prosedür şeklinde verilmiştir (Abraham ve Nath, 2001):

1. Bir EFuNN yapısı maksimum sayıda nöronla ve sıfır değer bağlantılarıyla başlangıç durumuna getirilir. Eğer başlangıçta hiçbir kural düğüm bulanık girdi ve çıktı nöronlarına

bağlanmamışsa, ilk veri örneği $EX=(X_{d1}, Y_{d1})$ ilk düğüm $r_j=1$ 'i temsil etmek üzere yaratılır ve girdi $W_1(r_j)$ ve çıktı $W_2(r_j)$ bağlantı ağırlıkları aşağıdaki gibidir:

Bir veri örneği EX 'i temsil etmek üzere $\{Yeni bir kural düğümü r_j 'yi yarat\}$:

$W_1(r_j) = EX$; $W_2(r_j) = TE$, ki TE (bulanık) örnek EX için bulanık çıktı vektörüdür.

2. $\langle$ veri örnekleri var $\rangle$ iken başla.

Mevcut örnek (X_{di}, Y_{di}) EX 'i bulanık girdi vektörü olarak gir (girdi değerlerinin ait olduğu üyelik fonksiyonu derecelerinin vektörü). Eğer bu örnekte görülen yeni değişkenler varsa ve önceki örneklerde kullanılmamışsa, ilgili üyelik fonksiyonu ile yeni girdi ve/veya çıktı düğümleri yaratılır.

3. Yeni EX örneği (bulanık girdi vektörü) ve örnek düğümlerdeki, $r_j = r_1, r_2, \dots, r_n$ arasında, zaten depolanan paternler arasında bulunan normalize bulanık benzerlik bulunur.

$$D(EX, r_j) = \text{sum} (\text{abs} (EX - W_1(r_j))) / \text{sum} (W_1(r_j) + EX) \quad (4.76)$$

4. Kural düğümleri $r_j = r_1, r_2, \dots, r_n$ 'in aktivasyonu $A_1(r_j)$ bulunur. Burada, radyal tabanlı aktivasyon (radbas) fonksiyonu veya doymuş lineer (saturated linear-satlin) bir fonksiyon kullanılabilir, yani,

$$A_1(r_j) = \text{radbas} (S_s D (EX, r_j - T_c W_3)), \quad \text{veya}$$

$$A_1(r_j) = \text{satlin} (1 - S_s D (EX, r_j - T_c W_3)) \quad (4.77)$$

5. Kural düğümleri için kısaltılan parametre değerleri güncellenir; örneğin, yaş, önceden tanımlanan ortalama aktivasyon.

6. Yukarıdaki önceden tanımlanan bir duyarlılık eşiği S_{thr} kullanılarak bir aktivasyon değeri $A_1(r_j)$ ile m örnek düğüm r_j bulunur.

7. m örnek düğümden, bir kural düğümü $inda_1$ bulunur, ki bu maksimum aktivasyon değeri $maxa_1$ 'e sahiptir.

8. Eğer $maxa_1 < S_{thr}$ ise, adım 1'deki prosedür kullanılarak $\{yeni bir kural düğümü yarat\}$.

Aksi takdirde,

9. Seçilen m kural düğümünün $(r_{j1}, \dots, r_{jm})$ aktivasyonu, bulanık çıktı nöronları için: $A_2 = \text{satlin} (A_1 (r_{j1}, \dots, r_{jm}) W_2)$, yayılır.

10. Bulanık çıktı hata vektörü hesaplanır:

$$Err = A_2 - TE \quad (4.78)$$

11. Eğer $(D(A_2, TE) > Err_{thr})$, adım 1'deki prosedürü kullanarak *{yeni bir kural düğümü yarat}*.

12. m-1 kural düğümü $k=2$ 'nin a) girdisini, b) çıktısını güncelle; yeni bir düğümün yaratılması durumunda j_m veya hiçbir yeni kural yaratılmaması durumunda m kural düğümü $k=j_1:j_m$.

$$\bullet D_s(EX - W_1(r_k)) = EX - W_1(r_k);$$

$$W_1(r_k) = W_1(r_k) + lr_1 \times D_s(EX - W_1(r_k)), \quad (4.79)$$

burada lr_1 ilk katman için öğrenme oranıdır;

$$\bullet A_2(r_k) = \text{satlin}(W_2(r_k) \times A_1(r_k)),$$

$$Err(r_k) = TE - A_2(r_k); \quad (4.80)$$

$$\bullet W_2(r_k) = W_2(r_k) + lr_2 \times Err(r_k) \times A_1(r_k), \quad (4.81)$$

burada lr_2 ikinci katman için öğrenme oranıdır.

13. Kısıtılan kural düğümleri r_j ve ardıl, önceden tanımlanan bir düzey için bulanık kısıtılmış kuralı doyuran bağlantıları kısıltmanın o anki gereksinimini temsil eder:

Eğer (bir kural düğümü r_j ESKİ ise) ve (ortalama aktivasyon $A_{lav}(r_j)$ DÜŞÜK ise) ve (komşu nöron alanının yoğunluğu YÜKSEK veya MAKUL ise) (ör; girdi-çıktı uzayındaki j ile örtüşen diğer prototipik düğümler vardır; bu durum, aşağıda açıklandığı gibi ilgili kural düğümlerinin yalnızca bazı stratejileri için uygulanır); o halde, kısıtılmış düğüm (r_j)'nin olasılığı YÜKSEK'tir. Yukarıdaki kısıltma kuralı bulanıktır ve bulanık kavramlar ESKİ, YÜKSEK, vb.'nin önceden tanımlanması gerekir.

14. Kural düğümleri, gerektiğinde, daha küçük düğüm sayısı altında toplanır. Bir C-means kümeleme algoritması bu amaçla kullanılabilir.

15. *iken* döngüsünün ve algoritmanın sonu.

Kural düğümlerini temsil eden kuralların, kural gruplarında toplanması gerekmektedir. Toplama derecesi, istenen taneciklilik derecesine bağlı olarak değişebilir. Bulanık veya kesin kurallar, yayılan (öğrenen) sürecin herhangi bir zamanında (evresinde) dahil edilebilir veya çıkartılabilir (Nauck ve diğ., 1996). Bulanık kuralların dahil edilmesi, her bir yeni kural için yeni bir kural düğümü kurularak gerçekleştirilir; mesela kural düğümünün W_1 ve W_2 bağlantı ağırlıklarının bulanık veya kesin kuralları temsil etmesi gibi. Kural çıkarma süreci, çeşitli kural düğümlerinin daha büyük bir hiper-kürede toplanmasıyla gerçekleştirilebilir. İki kural

düğümü r_1 ve r_2 'nin toplanması için, aşağıdaki toplama kuralı kullanılır (Abraham ve Nath, 2001):

Eğer $(D(W_1(r_1), W_1(r_2)) \leq Thr_1)$ ve

$(D(W_2(r_1), W_2(r_2)) \leq Thr_2)$ ise

o halde r_1 ve r_2 , r_{agg} içinde toplanır ve yeni kural düğümünün merkezleri şu şekilde hesaplanır:

$$W_1(r_{agg}) = \text{average}(W_1(r_1), W_1(r_2)),$$

$$W_2(r_{agg}) = \text{average}(W_2(r_1), W_2(r_2)) \quad (4.82)$$

burada, bir bulanık problem uzayında iki nokta arasındaki geometrik merkez iki bulanık vektörün üzerinde bir ortalama vektör operasyonunun kullanımı ile hesaplanır. Bu, parametreler $Sthr$ ve $Errthr$ girdi ve çıktı bulanık hiper-küreleri aracılığıyla tanımlanan iki nokta arasında varsayılan bir eş-zamanlı lineer fonksiyona dayanır (Abraham ve Nath, 2001).

5. TEDARİK ZİNCİRLERİNDE TALEP VE TEMİN SÜRELERİNE DUYARLI ÇOK-AŞAMALI ENVANTER YÖNETİMİNE YÖNELİK BİR METODOLOJİ VE MODEL GELİŞTİRİLMESİ

Bu bölümde, literatür taramasında tespit edilen eksikliklerin giderilmesine yönelik olarak talep ve temin sürelerine duyarlı çok-aşamalı envanter yönetimine yönelik metodoloji ve deterministik/stokastik maliyet modelleri geliştirilmektedir. Öncelikle geliştirilen metodolojinin yürütme adımları tanımlanmakta, ardından her bir adım detaylıca incelenmektedir. Metodoloji kapsamında n aşamalı tedarik zincirleri için deterministik/stokastik modeller geliştirilmekte, bu modellerin yapısı gereği talep ve temin süresi belirsizliklerini gidermeye yönelik olarak sinirsel-bulanık hesaplamaların nasıl kullanıldığı belirtilmektedir. Ardından, üç-aşamalı ve ağaç yapılı merkezi bir tedarik zinciri üzerinden model detayları sunulmaktadır. Sonrasında, model performansının testi için kullanılacak olan SCOR modeli tanıtılarak performans ölçütlerinin saptanmasına yönelik örnekler sunulmaktadır.

5.1 Geliştirilen Metodolojinin Tanıtılması

Tez kapsamında geliştirilen metodolojide n aşamadan oluşan ve her aşamada bir ya da daha fazla kuruluş olan çok-aşamalı bir tedarik sistemi dikkate alınmaktadır. Her bir aşama, alt aşamayı besleyen bir stok noktası olarak modellenmiştir ve üst aşama tarafından beslenir. Son aşamanın limitsiz stokla beslendiği kabul edilmiştir. Aşama 1'deki pazar talebi ile aşamalar arasındaki tedarik temin süreleri belirsizlik ifade etmekte olup, sinirsel-bulanık hesaplamalar ile elde edilmektedir. Bayilerdeki pazar talebi mevcut stoğu geçtiğinde, fark bekleyen sipariş olarak kabul edilir.

Metodolojinin ilk adımı olarak deterministik (Model-G1) ve stokastik-sinirsel-bulanık modeller (Model-G2) geliştirilmektedir. Model-G2 esas önerilen modeldir. Bu esas modelin verileri üç şekilde elde edilir: (1) Talep ve temin süreleri sinirsel-bulanık hesaplamalarla elde edilir; (2) Bazı değişkenler çeşitli hesaplamalarla veya işletmedeki uzmanlara danışılarak elde edilir; ve, (3) Model-G1 ile hesaplanan sipariş miktarı ve çevrim sayısı Model-G2'de aynen kullanılır.

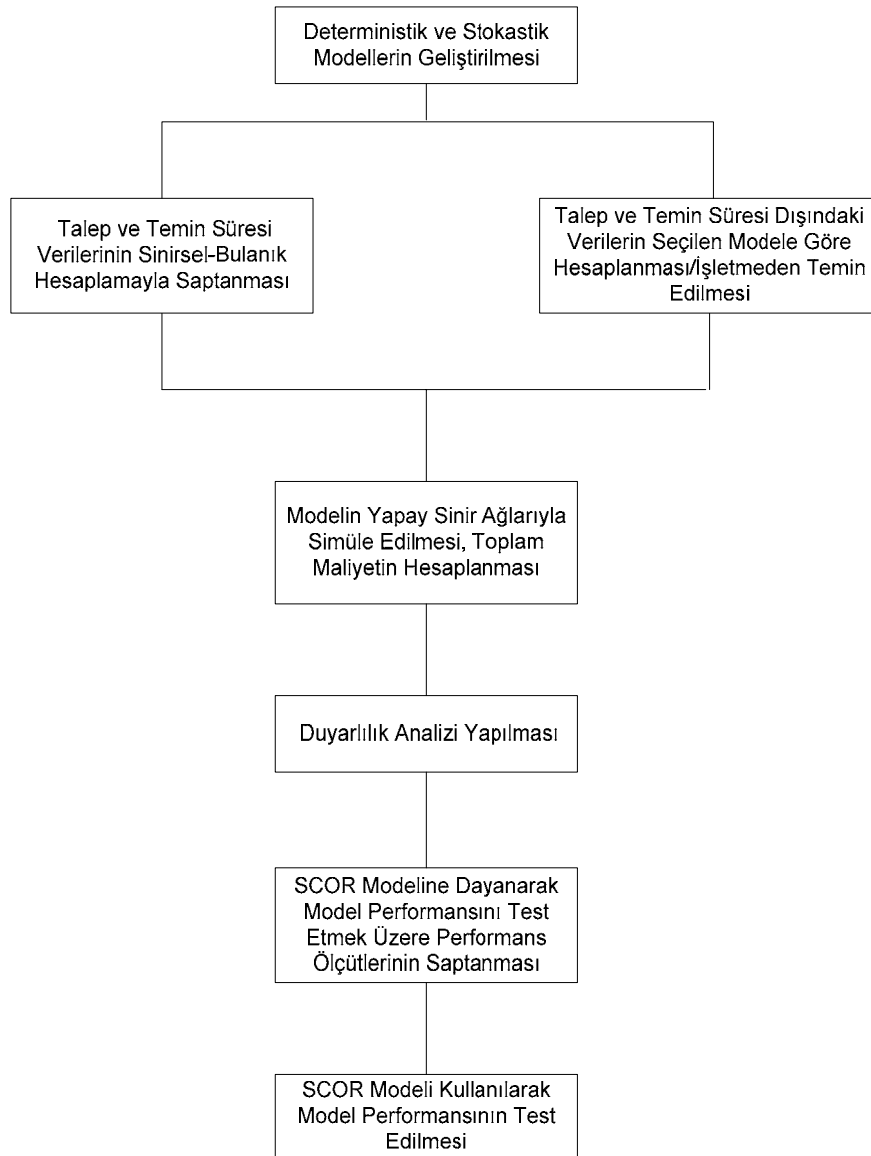
Geliştirilen Model-G2, yapay sinir ağları kullanılarak simüle edilir. Burada yapay sinir ağlarının kullanılması, modelin yapısında sinirsel-bulanık hesaplamaların yer almasından dolayıdır; bir simülasyon yazılım paketi kullanılması halinde bu hesaplamaların yapılması

mümkün olmayacaktır. Bu nedenle yapay sinir ağı ile model optimale-yakın sonuç vermek üzere simüle edilmektedir.

Ardından modelin yapısını daha net ortaya koymak üzere duyarlılık analizi yapılmaktadır. Duyarlılık analizinde, amaç fonksiyonu değişkenlerinden talep ve temin süresindeki değişimlerin, model çıktısını ne şekilde etkilediği incelenmektedir.

Bir sonraki adım olarak, model performansının test edilmesi yer alır. Bunun için SCOR (Supply Chain Operations Reference Model) modeli kullanılmaktadır. SCOR uygulaması için birtakım performans ölçütleri saptanmalıdır. Burada SCOR ile literatürde belirlenen bazı ölçütlere ilaveten model ve zincir yapısına uygun ilave birtakım ölçütler saptanmıştır.

Bu adımlar şematik olarak Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Geliştirilen metodolojinin şematik olarak gösterimi

5.2 Deterministik ve Stokastik Sinirsel-Bulanık Modellerin Geliştirilmesi ve Formülasyonu

Bu bölümde problem için matematik modeller geliştirilmektedir. Geliştirilen deterministik ve stokastik modellerin temel ortak noktası talep ve temin sürelerinin sinirsel-bulanık hesaplamalarla bulunmasıdır. Öncelikle sinirsel-bulanık talep ve temin süreleri için deterministik bir model geliştirilir. Ardından, stokastik bir model geliştirilir, ve bu modelde deterministik modelden de yararlanılır.

Bu alanda yapılmış ve daha önce literatür incelemesi kısmında sunulan çalışmalarda genellikle talep ve temin süreleri deterministik veya stokastik olarak belli bir dağılıma uyduğu kabul edilmiş, değişken maliyetler dikkate alınmamış ve daha çok iki aşamalı seri sistemler incelenmiştir. Burada, bu modeller n aşamalı ağaç yapılı bir sisteme genişletilmiş, değişken maliyetler de hesaplama katılmış ve talep ve temin sürelerinin tespitine ilişkin olarak sinirsel-bulanık hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca, üç-aşamalı bir sistem üzerinden modelin detayları açıklanmıştır.

Geliştirilen modeller tanımlanmadan önce kullanılan semboller tanımlanmalıdır:

K_i i aşamasındaki sabit sipariş maliyeti (taşıma maliyetini de içerir) ($i=1,2,3$)

A_i i aşamasındaki değişken maliyet ($i=1,2,3$)

H_i i aşamasındaki her birimin her birim zamanda elde tutma maliyeti ($i=0,1,2,3$)

h_i i aşamasındaki aşama elde tutma maliyeti ($i=0,1,2,3$)

p_i i aşamasındaki hızlandırma maliyeti ($i=1,2,3$)

b Aşama 1'deki bekleyen sipariş (backorder) maliyeti (tüm bayiler özdeş olarak kabul edildiği için hepsinde aynıdır)

l_i i aşamasındaki temin süresi (bayilerin temin süresi dikkate alınır ve sinirsel-bulanık metot ile hesaplanır, deponun ve distribütörün temin sürelerinin de elde edilen rakama eşit olduğu kabul edilir)

R_i i aşamasındaki yeniden sipariş noktası ($i=1,2,3$)

k_i i aşamasındaki emniyet faktörü ($i=1,2,3$)

D_i i aşamasındaki her birim zamanda gerçekleşen talep (bayilere gelen talep sinirsel-bulanık metot ile bulunur)

σ her birim zamanda talebin standart sapması

Q_i aşama i'deki sipariş miktarı

IP_i i aşamasındaki aşama envanter pozisyonu ($i=1,2,3$)

BO 1. aşamadaki bekleyen sipariş miktarı

BO_0 bir önceki çevrimden devreden bekleyen sipariş miktarı

- n bayiler için çevrim sayısı, tamsayı
 x 1. aşamadaki bayi sayısı
 y_i i. aşamadaki kuruluş sayısı

5.2.1 Deterministik Sinirsel-Bulanık Model: Model-G1

5.2.1.1 Genel Model-G1

Geliştirilen genel Model-G1 n aşamalı, ağaç yapılı (her aşamada bir veya daha fazla eleman olması) tedarik zincirleri için uygundur. Modelde, her aşamadaki elemanların (bayi, dağıtıcı, depo, vb.) kendi aralarında özdeş oldukları kabulü sözkonusudur. Özdeşlikten kaynaklanarak, değişkenler arasında birtakım ilişkiler ve dönüşümler kullanılmakta ve böylece toplam maliyete (TC) ilişkin aşağıdaki genel deterministik-sinirsel-bulanık model elde edilmektedir. Bu ilişkilerin ve dönüşümlerin detayları, özel-3-aşamalı model tanımlanırken verilecektir.

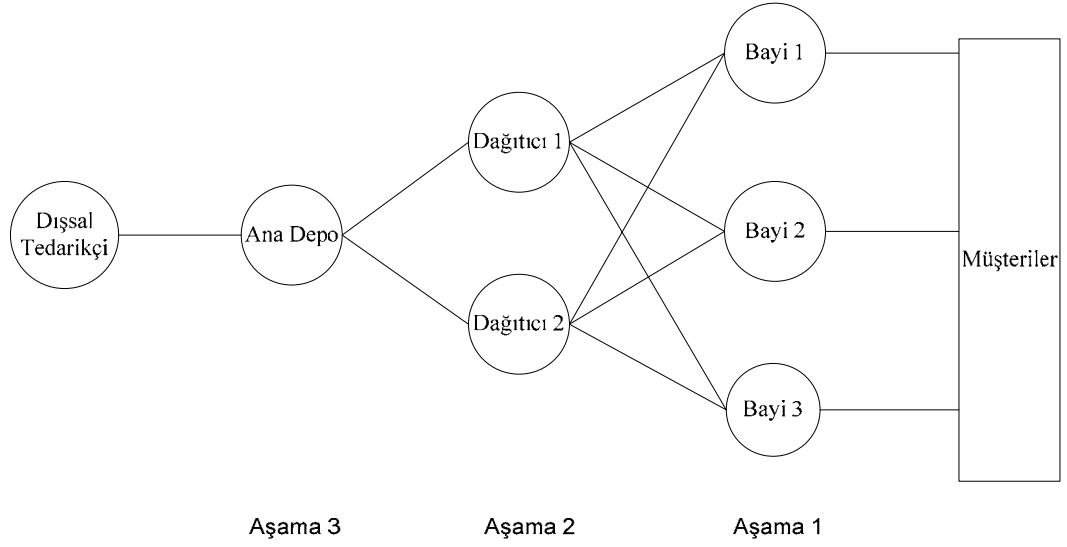
$$TC = x \frac{K_1 D}{Q} + \left(\sum_{i=2}^n y_i \frac{K_i}{nQ} \right) + \frac{Q}{2} \left(\frac{h_1 A_1}{x} + \sum_{i=2}^n \frac{n h_i A_i}{y_i} \right) \quad (5.1)$$

$$Q = \sqrt{\frac{2D(xK_1 + \sum_{i=2}^n \frac{y_i K_i}{n})}{A_1 h_1 + \sum_{i=2}^n n A_i h_i}} \quad (5.2)$$

$$n = \sqrt{\frac{(\sum_{i=2}^n y_i K_i)(A_1 h_1)}{x K_1 (\sum_{i=2}^n A_i h_i)}} \quad (5.3)$$

5.2.1.2 Üç-Aşamalı Model-G1

Burada geliştirilen genel Model-G1 özelleştirilmekte, ve üç aşamalı-üç bayi, iki dağıtıcı ve bir ana depodan oluşan bir tedarik zinciri için yapılandırılmaktadır ve bu zincirin yapısı Şekil 5.2'den görülebilir.



Şekil 5.2 İncelenen 3-aşamalı tedarik zinciri yapısı

Modeldeki değişkenler arasında birtakım dönüşümler söz konusudur. Üç bayi birbiriyle özdeş olup, iki dağıtıcı da benzer şekilde özdeşler. Bayilere tek tek gelen talep eşittir ve Aşama 1'in talep miktarı bir bayiye gelenin üç katıdır. Bu çarpımın yarısı her bir dağıtıcıya düşen taleptir. Ve iki dağıtıcının talep toplamı da ana deponun talebini teşkil eder. Q sipariş miktarları arasında da benzer bir ilişki vardır. Modellerde dikkate alınacak, bu ve diğer değişkenler arasındaki ilişkiler Çizelge 5.1'deki gibidir.

Çizelge 5.1 Model değişkenleri arasındaki dönüşümler-Sipariş miktarları, talep miktarları ve elde tutma maliyetleri

Sipariş Miktarları	Talep Miktarları	Elde Tutma Maliyetleri
$Q_{11}=Q_{12}=Q_{13}=Q_1$	$D_{11}=D_{12}=D_{13}=D_1$	$H_{01}=H_{02}=H_{03}=H_0$
$Q_{21}=Q_{22}=Q_2$	$D_{21}=D_{22}=D_2$	$H_{11}=H_{12}=H_{13}=H_1$
$Q_2=3Q_1/2$	$D_2=3D_1/2$	$H_{21}=H_{22}=H_2$
$3Q_1=2Q_2=Q_3=Q$	$3D_1=2D_2=D_3=D$	$h_1=H_0-2H_2, h_2=2H_2-H_3, h_3=H_3$
		$H_0=3(bH_1/(b+H_1))$

Çizelge 5.2 Model değişkenleri arasındaki dönüşümler-Sabit sipariş maliyetleri, değişken maliyetler ve temin süreleri

Sabit Sipariş Maliyetleri	Değişken Maliyetler	Temin Süreleri
$K_{11}=K_{12}=K_{13}=K_1$	$A_{11}=A_{12}=A_{13}=A_1$	$l_{11}=l_{12}=l_{13}=l_{21}=l_{22}=l_3=l$
$K_{21}=K_{22}=K_2$	$A_{21}=A_{22}=A$	

Bu modelde, bayilere gelen talep ($D_{11}=D_{12}=D_{13}$) sinirsel-bulanık hesaplamalarla elde edilir ve deterministik ve durağan olduğu kabulüyle işlemlerde kullanılır. Aşama 1'deki her bir bayi,

durağan bir sipariş politikası izler; örneğin, her bir çevrimde Aşama 2'ye Q ($3Q_1=2Q_2$) birimlik bir sipariş açar. Bundan dolayı, Aşama 2'deki dağıtıcılardaki her çevrim için, Aşama 1'deki bayilerde bir tamsayı (n) çevrim sayısı olmalıdır. Bayilerin özdeş olduğu, dolayısıyla bu çevrim sayısının her biri için aynı olduğu kabul edilir. Başka bir deyişle, Aşama 2'deki her çevrim, Aşama 1'den gelen talebin nQ birimini karşılar, Aşama 1'de üç bayi olduğu için Aşama 2'deki miktar nQ ($3nQ_1=2nQ_2$) olarak belirlenir ((c) adet bayi olduğunda cnQ_1 olur), ve Aşama 2'de iki dağıtıcı olduğu için dağıtıcı başına düşen miktar $nQ/2$ 'dir ($3nQ_1/2=nQ_2$). Aşama 2, bu toplam nQ ($3nQ_1=2nQ_2$) birimi ana depodan temin eder. Ve Aşama 3, dağıtıcılardan gelen talebi dışsal bir tedarikçiden temin etmek suretiyle karşılar. Burada, siparişin ana depo tarafından dışsal bir tedarikçiye verildiği ve Aşama 2'nin her bir çevriminin başlangıcında tüm nQ birimin de anında yenilendiği kabul edilmektedir. Böylece, modellemede yalnızca n 'in bir tamsayı yapılması ile ilgilenilecektir.

Aşama 1'deki bayiler, Aşama 2'deki dağıtıcılar ve Aşama 3'teki ana depo arasındaki temin süreleri sinirsel-bulanık hesaplamalarla bulunmaktadır ($l_{11}=l_{12}=l_{13}=l_{21}=l_{22}=l_3=1$).

Her birim zaman için hazırlık sayısı sırasıyla Aşama 1'deki bayilerin her biri için D/Q ($D_1/Q_1=(D/3)/(Q/3)$), Aşama 2'deki her bir dağıtıcı için ve Aşama 3'teki depo için D/nQ (dağıtıcılar için: $D_2/nQ_2=(D/2)/n(Q/2)$) şeklindedir. Aşama 1, 2 ve 3'teki ortalama aşama envanterleri $Q_1/2$ (her bir bayi için), $nQ_2/2$ (her bir dağıtıcı için) ve $nQ/2$ 'dir. Böylece her birim zamanda toplam maliyet TC şu şekilde ifade edilir:

$$TC = \left[3 \frac{K_1 D_1}{Q_1} + 2 \frac{K_2 D_2}{nQ_2} + \frac{K_3 D_3}{nQ_3} \right] + \left[\frac{Q_1}{2} (H_0 - 2H_2) 3A_1 + (n \frac{Q_2}{2} (2H_2 - H_3) 2A_2) + n \frac{Q_3}{2} H_3 A_3 \right] \quad (5.4)$$

D ve Q 'ler aynı cinsten ifade edilirse;

$$\begin{aligned} TC &= (3 \frac{K_1 D}{Q} + 2 \frac{K_2 D}{nQ} + \frac{K_3 D}{nQ}) + (\frac{Q}{6} (H_0 - 2H_2) A_1 + \frac{nQ}{4} (2H_2 - H_3) A_2 + \frac{nQ}{2} H_3 A_3) \\ &= \frac{D}{Q} (3K_1 + \frac{2K_2}{n} + \frac{K_3}{n}) + \frac{Q}{2} \left[\left(\frac{H_0 - 2H_2}{3} \right) A_1 + \left(\frac{2H_2 - H_3}{2} \right) nA_2 + nH_3 A_3 \right] \\ &= \frac{D}{Q} (3K_1 + \frac{2K_2}{n} + \frac{K_3}{n}) + \frac{Q}{2} \left[\frac{H_0 A_1}{3} + H_2 (nA_2 - \frac{2}{3} A_1) + nH_3 (A_3 - \frac{A_2}{2}) \right] \end{aligned} \quad (5.5)$$

$$Q = \sqrt{\frac{2D(3K_1 + 2K_2/n + K_3/n)}{A_1 H_0 + 2(nA_2 - A_1)H_2 + n(A_3 - A_2)H_3}} \quad (5.6)$$

$$n = \sqrt{\frac{(2K_2 + K_3)(A_1H_0 - 2A_1H_2)}{3K_1(2A_2H_2 + (A_3 - A_2)H_3)}} \quad (5.7)$$

n'nin tamsayı olmaması durumunda TC(n-) ve TC(n+) hesaplanır ve bunlardan TC(.)'yi en düşük yapan (n-) veya (n+) alınır. TC, Q ve n içinde konveks bir fonksiyon olduğu için, bu çözüm için optimallliği sağlar.

5.2.2 Stokastik Sinirsel-Bulanık Model: Model-G2

5.2.2.1 Genel Model-G2

Bu, deterministik modelin bir genişlemesidir. Modelin stokastik yapısı, sinirsel bulanık hesaplamayla elde edilen talep tahmini verilerinin standart sapmasının (σ) toplam maliyet hesabında kullanılmasından ve emniyet faktörünün (k) mevcudiyetinden ileri gelir. k, belirtilen hizmet düzeyinin gerektirdiği emniyet faktörüdür (örneğin; %95 hizmet düzeyi için k=1.64).

Özdeşlikten kaynaklanarak, değişkenler arasında birtakım ilişkiler ve dönüşümler kullanılmakta ve böylece aşağıdaki beklenen toplam maliyeti (ETC) ifade eden genel stokastik-sinirsel-bulanık model elde edilmektedir.

Bu ilişkilerin ve dönüşümlerin detayları, ayrıca, modelin uzantılarını oluşturan yeniden sipariş noktası, sipariş yükseltme seviyesi, emniyet stoku ve beklenen yokluk gibi hesaplamalar da, özel-3-aşamalı model tanımlanırken verilecektir.

$$\begin{aligned} ETC = & \left[x \frac{K_1 D}{Q} + \left(\sum_{i=2}^n y_i \frac{K_i}{nQ} \right) + \frac{Q}{2} \left(\frac{h_1 A_1}{x} + \sum_{i=2}^n \frac{n h_i A_i}{y_i} \right) \right] + \left[x \left(\left(\frac{n-1}{n} k_1 \frac{\sigma}{x} \sqrt{l_1} \right) + \frac{1}{n} k_1 \left(\sum_{i=2}^n \frac{\sigma}{y_i} \sqrt{l_i} \right) H_1 A_1 + \sqrt{\frac{nQ}{D}} \left(\sum_{i=2}^n k_i \sigma H_i A_i \right) \right) \right. \\ & \left. + \{ \phi(k_1) - k_1 + k_1 \Phi(k_1) \} \left(x p_1 \frac{D}{Q} \left[\frac{n-1}{n} \frac{\sigma}{x} \sqrt{l_1} + \frac{1}{n} \left(\sum_{i=2}^n \frac{\sigma}{y_i} \sqrt{l_i} \right) \right] + \frac{D}{nQ} \sqrt{\frac{nQ}{D}} \left(\sum_{i=2}^n p_i \sigma \{ \phi(k_i) - k_i + k_i \Phi(k_i) \} \right) \right) \right] \end{aligned} \quad (5.8)$$

5.2.2.2 Üç-Aşamalı Model-G2

Burada geliştirilen genel Model-G2 özelleştirilmekte, ve üç aşamalı-üç bayii, iki dağıtıcı ve bir ana depodan oluşan bir tedarik zinciri için yapılandırılmaktadır

Aşama 1, 2 ve 3'ün aşama-stokuna dayanan sürekli inceleme politikaları izlediği kabul edilmektedir. Politika/kural değişkenleri Aşama 1'deki bayiler için yeniden sipariş noktası (R_1) ve sabit sipariş miktarı (Q_1) olup, Aşama 2 için aşama stokuna dayanan yeniden sipariş

noktası (R_2) ve Aşama 3 için de aynı şekilde aşama stokuna dayanan yeniden sipariş noktası (R_3)'tür.

Sistem birbirinin içine yerleştirilmiş bir politika izler; örneğin bir aşama yeniden sipariş verdiğinde, tüm alt aşamaları ayrıca yeniden sipariş verir. Deterministik model bağlamında belirtildiği üzere, Aşama 2'deki her bir çevrim için Aşama 1'de n çevrim olmalıdır. Aşama 1'deki n çevrim dışında, ilk $(n-1)$ yeniden sipariş noktası R_1 'e dayanan normal yenilemeler olarak tanımlanır, ve sonuncusu Aşama 2 ile bağlantı yenilemesi olarak tanımlanır ki yeniden sipariş noktası R_2 'ye dayanır. Benzer şekilde Aşama 2'deki n çevrim dışında, ilk $(n-1)$ yeniden sipariş noktası R_2 'ye dayanan normal yenilemeler olarak tanımlanır, ve sonuncusu Aşama 3 ile bağlantı yenilemesi olarak tanımlanır ki yeniden sipariş noktası R_3 'e dayanır.

Aşama 2'deki aşama envanter pozisyonu (IP_2), Aşama 2'deki aşama eldeki stoku, ve Aşama 1'deki eldeki stoku ve bekleyen siparişleri kapsamalıdır. De Bodt ve Graves'in modelinde (1985), emniyet stoku her üç aşama arasında dağıtılmıştır. Mitra ve Chatterjee (2004a), De Bodt ve Graves'in modelini uygulama açısından incelemiş, ve emniyet stokunun yalnızca Aşama 1'de bulunmasına izin vererek modifiye etmişlerdir (Mitra, 2006). Burada, Mitra ve Chatterjee'nin modeli, son-parça talebindeki belirsizliğe yönelik bir koruma şeklinde, emniyet stokunun yalnızca Aşama 1'de bulundurulması için izlenmiştir. Aşama 2 ve 3 emniyet stoku tutmaz. Aşama 2'deki aşama envanter pozisyonu R_2 'ye ulaşır veya düşerse, depoya sipariş verilir, aynı durumda depo da dışsal bir tedarikçiye sipariş verir. Yenilemeden sonra Aşama 2 ve 3'teki eldeki stok nQ 'den (bir alt aşamadan gelen talebi karşılamak üzere gerekli olan çevrim stoku) küçüktür. Bu durumda, her bir çevrimin başlangıcında Aşama 2 ve 3'teki eldeki stokun en az nQ olmasını sağlamak için, tedarikçiden teslimat bir hızlandırma maliyeti (p_2) ile hızlandırılarak yokluk giderilir. Aşama 1'deki son-parça talebindeki herhangi bir yokluk bekleyen sipariş olur.

R_1 , R_2 ve R_3 'ün denklemleri karmaşık değildir ve aşağıdaki gibidir:

$$R_1 = D_1 \frac{l_1}{30} + k_1 \sigma_1 \sqrt{\frac{l_1}{30}} \quad (5.9)$$

$$R_2 = D_2 \frac{(l_1 + l_2)}{30} + k_2 \sigma_2 \sqrt{\frac{l_1 + l_2}{30}} \quad (5.10)$$

$$R_3 = D_3 \left(\frac{l_1 + l_2 + l_3}{30} \right) + k_3 \sigma_3 \sqrt{\frac{l_1 + l_2 + l_3}{30}} \quad (5.11)$$

$3\sigma_1 = 2\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma$ olup, σ , D , k ve l 'ler yerine konursa;

$$R_1 = \frac{1}{3} \left(\frac{l}{30} D + k_1 \sigma \sqrt{\frac{l}{30}} \right) \quad (5.12)$$

$$R_2 = \frac{2l}{30} D + \frac{1}{2} k_2 \sigma \sqrt{\frac{2l}{30}} = \frac{1}{2} \left(\frac{2l}{15} D + k_2 \sigma \sqrt{\frac{2l}{30}} \right) \quad (5.13)$$

$$R_3 = 3 \frac{l}{30} D + k_3 \sigma \sqrt{\frac{3l}{30}} = \frac{l}{10} D + k_3 \sigma \sqrt{\frac{3l}{30}} \quad (5.14)$$

Aşama envanter pozisyonları IP_1 , IP_2 ve IP_3 'ün hesaplanması için, 1. aşamadaki her bir bayideki bekleyen sipariş miktarının talebin %0,5'i kadar olduğunun kabul edildiği vurgulanmalıdır. IP_1 , IP_2 ve IP_3 aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\begin{aligned} IP_1 &= 3(Q_1 + SS_1 - BO) + BO_0 \\ &= 3\left(\frac{Q}{3} + SS_1 - BO\right) + BO_0 \end{aligned} \quad (5.15)$$

$$\begin{aligned} IP_2 &= 2(nQ_2 + SS_2) + IP_1 \\ &= 2\left(n\frac{Q}{2} + SS_2\right) + IP_1 \end{aligned} \quad (5.16)$$

$$\begin{aligned} IP_3 &= nQ_3 + SS_3 + IP_2 \\ &= nQ + SS_3 + IP_2 \end{aligned} \quad (5.17)$$

Her birim zamanda beklenen toplam maliyet için denklem türetilmesi amacıyla (ETC-expected total cost), beklenen toplam sabit sipariş maliyeti, beklenen toplam ortalama çevrim stok maliyeti, beklenen toplam emniyet stok maliyeti ve beklenen toplam yokluk maliyeti türetilmelidir. Bunların tümü her birim zaman içindir. Beklenen toplam sabit sipariş maliyeti ve beklenen toplam ortalama çevrim stok maliyeti, her birim zamanda, deterministik modelde verilen TC ile aynı olacaktır. Aşama 1, 2 ve 3'teki her yenileme çevriminde emniyet stoku (safety stock-SS) ve beklenen yokluk için denklemler (ESPCR-expected shortage per replenishment cycle) aşağıda verilmiştir:

Emniyet stoku:

Aşama 1'deki her bir bayi için;

$$\begin{aligned}
 SS_1 &= \frac{n-1}{n} k_1 \sigma_1 \sqrt{\frac{l_1}{30}} + \frac{1}{n} k_1 \sigma_1 \sqrt{\frac{l_1+l_2}{30}} + \frac{1}{n} k_1 \sigma_1 \sqrt{\frac{l_1+l_2+l_3}{30}} \\
 &= \frac{n-1}{3n} k_1 \sigma \sqrt{\frac{l}{30}} + \frac{1}{2n} k_1 \sigma \sqrt{\frac{2l}{30}} + \frac{1}{n} k_1 \sigma \sqrt{\frac{3l}{30}} \\
 &= \frac{k_1 \sigma}{n} \left(\frac{n-1}{3} \sqrt{\frac{l}{30}} + \frac{\sqrt{2l}}{2} + \sqrt{\frac{3l}{30}} \right)
 \end{aligned} \tag{5.18}$$

Aşama 2'deki her bir dağıtıcı için;

$$\begin{aligned}
 SS_2 &= k_2 \sigma_2 \sqrt{\frac{nQ_2}{D_2}} \\
 &= \frac{1}{2} k_2 \sigma \sqrt{\frac{nQ}{D}}
 \end{aligned} \tag{5.19}$$

Aşama 3 için;

$$SS_3 = k_3 \sigma \sqrt{\frac{nQ}{D}} \tag{5.20}$$

Burada k_2 ve k_3 , Aşama 2 ve 3'teki emniyet faktörleridir. Daha önce belirtildiği gibi k , belirtilen hizmet düzeyinin gerektirdiği emniyet faktörüdür (örneğin; %95 hizmet düzeyi için $k=1.64$).

Her yenileme çevriminde beklenen yokluk (expected shortage per replenishment cycle (ESPRC)):

$$\begin{aligned}
 ESPRC_1 &= \\
 &= \frac{n-1}{n} \sigma_1 \sqrt{\frac{l_1}{30}} \{\phi(k_1) - k_1 + k_1 \Phi(k_1)\} + \frac{1}{n} \sigma_2 \sqrt{\frac{l_1+l_2}{30}} \{\phi(k_1) - k_1 + k_1 \Phi(k_1)\} + \frac{1}{n} \sigma_3 \sqrt{\frac{l_1+l_2+l_3}{30}} \{\phi(k_1) - k_1 + k_1 \Phi(k_1)\} \\
 &= \left[\frac{n-1}{3n} \sigma \sqrt{\frac{l}{30}} + \frac{1}{2n} \sigma \sqrt{\frac{l}{15}} + \frac{1}{n} \sigma \sqrt{\frac{l}{10}} \right] \{\phi(k_1) - k_1 + k_1 \Phi(k_1)\}
 \end{aligned} \tag{5.21}$$

(Her bir bayi için)

$$\begin{aligned}
ESPRC_2 &= \sigma_2 \sqrt{\frac{nQ_2}{D_2}} \{\phi(k_2) - k_2 + k_2 \Phi(k_2)\} \\
&= \frac{\sigma}{2} \sqrt{\frac{nQ}{D}} \{\phi(k_2) - k_2 + k_2 \Phi(k_2)\}
\end{aligned} \tag{5.22}$$

(Her bir dağıtıcı için)

$$ESPRC_3 = \sigma \sqrt{\frac{nQ}{D}} \{\phi(k_3) - k_3 + k_3 \Phi(k_3)\} \tag{5.23}$$

Burada $\phi(\cdot)$ ve $\Phi(\cdot)$ standart normal dağılımın pdf (olasılık yoğunluk fonksiyonu-probability density function) ve cdf'sini (kümülatif yoğunluk fonksiyonu-cumulative densitive function) gösterir, ve şu şekilde hesaplanabilirler:

$$1 - \Phi(k_1) = \frac{QH_1 A_1}{p_1 D} \tag{5.24}$$

$$1 - \Phi(k_2) = \frac{nQH_2 A_2}{p_2 D} \tag{5.25}$$

$$1 - \Phi(k_3) = \frac{nQH_3 A_3}{p_3 D} \tag{5.26}$$

ve

$$\phi(k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-k^2/2} \tag{5.27}$$

Böylece beklenen toplam maliyet ETC için denklem şu şekilde yazılabilir:

$$\begin{aligned}
ETC &= \left[3 \frac{K_1 D}{Q} + 2 \frac{K_2 D}{nQ} + \frac{K_3 D}{nQ} + \frac{Q}{6} (H_0 - 2H_2) A_1 + \frac{nQ}{4} (2H_2 - H_3) A_2 + \frac{nQ}{2} H_3 A_3 \right] + \\
&\left[3 \left(\frac{n-1}{3n} k_1 \sigma \sqrt{\frac{l}{30}} + \frac{1}{2n} k_1 \sigma \sqrt{\frac{2l}{30}} + \frac{1}{n} k_1 \sigma \sqrt{\frac{3l}{30}} \right) H_1 A_1 + 2k_2 \frac{\sigma}{2} \sqrt{\frac{nQ}{D}} H_2 A_2 + k_3 \sigma \sqrt{\frac{nQ}{D}} H_3 A_3 \right] + \\
&3p_1 \frac{D/3}{Q/3} \left[\frac{n-1}{3n} \sigma \sqrt{\frac{l}{30}} \{\phi(k_1) - k_1 + k_1 \Phi(k_1)\} + \frac{1}{2n} \sigma \sqrt{\frac{2l}{30}} \{\phi(k_1) - k_1 + k_1 \Phi(k_1)\} + \frac{1}{n} \sigma \sqrt{\frac{3l}{30}} \{\phi(k_1) - k_1 + k_1 \Phi(k_1)\} \right] + \\
&2p_2 \frac{D/2}{nQ/2} \frac{\sigma}{2} \sqrt{\frac{nQ}{D}} \{\phi(k_2) - k_2 + k_2 \Phi(k_2)\} + p_3 \frac{D}{nQ} \sigma \sqrt{\frac{nQ}{D}} \{\phi(k_3) - k_3 + k_3 \Phi(k_3)\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ETC = & \left[3 \frac{K_1 D}{Q} + 2 \frac{K_2 D}{nQ} + \frac{K_3 D}{nQ} + \frac{Q}{2} (H_0 - 2H_2) A_1 + \frac{nQ}{2} (2H_2 - H_3) A_2 + \frac{nQ}{2} H_3 A_3 \right] + \\
& \left[3 \left(\frac{n-1}{3n} k_1 \sigma \sqrt{\frac{l}{30}} + \frac{1}{2n} k_1 \sigma \sqrt{\frac{l}{15}} + \frac{1}{n} k_1 \sigma \sqrt{\frac{l}{10}} \right) H_1 A_1 + k_2 \sigma \sqrt{\frac{nQ}{D}} H_2 A_2 + k_3 \sigma \sqrt{\frac{nQ}{D}} H_3 A_3 \right] + \\
& 3p_1 \frac{D}{Q} \{ \phi(k_1) - k_1 + k_1 \Phi(k_1) \} \left[\frac{n-1}{3n} \sigma \sqrt{\frac{l}{30}} + \frac{1}{2n} \sigma \sqrt{\frac{l}{15}} + \frac{1}{n} \sigma \sqrt{\frac{l}{10}} \right] + p_2 \frac{D}{nQ} \sigma \sqrt{\frac{nQ}{D}} \{ \phi(k_2) - k_2 + k_2 \Phi(k_2) \} + \\
& p_3 \frac{D}{nQ} \sigma \sqrt{\frac{nQ}{D}} \{ \phi(k_3) - k_3 + k_3 \Phi(k_3) \}
\end{aligned} \tag{5.28}$$

Q, n, k₁, k₂ ve k₃'ün optimal değerlerinin yukarıdaki denklemden çözümü, dört eşzamanlı denklemin iteratif çözümünü gerektirir. Sorunları basitleştirmek için, deterministik modelden elde edilen Q ve n'nin optimal değerleri alternatif olarak kullanılabilir, ve optimal k₁, k₂ ve k₃ için çözülebilir. Q ve n'in optimal değerlerinin kullanımı ileri lojistikteki modellerde genel bir yaklaşımdır ve burada iyi çalıştığı bilinmektedir. Bu model ve ilgili literatürdeki mevcut modeller arasındaki fark, bu modelin daha genel olması ve yaklaşımın yalnızca optimal (yakın) politika parametrelerinin türetilmesiyle ilgili olmasıdır.

k₁, k₂ ve k₃'ün optimal değerleri yukarıdaki denklemlerden elde edilebilir.

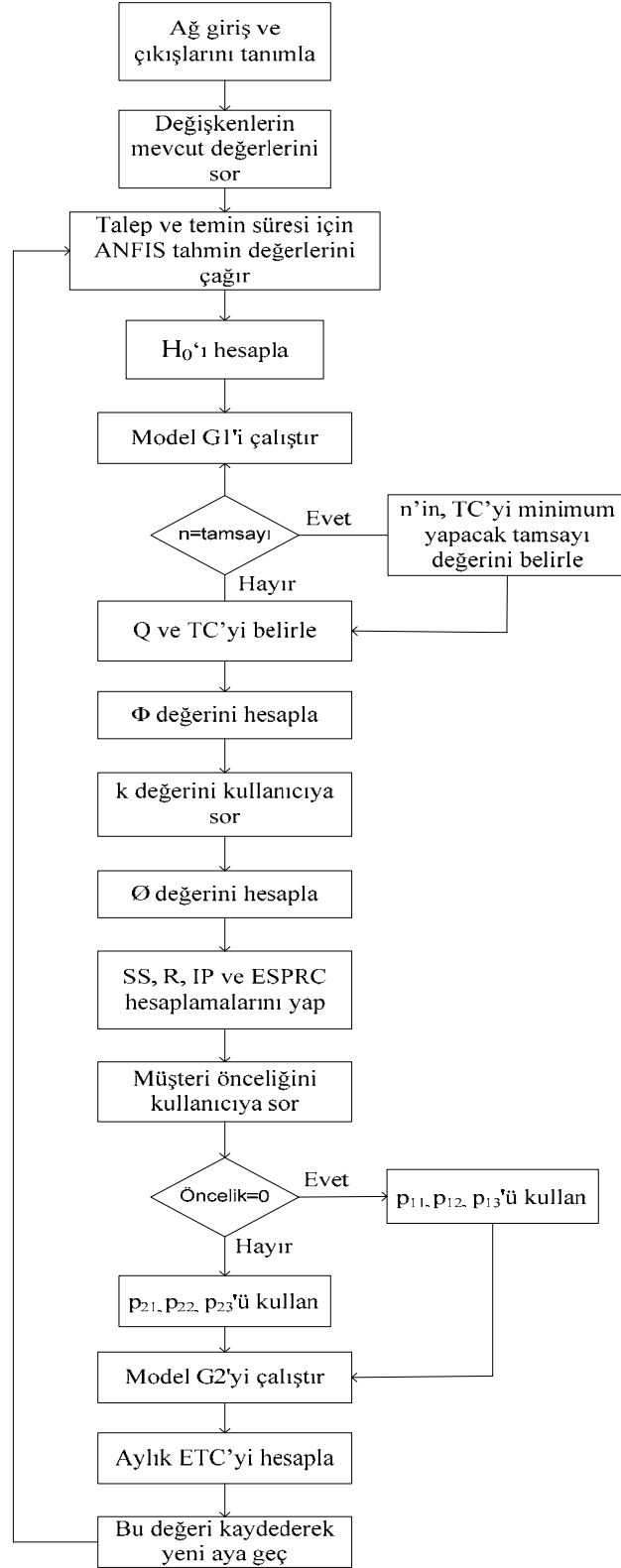
5.3 Geliştirilen Metodolojide Sinirsel-Bulanık Hesaplamaların Kullanılması

Bu çalışmada kullanılan sinirsel-bulanık sistem, aşağıdaki adımlar izlenerek uygulanır:

1. Hedef sistemden uzmanların bilgisi seçilip çıkarılır ve üyelik fonksiyonları ve bulanık kurallar biçiminde ifade edilir.
2. Bulanık modele dayanarak, nöronlara bağlantı oluşturmak ve bulanık sonuç çıkarma operasyonlarının eşdeğerlerini geliştirmek için ağırlıklar atanmak suretiyle sinir ağına ön-bağlantı uygulanır.
3. Ön-bağlantılı sinir ağı hedef sisteme uygulanır.
4. Sinir ağı, hedef sistemden fiili geri besleme ile eğitilir.
5. Sinir ağının bağlantı durumları ve atanan ağırlıklar, bulanık modeldeki üyelik fonksiyonları ve bulanık kurallar olarak, sinir ağının içsel operasyonlarını açıklamak üzere yorumlanır.

Bu sistem, tez çalışması kapsamında talep ve temin sürelerine yönelik tahmin çalışması yapmak üzere kullanılmaktadır. Ana depo, iki dağıtıcı ve üç bayiden oluşan üç aşamalı bir tedarik zinciri dikkate alınmaktadır. Müşterilerden bayilere gelen talebin toplamı dağıtıcılara ve oradan da ana depoya iletilir, ve bu talep tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Ayrıca, ana

depo, dağıtıcılar ve bayiler arasındaki temin süreleri de tahmin edilmek istenmektedir. Mimari ve hesaplamalar daha önceki bölümde ANFIS metodu anlatılırken bahsedildiği şekildedir.



Şekil 5.3 Yapay sinir ağları ile model simülasyon algoritması

5.4 Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Modelin Simülasyonu

Burada yapay sinir ağları kullanılarak modelin nasıl işletildiğine ilişkin bir algoritma sunulmaktadır (Şekil 5.3). Bu algoritma, geliştirilen metodolojinin sinirsel-bulanık hesaplamalarla ve çeşitli deterministik hesaplamalarla veri üretme, ve model simülasyonu kısımlarını kapsamaktadır. Sonuç olarak, 12 aylık bir dönem için beklenen toplam zincir maliyetleri aşama stoku esas alınarak ve geliştirilen modeller kullanılarak tespit edilmektedir.

5.5 Tedarik Zinciri Performansının Değerlendirilmesinde SCOR Modelinin Kullanılması

Performans yönetimine olan ilgi, endüstrideki bazı temel destekleyici yargılardan kaynaklanmaktadır. Bunlar: “ölçülen herşey iyileşir”, “ölçülen şey yapılmış demektir”, “ölçülmeyen hiç bir şey yönetilemez” sözleridir. Bu yüzden tedarik zinciri süreçlerinde de performans ölçülmesine dayalı sistemler geliştirtirilmiştir. Ancak bir çok fonksiyonu içinde barındıran, tüm fonksiyonların birbiriyle çeliştiği bir yapıda tedarik zinciri yönetimi fonksiyonun performansını ölçmeye yönelik sistematik tek bir yaklaşım yoktur. Her işletmenin tedarik zinciri kendine özgü bir yapıda olduğundan, bunu ölçümlemeye yönelik sistemin de ona özgü olması doğaldır.

Tedarik Zinciri Operasyon Referans Modeli (Supply Chain Operations Reference Model-SCOR) kar amacı gütmeyen Tedarik Zinciri Konseyi tarafından (Supply Chain Council-SCC), endüstriyel standartların belirlenmesi amacıyla, tedarik zinciri yönetimi için kurulup onaylanmıştır [1].

SCOR-Modeli (5.0), 1996 yılındaki ilk modelin beşinci kapsamlı gözden geçirilmesiyle oluşturulmuştur. Modelin 4.0 versiyonundaki belki de en önemli değişiklik, 5.0 versiyonunda ayrıntılı hale getirilen yeni bir seviye 1 proses elemanının katılımı olmuştur. Geri dönüşün eklenmesi modelin faaliyet alanını posta teslimatlı müşteri desteği alanına genişletilmiştir. Tedarik zincirinde herhangi bir sebeple ürünlerin geri dönüşüyle ilgili faaliyetlerin modele eklenmesi, bütün organizasyon ihtiyaçlarının belirlenmesinde önemli bir sorumluluğu ortadan kaldırmıştır. Ek olarak bu modele elektronik iş (e-bussiness) uygulamaları ve ölçütlerdeki tekrar yapılanmalar eklenerek 6. versiyon da oluşturulmuştur.

Proses referans modeli işletmelerin:

- Karmaşık yönetim prosesini teşkil eden proses elemanları ile ilgili ortak terminoloji ve standart tanımlamalar kullanmasına,
- Benchmarking ve en iyi uygulama bilgilerini dağıtarak performans hedeflerini belirlemesine, öncelikleri ortaya koymasına ve hedeflenen proses değişimlerinin

faydalarını ölçmesine,

- Prosesin tümünü anlamasına ve performansını endüstrilerinin içinde ve dışındaki rekabet eden işletmelerin hedefleriyle karşılaştırma yaparak değerlendirmesine,
- Proses ihtiyaçları için en uygun olan yazılım araçlarını tanımlamaları ve mevcut yazılım ürünlerini standart proses elemanlarına eşleştirmesine olanak verir.

5.5.1 SCOR Modelinin Yapısı ve Seviyeleri

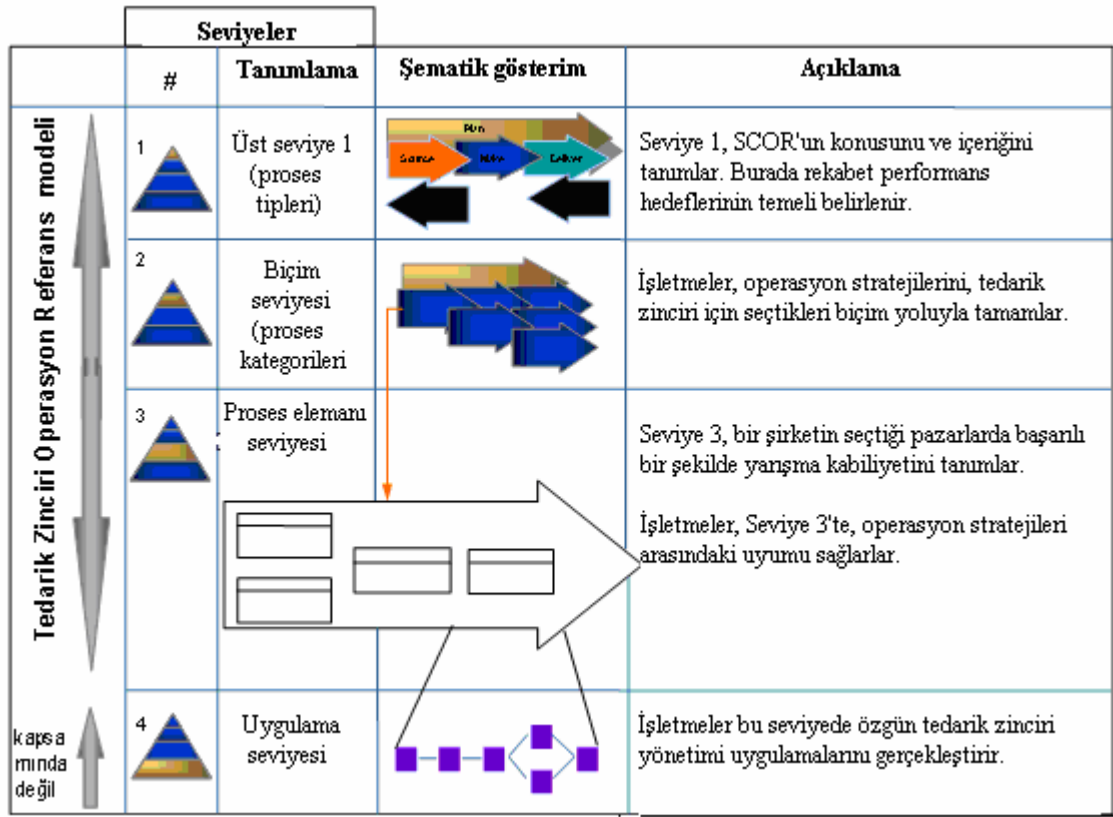
Beş temel yönetim prosesi (plan, kaynak, üretim, teslimat, geri dönüşüm) SCOR modelinin organizasyon yapısını oluşturmaktadır. Modeldeki üç proses tipi (planlama, uygulama, olanaklı kılma) arasındaki ayrımın yapılması gerekli ve yararlıdır. Bir proses olan planlama elamanı toplam talep ile tutarlı planlama ufku arasındaki dengeyi sağlar. Planlama prosesleri düzenli aralıklarla oluşur. Ve tedarik zinciri yanıt zamanına katkıda bulunur. Uygulama proseslerinin hazırlanmasına malzemelerin durumunu değiştiren planlanmış ya da gerçekleşen talep neden olur (Persson ve Araldi, 2007; [1]).

Uygulama prosesleri genellikle şunları içerir: çizelgeleme/sıralama; ürünü dönüştürmek, ve/veya; ürünü sonraki prosese taşımak.

SCOR, tedarik zinciri ortakları arasında iletişim için bir dil sağlayan bir proses referans modelidir. Proses ayrıştırma modelleri ise, proses elemanlarının bir özgün biçimine hitap etmek için geliştirilmiştir. Proses ayrıştırma modellerinde yüksek seviyeli bir proses bir dizi proses elemanına ayrılmakta, bunlar ise bir dizi göreve ve son olarak da belirli faaliyetlere ayrılmaktadır. Bu hiyerarşik modeller tipik olarak belirli bir proses konfigürasyonunu yansıtan proses elemanlarının belirli bir bileşimini tanımlamak için kullanılmaktadır.

Proses referans modelleri, tedarik zinciri gibi temel bir proses tipini tanımlamak için belirli konfigürasyonların geliştirilmesini kolaylaştıracak bir şekilde hiyerarşik modelleme teknikleri kullanır. Proses elemanları aşağıdaki sırayla parçalara ayrılırken SCOR artan detaylarla ilk 3 seviyeyi kapsar (Şekil 5.4):

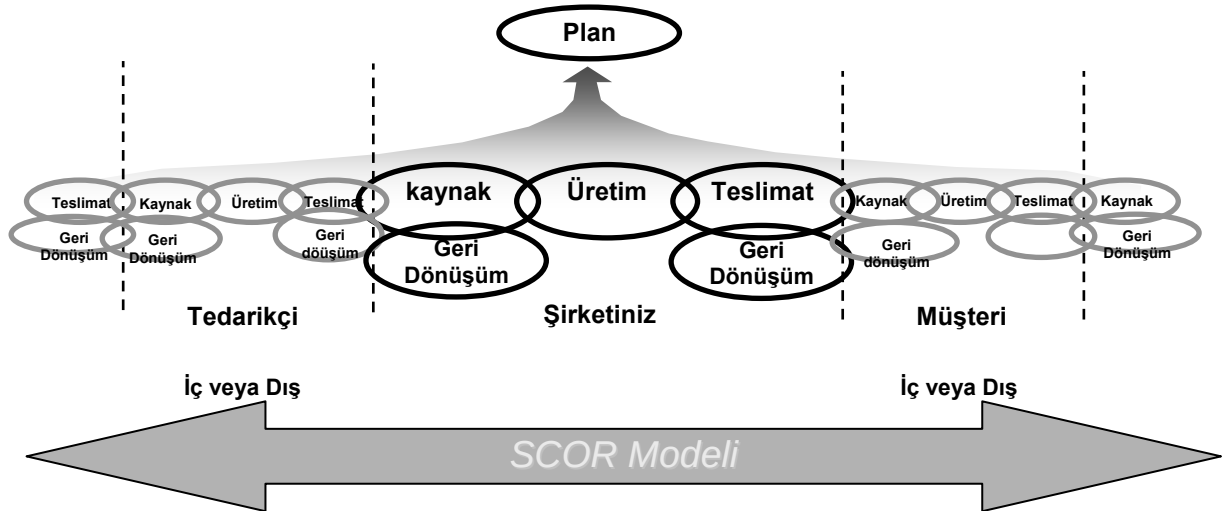
- 1. Seviye (Proses tipleri)
- 2. Seviye (Proses kategorileri)
- 3. Seviye (Proses elemanları)
- 4. Seviye (Görevler ve faaliyetler)



Şekil 5.4 SCOR proses detayları [1]

5.5.2 SCOR Prosesleri

SCOR tedarikçinin tedarikçisinden müşterinin müşterisine kadar olan bütün müşteri ilişkilerini birbirine bağlamaktadır. Bu sistemde 5 temel proses referans olarak kullanılır (Persson ve Araldi, 2007). Bu prosesler Şekil 5.5'ten görülebilir.



Şekil 5.5 SCOR modeli prosesleri [1]

1. Plan : Arz ve talep planlama, ve yönetimi.

- İhtiyaçların kaynaklarla dengelenmesi ve iade ve temel süreçler olan temin, üretim, teslimle tedarik zincirinin tamamının planlanması ve bu planların tamamının ilişkilendirilmesi.
- İş kurallarının, tedarik zinciri performansının, veri toplanın, envanterin, duran varlıkların, taşımanın yönetimi.
- Tedarik zinciri birim planının finansal kaynaklarla düzenlenmesi.

Plan aşaması firmanın esas iş kurallarını oluşturan bir takım işlevlerin geliştirilebilmesi için toplam talep ve arzın dengelenmesi sağlamayı amaçlamaktadır. Plan aktiviteleri arz ve talep planlamasının bütün yönlerini kapsamaktadır.

2. Kaynak: Stoklanmış, siparişe yönelik üretim, siparişe göre ürün için kaynak sağlanması.

- Dağıtımın, teslim almanın, doğrulamanın ve ürünün transferinin çizelgelenmesi.
- Siparişe göre üretilen ürünler için önceden saptanmamışsa tedarik kaynaklarının tanımlanması ve belirlenmesi.
- İş kurallarının yönetilmesi, tedarikçilerin performanslarının değerlendirilmesi ve verilerin korunması.
- Stokların, duran varlıkların, gelen ürünlerin, tedarikçiler ağının, ithalat ve ihracat gereksinimlerinin ve tedarikçilerle anlaşmaların yönetilmesi.

Kaynak aşaması planlanmış ve gerçek talebin dengelenmesi için ürün ve hizmet üretimi için kaynak sağlamaktır. Bu aşama kaynak alt yapısını yönetmeyi amaçlamaktadır. Planlanan ya da gerçekleşen talep için gerekli olan malzeme ve hizmetlerin sağlandığı prosestir.

3. Üretim: Stoka yönelik, siparişe yönelik ve siparişe göre üretim uygulamaları.

- Üretim aktivitelerinin çizelgelenmesi, üretim ve test, paketlenme ve ürünün serbest bırakılması.
- Siparişe göre üretilen ürünler için mühendislik çalışmalarının sonuçlandırılması.
- Kuralların, performansın, verilerin, WIP' in ekipman ve tesislerin, taşımanın ve üretim ağının yönetilmesi

Üretim aşaması, gerçekleşen ve planlanan talep dengesinin sağlanabilmesi için girdilerin ürünlere dönüşümü aşamasındaki bütün prosesleri kapsamaktadır. Bu aşamada üretim faaliyetleri, kaynak ve altyapıları yönetilmektedir. Ürünün planlanan ya da gerçekleşen talebe göre hazırlandığı, dönüştürme, imalat ve benzeri işlemlerin yapıldığı prosestir.

4. Teslim: Stoklanmış, siparişe yönelik ve siparişe göre ürünler için sipariş, depo, taşıma ve tesis yönetimi.

- Müşteri isteğinin alınmasından yüklemenin rotdalanmasına ve taşıyıcıların belirlenmesine kadar tüm sipariş yönetimi.
- Ürünün teslim alınmasından yüklenmesine kadar depo yönetimi.
- Müşteri mahalinde ürünü teslim alınması, doğrulanması ve tesis edilmesi.
- Ürünü müşteriye faturalama.
- Dağıtım kurallarının, performansın, bilginin, bitmiş ürün envanterinin, duran varlıkların, taşımanın, ürünün hayat çevriminin, ithalat/ihracat ihtiyaçlarının yönetimi.

Teslim aşaması, planlanan ya da gerçekleşen talep dengesinin sağlanabilmesi amacıyla gerçekleştirilen bitmiş ürün ve servislerin sağlandığı proseslerdir.

5. İade: Hammaddelerin iadesi (tedarikçiye) ve bitmiş ürünlerin iadesi (Müşteriden).

- Hatalı ürünün tüm iade adımları; ürün iadelerinin çizelgelenmesi, hatalı ürünün teslim alınması, doğrulanması.
- MRO (maintenance-repair or overhaul-bakım, onarım veya tamir edilen) ürünlerin iade adımları.
- Fazla ürünlerin iade adımları.
- İade iş kurallarının, performansın, veri toplamanın, iade envanterinin, duran varlıkların, taşımanın ve ağ konfigürasyonunun yönetimi.

5.6 SCOR İle Tedarik Zinciri Performans Ölçümü

SCOR işletmelere, tedarik zinciri sonuçlarının iletimini gerçekleştirmeyi, performans geliştirme hedeflerini tanımlamayı ve gelecek tedarik zinciri yönetimi yazılım gelişimlerini etkilemeyi mümkün kılar. Bir tedarik zincirinde bulunabilen tüm ölçütleri, ölçütlerle ilgili formülleri, ölçütlere yönelik en iyi uygulamalar için bir referans ve en iyi uygulamalara ulaşmayı sağlayabilen teknolojiyi içerir (Wang ve diğ., 1994)..

Tek başına bir işletme yerine bir tedarik zincirinin işletilmesi de ölçütleri de çok farklıdır. SCOR çeşitli ölçütleri kullanır, özellikle aşağıdaki dört tanımlayıcı kategoriye giren 12 ölçütü kullanır:

1. Teslimat güvenilirliği:

1.1. teslimat performansı (DR1)

1.2. karşılama oranı (DR2)

- 1.3. sipariş karşılama temin süresi (DR3)
- 1.3. kusursuz sipariş karşılama (DR4)
- 2. Esneklik ve çeviklik:
 - 2.1. tedarik zinciri yanıt zamanı (FR1)
 - 2.2. üretim esnekliği (FR2)
- 3. Maliyet:
 - 3.1. toplam lojistik yönetimi maliyeti (CT1)
 - 3.2. değer-eklenmiş verimlilik (CT2)
 - 3.3. teminat maliyeti veya dönüşleri işleme maliyeti (CT3)
- 4. Varlıklar:
 - 4.1. nakit-nakit çevrim zamanı (AT1)
 - 4.2. tedariğin envanterdeki günleri (AT2)
 - 4.3. varlık dönüşleri (AT3)

Bu performans ölçütleri bir işletmenin standart performansının değerlendirilmesi için standart kriterler olarak kabul edilmiştir. Ancak, çözüm metodolojisi değişebilir ve kullanılan ölçütlere bağlı değildir. Başka bir deyişle, metodoloji değiştikçe, işletme ölçüt çıkarmaya veya eklemeye karar verebilir (Wang ve diğ., 1994).

6. GELİŞTİRİLEN METODOLOJİNİN VE MODELLERİN KULLANIMINA YÖNELİK ENDÜSTRİYEL UYGULAMA ÇALIŞMASI

Bu bölümde, 5. Bölümde geliştirilen metodolojinin işletilmesi ve işlerliğinin gösterilmesi için gıda sektöründe faaliyet gösteren bir tedarik zinciri yapısı ve verileri kullanılarak gerçekleştirilen endüstriyel uygulama çalışması sunulmaktadır. Model-G1 ve Model-G2, üç aşamalı bir gıda tedarik zincirine adapte edilmekte, veriler bu zincire bağlı olarak üretilmekte ve/veya işletmeden elde edilmektedir. Model, tahmin ile elde edilen talep, temin süresi ve değişken hızlandırma maliyeti kombinasyonu ile yaklaşık-en düşük maliyeti bulmak üzere yapay sinir ağları kullanılarak simüle edilmektedir. Ardından, modelin tedarik zinciri ve uygulamada esas alınan işletme üzerindeki performansını ölçmek üzere performans ölçütleri saptanmakta ve kıyaslamalı olarak sunulmaktadır.

6.1 Uygulamanın Yapıldığı İşletmenin ve Tedarik Zinciri Yapısının Tanıtılması

Uygulamanın yapıldığı ve tedarik zinciri ile ilgili çeşitli verilerin elde edildiği işletme gıda sektöründe faaliyet gösteren, en büyük Türk holdinglerinden birine bağlı bir kuruluş olan X Pazarlama'dır.

X Pazarlama'nın ürünlerine bakılacak olursa: T, M, P, S, D, B olarak gösterilebilen markalardır. Bu ürünlerin hem pazarlanması hem de dağıtımı X Pazarlama tarafından gerçekleştirilmektedir. Yani bu ürünlerin lojistiği de kendisi tarafından gerçekleştirilmektedir.

1967 yılında kurulan T Konserve ve Sanayi A.Ş.'nin domates salçası, biber salçası, mayonez, ketçap, sebze konserveleri ve su başlıca ürünleridir. Mustafakemalpaşa, Yenişehir, Karacabey, Ovaköy ve Eskişehir'de işletme tesisleri mevcuttur. S Sanayi ve Ticaret A.Ş. 1963 yılında kurulmuş olup ürünleri arasında pastörize süt, yoğurt, ayran, sahlepe, puding, tereyağı ve peynir bulunmaktadır. İşlenmesi Bursa Mustafakemalpaşa'da olmaktadır. M A.Ş. 1963 yılında kurulmuş olup karkas et, paket et, sucuk, salam, sosis, hamburger, çorba ürünlerini İstanbul Tuzla tesislerinde üretmektedir. P Makarnacılık A.Ş. 1928 İzmir merkezli olarak kurulmuş olup İzmir Bornova Tesislerinde makarna, irmik, un, makarna sosu ürünlerini üretmektedir.

6.1.1 Lojistik Yapı

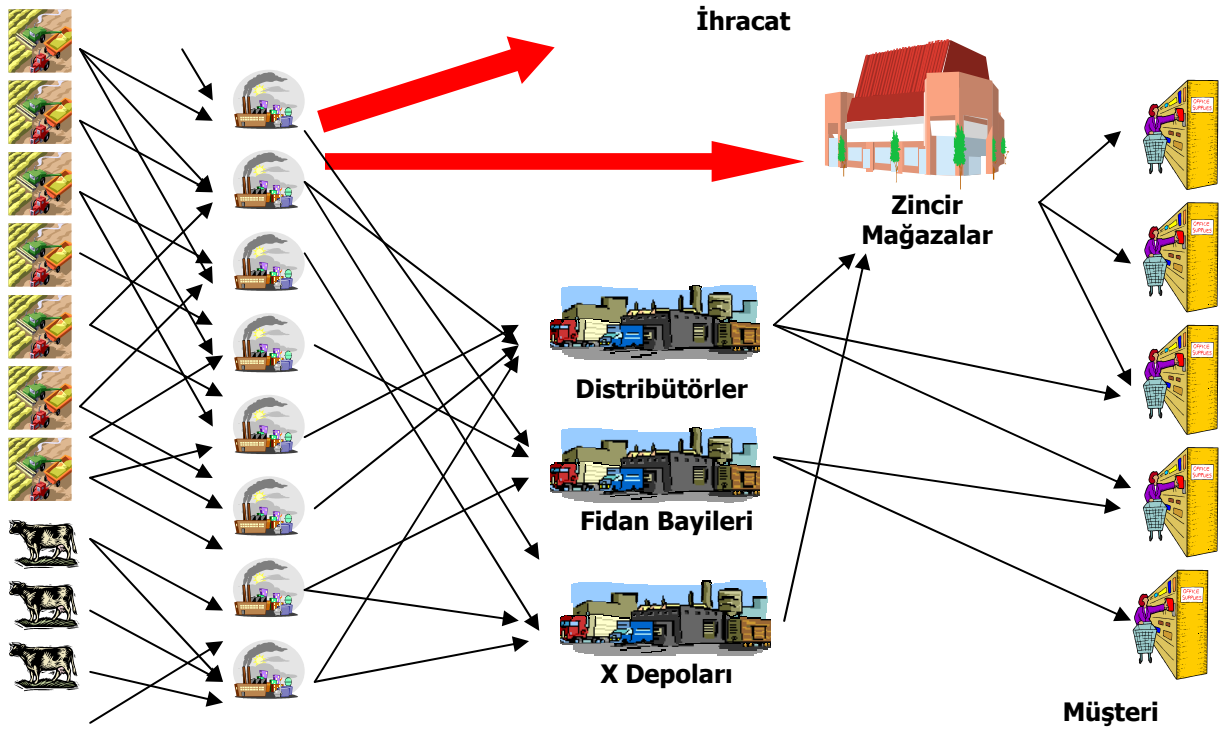
X Pazarlama işlerini T A.Ş. merkezli olmak üzere yürütmektedir. Lojistik yapısına bakılacak olursa her bir firmaya ait lojistik ekipleri mevcut olup bunlar T Merkez Lojistik Departmanı'na bağlıdırlar. Bu merkezin altında da depo görevlileri, satın alma görevlileri ve planlama görevlileri bulunmaktadır. Aşağıdaki şekilde bu yapı daha rahat

```
graph TD; T[T] --- M[M]; M --- S[S]; S --- P[P]; T --- TMD[T Merkez Loj. Departmanı]; TMD --- DG[Depo Görevlileri]; TMD --- SG[Satınlama Görevlileri]; TMD --- PL[Planlama Görevlileri];
```

6.1.2 Tedarik Zinciri Yapısı

İlk olarak, hammadde direkt veya tedarikçi vasıtası ile üretim merkezlerine gelmektedir. Burada işlendikten sonra ise dağıtımı gerçekleşmektedir. Daha sonrada perakendeciler vasıtası ile tüketicilere ulaşmaktadır (Şekil 6.2).

143



Şekil 6.2 T-X tedarik zinciri

6.2 Uygulama Çalışmasının Sınırlarının ve Kabullerinin Belirlenmesi

Gerçekte sisteme ait tedarik zinciri birçok aşamadan, birçok bayi, dağıtıcı, depo ve tedarikçiden oluşan kapsamlı ve geniş bir zincirdir ve birden çok ürün söz konusudur. Burada, geliştirilen modellerin uygulanması amacıyla zincirin yalnızca belli bir pilot kısmı dikkate alınarak tek bir ürüne (ketçap) yoğunlaştırılmıştır.

Uygulama çalışmasında üç aşamadan (bir depo, iki distribütör, üç bayi) oluşan ve her aşamada bir ya da daha fazla kuruluş olan çok-aşamalı bir tedarik sistemi dikkate alınmaktadır. Her bir aşama, alt aşamayı besleyen bir stok noktası olarak modellenmiştir ve üst aşama tarafından beslenir. Üçüncü aşamanın yalnızca bir dışsal tedarikçi tarafından, limitsiz stokla beslendiği kabul edilmiştir. Aşama 1'deki pazar talebi ile aşamalar arasındaki tedarik temin süreleri belirsizlik ifade etmekte olup, sinirsel-bulanık hesaplamalar ile elde edilmektedir.

Modelde tek bir ürün akışı dikkate alınmaktadır. İşletmenin daha önce bahsedilen ürünleri arasından T markasının ketçap ürünü (30 cl'lik ambalajlar halinde kolilenmiş, bir kolide 12 adet) seçilmiştir. Modellerde kullanılmak üzere işletmeden elde edilen veriler, 1996-2005 tarihleri arasına tekabül eden aylık verilerdir.

Modelin sözkonusu tedarik zinciri için uygulanmasına yönelik olarak aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

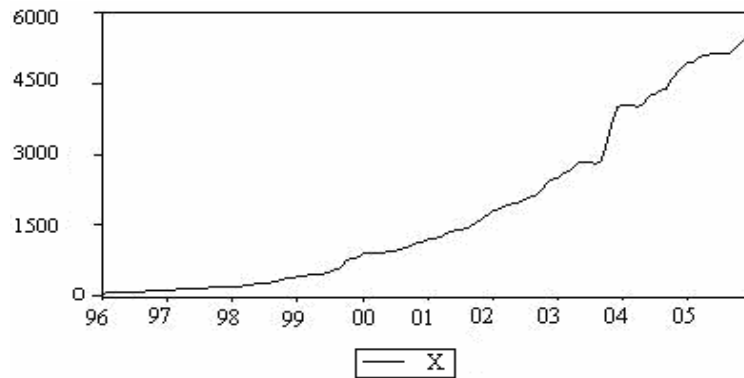
1. Dağıtıcılar ve bayiler kendi aralarında özdeşirler.
2. Ana depo dışsal bir tedarikçi tarafından limitsiz stokla beslenir.
3. Modelin işletilmesi için, tedarik zincirinde tek bir ürün (ketçap) olduğu kabul edilmiştir.
4. Hızlandırma maliyetleri (p_1 , p_2 , p_3) iki farklı müşteri tipi için iki farklı veri grubu olarak değişmektedir. Model işletilirken, hangi veri grubunun kullanılacağı, müşterinin niteliklerine göre, kullanıcı tarafından seçilebilir.
5. Aşama 1'deki her bir bayideki bekleyen sipariş maliyetinin, o bayiye gelen talebin %0,5'i olduğu kabul edilmektedir.

6.3 Sinirsel-Bulanık Hesaplamalar Kullanılarak Talep ve Temin Süresinin Tahmin Edilmesi

Burada sinirsel-bulanık ağlar kullanılarak talep ve temin süresi tahmini yapılmıştır. 1996-2004 yılları arasında elde edilen aylık veriler girdi ve çıktı değerleri için kullanılarak ağlar eğitilmiş, 2005 yılının 12 ayı için tahminler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar oldukça düşük hatayla gerçek verilere yakın değerlerdir. Ancak yöntemin başarısının gösterilmesi açısından işletmede halihazırda kullanılmakta olan istatistiksel analiz tekniği ile birer tahmin çalışması daha yapılmış, ARIMA (autoregressive integrated moving average) modeli ile elde edilen tahmin değerleri ile sinirsel-bulanık hesaplama sonuçları kıyaslanarak, kullanılan yöntemin başarısı gösterilmiştir.

6.3.1 Talep Tahmini

Çalışmada dikkate alınan ketçap talep veri seti Ocak 1996-Aralık 2005 arasında gerçekleşen, tek bir bayiye gelen aylık toplam talep miktarlarıdır (X) ve Şekil 6.3'ten görülebilir. Burada x eksenini yılları, y eksenini ise adet olarak talep miktarını ifade etmektedir.



Şekil 6.3 Ocak 1996-Aralık 2005 talep veri seti

İncelenen sistemde üç bayi olduğu ve her biri özdeş olduğu için elde edilen talep değerleri üçle çarpılarak dağıtıcı aşamasına geçer. Burada iki özdeş dağıtıcı olduğundan talep ikiye paylaşılır ve her bir dağıtıcıya düşen miktar elde edilir. Ardından, iki bayinin toplam talep değeri alınarak depoya gelen talep elde edilmiş olur. Görüldüğü gibi, dikkate alınan sistem için tek bir bayiye gelen talebin tahmini sistemin işleyişi açısından yeterli olmaktadır.

Sinirsel-bulanık işlemler için Matlab 7.0 Bulanık Mantık Toolbox ve ANFIS Modülü kullanılmış olup; istatistiksel analiz içinse EViews 3.0 programından yararlanılmıştır.

6.3.1.1 Sinirsel-Bulanık Hesaplamalar ile Talep Tahmini

Bulanık Kuralların Yaratılması:

İşletmede görüşülen tedarik zinciri yöneticilerinin önerileri doğrultusunda, çalışmada dört adet talep veri parametresi kullanılmaktadır ve bunlar aşağıdaki tabloda gösterilmektedir (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1 Talep veri parametreleri

No.	Talep Veri Parametreleri
1	Ürünün Fiyatı (rakip ürünlere göre)
2	Ürünün Bulunurluğu
3	Makarnaya Olan Talep
4	Ürünün Tazeliği

Talep sınıflaması ve talep verisi arasındaki ilişki çeşitli kurallardan oluşur, ve bu kurallar Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2 Bulanık kurallar

	Girdiler							Çıktı
Kurallar	BrmFyt	ve/veya	Bulunurluk	ve/veya	MkrnTalebi	ve/veya	Tazelik	KtcpTalebi
Kural 1	Düşük	veya	Yüksek	veya	Yüksek	veya	Yüksek	Çok Yüksek
Kural 2	Düşük	ve	Normal	ve	Yüksek	ve	Yüksek	Yüksek
Kural 3	Düşük	ve	Normal	ve	Normal	ve	Yüksek	Normal Üzeri
Kural 4	Düşük	ve	Normal	ve	Normal	ve	Düşük	Normal
Kural 5	Yüksek	veya	Düşük	veya	Düşük	veya	Düşük	Çok Düşük
Kural 6	Yüksek	ve	Normal	ve	Düşük	ve	Düşük	Düşük
Kural 7	Yüksek	ve	Yüksek	ve	Yüksek	ve	Yüksek	Normal
Kural 8	Düşük	ve	Düşük	ve	Düşük	ve	Düşük	Düşük
Kural 9	Düşük	ve	Yüksek	ve	Yüksek	ve	Düşük	Düşük
Kural 10	Normal	ve	Normal	ve	Normal	ve	Yüksek	Normal Üzeri
Kural 11	Düşük	ve	Yüksek	ve	Normal	ve	Yüksek	Yüksek
Kural 12	Yüksek	ve	Normal	ve	Düşük	ve	Düşük	Çok Düşük
Kural 13	Yüksek	ve	Düşük	ve	Normal	ve	Düşük	Çok Düşük

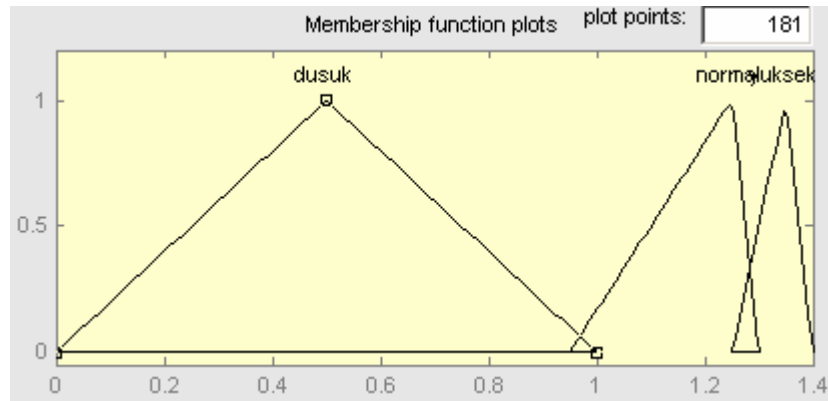
Üyelik Fonksiyonlarının Belirlenmesi:

Üyelik fonksiyonları, talep verisi ve sınıflaması için linguistik terimler biçiminde tanımlanabilir. Girdiler için bu fonksiyonlar üçgensel olup, çıktı için sabittir (Sugeno tipi bulanık çıkarım sistemi) Çizelge 6.3'teki gibi ifade edilirler.

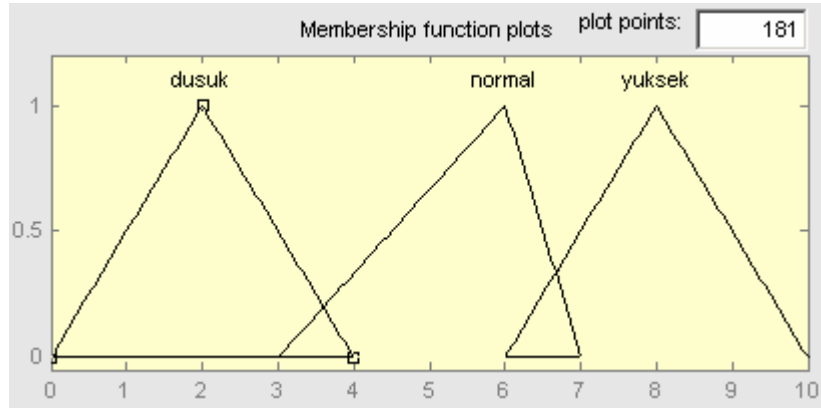
Çizelge 6.3 Talep verisi üyelik dereceleri

	Üyelik Dereceleri
Ketçap Talebi (Ktçp Talebi)	Çok Düşük - [1200] (adet)
	Düşük - [3600]
	Normal - [4800]
	Normal Üzeri - [5200]
	Yüksek - [5600]
	Çok Yüksek - [6000]
Ürünün Birim Fiyatı (BrmFyt)	Düşük - [0 0,5 1] (YTL)
	Normal - [0,95 1,250 1,300]
	Yüksek - [1,250 1,350 1,400]
Ürünün Bulunurluğu (Bulunurluk)	Düşük - [0 2 4]
	Normal - [3 6 7]
	Yüksek - [6 8 10]
Makarnaya Olan Talep (Mkrn Talebi)	Düşük - [0 250 500] (paket)
	Orta - [400 1500 2500]
	Yüksek - [2400 3500 5000]
Ürünün Tazeliği (Tazelik)	Düşük - [0 2 4]
	Yüksek - [3 7 10]

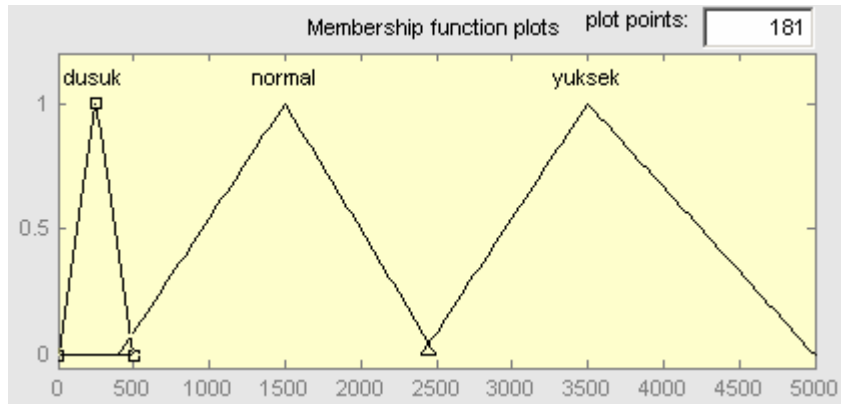
Matlab 7.0 bulanık mantık modülünde oluşturulan üçgensel üyelik fonksiyonları Şekil 6.4-7'de görüldüğü gibidir (Talep tahminine yönelik sinirsel-bulanık hesaplama için geliştirilen bulanık sonuç çıkarma sistemi programı Ek-1'den görülebilir)



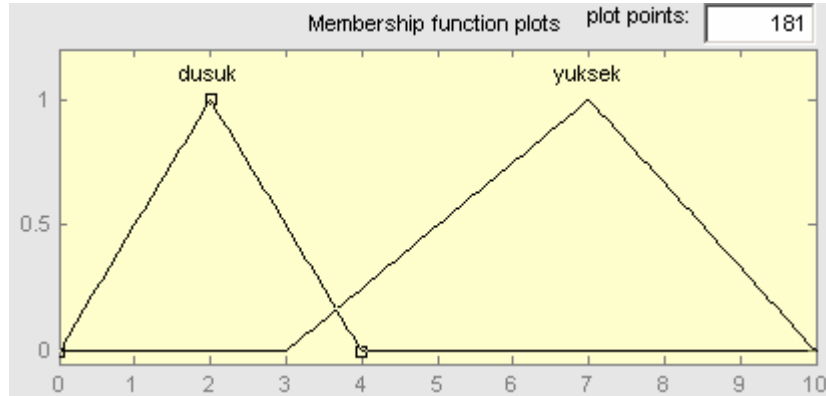
Şekil 6.4 Birim fiyat girdisine ait üyelik fonksiyonları



Şekil 6.5 Bulunurluk girdisine ait üyelik fonksiyonları



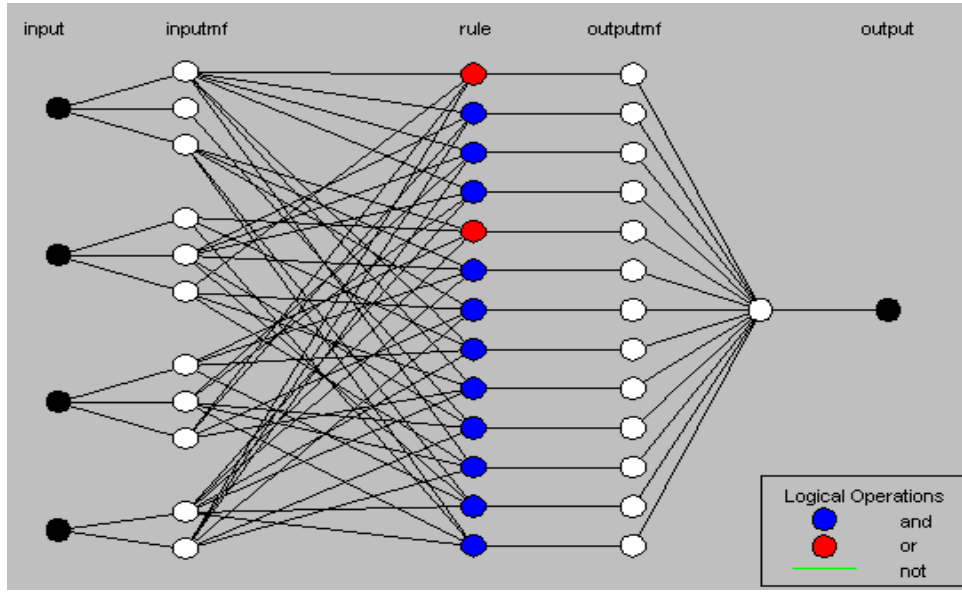
Şekil 6.6 Makarna talebi girdisine ait üyelik fonksiyonları



Şekil 6.7 Tazelik girdisine ait üyelik fonksiyonları

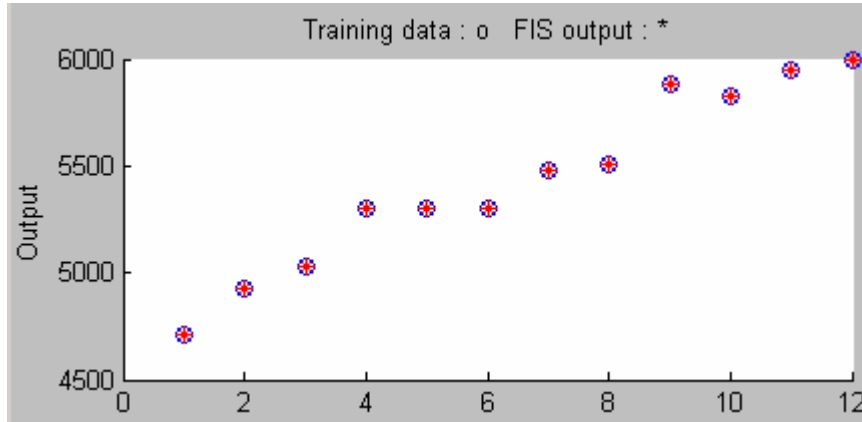
Tahmin:

Matlab 7.0 Bulanık Mantık Toolbox ve ANFIS Modülü kullanılarak ağ eğitilmiş ve test edilmiştir. ANFIS işletilirken, ağda gözlenen kural mimarisi Şekil 6.8'deki gibidir.



Şekil 6.8 Bulanık kuralların ANFIS ile gösterimi

Ağ 108 veriyle eğitilmiş olup, 2005 yılına ait 12 aylık talep değerleri tahmin edilmiştir. Bu değerler şematik olarak Şekil 6.9'dan görülebilir. Elde edilen değerler için ortalama test hatası 0.000619 olarak gözlenmiştir.

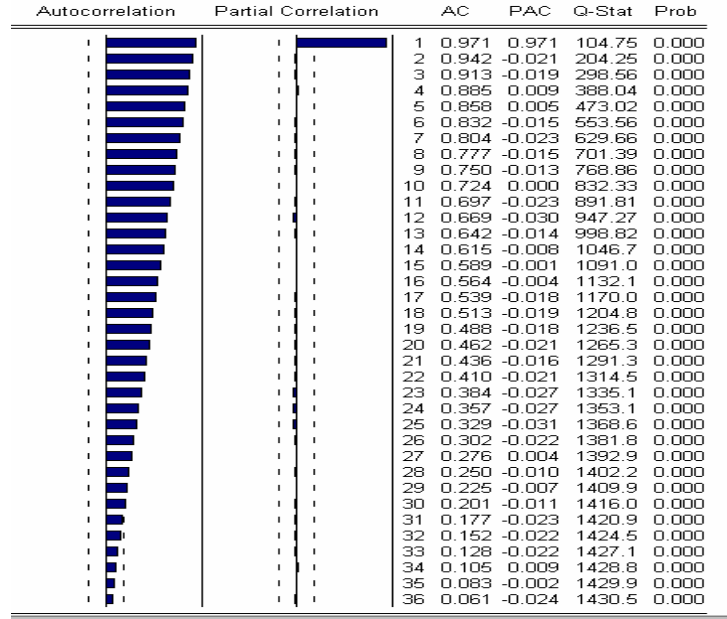


Şekil 6.9 ANFIS ile tahmin edilen değerlerin şematik gösterimi

6.3.1.2 İstatistiksel Analiz ile Talep Tahmini

Daha önce Şekil 6.3'te verilen ketçap veri seti Ocak 1996-Aralık 2005 arasında gerçekleşen talepleri yansıtmaktadır. Burada talep tahmini için EViews 3.0'dan yararlanılmıştır.

Orijinal ketçap talepleri serisinin korrelogramına bakıldığında serinin oto-korelasyonlarının (auto correlation function-ACF) yavaş yavaş öldüğü, kısmi-korelasyonlarının (partial auto correlation function-PACF) ise 1'de dışarı çıktığı, yani trend içerdiği başka bir deyişle durağan olmadığı görülmektedir.



Şekil 6.10 Ketçap talepleri serisinin korrelogramı

ADF(Augmented Dickey Fuller) / Unit Root Testi:

Çizelge 6.4, birinci farkta (first difference) trend ve interceptli denklemde ve lag 3'te elde edilen sonuçlar serinin birim kökü (unit root) olmadığını, yani durağan olduğunu göstermektedir.

ARIMA Modeli ve Fazlalıklar Korrelogramı-Q İstatistiği:

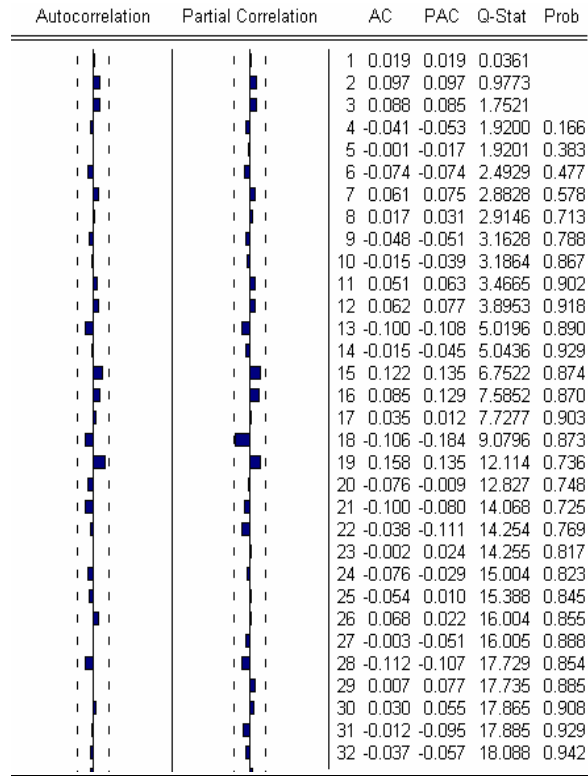
Daha önce serinin birinci farkta durağan olduğu belirtilmişti ($I=1$). O halde ARMA modeline bakacak olursak, uygun model Çizelge 6.5'te gösterilmektedir. Model sonucuna bakıldığında her bir AR ve MA katsayısının anlamlı olduğu görülmektedir. Ayrıca, tahmin edilen model sonucu fazlalıklar korrelogramına bakıldığında bantın dışına çıkan değerler olmadığı ve tüm ACF ve PACF değerlerine bakıldığında hepsinin olasılık değerlerinin 0.15'ten büyük olduğu da görülmektedir (Şekil 6.11). Bu, durağanlığı destekler.

Çizelge 6.4 ADF/Unit Root testi

ADF Test Statistic	-6.270269	5% Critical Value		-3.4535
*MacKinnon critical values for rejection of hypothesis of a unit root.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Sample(adjusted): 1996:06 2004:12				
Included observations: 103 after adjusting endpoints				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(LX(-1))	-0.934590	0.149051	-6.270269	0.0000
D(LX(-1),2)	0.293325	0.131874	2.224291	0.0284
D(LX(-2),2)	0.160155	0.111783	1.432725	0.1552
D(LX(-3),2)	0.218840	0.095192	2.298932	0.0237
C	0.051000	0.011276	4.522789	0.0000
@TREND(1998:01)	-0.000259	0.000121	-2.138646	0.0350
R-squared	0.392407	Mean dependent var		-0.001052
Adjusted R-squared	0.361088	S.D. dependent var		0.041500
S.E. of regression	0.033172	Akaike info criterion		-3.917761
Sum squared resid	0.106734	Schwarz criterion		-3.764282
Log likelihood	207.7647	F-statistic		12.52928
Durbin-Watson stat	1.944111	Prob(F-statistic)		0.000000

Çizelge 6.5 ARMA modelinin tahmini

Dependent Variable: D(LOG(X))				
Method: Least Squares				
Date: 06/04/06 Time: 21:12				
Sample(adjusted): 1997:02 2004:12				
Included observations: 95 after adjusting endpoints				
Convergence achieved after 6 iterations				
Backcast: 1997:01				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.036478	0.004832	7.548498	0.0000
AR(4)	-0.230718	0.095640	-2.412352	0.0179
AR(12)	0.233875	0.092199	2.536638	0.0129
MA(1)	0.456324	0.093453	4.882930	0.0000
R-squared	0.253329	Mean dependent var		0.037599
Adjusted R-squared	0.228713	S.D. dependent var		0.036371
S.E. of regression	0.031942	Akaike info criterion		-4.008603
Sum squared resid	0.092846	Schwarz criterion		-3.901071
Log likelihood	194.4086	F-statistic		10.29143
Durbin-Watson stat	1.958470	Prob(F-statistic)		0.000007
Inverted AR Roots	.86	.77 -.47i	.77+.47i	.47 -.77i
	.47+.77i	.00 -.86i	-.00+.86i	-.47+.77i
	-.47 -.77i	-.77 -.47i	-.77+.47i	-.86
Inverted MA Roots	-.46			
D(LOG(X)) = 0.03647808392 + [AR(4)=-0.2307175838, AR(12)=0.2338745721, MA(1)=0.4563239329, BACKCAST=1997:02]				



Şekil 6.11 Fazlalıklar korrelogramı

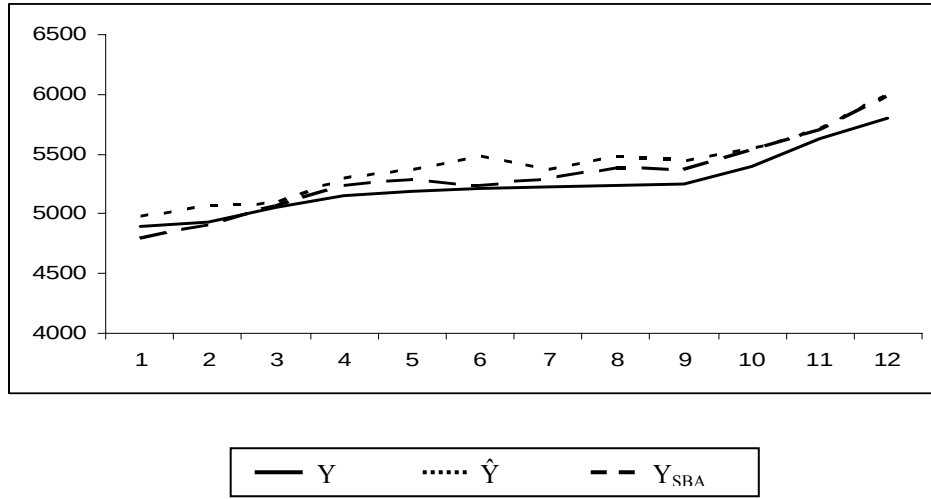
Tahmin:

Wald Coefficient testi Ocak-Aralık 2005 test periyoduna uygulanmıştır ve H_0 hipotezi $\alpha=0.05$ için kabul edilebilirdir (H_0 = Model doğrudur, H_1 = Model doğru değildir). ARMA modeli ile elde edilen tahmin değerleri ana deponun karşılaştığı ketçap talebi tahmin değerleridir.

Gerçek ana depo talep değerleri (Y), ARMA model tahmin değerleri ($\hat{Y}$), daha önce elde edilen sinirsel-bulanık ağ tahmin değerleri (Y_{SBA}) ile ortalama hatalar Çizelge 6.6'dan görülebilir. Ayrıca sinirsel-bulanık ağ ve istatistiksel analiz tahmin sonuçları ile gerçekleşen değerlerin kıyaslaması da Şekil 6.12'de yer almaktadır.

Çizelge 6.6 Gerçekleşen talep değerleri, ARMA and SBA tahmin değerleri ile ortalama hatalar

Gözlem	Y	$\hat{Y}$	Y_{SBA}
2005:1	4890	4980	4800
2005:2	4932	5064	4907
2005:3	5058	5088	5070
2005:4	5148	5298	5232
2005:5	5190	5370	5286
2005:6	5208	5478	5232
2005:7	5226	5370	5298
2005:8	5238	5478	5385
2005:9	5250	5442	5370
2005:10	5394	5544	5535
2005:11	5628	5700	5706
2005:12	5796	5993	5982



Şekil 6.12 Sinirsel-bulanık ağ ve istatistiksel analiz talep tahmin sonuçları ile gerçekleşen değerlerin kıyaslaması

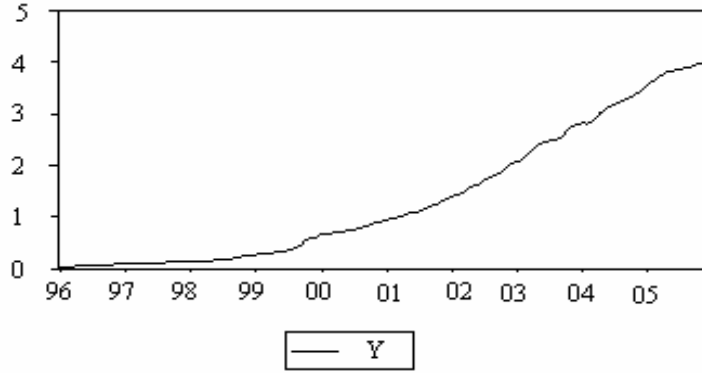
6.3.2 Temin Süresi Tahmini

Temin süresi tahmininde uygulama adımları aynen talep tahmininde anlatıldığı şekilde gerçekleştirilir. Burada tahmin edilen temin süresi, bayının ketçap siparişi verişinden ürünü teslim alana kadar geçen sürenin gün bazında tahminini ifade eder. Tahmin edilen değer ayrıca distribütörler ve depo için de aynı olduğu kabul edilir. Çünkü aynı gün içinde bayilerden distribütörlere ve depoya siparişin ulaştırıldığı, ve, depodan distribütörlere ve bayilere ürünün ulaştırıldığı kabulü söz konusudur.

Sinirsel-bulanık işlemler için Matlab 7.0 Bulanık Mantık Toolbox ve ANFIS Modülü

kullanılmış olup; istatistiksel analiz içinse EViews 3.0 programından yararlanılmıştır.

Temin süresi veri seti Ocak 1996-Aralık 2005 arasında, yıllara göre gün bazında gerçekleşen ortalama temin sürelerinden (X) oluşur ve Şekil 6.13'ten görülebilir. Burada x eksenini yılları, y eksenini gün bazında temin süresini ifade eder.



Şekil 6.13 Bayi için Ocak 1996-Aralık 2005 temin süresi veri seti

6.3.2.1 Sinirsel-Bulanık Hesaplamalar ile Temin Süresi Tahmini

Bulanık Kuralların Yaratılması:

İşletmede görüşülen tedarik zinciri yöneticilerinin önerileri doğrultusunda çalışmada üç adet temin süresi veri parametresi kullanılmaktadır ve bunlar aşağıdaki tabloda gösterilmektedir (Çizelge 6.7).

Çizelge 6.7 Temin süresi veri parametreleri

No.	Temin Süresi Veri Parametreleri
1	Talebin Aciliyeti
2	Ürünün Depodaki Miktarı (talebe göre)
3	Talep (bayiden depoya iletilen)

Temin süresi sınıflaması ve temin süresi verisi arasındaki ilişki çeşitli kurallardan oluşur. Burada bu kuralların tümü “ve-and” bağlacıyla birbirine bağlanmıştır ve Çizelge 6.8’de verilmektedir.

Çizelge 6.8 Bulanık kurallar

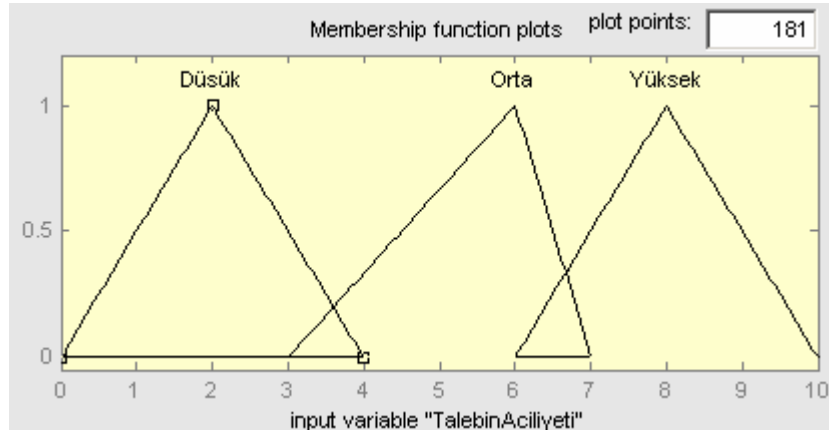
Kurallar	Girdiler			Çıktı
	Talebin Aciliyeti	Ürünün Depodaki Miktarı	Talep	Temin Süresi
Kural 1	Yüksek	Yüksek	Düşük	Kısa
Kural 2	Orta	Yüksek	Normal	Normal
Kural 3	Düşük	Düşük	Normal	Uzun
Kural 4	Düşük	Düşük	Yüksek	Çok Uzun
Kural 5	Düşük	Yüksek	Yüksek	Çok Uzun
Kural 6	Yüksek	-	-	Kısa
Kural 7	Orta	-	-	Normal
Kural 8	Düşük	-	-	Uzun
Kural 9	-	Düşük	-	Uzun
Kural 10	-	Yüksek	-	Normal
Kural 11	-	-	Düşük	Kısa
Kural 12	-	-	Normal	Normal
Kural 13	-	-	Yüksek	Uzun

Üyelik Fonksiyonlarının Belirlenmesi:

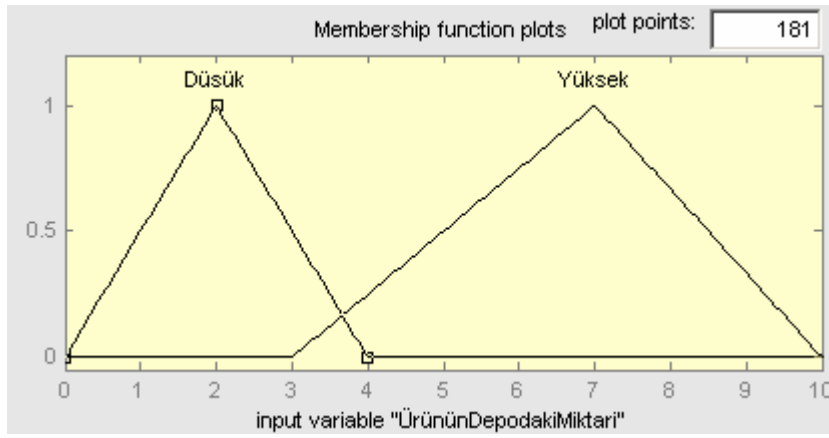
Üyelik fonksiyonları, temin süresi verisi ve sınıflaması için linguistik terimler biçiminde tanımlanabilir. Bu fonksiyonlar üçgensel olup, Çizelge 6.9 ve Şekil 6.14, 6.15 ve 6.16'dan görülebilir (Temin süresi tahminine yönelik sinirsel-bulanık hesaplama için geliştirilen bulanık sonuç çıkarma sistemi programı için Ek-2'ye bakılabilir).

Çizelge 6.9 Temin süresi verisi üyelik dereceleri

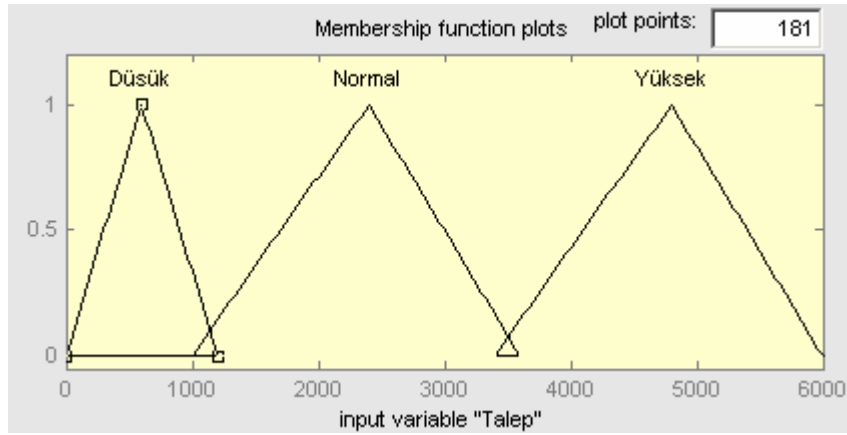
	Üyelik Dereceleri	
	Kısa	- [1,5] (gün)
Temin Süresi	Normal	- [4]
	Uzun	- [7]
	Çok Uzun	- [12]
Talebin Aciliyeti	Düşük	- [0 2 4]
	Orta	- [3 6 7]
	Yüksek	- [6 8 10]
Ürünün Depodaki Miktarı	Düşük	- [0 2 4]
	Yüksek	- [3 7 10]
Talep	Düşük	- [0 500 1200] (adet)
	Normal	- [1000 2500 3600]
	Yüksek	- [3400 4800 6000]



Şekil 6.14 Talebin aciliyeti girdisine ait üyelik fonksiyonları



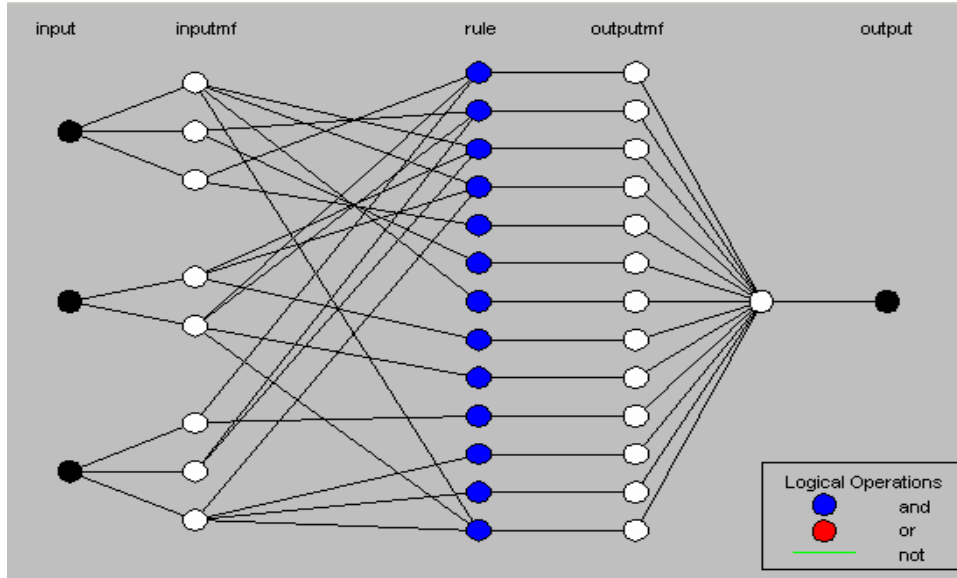
Şekil 6.15 Ürünün depodaki miktarı girdisine ait üyelik fonksiyonları



Şekil 6.16 Talep girdisine ait üyelik fonksiyonları

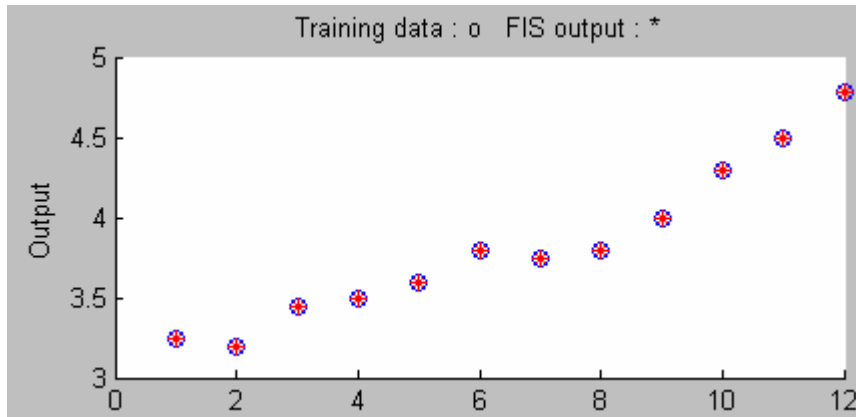
Tahmin:

Matlab 7.0 Bulanık Mantık Toolbox ve ANFIS Modülü kullanılarak ağ eğitilmiş ve test edilmiştir. ANFIS işletilirken, ağda gözlenen kural mimarisi Şekil 6.17'deki gibidir.



Şekil 6.17 Bulanık kuralların ANFIS ile gösterimi

Ağ 108 veriyle eğitilmiş olup, 2005 yılına ait 12 aylık temin süresi değerleri tahmin edilmiştir. Bu değerler şematik olarak Şekil 6.18'den görülebilir. Elde edilen değerler için ortalama test hatası 0.000203 olarak gözlenmiştir.



Şekil 6.18 ANFIS ile tahmin edilen değerlerin şematik gösterimi

6.3.2.2 İstatistiksel Analiz ile Temin Süresi Tahmini

Talep serisinde detaylandırılan işlemler burada da tekrar edilir.

Orijinal temin süreleri serisinin korrelogramına bakıldığında serinin oto-korelasyonlarının

yavaş yavaş öldüğü, kısmi korelasyonlarının ise 1’de dışarı çıktığı, yani trend içerdiği başka bir deyişle durağan olmadığı görülmektedir.

Ardından ADF/Unit Root Testi uygulanır. Çizelge 6.10, birinci farkta (first difference) trend ve kesikli denklemde ve lag 3’te elde edilen sonuçlar serinin birim kökü (unit root) olmadığını, yani durağan olduğunu göstermektedir.

Çizelge 6.10 ADF/Unit Root testi

ADF Test Statistic **-6.531158** 5% Critical Value -3.4535

*MacKinnon critical values for rejection of hypothesis of a unit root.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation

Dependent Variable: D(LTS,2)

Method: Least Squares

Date: 06/05/06 Time: 14:28

Sample(adjusted): 1996:06 2004:12

Included observations: 103 after adjusting endpoints

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(LTS(-1))	-1.232559	0.188720	-6.531158	0.0000
D(LTS (-1),2)	0.433162	0.158686	2.729677	0.0075
D(LTS(-2),2)	0.212181	0.128130	1.655978	0.1010
D(LTS(-3),2)	0.219926	0.100776	2.182321	0.0315
C	-4073.256	2494.610	-1.632823	0.1057
@TREND(1996:01)	431.9332	76.71327	5.630488	0.0000
R-squared	0.455474	Mean dependent var		220.0680
Adjusted R-squared	0.427406	S.D. dependent var		14977.22
S.E. of regression	11333.26	Akaike info criterion		21.56536
Sum squared resid	1.25E+10	Schwarz criterion		21.71884
Log likelihood	-1104.616	F-statistic		16.22732
Durbin-Watson stat	1.926318	Prob(F-statistic)		0.000000

ARIMA Modeli kurularak, anlamlı AR ve MA katsayılarına ulaşılır (AR(1) ve MA(4), MA(12)).

Ayrıca, tahmin edilen model sonucu fazlalıklar korrelogramına bakıldığında bantın dışına çıkan değerler olmadığı ve tüm ACF ve PACF değerlerine bakıldığında hepsinin olasılık değerlerinin 0.15’ten büyük olduğu da görülmektedir.

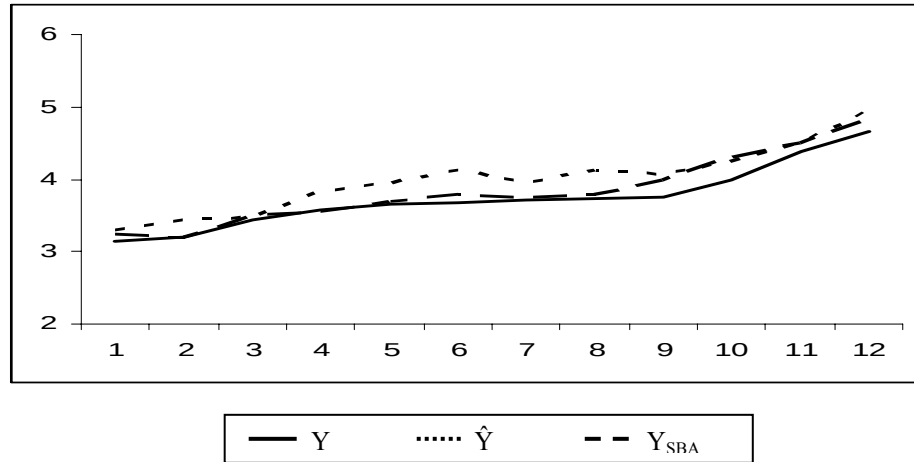
Tahmin:

Wald Coefficient testi Ocak-Aralık 2005 test periyoduna uygulanmıştır ve H0 hipotezi $\alpha=0.05$ için kabul edilebilirdir (H0= Model doğrudur, H1= Model doğru değildir). ARMA modeli ile elde edilen tahmin değerleri ana deponun bayilere yönelik temin süresi değerleridir.

Gerçek temin süresi değerleri (Y), ARMA model tahmin değerleri ($\hat{Y}$), daha önce elde edilen sinirsel-bulanık ağ tahmin değerleri (Y_{SBA}) ile ortalama hatalar Çizelge 6.11’den görülebilir. Daha önce de belirtildiği gibi, yüksek öncelikli bayının karşılaştığı aylık ortalama temin süreleri sözkonusudur. Ayrıca sinirsel-bulanık ağ ve istatistiksel analiz tahmin sonuçları ile gerçekleşen değerlerin kıyaslaması da Şekil 6.19’da yer almaktadır.

Çizelge 6.11 Gerçekleşen talep değerleri, ARMA and SBA tahmin değerleri ile ortalama hatalar

Gözlem	Y	$\hat{Y}$	Y_{SBA}
2005:1	3,15	3,30	3,25
2005:2	3,21	3,44	3,20
2005:3	3,43	3,48	3,50
2005:4	3,58	3,83	3,55
2005:5	3,65	3,95	3,70
2005:6	3,68	4,13	3,80
2005:7	3,71	3,95	3,75
2005:8	3,73	4,13	3,80
2005:9	3,75	4,07	4,00
2005:10	3,99	4,24	4,30
2005:11	4,38	4,50	4,50
2005:12	4,66	4,93	4,83



Şekil 6.19 Sinirsel-bulanık ağ ve istatistiksel analiz temin süresi tahmin sonuçları ile gerçekleşen değerlerin kıyaslaması

6.4 Geliştirilen Model-G2’nin Yapay Sinir Ağlarıyla Simüle Edilmesi

Burada amaç geliştirilen Model-G2’nin, işletmeden alınan veriler, sinirsel-bulanık hesaplamalarla tahmin edilen talep ve temin süresi verileri ve deterministik modelden elde

edilen Q ve n bilgisi kullanılarak 12 aylık bir periyot için simüle edilmesidir. Böylece her 12 aylık periyot için yaklaşık-en düşük maliyet değerleri elde edilmeye çalışılmaktadır. Ayrıca, simülasyon ile yeniden sipariş noktaları, aşama envanter pozisyonları, emniyet stokları ve her yenileme çevriminde beklenen yokluklar da tespit edilmektedir.

Yapılacak iş, çeşitli talep ve temin süresi kombinasyonları için beklenen toplam maliyeti simüle etmek, ve tahmin ile elde edilen (D,l) ve değişken hızlandırma maliyeti $(p_{11}, p_{12}, p_{13}$ veya $p_{21}, p_{22}, p_{23})$ kombinasyonu ile yaklaşık-en düşük maliyeti bulmaktır.

Bunu gerçekleştirmek üzere Matlab 7.0 Neural Network Toolbox kullanılmaktadır. Ağ, geliştirilen modelin üç-aşamalı pilot uygulamasının formülasyonu ile eğitilmekte, çıktı olarak toplam aylık maliyetler elde edilmektedir. Modelin simülasyonu esnasında yeniden sipariş noktaları, aşama envanter pozisyonları, emniyet stokları ve beklenen yokluklar da hesaplanmaktadır. Ağın girdi ve çıktıları şu şekildedir:

Girdi Katmanı:

Talep : D_1

Temin Süresi : l

Sabit Sipariş Maliyeti : $\{K_1, K_2, K_3\}$

Değişken Maliyet : $\{A_1, A_2, A_3\}$

Elde Tutma Maliyeti : $\{H_1, H_2, H_3\}$

Bekleyen Sipariş Maliyeti : b

Hızlandırma Maliyeti Grubu1 : $\{p_{11}, p_{12}, p_{13}\}$

Hızlandırma Maliyeti Grubu2 : $\{p_{21}, p_{22}, p_{23}\}$

Emniyet Faktörü : $\{k_1, k_2, k_3\}$

Çıktı Katmanı:

Beklenen Toplam Maliyet : $\{ETC_1, ETC_2, ETC_3, ETC_4, ETC_5, ETC_6, ETC_7, ETC_8, ETC_9, ETC_{10}, ETC_{11}, ETC_{12}\}$

Modellenen sinir ağının gizli katmanlarında tanjant hiperbolik fonksiyon kullanılmıştır. Çıktı,

lineer aktivasyon fonksiyonuna sahiptir. Ağ 21 girdiye, 15 nöronlu bir gizli katmana ve 12 çıktıya sahiptir. 1000 devir eğitim gerçekleştirilmiş, eğitim katsayısı 0.1 olarak alınmıştır. Çok katmanlı perceptron (multi layer perceptron) ağı kullanılarak, 25 saniyede eğitim gerçekleştirilmiştir. Ulaşılan hata $3,4e^{-27}$ 'dir (Bu ağla ilgili giriş katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı ağırlık ve eşik değerleri için Ek 3 ve 4'e bakılabilir).

Model-G2'nin, YSA ile nasıl simüle edildiğinin gösterilmesi amacıyla, aşağıda bir iterasyon örnek olarak verilmiştir. Kullanılan veriler ve yapılan hesaplamalar şu şekildedir:

Veriler:

D_1 4800 koli/ay ($D_2=3/2(4800)=7200$ koli/ay; $3D_1=2D_2=D_3=D=14400$ koli/ay)

l 3,25 gün ($3,25/30=0,108$ ay)

K_1 4,00 YTL/koli/ay

K_2 5,00 YTL/koli/ay

K_3 6 YTL/koli/ay

A_1 1,75 YTL/koli/ay

A_2 1,00 YTL/koli/ay

A_3 0,90 YTL/koli/ay

H_1 4,00 YTL/koli/ay

H_2 1,00 YTL/koli/ay

H_3 2,00 YTL/koli/ay

H_0 6,00 YTL/koli/ay $[(3)(4)(4)/(4+4)]$

b 4,00 YTL/koli/ay

p_{11} 4,00 YTL/koli/ay

p_{12} 2,50 YTL/koli/ay

p_{13} 1,25 YTL/koli/ay

p_{21} 5,00 YTL/koli/ay

p_{22} 3,00 YTL/koli/ay

p_{23} 1,50 YTL/koli/ay

(1 kolide 12 adet ketçap ürünü bulunmaktadır)

p_{11} , p_{12} , p_{13} ve p_{21} , p_{22} , p_{23} şeklinde ifade edilen sipariş hızlandırma maliyetleri iki grup halinde verilmiştir. Talebin aciliyetine, müşterinin büyüklüğüne, vb. göre hangi grubun kullanılacağı değişmektedir. Simülasyon esnasında rassal olarak hangi grubun seçileceğine

karar verilecektir. Buradaki örnek uygulamada her iki grup verinin kullanımı halinde toplam maliyetin nasıl değiştiği de gösterilmektedir.

Hesaplamalar:

1) Standart sapma :

Aşağıda, her bir bayiye gelen talebin standart sapması bulunmaktadır (Eşitlik 6.1).

Aşamalardaki standart sapmalar arasındaki ilişki şu şekildedir: $3\sigma_1 = 2\sigma_2 = \sigma$

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x - \bar{x})^2} \quad (6.1)$$

$$\sum x = 63.708 ; \bar{x} = 5309$$

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \sqrt{\frac{1}{11} [(4800 - 5309)^2 + (4866 - 5309)^2 + (5070 - 5309)^2 + \dots + (5982 - 5309)^2]} \\ &= 324,83 \end{aligned}$$

$$\text{O halde } \sigma = 974,49$$

2) Sipariş miktarı ve çevrim sayısının Model-G1'den elde edilmesi:

$$n = \frac{(2(5) + 6)[(1,75)6 - (2(1,75)1)]}{3(4)[2(1)1 + (0,90 - 1)2]} = 2,277$$

$$n=2 \text{ veya } n=3$$

Bölüm 5.2.1.2'de belirtildiği gibi n 'in tamsayı olmaması durumunda $TC(n-)$ ve $TC(n+)$ hesaplanır ve bunlardan $TC(.)$ 'yi en düşük yapan $(n-)$ veya $(n+)$ alınır.

Öncelikle sipariş miktarları $n=2$ ve $n=3$ için hesaplanmalı ve TC 'de yerine konmalıdır.

$$Q(n=2) = \sqrt{\frac{2(14400)[3(4) + 2(5)/2 + 6/2]}{(1,75)6 + 2[2(1) - (1,75)]1 + 2(0,90 - 1)2}} = 233,1 \text{ koli}$$

$$Q(n=3) = \sqrt{\frac{2(14400)[3(4) + 2(5)/3 + 6/3]}{(1,75)6 + 2[3(1) - (1,75)]1 + 3(0,90 - 1)2}} = 200,6 \text{ koli}$$

$$\begin{aligned} TC(n=2) &= \left[\frac{3(4)14400}{699,3} + \frac{2(5)14400}{2(699,3)} + \frac{6(14400)}{2(699,3)} \right] + \\ &\left[\frac{699,3}{6} (6-2)(1,75) + 2 \frac{699,3}{4} (2-2)1 + 2 \frac{699,3}{2} 2(0,90) \right] = 2486,426 \text{ YTL} \end{aligned}$$

$$\frac{D}{Q}(3K_1 + \frac{2K_2}{n} + \frac{K_3}{n}) + \frac{Q}{2} \left[\frac{H_0 A_1}{3} + H_2(nA_2 - \frac{2}{3}A_1) + nH_3(A_3 - \frac{A_2}{2}) \right]$$

$$TC(n=3) = \left[\frac{3(4)14400}{601,8} + \frac{2(5)14400}{2(601,8)} + \frac{6(14400)}{2(601,8)} \right] + \left[\frac{601,8}{6}(6-2)(1,75) + 3 \frac{601,8}{4}(2-2)1 + 3 \frac{601,8}{2}2(0,90) \right] = 2741,716 \quad \text{YTL}$$

$$TC(n=2) = 2486,426 < TC(n=3) = 2741,716$$

O halde n=2 seçilir. Bu durumda Q=233,1 koli ve TC=2486,426 YTL'dir.

3) Standart normal dağılımın pdf ve cdf'si:

(p_{11}, p_{12}, p_{13}) için:

cdf:

$$1 - \Phi(k_1) = \frac{(699,3)4(1,75)}{4(14400)} = 0,085; \quad \Phi(k_1) = 0,915 \quad \text{ve} \quad k_1 = 1,37$$

$$1 - \Phi(k_2) = \frac{2(699,3)1(1)}{(2,5)14400} = 0,03885; \quad \Phi(k_2) = 0,961 \quad \text{ve} \quad k_2 = 1,76$$

$$1 - \Phi(k_3) = \frac{2(699,3)1(1)}{(2,5)14400} = 0,03885; \quad \Phi(k_3) = 0,86 \quad \text{ve} \quad k_3 = 1,08$$

pdf:

$$\phi(k_1) = \frac{1}{6,28}(0,39) = 0,062$$

$$\phi(k_2) = \frac{1}{6,28}(0,2125) = 0,0338$$

$$\phi(k_3) = \frac{1}{6,28}(0,5581) = 0,0889$$

(p₂₁, p₂₂, p₂₃) için:

cdf:

$$1 - \Phi(k_1) = 0,068 ; \quad \Phi(k_1) = 0,932 \quad \text{ve} \quad k_1 = 1,49$$

$$1 - \Phi(k_2) = 0,032 ; \quad \Phi(k_2) = 0,967 \quad \text{ve} \quad k_2 = 1,85$$

$$1 - \Phi(k_3) = 0,116 ; \quad \Phi(k_3) = 0,883 \quad \text{ve} \quad k_3 = 1,19$$

pdf:

$$\phi(k_1) = 0,052$$

$$\phi(k_2) = 0,029$$

$$\phi(k_3) = 0,078$$

4) Yeniden sipariş noktası:

(p₁₁, p₁₂, p₁₃) için:

$$R_1 = \frac{1}{3} \left(\frac{3,25}{30} 14400 + (1,37)(974,49) \right) \sqrt{\frac{3,25}{30}} = 666,473 \cong 667 \text{ koli}$$

$$R_2 = \frac{3,25}{15} 14400 + \frac{1}{2} (1,76)(974,49) \sqrt{\frac{3,25}{15}} = 3519,168 \cong 3520 \text{ koli}$$

$$R_3 = \frac{3,25}{10} 14400 + (1,08)(974,49) \sqrt{\frac{3,25}{10}} = 5279,988 \cong 5280 \text{ koli}$$

(p₂₁, p₂₂, p₂₃) için:

$$R_1 \cong 680 \text{ koli}$$

$$R_2 \cong 3540 \text{ koli}$$

$$R_3 \cong 5341 \text{ koli}$$

5) Emniyet stoku:

(p_{11}, p_{12}, p_{13}) için:

$$SS_1 = \frac{(1,37)(974,49)}{2} \left(\frac{1}{3} \sqrt{\frac{3,25}{30}} + \sqrt{\frac{2(3,25)}{30}} + \sqrt{\frac{3(3,25)}{30}} \right) = 609,11 \text{ koli}$$

$$SS_2 = \frac{1}{2} (1,76)(974,49) \sqrt{\frac{2(699,3)}{14400}} = 267,25 \text{ koli}$$

$$SS_3 = (1,08)(974,49) \sqrt{\frac{2(699,3)}{14400}} = 102,22 \text{ koli}$$

(p_{21}, p_{22}, p_{23}) için:

$$SS_1 = 631,18 \text{ koli}$$

$$SS_2 = 280,92 \text{ koli}$$

$$SS_3 = 112,63 \text{ koli}$$

6) Aşama envanter pozisyonu:

(p_{11}, p_{12}, p_{13}) için:

$$IP_1 = 3(233,1 + 609,11 - 24) = 2454,63 \text{ koli}$$

$$IP_2 = 2[(2)(699,3)/2 + 267,25] + 2454,63 = 4387,73 \text{ koli}$$

$$IP_3 = 2(699,3) + 102,22 + 4387,73 = 5888,55 \text{ koli}$$

(p_{21}, p_{22}, p_{23}) için:

$$IP_1 = 2520,84 \text{ koli}$$

$$IP_2 = 4481,28 \text{ koli}$$

$$IP_3 = 5992,51 \text{ koli}$$

7) Beklenen yokluk:

(p_{11}, p_{12}, p_{13}) için:

$$ESPRC_1 = \left[\frac{1}{6}(974,49)\sqrt{\frac{3,25}{30}} + \frac{1}{4}(974,49)\sqrt{\frac{3,25}{15}} + \frac{1}{2}(974,49)\sqrt{\frac{3,25}{10}} \right] \{0,062 - 1,37 + 1,37(0,915)\}$$

$$= -24,2099$$

$$ESPRC_2 = \frac{974,49}{2} \sqrt{\frac{2(233,1)}{14400}} \{0,0338 - 1,76 + (1,76)(0,961)\} = -3,054$$

$$ESPRC_3 = (974,49) \sqrt{\frac{2(233,1)}{14400}} \{0,0889 - (1,08) + (1,08)(0,86)\} = -10,924$$

(p_{21}, p_{22}, p_{23}) için:

$$ESPRC_1 = -21,751$$

$$ESPRC_2 = -2,735$$

$$ESPRC_3 = -10,572$$

8) Beklenen maliyet:

(p_{11}, p_{12}, p_{13}) için:

$$ETC = (2486,426) + \left[3\left(\frac{1}{6}(1,37)(974,49)\sqrt{\frac{3,25}{30}} + \frac{1}{4}(1,37)(974,49)\sqrt{\frac{3,25}{15}} + \frac{1}{2}(1,37)(974,49)\sqrt{\frac{3,25}{10}}\right)4(1,75) \right. \\ \left. + (1,76)(974,49)\sqrt{\frac{2(699,3)}{14400}}(1)(1) + (1,08)(974,49)\sqrt{\frac{2(699,3)}{14400}}2(0,90) \right] +$$

$$3(4)\frac{14400}{699,3} \{0,062 - (1,37) + (1,37)(0,915)\} \left[\left(\frac{1}{6}(974,49)\sqrt{\frac{3,25}{30}}\right) + \left(\frac{1}{4}(974,49)\sqrt{\frac{3,25}{15}}\right) + \left(\frac{1}{2}(974,49)\sqrt{\frac{3,25}{10}}\right) \right] +$$

$$(2,5)\frac{14400}{2(699,3)}(974,49)\sqrt{\frac{2(699,3)}{14400}} \{0,0338 - (1,76) + (1,76)(0,961)\} +$$

$$(1,25)\frac{14400}{2(699,3)}(974,49)\sqrt{\frac{2(699,3)}{14400}} \{0,0889 - (1,08) + (1,08)(0,86)\} = 9907,976YTL$$

(p_{21} , p_{22} , p_{23}) için:

$$ETC = 11756,30YTL$$

Görüldüğü gibi, kullanılan hızlandırma maliyet grubuna göre işlemler şekillenerek, beklenen toplam maliyet elde edilmektedir. Daha öncelikli bir müşteriden geldiği tahmin edilen veya daha acil bir sipariş için sözkonusu olan ikinci grup kullanıldığında daha yüksek bir toplam maliyete katlanılmaktadır.

Yapay sinir ağları kullanılarak benzer işlemler 12 ay için yapılır ve hızlandırma maliyet grubu-talep-temin süresi değişkenliği temelinde en düşük maliyete ulaşılır. Bu hesaplamalar neticesinde elde edilen sonuçlar Çizelge 6.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.12 Model-G2’nin YSA ile 12 aylık simülasyon sonuçları

Aylar	Hızlandırma Maliyeti Grubu	Talep (koli)	Temin Süresi (gün)	Sipariş Miktarı (koli)	Model-G1 - Toplam Maliyet (YTL)	Model-G2 - Beklenen Toplam Maliyet (YTL)
1	p_{11}, p_{12}, p_{13}	4800	3,25	700	2486,430	9907,976
	p_{21}, p_{22}, p_{23}	4800	3,25	700	2486,430	11756,30
2	p_{11}, p_{12}, p_{13}	4907	3,40	705	2514,035	10059,03
	p_{21}, p_{22}, p_{23}	4907	3,40	705	2514,035	12053,22
3	p_{11}, p_{12}, p_{13}	5070	3,45	719	2555,467	10248,22
	p_{21}, p_{22}, p_{23}	5070	3,45	719	2555,467	12211,69
4	p_{11}, p_{12}, p_{13}	5232	3,55	731	2595,956	10275,91
	p_{21}, p_{22}, p_{23}	5232	3,55	731	2595,956	12386,11
5	p_{11}, p_{12}, p_{13}	5286	3,70	734	2609,299	10486,15
	p_{21}, p_{22}, p_{23}	5286	3,70	734	2609,299	27186,88
6	p_{11}, p_{12}, p_{13}	5232	3,80	731	2595,956	10535,48
	p_{21}, p_{22}, p_{23}	5232	3,80	731	2595,956	12685,56
7	p_{11}, p_{12}, p_{13}	5298	3,75	735	2612,276	10527,63
	p_{21}, p_{22}, p_{23}	5298	3,75	735	2612,276	12580,76
8	p_{11}, p_{12}, p_{13}	5385	3,95	738	2633,619	10807,96
	p_{21}, p_{22}, p_{23}	5385	3,95	738	2633,619	12901,48
9	p_{11}, p_{12}, p_{13}	5370	4,00	740	2629,978	10829,83
	p_{21}, p_{22}, p_{23}	5370	4,00	740	2629,978	12944,97
10	p_{11}, p_{12}, p_{13}	5535	4,10	750	2670,082	11086,28
	p_{21}, p_{22}, p_{23}	5535	4,10	750	2670,082	13088,21
11	p_{11}, p_{12}, p_{13}	5706	4,50	763	2711,032	11483,55
	p_{21}, p_{22}, p_{23}	5706	4,50	763	2711,032	13690,25
12	p_{11}, p_{12}, p_{13}	5982	4,83	781	2775,794	12028,02
	p_{21}, p_{22}, p_{23}	5982	4,83	781	2775,794	14006,51

6.5 Modelin Duyarlılık Analizi

Geliştirilen Model-G2 maliyet modelinin amaç fonksiyonu üzerinden duyarlılık analizi yapılmak istenirse; diğer değişkenler sabit olmak üzere, herhangi bir değişkendeki değişimin amaç fonksiyonu değerinde yol açtığı değişikliklerin incelenmesi gerekir.

Burada özellikle talep ve temin süresindeki değişimlerin, amaç fonksiyonunu nasıl etkileyeceği incelenmektedir. Bu değerlerdeki bir değişimin, diğer değişkenler sabitken,

model bir iterasyon işletildiğinde, ortaya çıkacak sonuçta ne kadarlık bir değişim yaratacağı gösterilmektedir.

Talep Değişimi:

$$D_1=14400 \text{ koli}$$

$$D_2= 14598$$

$$ETC_1=9872,106 \text{ YTL}$$

$$ETC=9822,798 \text{ YTL}$$

Talep miktarında gerçekleştirilen %1,375’lik bir artış, 1. aya ait beklenen toplam maliyet değerinde yaklaşık %0,5’lik bir düşüşle sonuçlanmıştır. Bunda talep miktarının, sipariş miktarını etkilemesinin de rolü vardır. Duyarlılık analizi kapsamında bir değişken değeri değişirken, diğerleri sabit kalmalıdır. Ancak bu modeldeki sipariş miktarı, direkt olarak talepten etkilendiği için, bu parametrede de bir değişme olmakta ve maliyette düşüşe yol açan bir sonuç elde edilmektedir.

Buradan, dikkate alınan üç aşamalı tedarik zincirinde, daha yüksek miktarlardaki talebin karşılanmasının daha düşük miktardaki bir talebin karşılanmasına kıyasla, görel olarak birim başına daha az maliyete yol açtığı görülmektedir. Ancak, talepteki artışın, maliyetteki düşüşten çok daha fazla olduğuna dikkat edilmelidir.

Temin Süresi Değişimi:

$$l_1=3,25 \text{ gün}$$

$$l_2= 3,4 \text{ gün}$$

$$ETC_1=9872,106 \text{ YTL}$$

$$ETC_2=10029,35 \text{ YTL}$$

Diğer değişkenler sabitken, temin süresinde gerçekleştirilen %0,46’lık bir artış, 1. aya ait beklenen toplam maliyet değerinde yaklaşık %1,59’luk bir artışla sonuçlanmıştır. Temin süresi modelin birçok noktasında, birçok maliyeti etkileyen bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır.

Temin sürelerinin mümkün olduğunca küçük olması, burada geliştirilen Model-G2’de olduğu gibi, geliştirilen başka modellerde de istenen bir durumdur. Çünkü temin süresindeki artışlar, işletmeye ek maliyetlerle geri dönmektedir. Burada da tespit edildiği üzere, temin süresi artışı, diğer değişkenler sabitken, beklenen toplam maliyette oldukça yüksek bir artışla sonuçlanmaktadır. Maliyet artışının, temin süresi artışından çok daha fazla olduğu vurgulanmalıdır.

6.6 SCOR Modeline Dayanarak Performans Ölçütlerinin Belirlenmesi ve Model Performansının Test Edilmesi

Daha önce SCOR modelinin kapsamında yer aldığı belirtilen performans ölçütleri içinden modele uygun olan bazı ölçütler seçilmiş, ayrıca sektörel ve sözkonusu tedarik zincirine yönelik bazı ölçütler ilave edilmiştir. Bu ölçütler aşağıda tanımlanmıştır:

A. Tahmin doğruluğu

A1. Talep ve temin süresi tahmininde, sinirsel-bulanık hesaplama ile daha doğru sonuçlar elde edilmiştir.

Sinirsel-bulanık hesaplama ve ARIMA modeli ile yapılan tahminler Bölüm 6.3'te detaylı olarak sunulmuştur. Bu durumda, sinirsel-bulanık hesaplamalarla elde edilen tahmin değerlerinin gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği söylenebilir.

Gerçekleşen talep ve temin süresi değerleri ile ANFIS kullanılarak tahmin edilen değerler arasında anlamlı bir fark olup olmadığının testi, tahmin performansını daha iyi ortaya koyabilmek açısından kullanılabilir. Bunun için hipotez testi yöntemi kullanılarak iki bağımsız ana kütle ortalaması karşılaştırılır; tahmin sayısı 30'dan küçük olduğundan ($n=12$) t -testi ile kurulan hipotezin kabul edilip edilemeyeceğine karar verilir.

Kullanılacak formüller eşitlik 6.2 ve 6.3'teki gibidir:

$$S_{\Delta x} = \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}} \quad (6.2)$$

$$t_{hesap} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_{\Delta x}} \quad (6.3)$$

$$v = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right)^2}{\left[\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} \right)^2}{(n_1 - 1)} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2} \right)^2}{(n_2 - 1)} \right]} \quad (6.4)$$

Burada s_1 ve s_2 her iki tahmin değerlerine ait standart sapmalardır ve şu şekilde hesaplanır. n_1 ve n_2 , yapılan tahmin sayılarıdır. Buradan elde edilen t_{hesap} değeri ile, eşitlik 6.4'te gösterilen serbestlik derecesi ve %5'lik güven düzeyi temel alınarak t -dağılımı tablosundan okunan t_{tablo}

değeri birbiriyle karşılaştırılır. Bu kıyaslama neticesinde H_0 hipotezinin kabul veya reddine karar verilir. Kurulan hipotezler şu şekildedir:

$$H_0 : \bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 0$$

$$H_1 : \bar{x}_1 - \bar{x}_2 \neq 0$$

Talep için:

$$n_1=12; n_2=12; s_1=260,36; s_2=337,64; \bar{x}_1=5246,5; \bar{x}_2=5316,917$$

$$s_{\Delta x}=123,08$$

$$t_{\text{hesap}}=0,586$$

$$\text{Serbestlik derecesi: } v=20,004=21$$

%5 güven düzeyinde test kritik değeri: $t_{\text{tablo}}=1,721$ 'dir.

$t_{\text{hesap}}=0,586 < t_{\text{tablo}}=1,721$ olduğundan, H_0 hipotezi kabul edilir. Yani iki ortalama arasında anlamlı bir fark yoktur.

Temin süresi için:

$$n_1=12; n_2=12; s_1=0,435; s_2=0,4597; \bar{x}_1=3,743; \bar{x}_2=3,856$$

$$s_{\Delta x}=0,1827$$

$$t_{\text{hesap}}=0,618$$

$$\text{Serbestlik derecesi: } v=21,933=22$$

%5 güven düzeyinde test kritik değeri: $t_{\text{tablo}}=1,717$ 'dir.

$t_{\text{hesap}}=0,618 < t_{\text{tablo}}=1,717$ olduğundan, H_0 hipotezi kabul edilir. Yani iki ortalama arasında anlamlı bir fark yoktur.

Böylece hem talep tahmini, hem de temin süresi tahmin değerleri için, gerçekleşen değerlerle aralarında anlamlı bir fark olmadığı, ve böylece tahmin performansının yüksek olduğu söylenebilir.

A2. Bu ölçüt, A1 ölçütünün bir uzantısı olarak ortaya çıkmaktadır. Yeniden sipariş noktası, aşama envanter düzeyi, emniyet stoku, toplam maliyet gibi, talep ve temin süresi parametrelerinin kullanıldığı hesaplamalarda, tahmin doğruluğundan ötürü daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesini ifade eder.

B. Yanıt verme

B1. Sipariş tamamlama temin süresi: Ortalama fiili temin süresi, satınalma siparişi için müşteri onayının alınmasından son siparişin tamamlanmasına kadar geçen süreyi kapsar.

Böylece bir siparişteki tek bir koli için temin süresi elde edilmiş olur. Dikkate alınan ana depo için temin süresi daha önce tahmin edildiği gibi 3,25 gündür. Eski yöntemle göre, ana depo yalnızca klasik formülasyon ile saptanmış olan 294 kolilik sipariş ile karşı karşıyadır. Oysa geliştirilen metodolojiye göre, zincirde sipariş toplanarak ana depoya ulaşır ve 699,3 kolilik bir sipariş söz konusudur.

Buna göre eski ve yeni durumlar için sipariş tamamlama temin süreleri şu şekildedir:

Eski : $3,25/294 = 0,011$ gün

Yeni : $3,25/699,3 = 0,0046$ gün

Görüldüğü gibi bir tek koli için ayrılmış olan sipariş tamamlama temin süresi geliştirilen çok-aşamalı yapıda daha düşük olmaktadır, aradaki fark 2,39 kattır.

C. Esneklik

C1. Tedarik zinciri yanıt zamanı: Daha önceki performans ölçütünde sipariş tamamlama temin süresi hesaplanmıştı. Kaynak çevrim zamanının hesaplanması için ($d=Q/t$) oranından yararlanılır. Burada tek bir koli için yanıt zamanı hesaplanmaktadır.

Eski: $d=Q/t=294/(0,612)= 481$ koli/gün

Yeni: $d=nQ/t=2(699,3)/2,91375= 480$ koli/gün

$1/481=0,0021$ gün bir koli için çevrim zamanı

$1/480=0,0021$ gün bir koli için çevrim zamanı

O halde, $0,011+0,0021 = 0,0131$ gün

$0,0046+0,0021 =0,0067$ gün

C2. Sipariş karşılama oranı: “Yeniden sipariş noktası/Envanter pozisyonu” oranı sipariş karşılama oranını temsil edebilir ve bu oranın 1’e mümkün olduğu kadar yakın seyretmesi istenir. Oran küçüldükçe gereksiz envanter ve/veya sipariş maliyeti artacak, büyüdükçe müşterinin talebini karşılayamama ihtimali ortaya çıkacaktır.

Klasik envanter teorisine göre yeniden sipariş noktası şu şekilde hesaplanır: $R = (d)(l)$ (d, tüketim hızı olup, Q/t ile hesaplanır)

$$Q = \sqrt{\frac{2KD}{H}} \text{ ise, } Q = \sqrt{\frac{2(6)1400}{2}} = 294 \text{ koli}$$

$$t = 30Q/D \text{ ise, } t = 30(294/14400) = 0,6125 \text{ gün}$$

$$d = Q/t \text{ ise, } d = 294/0,6125 = 480 \text{ koli}$$

$$R_{\text{eski}} = 480(3,25/30) = 52 \text{ koli}$$

Daha önce geliştirilen model kapsamında hesaplanmış olan $R_{\text{yeni}} = 4874$ koli

Eski yapıdaki envanter pozisyonu yalnızca eldeki sipariş miktarı olup, yenilenen yapıda seviye envanter pozisyonunu temsil eder ve daha önce hesaplanmıştır. O halde R/IP oranlarına bakılabilir:

$$\text{Eski uygulama: } R/IP = 52/294 = 0,17$$

$$\text{Yeni uygulama: } R/IP = 4874/4612,5 = 1,05$$

Görüldüğü gibi sipariş karşılama oranı, istenen düzeye geliştirilen modelin uygulanmasıyla yaklaştırılmıştır.

D. Maliyet

D1. Sabit sipariş maliyeti: Sipariş maliyeti sipariş sayısı ile ilişkili bir kavramdır, her siparişle birlikte tekrarlanır.

Klasik envanter teorisini kullanan işletme için sipariş sayısı (D/Q) ile hesaplanırken, geliştirilen modele göre (D/nQ) şekline dönüşmektedir. Böylece işletme için ilk durumda $[14400/294=49 \text{ sipariş}]$ olan sipariş sayısı, yeni durumda tüm zincir dikkate alındığında $[14400/2(699,3)=10,5 \sim 11 \text{ sipariş}]$ olmaktadır.

Bu durumda sipariş maliyetleri eski durum için $[K(D/Q)=6(49)=294 \text{ YTL}]$ ve yeni durum için $[K(D/nQ)=6(11)=66 \text{ YTL}]$ olarak hesaplanmaktadır. Böylece 4,45 kat daha düşük bir maliyete katlanılmaktadır.

6.7 Sonuç ve Değerlendirmeler

Tez kapsamında çok-aşamalı tedarik zincirlerinde envanter yönetimine ilişkin deterministik/stokastik-sinirsel-bulanık maliyet modelleri geliştirilmiştir. Temel model stokastik-sinirsel-bulanık model olup, deterministik model verilerinden bu modelde yararlanılmaktadır (Q ve n). Bu modellerin işletilmesine yönelik olarak da bir metodoloji sunulmuştur. Bu metodoloji bağlamında uygulama çalışması pilot bir üç-aşamalı gıda tedarik zinciri üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Geliştirilen Model-G2'nin yapısı gereği, talep ve temin süreleri sinirsel-bulanık hesaplamalarla, işletmenin geçmiş verilerinden yararlanılarak hesaplanmaktadır. Modelin diğer parametreleri işletmeden elde edilmekte, belli kabuller altında tespit edilmekte ya da stokastik olarak belirlenmektedir.

Sonrasında yapay sinir ağları kullanılarak, değişken talep, temin süresi ve hızlandırma maliyeti çatısı altında 12 aylık toplam maliyet hesaplamaları yapılmaktadır ve en düşük maliyeti veren kombinasyon saptanmaktadır.

Model performansının analizi için çeşitli performans ölçütleri kullanılarak SCOR modelinden yararlanılmaktadır. Bu ölçütlerle, işletmenin önceden kullandığı klasik envanter teorisi ile, işletmeyi tek başına ele almayıp, tüm zinciri hesaba katan geliştirilen model kıyaslanarak, yeni durumda daha iyi performans sergilediği gösterilmektedir.

Bu durumda, n aşamalı ağaç yapılı tedarik zincirleri için envanter yönetimine yönelik olarak geliştirilen stokastik-sinirsel-bulanık modelin, tedarik zinciri üyeleri için daha gerçekçi ve doğru sonuçlar verdiği gösterilmiş olmaktadır.

Yine tüm tedarik zinciri üyeleri açısından ele alındığında, uygulama ile üyeler arasında sürekli bir iletişim yapısı oluşturulduğu görülmektedir. Çünkü metodoloji işletilirken üyeler arasındaki bilgi alışverişinin hızlı ve sağlıklı olma zorunluluğu vardır ve bu sürekli bir ilişki ağı içinde olmalarını gerektirir.

Burada ayrıca, incelenen tedarik zinciri yapısına da bağlı olarak, zincirin minimum maliyetle çalışabilmesi için tüm üyelerin müşteri odaklı, bilgi paylaşımına açık, ana depo merkezli, global, sürekli ve aşama yapılı bir envanter yönetimi politikası izlemesinin doğru olacağı görülebilmektedir.

Modelde yer alan maliyet parametrelerinin de bulanık olarak değ erlendirilmesi, son aşama olarak ana depo kabul edilmeyip tedarikçilerin de modele dahil edilmesi, vb. gibi konular gerçekleştirilerek burada geliştirilen model daha ileri bir çalışma olarak geliştirilebilir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzdeki ticaret ortamı, yerelden çıkıp global bir hal almıştır. Küreselleşme ile oluşan bu durum sonucunda işletmeler kendilerini çok acımasız bir ortamın içinde bulmuşlardır. Çok şiddetli rekabet ortamı firmaları hızlı ve doğru hareket etmeye, müşterilerine en iyi hizmet sunmaya zorlamaktadır. İşletmeler, kendilerini bu ortamdan hiçbir şekilde soyutlaştıramazlar. Eğer müşterilerinden gelen talebe uygun hareket edilmez, gerekli zamanlarda istekler karşılanmazsa bunları yapacak firmalar mutlaka ortaya çıkacaktır. Bu da pazar kayıplarına sebep olabilmektedir.

Bu nedenle, hızla küreselleşen dünyada, işletmeler rakiplerinden bir adım daha önde olabilmek için yeni arayışlar içerisine girmiş, maliyetlerini düşürmek için çeşitli yollara başvurmuştur. Özellikle son elli yılda bu amaçla birçok yeni yaklaşım ortaya çıkmıştır. Tarihsel perspektif içerisinde sırasıyla MRP (material requirements planning-malzeme ihtiyaç planlaması), MRP II (manufacturing resources planning-üretim kaynakları planlaması), ERP (enterprise resources planning-kurumsal kaynak planlaması) ve TZY'ye kadar gelen süreçte, 1960'lı yıllarda MRP; üretici işletmeler için ürün ağaçları açan, ürünlerin hangi parçalardan oluştuğu, hangi parçaya ne miktarda ve ne zaman ihtiyaç olduğu bilgisini veren sistemler olarak ortaya çıkmış ve üretim sektöründe bilgisayar ve bilgi sistemlerinin kullanılmaya başlamasına önayak olmuştur. Daha sonra, 1970'li yıllarda MRP II ile bu özelliklerin üzerine satış, satın alma, insan kaynakları, kalite gibi fonksiyonlar da eklenmiştir. ERP ise birden fazla noktada üretimle dağıtım yapan ama tek bir şirketin üretim gibi iç operasyonlarını koordine eden bir sistemdir. Tedarik zinciri ise modelde rolü olan işletmeleri birbiriyle konuşturan, bunların birbirine bilgi sağlamasını amaçlayan güvenli bir ortamda zamanında hatasız, ihtiyaç duyulan kadar ve doğru kişiye bilginin ulaşmasını sağlayan bir iş modeli sunmaktadır. Bu iş modelini oluşturan öğelerin sayılarının ve yerlerinin tespiti, birbirleri arasındaki fiziksel akışın miktarının belirlenmesi, öğelerin etkileşimli olarak envanterlerini yönetmesi gibi alt problemleri içeren çok-aşamalı zincirlerinin bütünlük bir şekilde işletilmesi problemi tedarik zinciri yönetimi içinde stratejik bir öneme sahiptir.

Amaç bilgiye zamanında ve doğru bir şekilde ulaşılması ve elde edilen bu bilgiler doğrultusunda stratejilerin belirlenmesidir. Giderek müşterilerin beklentileri değişmekte ve daha kısa süreler talep edilmektedir. Bu da hızlı hareket etmenin, doğru zamanda doğru yerde olabilmenin gerekliliğini daha da artırmıştır. Hızlı hareket edebilmek için iyi planlanmış bir dağıtım ağının olması gerekir. Tedarik ağının kusursuz işleyebilmesi için de envanter yönetiminin en iyi şekilde yapılması gerekmektedir. Çünkü ürün kullanıcıya ulaşana kadar bir

çok kanaldan geçmekte ve bu kanalların her biri birbiri ile sıkı ilişkiler içerisinde bulunmaktadır.

Envanter yönetimi, üretim, dönüşüm ve dağıtım şirketleri ağı olan bir tedarik zinciri ile büyük ölçüde ilgilenir. Çok-aşamalı tedarik zincirlerinde envanter yönetimi, tedarik kaynağından son kullanıcıya kadar birlikte çalışan organizasyonların envanterinin planlanması ve kontrolü ile entegre bir yaklaşımdır. Envanter yönetimi, tedarik zinciri yönetiminde, zincirin hızını ve esnekliğini etkileyebilen temel bir sorundur. Bu sorunla başa çıkabilmek, sağlıklı, güvenilir envanter yönetimi politikalarını oluşturmak ve bunun sürekliliğini sağlamak, kalite, verimlilik, müşteri odaklılık ve esneklik gibi hedeflere ulaşılmasında destek almak amaçlarıyla; talebe ve temin sürelerine duyarlı çok-aşamalı envanter yönetiminden faydalanılabilmektedir.

Çeşitli uygulamalar için mevcut olan bazı modellerin gerçek uygulamalara dönüştürülmede başarısızlığı, bu modellerin sınırlayıcı pek çok kabulü benimsemesi, talep ve temin sürelerindeki belirsizliklerin giderilememesi, tedarik zinciri aşamaları arasındaki entegrasyonun yeterince sağlanamaması; internet ve teknolojiye yeterince yararlanılmaması konuya yönelik sistematik bir yaklaşım ihtiyacı doğurmaktadır. Literatürde bu ihtiyacın karşılanmasına yönelik pek çok metodoloji ve yaklaşım bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında bu problemlerle ve özellikle talep ve temin süresi belirsizliğiyle başa çıkabilecek ve tüm tedarik zincirini bir bütün olarak ele alan bir metodoloji ve deterministik/stokastik maliyet modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen, talep ve temin sürelerine duyarlı çok-aşamalı tedarik zincirlerinde envanter yönetimine ilişkin metodoloji, bir tedarik zincirini baştan sona ele almakta, envanter yönetimine, maliyetin doğru saptanması ve minimizasyonuna yönelik deterministik/stokastik modeller geliştirilmesini ve model performans analizini kapsayıcı niteliktedir.

Çok-aşamalı tedarik zincirlerinde envanter yönetiminin bu stratejik öneminden dolayı, akademisyenler ve uygulayıcılar tarafından geliştirilmiş birçok yaklaşım ve uygulama bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında, 1960 yılında incelenmeye başlanan çok aşamalı envanter/dağıtım sistemlerine yönelik yapılan önemli katkılar sunulmuş, özellikle 1996 yılı ve sonrasında konu ile ilgili olarak yapılan çalışmalar detaylıca incelenmiştir. İncelenen çalışmalar kullandıkları araştırma tekniği, dikkate aldıkları aşama sayısı, envanter politikası, talep ve temin sürelerine yönelik olarak yaptıkları kabuller, elde ettikleri çözümün kesinliği/yaklaşıklık ve amaç fonksiyonları temelinde detaylandırılmış ve karşılaştırmalı olarak incelenerek sunulmuştur. Bu inceleme sonucunda bu çalışmaların birtakım eksiklikleri

tespit edilmiş ve geliştirilen metodoloji ve modeller ile bu eksiklikler giderilmeye çalışılmıştır.

Çok-aşamalı tedarik zincirlerinde envanter yönetimine ilişkin literatürdeki en önemli eksikliklerden biri talep ve temin sürelerinin deterministik, sabit, vb. olarak kabul edilmesi veya belli bir istatistiksel dağılıma uydurulması gibi belli kabuller altında saptanmasıdır. Burada geliştirilen Model-G1 ve Model-G2 kapsamında talep ve temin sürelerinin sinirsel-bulanık ağlarla hesaplanması önerilmekte ve incelenen çok-aşamalı zincir için gerçekçi sonuçlar verdiği gösterilmektedir. Bu değişkenlerin gerçekçiliği, işletmenin maliyet hesaplamaları, satınalma kararları, üretim ve envanter yönetiminin gerçekleştirilmesi, vb. gibi birçok noktada hayati önem taşımaktadır.

Literatürdeki bir diğer eksiklik, geliştirilen modellerin genellikle iki veya üç aşama için, ya da seri tedarik zincirleri için sınırlı tutulmasıdır. Yine bu tez çalışması kapsamında geliştirilen Model-G1 ve Model-G2, n aşamalı ve ağ yapılı tedarik zincirleri için uygun ve esnek bir yapıdadır. Ayrıca modelin kullanılabilirliği ve kullanışlılığını göstermek amacıyla üç-aşamalı bir sistem üzerinde uygulama çalışması gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca, literatürdeki genel kabul siparişin aşamalar arasında beklemesi veya kayıp olarak kabul edilmesi şeklindeyken, burada hızlandırma siparişi ile karşılanması kabulü sözkonusudur. Birçok işletme için hızlandırma maliyeti, işletmenin prestiji ve katlanacağı maliyet düzeyi açısından tercih edilir bir uygulamadır.

Geliştirilen esas ve temel model olan Model-G2, tahmin ile elde edilen talep, temin süresi ve hızlandırma maliyeti kombinasyonları ile yaklaşık-en düşük maliyeti bulmak üzere, YSA kullanılarak simüle edilmektedir. Literatürde geliştirilen modellerin simülasyonuna yönelik olarak çeşitli simülasyon yazılımları (ARENA, SLAM II, vb.) kullanılmaktadır. Ancak geliştirilen Model-G1 ve Model-G2 kapsamında talep ve temin süresi sinirsel-bulanık ağlarla hesaplandığından ve herhangi bir kabul ya da dağılım baz alınmadığından, bu uygulamalar kullanılamamaktadır. Bu nedenle, hem sinirsel-bulanık hesaplamanın gerçekleştirilmesini, hem de modelin çalıştırılmasını ve simüle edilmesini sağlamak üzere YSA en iyi alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır.

Geliştirilen metodolojinin, Model-G1 ve Model-G2'nin geliştirilmesi ve hesaplanması aşamalarından sonraki adımı, esas ve temel model olan Model-G2'nin performansının analizidir. Literatürdeki çalışmaların bir başka eksikliği de genellikle geliştirilen modellerin performans analizinde yetersiz kalınmasıdır. Bu amaçla tedarik zinciri performansını test etmeye yönelik SCOR modeli kullanılmıştır. Bu alanda daha önce kullanılmamış olan SCOR

modelinin yapısı gereği birtakım performans ölçütleri tanımlanmış, önceki ve geliştirilen modelin uygulanmasından sonraki değerleri karşılaştırılarak, geliştirilen modelin performansının yüksekliği gösterilmiştir.

Çok-aşamalı tedarik zincirlerinde envanter yönetimine yönelik olarak bu tez kapsamında geliştirilen metodoloji ile Model-G1 ve Model-G2’de belirsizlik giderme yöntemi olarak sinirsel-bulanık hesaplamaların kullanılması, n aşama için genelleştirilmiş modeller olmaları ve ağaç yapılı tedarik zincirleri için uygun olmaları nedeniyle, literatürde tespit edilen eksikliklerin giderildiği ve yapılan çalışmanın literatüre önemli bir katkıda bulunduğunu söylemek mümkündür.

Bu aşamaya kadar tez çalışmasında geliştirilen modelin özellikleri ve literatüre katkıları tartışılmıştır. Bunun yanı sıra, modelin ileriki çalışmalarda geliştirilebilmesi için aşağıdaki öneriler sıralanabilmektedir:

- Modelde yapılan kabuller, özellikle bayi ve dağıtıcıların kendi aralarında özdeş oldukları kabulü esnetilip sınırları genişletilebilir. Model özdeş olmama ve diğer kısıtlamaların kaldırılması, ya da tek bir ürünün değil birden fazla ürünün dikkate alınması gibi başka kabuller yapılması durumunda tekrar ele alınabilir.
- Genel model n aşamalı bir zincire uygun olup, üç-aşamalı bir gıda tedarik zinciri için uygulama örneği sunulmuştur. Uygulama pilot bir tedarik zinciri üzerinden yapılarak, üç aşama ile ve her aşamada iki veya üç kuruluş ile sınırlandırılmıştır. Buradaki aşama sayısı ve aşamalardaki kuruluş sayısı artırılarak, deponun gerisindeki tedarikçiler de hesaba katılarak daha geniş bir zincir için uygulama yapılabilir.
- Modeldeki talep ve temin süresi değişkenleri, bir gıda-tedarik zinciri için, sinirsel-bulanık hesaplamalarla tespit edilmiş ve gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bu hesaplamaların başka tedarik zincirlerinde de etkinliği denenebilir.
- Model tek bir ürün için geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Ürün çeşidi artırılarak model genişletilebilir ve birden fazla ürünü dikkate alan bir tedarik zinciri için uygulanabilir.
- Modeldeki talep ve temin süresi haricindeki diğer değişkenlerin de sinirsel-bulanık hesaplamalarla tespiti durumunda, değerlerin gerçeğe yakınlığı ve modelin performansı test edilebilir.
- Model simülasyonu için gerekli hesaplamaların daha kolay ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi için Matlab 7.0 YSA modülü kullanılarak geliştirilen program, kullanıcıların yapabileceği ekleme ve çıkarımlara izin veren dinamik bir paket program haline dönüştürülebilir.

KAYNAKLAR

- Abe, S., Lan, M.-S. ve Thawonmas, R., (1996), "Tuning of a Fuzzy Classifier Derived from Data", *Int. J. Approximate Reasoning*, 14: 1-24.
- Abraham, A. ve Nath, B., (2000), "Designing Optimal Neuro-Fuzzy Systems for Intelligent Control", In *Proceedings of the Sixth International Conference on Control Automation Robotics Computer Vision (ICARCV 2000)*, Singapore.
- Abraham, A., (2001), "Cerebral Quotient of Neuro-Fuzzy Systems: Hype or Hallelujah, Bytes for All", *Computing and Internet for the Majority of the World*, 8th Online Issue.
- Abraham, A. ve Nath, B., (2001), "A Neuro-Fuzzy Approach for Modelling Electricity Demand in Victoria", *Applied Soft Computing*, 1: 127-138.
- Akpınar, H., (1993), "Yapay Sinir Ağları ve Kredi Taleplerinin Değerlendirilmesinde Bir Uygulama Önerisi", *Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Altaş, İ.H., (1999), "Bulanık Mantık: Bulanıklılık Kavramı", *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, 62: 80-85, Bilesim Yayıncılık A.Ş., İstanbul.
- Andersson, J. ve Marklund, J., (2000), "Decentralized Inventory Control in a Two-Level Distribution System", *European Journal of Operational Research*, 127: 483-506.
- Andersson, J., ve Melchior, P., (2001), "A Two-Echelon Inventory Model with Lost Sales", *Int. J. Production Economics*, 69: 307-315.
- Avcı, E. ve Türkoğlu, İ., (2005), "An Intelligent Target Recognition System Based on Periodogram for Pulsed Radar Systems", *G.U. Fen Bilimleri Dergisi*, 18(2): 259-272.
- Axsater, S., (1990), "Simple Solution Procedures for A Class of Two-Echelon Inventory Problems", *Operations Research*, 38(1):64.
- Axsater, S., (1993), "Continuous Review Policies for Multi-Level Inventory Systems with Stochastic Demand, in: S.C. Graves, A. Rinnooy Kan, P. Zipkin (Eds.), *Handbook in Operations Research and Management Science*, vol. 4, Logistics of Production and Inventory, 175-197.
- Axsater, S. ve Zhang, W.-F., (1999), "A Joint Replenishment Policy for Multi-Echelon Inventory Control", *Int. J. Production Economics*, 59: 243-250.
- Axsater, S., (2000), "Exact Analysis of Continuous Review (R, Q) Policies in Two-Echelon Inventory Systems with Compound Poisson Demand", *Operations Research*, 48(5): 686-696.
- Axsater, S., (2001a), "A Framework for Decentralized Multi-Echelon Inventory Control", *IIE Transactions*, 33: 91-97.
- Axsater, S., (2001b), "Scaling Down Multi-Echelon Inventory Problems", *Int. J. Production Economics*, 71: 255-261.
- Axsater, S., (2003), "Approximate Optimization of A Two-Level Distribution Inventory System", *Int. J. Production Economics*, 81-82: 545-553.
- Babuska, R., te Braake, H.A.B., Krijgsman, A.J. ve Verbruggen, H.B., (1996), "Comparison of Intelligent Control Schemes for Real-Time Pressure Control", *Control Engineering Practice*, 4(11): 1585-1592.
- Babuska, R., (1998), "Fuzzy Modeling for Control", Kluwer Academic Publication, Boston.
- Bechtel, C. ve Jayaram, J., (1997), "Supply Chain Management: A Strategic Perspective", *The International Journal of Logistics Management*, 8 (1): 15-34.

- Berman, B., (2002), "Should Your Firm Adopt A Mass Customization Strategy?", *Business Horizons*, 40: 51–60.
- Bollapragada, S., Akella, R. ve Srinivasan, R., (1998), "Centralized Ordering and Allocation Policies in A Two-Echelon System with Non-Identical Warehouses", *European Journal of Operational Research*, 106: 74-81.
- Buckley, J.J. ve Hayashi, Y., (1994), "Fuzzy Neural Networks: A Survey", *Fuzzy Sets and Systems*, 66: 1-13.
- Buja, G.S. ve Todesco, F., (1994), "Neural Network Implementation of A Fuzzy Logic Controller", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 41(6): 663-667.
- Calantone, R.J., Cavusgil, S.T. ve Zhao, Y., (2002), "Learning Orientation, Firm Innovation Capability, and Firm Performance", *Industrial Marketing Management*, 31: 515–524.
- Canberi, O. ve Kuzucu, A., (2005), "Bulanık Yapay Sinir Ağıyla Model Referans Robot Denetimi, *itudergisi/d, mühendislik*, 4(1): 83-94.
- 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: 337–350.
- Chang, F.J. ve Chang, Y.T., (2006), "Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for Prediction of Water Level in Reservoir", *Advances in Water Resources*, 29(1): 1-10.
- Thomassey, S., Happiette, M. ve Castelain, J.M., (2005), "A Short and Mean-Term Automatic Forecasting System—Application to Textile Logistics", *European Journal of Operational Research*, 161: 275–284.
- Chen, C. ve Chen W., (1994), "Fuzzy Controller Design by Using Neural Network Techniques", *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2(3): 235-244.
- Chen, F., ve Zheng, Y., (1994), "Lower Bounds for Multi-Echelon Stochastic Inventory Systems", *Management Science*, 40: 1426–1443.
- Chen, F., ve Zheng, Y., (1997), "One-Warehouse Multi-Retailer Systems with Centralized Stock Information", *Operations Research*, 45: 275-287.
- Chen, F., (1999), "Worst-Case Analysis of (R;Q) Policies in A Two-Stage Serial Inventory System with Deterministic Demand and Backlogging", *Operations Research Letters*, 25: 51-58.
- Chen, F. ve Song, J.S., (2001), "Optimal Policies for Multiechelon Inventory Problems with Markov-Modulated Demand", *Operations Research*, 49(2): 226.
- Chen, F.Y., Feng, Y. ve Simchi-Lev, D., (2002), "Uniform Distribution of Inventory Positions in Two-Echelon Periodic Review Systems with Batch-Ordering Policies and Interdependent Demands", *European Journal of Operational Research*, 140: 648–654.
- Chen, C.-L., ve Lee, W.-C., (2004), "Multi-Objective Optimization of Multi-Echelon Supply Chain Networks with Uncertain Product Demands and Prices", *Computers and Chemical Engineering*, 28: 1131–1144.
- Chiang, W.K. ve Monahan, G.E., (2005), "Managing Inventories in a Two-Echelon Dual-Channel Supply Chain", *European Journal of Operational Research*, 162: 325–341.
- Choi, T.Y. ve Hong, Y., (2002), "Unveiling the Structure of Supply Networks: Case Studies of Honda, Acura, and Daimler Chrysler", *Journal of Operations Management*, 20: 469–493.

- Cohen, M.A. ve Lee, H.L., (1988), "Strategic Analysis of Integrated Production-Distribution System: Model and Methods", *Operations Research*, 36: 216–228.
- Cohen, M.A., Zheng, Y.-S., Wang, Y., (1999), "Identifying Opportunities for Improving Teradyne's Service-Parts Logistics System", *Interfaces*, 29(4): 1-18.
- Christopher, M. ve Jüttner, U., (2000), "Developing Strategic Partnerships in the Supply Chain: A Practitioner Perspective", *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 6: 117–127.
- Cousins, P.D. ve Menguc, B., (2005), "The Implications of Socialization and Integration in Supply Chain Management", *Journal of Operations Management*, In Press, Corrected Proof.
- Cox, A., (2001), "Managing with Power: Strategies for Improving Value Appropriation form Supply Chain Relationships", *The Journal of Supply Chain Management*, 137: 42–47.
- Croom, S., Romano, P. ve Giannakis, M., (2000), "Supply Chain Management: An Analysis Framework for Critical Literature Review", *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 6: 67–83.
- Dayhoff, J.E., (1990), "Neural Network Architectures", Van Nostrand Reinhold Press, New York.
- De Bodt, M.A. ve Graves, S.C., (1985), "Continuous-Review Policies for A Multi-Echelon Inventory Problem with Stochastic Demand", *Management Science*, 31: 1286–99.
- Dekker, R., Kleijn, M.J. ve de Kok, A.G., (1998), "The Break Quantity Rule's Effect on Inventory Costs in A 1-Warehouse, N-Retailers Distribution System", *Int. J. Production Economics*, 56-57: 61-68.
- Diks, E.B. ve de Kok, A.G., (1998), "Optimal Control of A Divergent Multi-Echelon Inventory System", *European Journal of Operational Research*, 111: 75-97.
- Dong, M., (2001), "Process Modeling, Performance Analysis and Configuration Simulation in Integrated Supply Chain Network Design", Doctor of Philosophy in Industrial and Systems Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Dong, L. ve Lee, H.L., (2003), "Optimal Policies and Approximations for A Serial Multiechelon Inventory System with Time-Correlated Demand", *Operations Research*, 51(6): 969.
- Escoda, I., Ortega, A., Sanz, A. ve Herms, A., (1997), "Demand Forecast by Neuro-Fuzzy Techniques", *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 3: 1381-1386.
- Federgruen, A., ve Zipkin, P., (1984), "Computational Issues in An Infinite-Horizon, Multi-Echelon Inventory Model", *Operations Research*, 32: 818–836.
- Feng, S., Li, L.X., Cen, L. ve Huang, J., (2002), "Using MLP Networks to Design A Production Scheduling System", Article in Press, *Computers and Operations Research*.
- Forsberg, R., (1996), "Exact Evaluation of (R,Q)-Policies for Two-Level Inventory Systems with Poisson Demand", *European Journal of Operational Research*, 96: 130-138.
- Frohlich, M.T. ve Westbrook, R., (2001), "Arcs of Integration: An International Study of Supply Chain Strategies", *Journal of Operations Management*, 19: 185–200.
- Ganeshan, R., (1999), "Managing Supply Chain Inventories: A Multiple Retailer, One Warehouse, Multiple Supplier Model", *Int. J. Production Economics*, 59: 341–354.
- Geva, S. ve Sitte, J., (1992), "A Constructive Method for Multivariate Function Approximation by Multilayer Perceptrons", *IEEE Transactions on Neural Networks*, 3 (4):

621-624.

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.

Goyal, S.K., (1976), "An Integrated Inventory Model for A Single Supplier–Single Customer Problem", *International Journal of Production Research*, 107–111.

Graves, S.C., (1985), "A Multi-Echelon Inventory Model for A Repairable item with one-for-one replenishment", *Management Science*, 31: 1247-1256.

Graves, S.C., (1996), "A Multiechelon Inventory Model with Fixed Replenishment Intervals", *Management Science*, 32(1): 1.

Graves, S.C., (2005), "Supply Chain Planning", *Lecture Notes*, Sloan School of Management, MIT.

Gross, D., (1982), "On the Ample Service Assumption of Palm's Theorem in Inventory Modeling", *Management Science*, 28: 1065-1079.

Guide Jr., V.D.R. ve Srivastava, R., (1997), "Repairable Inventory Theory: Models and Applications", *European Journal of Operational Research*, 102: 1-20.

Gyana, R.P. ve Bhaba, R.S., (1999), "Operations Planning in A Supply Chain System with Fixed-Interval Deliveries of Finished Goods to Multiple Customers", *IIE Transactions*, 31: 1075–1082.

Han, C., ve Damrongwongsiri, M., (2005), "Stochastic Modeling of A Two-Echelon Multiple Sourcing Supply Chain System with Genetic Algorithm", *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16(1): 87-108.

Handfield, R.B. ve Bechtel, C., (2002), "The Role of Trust and Relationship Structure in Improving Supply Chain Responsiveness", *Industrial Marketing Management*, 31: 367–382.

Hariga, M., (1998), "A Single-Period, Multi-Echelon Stochastic Model under a Mix of Assemble to Order and Assemble in Advance Policies", *Naval Research Logistics*, 45: 599-614.

Hayashi, Y., Buckley, J.J. ve Czogala, E., (1993), "Fuzzy Neural Network with Fuzzy Signals and Weights," *Int. J. Intell. Syst.*, 8(4): 527–537, 1993.

Hayashi, Y. ve Buckley, J.J., (1994), "Approximations Between Fuzzy Expert Systems and Neural Networks", *Int. J. Approx. Reas.*, 10: 63–73.

Haykin, S., (1999), "Neural Networks: A Comprehensive Foundation", Prentice Hall, 2nd Edition, New Jersey.

Hecht-Nielsen, R., (1990), "Neurocomputing", Addison Wesley.

Hush, D.R. ve Horne, B.G., (1993), "Progress in Supervised Neural Networks", *IEEE Signal Processing Magazine*, 1: 8-39.

Iida, T., (2001), "The Infinite Horizon Non-Stationary Stochastic Multi-Echelon Inventory Problem and Near-Myopic Policies", *European Journal of Operational Research*, 134: 525-539.

Ishibuchi, H., Okada, H., Fujioka, R. ve Tanaka, H., (1993), "Neural Networks That Learn from Fuzzy If-Then Rules", *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, FS-1 (2): 85-89.

Ishibuchi, H., Kwon, K. ve Tanaka, H., (1995), "A Learning Algorithm of Fuzzy Neural Networks with Triangular Fuzzy Weights", *Fuzzy Sets and Systems*, 71: 277-293.

- Ishibuchi, H., Nii, M. ve Turksen, I.B., (1998), "Bidirectional Bridge Between Neural Networks and Linguistic Knowledge: Linguistic Rule Extraction and Learning from Linguistic Rules," in Proc. IEEE Int. Conf. Fuzzy Syst. FUZZ-IEEE'98, Anchorage, 1112–1117.
- Jalbar, B.A., Gutierrez, J.M. ve Sicilia, J. (2005a), "Single Cycle Policies for the One-Warehouse N-Retailer Inventory/Distribution System", Corrected Proof, Omega.
- Jalbar, B.A., Gutierrez, J.M. ve Sicilia, J. (2005, b), "Integer-Ratio Policies for Distribution/Inventory Systems", Int. J. Production Economics, 93–94: 407–415.
- Jang, J.-S.R., (1992), "Fuzzy Controller Design without Domain Expert", In: IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 289-296.
- Jang, J.-S.R., (1993), "ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System", IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics, 23 (3): 665–685.
- Jang, J.-S.R. ve Sun, C.T., (1993), "Functional Equivalence Between Radial Basis Function Networks and Fuzzy Inference Systems," IEEE Trans. Neural Networks, 4: 156–159, 1993.
- Johansen, S.G., (2005), "Base-Stock Policies for the Lost Sales Inventory System With Poisson Demand and Erlangian Lead Times", Int. J. Production Economics, 93–94: 429–437.
- Kalchschmidt, M., Zotteri, G. ve Verganti, R., (2003), "Inventory Management in a Multi-Echelon Spare Parts Supply Chain", Int. J. Production Economics, 81–82: 397–413.
- Kennedy, W.J., Patterson, J.W. ve Fredendall, L.D., (2002), "An Overview of Recent Literature on Spare Parts Inventories", Int. J. Production Economics, 76: 201–215.
- Kiesmüller, G.P., de Kok, T.G., Smits, S.R. ve van Laarhoven, P.J.M., (2004), "Evaluation of Divergent N-Echelon (s,nQ)-Policies under Compound Renewal Demand", OR Spectrum, 26: 547-577.
- Kim, S.L. ve Ha, D., (1997), "Implementation of JIT Purchasing: An Integrated Approach", Production Planning and Control, 2: 152–157.
- Koçel, T., (1983), "Yönetim Kavram ve Teknikleri", Uluslararası Eğitim Müdürlüğü Yayınları, İstanbul.
- Korugan, A. ve Gupta, S.M., (1998), "A Multi-Echelon Inventory System with Returns", Computers ind. Engng, 35(1-2): 145-148.
- Köchel, P., ve Nielander, U., (2005), "Simulation-Based Optimisation of Multi-Echelon Inventory Systems", Int. J. Production Economics, 93–94: 505–513.
- Kuo, R.J. ve Cohen, P.H., (1998), "Manufacturing Process Control through Integration of Neural Networks and Fuzzy Model", Fuzzy Sets and Systems, 98 (1): 15-31.
- Kuo, R.J. ve Xue, K.C., (1998a), "A Decision Support System for Sales Forecasting through Fuzzy Neural Network with Asymmetric Fuzzy Weights", Decision Support Systems, 24 (2): 105-126.
- Kuo, R.J. ve Xue, K.C., (1998b), "An Intelligent Sales Forecasting System through Integration of Artificial Neural Network and Fuzzy Neural Network", Computers in Industry, 37: 1-15.
- Kuo, R.J. ve Cohen, P.H., (1999), "Integration of RBF Network and Fuzzy Neural Network for Tool Wear Estimation", Neural Networks, 12 (2): 355-370.

- 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.
- Lau, A.H.L. ve Lau, H.-S., (2003), "Effects of A Demand-Curve's Shape on the Optimal Solutions of A Multi-Echelon Inventory/Pricing Model", *European Journal of Operational Research*, 147: 530-548.
- Lee, H.L., (1987), "A Multi-Echelon Inventory Model for Repairable Items with Emergency Lateral Shipments", *Management Science*, 33: 1302-1316.
- Lee, C.C., (1990), "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller - Parts I and II", *IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics*, SMC-20 (2): 404-435.
- Li, H., Chen, C.L.P. ve Huang, H.-P., (2001), "Fuzzy Neural Intelligent Systems: Mathematical Foundation and the Applications in Engineering", CRC Press LLC, USA.
- Liang, W.-Y. ve Huang, C.C., (2005), "Agent-Based Demand Forecast in Multi-Echelon Supply Chain", *Corrected Proof, Decision Support Systems*.
- Liberopoulos, G., ve Koukoumialos, S., (2005), "Tradeoffs Between Base Stock Levels, Numbers of Kanbans, and Planned Supply Lead Times in Production/Inventory Systems With Advance Demand Information", *Corrected Proof, Int. J. Production Economics*.
- Lin, C.T. ve Lee, C.S.G., (1991), "Neural-Network-Based Fuzzy Logic Control and Decision System", *IEEE Transactions on Computer*, C-40 (12): 1320-1336.
- Lin, C.T. ve Lu, Y.C., (1994), "A Neural Fuzzy System with Linguistic Teaching Signals", *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 3(2): 169-189.
- Lin, C.T., (1995), "A Neural Fuzzy Control System with Structure and Parameter Learning", *Fuzzy Sets and Systems*, 70: 183-212.
- Lippmann, R.P., (1987), "An Introduction to Computing with Neural Nets", *IEEE ASSP Magazine*, 4: 4-22.
- Martel, A., (2003), "Policies for Multi-Echelon Supply; DRP Systems with Probabilistic Time-Varying Demands", *INFOR* 41(1), *ABI/INFORM Global*: 71.
- Minner, S., (2003), "Multiple-Supplier Inventory Models in Supply Chain Management: A Review", *Int. J. Production Economics*, 81-82: 265-279.
- Minner, S., Diks, E.B. ve de Kok, A.G., (2003), "A Two-Echelon Inventory System with Supply Lead Time Flexibility", *IIE Transactions*, 35: 117-129.
- Mitra, S. ve Pal, S.K., (1995), "Fuzzy Multilayer Perceptron, Inferencing and Rule Generation," *IEEE Trans. Neural Networks*, 6: 51-63.
- Mitra, S. ve Hayashi, Y., (2000), "Neuro-Fuzzy Rule Generation: Survey in Soft Computing Framework", *IEEE Transactions on Neural Networks*, 11(3): 748-768.
- Mitra, S. ve Chatterjee, A.K., (2004a), "Echelon Stock Based Continuous Review (R;Q) Policy for Fast Moving Items", *Omega*, 32: 161 - 166.
- Mitra, S. ve Chatterjee, A.K., (2004b), "Leveraging Information in Multi-Echelon Inventory Systems", *European Journal of Operational Research*, 152: 263-280.
- Mitra, S., (2006), "Analysis of A Two-Echelon Inventory System with Returns", *Omega*, In Press, *Corrected Proof*.

- Mohebbi, E. ve Posner, M.J.M., (1998), "Sole Versus Dual Sourcing in a Continuous-Review Inventory System With Lost Sales", *Computers ind. Engng*, 34(2): 321-336.
- Moinzadeh, K. ve Aggarwal, P.K., (1997), "An Information Based Multiechelon Inventory System with Emergency Orders", *Operations Research*, 45(5): 694.
- Moinzadeh, K., (2002), "A Multiechelon Inventory System with Information Exchange", *Management Science*, 48(3): 414.
- Muckstadt, J.A., (1973), "A Model for A Multi-Item, Multi-Echelon, Multi-Indenture Inventory System", *Management Science*, 20: 472-481.
- Muckstadt, J.A., (1978), "Some Approximations in Multi-Item, Multi-Echelon Inventory Systems for Recoverable Items", *Naval Research Logistics Quarterly*, 25: 377-394.
- Muckstadt, J.A., (1979), "A Three-Echelon, Multi-Item Model for Recoverable Items", *Naval Research Logistics Quarterly*, 26: 199-221.
- Nakayama, S., Horikawa, S., Furuhashi, T. ve Uchikawa, Y., (1992), "Knowledge Acquisition of Strategy and Tactics Using Fuzzy Neural Networks", In: *Proceedings of the IJCNN'92*, II-751-II-756.
- Nassimbeni, G. ve Battain, F., (2003), "Evaluation of Supplier Contribution to Product Development: Fuzzy and Neuro-Fuzzy Based Approaches", *Int. j. prod. res.*, 41(13): 2933-2956.
- Nauck, D., Nauck, U. ve Kruse, R., (1996), "Generating Classification Rules with the Neuro-Fuzzy System NEFCLASS", *Biennial Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society NAFIPS'96*, Berkeley.
- Nauck, D. ve Kruse, R., (1997), "A Neuro-Fuzzy Method to Learn Fuzzy Classification Rules from Data", *Fuzzy Sets and Systems*, 89: 277-288.
- Naylor, J.B., Naim, M.M. ve Berry, D., (1999), "Leagility: Integrating the Lean and Agile Manufacturing Paradigms in the Total Supply Chain", *International Journal of Production Economics*, 62: 107-118.
- New, S.J., (1996), "A Framework for Analysing Supply Chain Improvement", *International Journal of Operations & Production Management*, 16 (4): 19-34.
- Ng, W.K., Piplani, R. ve Viswanathan, S., (2003), "Simulation Workbench for Analysing Multi-Echelon Supply Chains", *Integrated Manufacturing Systems*, 14(5): 449.
- Nozick, L.K. ve Turnquist, M.A., (2001), "A Two Echelon Inventory Allocation and Distribution Center Location Analysis", *Transportation Research Part E*, 37: 425-441.
- Nyguen, D. ve Widrow, B., (1990), "Improving the Learning Speed of 2-Layer Neural Networks by Choosing Initial Values of the Adaptive Weights", *International Joint Conference of Neural Networks*, 3: 21-26.
- Oh, S.-K., Pedrycz, W., Park, H.-S., (2003), "Hybrid Identification in Fuzzy-Neural Networks", *Fuzzy Sets and Systems*, 138: 399-426.
- Önder, E.M. ve Kaynak, O., (2000), *Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları*, Boğaziçi University Printhouse, İstanbul.
- Özçalık, H.R. ve Uygur, A.F., (2003), "Dinamik Sistemlerin Uyumlu Sinirsel-Bulanık Ağ Yapısına Dayalı Etkin Modellenmesi", *KSU Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(1): 36-46.
- Öztemel, E., (1996), "Bilgisayarda Öğrenme ve Yapay Sinir Ağları", *Otomasyon*, 3: 134-140.

- Pal, S.K. ve Mitra, S., (1992), "Multilayer Perceptron, Fuzzy Sets and Classification," IEEE Trans. Neural Networks, 3: 683–697, 1992.
- Pal, S.K. ve Ghosh, A., (1996), "Neuro-Fuzzy Computing for Image Processing and Pattern Recognition," Int. J. Syst. Sci., 27: 1179–1193.
- Palancıoğlu, H.M. ve Beşdok, E., (2003), "Hareketli Objelerin Ulaşım Ağlarındaki Hareketlerinin Bulanık Mantık Metotları ile Modellenmesi", Birinci Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu: 54.
- Pankaj, M. ve Benjamin, W.W., (1992), "Artificial Neural Networks Concepts and Theory", IEEE Computer Society Press, Washington: 45.
- Parker, R.P. ve Kapuscinski, R., (2004), "Optimal Policies for a Capacitated Two-Echelon Inventory System", Operations Research, 52(5): 739.
- Parlos, A.G., Chong, K.T. ve Atiya, A.F., (1994), "Application of the Recurrent Multilayer Perceptron in Modelling Complex Process Dynamics", IEEE Trans. Neural Networks, 5(2): 255-266.
- Persson, F. ve Araldi, M., (2007), "The Development of A Dynamic Supply Chain Analysis Tool-Integration of SCOR and Discrete Event Simulation", International Journal of Production Economics, In Press.
- Petrovic, D., Roy, R. ve Petrovic, R., (1999), "Supply Chain Modelling Using Fuzzy Sets", International Journal of Production Economics, 59: 443–453.
- Power, D., (2005), "Supply Chain Management Integration and Implementation: A Literature Review", Supply Chain Management: An International Journal, 10(4): 252-263.
- Pyke, D.F., (1990), "Priority Repair and Dispatch Policies for Repairable-Item Logistics Systems", Naval Res Logist, 37: 1–30.
- Pyke, D.F. ve Cohen, M.A., (1993), "Performance Characteristics of Stochastic Integrated Production–Distribution System", European Journal of Operational Research, 68: 23–48.
- Ragatz, G.L., Handfield, R.B. ve Petersen, K.J., (2002), "Benefits Associated with Supplier Integration into New Product Development under Conditions of Technology Uncertainty", Journal of Business Research, 55: 389–400.
- Rau, H., Wu, M.-Y. ve Wee, H.-M., (2003), "Integrated Inventory Model for Deteriorating Items under A Multi-Echelon Supply Chain Environment", Int. J. Production Economics, 86: 155–168.
- Rossenbloom, B., (2002), "The Ten Deadly Myths of E-Commerce, Business Horizons, 45: 61–66.
- Routroy, S. ve Kodali, R., (2005), "Differential Evolution Algorithm for Supply Chain Inventory Planning", Journal of Manufacturing Technology Management, 16(1): 7-17.
- Rumelhart, D.E. ve McClelland, J.L., (1986), "Parallel Distributed Processing: Explorations in Microstructure of Cognition", MIT Press.
- Rustenburger, W.D., van Houtum, G.J. ve Zijm, W.H.M., (2001), "Spare Parts Management at Complex Technology-Based Organizations: An Agenda for Research", International Journal of Production Economics, 71(1-3): 177-193.
- Seifbarghy, M., ve Jokar, M.R.A., (2005), "Cost Evaluation of A Two-Echelon Inventory System with Lost Sales and Approximately Poisson Demand", Corrected Proof, Int. J. Production Economics.

- Seferlis, P. ve Giannelos, G.F., (2004), "A Two-Layered Optimisation-Based Control Strategy for Multi-Echelon Supply Chain Networks", *Computers and Chemical Engineering*, 28: 799–809.
- Shanker, K., (1981), "Exact Analysis of A Two-Echelon Inventory System for Recoverable Items under Batch Inspection Policy", *Naval Res. Logist. Quart.*, 28: 579-601.
- Sherbrooke, C.C., (1968), "Metric: A Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control", *Operations Research*, 16: 122–141.
- Sherbrooke, C.C., (1986), "VARI-METRIC: Improved Approximations for Multi-Indenture, Multi-Echelon Availability Models", *Operations Research*, 34: 311-319.
- Sherbrooke, C.C., (1992), *Optimal Inventory Modeling of Systems-Multi-Echelon Techniques*, John Wiley & Sons, Inc., USA.
- 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.
- Shibata, T., Fukuda, T., Kosuge, K. ve Arai, F., (1992), "Skill Based Control by Using Fuzzy Neural Network for Hierarchical Intelligent Control", In: *Proceedings of the IJCNN'92*, II-81-II-86.
- Silver, E.A., (1972), "Inventory Allocation Among An Assembly and Its Repairable Subassemblies", *Naval Research Logistics Quarterly*, 19: 261-280.
- Simchi-Lev, D., Kaminsky, P. and Simchi-Lev, E., (2000), *Designing and Managing the Supply Chain*, Irwin McGraw-Hill, Boston, MA.
- Simon, R. M., (1971), "Stationary Properties of A Two-Echelon Inventory Model for Low Demand Items", *Oper. Res.*, 19: 761-777.
- Simpson, P.K., (1990), "Artificial Neural Systems", Pergamon Press.
- Slay, F.M., (1984), "VARI-METRIC: An Approach to Modelling Multi-Echelon Resupply When the Demand Process is Poisson with A Gamma Prior", Report AF301-3, Logistics Management Institute, Washington, DC.
- Sleptchenko, A., van der Heijden, M.C. ve van Harten, A., (2002), "Effects of Finite Repair Capacity in Multi-Echelon, Multi-Indenture Service Part Supply Systems", *Int. J. Production Economics*, 79: 209–230.
- Sleptchenko, A., van der Heijden, M.C. ve van Harten, A., (2003), "Trade-off Between Inventory and Repair Capacity in Spare Part Networks", *Journal of the Operational Research Society*, 54: 263–272.
- Sleptchenko, A., van der Heijden, M.C. ve van Harten, A., (2005), "Using Repair Priorities to Reduce Stock Investment in Spare Part Networks", *European Journal of Operational Research*, 163: 733–750.
- So, K.C. ve Zheng, X., (2003), "Impact of Supplier's Lead-Time and Forecast Demand Updating on Retailer's Order Quantity Variability in a Two-Level Supply Chain", *Int. J. Production Economics*, 86: 169–179.
- Stevens, G.C., (1989), "Integrating the Supply Chain", *International Journal of Physical Distribution & Material Management*, 19 (8): 3–8.
- Stump, R.L., Athaide, G.A. ve Joshi, A.W., (2002), "Managing Seller–Buyer New Product Development Relationships for Customized Products: A Contingency Model Based on

- Transaction Cost Analysis and Empirical Test”, *The Journal of Product Innovation Management*, 19: 439–454.
- Sugeno, M. ve Kang, G.T., (1988), “Structure Identification of Fuzzy Model”, *Fuzzy Sets and Systems*, 28: 15-33.
- Svoronos, A. ve Zipkin, P., (1991), “Evaluation of the One-for-One Replenishment Policies for Multi-Echelon Inventory Systems”, *Management Sci.*, 37: 68-83.
- Takagi, T. ve Hayashi, I., (1991), “NN-Driven Fuzzy Reasoning”, *International Journal of Approximate Reasoning*, 5: 191-212.
- Tan, K.C., (2001), “A Framework of Supply Chain Management Literature”, *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 7: 39–48.
- Tanaka, K. ve Sugeno, M., (1992). *Stability Analysis and Design of Fuzzy Control Systems*, *Fuzzy Sets and Systems*, 45(2): 135–156.
- Tang, O., ve Grubbström, R.W., (2003), “The Detailed Coordination Problem in a Two-Level Assembly System With Stochastic Lead Times”, *Int. J. Production Economics*, 81–82: 415–429.
- Taskin, A. ve Guneri, A.F., (2006), “Economic Analysis of Risky Projects by ANNs”, *Applied Mathematics and Computation*, 175(1): 171-181.
- Taşkın, A., (2003), “Sonlu Kapasite Planlamada Yapay Sinir Ağlarının Kullanımına Yönelik Bir Model Tasarımı”, *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Tayur, S., Ganeshan, R. ve Magazine, M., (1999), *Quantitative Models for Supply Chain Management*, Kluwer Academic Publishers, USA, Second Printing.
- Tee, Y.S., ve Rossetti, M.D., (2002), “A Robustness Study of A Multi-Echelon Inventory Model via Simulation”, *Int. J. Production Economics*, 80: 265–277.
- Thomas, D.J. and Griffin, P.M., (1996), “Coordinated Supply Chain Management”, *European Journal of Operational Research*, 94: 1-15.
- Towill, D.R., (1996), “Industrial Dynamics Modeling of Supply Chains”, *Logistics Information Management*, 9: 43–56.
- Trent, R.J. ve Monczka, R.M., (1998), “Purchasing and Supply Management: Trends and Changes throughout the 1990s”, *International Journal of Purchasing and Materials Management Fall*, 2–11.
- Tzafestas, S. ve Kapsiotis, G., (1994), “Coordinated Control of Manufacturing Supply Chain System Using Multi-Level Techniques”, *Computer Integrated Manufacturing System*, 7: 206–212.
- van der Heijden, M.C., (1999), “Multi-Echelon Inventory Control in Divergent Systems with Shipping Frequencies”, *European Journal of Operational Research*, 116: 331-351.
- van der Heijden, M.C., Diks, E. and de Kok, T., (1999), “Inventory Control in Multi-Echelon Divergent Systems with Random Lead Times”, *OR Spectrum*, 21: 331-359.
- van der Vaart, T. ve van Donk, D.P., (2004), “Buyer Focus: Evaluation of A New Concept for Supply Chain Integration”, *Int. J. Production Economics*, 92: 21–30.
- Van der Vlist, P., Hoppenbrouwers, J.J.E.M. ve Hegge, M.M.H., (1997), “Extending the Enterprise through Multi-Level Supply Control”, *International Journal of Production Economics*, 53: 35–42.

- van der Vorst, J.G.A.J., Beulens, A.J.M. ve van Beek, P., (2000), "Modelling and Simulating Multi-Echelon Food Systems", *European Journal of Operational Research*, 122: 354-366.
- 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.
- Verrijdt, J.H.C.M. ve de Kok, A.G., (1996), "Distribution Planning for A Divergent Depotless Two-Echelon Network under Service Constraints", *European Journal of Operational Research*, 89: 341-354.
- Wang, L.-X. ve Mendel, J.M., (1992), "Back-Propagation Fuzzy System as Nonlinear Dynamic System Identifiers", *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 1409-1418.
- Wang, L.X. (1997), "Modeling and Control of Hierarchical Systems with Fuzzy Systems", *Automatica*, 33(6): 1041-1053.
- Wang, K., (1999), "The Power of Coordinated Decisions for Shortlife-Cycle Products in A Manufacturing and Distribution Supply Chain", *IIE Transactions*, 31: 1037–1049.
- Wang, Y., Cohen, M.A. ve Zehng, Y.-S., (2000), "A Two-Echelon Repairable Inventory System with Stocking-Center-Dependent Depot Replenishment Lead Times", *Management Science*, 46(11): 1441-1453.
- Wang, G., Huang, S.H. ve Dismukes, J.P., (2004), "Product-Driven Supply Chain Selection Using Integrated Multi-Criteria Decision-Making Methodology", *International Journal of Production Economics*, 91(1): 1-15
- Yang, P.C. ve Wee, H.M., (2000), "Economic Order Policy of Deteriorated Item for Vendor and Buyer: An Integrated Approach", *Production Planning and Control*, 11: 474–480.
- Yıldırım, Y. ve Bayramoğlu, M., (2004), "Anfis Neuro-Fuzzy Yontemi ile Havadaki SO₂ Konsantrasyonunun Modellenmesi ve Tahmini", 1. Ulusal Çevre Kongresi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- Yoo, Y.-J., Kim, W.-S. ve Rhee, J.T., (1997), "Efficient Inventory Management in Multi-Echelon Distribution Systems", *Computers ind. Engng*, 33(3-4): 729-732.
- Zadeh, L.A., (1965), "Fuzzy Sets", *Information and Control*, 8: 338-353.
- Zadeh, L.A. (1989), "Knowledge Representation in Fuzzy Logic", *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 1: 89-100.
- Zurada, J.M., (1992), "Introduction to Artificial Neural Systems", West Publishing, USA.

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] <http://www.supply-chain.org>

EKLER

- Ek 1 Talep tahminine yönelik sinirsel-bulanık hesaplama için geliştirilen bulanık sonuç çıkarma sistemi programı
- Ek 2 Temin süresi tahminine yönelik sinirsel-bulanık hesaplama için geliştirilen bulanık sonuç çıkarma sistemi programı
- Ek 3 Modelin simülasyonuna ilişkin yapay sinir ağları ile geliştirilen programın ağırlıkları
- Ek 4 Modelin simülasyonuna ilişkin yapay sinir ağları ile geliştirilen programın eşik değerleri

Ek 1 Talep tahminine yönelik sinirsel-bulanık hesaplama için geliştirilen bulanık sonuç çıkarma sistemi programı

```
[System]
Name='Talep Tahmini'
Type='sugeno'
Version=2.0
NumInputs=4
NumOutputs=1
NumRules=13
AndMethod='prod'
OrMethod='probor'
ImpMethod='prod'
AggMethod='sum'
DefuzzMethod='wtaver'
```

```
[Input1]
Name='BrmFyt'
Range=[0 1.4]
NumMFs=3
MF1='dusuk':trimf,[0 0.5 1]
MF2='normal':trimf,[0.95 1.25 1.3]
MF3='yuksek':trimf,[1.25 1.35 1.4]
```

```
[Input2]
Name='Bulunurluk'
Range=[0 10]
NumMFs=3
MF1='dusuk':trimf,[0 2 4]
MF2='normal':trimf,[3 6 7]
MF3='yuksek':trimf,[6 8 10]
```

```
[Input3]
Name='MkrnTalebi'
Range=[0 5000]
NumMFs=3
MF1='dusuk':trimf,[0 250 500]
MF2='normal':trimf,[400 1500 2500]
MF3='yuksek':trimf,[2400 3500 5000]
```

```
[Input4]
Name='Tazelik'
Range=[0 10]
NumMFs=2
MF1='dusuk':trimf,[0 2 4]
MF2='yuksek':trimf,[3 7 10]
```

```
[Output1]
Name='KtcpTalebi'
Range=[0 1]
NumMFs=6
MF1='çok_düşük': 'constant', [1200]
MF2='düşük': 'constant', [3600]
MF3='normal': 'constant', [4800]
MF4='normal_üzeri': 'constant', [5200]
MF5='yüksek': 'constant', [5600]
MF6='çok_yüksek': 'constant', [6000]
```

```
[Rules]
1 3 3 2, 6 (1) : 2
1 2 3 2, 5 (1) : 1
1 2 2 2, 4 (1) : 1
1 2 2 1, 3 (1) : 1
3 1 1 1, 1 (1) : 2
3 2 1 1, 2 (1) : 1
3 3 3 2, 3 (1) : 1
1 1 1 1, 2 (1) : 1
1 3 3 1, 2 (1) : 1
2 2 2 2, 4 (1) : 1
1 3 2 2, 5 (1) : 1
3 2 1 1, 1 (1) : 1
3 1 2 1, 1 (1) : 1
```

Ek 2 Temin süresi tahminine yönelik sinirsel-bulanık hesaplama için geliştirilen bulanık sonuç çıkarma sistemi programı

```
[System]
Name='TeminSuresiTahmini'
Type='sugeno'
Version=2.0
NumInputs=3
NumOutputs=1
NumRules=13
AndMethod='prod'
OrMethod='probor'
ImpMethod='prod'
AggMethod='sum'
DefuzzMethod='wtaver'

[Input1]
Name='TalebinAciliyeti'
Range=[0 10]
NumMFs=3
MF1='Düşük': 'trimf',[0 2 4]
MF2='Orta': 'trimf',[3 6 7]
MF3='Yüksek': 'trimf',[6 8 10]

[Input2]
Name='ÜrününDepodakiMiktari'
Range=[0 10]
NumMFs=2
MF1='Düşük': 'trimf',[0 2 4]
MF2='Yüksek': 'trimf',[3 7 10]

[Input3]
Name='Talep'
Range=[0 6000]
NumMFs=3
MF1='Düşük': 'trimf',[0 600 1200]
MF2='Normal': 'trimf',[1000 2400 3600]
MF3='Yüksek': 'trimf',[3400 4800 6000]

[Output1]
Name='TeminSuresi'
Range=[0 1]
NumMFs=4
MF1='Kısa': 'constant',[1.5]
MF2='Normal': 'constant',[4]
MF3='Uzun': 'constant',[7]
MF4='ÇokUzun': 'constant',[12]
```

[Rules]

3 2 1, 1 (1) : 1

2 2 2, 2 (1) : 1

1 1 2, 3 (1) : 1

1 1 3, 4 (1) : 1

3 0 0, 1 (1) : 1

2 0 0, 2 (1) : 1

1 0 0, 3 (1) : 1

0 1 0, 3 (1) : 1

0 2 0, 2 (1) : 1

0 0 1, 1 (1) : 1

0 0 3, 3 (1) : 1

0 0 3, 3 (1) : 1

1 2 3, 4 (1) : 1

Ek 3 Modelin simülasyonuna ilişkin yapay sinir ağı ile geliştirilen programının ağırlıkları

Giriş katmanı ağırlık değerleri

Sütun 1

1.054593392667912e-001
1.804944330377204e-001
2.189069599853540e-001
-2.123975045667273e-001
4.206045436224958e-002
5.346857438998672e-002
1.152733130700997e-001
3.178599755128866e-001
-7.427448485728422e-002
1.820802491012155e-001
-2.997241650831174e-001
1.146195124895669e-001
4.740220713812080e+000
1.276422551775911e+001
8.887196735754712e+000

Sütun 2

1.042077960531556e-001
1.772497191805566e-001
2.192051190722556e-001
-2.090601305896739e-001
4.260096466086609e-002
4.977926206112397e-002
1.176649298104443e-001
3.198663286154601e-001
-7.150726816520901e-002
1.840482004056695e-001
-3.006328958588281e-001
1.164775376843437e-001
1.206540185809510e+001
2.078555049718375e+001
1.655756920566414e+001

Sütun 3

1.068293123272668e-001
1.789785231765743e-001
2.183098905683965e-001
-2.094649912046762e-001
3.975002203140642e-002
5.349187747511511e-002
1.154864239034661e-001
3.166736352582946e-001
-7.190139267626516e-002
1.803282549219097e-001
-3.020024666668533e-001
1.140021765040569e-001
9.004697143732260e+000

-4.170299419470418e+001
1.594395865524296e+001

Sütun 4

7.216131070007974e-002
1.219117755517610e-001
1.508925314203888e-001
-1.404195186062150e-001
2.977917309223955e-002
3.555765365566071e-002
7.618413417685523e-002
2.136618819047973e-001
-4.957441944221935e-002
1.249310694630401e-001
-2.009723759955512e-001
7.246177863302139e-002
9.335667332394609e+000
2.001837532307788e+001
1.352142859114310e+001

Sütun 5

2.950891038149086e-002
4.858901742545944e-002
5.075184027494945e-002
-5.708308008932821e-002
7.516269939260382e-003
1.572531247288917e-002
3.585381015237316e-002
8.168668347928881e-002
-1.745848281069833e-002
5.008863532281999e-002
-7.102495753249855e-002
3.177085755433003e-002
5.475917711464135e+000
7.569959510086755e-002
1.533731287657093e-001

Sütun 6

5.512129291000113e-002
9.345592225996516e-002
1.109302006297324e-001
-1.090099982195654e-001
1.901362094917944e-002
2.320285585760874e-002
5.320281721202945e-002
1.579263979836293e-001
-3.461820984143050e-002
8.709577845691285e-002
-1.477805231016819e-001
6.381834379385490e-002
9.859783757940696e-002
1.241028199424905e-001
-1.432283789515226e+001

Sütun 7

1.158305224042600e-001
1.953522393413819e-001
2.378386982126557e-001
-2.280120823021645e-001
4.396963070623255e-002
5.423577231672409e-002
1.254422891406075e-001
3.433112305490629e-001
-7.672731392828133e-002
1.959972339418104e-001
-3.284866927534803e-001
1.241028199424905e-001
-2.123975045667273e-001
4.206045436224958e-002
2.192051190722556e-001

Sütun 8

8.690108237992604e-002
1.480344832586859e-001
1.850585419889199e-001
-1.758602068243245e-001
3.444360482680290e-002
4.144631198942473e-002
9.525459586681917e-002
2.636248140554842e-001
-5.891775707611249e-002
1.533731287657093e-001
-2.524204613829268e-001
9.859783757940696e-002
4.977926206112397e-002
1.176649298104443e-001
-3.338611469267466e+001

Sütun 9

6.681584730545222e-002
1.181089294312577e-001
1.419289220718434e-001
-1.377163453603876e-001
3.107099096069703e-002
3.136755510404014e-002
7.883641277382009e-002
2.087502093626689e-001
-4.999294633166556e-002
1.186712719171686e-001
-2.032300170722121e-001
7.569959510086755e-002
-1.404195186062150e-001
2.977917309223955e-002
3.555765365566071e-002

Sütun 10

5.043873740089898e+000
8.505121469279711e+000

1.044058703113297e+001
-1.000438595435810e+001
1.962502037389423e+000
2.455845057592671e+000
5.548108361309215e+000
1.512849521269988e+001
-3.446586667142477e+000
8.664745174262654e+000
-1.432283789515226e+001
5.475917711464135e+000
9.345592225996516e-002
1.109302006297324e-001
1.572531247288917e-002

Sütun 11

1.245461179966688e+001
2.100130877692497e+001
2.578048275749062e+001
-2.470335830521315e+001
4.845965431416638e+000
6.064056022810899e+000
1.369970820573148e+001
3.735604811339833e+001
-8.510554699772337e+000
2.139547187261498e+001
-3.536666457535097e+001
1.352142859114310e+001
-8.660270871664787e+000
1.698847196291459e+000
1.953522393413819e-001

Sütun 12

1.843896393699745e+001
3.109228540405232e+001
3.816778242915299e+001
-3.657310499968711e+001
7.174393487928375e+000
8.977788667620725e+000
2.028227366169361e+001
5.530525657682933e+001
-1.259975266292995e+001
3.167578123477577e+001
-5.236000142410090e+001
2.001837532307788e+001
2.136618819047973e-001
-4.957441944221935e-002
5.742481603609476e+001

Sütun 13

1.468599991728371e+001
2.476394555002157e+001
3.039935414472771e+001
-2.912925967199215e+001
5.714147910197341e+000

7.150518279438706e+000
1.615414175926457e+001
4.404880032379397e+001
-1.003529087891299e+001
2.522871848830771e+001
-4.170299419470418e+001
1.594395865524296e+001
1.203992861607569e-001
-1.980239413578600e-001
7.515100172679858e-002

Sütun 14

8.599103489586671e+000
1.450005279037710e+001
1.779975749836084e+001
-1.705608539706094e+001
3.345802394174803e+000
4.186837140262325e+000
9.458760991353056e+000
2.579193293781244e+001
-5.875985755966408e+000
1.477220145350675e+001
-2.441838422973911e+001
9.335667332394609e+000
1.783194235911033e-001
2.207872057711158e-001
-2.097918362548992e-001

Sütun 15

8.294250198756751e+000
1.398598585936564e+001
1.716869780478713e+001
-1.645139004289076e+001
3.227182070046174e+000
4.038410793866267e+000
9.123418130433235e+000
2.487751962600617e+001
-5.667632302343933e+000
1.424844922284231e+001
-2.355267421237935e+001
9.004697143732260e+000
1.034960483358703e+000
-2.955792524872703e+000
1.966494179865245e+000

Sütun 16

1.525121685977475e+001
2.571697822632175e+001
3.156926982915129e+001
-3.025032389081312e+001
5.934063979663105e+000
7.425693355346591e+000
1.677585537537020e+001
4.574403180751862e+001

-1.042151450907239e+001
2.619961973980615e+001
-4.330795854677992e+001
1.655756920566414e+001
4.207921985089231e+000
4.338232087279852e+000
-1.477805231016819e-001

Sütun 17

1.914563264127576e+001
3.228385270277999e+001
3.963053701857809e+001
-3.797475578790986e+001
7.449322654528108e+000
9.321878137880724e+000
2.105958410569750e+001
5.742481603609476e+001
-1.308265111087883e+001
3.288975244795155e+001
-5.436666985448265e+001
2.078555049718375e+001
1.840482004056695e-001
-3.006328958588281e-001
2.462963726320018e+000

Sütun 18

1.111345629197298e+001
1.873982127668330e+001
2.300432045484610e+001
-2.204319103518248e+001
4.324131245215662e+000
5.411042451712454e+000
1.222445753987240e+001
3.333339532490950e+001
-7.594071958014803e+000
1.909152451971025e+001
-3.155823317562003e+001
1.206540185809510e+001
-2.032300170722121e-001
7.569959510086755e-002
-1.404195186062150e-001

Sütun 19

8.186020221244288e+000
1.380349500158942e+001
1.694465968529216e+001
-1.623671198652902e+001
3.185071264686705e+000
3.985698429282500e+000
9.004346142191102e+000
2.455289493449438e+001
-5.593695697864257e+000
1.406255121930296e+001
-2.324534906748719e+001

8.887196735754712e+000
-2.176710668898216e+004
-1.758602068243245e-001
3.444360482680290e-002

Sütun 20

1.175717106697298e+001
1.982523414491291e+001
2.433676052035106e+001
-2.331996014691948e+001
4.574559216185733e+000
5.724478572416043e+000
1.293250345628787e+001
3.526409187875780e+001
-8.033950648096194e+000
2.019730269084673e+001
-3.338611469267466e+001
1.276422551775911e+001
-3.375341188067687e+000
7.589456741794430e+004
-1.705608539706094e+001

Sütun 21

4.366246244762555e+000
7.362451812852870e+000
9.037893130309769e+000
-8.660270871664787e+000
1.698847196291459e+000
2.125885235677776e+000
4.802698955100652e+000
1.309592124109949e+001
-2.983556896551167e+000
7.500612386982639e+000
-1.239853220766759e+001
4.740220713812080e+000
1.044058703113297e+001
-1.000438595435810e+001
1.962502037389423e+000

Gizli katman ağırlık değerleri

Sütun 1

-1.089600859497968e+000
-2.826688673477564e+000
-4.282531400252069e+000
-3.570139052229757e+000
1.929295538471337e+000
-2.857868836419725e+000
-2.331996014691948e+001
4.574559216185733e+000
5.724478572416043e+000
5.349187747511511e-002
1.154864239034661e-001

3.166736352582946e-001

Sütun 2

1.966494179865245e+000
2.462963726320018e+000
4.399083720355456e+000
4.247490592475202e+000
-1.161885573235546e+000
2.409593387781221e+000
1.152733130700997e-001
3.178599755128866e-001
-7.427448485728422e-002
2.078555049718375e+001
1.840482004056695e-001
-3.006328958588281e-001

Sütun 3

-4.839582525089233e-001
-3.633089870897209e+000
-5.233462352893712e+000
-4.316047079567839e+000
9.537072213339553e-001
-3.106933212340701e+000
1.772497191805566e-001
2.192051190722556e-001
-2.090601305896739e-001
1.309592124109949e+001
-2.983556896551167e+000
7.500612386982639e+000

Sütun 4

-1.396119983039146e+000
-3.082365550981390e+000
-4.226506023723815e+000
-3.646906118541414e+000
1.978860223094130e+000
-3.159562366441878e+000
-1.623671198652902e+001
3.185071264686705e+000
3.985698429282500e+000
3.975002203140642e-002
5.349187747511511e-002
1.154864239034661e-001

Sütun 5

-1.538410702151139e+000
-2.963847171622923e+000
-4.280522676845097e+000
-4.646406967797626e+000
1.224170468212317e+000
-3.169786298215988e+000
-5.708308008932821e-002
7.516269939260382e-003
1.572531247288917e-002
-3.536666457535097e+001

1.352142859114310e+001
-8.660270871664787e+000

Sütun 6

-9.344050881309631e-001
-2.564444428675288e+000
-5.187984064120916e+000
-4.692066738305422e+000
1.034960483358703e+000
-2.955792524872703e+000
-4.957441944221935e-002
1.249310694630401e-001
-2.009723759955512e-001
-4.999294633166556e-002
1.186712719171686e-001
-2.032300170722121e-001

Sütun 7

1.268037938197038e+000
2.921821697424679e+000
4.207921985089231e+000
4.338232087279852e+000
-1.325186654446179e+000
2.217550501792273e+000
1.222445753987240e+001
3.333339532490950e+001
-7.594071958014803e+000
-2.280120823021645e-001
4.396963070623255e-002
5.423577231672409e-002

Sütun 8

-1.508768803120075e+000
-2.181363158179533e+000
-4.840686873096083e+000
-4.913494228217834e+000
1.382073026942670e+000
-2.959111569800984e+000
1.109302006297324e-001
-1.090099982195654e-001
1.901362094917944e-002
1.512849521269988e+001
-3.446586667142477e+000
8.664745174262654e+000

Sütun 9

-1.637064635183730e+000
-3.737957247081448e+000
-4.169550183131234e+000
-4.516783393012937e+000
6.137290964748696e-001
-3.966525508937357e+000
-2.280120823021645e-001
4.396963070623255e-002
5.423577231672409e-002

1.254422891406075e-001
-2.355267421237935e+001
9.004697143732260e+000

Sütun 10

-1.475192129808813e+000
-3.102680310731675e+000
-5.233845665195027e+000
-4.021883524927945e+000
1.883345153101924e+000
-3.776622325570286e+000
1.034960483358703e+000
1.873982127668330e+001
-5.891775707611249e-002
1.533731287657093e-001
-2.524204613829268e-001
9.859783757940696e-002

Sütun 11

-1.302138925652743e+000
-3.375341188067687e+000
-4.179273164047257e+000
-3.875185953815253e+000
1.967758180201114e+000
-2.795281721815684e+000
-4.999294633166556e-002
1.186712719171686e-001
-2.032300170722121e-001
-4.170299419470418e+001
1.594395865524296e+001
1.203992861607569e-001

Sütun 12

1.638059921543979e+000
2.672356003232466e+000
5.293271319766585e+000
3.400559087668646e+000
-1.155156095016369e+000
3.165110495814713e+000
-1.259975266292995e+001
3.167578123477577e+001
-5.236000142410090e+001
-5.875985755966408e+000
1.477220145350675e+001
-2.441838422973911e+001

Sütun 13

1.050753331786117e-001
1.783194235911033e-001
2.207872057711158e-001
-2.097918362548992e-001
4.284714325281178e-002
5.297406128062833e-002
1.165864162422582e-001
3.188523887533616e-001

-7.443080678643507e-002
1.824395976148240e-001
-3.014896304456538e-001
1.171174672165782e-001

Sütun 14

7.320286482171313e-002
1.190883868382528e-001
1.486939324407792e-001
-1.391587970261682e-001
2.456177403093828e-002
3.201782909485730e-002
7.777238591555755e-002
2.085894411910174e-001
-5.031709917166971e-002
1.203992861607569e-001
-1.980239413578600e-001
7.515100172679858e-002

Sütun 15

1.789785231765743e-001
2.183098905683965e-001
-2.094649912046762e-001
3.975002203140642e-002
2.921821697424679e+000
4.207921985089231e+000
4.338232087279852e+000
-1.302138925652743e+000
-3.375341188067687e+000
7.589456741794430e+004
1.929295538471337e+000
-2.857868836419725e+000

Çıkış Katmanı Ağırlık Değerleri

Sütun 1

2.176704114689893e+004
6.023751327133270e+004
8.876654117993271e+004
7.589456741794430e+004
5.220553356381542e+004
-1.291582460261682e-004
2.356276403093828e-004
1.501785709485730e-004
7.976238591554755e-004
2.108854111910174e-004
-4.336709917167972e-004

Sütun 2

-2.176608437250831e+004
-6.023767024713818e+004
-8.876525832798431e+004
-7.589369669932235e+004
-5.220303061097420e+004

-4.456622667142477e+004
4.860742174262654e+004
-1.537783789514226e+004
-5.804643312046762e-004
2.795083773140642e-004
-3.009187646511511e-004

Sütun 3

-2.176492757795055e+004
-6.023264637221074e+004
-8.875972397468102e+004
-7.588799660171632e+004
-3.020075628630790e+004
-5.439462377893712e+004
-4.316047079567839e+004
3.237072265439553e-004
-3.176933202340701e+004
-1.703608539506094e+004
2.305802379174803e+004

Sütun 4

-2.176433058388217e+004
-6.023052248076589e+004
-8.875642225153012e+004
-7.588646135175659e+004
-5.219883765732513e+004
-5.170278164047257e+004
-2.076185953815053e+004
1.667758980201114e+004
-2.190281521815684e+004
-1.603608534706094e+004
2.545502794174803e+004

Sütun 5

-2.176721720416895e+004
-6.023838040970949e+004
-8.876396772885619e+004
-7.589394723915334e+004
-5.220309478422269e+004
-2.274640012046762e-004
2.905002773140642e-004
-4.049187647511511e-004
1.457864209034661e-004
1.144736352752946e-004
-7.099139258526516e-004

Sütun 6

-2.176710668898216e+004
-6.023796148195680e+004
-8.876566289902281e+004
-7.589430163879566e+004
-5.220360164972900e+004
-2.977926206112397e-004
1.166543298104443e-004
2.178660086154601e-004

-3.999294633166556e-004
1.086712719171686e-004
-2.077300170722121e-004

Sütun 7

3.975002203140642e-004
2.921821697424679e+004
4.207921985089231e+004
5.220553356381542e+004
2.977917309223955e-004
-4.576494259217834e+004
3.312773026947670e+004
-2.556111589810984e+004
2.169302906207324e-004
-1.990888982195654e-004
2.901562784917944e-004

Sütun 8

-4.999294633166556e-004
1.186712719171686e-004
-2.032300170722121e-004
7.569959510086755e-004
-2.857868836419725e+004
-6.453080670643507e-004
1.024395976148240e-004
-4.013896704456538e-004
2.181174572165782e-004
-4.057441944221935e-004
5.542301603609476e+004

Sütun 9

2.189069599853540e-004
-2.123975045667273e-004
4.206045436224958e-004
1.203992861607569e-004
-1.980239413578600e-004
1.022871877830771e+004
-3.140298819470418e+004
1.504395935524296e+004
1.273955861607569e-004
2.192051190722556e-004
-2.090601305896739e-004

Sütun 10

6.064056022810899e+004
1.369970820573148e+004
3.735604811339833e+004
-8.510554699772337e+004
2.139547187261498e+004
-3.000294633166556e-004
1.186712719171686e-004
-2.062300169022121e-004
5.069959510086755e-004
-1.204195182762150e-004
2.077017309223955e-004

Sütun 11

2.183098905683965e-004
-2.094649912046762e-004
3.975002203140642e-004
-2.097918362548992e-004
4.284714325281178e-004
-4.657310499968711e+004
5.104393487928375e+004
3.779998667620725e+004
1.328007366169361e+004
4.520527857682933e+004
-1.450075266392995e+004

Sütun 12

-4.692066738305422e+004
1.034960483358703e+004
-2.955792524872703e+004
1.966494179865245e+004
2.462963726320018e+004
-1.900437595235810e+004
-1.928702037389423e+004
2.305845057502671e+004
-5.542008361309215e+004
1.322849565569988e+004
-3.226586988142477e+004

Ek 4 Modelin simülasyonuna ilişkin yapay sinir ağıları ile geliştirilen programın eşik değerleri

Giriş Katmanı Eşik Değerleri

-1.094784000404500e+000
-1.321723874361201e+000
8.059333139172392e-001
1.579097016216409e-001
-1.069545276140080e+000
-2.754140289803037e-001
-5.293479837579365e-001
-7.903029886605840e-001
-5.933313534770191e+000
-3.465984805402783e+000
1.106470664236205e+000
-4.070168389098788e+000
1.024395976148240e-004
-1.391587970261682e-001
1.154864239034661e-001

Gizli Katman Eşik Değerleri

5.611001161555358e-001
-3.209975207975048e+000
1.987722793979302e+000
-4.334404464879571e-001
-2.123975045667273e-001
4.206045436224958e-002
4.289702905131505e+001
3.485254544712821e+002
1.406255121930296e+001
-1.624534906748719e+001
6.587103735754712e+000
-3.076710668898216e+000

Çıkış Katmanı Eşik Değerleri

2.176729242560998e+004
6.023830573688910e+004
8.876742363799716e+004
-1.843764653678980e+004
9.861674407582791e-004
-2.755432524872703e+004
-3.053441955221935e-004
1.942310694630401e-004
2.454751962600617e+004
-3.337632302343933e+004
1.724844655384231e+004

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 06.10.1979

Doğum yeri İstanbul

Lise 1993-1997 Fatih Şehremini Süper Lisesi

Lisans 1997-2001 Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü

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

2001-2004 İstanbul Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Anabilim Dalı
İşletme Tezsiz Yüksek Lisans Programı

Doktora 2003-2007 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Müh. Anabilim Dalı
Endüstri Müh. Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2001- Devam ediyor Yıldız Teknik Üniversitesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi