

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ULUSLARARASI DAĞITIM SİSTEMLERİNDE SİPARİŞ İÇİN ÜRETİM VE
İKMAL YAPILARINA İLİŞKİN KAMÇI ETKİSİNİN DİNAMİK
SİMÜLASYON İLE ANALİZİ**

**DOKTORA TEZİ
Burak KANDEMİR**

Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği

Programı : Endüstri Mühendisliği

EYLÜL 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ULUSLARARASI DAĞITIM SİSTEMLERİNDE SİPARİŞ İÇİN ÜRETİM VE
İKMAL YAPILARINA İLİŞKİN KAMÇI ETKİSİNİN DİNAMİK
SİMÜLASYON İLE ANALİZİ**

**DOKTORA TEZİ
Burak KANDEMİR
(507012031)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 Ocak 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Eylül 2009

Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Nahit SERARSLAN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ataç SOYSAL (DOĞUŞ Ü.)
Prof. Dr. Füsun ÜLENGİN (DOĞUŞ Ü.)
Prof. Dr. Haluk ERKUT (İTÜ)
Prof. Dr. Seçkin POLAT (İTÜ)

EYLÜL 2009

*Makul bir adam dünyaya uyum sağlarken, makul olmayan;
dünyayı kendisine adapte etme konusunda ısrar eder.
Bu yüzden bütün ilerleme, makul olmayan adamlara tabidir.
-George Bernard Shaw-*

ÖNSÖZ

Yıllar boyunca benim için önemli boyutlardaki kişisel emeği bu çalışmaya verdiğim için mutlu ve yorgun olduğumu belirtmem gerekir. Bu kişisel emeğe katkıları olan bazı isimleri burada belirtmek ve teşekkürlerimi sunmak da benim için önemli bir görevdir. Bana her zaman destek veren değerli hocam ve tez danışmanım Prof.Dr. M. Nahit Serarşlan başta olmak üzere, tez izleme komitesinde yer alan sayın hocalarım Prof.Dr. Ataç Soysal ve Prof.Dr. Füsun Ülengin; destek ve yönlendirmeleri ile çok yardımcı oldular. Bütün kalbimle kendilerine teşekkür ederim. Bana her türlü çalışma ortamını hazırlayan ve yazdıklarımı tekrar tekrar okuyarak düzeltmeler yapmamı sağlayan eşim Elif'e ne kadar teşekkür etsem yeterli olmayacaktır. Sürekli olarak beni motive eden babama ve anneme bu destekleri için çok teşekkür ederim. Verdiği mutlulukla minik oğlum Demir ise, en büyük teşekkürü hak ediyor.

Eylül 2009

Burak Kandemir
Endüstri Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ.....	1
2. SİSTEM DİNAMİĞİ	5
2.1 Dinamik Sistemler	5
2.1.1 Dinamik sistemlerin sınıflandırılması	5
2.1.1.1 Kesikli ve sürekli sistemler	5
2.1.1.2 Otonom ve otonom olmayan sistemler	5
2.1.1.3 Doğrusal ve doğrusal olmayan sistemler	6
2.1.2 Dinamik sistemlerin sınıflandırılması	6
2.1.3 Dinamik davranışın temel çeşitleri.....	7
2.1.3.1 Eksponansiyel büyüme.....	7
2.1.3.2 Hedef arayışı	8
2.1.3.3 Dalgalanma	8
2.1.4 Temel davranışlar arasındaki ilişkiler ve bu ilişkilerden kaynaklanan davranış şekilleri	8
2.1.4.1 S-biçimli büyüme	8
2.1.4.2 Taşma içeren S-biçimli büyüme.....	9
2.1.4.3 Taşma ve çökme	9
2.1.5 Diğer davranış şekilleri.....	10
2.1.5.1 Statüko	10
2.1.5.2 Rassallık.....	10
2.1.5.3 Kaos.....	10
2.2 Dinamik Sistemlerin Gösterimleri.....	11
2.2.1 Nedensel döngü diyagramları.....	11
2.2.1.1 Çevrim polaritesinin belirlenmesi	11
2.2.1.2 Çevrim polaritesinin matematiği.....	12
2.2.1.3 Diyagramların genel özellikleri.....	12
2.2.2 Seviye ve akış kavramları	13
2.2.2.1 Seviyelerin dinamik sistemlere katkısı ve özeellikleri	13
2.2.2.2 Seviye ve akışların matematiği	14
2.2.3 Durum bazlı sistemler.....	14
2.2.4 Sistemlerin haritalanması	15
2.2.5 Seviye ve akışların dinamikleri	15
2.2.5.1 Statik ve dinamik denge	15
2.2.5.1 Seviye ve akışların matematiksel ilişkileri	15
2.3 Basit Yapıların Dinamikleri	16
2.3.1 Birinci düzen sistemler	16
2.3.2 Pozitif geri besleme ve eksponansiyel büyüme	17

2.3.3 Negatif geri besleme ve eksponansiyel azalma.....	18
2.3.4 Zaman sabitleri ve yarı ömürler.....	19
2.3.5 Çok çevrimli sistemler	20
2.3.6 Doğrusal olmayan birinci düzen sistemler: S-biçimli büyüme	20
2.3.7 S-biçimli büyümenin detaylı incelenmesi.....	21
2.3.7.1 Lojistik büyümesi.....	21
2.3.7.2 Lojistik denkleminin analitik incelemesi	22
2.3.8 Diğer büyüme modelleri	24
2.3.8.1 Richards modeli	24
2.3.8.2 Gompertz eğrisi.....	24
2.3.8.3 Weibull dağılımı	25
2.3.8.4 Epidemik dinamikleri	25
2.3.8.5 İnovasyon dağılımı: Yeni fikir ve ürünlerin modellenmesi	25
2.3.8.6 Bass dağılım modeli.....	26
2.3.8.7 Değişirme amaçlı satınalmalar	27
2.3.9 Verilerin uygunluğu ve model geçerliliği	27
2.4 Gecikmeler	28
2.4.1 Malzeme gecikmeleri	29
2.4.1.1 Boru hattı gecikmesi.....	29
2.4.1.2 Birinci düzen malzeme gecikmeleri	30
2.4.1.3 Yüksek düzen malzeme gecikmeleri	30
2.4.2 Gecikmedeki miktar: Little kuralı	30
2.4.3 Bilgi gecikmeleri.....	31
2.4.3.1 Algıların modellenmesi.....	31
2.4.3.2 Yüksek düzen bilgi gecikmeleri	32
2.4.4 Gecikmelerin matematiği	33
2.4.4.1 Genel formülasyon.....	33
2.4.4.2 Birinci düzen gecikmeler	34
2.4.4.3 Yüksek düzen gecikmeler	36
2.4.4.4 Malzeme ve bilgi gecikmeleri ilişkisi	37
2.5 Simülasyon Denklemleri	37
3. DİNAMİK BİR SİSTEM OLARAK TEDARİK ZİNCİRLERİ VE KAMÇI ETKİSİ...	39
3.1 Üretim Sistemleri	39
3.1.1 Üretim sistemlerinin ürüne uygulanan stok politikasına göre sınıflandırması.....	39
3.1.1.1 Stok için üretim	39
3.1.1.2 Sipariş için üretim.....	39
3.1.1.3 Siparişe göre son işlemler	40
3.1.2 Üretim sistemlerinin yönetimi	40
3.1.3 Üretim planlama ve kontrol	40
3.1.4 Stok yönetimi	41
3.2 Tedarik Zincirleri	42
3.3 Bileşenler ve Yapı.....	44
3.4 Tedarik Zinciri Kararsızlığının Operasyonel ve Davranışsal Nedenleri	46
3.4.1 Stok yönetimi yapısı.....	47
3.4.1.1 Kararlı durum hatası.....	48
3.4.1.2 Dalgalanmaların kaynağı ve tedarik hattı kavramı	48
3.5 Kamçı Etkisi.....	49
3.5.1 Bira oyunu	49
3.5.2 Tedarik zincirlerinde kamçı etkisinin ortaya çıkması.....	50
3.5.3 Kamçı etkisinin yansımaları	51
3.5.4 Kamçı etkisi ve endüstri uygulamaları	53
3.5.4.1 Kamçı etkisine ilişkin saha çalışmalarının incelenmesi.....	54
3.5.5 Kamçı etkisinin nedenleri	56
3.5.5.1 Talep tahminleri	56

3.5.5.2 Sipariş partileme.....	57
3.5.5.3 Fiyat dalgalanmaları	57
3.5.5.4 Miktar belirleme oyunu	58
3.5.5.5 Nedenlerin incelenmesinin gerekliliği.....	58
3.5.6 Kamçı etkisinin ölçülmesi	59
3.5.6.1 Ürün / Distribütör bazlı hesaplama (w_1)	60
3.5.6.2 Ürün bazlı hesaplama (w_2)	60
3.5.6.3 Distribütör bazlı hesaplama (w_3).....	61
3.5.6.4 Aşama bazlı hesaplama (w_4).....	61
3.5.6.5 Diğer hesaplama yöntemleri.....	61
3.5.7 Kamçı maliyeti.....	61
3.6 Tedarik Zinciri Dinamikleri: Kamçının Yapısal Nedenleri	63
3.6.1 Tedarik zinciri yapı ve modelleri	63
3.6.1.1 Üst aşamadan talep yapısı (RUS)	63
3.6.1.2 Stoka ikmal yapısı (OUT).....	64
3.6.1.3 Sınırlandırılmış sistem girdisi (CIS).....	66
3.6.1.4 Basit ikmal yapıları (SRS).....	67
3.6.1.5 Talep paylaşımı koordinasyonu (FDC).....	68
3.6.1.6 İleri tahmin koordinasyonu (AFC)	70
3.6.2 Tedarik zinciri yapılarının karşılaştırılması.....	72
3.7 Sistem Tasarımı ile Sipariş Bazlı Kamçının Kontrolü.....	72
3.7.1 Talep tarafındaki belirsizlik ve ikmal politikası	72
3.7.1.1 Dağıtım yönetiminde belirsizliğin rolü	76
3.7.1.2 Bayi yönetimindeki envanter (VMI)	77
3.7.1.3 Sanal tedarik hatları.....	78
3.7.1.4 Diğer pazarlama ve belirsizlik bazlı çalışmalar.....	80
3.7.2 Gecikmeler ve tedarik zincirlerinde zaman sıkıştırmaları	81
3.7.3 Yalın lojistik anlayışı ve envantere ilişkin dinamik simülasyon	85
3.7.4 Kamçının organizasyonel açıdan incelenmesi.....	86
3.8 Kamçı Azaltımı Paradigmaları	87
3.8.1 Genişletilmiş işletmelerde kamçı	87
3.8.2 Kamçı etkisini ortadan kaldıracak prensipler	87
3.8.2.1 Kontrol sistemleri prensibi	88
3.8.2.2 Zaman sıkıştırmaları prensibi.....	88
3.8.2.3 Enformasyon paylaşımı prensibi.....	88
3.8.2.4 Zincirden aşama eliminasyonu prensibi.....	88
3.8.3 Kamçının analitik olarak ehlileştirilmesi	88
3.8.3.1 Trafik analojisi	89
3.8.3.2 Sipariş politikaları ve envanter kazanımı.....	90
3.8.3.3 Envanter kazanımı ve kamçı etkisi	91
3.8.3.4 Kararsız durumdan kararlı duruma geçiş ve ileri talep bilgisine dayanan politikalar.....	92
3.8.3.5 Potansiyel getiriler ve merkezi olmayan yapılar	93
3.8.4 Kontrol mühendisliği uygulamaları ve bilgi ve iletişim teknolojileri (ICT) ile kamçının dizginlenmesi	94
3.8.4.1 EDI sisteminin kamçı üzerindeki etkisi.....	96
3.8.4.2 Bira oyununun elektronik ortamda oynanması	98
3.9 Tersine Kamçı Etkisi.....	98
3.9.1 Arz ve talep bazlı zincirler	98
3.9.1.1 Yapısal ve davranışsal karakteristikler.....	100
3.9.1.2 Arz bazlı sistemlerin ortak özellikleri	100
3.9.1.3 Arz bazlı sistemlere ilişkin önermeler.....	101
3.9.2 Organizasyon içi yapıların incelenmesi	101
3.9.3 İleri çalışmalar	102

4. BİR SİPARİŞ İÇİN ÜRETİM SİSTEMİNİN DAĞITIM ALANINDA KAMÇI ETKİSİNİN ANALİZİ	103
4.1 Genel Bilgiler	103
4.1.1 Rakamlarla firma bilgileri	103
4.1.1.1 Tarihçe	103
4.1.2 Organizasyon	104
4.1.3 Dağıtım sistemi	105
4.1.3.1 Genel yapı	105
4.1.3.2 Pazar bazlı ayırım	106
4.1.3.3 Ürün bazlı ayırım	106
4.1.3.4 Sektörel bazlı ayırım	107
4.1.4 Proses yapısı	107
4.2 Simülasyon Modeli	108
4.2.1 Modelin yapısı ve bileşenleri	109
4.2.1.1 Seviyeler	109
4.2.1.2 Akışlar	111
4.2.1.3 Değişkenler	111
4.2.2 Parametre değerleri	112
4.2.2.1 Değişkenlere ilişkin parametre değerleri	113
4.2.2.2 Akışlara ilişkin parametre değerleri	114
4.2.2.3 Seviyelere ilişkin parametre değerleri	115
4.2.3 Politika analizi	115
4.2.3.1 Sipariş önceliklendirme bazlı sistem (FCFS)	115
4.2.3.2 Havuz sistemi	117
4.2.3.3 FCFS ve havuz sistemlerinin mukayesesi	119
4.2.4 Parametre analizi	121
4.2.4.1 Üretim belirsizliğinin azaltılması	121
4.2.4.2 Sevkiyat belirsizliğinin azaltılması	126
4.3 Sonuçların Yorumlanması	128
4.3.1 Çalışmanın özeti	128
4.3.2 Sonuç ve öneriler	130
5. ULUSLARARASI TEDARİK ZİNCİRLERİNDE KAMÇI VE STOK PROBLEMİ ÖRNEĞİ – İKMAL POLİTİKASI	133
5.1 Sipariş ve Stok İçin Üretim Sistemlerinin Birarada Bulunduğu Yapılar	133
5.2 Uygulamanın Gerçekleştirildiği Şirkete İlişkin Genel Bilgiler	135
5.2.1 Rakamlarla firma verileri	135
5.2.2 Üretim ve dağıtım merkezleri	135
5.2.3 Tarihçe	135
5.2.4 Ürün gamı	135
5.2.4.1 Temel dayanıklı tüketim malları	136
5.2.4.2 Küçük ev aletleri	136
5.2.4.3 Tüketici elektroniği	136
5.2.4.4 Ankastre ürünler	137
5.2.4.5 Isıtma ve havalandırma ürünleri	137
5.2.4.6 Komponentler	137
5.2.5 Finansal ve üretime ait veriler	137
5.2.6 Uluslararası dağıtım sistemi	139
5.2.6.1 Genel yapı ve organizasyon	139
5.2.6.2 Pazar bazlı ayırım	141
5.2.6.3 Ürün bazlı ayırım	142
5.3 Tedarik Zinciri Yapısı	143
5.3.1 Sipariş yönetimi	143
5.3.2 Tahminleme ve talep planlama	143
5.3.3 Üretim planlama	144
5.3.4 Depo ve depo ağı yönetimi	144

5.3.5 Tedarik zinciri maliyetlendirme	144
5.3.6 ERP entegrasyonu	144
5.3.7 Envanter yönetimi	145
5.3.7.1 Envanter yönetiminde amaçlanan fonksiyonlar	145
5.3.8 Envanter yönetiminin alt prosesleri	145
5.3.8.1 Envanter takibi	145
5.3.8.2 Envanter planlama	146
5.3.8.3 İkmal planlama	146
5.4 İkmal Sisteminin Uygulamaya Alınması Projesi	147
5.4.1 Proje kapsamı ve hedefleri	147
5.4.1.1 Ürün kapsamı	147
5.4.1.2 Pazar ve marka kapsamı	148
5.4.1.3 Proje hedefleri	148
5.4.1.4 Diğer varsayımlar	148
5.4.2 İkmal kapsamına dahil olacak ürünlerin seçimi	148
5.4.2.1 Algoritmanın örnek üzerinde açıklanması	150
5.4.3 İkmal parametrelerinin belirlenmesi	151
5.4.3.1 Güvenlik stok seviyeleri	152
5.4.3.2 Sipariş adetleri ve hedef stoklar	153
5.4.4 Simülasyon modelleri	154
5.4.4.1 Diyagram gösterimi	154
5.4.4.2 Denklemler	156
5.4.4.3 Parametrelerin açıklamaları	157
5.4.5 Simülasyon sonuçları	158
5.4.5.1 Pazar A – ürün grubu 1	158
5.4.5.2 Pazar A – ürün grubu 2	158
5.4.5.3 Pazar A – ürün grubu 3	158
5.4.5.4 Pazar A – ürün grubu 4	158
5.4.5.5 Pazar B – ürün grubu 1	158
5.4.5.6 Pazar B – ürün grubu 2	159
5.4.5.7 Pazar B – ürün grubu 3	159
5.4.5.8 Pazar B – ürün grubu 4	159
5.4.5.9 Pazar C – ürün grubu 2	159
5.4.5.10 Pazar C – ürün grubu 3	159
5.4.5.11 Pazar C – ürün grubu 4	160
5.4.6 Sonuçların genel yorumları	160
5.5 Senaryo Analzi	161
5.5.1 Uzun dönemde sistem davranışı	161
5.5.2 Talebin normal dağıldığı ve 24 aylık periyotta simülasyon	161
5.5.2.1 Pazar A – ürün grubu 1	161
5.5.2.2 Pazar A – ürün grubu 2	162
5.5.2.3 Pazar A – ürün grubu 3	163
5.5.2.4 Pazar A – ürün grubu 4	163
5.5.2.5 Pazar B – ürün grubu 1	163
5.5.2.6 Pazar B – ürün grubu 2	164
5.5.2.7 Pazar B – ürün grubu 3	164
5.5.2.8 Pazar B – ürün grubu 4	164
5.5.2.9 Pazar C – ürün grubu 2	165
5.5.2.10 Pazar C – ürün grubu 3	165
5.5.2.11 Pazar C – ürün grubu 4	165
5.5.3 Konsolide stok değerinin dikkate alınması	166
5.5.4 Kompozit bir model önerisi	168
5.5.5 Performans kriterlerinin değişimi	171
5.5.5.1 Stok*gün sayıları	171
5.5.5.2 Envanter değişkenliği	172

5.5.5.3 Kamçı	173
5.5.5.4 Kayıp satışlar	173
5.6 Sonuç	174
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	177
KAYNAKLAR	181
EKLER	193

KISALTMALAR

CPM	: Kritik Yol Metodu
PERT	: Proje Değerlendirme Ve Gözden Geçirme Tekniği
MRP	: Malzeme Gereksinim Planlaması
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CAM	: Bilgisayar Destekli İmalat
MRP II	: Üretim Kaynakları Planlaması
JIT	: Tam Zamanında Üretim
TQM	: Toplam Kalite Yönetimi
FMS	: Esnek Üretim Sistemleri
OPT	: Optimize Üretim Teknolojisi
CIM	: Bilgisayarla Bütünleşik İmalat
ERP	: Kurumsal Kaynak Planlaması
COMMS	: Müşteri Odaklı Üretim Sistemleri
MES	: Üretim İşletim Sistemi
CNC	: Bilgisayar Sayısal Kontrol
CAE	: Bilgisayar Destekli Mühendislik
CAQ	: Bilgisayar Destekli Kalite
WIP	: Yarı Ürün Stokları
ROL	: Yeniden Sipariş Verme Noktası
EOQ	: Ekonomik Sipariş Miktarı
FIFO (FCFS)	: İlk Giren Servis Edilir
EDI	: Elektronik Veri Değişimi
DRP	: Dağıtım Kaynakları Planlaması
CRP	: Kapasite Gereksinim Planlaması
SCR	: Tedarik Zincirleri Değişim Mühendisliği
VMI	: Bayi Yönetimindeki Envanter
JMI	: Ortak Yönetimli Envanter
CPFR	: Katılımcı Planlama, Tahmin Ve İkmal
CTM	: Katılımcı Nakliye Yönetimi
CRP	: Sürekli İkmal Programı
JITD	: Tam Zamanlı Teslimat
POS	: Satış Noktası
ABC	: Aktivite Tabanlı Maliyetlendirme
LBC	: Lojistik Tabanlı Maliyetlendirme
TSCC	: Toplam Tedarik Zinciri Maliyeti
TOC	: Kısıtlar Teorisi
APS	: İleri Planlama Sistemleri
RUS	: Üst Aşamadan Talep Yapısı
OUT	: Stoka İkmal Yapısı
CSI	: Sınırlandırılmış Sistem Girdisi
SRS	: Basit İkmal Yapıları
FDC	: Talep Paylaşımı Koordinasyonu
AFC	: İleri Tahmin Koordinasyonu
PFA	: Ürün Akışı Analizi
APIOBPCS	: Otomatik Boru Hattı Envanter ve Sipariş Bazlı Üretim Kontrol Sistemleri

ISCM	: Uluslararası Tedarik Zinciri
ADI	: Önceden talep bilgisi
ACT	: Asenkron Hücre Transmisyonu
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
DEA	: Veri Zarflama Analizi
OEM	: Orijinal Ekipman Üreticisi
HVAC	: Havalandırma Ve Soğutma
EFQM	: Avrupa Kalite Başarı Ödülü
TPM	: Toplam Verimli Bakım
PL	: Özel Markalı Ürünler
SKU	: Stok Kodu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Geri besleme yapılarına göre sistemlerin göstereceği temel davranışlar	3
Çizelge 3.1 : Tedarik zinciri yönetimi tanımları	44
Çizelge 3.2 : Kamçı etkisine ait bazı klişeler	52
Çizelge 4.1 : 12 aylık talepler	113
Çizelge 4.2 : Taleplere karşılık gelen kapasite ve üretim programı verileri	113
Çizelge 4.3 : Programlanan ve gerçekleşen üretim miktarları.....	114
Çizelge 4.4 : 12 aylık sevkiyat adetleri	114
Çizelge 4.5 : Simülasyon sonuç özetleri – ortalamalar	129
Çizelge 4.6 : Parametre analizinde sağlanan sistem bazlı iyileştirmeler	129
Çizelge 5.1 : İkmal projesi adımları	147
Çizelge 5.2 : Pazar A için ikmal kapsamı model ve adet sayısı	151
Çizelge 5.3 : Pazar B için ikmal kapsamı model ve adet sayısı	151
Çizelge 5.4 : Pazar C için ikmal kapsamı model ve adet sayısı	151
Çizelge 5.5 : Pazarlara göre sevkiyat süreleri	153
Çizelge 5.6 : Pazarlara göre ürün grubu bazında güvenlik stokları	153
Çizelge 5.7 : Pazarlara göre ürün grubu bazında hedef stoklar	154
Çizelge 5.8 : Sisteme ilişkin performans kriterleri	160
Çizelge 5.9 : Ürün stok*gün sayıları	171
Çizelge 5.10 : Envanter değişkenliği	172
Çizelge 5.11 : Kamçı değerleri	173
Çizelge 5.12 : Kayıp satışlar	174
Çizelge A.1 : Talep değişkenine ilişkin ki-kare testi	193
Çizelge A.2 : Kapasite değişkenine ilişkin ki-kare testi	193
Çizelge A.3 : Programa alınma oranına ilişkin ki-kare testi.....	194
Çizelge A.4 : Üretim gerçekleşme oranına ilişkin ki-kare testi	194
Çizelge A.4 : Sevkiyat trendine ilişkin ki-kare testi.....	195

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Boğa kamçısı.....	3
Şekil 2.1 : Dinamik davranışın temel çeşitleri	7
Şekil 2.2 : Temel davranışlar arasındaki ilişkilerden doğan davranış çeşitleri.....	9
Şekil 2.3 : Sistem Dinamiği modellemesinde kullanılan şekiller	13
Şekil 2.4 : Durum bazlı sistemlerin genel gösterimi	14
Şekil 2.5 : Seviye ve akışlar arasındaki ilişkinin genel gösterimi.....	16
Şekil 2.6 : Pozitif geri beslemeli birinci düzen sistem.....	17
Şekil 2.7 : Negatif doğrusal geri beslemeli birinci düzen sistem.....	18
Şekil 2.8 : Açık hedefli ve negatif doğrusal geri beslemeli birinci düzen sistem	19
Şekil 2.9 : Çok çevrimli doğrusal olmayan birinci düzen sistem	21
Şekil 2.10 : Lojistik büyümesinin grafik gösterimi.....	23
Şekil 2.11 : Epidemik dinamikleri	25
Şekil 2.12 : İnovasyon modellemesi	26
Şekil 2.13 : Bass dağılım modeli	27
Şekil 2.14 : Değiştirme amaçlı satın almaların modellenmesi.....	28
Şekil 2.15 : Malzeme gecikmelerinin örnek gösterimi	29
Şekil 2.16 : Boru hattı gecikmesi	29
Şekil 2.17 : Sistem dinamiğinde zaman değişimi.....	38
Şekil 2.18 : İşe alım sistemi.....	38
Şekil 3.1 : Tedarik zincirindeki stok alanları.....	42
Şekil 3.2 : Stok yönetimi yapısı	47
Şekil 3.3 : Tedarik zinciri değişim mühendisliği	52
Şekil 3.4 : Üst aşamadan talep yapısı	64
Şekil 3.5 : Stokta ikmal yapısı	65
Şekil 3.6 : Sınırlandırılmış sistem girdisi.....	66
Şekil 3.7 : Basit ikmal yapısı	67
Şekil 3.8 : Talep paylaşımı koordinasyonu	69
Şekil 3.9 : İleri tahmin koordinasyonu.....	71
Şekil 3.10 : Ana ve ikincil malzemeler ile bilgi akışındaki gecikmeler.....	79
Şekil 3.11 : Sanal tedarik hatlarının sistem performansına etkisi.....	80
Şekil 3.12 : Bağlantısız tedarik zinciri	84
Şekil 3.13 : Envanter kazanımı.....	91
Şekil 3.14 : Envanter kazanımı ve kamçı etkisi	91
Şekil 3.15 : Önceden talep bilgisinin envanter kazanımının önüne geçmesi.....	93
Şekil 3.16 : Duggan modelinin gösterimi	97
Şekil 3.17 : Talep ve arz bazlı tedarik zincirleri (Hull, 2005)	99
Şekil 4.1 : Fabrika organizasyon şeması	105
Şekil 4.2 : Endüstriyel motor kanal dağılımları.....	106
Şekil 4.3 : Malzeme ve bilgi akışları	108
Şekil 4.4 : FCFS sistemine ilişkin Powersim diyagramı	109
Şekil 4.5 : Siparişlerin havuzlandığı duruma ilişkin Powersim diyagramı	110
Şekil 4.6 : FCFS sisteminde simülasyona ilişkin örnek diyagram	117

Şekil 4.7 : Siparişlerin havuzlandığı yapıya ilişkin örnek diyagram.....	119
Şekil 4.8 : Üretim belirsizliğinin azaltıldığı durumda FCFS yapısı diyagramı	122
Şekil 4.9 : Üretim belirsizliğinin azaltıldığı durumda havuz yapısına ilişkin diyagram	123
Şekil 4.10 : Sevkiyat belirsizliğinin azaltıldığı durumda FCFS yapısı diyagramı ...	126
Şekil 4.11 : Sevkiyat belirsizliğinin azaltıldığı durumda havuz yapısı diyagramı ...	127
Şekil 5.1 : Talep yapısına ilişkin nedensel döngü diyagramları	133
Şekil 5.2 : Üretime ilişkin nedensel döngü diyagramları	134
Şekil 5.3 : Stok yapısına ilişkin nedensel döngü diyagramları	134
Şekil 5.4 : Konsolide ciro (milyon avro)	137
Şekil 5.5 : Cironun Pazar bazlı dağılımı	138
Şekil 5.6 : Yatırım harcamaları (milyon avro)	138
Şekil 5.7 : Üretim kapasite değerleri (bin adet)	139
Şekil 5.8 : Uluslararası satış ve pazarlama organizasyon şeması	140
Şekil 5.9 : Uluslararası dağıtım yapısı.....	141
Şekil 5.10 : Uluslararası satışlar (Avrupa).....	142
Şekil 5.11 : Uluslararası satışlar (Avrupa dışı)	142
Şekil 5.12 : Uluslararası satışlar (adet bazlı yüzdesel dağılım)	143
Şekil 5.13 : İkmal politikasına ilişkin simülasyon modeli	155
Şekil 5.14 : Pazar A – Ürün grubu 1 için talebin normal dağılıma uyduğu durumda ve 1000 aylık periyot bazlı ikmal politikası simülasyon sonuçları	162
Şekil 5.15 : İkmal politikasında toplam stoğun kullanılmasına ilişkin simülasyon modeli	167
Şekil 5.16 : Kompozit modele ilişkin simülasyon modeli.....	169

ULUSLARARASI DAĞITIM SİSTEMLERİNDE SİPARİŞ İÇİN ÜRETİM VE İKMAL YAPILARINA İLİŞKİN KAMÇI ETKİSİNİN DİNAMİK SİMÜLASYON İLE ANALİZİ

ÖZET

Doktora tez çalışmasında uluslararası tedarik zincirlerinin dağıtım sistemlerinde kamçı etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu inceleme için ise, tedarik zinciri modellemelerinde paha biçilmez olarak görülen sistem dinamiği tekniği kullanılmıştır. Bu amaç doğrultusunda ilk önce stok yönetimine ilişkin çeşitli yapılar irdelenmiştir.

Daha sonra ise kullanılan teknik olan sistem dinamiğine ilişkin bazı temel kavramlar detaylıca açıklanmıştır. Tekniğe ilişkin Türkçe kaynak eksikliği göz önüne alınarak bu kavramların açıklanmasına mümkün olduğunca yer verilmiştir.

Tedarik zincirleri ve kamçı etkisinin detaylı açıklanması bir sonraki adımı oluşturmaktadır. Tedarik zincirlerinin temellerinden bahsedilmiş, ancak kamçı etkisi hakkında geniş ve detaylı bir literatür araştırması gerçekleştirilmiştir. Arz bazlı sistemler ve tersine kamçı etkisi gibi, kamçı etkisi ile bağlantılı, ve göreceli olarak daha yeni kavramlar olan alanlar da bu adımda incelenmiştir.

Kamçı etkisinin dinamik simülasyonla analizi için iki uygulama gerçekleştirilmiştir. İlk uygulama, sipariş için üretim yapan bir sistemin dağıtım alt sistemini ele almış ve sistemin arz bazlı hale gelerek tersine kamçı davranışı sergilediği görülmüştür.

İkinci uygulamada ise, mevcut durumda talep tahminlerine dayalı stok için üretim yapan iki aşamalı bir sistemde kompozit bir ikmal politikası uygulaması simüle edilmiştir. Kısmi olarak iki aşamalı, kısmi olaraksa tek aşamalı bir dağıtım sistemini içeren bu yapıda kamçı oluşumu görülmüş, ve kamçı ile beraber diğer performans kriterlerinin de ikmal parametrelerine bağlılığı ortaya konmuştur.

ANALYSIS OF THE BULLWHIP EFFECT OF MAKE-TO-ORDER AND REPLENISHMENT STRUCTURES IN INTERNATIONAL DISTRIBUTION SYSTEMS BY DYNAMIC SIMULATION

SUMMARY

In this thesis, the objective is to analyze the bullwhip effect in distributions systems of international supply chains. System dynamics technique which is seen as invaluable for supply chain modelling is used for this analysis. Under the light of this aim, several inventory control systems have been analyzed first.

Fundamentals of system dynamics which is the main technique used in the thesis have been given afterwards. Taking the absence of publications in Turkish about system dynamics into consideration, this chapter is tried to be set as long as possible.

Next step consists of summary information on supply chains and the bullwhip effect. Supply chain concept has only been summarized while a widespread and detailed literature review has been presented about the bullwhip effect. Relatively new topics related with the bullwhip effect such as supply driven systems and reverse bullwhip are also analyzed within this step.

Two case studies have been carried out for the analysis of the bullwhip effect by dynamic simulation. First, the distribution subsystem of a make-to-order system has been chosen and it is observed that the system has been transformed into a supply-driven form and generates reverse bullwhip behaviour.

In the second study, a composite replenishment policy has been simulated in a system which currently runs on make-to-stock form, based on demand forecasts. The distribution subsystem consists of partially one and partially two echelons, and produces bullwhip. It is observed that the bullwhip and the other performance criteria depend on the replenishment parameters.

1. GİRİŞ

İnsanoğlu, tarihi boyunca karşılaştığı zorluklara yaratıcı çözümler getirmesi ile diğer canlılardan farklı olabilmiş ve medeniyetler de bu yaratıcı çözümler üzerinde yükselmiştir. İnsanoğlunun merak adı verilen özelliğinin yaratıcı zekayla birleşmesine, bilimsel disiplin adı verilen sistematik çalışma metodu da eklenince, teoriler, önermeler, icatlar ve keşifler tarih içinde ortaya çıkmış, ve bugünün hızla değişen ve gelişen medeniyetinin oluşmasında temel teşkil etmiştir.

Özellikle endüstri devrimi, 1760'da James Watt'ın buhar makinasını bulması, daha sonraki dönemlerde sırasıyla Adam Smith'in uzmanlaşmaya dayalı üretim yapısını önermesi, Frederic Taylor'un bilimsel yönetim kavramını yerleştirmesi, ve ayrıntılı işbölümü esasına dayanan Fordist yönetimin üretimde uygulanması, sanayide sarsıcı gelişmeler olarak yer almaktadır. Ancak özellikle XX.yy'da iletişim teknolojilerinde yaşanan muazzam gelişme, rekabet koşullarını değiştirmiş, *yeni ekonominin* gelişmesine olanak kılmış, ve çok farklı lokasyonlarda üretim merkezleri ile dinamik bir pazar rekabetinin zorunluluğunu getirmiştir. Artık klasikleşmiş üretim yönetimleri avantaj yaratmamaktadır.

Doktora tez çalışmasında, özellikle son yıllarda önemi daha da belirgin hale gelmiş olan kamçı etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Literatürde konu hakkında yer alan çalışmalara bakıldığında, kamçı etkisinin gitgide derinleşen ve genişleyen bir yelpaze dahilinde yer aldığı rahatlıkla söylenebilir. Bu derinleşme ve yaygınlaşmanın nedeni olarak, globalleşmenin getirdiği rekabet avantajları zorunluluğu ve üretim ve dağıtım proseslerinin klasik konumlarından çıkarak daha karmaşık bir hale gelmeleri belirtilebilir.

Örneğin Bowersox (1996), lojistik yönetiminin aktivitelerini aşağıdaki şekilde özetlemektedir:

- Sipariş işleme
- Malzeme ve bilgi dağıtımı
- Envanter kontrolü
- Nakliye

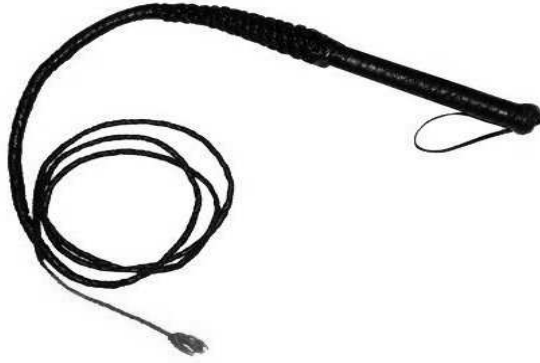
- Depolama
- Üretim ve depo yeri seçimi
- Malzeme işleme
- Tedarik
- Müşteri servisi
- Satış sonrası servis
- Ambalajlama
- Geri dönen malzemelerin işlenmesi
- Iskarta işlemleri

XX.yy'ın sonlarında yeniden yorumlanan bu kavramlar, klasik sistemlerden daha farklı bir paradigma dahilinde tanımlanmış, ve tek bir firmayı baz alan lojistik yönetimi, nihai müşteri bazında azami memnuniyeti sağlayacak ve bütün tedarik sürecini kapsayacak bir şekilde tedarik zinciri yönetimi olarak ele alınmaya başlanmıştır.

İleri bölümlerde de görüleceği üzere tedarik zinciri yönetimi, sadece malzemeye ilişkin lojistik aktivitelerini değil, malzeme dönüşüm süreçlerini de içermektedir. Tedarik zincirinde yer alan her aşamanın, sürece ilişkin sorumlulukları ve bu sorumluluklara ilişkin yeterlilikleri sistemi etkileyen önemli faktörler haline gelmektedir. Yine detaylı olarak inceleneceği üzere, tüm zincir elemanlarının iyi niyetli olmaları, ortada sistemi sabote edecek bir kötü oyuncunun yada illegal rakiplerin olmaması, ve hatta aşamalarda yer alan firmaların gerekli üretim ve dağıtım yeterliliklerine sahip olmaları durumlarında dahi kamçı etkisi adı verilen olguya rastlanmaktadır. Kamçı metaforuna ilişkin gösterim Şekil 1.1'de verilmiştir.

Kamçı etkisinin önemi, maalesef ancak kamçıyla karşılaşıldığı durumlarda algılanmaktadır. Bu durum, sistemin doğal bir sonucu olarak kabul edilmekte olup, kamçının temel sebebi olan gecikmelerin dikkate alınmamasına sıkça rastlanmaktadır (Sternan, 2000).

Tedarik zinciri yönetimi esas olarak bir firmanın tüm asıl faaliyet alanlarını ilgilendirmekte, daha doğru bir deyim tüm faaliyet alanları ile eşgüdümü zorunlu kılmaktadır. Bu durum ise, tedarik zinciri yönetimine bağlı tüm fonksiyonların ve kamçı etkisinin çok geniş bir yelpazede incelenmesini gerektirmektedir. Tez çalışmasında konunun özünden uzaklaşmamak ve özgünlüğü korumak adına, sadece dağıtım yönetimine ilişkin kamçı analizi gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.



Şekil 1.1: Boğa kamçısı

Kamçı etkisinin nedenleri ve yol açtığı maliyetler incelenirken daha ziyade sipariş verme sistemleri göz önüne alınmaktadır. Kamçının tedarik zincirindeki en önemli maliyet kalemi olarak saptanması (Ouyang ve diğ., 2006), ve çok farklı sipariş verme sistemlerinin kamçı davranışı sergilemesi, bu konunun önümüzdeki yıllarda daha da geniş ve popüler bir araştırma alanı olacağı izlenimini yaratmaktadır. Gerek literatür araştırmalarının, gerekse uygulamada yer alan simülasyon modellerinin anlaşılması için öncelikle sipariş verme sistemlerinin ve dolayısıyla üretim ve dağıtım sistemlerinin incelenmesi, daha sonra tekniğin irdelenmesi ve modellerin analiz edilmesi gerekmektedir. Tez kapsamında bu sıralamaya bağlı kalınmasına özen gösterilmiştir.

2. SİSTEM DİNAMİĞİ

2.1 Dinamik Sistemler

Dinamik sistemler, matematiksel olarak değişkenleri daha önceden almış oldukları değerlere ve içinde bulundukları zamana göre değer alan sistemlerdir (Bozdağ, 1998). Diğer bir deyişle dinamik davranış, zaman içinde değişen davranış olarak tanımlanabilir (Hilborn, 1994).

2.1.1 Dinamik sistemlerin sınıflandırılması

Dinamik sistemleri çeşitli ayırım kriterlerine göre sınıflandırmak mümkündür. Kesikli ve sürekli, otonom ve otonom olmayan, ve doğrusal ile doğrusal olmayan olarak üç ana sınıflandırma literatürde bulunmaktadır (Bozdağ, 1998).

2.1.1.1 Kesikli ve sürekli sistemler

Kesikli sistemlerde zaman kesikli olarak ele alınmaktadır. Sisteme ilişkin x değişkeninin $t+1$ anındaki durumu, t anındaki durumunun bir fonksiyonu olacaktır.

$$x_{t+1} = f(x_t) \quad (2.1)$$

Sürekli sistemlerde ise zaman, sürekli olarak ele alındığından, değişkenin durumu belirli zaman dilimleri içerisinde incelenmektedir. $P(t)$, sistemin t anındaki durumunu göstermek üzere duruma ilişkin değişim;

$$\frac{dP}{dt} = kP \quad \text{olarak ifade edilebilir.} \quad (2.2)$$

Burada k , sistemin durumunun değişimine ilişkin bir parametredir.

2.1.1.2 Otonom ve otonom olmayan sistemler

Otonom sistemler, zamana bağlı olmayan dinamik sistemlerdir. Diğer bir deyişle sistemin durumu, sadece daha önceki sistem durumlarından etkilenir; zaman, diferansiyel denklem içerisinde yer almaz.

$$\dot{x} = f(x), \quad x(t_0) = 0, \quad (2.3)$$

$x(t) \in R^n$, $f : R^n \rightarrow R^n$ olmak üzere,

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt} \quad \text{olacaktır.} \quad (2.4)$$

$\phi_t(x_0)$ fonksiyonu, sistemin durumunun davranışlarına ilişkin bir yörünge belirtir. Otonom sistemlerde yörüngeler kesişmezler. Sisteme ilişkin değişken, daha önceki bir noktaya gelirse aynı yolu izler ve periyodik davranışa sahip olur.

Otonom olmayan sistemler ise, otonom sistemlerin aksine zamana bağlı dinamik sistemlerdir. Matematiksel olarak zaman da diferansiyel denklemin içerisinde yer alır (Parker ve Chua, 1987).

$$\dot{x} = f(x, t), \quad x(t_0) = x_0 \quad (2.5)$$

$x(t) \in R^n$, $f : R^n \rightarrow R^n$

Otonom olmayan sistemlerde başlangıç zamanları keyfi olarak 0 seçilemez. Bu sistemlere ilişkin yörünge denklemi $\phi_t(x_0, t_0)$ olacaktır. Otonom olmayan sistemlerde yörüngeler değişik zamanlarda aynı noktadan geçebilir ve uzayda aynı davranışı sergilemek zorunda kalmadan birbirlerini kesebilirler.

2.1.1.3 Doğrusal ve doğrusal olmayan sistemler

Doğrusal sistemlerde diferansiyel denklemdeki fonksiyonların tamamı doğrusaldır. Doğrusal olmayan sistemlerde ise, fonksiyonlardan en az biri doğrusal olmayacaktır. Doğrusal olmayan sistemler, genellikle çözümü zor ya da olanaksız denklem takımlarından oluşurlar. Bu yüzden, analitik çözüme odaklanmak yerine, sistemin akışını ya da yörüngelerini incelemek, sistem ve sistemin davranışı hakkında bilgi verecektir (Bozdağ, 1998).

2.1.2 Dinamik sistemlerin yapı ve davranışları

Tüm dinamik sistemlerde geçerli olan bir evrensel kaide, sistemin yapısının davranışı oluşturduğudur. Bir sistemin yapısı ise aşağıdaki öğelerden oluşmaktadır (Sterman, 2000):

1. Geri besleme çevrimleri
2. Seviyeler ve akışlar
3. Sistemin elemanları arasındaki doğrusal olmayan ilişkiler

Bu bölümde sistemlerin geri besleme yapılarına bağlı olarak gösterdikleri temel davranış şekilleri incelenmektedir. Bir sistemin geri besleme yapısına göre göstereceği temel davranış şekilleri Çizelge 2.1’de verilmiştir (Stermann, 2000).

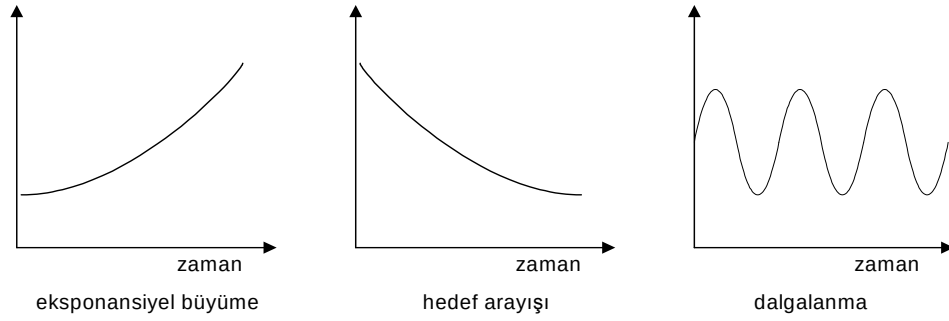
Çizelge 2.1: Geri besleme yapılarına göre sistemlerin göstereceği temel davranışlar

Davranış	Yapı
Ekspansiyonel büyüme	Pozitif geri besleme
Hedef arayışı	Negatif geri besleme
Dalgalanma	Gecikmeler içeren negatif geri besleme

Bu temel davranış şekillerinin doğrusal olmayan etkileşimlerinden ise ileride bahsedilecek olan daha karmaşık davranış şekilleri doğmaktadır.

2.1.3 Dinamik davranışın temel çeşitleri

Dinamik davranışın temel çeşitleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Bu davranışlara ilişkin açıklamalar sırasıyla verilmektedir.



Şekil 2.1: Dinamik davranışın temel çeşitleri

2.1.3.1 Ekspansiyonel büyüme

Ekspansiyonel büyüme, pozitif (kuvvetlendirici) geri beslemeden kaynaklanmaktadır. Sisteme ilişkin net artış oranı, sistemin durumunun büyüklüğüne bağlıdır. Sistem durumundan net artış oranına bir geri besleme olmaması ise davranış olarak *doğrusal büyüme*’ye yol açacaktır. Bu, gerçekte çok ender rastlanabilecek bir durumdur ancak, ekspansiyonel büyüme davranışına sahip bir sistem kısa bir zaman dilimi içerisinde incelendiğinde (analiz zaman dilimi yeterince büyük olmadığında) doğrusal büyüme olarak algılanabilir .

Daha sonra matematiksel olarak açıklanacağı üzere, ekspansiyonel büyüme davranışına sahip bir sistemde, sistemin durumunun iki katına çıkması için gereken süre (*doubling time*) sabittir (Stermann, 2000).

2.1.3.2 Hedef arayışı

Sistemlerin içerdği her negatif geri besleme, sistemin arzulanan ve fiili durumlarını kıyaslayan bir proses içermektedir. Sistemin, arzulanan duruma gelmesi için de bir düzeltici faaliyete ihtiyaç vardır. Arzulanan durum da, düzeltici faaliyet de karar vericinin kontrolünde olabilir ya da olmayabilir. İşte bu negatif beslemeden dolayı sistem, eksponansiyel büyüme göstermez; zira negatif geri besleme dengeleyici bir rol üstlenmektedir. Bu yapıya sahip sistemler hedef arayışı (*goal seeking*) olarak adlandırılan davranışı sergilemektedirler.

Düzeltilici faaliyet ile sistem durumunun büyüklüğü arasındaki ilişkinin doğrusal olması durumunda ise *eksponansiyel azalma* adı verilen davranış şekli ortaya çıkmaktadır. Bu durumda düzeltme oranı, arzulanan ve fiili durumlar arasındaki fark ile orantılıdır. Bu yapıya sahip sistemlerde, sistem durumunun iki katına çıkması için gereken süre yerine, yarıya inmesi için geçen süre esas alınır ve buna *yarı ömür* adı verilir (Sterman, 2000).

2.1.3.3 Dalgalanma

Sistemin içerdği negatif geri beslemeler bir döngü oluşturuyorsa ve sistemde gecikmeler mevcutsa; sistem durumu hedef durum etrafında inişli çıkışlı bir grafik sergileyecektir. Zira gecikmeler, düzeltici faaliyetlerin sürekli olarak devreye girmesini sağlayacak ve sistemi gecikmeli olarak hedef etrafında dalgalandıracaktır. İşte bu davranış şekli dalgalanma (*oscillation*) olarak adlandırılmaktadır (Sterman, 2000).

2.1.4 Temel davranışlar arasındaki ilişkiler ve bu ilişkilerden kaynaklanan davranış şekilleri

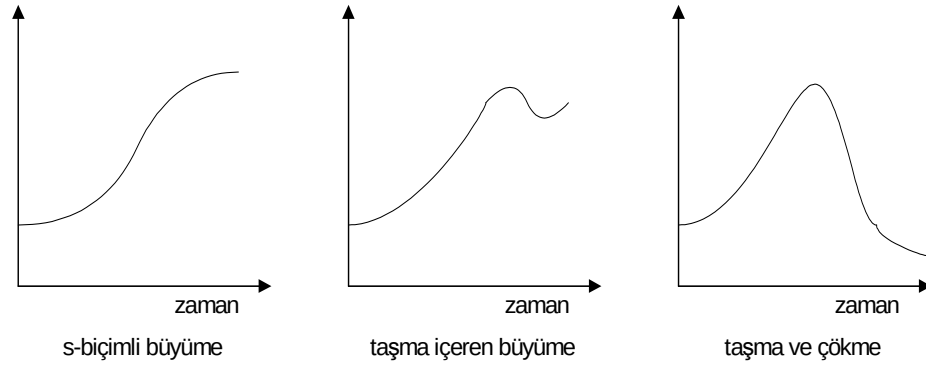
Bir sisteme ilişkin pozitif ve negatif geri beslemeler o sistemin davranışını belirler. Birbirleriyle doğrusal olmayan ilişkiye sahip çeşitli döngü ve geri beslemeler sistemi daha karmaşık hale getirmektedir. Farklı geri beslemeler içeren sistemlerin davranışları, dominant geri beslemelerin etkisiyle ortaya çıkacaktır. Ancak zaman içerisinde döngü ve geri beslemelerin baskınlığı değişebilir, bu da sistemin davranış şeklinde bir değişime yol açacaktır (Sterman, 2000). Bu davranışların gösterimi Şekil 2.2'de verilmiştir.

2.1.4.1 S-Biçimli büyüme

Gerçek hayatta hiçbir sistem sonsuza kadar eksponansiyel olarak büyüyemeyecektir. Zira sistemin, büyüme için kullandığı kaynaklar doğada sınırlıdır,

ve bu sınır da sisteme ilişkin bir *taşıma kapasitesi* ortaya çıkaracaktır. Ekspansiyel büyümeye sahip bir sistemde taşıma kapasitesinin devreye girmesi, bir negatif geri besleme döngüsü yaratacaktır.

Negatif geri besleme, başlangıçta sistem üzerinde çok etkili değildir zira kullanılacak kaynakların henüz çok azalmamış olması büyümeye ilişkin pozitif geri beslemeyi dominant kılmaktadır. Zaman içerisinde sistem durumunda meydana gelen artış, negatif geri beslemeyi dominant hale getirecektir. Burada dominantta meydana gelen kaymanın, pozitif ve geri beslemeler arasındaki doğrusal olmayan ilişkilerden kaynaklandığı görülmektedir (Stermann, 2000).



Şekil 2.2: Temel davranışlar arasındaki ilişkilerden doğan davranış çeşitleri

2.1.4.2 Taşma içeren S-biçimli büyüme

S-Biçimli büyümede yer alan negatif geri beslemelerin gecikme içermesi durumunda görülen davranış şeklidir. Bu gecikmelerden dolayı düzeltici faaliyetin etkisi, sistem durumu taşıma kapasitesinin üzerine çıktıktan veya altına indikten sonra görülmektedir (Stermann, 2000).

2.1.4.3 Taşma ve çökme

Sistemin kullandığı kaynakların zaman içerisindeki değişimi, taşıma kapasitesinin de sabit olmamasına yol açabilecektir. Taşıma kapasitesindeki değişim de, ilişkide bulunduğu düzeltici faaliyet ve sistem durumunu etkileyecektir.

Taşma ve çökme (*overshoot and collapse*) davranışında sistem durumu tepe noktasına ulaştığında, taşıma kapasitesindeki azalmanın oranı maksimum düzeydedir (Stermann, 2000).

2.1.5 Diğer davranış şekilleri

2.1.5.1 Statüko

Sistem durumunu etkileyen dinamik değişimler yavaş gerçekleşiyorsa veya, sistemde yer alan negatif geri beslemeler çok kuvvetliyse, sistem durumunda çok fazla bir değişiklik izlenmeyecektir ve bu durum da statüko olarak adlandırılmaktadır (Stermann, 2000).

2.1.5.2 Rassallık

Rassal etkiler sistemin karakterinden çok, sistemi anlamaya yönelik kısıtlamalar getirecektir. Bu etkiler, davranış şekillerini değiştirebilir ya da lokal optimumda donmuş bir sistem durumunu, sistemi yeni bir çevreye götürmek suretiyle çözebilir (Stermann, 2000).

2.1.5.3 Kaos

Bir sisteme bir seferlik etki verildikten sonra oluşan dalgalanmalar zamanla zayıflıyor ve ölüyorsa, bu duruma sönümlü dalgalanma denmektedir. Sönümlü dalgalanmaların sonucunda sistem, eski haline geri dönecektir (lokal stabilizasyon). Gerçek hayattaki birçok sistem sönümlü yapıya sahip olmakla beraber, impulsların sürekli olması ve gecikmelerin varlığı, bu davranışın tam olarak görülmesini engellemektedir.

Sisteme verilen küçük bir etki, sistem durumunu denge noktalarından çok uzaklara taşıyabilir. Ancak buradaki “çok uzak” tanımlamasının bir sınırı vardır ve birçok sistem için matematiksel olarak da ifade edilebilir. Bu tür davranışlara *limitli çevrimler* adı verilmektedir.

Limitli çevrimlerden farklı olarak, tüm hareketi deterministik olmasına rağmen kendisini asla tekrar etmeyen düzensiz dalgalanmalar da görülmektedir. Buradaki düzensizlik dış ve rassal etkilerden değil, tamamen sistemin kendi yapısından doğmaktadır. İşte bu tür davranış *kaotik dalgalanma* olarak adlandırılmaktadır.

Kaotik sistemler, sistemin ilk durumuna aşırı hassasiyet gösterirler. Lorenz tarafından ileri sürülen ve daha sonraları birçok sistemde rastlanan bu özelliğe *kelebek etkisi* adı verilmektedir. Bu özelliği açıklamak için ifade edilen klasik örnek, bir kelebeğin kanat çırpışlarından doğan hava akımlarının, belirli bir süre sonra atmosferin tümünde değişime yol açabileceğini söylemektedir. Yani sistemin başlangıç durumunda meydana gelen küçük bir değişikliğin belirli bir süre sonra tahmin edilemeyecek boyutlarda büyük etkileri olacaktır (Stermann, 2000).

Kaos teorisinin öngörüsüne göre, bir sistemde meydana gelen zaman içindeki evrim, sistemin temel denklemlerini yavaş yavaş değiştirmektedir, ya da başka bir deyişle sistem “öğrenmekte”dir (Ruelle, 1994). Bu önermenin birçok alanda çeşitli sonuçları doğa gelmiştir. Yönetim bilimleri alanındaki en önemli sonucun *öğrenen organizasyonlar* olduğu belirtilmelidir.

Kaotik sistemler, daha önce de belirtildiği üzere deterministiktirler. Ancak, kaotik bir sistemin önceden belirlenebilir yönlerinin saptanması başlı başına bir sorundur ve bu soruna henüz bir çözüm getirilmemiştir (Ruelle, 1994).

2.2 Dinamik Sistemlerin Gösterimleri

2.2.1 Nedensel döngü diyagramları

Nedensel Döngü Diyagramları (*causal loop diagrams*), bir sistemin geri besleme yapısını göstermek için kullanılan araçlardır. Birbirlerine oklar, ve birbirleri üzerindeki nedensel etkilerini gösteren işaretler ile bağlanan değişkenlerden oluşurlar. Bu işaretler pozitif (kuvvetlendirici) ve negatif (dengeleyici) nedensel etkileri gösteren “+” ve “-” dirler.

$$\begin{array}{c} \text{X} \xrightarrow{+} \text{Y} \end{array} \Rightarrow \frac{\partial Y}{\partial X} > 0; Y = \int_{t_0}^t (X + \dots) dS + Y_{t_0} \quad (2.6)$$

$$\begin{array}{c} \text{X} \xrightarrow{-} \text{Y} \end{array} \Rightarrow \frac{\partial Y}{\partial X} < 0; Y = \int_{t_0}^t (-X + \dots) dS + Y_{t_0} \quad (2.7)$$

Nedensel döngü diyagramları, sistemi oluşturan elemanların aralarındaki ilişkileri açıklamak için yardımcı olurlar. Sistem durumu ve akış miktarları hakkında bir bilgi verememektedirler (Stermann, 2000).

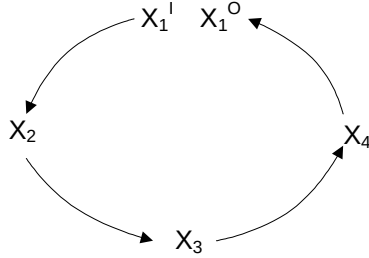
2.2.1.1 Çevrim polaritesinin belirlenmesi

Bir çevrimi oluşturan nedensel ilişkilerin tümü göz önüne alınarak polaritenin belirlenmesi için iki yol bulunmaktadır. En hızlı şekilde; negatif geri beslemelerin (bağlantıların) sayısı hesaplanır ve bu toplam çift sayı ise pozitif, tek sayı ise negatif polaritenin olduğu kolayca görülebilir.

Ancak incelenen sistemin büyüklüğüne bağlı olarak karmaşıklık da artacağından bu yöntemle hata yapma olasılığı artacaktır. Bunun için en güvenli yol, değişkenlerden birindeki değişimin etkisini bağlantılar boyunca incelemektir (Stermann, 2000).

2.2.1.2 Çevrim polaritesinin matematiği

Yukarıda bahsedilen polarite belirlenmesinin matematiksel olarak açılımını yapmak için basit bir sistemin bir değişkenini ele alıp, o değişkene ait girdi ve çıktı alt değişkenlerini incelemek yeterli olacaktır.



$$\text{Çevrimin polaritesi} = \text{SGN}\left(\frac{\partial X_1^O}{\partial X_1^I}\right) \quad (2.8)$$

$$= \text{SGN}\left[\left(\frac{\partial X_1^O}{\partial X_n}\right)\left(\frac{\partial X_n}{\partial X_{n-1}}\right)\left(\frac{\partial X_{n-1}}{\partial X_{n-2}}\right)\dots\left(\frac{\partial X_2}{\partial X_1^I}\right)\right] \quad (2.9)$$

$$= \text{SGN}\left(\frac{\partial X_1^O}{\partial X_n}\right) \cdot \text{SGN}\left(\frac{\partial X_n}{\partial X_{n-1}}\right) \cdot \text{SGN}\left(\frac{\partial X_{n-1}}{\partial X_{n-2}}\right) \dots \text{SGN}\left(\frac{\partial X_2}{\partial X_1^I}\right) \quad (2.10)$$

Görüldüğü üzere, çevrim polaritesi; her bağlantının polariteleri ayrı ayrı baz alınarak belirlenebilmektedir (Stermann, 2000).

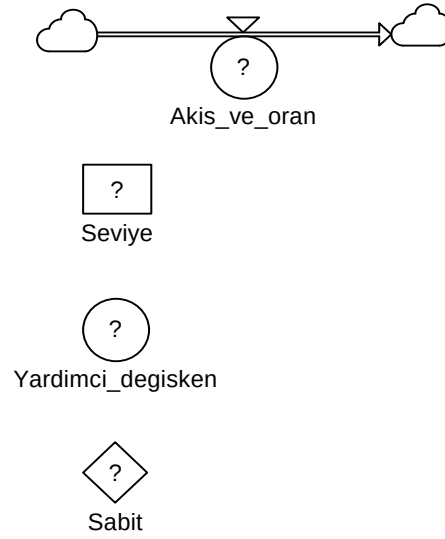
2.2.1.3 Diyagramların genel özellikleri

Nedensel döngü diyagramlarının çiziminde dikkat edilmesi gereken bazı kurallar bulunmaktadır (Stermann, 2000).

- Tüm bağlantıların polaritesi belirli olmalıdır. Diğer bir deyişle, bir değişkenin diğerini ne şekilde etkilediği açık olmalı, değişkenler buna göre seçilmeli ve isimlendirilmelidir.
- Değişkenlerin adları isim ya da isim tamlaması olmalıdır.
- Sistemin içerdiği önemli gecikmeler diyagramda belirtilmelidir.
- Detaylandırma, çalışmanın amacına uygun düzeyde seçilmelidir.
- Bütün döngüler tek ve büyük bir diyagramda çizilmemelidir.
- Negatif döngülere ilişkin amaçlar açıkça belirtilmelidir.
- Gerçek ve algılanan durumlar ayırt edilmelidir.

2.2.2 Seviye ve akış kavramları

Dinamik sistemlerin modellenmesinde seviye ve akış adları verilen sistem elemanları temel teşkil etmektedir. Seviyeler, iç ve dış akışları olan, ve bu akışların net toplamından oluşan birikimlerdir. Sistem durumunu karakterize ederler, yani o sisteme ilişkin kararlar ve eylemler için bilgi üretirler. Akışlar ise bir seviyenin iç ya da dış akışı olabilirler ve seviyeler, yardımcı değişkenler ve sabitlerden etkilenebilirler (Sterman, 2000). Gösterimle ilgili açıklamalar Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3: Sistem Dinamiği modellemesinde kullanılan şekiller

İç akışlar, seviyelere belirli bir zaman diliminde yapılan katkıyı; dış akışlar ise yine belirli bir zaman diliminde seviyelerden çıkışı belirtirler.

Diyagramda yer alacak bulutlar, model sınırları dışında yer alan ve sonsuz kapasiteye sahip kaynak ya da batıkları göstermektedir. Seviye ve akışları *havuz metaforu* ile açıklamak da mümkündür. Havuzu dolduran ve boşaltan musluklardan akan su miktarı akışları, havuz içerisindeki suyun miktarı ise seviyeleri temsil etmektedir.

2.2.2.1 Seviyelerin dinamik sistemlere katkısı ve özellikleri

- Seviyeler sistem durumunu karakterize ederler ve kararlar ve eylemler için bilgi üretirler.
- Seviyeler, sistemin çabuk ve kolayca değişimini engelleyecek eylemsizliği sağlarlar ve sistem hafızasını oluştururlar.
- Seviyeler sistemlerdeki gecikmelerin nedenini teşkil ederler.

- Seviyeler eşitsizlik dinamiği yaratırlar. Bunun nedeni, her seviyenin iç ve dış akışı arasında bir ara stok (*buffer*) yaratmasıdır.
- Seviyelere ya da seviyelerden akan bilgi ve fiziksel materyaller korunur, sistem durumu hakkındaki bilgi yayılabilir (Sterman, 2000).

2.2.2.2 Seviye ve akışların matematiği

Akışlar, seviyelere belirli zaman aralığında katkı yaptıkları için birimleri; seviyenin sahip olduğu birimin zamana bölünmesi ile elde edilir. Bu yüzden her seviye, durum değişkenleri ya da integrallerden; her akış da oran ya da türevlerden oluşur.

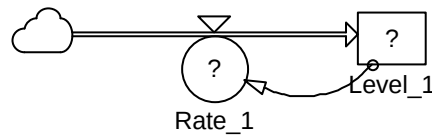
$$Seviye(t) = \int_{t_0}^t [Ic Akis(s) - Dis Akis(s)] dS + Seviye(t_0) \quad (2.11)$$

$$Seviyedeki net değişim = \frac{d(Seviye)}{dt} = Ic Akis(t) - Dis Akis(t) \quad (2.12)$$

Bu bilgiler ışığında seviye ve akışları ayırt etmek için *fotoğraf testi* adı verilen bir test uygulanmaktadır. Bir sistem dondurulup fotoğrafı çekildiğinde, ölçülebilir sistem elemanları seviyeler olacaktır (Sterman, 2000).

2.2.3 Durum bazlı sistemler

Seviyelerden akışlara bilgi geri beslemesi olması durumunda akışlar, sistem durumunu gösteren seviyeler tarafından belirleniyor olacaktır. Bu tür sistemlere durum bazlı sistemler (*state-determined systems*) adı verilir (Sterman, 2000). Genel gösterimleri Şekil 2.4'te verilmiştir. Durum bazlı sistemlerde net değişim oranı, sistem durumunun bir fonksiyonudur.



Şekil 2.4: Durum bazlı sistemlerin genel gösterimi

$$Seviye = \int (net\ degisim\ orani, sistem\ durumu(t_0)) \quad (2.13)$$

$$Net\ degisim\ orani = f(Sistem\ durumu) \quad (2.14)$$

2.2.4 Sistemlerin haritalanması

Dinamik sistemlerin çeşitli simülasyon programlarında modellenmesi işleminde yardımcı değişkenler, sabitler, model sınırları dışında kalan değişkenler ve zaman esasları önem teşkil etmektedir.

Ayrıca, nedensel döngü diyagramları içerisinde seviye ve akışlar da gösterilebilir. Bu yol, genellikle nedensel döngü diyagramları içerisinde fiziksel proses bulunduğu zaman bu proseslerle ilgili seviye ve akışların gösterilmesi şeklinde olmaktadır (Stermann, 2000).

2.2.5 Seviye ve akışların dinamikleri

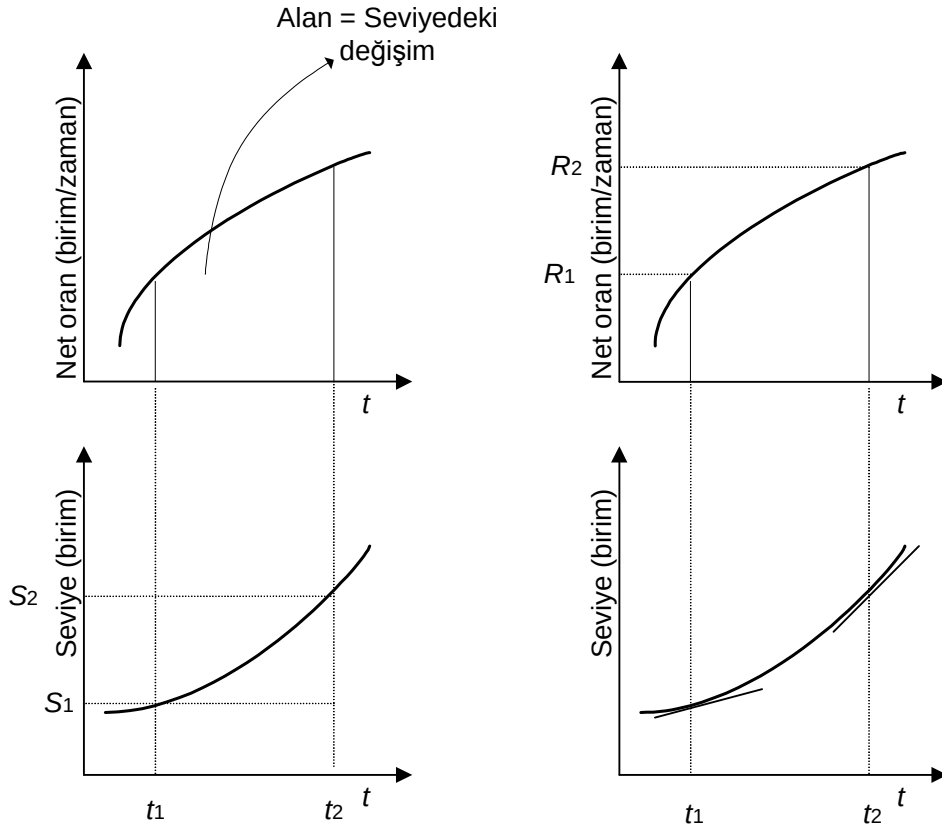
Bir seviyedeki net değişim oranının, o seviyeye olan iç akışların toplamı ile, o seviyeden çıkan dış akışların toplamının farkına eşit olduğu daha önce belirtilmişti. Bu kısımda ise, seviye ve akışların matematiksel ilişkisi ortaya konacaktır. Kısaca seviyelerin net akışların integrali, bir seviyeye olan net akışın da o seviyenin türevi olduğu gösterilecektir.

2.2.5.1 Statik ve dinamik denge

Bir seviyede değişim gözlemlenmiyorsa o seviyenin denge halinde olduğu söylenebilir. Benzer şekilde, bir sistemin denge halinde olması için, o sistemdeki tüm seviyelerin denge halinde olması gerekir. Değişim gözlemlenmemesini sağlayan, iç akışlar ve dış akışların 0'a eşit olması durumu ise *statik denge* mevcuttur. Ancak, bir havuz içindeki suyun, o havuzu dolduran ve boşaltan musluklar da çalışırken değişmemesi gözlemlenebilir. Yani, seviyeye olan iç akışlar ile seviyeden çıkan dış akışlar birbirine eşit ise durum *dinamik denge* olarak adlandırılır (Stermann, 2000).

2.2.5.2 Seviye ve akışların matematiksel ilişkileri

Şekil 2.5'te görüldüğü üzere, net akışa ait fonksiyonun x -ekseni ile oluşturduğu kapalı alan, net akışın etkilediği seviyedeki net değişimi verecektir ($S_2 - S_1$). Yani seviyelerdeki net değişimi bulmak için, akışların t_1 ve t_2 zaman dilimleri arasındaki integralini hesaplamak gerekmektedir (Stermann, 2000).



Şekil 2.5: Seviye ve akışlar arasındaki ilişkinin grafiksel gösterimi

Benzer şekilde, seviyelerin davranışına ilişkin fonksiyonun t_1 ve t_2 anlarındaki teğetlerinin eğimi, sırasıyla ilgili anlardaki akış miktarını vermektedir. Yani akışların değerini bulmak için, ilgili seviyeye ait davranış fonksiyonunun o andaki türevini almak yeterli olacaktır (Stermen, 2000).

2.3 Basit Yapıların Dinamikleri

2.3.1 Birinci düzen sistemler

Sadece bir seviye bulunduran sistemlerdir. Pozitif geri besleme yapısına sahipse eksponansiyel büyüme, negatif geri besleme yapısına sahip ise hedef arayışı davranışlarını gösterirler.

Doğrusal (linear) sistemler, oran denklemleri durum değişkenlerinin ve dışsal girdilerin doğrusal kombinasyonu olan sistemlerdir.

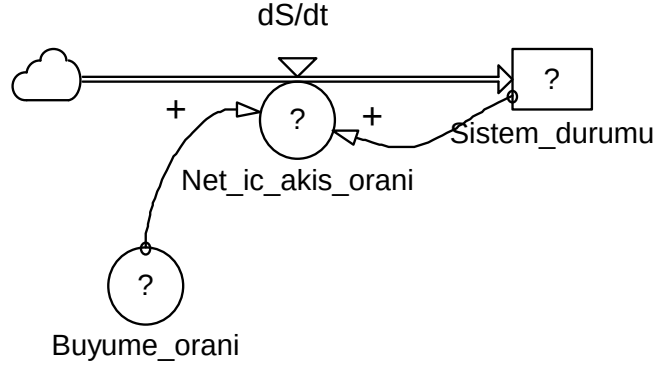
$$\frac{dS}{dt} = \text{Net ic akis} = a_1 S_1 + a_2 S_2 + \dots + a_n S_n + b_1 U_1 + \dots + b_m U_m \quad (2.15)$$

Doğrusal pozitif geri besleme yapısına sahip birinci düzen sistemler eksponansiyel büyüme, doğrusal negatif geri besleme yapısına sahip birinci düzen sistemler

eksponansiyel azalma, doğrusal olmayan negatif geri besleme yapısına sahip birinci düzen sistemler ise hedef arayışı davranışlarını gösterirler (Sterman, 2000).

2.3.2 Pozitif geri besleme ve eksponansiyel büyüme

Daha önce açıklanmış olan eksponansiyel büyüme davranışının sistem dinamiği modellenmesi üzerinde Şekil 2.6'da, ve matematiksel gösterimi aşağıda verilmektedir (Sterman, 2000).



Şekil 2.6: Pozitif geri beslemeli birinci düzen sistem

$$S = \int (Net\ ic\ akis, S(0)) \quad (2.16)$$

$$Net\ ic\ akis = f(S) \quad (2.17)$$

Sistem doğrusal ise, g büyüme oranı olmak üzere;

$$Net\ ic\ akis = gS ; g \rightarrow 1/zaman \quad (2.18)$$

Yukarıdaki sistem ele alınacak olduğunda;

$$\frac{dS}{dt} = gS \quad (2.19)$$

$$\frac{dS}{S} = g dt \quad (2.20)$$

$$\int \frac{dS}{S} = \int g dt \quad (2.21)$$

$$\ln(S) = gt + c \quad (2.22)$$

$$S = c \cdot \exp(gt) \quad (2.23)$$

$c = \exp(c)$ ve başlangıç anında ($t=0$ iken); $\exp(gt) = 1$; $c = S(0)$

$$S = S(0) \cdot \exp(gt) \quad (2.24)$$

Daha önce kısaca değinildiği üzere, eksponansiyel büyüme gösteren bir sistemin durumunun, iki katına çıkması için gereken süre sabittir. *70 Kuralı* adı verilen bu özellik kısaca şu şekilde izah edilebilir (Stermen, 2000):

$$2S(0) = S(0) \cdot \exp(gt_d) \quad (2.25)$$

$$t_d = \frac{\ln(2)}{g}; \ln(2) = 0.6931 \approx 0.70 \quad (2.26)$$

$$t_d = \frac{70}{100g} \quad (2.27)$$

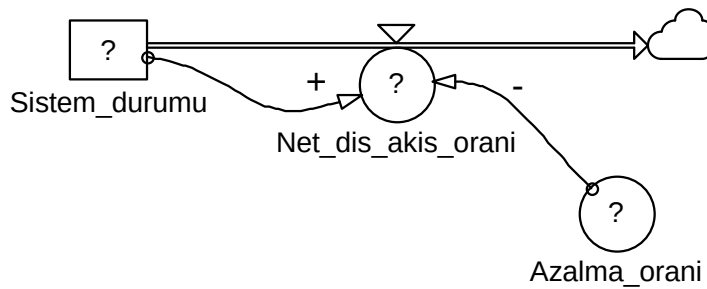
2.3.3 Negatif geri besleme ve eksponansiyel azalma

Sistemin doğrusal olması durumunda; net dış akış oranı, sistem durumu (S) ile azalma oranı(d)'nın çarpımları olacaktır.

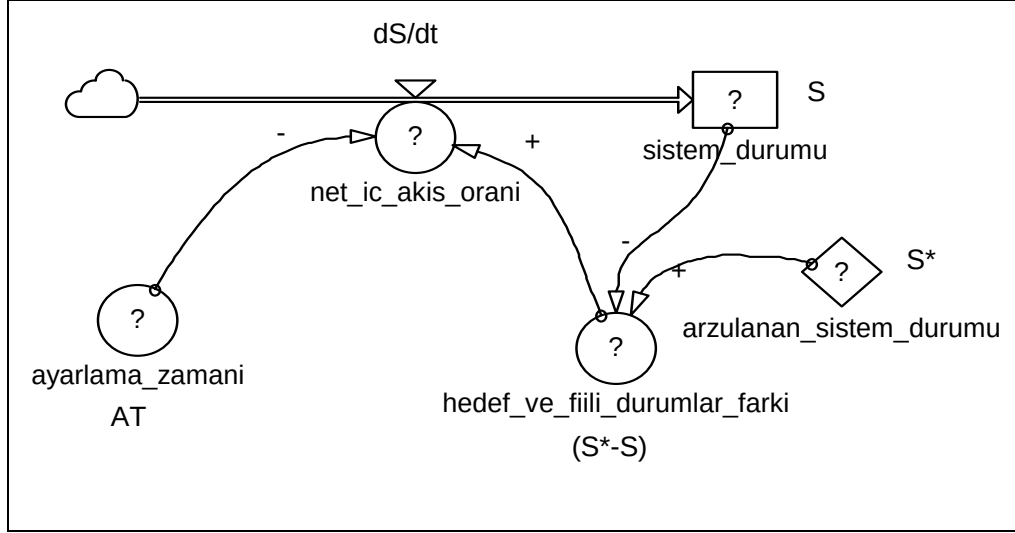
$$Net\ ic\ akis\ orani = -Net\ dis\ akis\ orani = -dS \quad (2.28)$$

$$S(t) = S(0) \cdot \exp(-dt) \quad (2.29)$$

Önemli bir nokta, bu yapıda sistem durumunun gelmek isteyeceği bir hedefin mevcut olmamasıdır. Aslında sistem durumu, saklı bir hedef olarak 0'ı benimser ve ona yaklaşmaya çalışır. Hedefin saklı olmayıp, arzulan durum olarak sisteme belirtilmesi durumunda ise sistemin ifadesi bir nebze değişecektir (Stermen, 2000). Bu dinamiğin sistem dinamiği gösterimi Şekil 2.7'de, açık hedefli haline ilişkin gösterim ise Şekil 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2.7: Negatif doğrusal geri beslemeli birinci düzen sistem



Şekil 2.8: Açık hedefli ve negatif doğrusal geri beslemeli birinci düzen sistem

Bu sistemde; *Net ic akis orani*, hedef ve fiili durumlar arasındaki farklılığın ayarlama zamanına bölünmesi ile elde edileceğinden;

$$\frac{dS}{dt} = \frac{(S^* - S)}{AT} \quad (2.30)$$

$$Net\ ic\ akis = f(S, S^*) \quad (2.31)$$

olacaktır (Sterman, 2000).

2.3.4 Zaman sabitleri ve yarı ömürler

Pozitif geri beslemeye ve eksponansiyel büyüme yapısına sahip bir sistemin durumunun iki katına çıkması için gerekli olan sürenin, büyüme oranının bir fonksiyonu olduğu gösterilmişti.

Benzer durum negatif geri beslemeye sahip bir sistem için de geçerlidir. Sistem durumunun yarıya inmesi için gerekli olan süreye *yarı ömür* dendiğini hatırlayacak olursak;

$$S(t) = S^* - (S^* - S(0)) \cdot \exp(-t / AT) \quad (2.32)$$

Burada;

$$S^* - S(0) \rightarrow t = 0 \text{ anında hedef ile fiili durum arasındaki fark}$$

$$(S^* - S(0)) \cdot \exp(-t / AT) \rightarrow \text{hedef ile fiili durum arasındaki mevcut fark olacaktır.}$$

$t_h \rightarrow$ yarı ömür olmak üzere;

$$0.5 = \exp(-t_h / AT) = \exp(-dt); d \rightarrow 1/AT \quad (2.33)$$

$$t_h = AT \cdot \ln(2) = \ln(2)/d = 0.70 AT = \frac{70}{100d} \quad (2.34)$$

Her AT zaman diliminde fiili ve istenen durumlar arasındaki fark; ilk farkın %37'si oranına düşecektir ($\exp(-AT/AT) \sim 0.37$). Negatif geri beslemeden dolayı da, düzeltme (ayarlama) oranı yavaş yavaş azalacaktır (Stermann, 2000).

2.3.5 Çok çevrimli sistemler

Hem negatif hem pozitif doğrusal geri beslemeler içeren birinci düzen sistemlerde sistem durumunun ne şekilde değiştiği; büyüme ve azalma oranlarına bağlı olmaktadır.

Oran denklemlerinin tamamının doğrusal olması durumunda pozitif ve negatif geri beslemelerin göreceli önemleri değişmeyecek, döngü dominansında kayma olmayacaktır. Bu durumda sistemin sonsuza kadar büyüme ya da azalma göstermesi (patlaması) beklenmelidir. Oysa gerçek sistemlerin döngü baskınlığında değişimleri içermesi, patlamaması için gereklidir. Bu da ancak, doğrusallık varsayımının ortadan kaldırılmasıyla mümkün olacaktır (Stermann, 2000). Çok çevrimli doğrusal olmayan birinci düzen sistemlerin gösterimi Şekil 2.9'da verilmiştir.

2.3.6 Doğrusal olmayan birinci düzen sistemler: S-biçimli büyüme

Yukarıda bahsedilen ve pozitif ve negatif geri beslemelere sahip bir sistemin durumu incelenecek olursa; başlangıçta pozitif geri beslemenin dominant olduğu ve sistemin büyümeye devam ettiği görülecektir. Ancak bu dominansın belirli bir noktadan sonra taşıma kapasitesinden dolayı sistemde var olan negatif geri beslemeye kayması beklenmelidir (Stermann, 2000).

$b \rightarrow$ kesirsel artış oranı (doğum oranı); $d \rightarrow$ kesirsel azalma oranı (ölüm oranı)

$P \rightarrow$ sistem durumu (popülasyon); $C \rightarrow$ taşıma kapasitesi olmak üzere;

$$\text{Net artis oranı} = \text{Artis oranı} - \text{Azalma oranı} = b\left(\frac{P}{C}\right)P - d\left(\frac{P}{C}\right)P \quad (2.35)$$

$$\text{ve } b, d = f\left(\frac{P}{C}\right) \quad (2.36)$$

olacaktır.

net kesirsel büyüme oranının, sistem durumunun azalan *doğrusal* bir fonksiyonu olduğu sistemlerin sahip olduğu davranış şekli *lojistik büyümesi* olarak adlandırılmaktadır (Richardson, 1991). Lojistik büyümesinin grafik gösterimi Şekil 2.10'da verilmiştir.

$$Net\ dogum\ orani = g(P, C) \cdot P = g^* \left(1 - \frac{P}{C}\right) P \quad (2.37)$$

$g(P, C) \rightarrow$ kesirsel büyüme (doğum) oranı

$g^* \rightarrow$ maksimum kesirsel büyüme

bu denklemi açacak olursak;

$$Net\ dogum\ orani = g^* \left(1 - \frac{P}{C}\right) P = g^* P - g^* \frac{P^2}{C} \quad (2.38)$$

buradaki $g^* P$ standart doğrusal birinci düzen pozitif geri beslemesini; $g^* P^2/C$ de doğrusal olmayan negatif geri beslemeyi göstermektedir.

Net büyüme oranının türevi alınıp 0'a eşitlenecek olursa, maksimuma ulaşacağı aşikardır. Böylece net büyüme oranının maksimum olduğu noktadaki popülasyon;

$$P_{inf} = \frac{C}{2} \quad \text{olacaktır (Stermen, 2000).} \quad (2.39)$$

2.3.7.2 Lojistik denkleminin analitik incelemesi

Doğrusal olmayan bir denklem olmasına karşın, lojistik büyümesinin fonksiyonu analitik olarak çözülebilir (Stermen, 2000).

$$Net\ dogum\ orani = g(P, C)P = g^* \left(1 - \frac{P}{C}\right) P \quad (2.40)$$

$$\int \frac{dP}{\left(1 - \frac{P}{C}\right)P} = \int g^* dt \quad (2.41)$$

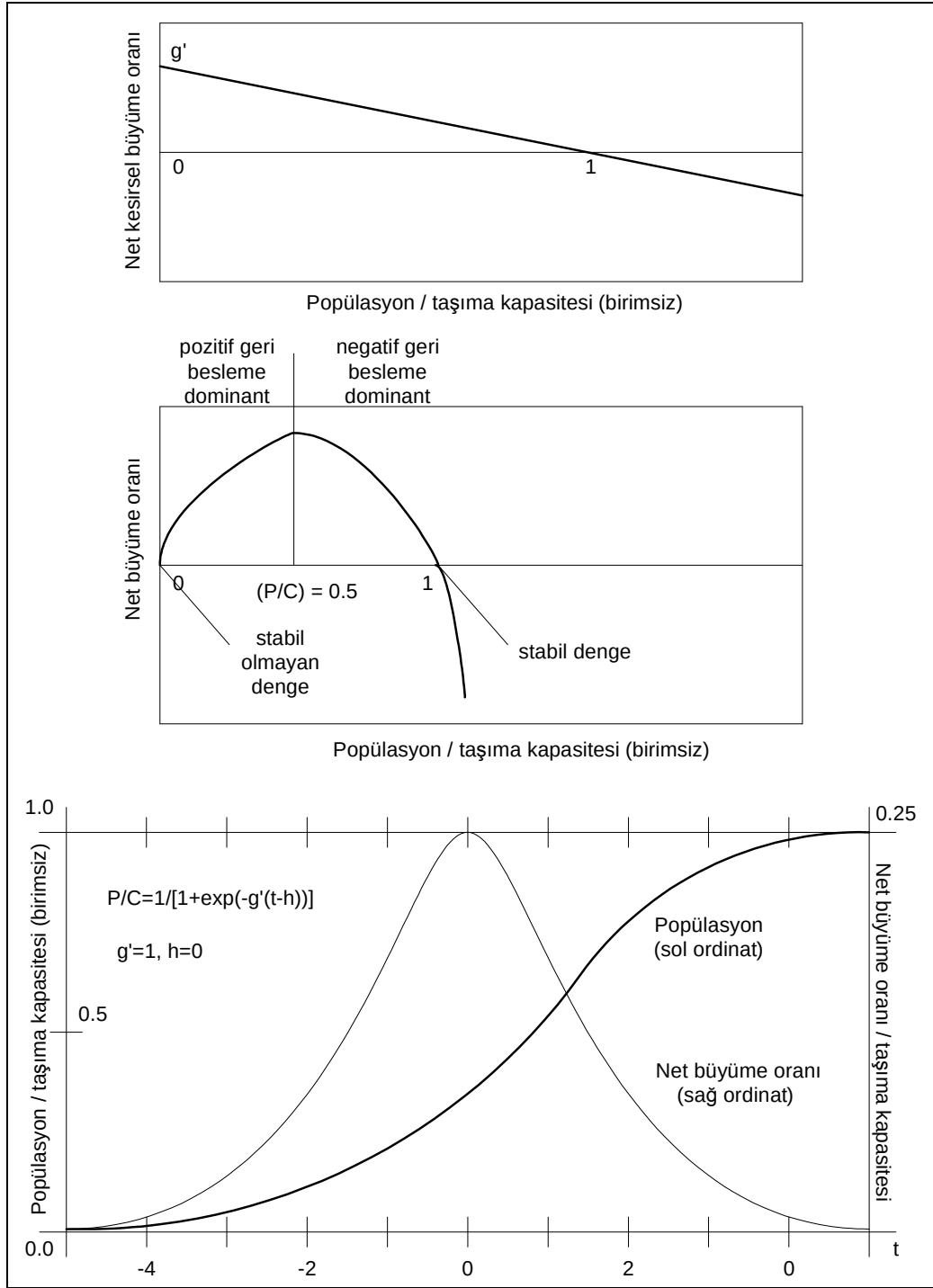
$$\int \frac{C dP}{(C - P)P} = \int \left[\frac{1}{P} + \frac{1}{C - P} \right] dP = \int g^* dt \quad (2.42)$$

$$\ln(P) - \ln(C - P) = g^* t + c \quad (2.43)$$

$t=0$ iken $P(t)=P(0)$

$$\ln(P) - \ln(C - P) = g^* t + \ln(P(0)) - \ln[C - P(0)] \quad (2.44)$$

$$\frac{P}{C - P} = \frac{P(0) \cdot \exp(g^* t)}{C - P(0)} \quad (2.45)$$



Şekil 2.10: Lojistik büyümesinin grafik gösterimi

$$P(t) = \frac{C}{1 + \left[\frac{C}{P(0)} - 1 \right] \cdot \exp(-g^* t)} \quad (2.46)$$

$h \rightarrow$ popülasyonun taşıma kapasitesinin yarısına ulaştığı zaman olmak üzere,

$$P(t) = \frac{C}{1 + \exp[-g^*(t-h)]} ; \text{ ve} \quad (2.47)$$

$$P(h) = 0.5c ; h = \frac{\ln\left[\frac{C}{P(0)} - 1\right]}{g^*} \quad (2.48)$$

2.3.8 Diğer büyüme modelleri

Lojistik Modeli, kesirsel büyüme oranının doğrusal olarak azalmasını varsaymaktadır. Ancak literatürde yer bulan bazı diğer modeller bu varsayıma dayanmamakta, ve bu yüzden genellikle asimetrik eğrileri öngörmektedirler (Stermann, 2000).

2.3.8.1 Richards modeli

Kesirsel büyüme oranı, popülasyonda doğrusal olmayan bir fonksiyonla yer almaktadır (Richards, 1959).

$$\text{Net dogum oranı} = \frac{dP}{dt} = \frac{g^* - P}{(m-1)} \left[1 - \left(\frac{P}{C} \right)^{m-1} \right] \quad (2.49)$$

m parametresinin 2 olması durumunda Richards Modeli, Lojistik Modeli'ni vermektedir.

k , $P(0)$ 'ın taşıma kapasitesi oranına bağlı bir parametre olmak üzere;

$$P(t) = C \left[1 - k \cdot \exp(-g^* t) \right]^{\frac{1}{1-m}} \quad (2.50)$$

2.3.8.2 Gompertz eğrisi

Richards Modeli'nin özel bir halidir. Modelde $m=1$ alınarak ve

$$\lim_{a \rightarrow 0} \frac{(x^a - 1)}{a} = \ln(x) \text{ denkleminde hareketle;}$$

$$P(t) = C \cdot \exp\left[-k \cdot \exp(-g^* t)\right] \quad (2.51)$$

Kesirsel oran, popülasyonun logaritmasına kadar doğrusal olarak azalmaktadır.

Maksimum büyüme oranı $P/C=0.368$ olduğunda gerçekleşmektedir (Stermann, 2000).

2.3.8.3 Weibull dağılımı

$a, b > 0 \rightarrow$ şekil ve ölçek parametreleri olmak üzere;

$$P(t) = C \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{b} \right)^a \right] \right\} \quad (2.52)$$

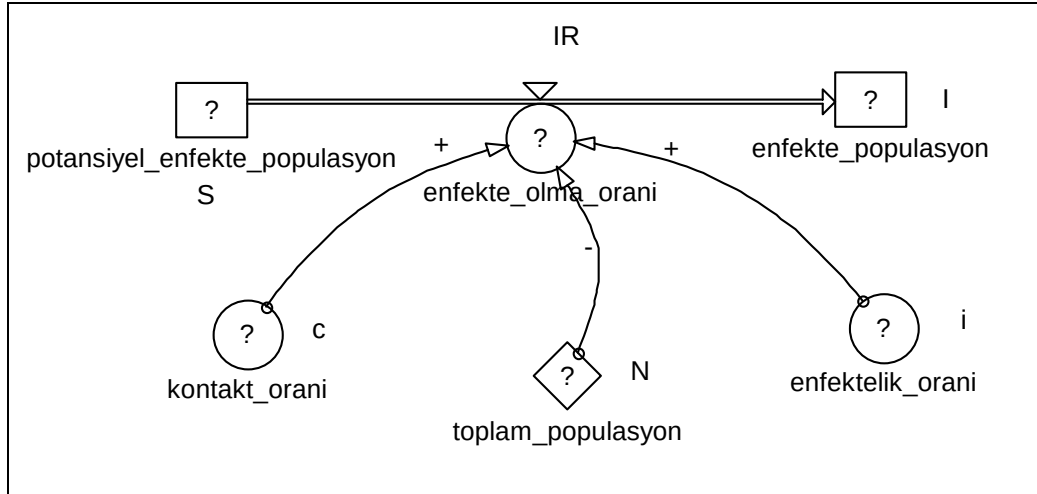
$a = 2$ durumunda Weibull Dağılımı'nın özel bir hali olan Rayleigh dağılımı elde edilir (Stermann, 2000).

2.3.8.4 Epidemiy dinamikleri

Özellikle yeni ürünlerin piyasaya sürülmesinin modellenmesi konusuna giriş teşkil edeceğinden kısaca incelenmiştir (Stermann, 2000). Gösterimi Şekil 2.11'de verilmiştir.

$$I = \int (IR, I_0) \quad (2.53)$$

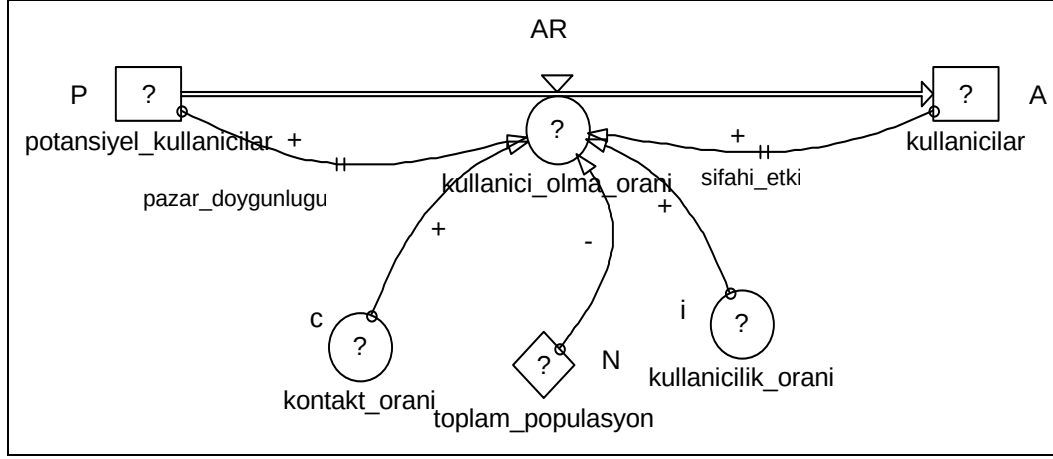
$$S = \int (-IR, N - I_0) \quad (2.54)$$



Şekil 2.11: Epidemiy dinamikleri

2.3.8.5 İnovasyon dağılımı: Yeni fikir ve ürünlerin modellenmesi

Yeni bir ürünün ya da hizmetin piyasaya sunulması sonrasında, bu ürün ya da hizmetin kullanım oranı genellikle S-biçimli büyüme davranışı sergilemektedir. İnovasyon dağılımının gösterimi Şekil 2.12'de verilmiştir.



Şekil 2.12: İnovasyon modellemesi

$$A = \int (AR, A_0) \quad (2.55)$$

$$P = \int (-AR, N - A_0) \quad (2.56)$$

$$AR = c \cdot i \cdot P \cdot \left(\frac{A}{N} \right) \quad (2.57)$$

$$P + A = N \quad (2.58)$$

$$\ln \left[\frac{A}{(N - A)} \right] = \ln \left[\frac{A_0}{(N - A_0)} \right] + g_0 t \quad (2.59)$$

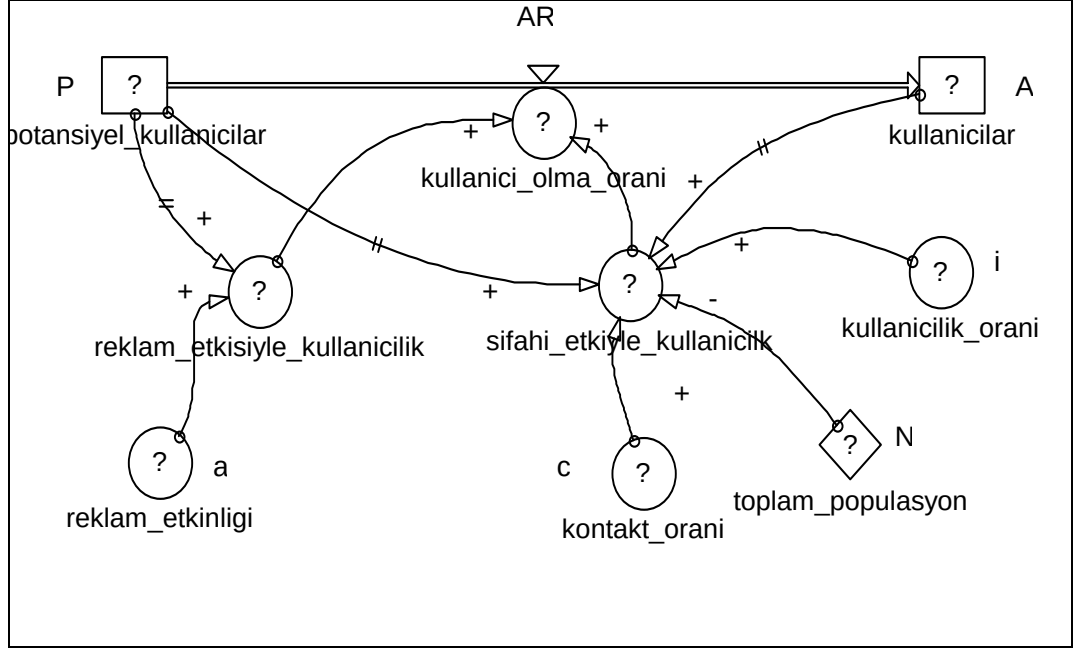
$$\ln \left(\frac{A}{P} \right) = \ln \left(\frac{A_0}{P_0} \right) + g_0 t \quad (2.60)$$

İnovasyonların büyümesini sağlayan pozitif geri besleme, yeni ürün hakkında haberi olan, ya da kullanıcı olanların; olmayanlarla teması sonucu ortaya çıkmaktadır (Sternan, 2000).

2.3.8.6 Bass dağılım modeli

Frank Bass, modellerdeki başlangıç durumuna ilişkin problemi (yeni üründen haberdar olma başkalarından duyma yoluyla olacaksa, o başkaları nereden duymuşlardır?) ortadan kaldırmak amacıyla potansiyel kullanıcıların inovasyondan dışsal etkilerle haberdar oldukları modeli geliştirmiştir.

Bu dışsal etkilerin (şifahi etki ve reklam etkisi) etkinliği sabit kabul edilmiştir (Sternan, 2000). Bass dağılım modelinin sistem dinamiği yapısı, Şekil 2.13'te gösterilmektedir.



Şekil 2.13: Bass dağılım modeli

Kullanici olma oranı = Reklam etkisiyle kullanicilik + Sifahi etkiyle kullanicilik

$$AR = aP + \frac{ciPA}{N} \quad (2.61)$$

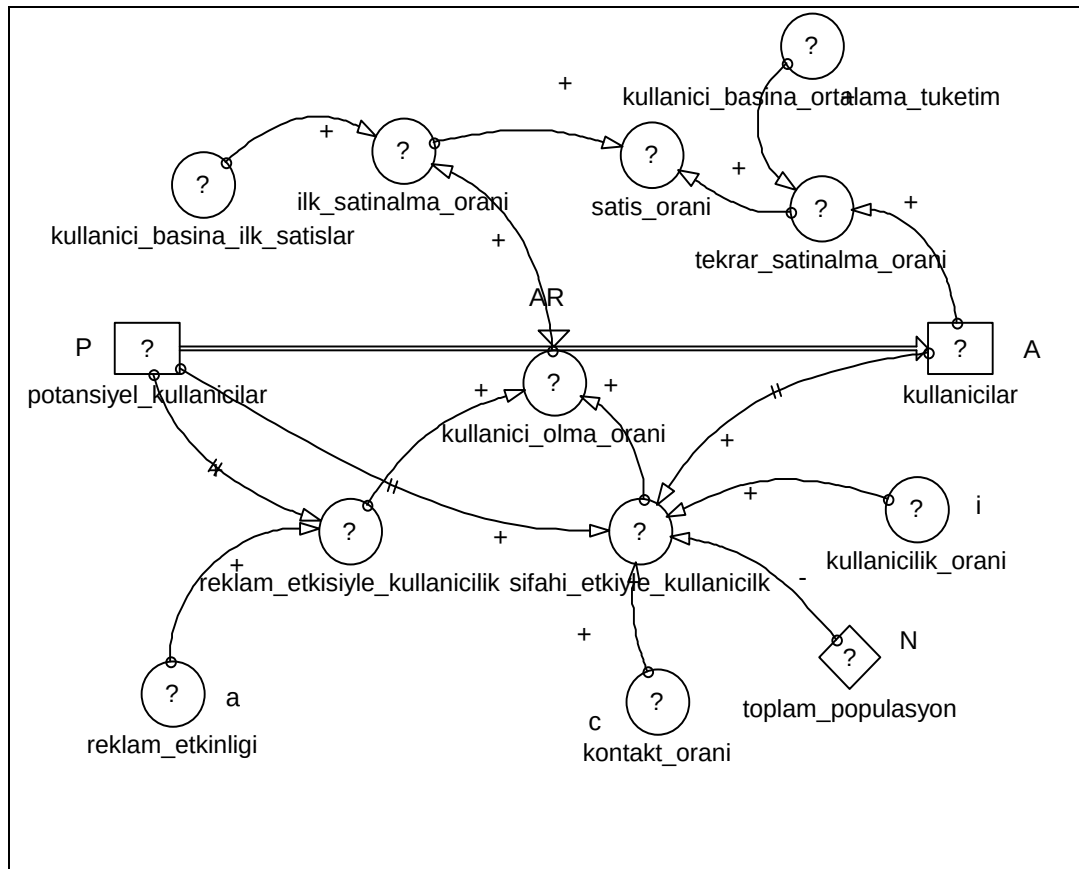
2.3.8.7 Değişirme amaçlı satınalmalar

Bazı kullanıcılar ürünü yenileme kararı alabilirler. Bu tür bir etki de, sistemin modellenmesinde ayrıca hesaba katılmalıdır. Örneğin, ürün kullanımını bırakan popülasyon alt kümesinin, potansiyel kullanıcılar arasına katılması bu uygulamaya uygun bir varsayım olacaktır. Potansiyel kullanıcılar havuzuna dahil olan bu grup, ilk satın almalarını gerçekleştiren popülasyon alt kümesiyle tamamen eşit tutulmaktadır. Ürünün olumlu ya da olumsuz etkisine göre bu varsayım değiştirilebilir, yani değiştirme kararı vermiş kullanıcıların ilk satın almalarını yapanlara göre daha istekli ya da isteksiz olması modelde belirtilebilir (Stermann, 2000). Değişirme amaçlı satın almaların sistem dinamiği yapısına ilişkin gösterim Şekil 2.14'te bulunmaktadır.

2.3.9 Verilerin uygunluğu ve model geçerliliği

Dinamik sistemlerin modellenmesi esnasında bazı önemli noktalar ön plana çıkmaktadır. Örneğin sistemin geçmiş davranış şekilleri hakkında bilgi veren tarihsel verilere dayanarak ve bu veri dağılımına oturan farklı modeller geliştirilebilir ve bu farklı modeller çok farklı sonuçlar verebilir.

Benzer şekilde, model geçerliliği için yeterli veri toplanması gerekmekte birlikte, güvenli tahmini verecek veriler toplandığında sistem davranışı değişmiş olabilir. Yani toplanmış olan veriler geçerliliğini yitirmiş ya da yitirmekte oluyor olabilir.



Şekil 2.14: Değiştirme amaçlı satınalmaların modellenmesi

Bu olumsuz durumlara düşmemek için modelin varsayımları gerçeğe uygun temellere oturmalı ve model, dalgalanma ve taşma ve çökme gibi daha karmaşık yapıları da içerebiliyor olmalıdır. Bu şekilde model, gerçeğe en uygun şekilde oluşturulmuş ve politika değişimlerine de cevap verebiliyor nitelikte olacaktır (Stermann, 2000).

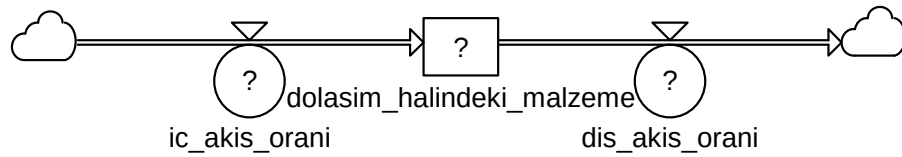
2.4 Gecikmeler

Gecikme kısaca, çıktının girdinin sisteme dahil olmasından daha geç meydana geldiği bir proses olarak tanımlanmaktadır. Dinamik sistemlerde gecikmeler, kararsızlık ve dalgalanmaya yol açmalarından dolayı tehlikeli olarak görülmekte ve sistemlerin yönetiminde mutlaka dikkate alınmaları gerektiği belirtilmektedir (Sterman, 2000). Wolstenholme (1990) da gecikmeleri, aslında kaynakların tutulduğu gizli birer seviye olarak tanımlamıştır.

Gecikmeler malzeme veya enformasyona ilişkin olabilmekte, ve her iki durumda da sistem dinamiği açısından daima seviyeleri içermektedir. Malzeme gecikmeleri, malzemelere ilişkin fiziksel akışları içermekte; buna karşılık bilgi gecikmeleri ise algılama yada inanışlara ilişkin olmaktadır (Sterman, 2000).

2.4.1 Malzeme gecikmeleri

Saf (dış etmenlerin sisteme müdahil olmadığı) gecikmelerde dış akış oranı, dolaşım halindeki malzeme miktarına (seviye) ve ne kadar süredir dolaşım halinde olduğuna bağlı olmakla birlikte; kaynak kapasitesi de önemli bir etken olabilmektedir (Sterman, 2000). Örnek gösterim Şekil 2.15'te görülebilir.

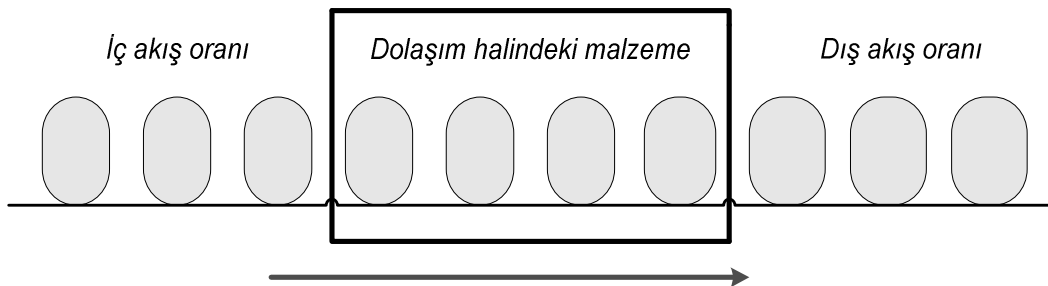


Şekil 2.15: Malzeme gecikmelerinin örnek gösterimi

Her gecikmeye ilişkin iki önemli unsur; gecikmenin ortalama süresi ve çıktının ortalama gecikme süresi etrafındaki dağılımıdır. Ortalama gecikme süresi, bir malzemenin “dolaşım halindeki malzeme” seviyesi içerisinde ne kadar kaldığı sorusunun cevabı olup, çıktının ortalama etrafındaki dağılımı da hizmet disiplini ile ilgilidir (Sterman, 2000).

2.4.1.1 Boru hattı gecikmesi

Boru hattı gecikmeleri, gecikme zamanının sabit olduğu ve malzemelerin sisteme giriş düzeni ile sistemden çıkış düzeninin aynı olduğu sistemlerde görülen gecikmelerdir. “İlk giren ilk çıkar” (*first-in-first-out* – FIFO) yapısını baz alan sistemde her malzeme için gecikme zamanı, ortalama gecikme zamanına eşittir (Sterman, 2000). Şekil 2.16’da boru hattı gecikmesi görülmektedir.



Şekil 2.16: Boru hattı gecikmesi

2.4.1.2 Birinci düzen malzeme gecikmeleri

Boru hattı gecikmelerinin tersi olan ve birinci düzen sistemlerde görülen malzeme gecikmeleridir. Sistem dahilindeki malzemelerin işlenme zamanları farklılık göstermektedir ve bu farklılık, sistemden çıkışa ilişkin değişkenliğe yol açmaktadır (Sterman, 2000). Önceki bölümlerde değinilen *havuz metaforu*, birinci düzen sistemlere ilişkin ideal örneği teşkil etmektedir. Sisteme ilişkin dış akış, (2.62) denklemi ile hesaplanmaktadır (Sterman, 2000).

$$Dis Akis = Dolasim Halindeki Malzeme / Ortalama Gecikme Zamanı \quad (2.62)$$

2.4.1.3 Yüksek düzen malzeme gecikmeleri

Boru hattı ve birinci düzen gibi iki ekstrem sistemin arasında yer alan bazı gecikmeler de bulunmaktadır. Birbiri ardınca sıralanmış iki birinci düzen sistem (birbirine bağlı iki havuz) bu sistemlere örnek olarak gösterilebilir. Toplam dolaşım halindeki malzeme, iki farklı dolaşım halindeki malzeme seviyelerinin toplamından oluşacaktır.

Gecikmelerin düzeni arttıkça sistemin karıştırması azalacak ve çıkışın varyansı küçülecektir. Buradan hareketle sonsuz düzendeki bir sistemin boru hattı davranışı göstereceği söylenebilir (Sterman, 2000).

2.4.2 Gecikmedeki miktar: Little kuralı

Gecikmelerdeki miktar, gecikmeye olan iç ve dış akışların farklarının toplamından oluşacaktır. Örneğin iç akışı I , dış akışı O ve gecikme zamanı D olan bir boru hattı gecikmesi ele alındığında;

$$O(t) = I(t - D) \quad \text{olacaktır.} \quad (2.63)$$

Başlangıç anında iç akış ve dolaşım halindeki malzeme miktarlarının 0 olduğu düşünülürse, 0 anında iç akışlar başlayacak ve D süresi boyunca dış akış olmayacağından her adımda I miktar gecikmeye dahil olacaktır.

D gecikme süresi sonunda dış akışlar da başlayacak ve dış akış oranı iç akış oranına eşit olacağından sistem dengeye ulaşacaktır. Kısacası gecikmedeki miktar (S), D süresi boyunca sisteme dahil olan iç akışlardan (DI) ibaret olacaktır (Sterman, 2000).

Birinci düzen bir sistem ele alınacak olursa; (2.62) denkleminden dış akışın, dolaşım halindeki malzemenin gecikme zamanına oranına eşit olduğu hatırlanabilir ($O=S/D$).

Sistemin denge durumunda iç ve dış akışlar eşit olacağından, dolaşım halindeki malzeme miktarı, tıpkı boru hattı gecikmesinde olduğu gibi *DI* olacaktır (Sterman, 2000).

Kısacası, sistemin dış akışın olasılık dağılımından bağımsız olarak, denge durumunda dolaşım halindeki malzeme miktarı daima *DI* olacaktır (Sterman, 2000). *Little kuralı* olarak bilinen bu ifade, gecikmedeki miktarların sadece ortalama gecikme zamanı ile iç akışa bağlı olduğunu belirlemekte ve gecikmelerin sistemlere nasıl bir eylemsizlik kattığını açıklamakta; ayrıca, miktar ve akışların bilinmesi durumunda ortalama gecikme zamanı tahminine imkan kılmaktadır (Sterman, 2000).

2.4.3 Bilgi gecikmeleri

Yukarıda bahsedilen gecikmeler, malzemelerin fiziksel iç ve dış akışlarından oluşan sistemlere ilişkin ve bu akışlar ile şekillenen yapılarıdır. Ancak birçok gecikme, bilgilerin geri beslemesinden kaynaklanmakta ve bilgi gecikmeleri olarak adlandırılmaktadır (Sterman, 2000).

Bir değişkenin ölçümü yada algılanması, tahminlerin güncellenmesi, yönetimin gelecekteki ekonomik verilere ilişkin tahminleri bilgi gecikmelerine örnek olarak verilebilir.

Bir sisteme ilişkin tüm inanış, beklenti, tahmin ve projeksiyonlar; o ana ilişkin bilgilere, yani geçmişe dayalı bilgilere dayanmaktadır. Karar vermek için bilgi edinmesi zaman almakta, ve insanlar yeni bilgilere göre inanışlarını anında değiştirmemektedirler. Kısacası, inanış ve davranışların değişmesinden önce yeni duruma duygusal olarak adapte olmak için insanlar zamana ihtiyaç duymaktadırlar (Sterman, 2000).

Bilgi gecikmeleri, malzemelerin fiziksel akışı söz konusu olmadığından, malzeme gecikmeleri gibi modellenemezler. Seviyelerin iç ve dış akışları, malzeme gecikmelerinde korunmakta olup, bilgi gecikmelerinde böyle bir durum bulunmamaktadır (Sterman, 2000).

2.4.3.1 Algıların modellenmesi

En basit ve en yaygın algı modellemesi üstel (eksponansiyel) düzeltme adıyla bilinen gecikmedir. Değişkene ilişkin inanışın, değişkenin gerçek değerine yaklaşmasını temel alır (Sterman, 2000).

$\hat{X}$; değişkenin algılanan değeri

X ; değişkenin gerçek değeri

D ; düzeltme zamanı olmak üzere;

$$\hat{X} = \int \left(\text{algılanan degerdeki degisim}, \hat{X}(0) \right) \quad (2.64)$$

$$\hat{X} = \int \left(\frac{(X - \hat{X})}{D}, \hat{X}(0) \right) \quad (2.65)$$

Malzeme gecikmelerinde; seviye, dolaşım halindeki malzeme olup, gecikmenin çıktısı akıştan oluşmaktaydı. Bilgi gecikmelerinde ise, değişkene ilişkin inanış (algılanan değerdeki değişim); bir seviyedir. Zira bir algılama yada inanış, sistem durumuna ilişkin olup, belirli bir süre değişim göstermeyecektir (Sterman, 2000).

Üstel düzeltme yapısında, sistemin gerçek ve algılanan durumları arasındaki farklar kapatılarak, algının gerçeğe yaklaşması sağlanmaktadır. Gerçek ve algılanan durumlar arasındaki fark ne kadar büyükse, düzeltme miktarı da o kadar büyük olmaktadır. Bu durum, hatırlanacağı üzere, birinci düzen doğrusal negatif geri besleme yapısı ile benzerlik göstermektedir. Bu yapı, *birinci düzen bilgi gecikmesi* yada *birinci düzen üstel düzeltme* olarak adlandırılmaktadır (Sterman, 2000).

2.4.3.2 Yüksek düzen bilgi gecikmeleri

Birinci düzen bilgi gecikmelerinde, tıpkı birinci düzen malzeme gecikmelerinde olduğu gibi, sistemin girdisine ilişkin bir değişiklik, anında sistemin çıktısına da yansımaktadır. Ancak birçok durumda inanışlar, belirli bir zaman sonrasında değişmeye başlamaktadır. Bu durumlarda geçmiş verilere ilişkin ağırlıklar başlangıçta düşük olup, gittikçe yükselecek ve daha sonra da düşecektir (Sterman, 2000).

Geçmiş verilerin ağırlıklarının düşük olmasının çeşitli sebepleri olabilmektedir. Verilerin şu anki değerlerine ulaşamıyor olabilir, raporlamadan kaynaklanan gecikmeler olabilir, ya da karar vericilerin inanışlarını değiştirmeleri zaman alıyor olabilir. Neticede, birden fazla kademe içeren bilgi gecikmelerinin de tıpkı benzeri malzeme gecikmeleri gibi farklı ele alınma gerekliliği olmaktadır. Bu tip gecikmeler *yüksek düzen bilgi gecikmeleri* olarak adlandırılmaktadırlar (Sterman, 2000).

Yüksek düzen bilgi gecikmeleri, boru hattı gecikmelerine benzer şekilde modellenebilir (Sterman, 2000). Bu durumda D raporlama gecikmesi olmak üzere;

$Raporlanan\ deger(t) = Gercek\ deger(t - D)$ olacaktır.

Ancak genellikle bilginin ölçüm ve raporlanması birden çok aşamadan oluşacak, ve her aşama da bazı ortalama ve düzeltme faaliyetleri içerecektir. Bazı durumlarda bu aşamaların her birinin ayrı ayrı modelde yer alması gerekmektedir birlikte, genellikle tek bir bilgi gecikmesi olarak modellenmesi yeterli olmaktadır (Sterman, 2000).

Sistem dinamiğinde, n . düzenden bilgi gecikmeleri n adet birinci düzen gecikmeden oluşmakta ve $SMOOTHn$ fonksiyonu ile gösterilebilmektedir. Her aşamanın algılanan değeri bir sonraki aşamanın girdisi, ve son aşamanın algılanan değeri de gecikmenin çıktısı olmaktadır. Her aşama aynı gecikme zamanına sahip olmakta, ve bu da toplam gecikme zamanının $(D) 1/n$ 'i olmaktadır (Sterman, 2000).

$$Cikti = SMOOTHn(Girdi, D)$$

$$Cikti = S_n$$

$$S_i = \int [i\ asamasindaki\ degisim, S_i(0)] \quad (2.66)$$

$$S_i(0) = Girdi$$

$$i\ asamasindaki\ degisim = \begin{cases} (Girdi - S_1)/(D/n), & i = 1 \\ (S_{i-1} - S_i)/(D/n), & i \in (2, \dots, n) \end{cases}$$

2.4.4 Gecikmelerin matematiği

Sistem dinamiği, genellikle sürekli zamanı baz almakla birlikte, kesikli zamanlara ilişkin formülasyonlar da önem teşkil etmektedir. Zira gecikmelerin raporlamaları genellikle kesikli zaman dilimlerinde yapılmaktadır. Bu ön bilgiye, gecikme zamanının sabit olduğu varsayımını da ekleyerek Sterman (2000), malzeme ve bilgi gecikmelerine ilişkin matematiksel açılımları ortaya koymuştur.

2.4.4.1 Genel formülasyon

Bir değişime gecikmenin tepkisinin şekli, dış akış oranının olasılık dağılımı olarak yorumlanmaktadır. Kesikli zamanda, t anındaki bir gecikmenin çıktısı, girdinin şimdiki zamana kadarki tüm değerlerinin ağırlıklı toplamı olacaktır (Sterman, 2000).

$$Cikti(t) = \sum_{i=0}^{\infty} w_i \cdot Girdi_{t-1} \quad (2.67)$$

$$\sum_{i=0}^{\infty} w_i = 1 \quad (2.68)$$

(2.68) denklemi ile belirtilen, ağırlıkların 1'e eşitliği kısıtı, gecikme boyunca malzemenin korunumunu sağlamaktadır. Bilgi gecikmelerinde ise aynı kısıt, çıktının girdiye eşitlik dengesini sağlayacak, bu sayede girdinin yansız bir tahminini verecektir (Sterman, 2000).

Sürekli zamandaki formülasyonu elde etmek içinse kesikli zamandaki formüllerin limitlerini almak gerekmektedir. Çıktı, girdinin $t-s$ süresi boyunca işleme olasılıklarını ağırlıklı integrali olacak, ve gecikmeye dahil olduktan sonraki s süresi boyunca işleme olasılıkları $p(s)$ de sürekli dağılıma uyacaktır (Sterman, 2000).

$$Cikti(t) = \int_0^{\infty} p(s) \cdot Girdi(t-s) ds \quad (2.69)$$

$$\int_0^{\infty} p(s) ds = 1 \quad (2.70)$$

Gecikmelerin formülasyonunda yer alan ağırlıkların yapısı (gecikmeden çıkmanın olasılık dağılımı) üzerinde duurulması gereken önemli bir konudur. Başlangıç anında, gecikmeye dahil olan yeni bir malzeme yada bilgiye ilişkin herhangi bir çıktı değeri olmayacağından, $p(0) = w_0 = 0$ olması gerektiği aşikardır. Ayrıca, yeteri kadar uzun bir süre geçtikten sonra tüm gecikmelerin çıktısının 0'a yaklaşması da gerekeceğinden $p(\infty) = w_{\infty} = 0$ olacaktır. Kısacası, bir gecikmeden çıkışın olasılığı (bir değişikliğe tepkisi), 0'dan başlayacak, maksimum bir değere ulaşacak ve yeniden 0'a düşecektir. Bu noktada mantıklı olan, çıkış olasılık dağılımının bir ve yalnız bir maksimum değeri olduğu düşüncesi olmakla birlikte, eğer gecikmeden çıkışlara ilişkin veri kümesi birden fazla maksimum değeri işaret ediyorsa, kuvvetle muhtemel olarak sistemde paralel olan iki farklı gecikme bulunmaktadır ve her bir gecikmenin ayrı ayrı modellenmesi gerekmektedir. Bu kısıtlar altında, iki önemli tepki türü oluşmaktadır: gecikmedeki bir değişikliğe anında tepki veren ve hızlı düşüş gösteren bir çıktıya sahip bir sistem ile, değişime tepki vermesi için bir süre bekleyen, daha sonra maksimum değere ulaşan, ve yavaşça iniş gösteren bir sistem. Birinci düzen gecikmeler ilk durumu açıklamakta, yüksek düzen gecikmeler ise ikinci durum ile ilgili esnek dağılım setleri sunmaktadır (Sterman, 2000).

2.4.4.2 Birinci düzen gecikmeler

Birinci düzen gecikmeler, dolaşım halindeki malzeme seviyesinin her zaman mükemmel bir şekilde karıştırıldığını varsaymaktadırlar. Bu nedenle, gecikmeden çıkışın düzeni rassal olmakta ve bazı malzemeler sistemde ortalama gecikme

zamanından daha uzun süre kalırken bazıları ise daha kısa süre kalmaktadırlar. Birinci düzen gecikme, birinci düzen doğrusal negatif geri besleme yapısının dengi olduğundan, sistemdeki tek bir değişime olan tepkisi eksponansiyel azalma olacak, bu durumda da sistemden çıkışa ilişkin olasılık, ortalaması ortalama gecikme zamanı D olan eksponansiyel dağılım ile belirlenebilecektir (Sterman, 2000).

$$p(t) = \left(1/D\right) \exp\left(-t/D\right) \quad (2.71)$$

Gecikme içerisinde yer alan malzemelere ilişkin ortalama sistemde kalış süresi T_r , çıkış oranının zaman ağırlıklı ortalaması olacaktır (Sterman, 2000).

$$T_r = \int_0^{\infty} t \cdot C_{ikis}(t) dt = \int_0^{\infty} t \cdot p(t) dt \quad (2.72)$$

Birinci düzen malzeme gecikmelerinde çıkış, dolaşım halindeki malzemenin ortalama gecikme zamanına bölünmesi ile bulunabilecektir:

$$C_{ikis}(t) = S(t)/D \quad (2.73)$$

Birinci düzen negatif geri besleme sistemlerinde, dolaşım halindeki malzeme D zaman sabiti boyunca eksponansiyel olarak azalacağından;

$$S(t) = \exp(-t/D) \quad (2.74)$$

Bu denklemler sonucunda ortalama sistemde kalış süresi;

$$T_r = \int_0^{\infty} t \cdot [S(t)/D] dt = \int_0^{\infty} t (1/D) \exp(-t/D) dt \quad (2.75)$$

Ve bu integraller alınırsa;

$$T_r = -t \cdot \exp(-t/D) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} \exp(-t/D) dt = 0 - D \exp(-t/D) \Big|_0^{\infty} = D \quad (2.76)$$

Kısacası, ortalama sistemde kalış süresi, ortalama gecikme zamanına eşit olacaktır. Kesikli zamanda ise ağırlıklar, zaman içerisinde sabit oranda gerometrik olarak azalacaktır. Gecikme ağırlık parametresi L , ortalama gecikme zamanı D 'ye bağlı olmak üzere;

$$w_i = (1-L)L^i \quad (2.77)$$

$$D = L/(1-L) \quad (2.78)$$

$$0 \leq L < 1$$

Bu formülasyon, ekonometride sıkça kullanılan *Koyck gecikmesi* olarak da bilinmektedir (Serman, 2000).

2.4.4.3 Yüksek düzen gecikmeler

Kademeli olarak sıralanan n adet birinci düzen gecikme, daha önce bahsedildiği üzere yüksek düzen gecikmeleri oluşturmaktadır. Matematiksel olarak n .düzen bir gecikmenin çıktısı, her biri eşit ortalama gecikme oranı D 'ye sahip n adet birinci düzen sistemin toplam aşama sayısına bölünmesi ile bulunabilir. Sürekli zamanlarda yüksek düzen gecikmeler, Danimarkalı bilim adamı ve kuyruk teorisinin babası olarak nitelendirilen *Erlang* dağılımlarına sahip olacaklardır (Serman, 2000).

n .düzene ilişkin bir Erlang dağılımı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$p(t) = \frac{(n/D)^n}{(n-1)!} t^{n-1} \exp[-(n/D)t] \quad ; t > 0 \quad (2.79)$$

Ortalama değer teoremi yardımıyla sistemde ortalama kalış süresinin ortalama gecikme zamanı D 'ye eşit olduğu kontrol edilebilir. Erlang dağılımı, $n=1$ için birinci düzen eksponansiyel dağılıma indirgenmektedir (Serman, 2000).

Kesikli durumda yüksek düzen gecikmeler aynı zamanda *Pascal* gecikmeleri olarak da bilinmekte olup, formülasyonu aşağıda verilmiştir:

$$w_i = \binom{i+n-1}{i} (1-L)^n L^i = \frac{(i+n-1)!}{i!(n-i)!} (1-L)^n L^i; i \in \{0, \infty\} \quad (2.80)$$

Tıpkı birinci düzen Erlang gecikmesinin, eksponansiyel dağılımı verdiği gibi, $n=1$ için Pascal gecikmesi de geometrik dağılımı vermektedir (Serman, 2000).

Gecikmelerin dağılımına ilişkin yeterli verinin olmadığı durumlarda dahi gecikmenin düzenine ilişkin tahmini bir değer de belirlenebilmektedir.

$\hat{D}$: ortalama gecikme

s^2 : çıktı varyansına ilişkin tahminler olmak üzere gecikmenin düzeni;

$$\hat{n} = INT \left(\frac{\hat{D}}{s^2} \right) \quad (2.81)$$

Formülü ile hesaplanabilmektedir (Serman, 2000).

2.4.4.4 Malzeme ve bilgi gecikmeleri ilişkisi

Yukarıda görüldüğü üzere, eş gecikme zamanlarına sahip malzeme ve bilgi gecikmeleri, bu gecikme zamanları sabit kaldıkça aynı olmaktadır. Örneğin I girdi ve O çıktısı olan birinci düzen bir bilgi gecikmesi ele alınacak olduğunda;

$$\frac{dO}{dt} = (I - O)/D \quad \text{olmaktadır} \quad (2.82)$$

Yani gecikmenin çıktısı, girdi ile çıktı arasındaki boşluğa bağlı net bir orana sahiptir. Bu net oran, girdi ve çıktıya göre ayrı ayrı ifade edilirse artış ve azalış oranlarının farkı olduğu görülecektir.

$$\frac{dO}{dt} = \frac{I}{D} - \frac{O}{D} \quad (2.83)$$

(2.83) denklemi, I/D iç akış, O/D dış akış ve dolaşım halindeki malzeme seviyesi O olan bir birinci düzen malzeme gecikmesi ile eşdeğerdir. Gecikme zamanları sabit kaldığı müddetçe heriki gecikmenin davranışı eş olacaktır. Malzeme gecikmesinde çıktı, seviyeden çıkış oranı olmakta; ancak buna karşılık bilgi gecikmesinde ise seviyenin kendisi (O) olmaktadır. Bir gecikme zamanının simülasyon sırasında değişkenlik gösterebileceği göz önüne alınırsa, gecikme tiplerinin sabit zamanlarda eş davranış göstermesine kanmamalı ve gecikme tipinin mutlaka belirlenmesi gerektiği belirtilmektedir (Sternan, 2000).

2.5 Simülasyon Denklemleri

Wolstenholme (1990), sistem dinamiği simülasyonlarının kesin sonuçlardan ziyade sistem davranışına yönelik olması gerektiğini belirtmekte, ve özellikle sistem elemanları arasındaki ilişkilerin doğru modellenmesi gerektiğini söylemektedir.

Ancak simülasyonlardaki tüm sistem elemanları arasında matematiksel bir ilişkinin de olması gerekmektedir. Bu ilişki, günümüzün gelişmiş simülasyon programlarında otomatik olarak belirlense de, matematiksel açılımını anlamak, sistem dinamiği felsefesini kavramak için önem teşkil etmektedir.

Sistem dinamiğindeki matematiksel ilişkileri en basit şekilde ifade etmek gerekirse; seviyelerin, oranların (akışların) zaman üzerindeki ortalaması olduğu söylenebilir (Wolstenholme, 1990). Denklemlerde yer alan değişkenlerin kodlanmasını anlaşılır kılacak zaman değişimleri Şekil 2.17'de verilmiştir.

3. DİNAMİK BİR SİSTEM OLARAK TEDARİK ZİNCİRLERİ VE KAMÇI ETKİSİ

3.1 Üretim Sistemleri

Üretim, temel amacı topluma değer yaratmak olan ve insan gereksinimlerinin, doğa tarafından tam olarak karşılanmaması sonucu ortaya çıkan ve insanlar tarafından gerçekleştirilen bir etkinliktir (Tanyaş ve Baskak, 2006). Bir üretim sisteminde girdiler (malzeme, işçilik, sermaye, enerji ve diğer), dönüştürme süreçlerinden geçirilerek çıktılar (ürün, yarı ürün, yan ürün, hizmet, artıklar) haline getirilir. Bu sistemi etkileyen çevresel etmenler ise ekonomik koşullar, yasal koşullar, rakipler ve rekabet koşullarıdır (Tanyaş ve Baskak, 2006).

3.1.1 Üretim sistemlerinin ürüne uygulanan stok politikasına göre sınıflandırması

Stok politikası ele alındığında, ürünün teslim zamanı ve ürün üzerinde istenen özelleştirmeler en önemli değişkenler olmaktadır. Ürüne uygulanan stok politikasına göre üretim sistemleri üç ayrı sınıfta incelenmektedir (Tanyaş ve Baskak, 2006). Bu sınıflandırma, kamçı etkisinin analizi açısından en önemli sınıflandırmayı teşkil etmektedir.

3.1.1.1 Stok için üretim

Ürün üzerinde özelleştirmelerin hemen hiç olmadığı, ancak teslim zamanının önemli olduğu durumlarda ürün, müşteri talebinden bağımsız olarak üretilerek stoklanacak, ve siparişi takiben hemen sevk edilecektir (Tanyaş ve Baskak, 2006).

3.1.1.2 Sipariş için üretim

Müşterilerin ürün üzerinde çok fazla özelleştirme yaptığı ve bunun için toplam üretim zamanını beklemeyi göze aldığı yapılardır. Üretici sadece hammadde stoğu bulunduracak, ve müşterinin talebine göre spesifik ürünlerin üretimini gerçekleştirecektir (Tanyaş ve Baskak, 2006). Sipariş için üretim; imalatın yapıldığı sürelerin düzeni bakımından üç alt gruba ayrılır:

- Az sayıda mamulün yalnız bir defa üretilmesi.
- Az sayıda mamulün talep geldikçe, belirsiz aralıklarda üretilmesi.

- Az sayıda mamulün belirli aralıklarda periyodik olarak üretilmesi (Kobu, 1996).

3.1.1.3 Siparişe göre son işlemler

Stok için ve sipariş için üretim sistemlerinin karışımı niteliğinde olan sistemdir. Ürüne ait ana parçalar, alt montaj grupları ve opsiyonel parçalar üretilerek stoklanır. Müşterinin spesifik taleplerine göre montaj gerçekleştirilir ve müşterinin bekleme süresi, sadece montaj süresi ile kısıtlanmış olur (Tanyaş ve Baskak, 2006).

3.1.2 Üretim sistemlerinin yönetimi

Üretim yönetimi; miktar, kalite, zaman ve maliyet parametrelerini optimize etmeye çalışarak ürünün, istenen kalitede, istenen miktarda, istenilen zamanda ve en düşük maliyetle gerçekleşmesini sağlayacak biçimde bir işletmenin elinde bulunan malzeme, makine, işgücü, vb. üretim kaynaklarının planlanması, üretimin gerçekleştirilmesi, kontrol edilmesi ve geliştirilmesi olarak tanımlanmaktadır (Tanyaş ve Baskak, 2006).

Üretim yönetiminin birincil amaçları kısaca aşağıdaki gibi sıralanabilir (Tanyaş ve Baskak, 2006):

1. Tüketici taleplerinin fiyat, zaman, miktar ve kalite açısından en iyi şekilde karşılanması.
2. Stok düzeyinin olabildiğince düşük tutulması veya stok devrinin arttırılması.
3. İşletmenin insan gücü ve makine kaynaklarından yararlanma derecesinin yükseltilmesi.

3.1.3 Üretim planlama ve kontrol

Üretim planlama ve kontrol, üretilecek ürünü belirlemek, üretim için donanım gereksinimi saptamak ve ürünlerin istenen kalite ve maliyette, istenen sürede, doğru zamanlarda ve istenen miktarlarda oluşumunu sağlayacak çizelgeleme, programlama çalışmalarını yapmak gibi faaliyetlerden oluşan bir üretim yönetimi etkinliğidir (Tanyaş ve Baskak, 2006).

Üretim planlama ve kontrolün önemi, aşağıda belirtilen nedenlerden ötürü artmaktadır (Barutçugil, 1988):

1. Küresel rekabetin hızlı bir şekilde artması
2. Üretim sistemlerinin faaliyet yoğunluğunun ve karmaşıklığının artışı

3. İşletme içi faaliyetlerin koordinasyon zorluğu
4. İşletmeler arası ilişkilerin yoğunlaşması
5. Talebin büyümesi ve çeşitlilik kazanması
6. Tedarik ve dağıtım faaliyetlerinin geniş bir alana yayılması
7. Kalite, fiyat ve hizmet rekabetinin yoğunlaşması
8. Etkinliğin sağlanması amacıyla malzeme, makine zamanı ve işgücü kayıplarını en az düzeye indirmeye çalışmaları
9. Çok işlevli yapıya geçiş

3.1.4 Stok yönetimi

Stok kavramı, mal ve hizmet üretimi ve satışı için gerekli olan malzemeleri içermektedir. Stok kavramı dahilinde yer alan bu malzemeler, fiziksel varlıklardan oluşmaktadır. Stok sorunu, kar amacı güden veya gütmeyen birçok işletme için ortak bir sorun olup, çözümü için özellikle II.Dünya Savaşı'ndan sonraki dönemde çok yoğun çalışmalar ve analitik yöntemler geliştirilmiştir (Tanyaş ve Baskak, 2006).

Envanter ise daha geniş bir anlam ifade etmekte olup, stokların yanı sıra makine vb gibi demirbaş malzemeleri de içerir ve genellikle parasal olarak ifade edilir (Tanyaş ve Baskak, 2006).

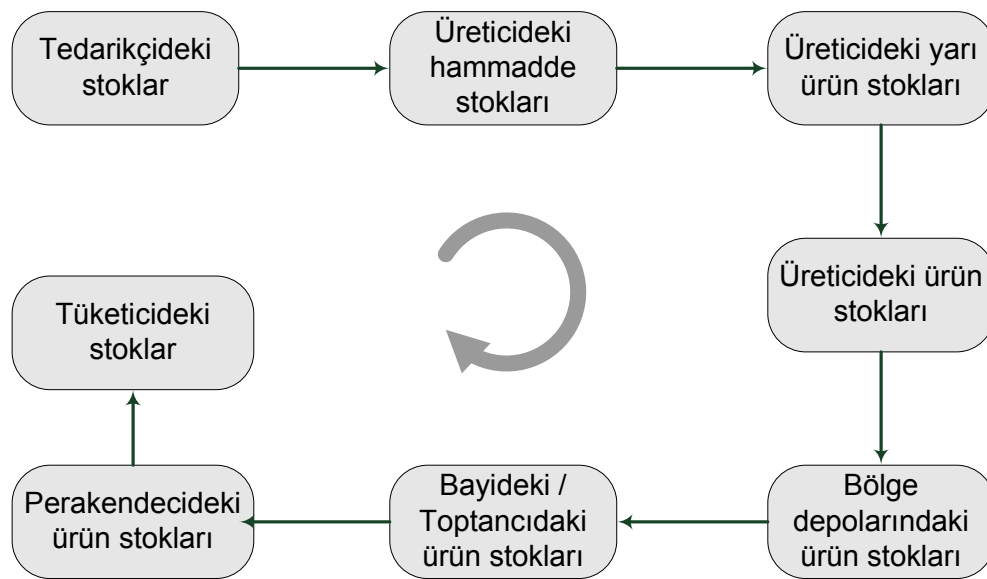
Stok yönetimi, ürün ve hizmet pazarlama, ve satış fonksiyonunu destekleyen satın alma, nakliye ve depolama faaliyetlerle birlikte dağıtım kanalını oluşturmaktadır. Dağıtım kanalı ise kısaca ürün veya hizmetleri pazara ulaştıran araçlar dizisi olarak tanımlanmaktadır (Tanyaş ve Baskak, 2006).

Stoklar; tedarikçiler, üreticiler, depolar, toptancı ve perakende mağazaları, ve tüketicilerde oluşmakta olup, bir tedarik zincirinde yer alan stok alanları Şekil 3.1'de verilmiştir (Tanyaş ve Baskak, 2006).

Bu stoklar, alan kirası ve amortismanı, elde bulundurma, enerji, güvenlik, bakım, sigorta gibi maliyetlere neden olmakta, ve bu maliyetler de ürün ve hizmetlerin fiyatlarına yansımaktadır (Tanyaş ve Baskak, 2006). Etkin bir stok yönetiminin, bu maliyetleri azaltmaya yönelik olmakla beraber, aynı zamanda dağıtım depolarında stok devir hızının ve müşteri hizmet düzeyinin artmasına yönelik olması gerektiği belirtilmektedir (Tanyaş ve Baskak, 2006).

Stok yönetiminde, itme ve çekme sistemleri olmak üzere iki temel yaklaşım söz konusudur. İtme sisteminde malzeme stokları, önceden belirlenmiş yeniden sipariş

verme noktası (*reorder level* - ROL) düzeyine düştüğünde, ekonomik sipariş miktarı (*economic order quantity* - EOQ) kadar sipariş edilmektedir. ROL ise, güvenlik stoğu ile tedarik süresine karşılık gelen talebe bağlı olmaktadır. Sipariş verme işlemi, sadece o aşamadaki talep dikkate alınarak gerçekleştirilir (Tanyaş ve Baskak, 2006).



XX.yy'ın başlarında ortaya çıkan lojistik kavramı; nakliye, envanter ve stok yönetimi, arz ve tedarik zamanlaması, sipariş işleme, malzeme işleme, depolama,

ambalajlama, parça ve servis desteği, ve bilgi iletimi gibi fonksiyonlar içermekteydi. A.B.D.'de 1920'li yılların sonunda meydana gelen ekonomik buhran ve ardından gelen II.Dünya Savaşı'ndan sonra ise, ekonomideki değişimler rekabet koşullarında değişimleri de beraberinde getirmiştir. Günümüzde lojistik maliyetlerinin ürünlerin katma değerine etkisi kağıt, kimya, ve gıda alanlarında %30'ların üzerinde seyrederken, petrol sektöründe ise %40'ın üzerine çıkmıştır (Stock ve Lambert, 1987).

Özellikle XX.yy'ın sonlarında meydana gelen siyasi ve teknolojik gelişmeler ise lojistiğin kapsamının daha da genişlemesine ve "tedarik zinciri" kavramının ortaya çıkmasına yol açmıştır.

Bu gelişmelerden ilki; kısaca globalleşme olarak adlandırılan; coğrafi, kültürel ve siyasi sınırların gitgide belirginliğini kaybetmesidir. Bunun sonucunda firmalar, üretim yeri seçimlerinde daha özgür hale gelmişler, bir lokasyondan tedarik ettikleri hammaddeyi binlerce kilometre uzaktaki başka bir lokasyonda işleyip, oradan da kilometrelerce uzaktaki ürüne ait bir ana pazarda sunabilmektedirler. Rakiplerin, tedarikçilerin, dağıtıcıların da aynı opsiyonlara sahip olması; ortaya karmaşık bir durum çıkarmaktadır.

İkinci gelişme ise, kişisel bilgisayarlar (PC) ve Internet'in ortaya çıkmasıyla bilgi teknolojilerinin kazandığı hız ve artan iletişimdir. Önceleri ancak büyük ölçekli firmaların sahip olduğu Elektronik Veri Değişimi (*electronic data interchange* - EDI) sistemleri, bugün elektronik ticaret sayesinde sayısız küçük ve orta ölçekli firmanın sahip olabileceği fonksiyonları mümkün kılmıştır.

Bunun da ötesinde, bu gelişmeler; Malzeme Gereksinim Planlaması (*materials requirement planning* - MRP), Üretim Kaynakları Planlaması (*manufacturing resources planning* - MRPII), Dağıtım Kaynakları Planlaması (*distribution resources planning* - DRP) ve Kapasite Gereksinim Planlaması (*capacity requirements planning* - CRP) gibi gelişmiş üretim planlama araçlarının, Kurumsal Kaynak Planlaması (*enterprise resource planning* - ERP) adı altında birleştirilmesini sağlamıştır.

Her iki gelişme birbiriyle pozitif korelasyona sahip gibi görünebilir ancak ortaya çıkan somut gerçek, teknoloji ve globalleşmeyle birlikte tedarik zincirlerinde de optimizasyon sağlanmasının mecburiyetidir.

İşte bu aşamada tedarik zincirlerinin "yönetilmesi" gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Literatürde yer alan bazı önemli tedarik zinciri yönetimi tanımları Çizelge 3.1'de verilmiştir (Svensson, 2003).

Çizelge 3.1: Tedarik zinciri yönetimi tanımları

Kaynak	Tedarik Zinciri Yönetimi Tanımı
Mentzer ve diğ. (2001)	Tedarik zincirinin ve firmaların uzun dönemli performanslarını arttırmak amacıyla, iş fonksiyonlarının ve bu fonksiyonlar arasındaki taktiklerin sistematik ve stratejik koordinasyonu.
Lummus ve diğ. (2001)	Lojistik akışlarının, sipariş yönetiminin, üretim proseslerinin ve enformasyon akışlarının tüm faaliyetler için izlenmesi.
Mentzer ve diğ. (2000)	Zincir dahilindeki firmalar arası ilişkilerin yönetilmesi.
Min ve Mentzer (2000)	Tedarikçiden nihai tüketiciye kadar dağıtım kanalının akışlarının yönetilmesi.
Lambert ve diğ. (1998)	Firma ve tüm zincir için rekabetçilik ve karlılığın maksimize edilmesi.
Carter ve diğ. (1995)	Tedarikçilerden nihai tüketicilere malzeme akışlarının yönetimi için bir yaklaşım.
Ellram ve Cooper (1993)	Tüm ağın en iyi sonuç için analiz edildiği ve yönetildiği bir yaklaşım.
Turner (1993)	Zincir dahilindeki tüm bağlantıların incelendiği bir teknik.
Christopher (1992)	Her biri ürün ve hizmet bazında değer yaratan organizasyonlar ağı.
Lambert (1992)	Müşterinin ihtiyaç ve isteklerini karşılamayı amaçlayan tek bir yapı.
Cavinato (1992)	Hammadeden nihai ürüne kadar ürün akışlarını sağlayan aktif satın alma ve dağıtım kanalları.
Lee ve Billington (1992)	Hammaddeyi ürüne çeviren ve müşteriye ileten üretim ve dağıtım ağıları.
Scott ve Westbrook (1991)	Hammaddenin nihai müşteriye kadar uğradığı üretim ve tedarik proseslerinin zinciri.
Novack ve Simco (1991)	Tedarikçiden üretici ve distribütör vasıtasıyla müşteriye kadar malzeme akışı.
Langley ve Holcomb (1992)	Nihai tüketici için en iyi değeri yaratacak ürün ve hizmetin üretilmesi için kanal üyeleri arasındaki iletişimin yönetimi.
Stevens (1990)	Tedarikçilerden müşteriye malzeme akışlarının kontrolü.
Ritchie (1990)	Zincir bir bütündür ve nihai müşteri tatmini, zincirin en zayıf halkasının performansı kadardır.
Houlihan (1988)	Tedarikçiden müşteriye malzeme akışı.
Jones ve Riley (1985)	Tedarikçilerden son kullanıcılara toplam malzeme akışı.

3.3 Bileşenler ve Yapı

Bir tedarik zinciri, kısaca aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır (Shapiro, 2001):

- Üretim ve dağıtım merkezleri
- Nakliye bağlantıları
- Tedarikçiler
- Müşteriler

Üretim ve dağıtım merkezleri; hammadde, ara ürün ve nihai ürünlerin tedarik edilip işlendiği, depolandığı ve nihayetinde satıldığı merkezlerdir. Nakliye bağlantıları; ürün akışının yaşandığı merkezler arasında bulunur. Bu merkezler firma tarafından yönetilebildiği gibi tedarikçiler ve müşteriler tarafından da yönetiliyor olabilirler.

Bu bileşenlerden oluşan bir tedarik zincirinin etkin yönetimi için gerekli olan koşul ise entegre bir planlamadır (Shapiro, 2001). Entegre planlama; fonksiyonel entegrasyon, fiziksel entegrasyon ve hiyerarşik planlamayı içerir.

Fonksiyonel entegrasyon; satın alma, üretim, nakliye, ve depolama fonksiyonlarını içerir. Fiziksel entegrasyon; coğrafi olarak dağılmış tedarikçi, merkez, ve pazarlar arasında olmalıdır. Hiyerarşik planlama ise bu aktivitelerin stratejik, taktik ve operasyonel planlama boyutlarını kapsar.

Belirtilen bileşenler ve entegrasyon biçimleri; tedarik zincirinin bir amacı gerçeklemesine yönelik olmalıdır. Bir tedarik zincirinin amacı, en basit şekilde, belirli bir talebi karşılamak için tedarik zincirinin toplam maliyetini enküçükmektir (Shapiro, 2001). Maliyeti oluşturan kalemler ise şu şekilde sıralanabilir:

- Hammadde ve diğer satın alma maliyetleri
- İç taşıma maliyetleri
- Tesis yatırım maliyetleri
- Direkt ve endirekt üretim maliyetleri
- Direkt ve endirekt dağıtım merkezi maliyetleri
- Envanter elde tutma maliyetleri
- Merkezlerarası taşıma maliyetleri
- Dışsal taşıma maliyetleri

Uluslararası tedarik zinciri yönetiminin başarısına etki eden faktörler; enformasyon paylaşımı, tedarik zinciri proseslerinin entegrasyonu, tedarik zinciri ortakları arasında koordinasyon, uzun dönemli ilişkiler, tek bağlantı noktası, ve standardizasyon olarak belirtilmektedir (Overby ve Min, 2001).

Tedarik zincirlerinin modellenmesinde kullanılan teknikler ise aşağıdaki gibi sıralanmaktadır (Venkateswaran ve Kulvatunyou, 2002):

1. Ağ dizaynı
2. Karışık tamsayı programlama bazlı optimizasyon

3. Stokastik modelleme
4. Sezgisel metotlar
5. Simülasyon bazlı çalışmalar

3.4 Tedarik Zinciri Kararsızlığının Operasyonel ve Davranışsal Nedenleri

Sistem dinamiğine ilişkin temel bazı kavramlar önceki bölümde ayrıntılı olarak verilmişti. Bu kavramlar hatırlanacak olduğunda, negatif geri besleme yapılarında bulunabilecek zaman gecikmeleri ve bu gecikmeleri ortadan kaldıracak yönetim yapısının eksikliğinin dalgalanma davranış şekline yol açacağı belirtilmişti (Sterman, 2000).

Literatürde yer alan birçok sistem dinamiği çalışmasında, bir tedarik zincirinin alt aşamalarından (pazara yakın aşamalardan) üst aşamalara gidildikçe dalgalanma hareketine ilişkin genliğin arttığı, ve pazara yakın aşamalarda görülen değişimin belirli bir zaman sonra üst aşamalarda daha büyük miktarda ortaya çıktığı gözlemlenmiştir (Sterman, 2000). İşte bu gözlem, literatürde kamçı etkisi olarak geçen, Sterman'ın (2000) da kuvvetlenme olarak adlandırdığı olguyu açıklamaktadır.

Sistem dinamiği tekniğinde yer alan seviyelerin, sistemde fotoğrafı çekilebilecek, dolayısıyla sistem performansı hakkında bilgi verecek değişkenler olduğu, ve bu seviyelerin sadece ve sadece akışlardan etkilendiği göz önüne alınırsa, sistemde yapılacak değişikliklerin de akışlar vasıtasıyla seviyelere etki edeceği aşikardır.

Bu noktada Sterman (2000), tedarik zincirlerinde akışlara etki edecek kararları dört ana madde altında sıralamıştır:

1. Sipariş politikaları
2. Çizelgeleme
3. Nakliye kararları
4. Satın alma kararları

Kısacası sistem dinamiği, seviye ve akışlardan oluşan yapıyı esas alması, sistemde var olan gecikmeleri dikkate alması ve geri beslemeleri modellemesi özellikleri ile kamçı etkisinin incelenmesinde etkili bir araç olarak görülmektedir.

Tedarik zincirlerindeki talep değişkenliği firmalara, yöneticilere ve ekonominin tümüne zarar vermektedir. Kamçı etkisi yüzünden fazla ve atıl stok, yetersiz müşteri servis düzeyi ve gereksiz yatırımlar oluşmaktadır. Firmalar üretim oranları ile satış

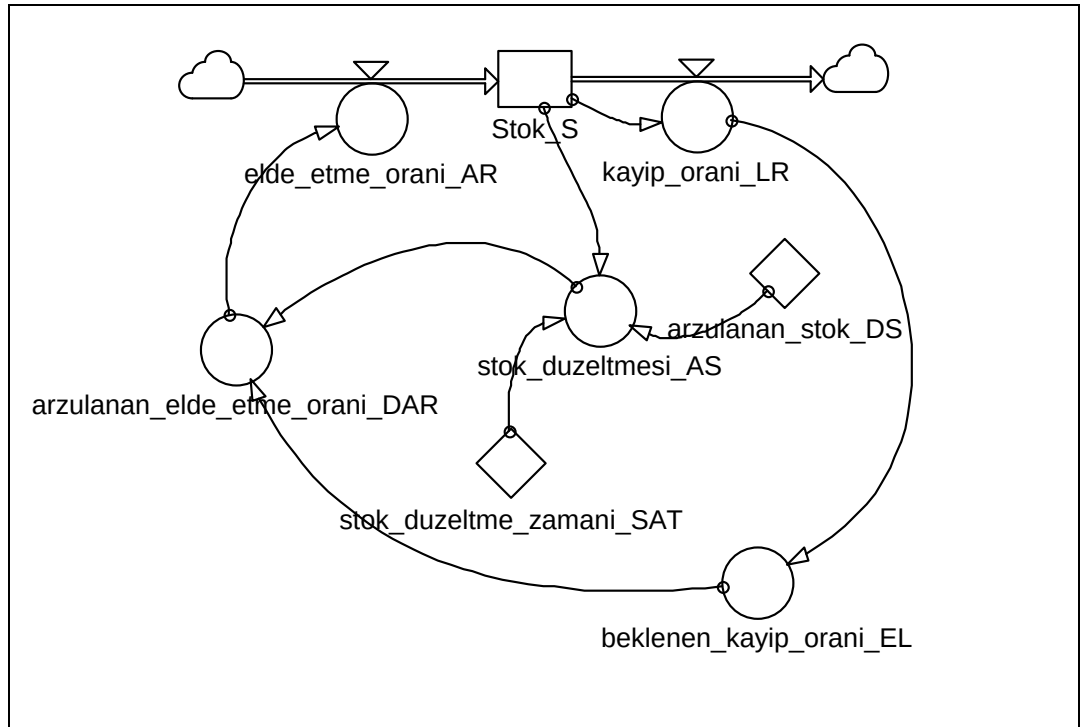
oranlarını eşitlemeye çalışmakta, yöneticiler ise daimi bir “yangın söndürme” ye odaklanmaktadır (Sterman, 2006).

Bu değişkenliğin önemli bir nedeni de karar vericilerin en iyi ihtimalle “sınırlı optimal” koşullarda ilgili kararları vermeleridir. Sınırlı optimallikten kasıt; çevrenin çok basite indirildiği (sistem elemanları ile etkileşimlerin göz ardı edildiği), geri besleme yapılarının ve gecikmelerin dikkate alınmadığı, ve önemli akış ve seviye yapılarının ihmal edildiği koşullardır (Sterman, 2006).

3.4.1 Stok yönetimi yapısı

Sistem dinamiğinde stok yönetimi; stoka ilişkin seviye ve akış yapısı ile akışları kontrol eden yönetim yapısı olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Sterman, 2000). Bu anlayışla karar vericiler, stoka ilişkin elde etme oranını direkt olarak etkilemekte, kayıp oranını ise beklenen kayıp oranı vasıtası ile modele dahil etmektedirler.

Stok yönetimi yapısına ilişkin basit bir sistem dinamiği modeli Şekil 3.2’de verilmiştir (Sterman, 2000).



Şekil 3.2: Stok yönetimi yapısı

Bu yapıya ilişkin denklemler ise şu şekilde sıralanmaktadır:

$$S = S_{t_0} + \int (AR - LR) \quad (3.1)$$

$$AR = \max(0, DAR) \quad (3.2)$$

$$DAR = EL + AS \quad (3.3)$$

$$AS = \frac{(DS - S)}{SAT} \quad (3.4)$$

Beklenen kayıp oranının (EL), gerçekleşen kayıp oranına (LR) bağlı ve bilgi gecikmesi içeren bir fonksiyonu olduğu, bu nedenle de TREND fonksiyonu gibi tahmin fonksiyonlarının kullanılabileceği belirtilmektedir (Stermann, 2000).

3.4.1.1 Kararlı durum hatası

Bu noktada önemli bir kavramın açıklanması gerekmektedir. Beklenen kayıpların (EL) dikkate alınmaması durumunda, arzulanan ve gerçek durumlar arasında, sistemin kararlı duruma gelmesi için gerekli zamanın geçmesinden sonra da bir fark olacaktır. Bu da kararlı durum hatası (*steady state error*) olarak tanımlanmaktadır (Stermann, 2000).

3.4.1.2 Dalgalanmaların kaynağı ve tedarik hattı kavramı

Dalgalanmaların nedeni olarak gecikme içeren negatif geri besleme yapılarının varlığı daha önce belirtilmişti. Burada detayı verilecek husus, bu gecikmelerin varlığının değil, dikkate alınmamasının dalgalanmaları oluşturduğudur.

Birçok sistemde, mevcut ve arzulanan durumlar arasındaki farkı telafi edecek, dolayısıyla düzeltici faaliyet olarak adlandırılabilir çözümler aslında işleme konmuş ve etkileri ise, belirli bir zaman sonra ortaya çıkmaktadır. Bu gecikmelerin yönetim kararlarında dikkate alınmamasının dalgalanma davranışına yol açacağı belirtilmektedir (Stermann, 2000).

Dalgalanmaları açıklayacak çeşitli metaforlar mevcuttur. Örneğin duştaki suyun sıcaklığı bir sistem durumu olup, soğuk suya maruz kalınca sıcak tarafın açılması bir yönetim kararıdır. Ancak suyun ısınması belirli bir gecikme ile olmakta, bu gecikme dikkate alınmadığında daha fazla sıcak açılmakta (ileride bahsedilecek *bira oyununda* siparişlerin gecikmesi sonucu daha fazla sipariş verilmesi), sonuçta sistem durumu aşırı sıcak olarak oluşmaktadır. Bu sıcaklıktan duyulan rahatsızlık sonucu soğuk tarafa ağırlık verilmesi diğer bir yönetim kararı olup, benzer şekilde gecikmeler dikkate alınmazsa aşırı soğuk sistem durumuna geri dönüş kaçınılmaz olacak, sonuçta sistem dalgalanma davranışı gösterecektir (Wolstenholme, 1990). Stermann (2000) ise bu karar yapısını, arabasını değiştirmek için eski arabasını satmış bir kişinin, her sabah garajı boş görünce yeni bir araba almak için sipariş vermesi gibi basit ve çarpıcı bir örnekle vurgulamaktadır.

Bu mantık çerçevesinde, yukarıda özetlenen basit stok yönetimi yapısında çeşitli malzeme ve bilgi gecikmelerinin mevcudiyetini kavramak ve sistemi bu anlayışa uygun olarak değiştirmek gerekecektir. Bu amaçla, tedarik hattı (*supply line*) kavramı önem kazanmaktadır. Tedarik hattı kavramı ile açık siparişler (ikmal politikasına direkt olarak etkiyecek), dolaşım halindeki siparişler (transit stok), bekleyen siparişler (*backlog*), ve nakliye gecikmesine maruz kalmış malzemeler de sisteme dahil edilmektedir (Sterman, 2000).

Kısacası, tedarik zincirlerinin üç davranış karakteristiği; dalgalanma, kuvvetlenme ve faz farkı olmaktadır. Dalgalanma, mevcut ve arzulanan durumlar arasındaki farklılıktan, kuvvetlenme, değişkenliğin zincir boyunca artmasından, faz farkı da sistemdeki gecikmelerden kaynaklanmaktadır (Sterman, 2000). Talep kuvvetlenmeleri ve faz farklarının kaçınılmaz olduğu, ancak dalgalanma davranışının görülebilmesi için sistemin geri besleme yapısının anlaşılması yada gecikmelerin karar süreçlerinde dikkate alınmaması gerektiği belirtilmektedir (Sterman, 2000).

3.5 Kamçı Etkisi

Kamçı etkisi, kısaca bir tedarik zincirinde talep değişkenliğinin üst katmanlara çıkıldıkça artması olarak tanımlanmakta olup bu alanda ilk olarak Forrester'ın 1958'deki "*Industrial Dynamics: A Major Breakthrough for Decision Makers*" çalışması gösterilmektedir (Forrester, 1958). Forrester'ın çalışması sonucunda kamçı etkisi, teslimat için sipariş (*order-to-delivery*) sistemlerinin kaçınılmaz sonucu olarak görülmüştür. Forrester (1958), bu dinamiklerin temelinde fiziksel ürünlerin, bilgilerin ve nakit akışının aksiyon, reaksiyon ve etkileşiminin olduğunu belirtmiştir. Daha sonra aşağıda bahsedilen bira oyunu sonuçlarını yorumlayan Sterman (1989) ise, karar vericilerin, dinamik ilişkileri algılayamamaktan dolayı sistematik olarak hata yaptıklarını ortaya koymuştur. Buradaki dinamik ilişkiler, birden çok geri besleme döngüsü, gecikmeler ve doğrusal olmayan yapılardan oluşmaktadır (Sterman, 1989).

3.5.1 Bira oyunu

1960'lı yıllardan itibaren M.I.T. Sloan Management School'da ortaya konulan bira oyunu, günümüze kadar çeşitli eğitim, kültür, iş çevresi, yaş ve milletten profesyonellerce oynanmaya devam etmiştir.

Oyun; bir bira fabrikası, bayi ve perakendeciden oluşan üretim dağıtım sistemini kapsamakta, her oyuncu da bu alt sistemlerden birinin yöneticisi rolünü

üstlenmektedir. Her oyuncu kendi getirisini enbüyüklemeye çalışmakta, oyunda hiçbir kötü adam (bilgi akışı eksikliği, tekelleşme, yasal olmayan davranışlar, vs) bulunmamakta; ancak buna rağmen haftalar ilerledikçe genellikle karşılanamayan talep ve daha sonra ise gitgide artan stok sonuçları ortaya çıkmaktadır.

Bu sonuçların ortaya çıkmasının ardındaki faktörler incelendiğinde talep kuvvetlenmesinin nedeninin araştırılmıyor olmasının ve, sipariş işleme ve tedarik zamanlarının yol açtığı gecikmelerin sistem üzerindeki olumsuz etkileri görülmektedir. Yani herkesin iyi niyetle ve kendi açısından en doğru kararı verdiği bir sistemde; yapısal özelliklerden ve bu özelliklerin iyi incelenmemesinden dolayı başarısızlık gelmektedir.

Bira Oyunu'nun ortaya koymuş olduğu sonuçlar incelendiğinde birtakım çıkarımlar yapılmış ve sistemlerin bu perspektifte incelenmesi gerektiğine karar verilmiştir (Senge, 1990):

1. *Yapı davranışı etkiler*: Aynı sistem içerisinde bulunan farklı kültüre ve eğitime sahip kişiler, benzer sonuçları üretmeye eğilimlidirler. Bunun ardında yatan sebep; içerisinde bulundukları sistemin onlar üzerindeki etkileri ve benzer düşünce formatına sahip olmaya başlamalarıdır. Dolayısıyla sistem, kendi krizini yaratmaktadır.
2. *Sosyal sistemler karmaşık yapıya sahiptir*: Bu karmaşıklığın ardındaki neden, sistem elemanları arasındaki ilişkilerin davranışları kontrol etmesidir.
3. *Güç yeni paradigmalardan doğar*: Çalışanların genellikle kendi problemlerine odaklanmaları, bu problemlerin çözümü için verilen kararların diğer alt sistemlere olan etkilerinin göz ardı edilmesine yol açmaktadır. Bu durumda kişiler, problemleri nasıl yarattıklarının farkında değildirler. Bunun önüne geçmek için bir paradigma değişimi ve sistem düşüncesinin yerleştirilmesi gerekmektedir.

3.5.2 Tedarik zincirlerinde kamçı etkisinin ortaya çıkması

Hau L.Lee, V.Padmanabhan, ve Seungjin Whang'ın 1997'de *Management Science*'da yayımlanan "*Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect*" isimli makaleleri literatürde "kamçı etkisi" fenomenini ortaya çıkaran ilk çalışma olmuş ve aynı dergi tarafından 50 yıllık yayın tarihinin en etkileyici ilk 10 makalesi arasında gösterilmiştir.

Bu çalışmada, tedarik zinciri bütününde sadece talep değişkenliğinin artması değil, bilgi yapısının da değişmesi gösterilmiş ve “sizin gördükleriniz müşterilerin karşılaştıkları değildir” düşüncesi ortaya konmuştur (Lee ve diğ., 1997a).

Bu farklılaşmanın, enformasyon akışlarında meydana gelen bozulmadan kaynaklandığı ve tedarik zinciri kapsamındaki firmaların üretim çizelgeleme, envanter kontrolü, ve sevkiyat planlama fonksiyonları üzerinde verimsizliğe yol açtıkları belirtilmiştir (Lee ve diğ., 1997a).

Geçen zaman süresince *Efficient Customer Response*, *Efficient Foodservice Response* gibi endüstri uygulamaları, kamçı etkisini, bir tedarik zincirinin verimliliği üzerinde en fazla etkisi olan olgu olarak tanımlamışlar ve kamçı etkisini azaltmak için ortak veri tanımları, enformasyon paylaşımı, elektronik veri değişimi (EDI), katılımcı tahmin ve planlama, ve tedarik zincirlerinde ara aşamaların azaltılması gibi çözümler önermişlerdir (Lee ve diğ., 2006).

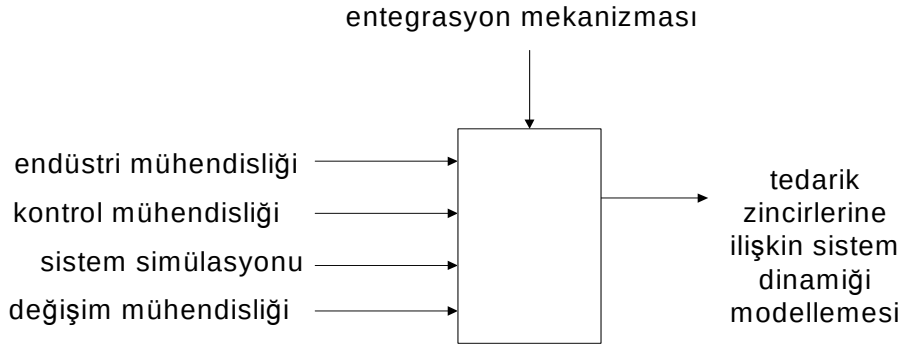
3.5.3 Kamçı etkisinin yansımaları

Özellikle globalleşmenin etkisiyle üretim merkezlerinin dünya çapında yaygınlaşması, kamçı etkisinin tedarik zinciri boyutu, zaman boyutu ve coğrafi boyut olmak üzere üç boyutu bir incelemeye tabi tutulmasını gerekli kılmaktadır (McCullen ve Towill, 2002; Towill, 2005).

Son on yıllık dönemde, zaman sıkıştırmaları, yönetim ve politikaların etkileri gibi birçok etmenin tedarik zincirleri üzerindeki etkisi sistem dinamiği ile incelenmiştir. Bu alandaki çalışmalar, “tedarik zincirleri değişim mühendisliği (*supply chain reengineering* - SCR)” ile adlandırılmıştır (Towill, 1996a).

Şekil 3.3'te de görüldüğü üzere, SCR konsepti, dört ayrı disiplini bir araya getirerek etkili bir sistem dinamiği modeli ortaya konmasını hedeflemektedir. (Towill, 1996a). Endüstri mühendisliği, tedarik zincirinin yapısını incelemeye gerekli olmakta, değişim mühendisliği de çözümlerin ticari çevre şartları altında uygulanmasında yardımcı olmaktadır. Çeşitli senaryoların değerlendirilmesi için simülasyon, ve etkili simülasyon modellerinin kurulması için de kontrol mühendisliği devreye girmektedir.

Bu bileşenlere sahip bir modelleme sürecinde, diğer yöntemlerle kıyaslama yapılacak olursa, problemin tanımlanma ve çözümün uygulanma aşamalarının, çözümü üretme aşamasına kıyasla çok daha fazla zaman aldığı kaydedilmiştir (Towill, 1996a).



Şekil 3.3: Tedarik zinciri değişim mühendisliği

Günümüzde birçok firma, kamçı etkisine ilişkin bazı klişeleri öne sürmektedirler. Bu klişeler, mazeret teşkil ederek sistem üzerindeki olumsuzlukların bertaraf edilmesini engellemektedirler (McCullen ve Towill, 2002). Denetimlere dayanarak oluşturulan klişelerin listesi Çizelge 3.2’de görülmektedir (McCullen ve Towill, 2002).

Çizelge 3.2: Kamçı etkisine ait bazı klişeler

Klişe	Açıklama
1. Duyarsızlık (ignorance)	Kamçı gerçek hayatta yoktur
2. Kibir (arrogance)	Kamçı sadece akademik bir icattır
3. İhmal (negligence)	Bana bir maliyeti yoktur
4. Kayıtsızlık (indifference)	Müşteri bekleyebilir
5. Yönlendirme (transference)	Tedarikçiler halletmeli. Bunun için anlaşmalar var
6. Kabullenme (acceptance)	Kamçı vergi gibidir. Mecburen var
7. Keder (despondence)	Kamçı bir sistem problemidir. Elimden bir şey Gelmez
8. Zeval (decadence)	Kamçı eski bir buluş. Şimdiye kadar yokedilmiştir
9. Toleranssızlık (intolerance)	Japon yöntemleri burada işlemez
10. Sakınma (avoidance)	Bu sonuçlar iyi ama benim sektörümde geçerli değil

Yapılan araştırmalarda, tedarik zinciri dinamiklerinin 7 nedeni ise şu şekilde belirlenmiştir (DeSouza ve diğ., 2000):

1. karşılanamayan talep psikolojisi
2. kapasite kısıtları
3. enformasyon gecikmeleri
4. zayıf koordinasyon
5. malzeme gecikmesi
6. talep sinyalleri
7. sipariş partileme

Bu sebepler sonucunda, tedarik zinciri dinamikleri adı verilen dalgalanmalar meydana gelecek, ve bunun en önemli göstergesi kamçı etkisi olarak ortaya çıkacaktır. Kamçı etkisinin incelenmesinde önemli bir unsurun da, siparişlerin, firmanın içerisine ne dereceye kadar girmiş olduğunun incelenmesi olduğu belirtilmektedir (Meijboom, 1999).

Kamçı etkisinin önemli bir boyutu da talep kuvvetlenmesi olarak ortaya çıkmaktadır. Buna göre, tedarik zincirinin son aşaması olan nihai tüketicinin taleplerinde meydana gelen küçük bir değişiklik, bir önceki aşamanın taleplerine daha büyük oranda yansiyacak, ve zincirin son halkasında oldukça büyük bir değer gösterecektir. Bu prensibin, *kelebek etkisinin* tedarik zincirlerindeki yansıması olduğu görülmektedir (Forrester, 1961). Bu artışın nedenleri, talebin karşılanamaması sonucu bir önceki aşamaya gereğinden fazla sipariş iletilmesi, teslimatlardaki güvenilirlik eksikliği, ve sonuçta güvenlik stoklarının artmasıdır. Çeşitli tedarik zinciri vaka çalışmaları, tedarik zincirinin her aşamasında, 2:1 oranında bir artışın söz konusu olduğunu göstermektedir (Towill, 1996a).

Tedarik zincirlerinin sistem dinamiği ile modellenmesinde, model sahibinin bir geri besleme rolünde hareket etmesi ve modele ilişkin gerekli verileri gözlem ve temas yollarıyla alması gerektiği kaydedilmiştir (Towill, 1996a). Modelleme süreci kavramsal ve teknik problemler olmak üzere iki alt gruba ayrılmış, kavramsal modellemenin kalitatif, teknik modellemenin ise daha çok kantitatif çalışmalar içerdiğini belirtmiştir. Bu ayrımındaki önemli nokta, iki alt grubun birbirinden tamamen ayrık olmadığı, girişken bir yapıya sahip olduğudur (Towill, 1996a).

Tedarik zincirlerindeki iyileştirme çalışmalarının etkilerini kıyaslamak için de sıralı bir iyileştirme öngörülmüştür. Bu sıraya göre, öncelikle tam zamanlı üretim (*just-in-time production* - JIT), daha sonra lojistik entegrasyonu, bir sonraki adımda bayi entegrasyonu, ve en son olarak da zaman bazlı yönetim uygulamaları olması gerektiği belirtilmiştir (Towill, 1996a).

3.5.4 Kamçı etkisi ve endüstri uygulamaları

Kamçı etkisinin vurgulanması gereken önemli bir özelliği, bu etkinin dışsal şokların sonucu değil, politika ve yapıların ortaya çıkardığı bir olgu olmasıdır (Lee ve diğ., 2006).

Bu noktada bazı tedarik zinciri uygulamalarına bakılacak olursa, bayi tarafından önerilen fiyat skalası, sipariş frekansı, iade politikası, fiyat promosyonlarının frekans ve derinliği, enformasyon paylaşım derecesi, talep tahmini metotları, mal yetersizliği

(fazla talep) durumunda atama şekli gibi birçok uygulamanın doğrudan kamçı ile ilgili olduğu görülmektedir.

Tedarik zinciri yönetimindeki verimlilik ve bu verimliliğin sayesinde ortaya çıkacak rekabet avantajlarının, tek tek tedarik zinciri elemanlarının davranışlarını ve diğer zincir elemanları ile etkileşimlerini şekillendiren etmenlerin dikkatlice tanımlanması ile sağlanabileceği; üstelik bu tanımlamanın bugünkü koşullarda daha da önemli olduğu, çünkü üretim lokasyonlarının dağınık konuma gelmesi, fonksiyonel ve dış üretimlerin çeşitlenmesi, ve müşterilerin artık global olmuş olması ilgili çalışmalarda belirtilmektedir (Lee ve diğ., 2006).

Kamçı etkisini oluşturan 4 faktör; ileride de detaylı olarak açıklanacağı gibi, talep tahminleri güncellemesi, sipariş partileme, fiyat dalgalanmaları ve miktar belirleme olarak belirtilmektedir (Lee ve diğ., 1997a).

Bu nedenler de göz önünde bulundurulduğunda, enformasyon sistemleri ve katılımcılık yaklaşımlarının, kamçının önüne geçmek için geniş oranda kullanıldığı görülmektedir. Bu yaklaşımlar, stok, talep, ve arzın görünebilirliği ile zincir elemanlarının proseslerinin entegrasyonunu baz almaktadırlar (Lee ve diğ., 2006). Örnek olarak bayi yönetimindeki envanter (*vendor managed inventory – VMI*), ortak yönetimli envanter (*jointly-managed inventory – JMI* ve *co-managed inventory – CMI*), katılımcı planlama, tahmin ve ikmal (*collaborative planning, forecasting and replenishment – CPFR*), katılımcı ticaret (*collaborative commerce*), katılımcı nakliye yönetimi (*collaborative transport management – CTM*) hep kamçı etkisini azaltacak paylaşımcı ve katılımcı yapılardır (Lee ve diğ., 2006).

3.5.4.1 Kamçı etkisine ilişkin saha çalışmalarının incelenmesi

Forrester (1958), Sterman (1989) ve Senge (1990), kamçı etkisi ve tedarik zincirinde değişkenliği daha çok sistem dinamiği çatısı altında incelemektedir. Benzer şekilde Holt ve diğerleri (1960), Blinder (1982) ve Blanchard (1983) makroekonomik bakış açısıyla yaklaşmakta; Lee ve diğerleri (1997a, 1997b), Cachon (1999), Chen ve Samroengraja (2000) ise yönetim bilimleri disiplini ile yaklaşmaktadırlar.

Literatürde yer alan çoğu modelleme çalışması kamçının tek nedeni üzerinde odaklanmakla beraber, kamçının genelde birleşik (hybrid) formlarda ortaya çıktığının da unutulmaması gerektiği belirtilmektedir (Lee ve Whang, 2006).

Bu amaçla incelenen bazı vaka çalışmalarında da genellikle bir firmanın ve onun tedarik zincirinin ele alındığı görülmekte olup, makroekonomik bir genellemenin eksikliği hissedilmektedir (Lee ve Whang, 2006). Bir sektörde belirlenen kamçı,

ekonominin tümünü etkilemeyebilir, hatta bir tedarik zincirinin sadece belirli fonksiyonlarında görülüp tüm zinciri etkilemeyebilir, ancak böyle bir kapsamlı çalışmanın gerekliliği de belirtilmektedir (Lee ve Whang, 2006).

Lee ve Whang (2006) tarafından örneklenen dört farklı vaka çalışması da ampirik olarak kamçı etkisi literatürüne zenginlik kazandırmaktadır.

Örneğin İtalya'nın en büyük yiyecek üreticisi *Barilla*, üç aşamalı dağıtım ağına sahip olup (merkezi dağıtım merkezi, dağıtım merkezi ve perakende mağazaları), haftada bir sipariş periyodu ve 10 günlük teslimat gecikmeleri ile çalıştığı durumda önemli derecede stok miktarlarına rağmen yeterli müşteri servis düzeyini sağlayamamıştır (Lee ve Whang, 2006). Firmanın kamçı faktörü 3.75 olarak hesaplanmış ve kamçı etkisini oluşturan ilerde belirtilecek 4 nedenden 3'ünü gerçeklediği görülmüştür (talep tahminleri, miktar belirleme, ve promosyonlar). Firmada sürekli ikmal (*continous replenishment program* - CRP) ve bayi yönetimindeki envanter (*vendor managed inventory* - VMI) yapılarına benzer tam zamanlı teslimat (*just-in-time delivery* - JITD) programının devreye alınmasıyla merkez birimlerin dağıtım merkezlerinin satış noktası (*point of sales* - POS) verilerine ulaşabilmesi sağlanmış, merkezin bu rakamlara göre sipariş yada ters sipariş vermesine imkan tanınmış, ve yine merkeze daha küçük ve daha sık sevkiyatları kontrol yetkisi tanınmıştır. Ayrıca miktar indirimleri ve fiyat promosyonları azaltılmıştır. Sonuçta dağıtım merkezlerindeki stokta %46.7 stok azalması sağlanmış, ve kayıp satışlar %7'den 0'a düşürülmüştür (Hammond, 1994).

Benzer şekilde İspanya'nın altıncı büyük taze meyve-sebze zinciri olan *Sebastian de la Fuente*'de yapılan çalışmada (Lai, 2005) 4 rasyonel, 2 de davranışsal olmak üzere 6 kamçı nedenine rastlanmıştır. Güvenlik stoku için belirlenen faktör değeri büyüdükçe optimal stok seviyesi için fazla sipariş verme meydana gelmekte, tüm distribütörlerin benzer şekilde hareket etmesi durumunda da kapasite yetersizliği durumu görülmektedir (Lee ve Whang, 2006). Bu durum da miktar belirlemenin sürekli versiyonu olarak görülmektedir. Ancak kamçıyı ortaya çıkaran dominant nedenler olarak reaksiyon eksikliği ve koordinasyon riskleri olan davranışsal nedenler öne sürülmektedir.

Hollanda'da salata ve sandviç tedariki yapan *SNEL* firmasında gerçekleştirilen çalışmada da satış noktası verilerinin kamçıyı azaltıp azaltmadığı test edilmiştir (Fransoo ve Wouters, 2000). Diğer nedenler sabit tutularak POS verilerinin talep tahminlerini etkilemesi ve kamçıyı nasıl etkilediği analizinde POS verilerinin paylaşımının olumlu etkisi ortaya konmuştur (Lee ve Whang, 2006).

Telekomünikasyon alanının önde gelen firmalarından *Cisco Systems*'de gerçekleştirilen bir diğer araştırma da kamçının maliyeti açısından önemli göstergeler sunmaktadır (Lee ve Whang, 2006).

Firma, 10 yıl aradan sonra ilk defa, 2001'in üçüncü çeyreğinde zarar açıklamış ve bunun üzerine tedarik yapısı incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda yetersiz tedarik ve uzun tedarik sürelerinin, firmanın alıcılarına aşırı kolaylık sağlayan sipariş politikaları ile birleşince önemli ölçüde kamçı yarattığı görülmüştür. Firmanın dinamik sipariş sisteminin, değişken teslim tarihleri ve kapasitelerin alıcılar tarafından görülmesine izin verdiği, bu durumun da heyecanlı müşterilerin ihtiyaç fazlası sipariş verip daha sonra hiçbir cezaya maruz kalmaksızın iptal etmelerine yol açtığı belirtilmektedir (Lee ve Whang, 2006). Sonuç olarak ortaya bir çeşit kuyruk sistemi çıkmakta, ancak kuyruk, gerçek talepten daha hızlı büyümektedir. Bu durum da büyük firmalarda ölçek etkisinin avantajına rağmen kamçı durumunda daha fazla zarar gördüklerini ortaya koymaktadır (Lee ve Whang, 2006).

Miktar belirleme oyununun kontratların bir fonksiyonu olduğu vurgulanmakta, özellikle hammadde alımlarında güvenli olmak için aşırı sipariş durumlarıyla karşılaşıldığı belirtilmekte ve sipariş iptal politikalarının dikkatle belirlenmesi gerektiği ifade edilmektedir (Lee ve Whang, 2006).

3.5.5 Kamçı etkisinin nedenleri

3.5.5.1 Talep tahminleri

Bir tedarik zincirinin çeşitli aşamalarında istatistiksel tahmin yöntemlerinin kullanılmasının doğal sonucu olarak kamçı etkisi ortaya çıkmaktadır (Lee ve diğ., 1997a). Tedarik zinciri performansı ile tedarik zamanları yada istatistiksel tahmin sayısı gibi parametreler arasındaki ilişkiyi gösteren, dolayısıyla bilgi paylaşımının değerini nümerik olarak ifade eden birçok model yeni model ortaya konmuştur (Lee ve diğ., 2006).

Hanssens (1998), tahmin metodu ve kamçı etkisi arasında ampirik bir bağ ortaya koymuş, Graves (1999), kayan ortalamaya dayanan talep tahminlerinin kamçıyı nasıl etkilediğini göstermiş; Chen ve diğerleri de (1999) hareketli ortalama, üstel düzeltme, ve diğer tahmin metotlarının kamçıyı nasıl büyüttüğünü göstermiştir. Chen, Drezner, Ryan ve Simchi-Levi (2000), merkezi talep bilgisinin olduğu ve olmadığı tedarik zinciri performanslarını karşılaştırmış ve bu bilginin kamçı etkisini azalttığını ancak tamamen ortadan kaldırmadığını göstermişlerdir. Aviv (2001,

2002), katılımcı tahminlemenin değerini nümerik olarak ifade ederek tedarik zinciri performansı için önemini ortaya koymuştur.

Bahsedilen analitik modeller haricinde bu alanda ampirik çalışmalar da bulunmaktadır. Clark ve Hammond (1997), EDI ile değişim mühendisliğinin (*business process reengineering* - BPR) birlikte uygulanmasının kamçıyı nasıl olumlu etkiyeceğine dair bir çalışma ortaya koymuştur. Yine Lee ve Whang (2000), paylaşılan bilginin tip ve türüne ilişkin çalışma ortaya koymuşlardır.

3.5.5.2 Sipariş partileme

Sipariş parti büyüklükleri, sipariş frekanslarını doğrudan etkilediğı için ikinci bir kamçı nedeni olarak ortaya konmaktadır (Lee ve diğ., 1997a). Catchon (1999), küçük parti büyüklükleri ve uzun sipariş aralıkları arasında kurulan dengeli bir sipariş politikasının talep değişkenliğini azaltacağını önermektedir. Jung ve diğerleri ise (1999), alıcılarının parti büyüklüklerinin tedarikçilerin kapasitesini etkilediğini, talepler arasında korelasyon olduğı durumlarda esnek tedarikçilerin dahi büyük parti miktarları ve geniş aralıklı siparişleri tercih ettiğini söylemektedir. Moinsadeh ve Nahmias (2000) karşılıklı etkileşimli sipariş politikasının sipariş değişkenliğini kontrol etmek için önemli bir araç olduğunu ortaya koymakta ve uzun vadeli kontrat önermektedirler.

3.5.5.3 Fiyat dalgalanmaları

Lee ve diğ. (1997a), üretici fiyatlarının da kamçıyı etkilediğini ortaya koymaktadırlar. Bu alanda promosyonların tedarik zinciri dahilinde bilgi tahrifatıyla olan ilişkisi ortaya konmakta, ancak genelde promosyonların uygun koşullarda tüm tedarik zinciri kanalı için hala karlı olduğunu belirtmektedirler.

Ailawadi, Farris ve Shames (1999), üreticinin toptan fiyatını perakende kanalına bağlayan ölçümlerin üretici performansını geliştirdiğini göstermiştir. Dreze ve Bell (2003), satış noktası promosyonlarının faturalama dışı pazarlıklara göre daha iyi performans gösterdiğini belirtmektedir. Steckel, Gupta ve Banerji (2004), POS veri paylaşımının kanal dinamiklerini etkilediğini ve kamçıyı iyileştirdiğini söylemektedir.

Neticede pazarlama alanındaki araştırmalar da iyileştirilmiş bir promosyon dizaynının, katılımcı bir tedarik zinciri yapısıyla birleşince zincir performansını geliştirdiğini göstermektedir (Lee ve diğ., 2006).

3.5.5.4 Miktar belirleme oyunu

Talebin tedarikten fazla olduğu durumlarda kamçının kendini gösterdiği durumlar bu neden dahilinde belirtilmektedir (Lee ve diğ., 1997a). Bu kısımda anahtar kontrol değişkenleri sipariş iptal politikaları, kapasite yetersizliği durumunda miktar belirleme kuralları, ve kapasite bilgisinin paylaşımı olmaktadır (Lee ve diğ., 1997a).

Cachon ve Lariviere (1999), kapasite tahsisine ilişkin mekanizmaların tedarik zinciri partilerinin davranışlarına olan etkilerini araştırmışlar, ve tüm mekanizmaların kamçı yaratılmasına ve manipülasyona eğilimli olduklarını ortaya koymuşlardır. Cheung ve Zhang (1999) de, sipariş iptal politikalarının kamçı etkisine nasıl neden olduğunu göstermişler, ve iptal zamanlamasının tüm tedarik zinciri performansına olan etkisini incelemişlerdir.

3.5.5.5 Nedenlerin incelenmesinin gerekliliği

Farklı tedarik zincirleri kamçıyı, birden çok sebebin farklı kombinasyonlarıyla yaşayabilmekte, ve farklı nedenler için farklı çözümler üretilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır (Lee ve Whang, 2006).

Kamçı etkisinin ortaya konmasından sonra iki teknolojik gelişme, kamçının azaltılması konusunda avantaj sağlayabilmektedir (Lee ve diğ., 2006). Internet'in yaygın kullanımı ile bilgi paylaşımının işten işe (*business-to-business* - B2B) uygulamaları sayesinde genişlemesi ve iletişimi ve bilgi paylaşımını geliştiren radyo-frekans tanımlamasının (*radio-frequency identification* - RFID) devreye girmesi bu alandaki avantajlar olarak belirtilmektedir (Lee ve diğ., 2006).

Ancak varlığına ilişkin kesin kanıtlar olmasına rağmen, kamçı etkisine karşı aksiyon almanın önünde hala engeller bulunmaktadır. Bu nedenle sektörel ve ampirik çalışmaların literatüre katkı sağlamasının beklendiği belirtilmektedir (Lee ve diğ., 2006).

Kamçı etkisinin nedenlerine ilişkin bir diğer sınıflandırma da talep kuvvetlenmesinin, Towill tarafından Forrester (sistemik etki) ve Burbidge (yeniden sipariş verme etkisi) olmak üzere iki nedene dayandırılmasıdır (Towill, 1996b).

Forrester etkisi, zayıf bilgi akışından kaynaklanmakta olup, bilgi yapısının iyileştirilmesi ile daha aza indirgenebilmektedir. Forrester, geri besleme mantığının talep kuvvetlenmesi ve sezonsallık etkileriyle sistem durumunda kararsızlık yaratacağını göstermiştir. Benzer şekilde, ileri besleme mantığı da, tahmin algoritmaları vasıtasıyla hedef üretim ve stok değerlerinde kararsız bir yapı

görülmesine yol açmaktadır (üstel düzeltmemede gerçekleşen ve tahmini değerler arasındaki farkın sonraki dönemlere yansıtılması; McCullen ve Towill, 2002).

Burbidge etkisi ise, talep karşılayamama korkusu ile çok aşamalı sipariş vermekten kaynaklanmakta olup, bu siparişlerin senkronizasyonu ile ortadan kaldırılabılır (Towill, 1996b). Burbidge etkisinin anlaşılmasının daha zor olduğu da saha çalışması deneyimleri ile ileri sürülmüştür (Towill, 1996b). Burbidge etkisinde üretimin süreklilik göstermemesinin de önemli bir rolü vardır (McCullen ve Towill, 2002).

Bir diğer önemli nokta da, Forrester etkisinin pazara yakınlaştıkça sistemi domine ettiği, Burbidge etkisinin ise; zincirin yukarıdaki aşamalarında (*echelon*) daha belirgin olarak görüldüğüdür (McCullen ve Towill, 2002).

Kısaca Forrester etkisi artan taleplerden, geri besleme ve ileri besleme kavramlarından; Burbidge etkisi ise çok aşamalı sipariş verme ve ekonomik parti miktarlarından kaynaklanmaktadır (Towill, 1996b).

Daha sonraki çalışmalarda ise; promosyonların yarattığı fiyat dalgalanmaları ile siparişlere ilişkin oranlamaların da (örn: sevkiyatlarda rastlanan eksik gönderiler) kamçı etkisine etki ettiği belirtilmektedir (sırasıyla Promosyon ve Houlihan etkileri; Disney ve Towill, 2003).

3.5.6 Kamçı etkisinin ölçülmesi

Kamçı etkisinin dört ana nedeni; talep tahminleri güncellenmesi, sipariş partileme, fiyat dalgalanmaları, ve miktar belirleme olarak belirtilmektedir (Lee ve diğ., 1997a ve 1997b). Talebin arzdan yüksek olduğu durumlarda tedarikçi, almış olduğu siparişlerde bir miktar belirleme oyununa gitmekte, ve kapasiteye uygun bir sipariş karşılama oranı belirlemektedir. Bu durumdan haberdar olan müşteri ise, gerçek ihtiyacı olan sipariş miktarını elde edebilmek için bu miktarın üzerinde adetleri sipariş etmeye eğilimli olacaktır. Eksikliğin ortadan kalkması ile birlikte, bu fazla siparişler de ortadan kalkacak, dolayısıyla talep değişkenliği artacaktır (Lee ve diğ., 1997a ve 1997b).

Bu değişkenliği ölçmek için Holmström, belirli bir zaman dilimindeki (örneğin bir hafta) taleplerin standart sapmalarını baz almıştır (Holmström, 1997). Bu çalışma, ölçümlenme için bir temel teşkil etmekle birlikte, ne kadar detaylı bir veri ortalaması kullanılacağı ve kamçının yukarıda belirtilen nedenlerden hangisine dayandığı sorularına açıklık getirmemektedir (Fransoo ve Wouters, 2000).

Fransoo ve Wouters (2000), bu sorunları da göz önüne alarak, değişkenliğin ölçülmesine ilişkin bir çalışma yapmışlardır. Kamçı etkisinin, tedarik zincirinin her aşamasında farklı değere sahip olacağı, bu değer de o aşamaya gelen ve o aşamadan bir üst aşamaya iletilen taleplerin değişkenliğinin oranına eşit olacağı belirtilmiştir. Bu değişkenlik aşağıdaki şekilde formüle edilebilir (Fransoo ve Wouters, 2000):

$$w = \frac{c_{out}}{c_{in}} \quad (3.5)$$

$$c_{out} = \frac{\sigma(D_{out}(t, t+T))}{\mu(D_{out}(t, t+T))} \quad (3.6)$$

$$c_{in} = \frac{\sigma(D_{in}(t, t+T))}{\mu(D_{in}(t, t+T))} \quad (3.7)$$

D_{inl} : zincirin l aşamasına bir alt aşamadan gelen talepler

D_{outl} : zincirin l aşamasından bir üst aşamaya iletilen talepler

Sonuçta kamçı değeri, aşamadan çıkan ve aşamaya gelen taleplerin standart sapmalarının ortalamalarına oranının oranı olarak hesaplanmaktadır.

Her aşamanın birden fazla noktadan ve birden fazla ürün için sipariş aldığı göz önüne alındığında, kamçı değerinin hangi ortalama bazında hesaplanacağı önem kazanmaktadır.

Fransoo ve Wouters (2000), bu detayı hesaba katarak dört ayrı ortalamaya göre değer hesaplamaları önermişlerdir.

3.5.6.1 Ürün / Distribütör bazlı hesaplama (w_1)

En detaylı hesaplama bu ortalama verilmektedir. P adet ürünün M adet distribütörden gelen talep serileri ayrı ayrı ele alınmış ve standart sapma ile ortalamaları hesaplanmıştır. Sonuçta $P \times M$ kombinasyon sayısı kadar kamçı değeri hesaplanmaktadır.

3.5.6.2 Ürün bazlı hesaplama (w_2)

Bu ortalama, her ürüne M adet distribütörden gelen taleplerin ürün bazlı toplamı baz alınmaktadır. P adet ürün için P adet kamçı değeri hesabı yapılmaktadır.

3.5.6.3 Distribütör bazlı hesaplama (w_3)

Bu ortalama yönteminde, her distribütörden gelen P adet ürüne ilişkin taleplerin toplamı baz alınmaktadır. Dolayısıyla M adet distribütör için M adet farklı kamçı değeri hesaplanmaktadır.

3.5.6.4 Aşama bazlı hesaplama (w_4)

Her aşamaya P farklı ürün için M farklı distribütörden gelen taleplerin toplamı alınmakta, istenildiği takdirde, ürünlerin önemine göre ağırlıklandırma yapılabilmektedir.

Yukarıda özetlenen bu dört ayrı hesaplamadan hangisinin tercih edileceği, incelenen tedarik zincirinde kamçı etkisinin hangi nedenden kaynaklandığı ile doğrudan bağlantılıdır. İlgili çalışmanın uygulama bölümünde dört ayrı baza göre hesaplanan kamçı değerlerinin farklılığı, bu savı doğrulamaktadır (Fransoo ve Wouters, 2000). Zincir içindeki sebep-sonuç ilişkilerinin analiz edilerek, kamçıyı ortaya çıkaran en önemli etmen(ler)in belirlenmesi, ve bu etmen göz önüne alınarak özetlenen yöntemlerden en uygun olanın seçilmesi, en sağlıklı değerini elde edilmesini sağlayacaktır (Fransoo ve Wouters, 2000).

3.5.6.5 Diğer hesaplama yöntemleri

Özetlenen standart sapmayı esas alan hesaplama yöntemlerinden başka, kamçı değerinin hesaplanmasına ilişkin diğer bazı yöntemler de bulunmaktadır. Forrester'ın çalışmalarını baz alan şok taleplere karşı oluşan taşmaların zirve noktası hesabı (Van Ackere ve diğ., 1993; Wickner ve diğ., 1991), sezonsal analizi baz alan frekans tepkileri (Dejonckheere ve diğ., 2002), ve yine sipariş varyanslarını baz alan hesaplamalar (Adelson, 1966; Fransoo ve Wouters, 2000; Lee ve diğ., 1997a; Disney ve Towill, 2003) bu çalışmalara örnek olarak literatürde yer almaktadır (Disney ve Towill, 2006).

3.5.7 Kamçı maliyeti

Standart maliyetlendirme yöntemlerinde üretim ve dağıtım maliyetleri, faaliyetlerle doğru orantılıdır. Bu durumda, standart hesaplamalarda kamçı etkisinin maliyeti, kamçı etkisinden kaynaklanan fazla stok ve kayıp satışların kar marjlarının toplamına eşit olacaktır (McCullen ve Towill, 2002).

Kosior ve Strong (2006), lojistik operasyonlarını baz alarak deterministik ve vaka bazlı bir maliyetlendirme algoritması geliştirmiştir. Maliyet minimizasyonu ve değer

maksimizasyonu prensipleri göz önüne alınarak yapılan bu çalışmada aktivite tabanlı maliyetlendirme tekniği (*activity based costing* - ABC) geliştirilerek lojistik tabanlı maliyetlendirme yapısına dönüştürülmüştür (*logistics based costing* - LBC). Çalışma sonucunda lojistik operasyonları maliyetleri dikkate alındığında her tedarik zincirinin maliyet ve performans olarak kendine özgü bir yapı ortaya koyduğu sonucuna varılmıştır.

Kim ve Oh (2005), bir tedarik zincirini ele alarak üretici ve tedarikçi açısından karlılık değerlendirmelerini sistem dinamiği ile yapmış, ve sadece üretici ya da sadece tedarikçinin bakış açısıyla kar maksimizasyonunun diğerinin karlılığını olumsuz etkilediğini, ancak ve ancak toplam karın maksimizasyonunu dikkate alındığında optimum sonuca ulaşıldığını göstermiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgulara göre, örneğin sadece üreticinin karının maksimize edilmesi, belirli bir süre sonra tedarikçinin zarar etmeye başlamasıyla neticelenecektir. Ayrıca, yeni bir ürün devreye alındığında üreticinin, tedarikçiye oranla daha erken kar etmeye başladığı da saptanmıştır.

Benzer bir çalışma da, toplam tedarik zinciri maliyeti (*total supply chain cost* - TSCC) araştırmasında görülmektedir (Sachan ve diğ., 2005). Bu çalışmada değer zinciri hesaplaması göz önüne alınmış, ve dokuz farklı senaryoya ilişkin maliyet hesapları sistem dinamiği ile ortaya konulmuştur. Simülasyon sonucunda tedarik zincirlerini oluşturan aşamalar arasında kurulacak işbirliğinin, üreticinin kontrata bağlanması senaryosuna oranla maliyetlendirmede daha büyük iyileştirme sağladığı saptanmıştır (Sachan ve diğ., 2005).

Kamçı etkisi maliyetini hesaplamak amacıyla ise Metters bir dinamik programlama modeli geliştirmiştir (Metters, 1997). Bu çalışmada iki ayrı kümeye ayrılan talep yapılarına göre tedarik zincirinin optimum tepkisi modellenmektedir (Metters, 1997). İlk küme, doğru olmayan talep güncellemenin aylık bazda etkileri ve sezonsallığa yol açması (Forrester etkisi), ikinci kümede ise, sipariş partilemenin haftalık bazda sezonsallığa yol açması ele alınmaktadır (Burbidge etkisi) (Metters, 1997). Çalışmalar sonucunda Forrester etkisinin ortadan kaldırılması, Burbidge etkisinin kaldırılmasına nazaran daha fazla karlılık artışı getirmektedir (McCullen ve Towill, 2002).

Ancak bu çalışmalardaki temel varsayımın, üretim ve dağıtım maliyetlerinin faaliyetlerle doğrusallık gösterdiği olduğu unutulmamalıdır. Gerçekte kamçı etkisini indirgemenin doğrusal olmayan olumlu etkileri de olacaktır (artan ve verimli kapasite kullanımının birim maliyetleri düşürmesi gibi; McCullen ve Towill, 2002).

3.6 Tedarik Zinciri Dinamikleri: Kamçının Yapısal Nedenleri

Bir tedarik zincirinde bilgi, bir aşamadan diğerine gecikmeli olarak iletilmekte, benzer şekilde fiziksel ürünler de ters yönde gecikmeli olarak hareket etmektedir (Morán ve Barrar, 2006). Çalışmaların çoğunda tedarik zincirleri iki aşama ile izole edilmekte olup, Morán ve Barrar (2006) ise kamçının nedeninden çok tedarik zinciri yapısının önemli olduğunu vurgulamaktadırlar.

Bu amaçla altı farklı tedarik zinciri yapısı sistem dinamiği ile modellenmiş, ve üç farklı talep senaryosu (rassal, sezonsal ve basamaklı) altında test edilmiştir. Bu çalışmada, pazarda güvenilirliğin fazla olmadığı durumlarda girdileri satış çıktıları ile sınırlayan yapılar önerilmektedir (Morán ve Barrar, 2006). Her talep senaryosu için tercih edilmesi gerek baskın bir tedarik zinciri yapısı önerilmiş ve kamçı değeri, kayıp satışlar, ve güven stoğuna göre envanter kararlılığı olmak üzere üç farklı mukayese değişkeni incelenmiştir. Kamçı değeri olarak ise talep ve üretim siparişleri değişkenliklerinin (varyanslarının) oranı hesaplanmıştır (Morán ve Barrar, 2006).

3.6.1 Tedarik zinciri yapıları ve modelleri

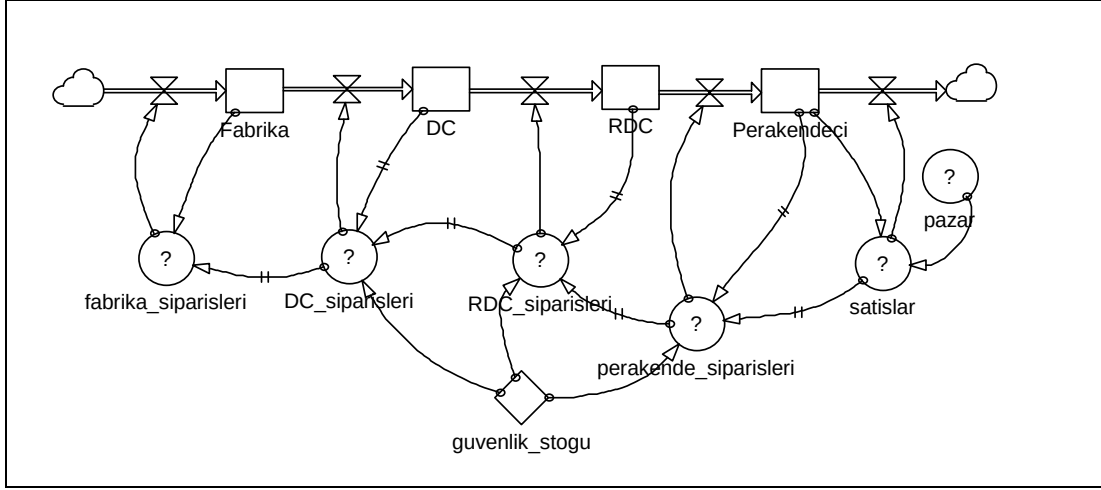
En popüler tedarik zinciri yapıları olarak tam JIT, kısıtlar teorisi (*theory of constraints*, TOC), Kanban, MRP II, ve ileri planlama sistemleri (*advanced planning systems*, APS) gösterilmekte olup, bunlardan türetilen 6 yapı, 4 aşamalı tedarik zinciri üzerinde test edilmiştir. Her aşamadaki yönetici, bir alt aşamadan bilgi almakta, mevcut ve arzulanan stok seviyesi ile tahminleri hesaba katarak yapının kuralına göre sipariş kararını vermektedir (Morán ve Barrar, 2006).

Bu yapılara ilişkin sistem dinamiği modelleri *Powersim* (High Performance Systems Inc., Hanover, New Hampshire) simülasyon programı kullanılarak verilmektedir.

3.6.1.1 Üst aşamadan talep yapısı (RUS)

Üst aşamadan talep yapısı (*Request Upstream Structure*) Forrester'ın (1962) çalışmasını baz alan, tedarik zinciri aşamaları arasında sınırlı ve gecikmeli iletişimin olduğu yapıdır (Morán ve Barrar, 2006).

Bu yapıya ilişkin simülasyon diyagramı Şekil 3.4'te ve ilgili formüller ise devamında verilmiştir.



Şekil 3.4: Üst aşamadan talep yapısı

$$Fabrika = \sum_{t=t_1, \Delta t}^{t_2} (fabrika\ siparisleri - DC\ siparisleri)$$

$$DC = \sum_{t=t_1, \Delta t}^{t_2} (DC\ siparisleri - RDC\ siparisleri)$$

$$RDC = \sum_{t=t_1, \Delta t}^{t_2} (RDC\ siparisleri - perakende\ siparisleri)$$

$$Perakendeci = \sum_{t=t_1, \Delta t}^{t_2} (perakende\ siparisleri - satislar)$$

$$fabrika\ siparisleri = \text{MIN}(2000, \text{DELAYINF}(DC\ siparisleri, 1) + 10000 - Fabrika)$$

$$DC\ siparisleri = \text{DELAYINF}(RDC\ siparisleri, 1) + guvenlikstogu - \text{DELAYINF}(DC, 1)$$

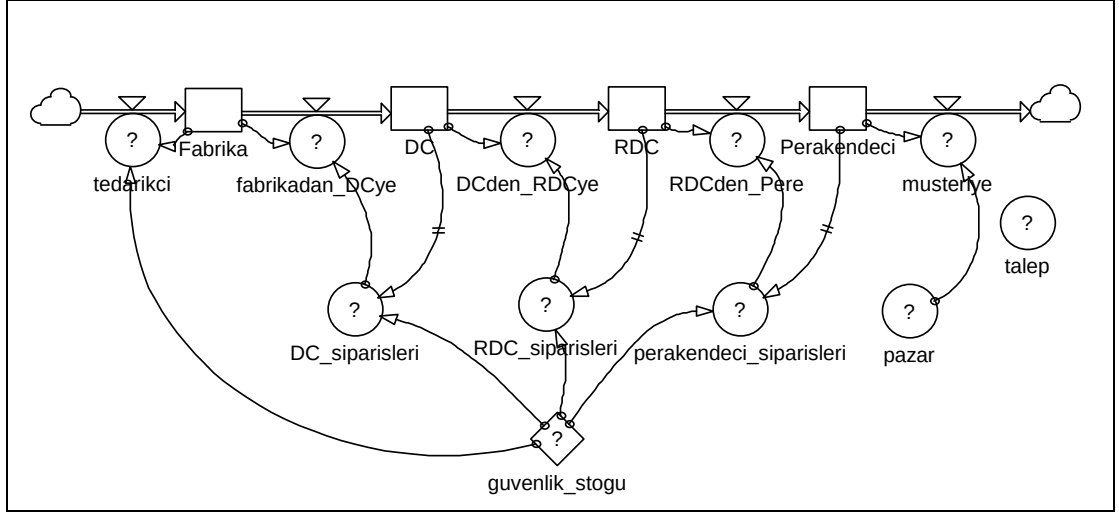
$$RDC\ siparisleri = \text{DELAYINF}(perakende\ siparisleri, 1) + guvenlik\ stogu - \text{DELAYINF}(RDC, 1)$$

$$perakende\ siparisleri = \text{DELAYINF}(satislar, 1) + guvenlik\ stogu - \text{DELAYINF}(Perakendeci, 1)$$

$$satislar = \begin{cases} pazar, & perakendeci - pazar \geq 0 \\ perakendeci, & perakendeci - pazar < 0 \end{cases}$$

3.6.1.2 Stoka ikmal yapısı (OUT)

Stoka ikmal yapısı (*order-up-to*) yöneticilerin sadece arzulanan stoku tutturmak amacıyla sipariş verdikleri yapıdır (Morán ve Barrar, 2006). Sistem dinamiği gösterimi Şekil 3.5'te görülmektedir.



Şekil 3.5: Stoka ikmal yapısı

$$Fabrika = \sum_{t=t_1, \Delta t}^{t_2} (tedarikci - fabrikadan DCye)$$

$$DC = \sum_{t=t_1, \Delta t}^{t_2} (fabrikadan DCye - DCden RDCye)$$

$$RDC = \sum_{t=t_1, \Delta t}^{t_2} (DCden RDCye - RDCden Pere)$$

$$Perakendeci = \sum_{t=t_1, \Delta t}^{t_2} (RDCden Pere - musteriye)$$

$$tedarikci = \text{MAX}(0, \text{guvenlik stogu} - \text{DELAYINF}(Fabrika, 1))$$

$$fabrikadan DCye = \begin{cases} DC siparisleri, & Fabrika - DC siparisleri \geq 0 \\ Fabrika, & Fabrika - DC siparisleri < 0 \end{cases}$$

$$DCden RDCye = \begin{cases} RDC siparisleri, & DC - RDC siparisleri \geq 0 \\ DC, & DC - RDC siparisleri < 0 \end{cases}$$

$$RDCden Pere = \begin{cases} perakendeci siparisleri, & RDC - perakendeci siparisleri \geq 0 \\ RDC, & RDC - perakendeci siparisleri < 0 \end{cases}$$

$$musteriye = \begin{cases} pazar, & perakendeci - pazar \geq 0 \\ perakendeci, & perakendeci - pazar < 0 \end{cases}$$

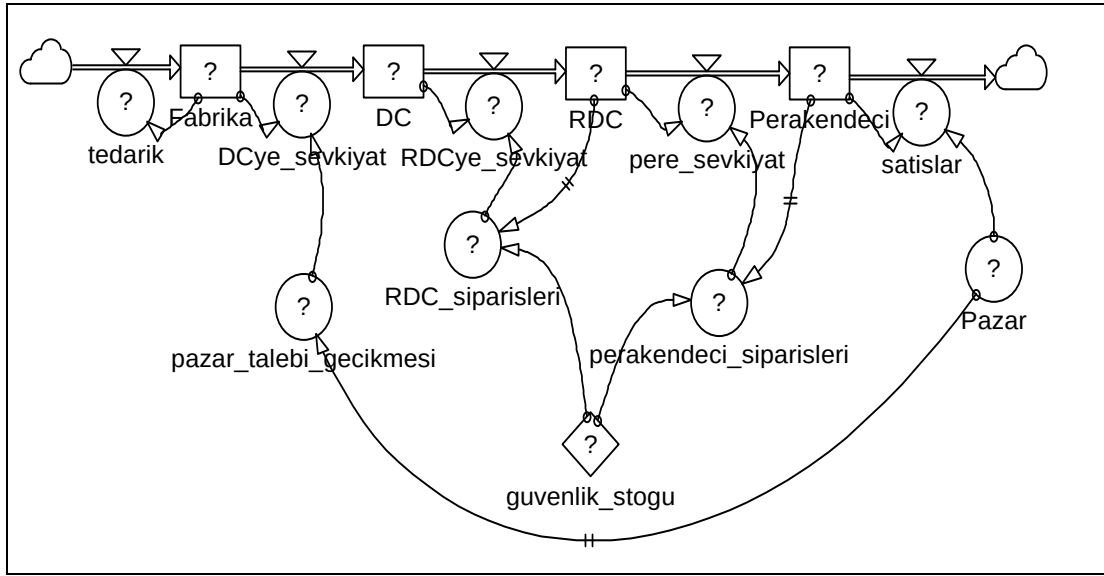
$$DC siparisleri = \text{MAX}(0, \text{guvenlik stogu} - \text{DELAYINF}(DC, 1))$$

$$RDC siparisleri = \text{MAX}(0, \text{guvenlik stogu} - \text{DELAYINF}(RDC, 1))$$

$$\text{perakendeci siparisleri} = \text{MAX}(0, \text{guvenlik stogu} - \text{DELAYINF}(\text{Perakendeci}, 1))$$

3.6.1.3 Sınırlandırılmış sistem girdisi (CSI)

Perakendecideki talebi, fabrikadan dağıtım merkezine malzeme akışına bağlayan yapıdır (*constrained system input*). Dağıtım merkezleri ve perakendeci arasında malzeme akışına ilişkin önceden belirlenmiş bir kural yoktur. Model, kısıtlar teorisi (TOC) yapısını baz almakta olup, dağıtım merkezi (DC) ile bölgesel dağıtım merkezi (RDC) arasında önceden belirlenmiş bir sipariş verme sistemi bulunmamaktadır. Buradaki modelde OUT yapısına benzeyen ve güvenlik stoğunu baz alan ikmal yapısı esas alınmıştır (Morán ve Barrar, 2006). Şekil 3.6'da gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.6: Sınırlandırılmış sistem girdisi

$$\text{Fabrika} = \sum_{t=t_1, \Delta t}^{t_2} (\text{tedarik} - \text{DCye sevkiyat})$$

$$\text{DC} = \sum_{t=t_1, \Delta t}^{t_2} (\text{DCye sevkiyat} - \text{RDCye sevkiyat})$$

$$\text{RDC} = \sum_{t=t_1, \Delta t}^{t_2} (\text{RDCye sevkiyat} - \text{Pere sevkiyat})$$

$$\text{Perakendeci} = \sum_{t=t_1, \Delta t}^{t_2} (\text{Pere sevkiyat} - \text{satislar})$$

$$\text{tedarik} = 13000 - \text{DELAYINF}(\text{Fabrika}, 1)$$

$$DCye\ sevkiyat = \begin{cases} pazar\ talebi\ gecikmesi, & Fabrika - pazar\ talebi\ gecikmesi \geq 0 \\ Fabrika, & Fabrika - pazar\ talebi\ gecikmesi < 0 \end{cases}$$

$$RDCye\ sevkiyat = \begin{cases} RDC\ siparisleri, & DC - RDC\ siparisleri \geq 0 \\ DC, & DC - RDC\ siparisleri < 0 \end{cases}$$

$$Pere\ sevkiyat = \begin{cases} perakendeci\ siparisleri, & RDC - perakendeci\ siparisleri \geq 0 \\ RDC, & RDC - perakendeci\ siparisleri < 0 \end{cases}$$

$$satislar = \begin{cases} pazar, & perakendeci - pazar \geq 0 \\ perakendeci, & perakendeci - pazar < 0 \end{cases}$$

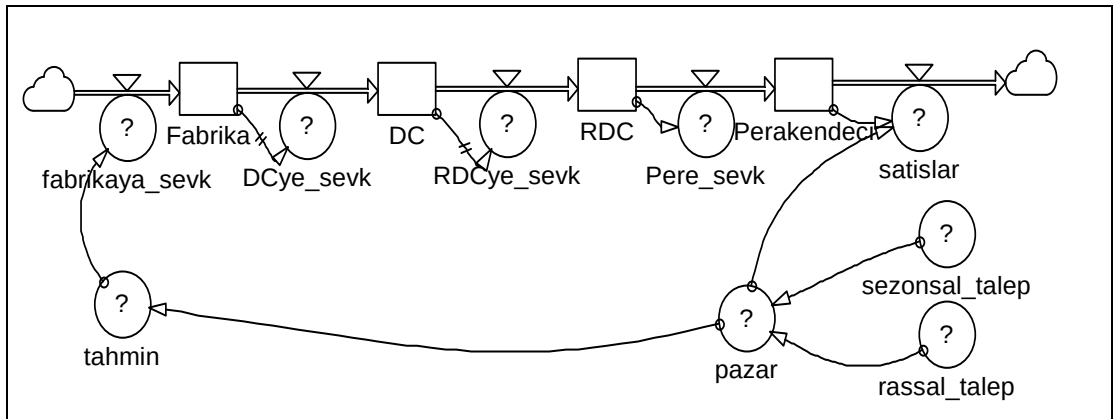
$$pazar\ talebi\ gecikmesi = DELAYINF(pazar, 1)$$

$$RDC\ siparisleri = MAX(0, guvenlik\ stogu - DELAYINF(RDC, 1))$$

$$perakendeci\ siparisleri = MAX(0, guvenlik\ stogu - DELAYINF(perakendeci, 1))$$

3.6.1.4 Basit ikmal yapıları (SRS)

Basit ikmal yapıları (*simple replenishment structures*) tedarik zinciri dahilinde malzemeler, bir boru hattı akışıyla ve ilk gelen ilk çıkar (*first in first out - FIFO*) prensibiyle ilerlerler, ve her zaman Pazar talebini takip ederler. Yapı esas itibariyle boru hattı sistemine benzemekte olup, CSI yapısından farklı olarak pazar bilgisine dayalı tahminler kullanılmaktadır (Morán ve Barrar, 2006). Sistem dinamiği modeli Şekil 3.7'de bulunmaktadır.



Şekil 3.7: Basit ikmal yapısı

$$Fabrika = \sum_{t=t_1, \Delta t}^{t_2} (fabrikaya\ sevk - DCye\ sevk)$$

$$DC = \sum_{t=t_1, \partial t}^{t_2} (DCye\ sevk - RDCye\ sevk)$$

$$RDC = \sum_{t=t_1, \partial t}^{t_2} (RDCye\ sevk - Pere\ sevk)$$

$$Perakendeci = \sum_{t=t_1, \partial t}^{t_2} (Pere\ sevk - satislar)$$

$$fabrikaya\ sevk = tahmin$$

$$DCye\ sevk = DELAYINF(Fabrika, 1)$$

$$RDCye\ sevk = DELAYINF(DC, 1)$$

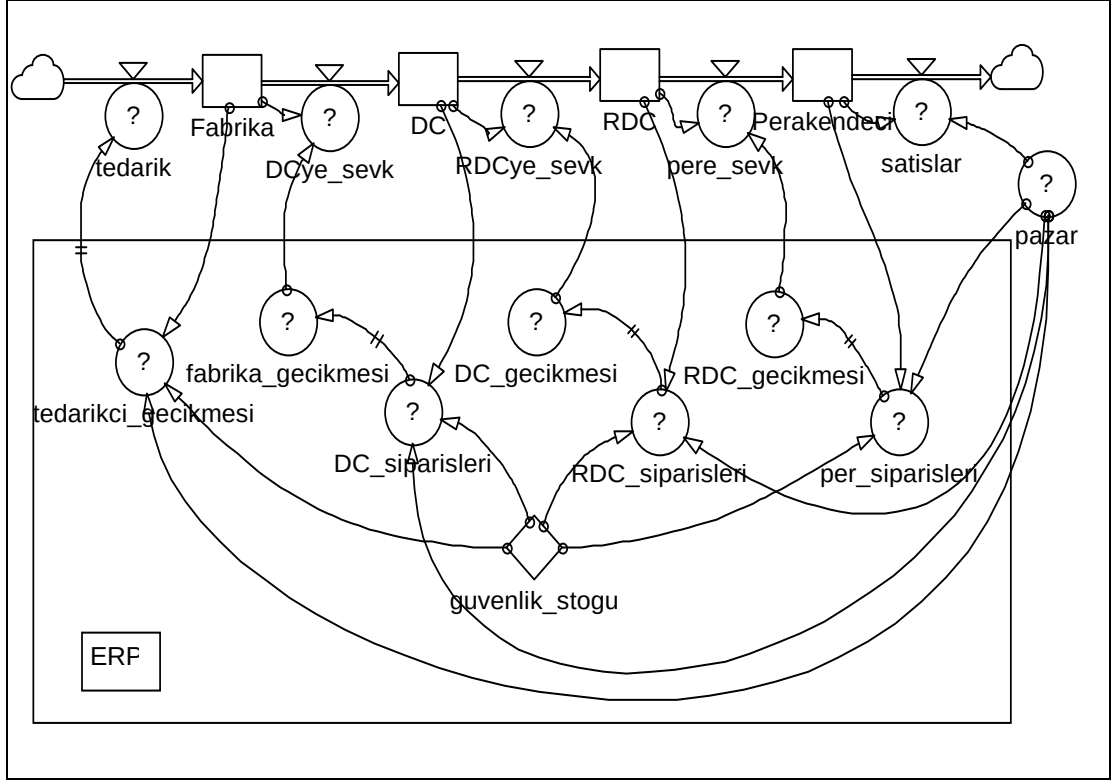
$$Pere\ sevk = DELAYINF(RDC, 1)$$

$$satislar = \begin{cases} pazar, & perakendeci - pazar \geq 0 \\ perakendeci, & perakendeci - pazar < 0 \end{cases}$$

$$tahmin = FORECAST(pazar, 3, 4, 3000)$$

3.6.1.5 Talep paylaşımı koordinasyonu (FDC)

Bu yapıda (*full demand sharing coordination*), pazara ilişkin talep, tüm aşamalarda paylaşılır. Her aşama, bu gecikmeli bilgi ve güvenlik stoku politikalarına göre karar verir. Kurumsal kaynak planlaması (ERP) kullanılan tedarik zincirlerinde sıkça rastlanmakta olan bir yapı olup, yöneticiler bilgileri gerçek zamanlı olarak paylaşırlar. Simülasyonda ise geleceğe ilişkin tahmin yapılmadığı ve sipariş beklemesine (backlog) izin verilmediği varsayılmıştır (Morán ve Barrar, 2006). Talep paylaşımı koordinasyonunun sistem dinamiği modeli Şekil 3.8'de görülebilir.



Şekil 3.8: Talep paylaşımı koordinasyonu

$$Fabrika = \sum_{t=t_1, \partial t}^{t_2} (tedarik - DCye\ sevk)$$

$$DC = \sum_{t=t_1, \partial t}^{t_2} (DCye\ sevk - RDCye\ sevk)$$

$$RDC = \sum_{t=t_1, \partial t}^{t_2} (RDCye\ sevk - Pere\ sevk)$$

$$Perakendeci = \sum_{t=t_1, \partial t}^{t_2} (Pere\ sevk - satislar)$$

$$tedarik = DELAYINF(tedarikci\ gecikmesi, 1)$$

$$DCye\ sevk = \begin{cases} fabrika\ gecikmesi, & Fabrika - fabrika\ gecikmesi \geq 0 \\ Fabrika, & Fabrika - fabrika\ gecikmesi < 0 \end{cases}$$

$$RDCye\ sevk = \begin{cases} DC\ gecikmesi, & DC - DC\ gecikmesi \geq 0 \\ DC, & DC - DC\ gecikmesi < 0 \end{cases}$$

$$pere\ sevk = \begin{cases} RDC\ gecikmesi, & RDC - RDC\ gecikmesi \geq 0 \\ RDC, & RDC - RDC\ gecikmesi < 0 \end{cases}$$

$$satislar = \begin{cases} pazar, & perakendeci - pazar \geq 0 \\ perakendeci, & perakendeci - pazar < 0 \end{cases}$$

$$tedarikci\ gecikmesi = pazar + guvenlik\ stogu - Fabrika$$

$$fabrika\ gecikmesi = DELAYINF(DC\ siparisleri, 1)$$

$$DC\ siparisleri = pazar + guvenlik\ stogu - DC$$

$$DC\ gecikmesi = DELAYINF(RDC\ siparisleri, 1)$$

$$RDC\ siparisleri = pazar + guvenlik\ stogu - RDC$$

$$RDC\ gecikmesi = DELAYINF(per\ siparisleri, 1)$$

$$per\ siparisleri = pazar + guvenlik\ stogu - Perakendeci$$

3.6.1.6 İleri tahmin koordinasyonu (AFC)

İleri tahmin koordinasyonunda (*advanced forecast coordination*), pazar bilgisi, tedarik zincirinin her aşamasında tahmin ve stok/sipariş kararları için kullanılır. Yani sadece talep bilgisi paylaşılmakla kalınmayıp, geleceğe ilişkin yapılan talep tahminleri de paylaşılmaktadır.

Temel felsefe, pazara olan aşama sayısı kadar zamanı tahmin ederek, gelecekteki muhtemel talebi bugünden üretmektir (Morán ve Barrar, 2006). Sistem dinamiği gösterimi Şekil 3.9'da verilmiştir.

$$Fabrika = \sum_{t=t_1, \Delta t}^{t_2} (tedarik - DCye\ sevk)$$

$$DC = \sum_{t=t_1, \Delta t}^{t_2} (DCye\ sevk - RDCye\ sevk)$$

$$RDC = \sum_{t=t_1, \Delta t}^{t_2} (RDCye\ sevk - pere\ sevk)$$

$$Perakendeci = \sum_{t=t_1, \Delta t}^{t_2} (pere\ sevk - satislar)$$

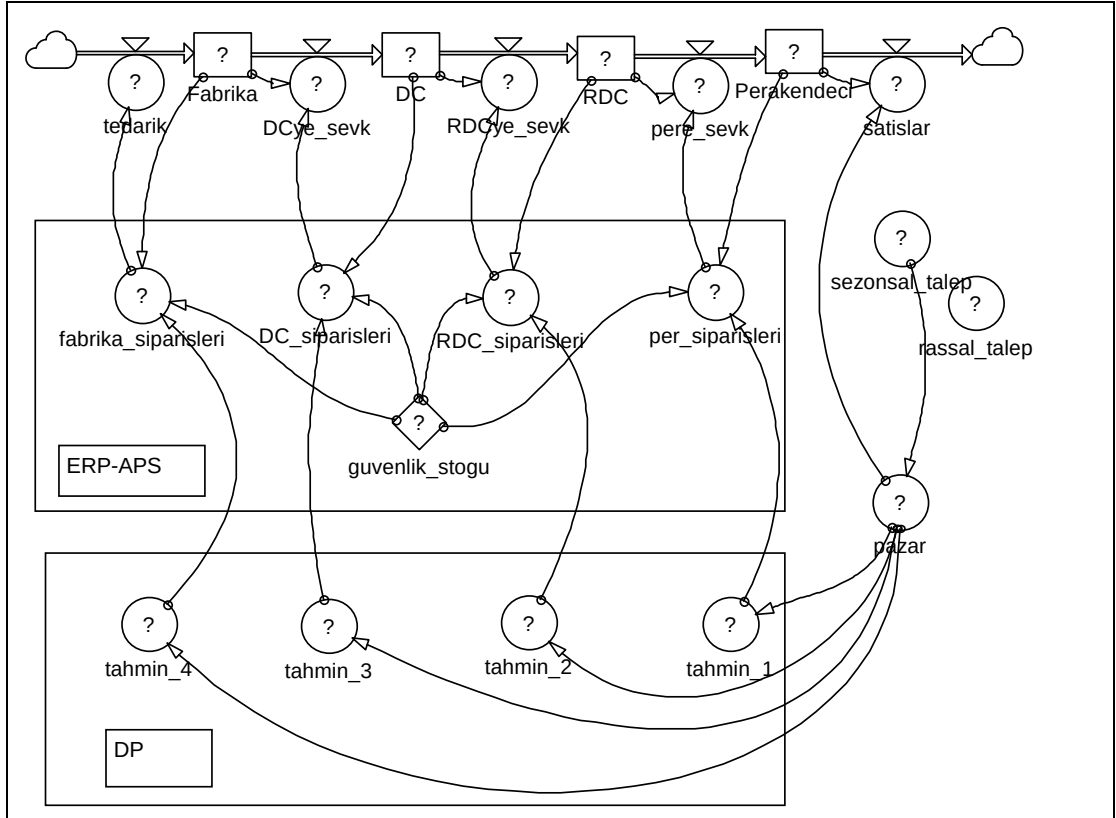
$$tedarik = fabrika\ siparisleri$$

$$DCye\ sevk = \begin{cases} DC\ siparisleri, & Fabrika + tedarik - DC\ siparisleri \geq 0 \\ Fabrika + tedarik, & Fabrika + tedarik - DC\ siparisleri < 0 \end{cases}$$

$$RDCye\ sevk = \begin{cases} RDC\ siparisleri, & DC + DCye\ sevk - RDC\ siparisleri \geq 0 \\ DC + DCye\ sevk, & DC + DCye\ sevk - RDC\ siparisleri < 0 \end{cases}$$

$$pere\ sevk = \begin{cases} per\ siparisleri, & RDC + RDCye\ sevk - per\ siparisleri \geq 0 \\ RDC + RDCye\ sevk, & RDC + RDCye\ sevk - per\ siparisleri < 0 \end{cases}$$

$$satislar = \begin{cases} pazar, & Perakendeci + pere\ sevk - pazar \geq 0 \\ Perakendeci + pere\ sevk, & Perakendeci + pere\ sevk - pazar < 0 \end{cases}$$



Şekil 3.9: İleri tahmin koordinasyonu

$$fabrika\ siparisleri = tahmin4 + guvenlik\ stogu - Fabrika$$

$$DC\ siparisleri = tahmin3 + guvenlik\ stogu - DC$$

$$RDC\ siparisleri = tahmin2 + guvenlik\ stogu - RDC$$

$$per\ siparisleri = tahmin1 + guvenlik\ stogu - Perakendeci$$

$$pazar = DELAYINF(talep, 1)$$

$$tahmin4 = FORECAST(pazar, 3, 4)$$

$$tahmin3 = FORECAST(pazar, 3, 3)$$

$tahmin2 = FORECAST(pazar, 3, 2)$

$tahmin1 = FORECAST(pazar, 3, 1)$

3.6.2 Tedarik zinciri yapılarının karşılaştırılması

Yukarıda özetlenen 6 farklı tedarik zinciri yapısı, 52 haftalık simülasyon zamanı belirlenerek ve 0.5 haftalık adımlarla sezonsal talep, %20'lik adımlı talep, ve rassal talep senaryolarına göre simüle edilmiştir. Gecikmeler 1 hafta, güvenlik stoğu ve ilk envanter değerleri 10000 adet, SRS yapısında ilk envanter değeri 3000 adet olarak parametre girişleri yapılmıştır. Tüm modeller haftalık ortalama 3000, standart sapma olarak da 500 adetlik taleple dengede başlatılmıştır (Morán ve Barrar, 2006).

Simülasyon sonucunda AFC, SRS ve CSI yapıları her senaryoda diğer tedarik zinciri yapılarına üstünlük sağlamıştır. Talep tahmini prosesi içermeyen CSI yapısı tahmin edilemeyen talep durumunda daha iyi performans göstermekte, sezonsal talepte ise tahmin proseslerinin avantajı görülmekte ancak gecikmeler dramatik olmadığı için hemen tüm belirsizlikler asimile edilmektedir (Morán ve Barrar, 2006). Dolayısıyla sezonsal talepte AFC yapısının CSI'a göre daha stabil bir davranış sergilediği ortaya çıkmaktadır, bu da anlık tahmin ve planlamanın bir sonucu olup, güvenlik stok seviyelerinin sezonsallığa bağlı olarak ayarlanmasına imkan kılmaktadır (Morán ve Barrar, 2006).

Belirlenen yapıların karşılaştırılması önemli bir çalışma olmakla birlikte birleşik yapıların, özellikle sektörel bazlı araştırmaların da ortaya konmasının faydalı olacağı belirtilmektedir (Morán ve Barrar, 2006).

3.7 Sistem Tasarımı ile Sipariş Bazlı Kamçının Kontrolü

3.7.1 Talep tarafındaki belirsizlik ve ikmal politikası

Tüm tedarik zinciri elemanlarının toplam sistem performansını enbüyüklemek amacıyla tek bir varlık gibi düşünme ve hareket etmelerini sağlayacak “bağılantısız tedarik zinciri” yapısının gerçekleşmesinin ancak sağlıklı bir bilgi ileri ve geri besleme yapısının optimal karar verme yapısıyla birleşmesiyle mümkün olabileceği belirtilmektedir (Towill ve diğ., 2000).

Örneğin Fisher (1997), tedarik zincirinin ürün odaklı olması, amacın en büyük ürün etkisi yaratılması, ve değişim mühendisliğinin ürün bazında bireysel ihtiyaçlara göre kullanılması gerektiğini önermiştir. Ancak bu önerinin her durum için geçerli olmadığı daha sonraki çalışmalarda ortaya konmuştur (Shewchuk 1998).

Burbidge ve Halsall (1994), ürün akışı analizi (*product flow analysis* - PFA) kavramını ortaya koyarak, bu analiz kapsamında ürünleri etkin gruplar halinde kümelemişler, ve ölçek etkisinden yararlanma avantajını öne sürmüşlerdir.

Towill (1999) ise, malzeme akışlarını basitleştirecek on iki kuralı belirtmektedir:

1. Sadece kısa sürede müşterilere sevk edilecek ve faturalanacak malzemelerin üretilmesi.
2. Belirli bir zaman diliminde sadece diğer periyotta kullanılacak komponentlerin üretilmesi.
3. Üretim çevrim zamanının enküçüklenmesi, tüm teslim zamanlarının sıkıştırılması.
4. Mümkün olan en kısa planlama periyodunun kullanılması.
5. Tedarikçilerden sadece proses yada montaj için gerekli olan malzemelerin küçük partiler halinde temin edilmesi.
6. Tedarik zinciri genelinde zaman birimlerinin senkronize edilmesi.
7. Her değer zincirine uygun olarak, ürün ve dizayn proseslerinin gruplanmaları.
8. Tüm proseslerdeki tüm belirsizliklerin elimine edilmesi.
9. Tedarik zincirinde anlama, dökümante etme, basitleştirme ve optimize etme sırasının uygulanması.
10. Zincir genelinde görülebilir ve anlaşılabilir bilgi akış yapısının oluşturulması.
11. Sadece kanıtlanmış, basit ve sağlam karar destek sistemlerinin kullanılması.
12. Bağlantısız tedarik zinciri yapısının hedeflenmesi.

Bu bilgiler ışığında zincir genelinde belirsizlik konusu önem kazanmaktadır. Tedarik zincirlerindeki belirsizlikler; proses, arz, talep ve kontrol alanlarında gruplanmaktadır (Towill ve diğ., 2000).

Bu grupta talep tarafındaki belirsizlikler şu şekilde özetlenmektedir (Towill ve diğ., 2000):

- Müşteri stokunun görülmemesi: Zincir bütününde bilgi eksikliği yaratmakta olup, bağlantısız tedarik zinciri için engel teşkil etmektedir.
- Müşteriler arası rekabet: Müşterilerin veri gizlemesine yol açmaktadır.
- Büyük ve seyrek sevkiyatlar: Fazladan malzeme gecikmelerine sebep olmaktadır.

- Sürekli ürün modifikasyonları: Yüksek seviyede eskimelere ve fazladan değişkenliğe sebep olmaktadır.

Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak amacıyla Disney ve Towill, sipariş politikalarını analiz etmişlerdir (Disney ve Towill, 2006). Bu çalışma sonucunda, talebin, sabit ortalamalı rassal dağılıma sahip olduğu sistemlerde boru hattı ve stok düzeltme zamanlarının eşitlenmesi, kamçı değerinde büyük ölçüde iyileştirmeler sağlamış, ve kamçı değerinin 1'e eşitlenmesi durumundaki etkinlik sınırları belirlenmiştir (Disney ve Towill, 2006).

Envanterin yönetilmesi için, talep ve boru hattı politikalarının anlaşılması gerekmektedir. Talep politikalarında en önemli sorun, talep tahminlerinin gerçeği ne kadar yansıtacağıdır. Doğrusal regresyon, hareketli ortalamalar gibi birçok talep tahmin metodu bulunmasının yanında, günümüz üretim sistemlerinde üstel düzeltme adı verilen ve son dönemlerdeki taleplerin daha ağırlıklı olarak hesaba katıldığı teknik tercih edilmektedir (Disney ve diğ., 1997).

Dolaşım halindeki ara ürünlere ilişkin hesaplanan değerlerin de gerçek değerlerden farklı olması sık rastlanan bir durum olup, önemli nokta, üretim/dağıtım gereksinimleri belirlendikten sonra aradaki farkın ne kadar zamanda düzeltilebileceğidir (Disney ve diğ., 1997).

Envanter yönetimine ilişkin kontrol yapısı anlaşıldıkça (talepler, farklar, dolaşım halindeki yarı mamulleri hesaba katan ve üretim kararını bildiren algoritmalar bilindikçe) durumun dramatik olarak iyileştirildiği gözlemlenmektedir (Disney ve diğ., 1997). Ayrıca uygulanan değişim mühendisliği çalışmalarının, aşağıdan yukarıya sırasıyla ürün, proses, ve sistem entegrasyonuna yönelik olması gerekmektedir (Ashayeri ve diğ., 1998).

Bu amaçla gerçekleştirilen simülasyon çalışmaları göstermiştir ki, tüketimi (gerçekleşen talebi), yarı mamulleri, ve stoku düzeltecek zamanlara ilişkin parametrelerin optimum değerlerinin bilinmesi gerekmektedir (*time to adjust consumption*, *time to adjust WIP*, ve *time to adjust inventory*; Disney ve diğ., 1997). Örneğin, stok düzeltme zamanının %25 oranında iyileştirilmesi, ortalama stok seviyesinin gerçekleşen taleplere, diğer parametrelerin %25 oranında iyileştirilmesine nazaran çok daha çabuk adaptasyonunu sağlamakta, ancak rassal etkilere daya duyarlı bir sistem ortaya koymaktadır (Disney ve diğ., 1997).

Benzer şekilde, sipariş oranları ve stoklar arasında bir ilişki aranmış, ve çeşitli istatistiksel yöntemlerle ortaya çıkarılan değerler başa baş analizine tabi tutulmuştur

(sipariş oranı varyanslarının normalize edilerek kütle merkezi hesabı; Disney ve diğ., 1997).

Bu gözlemleri dikkate alarak Disney, Naim ve Towill (1997), yukarıda bahsedilen zaman parametrelerinin optimum değerlerinden oluşan kümeyi ortaya çıkarmak için genetik algoritmaları kullanmışlardır.

Bu genetik algoritmada, mutasyon sonucu elde edilen parametre değerleri dinamik simülasyonda yerine konularak sipariş oranı, ortalama envanter oranı, yarı mamul gecikmeleri gibi değerler hesaplanmakta, ve parametrelerin liyakat fonksiyonunu (*fitness function*) gerçekleyip gerçeklemediği bu hesaplar sonucu belirlenmektedir. Bu çalışma, genetik algoritma ve sistem dinamiği gibi iki önemli tekniği bir araya getirmesi açısından önem taşımaktadır. Çalışmada daha sonra, kurulan modelin bir vaka çalışmasına uygulanması da gösterilmiştir (Disney ve diğ., 1997).

Tedarik zincirlerinde kamçı etkisinin önüne geçmek için amaçlanan, sipariş kuralının müşteri trendlerine uygunluğunun sağlanması olarak vurgulanmaktadır (Disney ve Towill, 2006). Bu amacın gerçekleşmesi için sadece sipariş kuralının değil, parametrelerin de seçilmesinin önemine değinilmektedir. Bu bilgiler ışığında Disney ve Towill (2006), üstel düzeltmeye dayalı tahmini baz alan ve envanter hatası oranı ile transit stok (dolaşım halindeki malzeme - tedarik hattı) hatası oranını içeren parametreler kümesi için çalışma yapmışlardır.

APIOBPCS adı verilen sipariş kuralında sipariş miktarı, üstel düzeltilmiş talep tahmini, hedef ve gerçek stokların oranı ve hedef ve gerçek transit stok oranının toplamına eşitlenmektedir (Disney ve Towill, 2006).

T_p : sipariş teslim zamanı

T_a : ortalama zaman sabiti

T_w : boru hattı hata kontrolü

T_i : envanter hata kontrolü olmak üzere;

$$Kamçıl = \frac{2T_a^2 + 3T_i + 2T_p + 2(T_i + T_p)^2 + T_a(1 + 6T_i + 4T_p)}{(1 + 2T_a)(T_a + T_i)(-1 + 2T_i)} \quad (3.8)$$

ve envanter değişkenliği de

$$VAR_{INV} = 1 + T_p + \frac{2T_a^2(-1 + T^2)_i + T_i(1 + T^2)_p + T_a(1 + T_p)(1 + (-1 + 2T_i)T_p)}{(1 + 2T_a)(T_a + T_i)(-1 + 2T_i)} \quad (3.9)$$

denklemleriyle hesaplanarak, kamçı değerinin 1'e eşitlemesi ile optimal parametreler kümesi bulunabilmektedir (Disney ve Towill, 2006).

$T_i = T_w$ parametre eşitliğinin sağlanması durumunda kararlı duruma ulaşılabacağı belirtilmektedir. Kararlı durumda ikmal varyansı, talep varyansına eşit olmaktadır. Benzer şekilde envanter değişkenliği incelendiğinde $T_p = 1$ olduğu durumda değişkenliğin en küçük seviyede kaldığı görülmekte, bu bulgu da daha sonra bahsedilecek olan Towill'in "zaman sıkıştırmaları" prensibine delil teşkil etmektedir (Disney ve Towill, 2006).

Yukarıda belirtilen analitik formül ile gerçekleştirilen simülasyon sonuçları arasındaki karşılaştırmada da iki yaklaşım arasında sadece %0.4'lük bir fark gözlemlenmiştir. Benzer şekilde ekstrem veriler ışığında model güvenilirliği test edilmiş ve yeterince güvenli olduğu saptanmıştır (T_p 1'den 3'e çıktığında kamçı değerinin %35 artış gösterdiği belirtilmiştir; Disney ve Towill, 2006).

Kısacası tedarik zincirleri tasarım ve yönetiminde tek belirsizliğin pazar olması ön koşulunu sağlamak için sadece optimal karar verme politikalarının değil, bu politikaları ilişkin parametrelerin de belirlenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır (Disney ve Towill, 2006).

3.7.1.1 Dağıtım yönetiminde belirsizliğin rolü

Yukarıda bahsedildiği üzere, kamçı etkisinin meydana gelmesindeki en önemli faktörlerden biri de belirsizliktir. Belirsizlik, talep karşılanamaması ile aşırı büyük stok miktarları gibi iki uç noktada sonuçlara yol açabilmektedir (McCullen ve Towill, 2002).

Houlihan (1988), belirsizliğin iki şekilde zincir dahilinde talep kuvvetlenmesine sebep olduğunu ortaya koymuştur. Bir ürünün karşılanamaması durumunda fazla sipariş verme yoluna gidilmesi, zincirin üst aşamalarına yansımaktadır. Öte yandan, (3.10) denkleminde servis düzeyi politikasına bağlı olarak Z parametresinin seçimi, talep standart sapmasının ve tedarik zamanlarının yüksek olduğu dönemlerde sezonsallığa sebep olarak güvenlik stokunu ortalama talebin üzerine çıkaracaktır (McCullen ve Towill, 2002).

$$\text{Güvenlik stogu} = Z \times \sigma \times \sqrt{L_T} \quad (3.10)$$

Diğer yandan, optimum dağıtım dizaynının, müşteri taleplerindeki değişkenlik ve nakliye masraflarından ziyade, (stok) elde tutma maliyeti ve sevkiyat frekanslarındaki belirsizliklerin daha fazla riski altında olduğu da saptanmıştır

(Lalwani ve diğ., 2006). Simülasyon, beyin fırtınası, Taguchi tekniği, ve varyans analizi tekniklerinin kullanıldığı bu çalışmada; klasik dağıtım planlaması metotlarıyla (ticari olarak kullanılan bir yazılım yardımıyla) Taguchi tekniği birleştirilmiştir.

Veri akışlarının ortaya konulmasını takiben, dağıtım merkezlerinin sayı ve lokasyonları optimizasyon ile belirlenmektedir. Stokların n adet lokasyonda toplandığı ve tek bir merkezi stok altında konsolide edildiği varsayımıyla; merkezi olmayan stokların merkezi stoklara oranı $\sqrt{n}$ olacaktır (Maister, 1975).

Sipariş verme politikası incelendiğinde ise, Wilson Parti Büyüklüğü Formülü bazlı ekonomik sipariş miktarlarının, stokların merkezileştirilmesi öncesi ve sonrasında sabit sipariş ve sabit elde tutma maliyetleri varsayımına dayandığı görülmektedir (Lalwani ve diğ., 2006). Ancak, stokun bir dönem içerisindeki taleple orantılı olduğu durumlarda bu yasa kullanılamamaktadır.

Nakliye modellemesi aşamasında ise, miktar ve maliyet ağırlıkları göz önüne alınarak; tedarik merkezinden dağıtım merkezine olan Euclid uzaklığının minimize edilmesi yöntemi benimsenmektedir (Lalwani ve diğ., 2006).

Bu belirlemeler ışığında model, stok ve nakliye maliyetleri arasındaki etkileşimi bulmaya çalışmaktadır. Daha önce de benzer çalışmalar gerçekleştirilmiş olmasına rağmen, dağıtım merkezinin genel giderleri ve depoların ölçek etkileri gibi değişkenler ilk kez hesaba katılmaktadır (Lalwani ve diğ., 2006).

Elde edilen verilere göre, toplam maliyet üzerindeki en önemli etmen sevkiyat frekansı olarak ortaya çıkmaktadır. Daha sonra ise elde tutma maliyeti gelmektedir. Ayrıca, kısa ürün ömürleri gibi saklı stok maliyeti barındıran yapılarda, dağıtım merkezlerinin azaltılmasının gerekli olabileceği belirtilmiştir (Lalwani ve diğ., 2006).

3.7.1.2 Bayi yönetimindeki envanter (VMI)

Zincir dahilinde bir aşamanın eliminasyonunun, gerek gecikmelerin azaltılması, gerekse bir karar verme biriminin sistem üzerindeki talep kuvvetlenmesine olan etkisin ortadan kaldırılmasıyla kamçı etkisini azaltacağı aşikardır. Ancak böyle bir yeniden yapılanmanın, farklı dağıtım kanallarının zorunluluğunu beraberinde getirebileceği de önemli bir risk faktörü olarak karşımıza çıkmaktadır.

Benzer avantajları getirecek bir diğer yapı da, müşteri stokunun yönetim sorumluluğunun bayide (distribütör) olduğu bayi yönetimindeki envanter yapısıdır (Disney ve Towill, 2003). Eski bir geçmişi olmasına rağmen (Magee, 1958) bayi yönetimindeki envanter (*vendor managed inventory* – VMI), son yıllarda özellikle perakendecilik sektöründe popüler bir konuma kavuşmuştur (Disney ve Towill,

2003). VMI yapısına ilişkin karar destek sistemlerinin önemli bir avantajı, MS Excel gibi yaygın kullanıma sahip ofis programlarına uyarlanabilir oluşlarıdır, zira bu sistemleri oluşturulan diferansiyel denklemler, Excel ortamında gerçekleştirilebilir (Disney ve Towill, 2003; Disney ve Towill, 2000; Disney ve Towill, 2002a). Bu denklemler, distribütör stokunun görüntülenmesi ve sipariş verme noktasının altına düştüğü durumlarda ihtiyaç fazlası stoğa yol açmayacak sipariş miktarının verilmesini baz almaktadır (Disney ve Towill, 2003). Bu sipariş miktarı ise; tahmini talep (üstel düzeltme ile), gerçek ve hedef stok farklılığı ve gerçek ve hedef transit stok toplamına eşit olacak şekilde belirlenmektedir (Disney ve Towill, 2003).

Simülasyon sonucunda VMI yapısının, belirlenen dört ayrı kamçı etkisi üzerindeki etkileri incelenmiştir:

- VMI, promosyondan kaynaklanan kamçı etkisini, klasik tedarik zinciri modellemesine göre azaltmaktadır.
- VMI, Forrester kamçı etkisini yarı yarıya azaltacak iyileştirme göstermektedir.
- VMI yapısında teslimat zamanlamasının önemi ortadan kalktığı için, distribütörler sevkıyatlarla ihtiyaç miktarını kıyaslamayacak ve fark için yeni sipariş vermeyecektir. Yani VMI, Houlihan etkisini ortadan kaldırmaktadır.
- VMI'in sağladığı bilgi akışı ile, üretim siparişi oranına yansımadan sadece üretici ile distribütör arasında nakliye ve gruplama prosesleri olacağından, Burbidge etkisi de azalacaktır (Disney ve Towill, 2003).

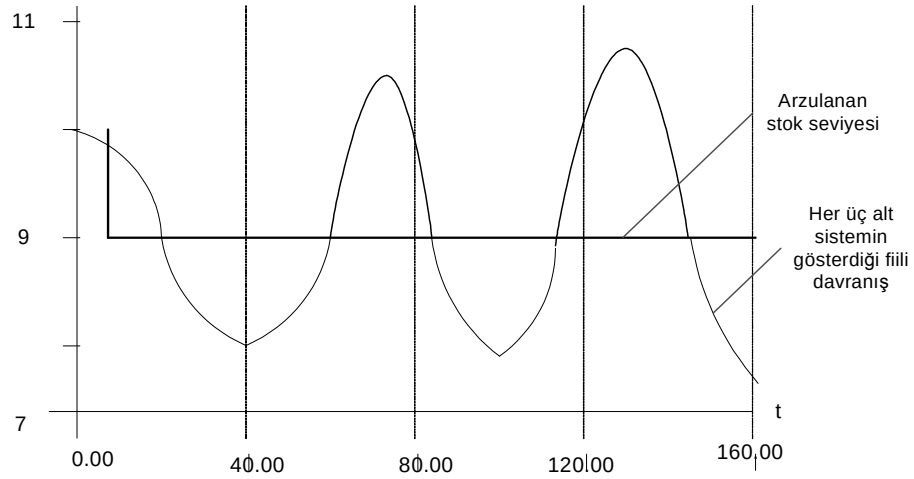
Ayrıca VMI sistemleri, kesikli ve sürekli sistemler ve sabit ve eksponansiyel gecikmelere sahip sistemler olarak modellenabilmektedir (White ve Censlive, 2006). Kesikli sistemlerde sipariş oranı ve WIP değerleri, sürekli sistemlere göre %20 daha fazla olarak çıksa da, düzeltilme zamanları aynı olmaktadır (White ve Censlive, 2006). Gecikmeleri sabit ya da eksponansiyel olarak modellenmesinin kararı ise, modelin sahip olduğu sipariş çizelgelerine göre verilmelidir. Sabit gecikmelerin kullanılması, dalgalanmalarda rastlanan açıkların neredeyse dört katına çıkmasına yol açmakta, ancak düzeltilme zamanını önemli ölçüde arttırmamaktadır. Yani sistem, sahip olduğu talep tahmini yapısının etkisi altında olacaktır (White ve Censlive, 2006).

3.7.1.3 Sanal tedarik hatları

Tedarik ve dağıtım zincirlerinin modellenmesinde stok yönetimi formülasyonu tedarik hattındaki gecikmeleri dikkate almazsa, sistem davranışının dalgalanmalar

göstereceği daha önce belirtilmişti. Önemli bir diğer konu da, sistem içindeki gecikmelerin sadece ana malzemeye ilişkin olmadığıdır. İkincil malzeme ve bilgi akışındaki gecikmeler ile bu iki alt sistemin kombinasyonuna ilişkin gecikmeler de sistem davranışı üzerinde etkilidir. Bu dalgalanma davranışı Şekil 3.10'da verilmiştir. Ve bu gecikmeler, ana malzemenin tedarik hattındaki gecikme ile sistem üzerinde aynı etkiyi yapmakta, yani sistemin dalgalanma davranışına sahip olmasına yol açmaktadır (Yaşarcan ve Barlas, 2005).

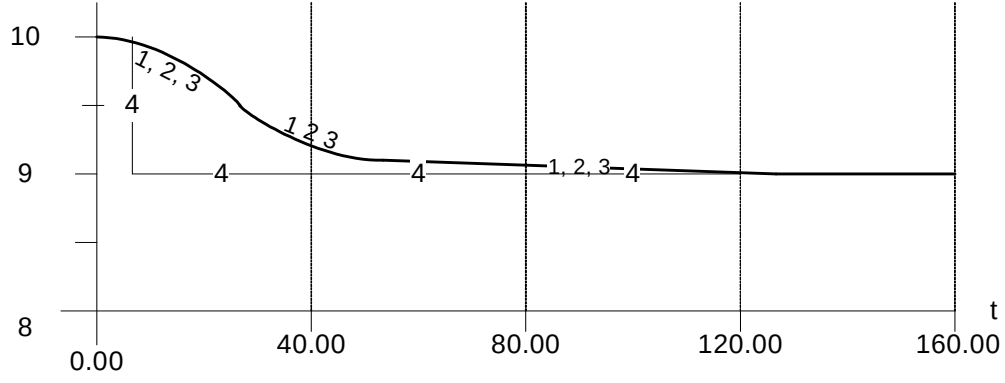
Tedarik hatlarında malzeme gecikmesinin dikkate alınması basitçe, sistem modeline malzemeye ilişkin bir düzeltme terimi konması ile mümkün olmaktadır. Ancak ikincil malzeme ve bilgi akışlarına ilişkin benzer bir kontrol konması söz konusu olamamakta, zira bu iki faktörün hem rolü, hatta birimleri ana malzemeden farklılık göstermektedir. Ancak her iki elemana ait matematiksel ifadeler, ana malzeme ile benzerlik taşıdığından ve iç ve dış akış alt sistemlerinden oluştuklarından, benzer bir yaklaşım uygulanabilir.



Şekil 3.10: Ana ve ikincil malzemeler ile bilgi akışındaki gecikmeler

Bu aşamada, bu elemanlara ait bir sanal tedarik hattı oluşturulması fikri ortaya çıkmıştır (Yaşarcan ve Barlas, 2005). Bu sanal tedarik hattının, dinamik ve matematiksel olarak, gerçek sistemdeki gecikme yapısını temsil etmesi yetmektedir.

Sanal tedarik hatları kavramının ana prensibi, n .düzenden bir sistemi birinci düzen haline getirmek ve birinci düzen sistemlerin dalgalanamayacakları özelliklerinden hareketle sistemdeki dalgalanmayı ortadan kaldırmaktır (Yaşarcan ve Barlas, 2005). Bu amaçla, ikincil malzemeler ve bilgi akışlarına ilişkin gecikmeler de sistem dinamiği modeline dahil edilmiştir.



Şekil 3.11: Sanal tedarik hatlarının sistem performansına etkisi

Model sonucu yapılan uygulamalarda oldukça iyi sonuçlar alındığı gözlenmiştir (Yaşarcan ve Barlas, 2005). Şekil 3.10'daki 1,2 ve 3 numaraları ile gösterilen değerler sırasıyla ana malzeme stoku, bilgi akışındaki gecikmeler ve ikincil malzeme stoklarını temsil etmektedir (Şekil 3.11; Yaşarcan ve Barlas, 2005).

3.7.1.4 Diğer pazarlama ve belirsizlik bazlı çalışmalar

Tedarik zincirlerinin dağıtım ayağına odaklanan ve pazarlama faaliyetleri ile pazar odaklı belirsizliklerin zincir üzerindeki etkilerini inceleyen çok sayıda çalışma da literatürde mevcuttur, zira pazarlama aktivitelerinin daha iyi yönetiminin tedarik zincirinin geliştirilmesi üzerinde önemli bir potansiyeli olduğu saptanmıştır (Lummus ve diğ., 2003).

Bu çalışmalarda genellikle, promosyonlardan doğacak satış artışları, promosyonların süresi, ve özel ticari anlaşmaların sayısı ve etkisi baz alınmaktadır (Lummus ve diğ., 2003).

Simülasyon çalışmaları sonucunda, özel indirimler ve ticari anlaşmaların elenmesiyle tedarik zincirinin tüm aşamalarında talep kuvvetlenmesinin azaldığı görülmektedir. Özellikle promosyonlardan kaynaklanan nihai müşterinin talebindeki artış mevcut stok seviyesini aştığında, zincirin üst aşamalarına iletilen bir kamçı etkisi olduğu, ve kısa dönemli bu talep artışının zincirin üst aşamalarında daha uzun dönemli hale geldiği saptanmaktadır. Bunlara ilave olarak, stok taşıma maliyeti artmakta, ve haftalık bazda işgücü gereksiniminde değişiklikler gözlemlenmektedir (Lummus ve diğ., 2003). Çalışmada, promosyon veya indirim bittiği anda, daha önce yüksek oranda gerçekleşmekte olan taleplerin ani bir şekilde düşeceği, ve özellikle üretici firmanın yönetiminin bu düşüşü göz önüne alması gerektiği, dolayısıyla promosyonlar hakkında detaylı bilgi sahibi olması zorunluluğuna da değinilmiştir (Lummus ve diğ., 2003).

Pazar odaklı çalışmalarda dikkati çeken bir diğer alan da, pazarlama kaynaklarının optimum kullanımıdır. Bu bağlamda sadece pazardaki belirsizlik değil, geri besleme yapısının karmaşıklığı da önemli bir etkidir (Graham ve Ariza, 2003). Aynı araştırmada, kaynak kullanımına ilişkin dinamik, kantitatif ve stratejik sorular sınıflandırması yapılmış, ve rakiplerle mukayeseli olarak satış gücü, reklam, promosyonlar, ve satış kanalı desteği gibi değişkenlerin tedarik zinciri performansına etkisi incelenmiştir (Graham ve Ariza, 2003).

Bu alanda bir diğer önemli kavram da, Svensson tarafından ortaya konan firmaların içsel ve dışsal lojistik faktörlerine olan “hassasiyet”idir (*vulnerability*; Svensson, 2002a; Svensson, 2002b).

Svensson (2002b), hassasiyet ile ilgili çalışmalarında, rahatsızlık kaynağı, rahatsızlık kategorisi ve lojistik akışı olmak üzere üç ana komponent belirlemiştir. Hassasiyet ile ilgili değerlendirmeyi ise olumsuzluk planlaması (*contingency planning*) bakışı altında yapmaktadır. Olumsuzluk planlaması, genellikle kötü sonuçlar vermesi beklenen bir olayın bir fırsat olarak görülüp değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır (Svensson, 2002b).

Bu bilgiler ışığında Svensson (2002b), üst düzey yöneticilerle gerçekleştirdiği anket çalışmalarını istatistiksel analize tabi tutmuş, ve firmaların müşteri ve tedarikçilerine olan bağımlılığını içsel ve dışsal hassasiyet etkenleri olarak ortaya koymuştur. Benzer şekilde bir anket çalışması sonucunda da, hassasiyetlerin zamana ve ilişkilere bağlı sınıflandırması altında analizi gerçekleştirilmiş; ve hassasiyetler ayrıca geçici ve kalıcı, ve karşılıklı ve tek yönlü olmak üzere matris sınıflarına da ayrılmışlardır (Svensson, 2002a).

3.7.2 Gecikmeler ve tedarik zincirlerinde zaman sıkıştırmaları

Tedarik zincirlerinde karar verme prosesinin; lokal optimizasyona dayandırılması ve sezgisel yaklaşımlarla domine edilmesi; çapa ve düzeltme (*anchor and adjustment*) tekniği bazlı çalışmalar, sistemin önündeki en büyük engellerden biri olarak görülmektedir (Sternan, 1989).

Kamçı etkisi ve talep kuvvetlenmesi gibi etmenlerden dolayı, tedarik zincirlerini oluşturan tüm elemanların lokal optimizasyon anlayışı yerine bir bütün olarak hareket etmesi gerektiği, bu alandaki çalışmalarda belirtile gelen bir olgudur. Sistemlerin, yapılarında var olan gecikmelere zamanla alıştığı da araştırmalarda saptanan bir gerçektir (Affeldt, 1999).

Sistem dinamiği modellerinde; genellikle zincir dahilindeki aşama sayısı, sevkiyat gecikmeleri, bilgi içeriği, ve bilgi gecikmeleri incelenmektedir (Dutta ve Roy, 2003). Ayrıca bilgi akışlarındaki değişikliğin bazı vaka çalışmalarında malzeme akışını etkilemediği saptanmaktadır. Sistemde önemli olan hangi geri besleme çevrimlerinin sistemi domine ettiği olmaktadır (Dutta ve Roy, 2003).

Gecikmelere ilişkin bir diğer bulgu da, uzun dönemde etki gösterecek küçük bir değişikliğin, kısa dönemde etki gösterecek büyük bir değişimle sistem üzerinde aynı olumsuz etkiye sahip olacağıdır. Yani gecikme arttıkça, sistemin değişikliklere olan hassasiyeti de artmaktadır (DeSouza ve diğ., 2000).

Yalın yönetim anlayışının bir uzantısı olarak yalın girişimler kavramı da tedarik zincirleri kapsamında dikkate alınmaktadır (Towill, 1996b). Bu anlayış çerçevesinde, zincir genelinde teslim zamanlarını azaltmak temel amaçlardan biri olarak görülmüş, bunu gerçekleştirmek için de, toplam çevrim zamanında iyileştirmeler ve katma değer yaratmayan işlemlerin elimine edilmesi önerilmiştir (Towill, 1996b). Tedarik zincirlerindeki zaman gecikmelerine örnek olarak; üretim teslim zamanları, nakliye gecikmeleri, ve yeni bir malzeme ihtiyacı ile stok farklılığının belirlenmesi için gerekli zaman verilebilir (McCullen ve Towill, 2002). Zaman gecikmeleri genellikle MRP ve DRP sistemlerindeki yeniden sipariş verme (*re-ordering*)'nin bir fonksiyonudur (McCullen ve Towill, 2002).

Yukarıda bahsedilen önerilerin gündeme gelmesine baz teşkil eden tedarik zinciri performans faktörü aşağıdaki gibi belirtilebilir (Johansson ve diğ., 1993):

$$PI = [kalite * müşteri servis düzeyi] / [toplam maliyet * teslim zamanı] \quad (3.11)$$

Anlaşılabacağı üzere hedef, teslim zamanını azaltarak zincir performansının artmasını sağlamaktır. Ancak teslim zamanının azaltılması sadece denklemde yer aldığı kadarıyla etki yapmayacak, diğer üç faktörde olan etkisiyle dolaylı iyileştirme de sağlayacaktır (Towill, 1996b).

Bu amaç doğrultusunda Burbidge (1983), zincirdeki malzeme akışını dengeleyecek olan 5 prensibini şu şekilde sıralamıştır:

1. Sadece en kısa sürede müşteriye teslim edilecek ürünlerin üretilmesi.
2. Bir periyotta sadece bir sonraki periyotta kullanılacak ara malzemelerin üretilmesi.
3. Malzeme tamamlanma zamanının minimize edilmesi.
4. En kısa planlama periyodunun kullanılması.

5. Tedarikçilerden sadece işlenecek veya montajı yapılacak malzemelerin teslim alınması.

Bu prensiplere ilave olarak malzeme akışlarının kontrolü ile toplam üretim zamanında azaltmaya gidilmesi Burbidge ve Houlihan etkilerinin olumsuzluklarını bertaraf edecektir. Bunun gerçekleştirilmesi için Boston Consultancy Group, aşağıda belirtilen 3 cephede savaşmak gerektiğini belirtmiştir (Stalk ve Hout, 1990):

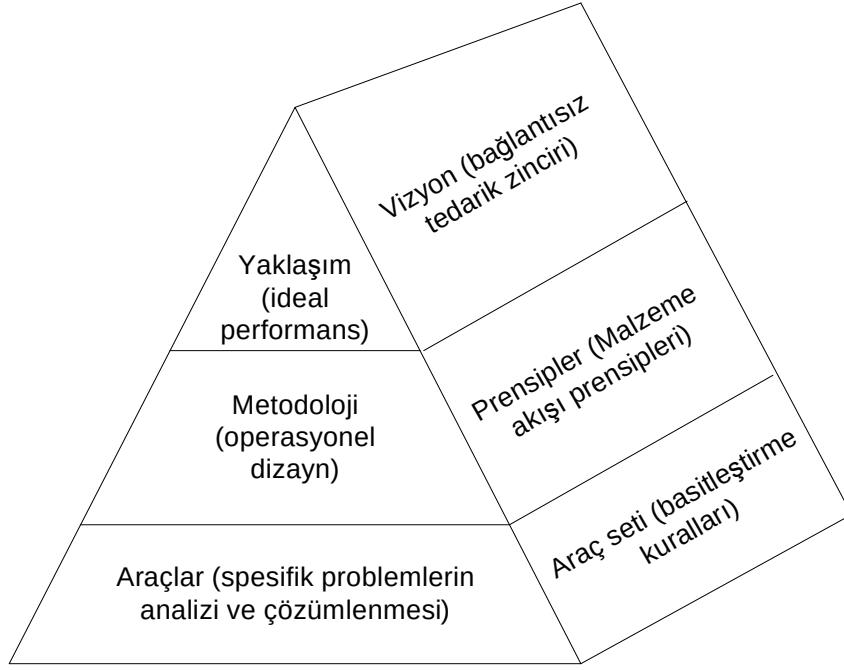
1. Siparişler, yeni ürünler ve özel ihtiyaçlar hakkında zinciri oluşturan tüm firmalara zamanında ve daha etkin bilgi sağlanması.
2. Zinciri oluşturan firmaların birbirlerine yardım ederek, döngü zamanını sıkıştırma yolundaki engelleri ortadan kaldırması.
3. Tedarik zamanlarının ve kapasitelerin senkronize edilerek zincir çapında iş akışının artırılması.

Bu uygulamaların hayata geçirilmesi için temel stratejiler ise şu şekilde özetlenmektedir (Towill, 1996b):

- Malzeme, bilgi ve nakit akışlarındaki tüm teslimat zamanlarındaki gecikmelerin indirgenmesi.
- Özellikle karar verme noktalarındaki mümkün olan tüm gecikmelerin ortadan kaldırılması.
- Pazara ilişkin bilgilerin tüm zincir dahilinde paylaşımı.

Towill, bu stratejilerin hayata geçirilmesi için de bir taktikler listesi belirlemiştir. Bu listede yer alan faaliyetler, şu şekilde gruplanmaktadır (Towill, 1996b; Mason-Jones ve Towill, 1998):

- Eliminasyon: Bir prosesin ortadan kaldırılması.
- Sıkıştırma (*compression*): Bir proses dahilindeki zamanın indirgenmesi.
- Entegrasyon: İki proses arasındaki etkileşimin değişim mühendisliği ilkelerince düzenlenmesi.
- Eşzamanlılık: Proseslerin paralel olarak yürütülmesi.



Şekil 3.12: Bağlantısız tedarik zinciri

Bu taktik gruplarının da açılımı tabii ki mevcuttur. Endüstri mühendisliği (üretim hazırlık zamanlarının iyileştirilmesi), üretim mühendisliği (proseslerin entegrasyonu ve sıralaması), bilgi teknolojileri (bilgi paylaşımı, EDI), operasyon mühendisliği (Kanban ve JIT) alanlarındaki iyileştirmelerle bu taktiklerin gerçekleştirilebileceği belirtilmektedir (Towill, 1996b). Ancak akıldan çıkarılmaması gereken husus, zaman sıkıştırmalarına yönelik bireysel iyileştirmelerin etkisinin ancak bütün sistem dahilinde gözlemlenebileceğidir (Mason-Jones ve Towill, 1998). Zaten sistemsel bakış açısı ve yönetim desteği, birçok çalışmada önemi vurgulanmakta olan bir konudur (Akkermans, 1995; Akkermans ve diğ., 1999; Moon ve Kim, 2005; Klassen ve Whybark, 1994).

Ayrıca modern ERP sistemlerinin de sistem üzerinde sağladığı önemli iyileştirmeler bulunmaktadır. Bu iyileştirmeler entegrasyon, veri ve proseslerin standardizasyonu, son kullanıcıya görünürlük, ve iyileştirilen karar destek fonksiyonelliğidir (Ritchie-Dunham ve diğ., 2000). Bu özelliklere sahip ERP sistemleri, teslimat zamanlarına ait belirsizliği ortadan kaldırarak, servis düzeyini arttırmaktadırlar (Ritchie-Dunham ve diğ., 2000).

Çok sayıda çalışmanın ışığında, enformasyon gecikmelerini elimine etmenin, malzeme gecikmelerini kısaltmaya nazaran, çok daha iyi dinamik performans sağladığı ve müşteri servis düzeyini arttırdığı saptanmıştır (DeSouza ve diğ., 2000).

Daha sonraki çalışmalarda bu strateji ve taktikler, tedarik zincirlerinin uluslar arası nitelik kazanmasıyla geliştirilmiş ve Şekil 3.12'deki "bağlantısız (*seamless*) tedarik zinciri"nin hedeflenmesi gerektiği belirtilmiştir (Towill, 2005).

3.7.3 Yalın lojistik anlayışı ve envantere ilişkin dinamik simülasyon

Uluslar arası tedarik zincirinin (ISCM) başarılı ya da başarısızlık sebeplerini ortaya koyan bir araştırmada; firmaların ISCM amaçları, ISCM uygulamasındaki engeller ve bu engelleri ortadan kaldıracak etmenler, ve bu faktörler arasındaki etkileşimin araştırıldığı paylaşımcı bir iş modeli çalışması; yönetim anlayışının önemine ilk örnek olarak gösterilebilir (Akkermans, 1995). Ancak bu çalışma, kamçı etkisini ortadan kaldıracak uygulamalardan ziyade; yöneticilerin bakış açısını ortaya koyan iki kademeli bir araştırmadır. İlk aşamada, ilk iki soru üzerinde beyin fırtınası, sonra ise son sorunun cevabını verecek olan nedensel döngü diyagramlarının ortaya çıkarılması üzerine odaklanılmıştır. Daha sonraları ise *Delphi* tekniğinin de kullanıldığı çalışmalar sonucunda, tedarik zincirlerinin uluslar arası bir nitelik kazanmasının karmaşıklığı artırıcı bir unsur olarak görülmesine rağmen, yöneticiler tarafından büyük bir engel olarak kabul edilmediği belirtilmektedir (Akkermans ve diğ., 1999). Ayrıca sistemin başarısının, sektöre bağlı bir korelasyona sahip olmadığı, ve başarılı ve başarısız firmaların aslında aynı yapıya sahip oldukları, başarıyı belirleyen faktörün bakış açısı olduğu vurgulanmaktadır (Akkermans ve diğ., 1999; Birou ve Fawcett, 1993; Meijboom ve Vos, 1997). En önemli bulgulardan biri de, tedarik zinciri performansına etki eden faktörlerden sadece bir tanesi üzerine yoğunlaşmanın sonuç getirmeyeceği, sistemin bir bütün olarak ele alınması gerekliliğidir (Akkermans ve diğ., 1999).

Tedarik zincirlerinde zaman sıkıştırmalarının rekabet için gerekliliğinin anlaşılmasından sonra ise çeşitli çalışmalara literatürde rastlanmaktadır. Katma değer yaratmayan tüm proseslerin elenmesi, zaman sıkıştırmaları için gerekli olmakla birlikte; daha büyük iyileştirmelerin önce sürecin analizi, daha sonra zaman sıkıştırmaları ile elde edildiği görülmektedir (Disney ve diğ., 1997).

Holmberg (2000), İsveç'teki bir mobilya üreticisinde yapmış olduğu çalışmada, Kaplan ve Norton'un dengeli sonuç kartı (*Balanced Scorecard*) yönteminin performans değerlendirmede finansal boyut, müşteri boyutu, proses boyutu, ve öğrenme ve büyüme boyutlarını bir araya getirmesinin avantajlarını göstermiş; ancak bu yöntemin doğrusallık bazında çalıştığını belirterek özellikle tedarik zincirleri alanlarında doğrusal olmayan ilişkisel yapıların performans ölçümü üzerindeki önemini vurgulamıştır (Kaplan ve Norton, 1992; Holmberg, 2000). Holmberg'in

alışmasında, tedarik zinciri dahilinde maliyet, teslim zamanı, ve envanter seviyeleri hakkında bilgi paylaşımının ortak performans ölçümleri için gerekliliği saptanmıştır (Holmberg, 2000). Ayrıca Campbell (2001), çalışmanın konseptinin anlaşılması için kalitatif, problem çözümü içinse kantitatif sistem dinamiği uygulanması gerektiğini belirtmektedir.

Bu alanda yapılan simülasyon çalışmaları da, daha çok envanter yönetimi ve sipariş politikalarının optimizasyonuna yöneliktir. Bu amaçla, ilk önce stok bulundurmanın amaçları irdelenmiştir. Bu nedenler, envanterin teslim zamanını kapsayacak düzeyde olması ve nihai müşteriye meydana gelecek dalgalanmaların üretim sistemine yansımaması olmak üzere iki temele dayanmaktadır (Disney ve diğ., 1997).

Zincirin performans ölçümüne ilişkin dinamik modellemede, daha farklı teknikler de kullanılmaktadır. Örneğin zincirin her aşaması 3 farklı sınıfa ayrılarak (ürün yöneticisi, işlemci, fonksiyoncu), koordinasyon teorisi kullanılan uygulamada görev ve kaynakların birbirleriyle olan bağımlılık yapıları irdelenebilir (Li ve diğ., 2002). Turner ve Williams (2005) da, otomotiv endüstrisindeki uygulamalarında, kesikli simülasyon ile üç farklı üretim ve dağıtım yöntemini değerlendirmişlerdir. Simülasyon sonucunda, dağıtım merkezi uygulamasının satış/stok oranında en büyük iyileştirmeyi sağladığı saptanmıştır (Turner ve Williams, 2005). Dinamik sistemlerin modellenmesinde kesikli simülasyon kullanımına, literatürde başka çalışmalarda da rastlanmaktadır (Schruben, 2000).

3.7.4 Kamçının organizasyonel açıdan incelenmesi

Önceki bölümlerde Towill'in, kamçı etkisini, Forrester ve Burbidge etkileri olmak üzere ikiye ayırdığından bahsedilmişti. Bu ayrımın pazara yaklaştıkça Forrester, zincirin üst aşamalarında ise Burbidge etkisinin sistemi domine ettiği sonucuna yer verilmişti (McCullen ve Towill, 2002). Yine yalın yönetim ve yalın lojistik anlayışı ile VMI konuları da irdelenmiştir (Disney ve Towill, 2003).

Svensson ise kamçı etkisini klasik sınıflandırma dışında daha farklı bir yoldan ele almakta ve kamçının sadece talep değişkenliğinden kaynaklanmadığını belirtmektedir (Svensson, 2005). Bu bakış açısında, sadece tedarik zincirinin üst katmanlarına çıkıldıkça değil, pazara yaklaştıkça da değişkenliğin artabileceği belirtilmekte, bir nevi "tersine kamçı etkisi" (*reverse bullwhip*)'nden bahsedilmekte, ayrıca kamçı etkisini doğuran temel iki sebep olarak iş kararlarının ertelenmesi ve talebe yönelik spekülasyonlar gösterilmektedir (Svensson, 2005). Tersine kamçı etkisine ileride detaylı olarak değinilecektir.

3.8 Kamçı Azaltımı Paradigmaları

Tedarik zincirinin her aşamasında bulunan firmalar, müşterilerden gelen siparişleri stoklarına ve yarı-mamul pozisyonlarına göre tedarikçilerine iletmektedirler. Bu durumda her oyuncu çifte tahmin yapmak zorunda kalmaktadır ve bu zaman içerisinde nihai müşterinin talebi çok farklı bir duruma gelebilmektedir (Towill ve diğ., 2006).

Tedarik zincirinin daha önce belirtilen üç boyutu (tedarik zinciri boyutu, zaman boyutu ve coğrafi boyut) göz önüne alındığında, verilerin tüm tedarik zinciri boyunca bozulmamış ve ulaşılabilir olmasını sağlayacak bilgi sistemlerinin olması gerektiği belirtilmektedir (Towill ve diğ., 2006).

3.8.1 Genişletilmiş işletmelerde kamçı

Ürün ve şirket yapısına göre işletmeler sınıflandırıldığında; yüksek miktar – düşük marj ve düşük miktar – yüksek marj olmak üzere genel olarak iki gruba ayrılmakta, ve her iki grupta da kamçı etkisine rastlanmaktadır (Towill ve diğ., 2006). Bu aşamada, kamçının nedenine odaklanılmış ve doğrusallık söz konusu ise Forrester, kesinti ve sıçramaların mevcudiyeti durumunda ise sipariş gruplama yada ekonomik sipariş miktarı (EOQ)'ndan kaynaklandığından dolayı Burbidge etkisi'nden söz edilmektedir (Towill ve diğ., 2006).

Stevens (1989) ise, büyüyen işletmelerde temel operasyonlardan fonksiyonel entegrasyona nasıl geçildiğini göstermiş, ve işletme ne kadar entegreysse belirsizliğin o kadar az olacağını belirtmiştir.

İşletmelerin genişlemesi, entegrasyon gerekliliğini getirmekle beraber, üretim yönetimi dünyasının karmaşıklığı, bu karmaşıklık sonucunda bazen değişimin etkisinin büyüklüğü değil, değişimin yönü dahi tahmin edilememektedir (Towill ve diğ., 2006). Bu nedenle, her alanda olduğu gibi kamçı etkisine karşı da duruma uygun sistem ve çözümlerin seçilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Katma değer yaratmayan proseslerin elenmesi ve enformasyon akışının sağlanması gibi her daim geçerli kuralların yanı sıra, bazı genel paradigmalar da önerilmektedir (Towill ve diğ., 2006).

3.8.2 Kamçı etkisini ortadan kaldıracak prensipler

Cardiff grubunun yukarıda özetlenen bilgiler ışığında, yapmış oldukları dinamik simülasyon çalışmalarının da yardımıyla; kamçı etkisini ortadan kaldırmak için benimsedikleri bazı prensipler bulunmaktadır (McCullen ve Towill, 2002).

3.8.2.1 Kontrol sistemleri prensibi

Tedarik zinciri genelinin dinamik kontrolü için senkronizasyonu sağlayan, gruplama ve sıralama mantığının ortadan kaldırılarak tüm zincirde entegrasyonu sağlayacak karar destek sistemlerinin seçimini içermektedir. Proses zamanlarının güvenilir olması ve operasyonel bilgilerin mevcudiyeti bu prensibin hayata geçirilmesi için kolaylık sağlamaktadır (Disney ve Towill, 2006). Tam zamanlı üretim (JIT) gibi modern üretim teknikleriyle birleştğinde, özellikle Burbidge etkisinin elimine edilmesi için avantaj sağlayacaktır (McCullen ve Towill, 2002).

3.8.2.2 Zaman sıkıştırması prensibi

Her aşama içinde teknolojik ve organizasyonel olarak tüm malzeme ve bilgi işleme zamanlarının, değişim mühendisliği çalışmalarıyla minimize edilmesini baz alan prensiptir (McCullen ve Towill, 2002).

3.8.2.3 Enformasyon paylaşımı prensibi

Özellikle iletişim teknolojilerindeki gelişimle birlikte, tüm zincir dahilinde operasyonlara ilişkin bilgilerin paylaşımını baz almaktadır. Birçok firmanın, gizlilik prensipleriyle direnç gösterebilecekleri bir alan olduğundan, şirket içi ve şirketler arası görüşmelerle paylaşılacak verilerin miktar ve niteliği belirlenmelidir (McCullen ve Towill, 2002).

3.8.2.4 Zincirden aşama eliminasyonu prensibi

Zincirin bir halkasının (aşamanın) ortadan kaldırılarak zaman kazancı sağlamak ve bilgi paylaşımını arttırmak hedeflenmekle birlikte, bu yöntemin çok farklı dağıtım kanalları ve yapısına yol açabileceği göz önüne alınmalıdır (McCullen ve Towill, 2002).

3.8.3 Kamçının analitik olarak ehlileştirilmesi

Ouyang, Lago ve Daganzo (2006); kamçı etkisinin çok kararlı bir talep yapısında dahi ortaya çıkabileceğini, ve özellikle zincirin üst aşamaları için çok yüksek operasyonel maliyetlere yol açtığını belirtmektedirler.

Kamçı etkisini ortadan kaldırmak, en azından azaltmak için 3 çözüm yolunun uygulanabileceği vurgulanmaktadır (Ouyang ve diğ., 2006):

1. Tepe noktasındaki talepleri karşılamak, dolayısıyla ürün yetersizliği durumuyla karşılaşmamak için yüksek kapasite ayrılabilir. Bu durumda, talebin daha düşük olduğu zamanlarda atıl kapasite ortaya çıkmaktadır.

2. Ortalama talep seviyesinin biraz üzerinde kapasite kullanımı öngörülebilir. Bu strateji de bazen ürün yetersizliği, bazen de atıl kapasite sorunlarıyla karşılaşılmasına yol açmaktadır.
3. Talebin esnekliğine bağlı değişken kapasite kullanılması söz konusu olabilir. Bu durumda da hazırlık maliyetleri yükselmektedir.

Görüldüğü üzere, üç yöntemin de verimsiz ve maliyet arttırıcı yönleri bulunmaktadır. Bu verimsizliklerle birlikte kamçı maliyeti, ürün maliyetinin %15-25'i gibi yüksek oranlara ulaşabilmektedir (Ouyang ve diğ., 2006).

Kamçı etkisini baz alan simülasyonlarda geri besleme yapılarının yanlış algılanması ve dört operasyonel kamçı nedeni (talep tahminleri, sipariş partileme, fiyat dalgalanmaları ve miktar belirleme) üzerinde odaklanılmakta olup, bazı soruların literatürde yeteri kadar irdelenmediği görülmektedir (Oyang ve diğ., 2006):

- Kamçıyı ortaya çıkaran başka bir neden var mıdır? Temel bir neden var mıdır?
- Sipariş politikaları taleplerden soyutlanabilir mi?
- Kamçıyı geçici taleplerden soyutlayacak politikalar mevcut mudur?
- Tek aşamalı zincirler için elde edilen sonuçlar uzun zincirler için de genellenebilir mi?

Tek aşamalı zincirlerde kamçıyı azaltan politikaların (Dejonckheere ve diğ., 2003) uzun zincirlerde, zincirin üst aşamalarında arttırdığı kanıtlanmıştır (Ouyang ve diğ., 2006). Sonuç olarak, politikaların genişletilmesi yerine, zincirin tümünün incelenmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Ayrıca POS bilgisi paylaşımının ve VMI uygulamalarının kamçıyı azalttığı ortaya çıkmaktadır. Ancak bu uygulamalar da zincir içinde bir dominansa yada merkezi bir yapıya yol açmaktadırlar. Zincir içindeki firmaların da karlılık ve maliyet gibi verilerini paylaşmayı istemeyeceği aşikar olduğundan, bu merkezi yapının tedarik zincirinin doğasına aykırı olduğu söylenebilir (Ouyang ve diğ., 2006).

3.8.3.1 Trafik analojisi

Bu bilgiler ışığında Ouyang ve diğ. (2006), kamçı etkisini trafik sistemine benzeterek açıklamayı uygun görmüşlerdir.

Bu açıklamaya göre; hem tedarik zincirlerinde hem de trafikte objeler bir yönde, bilgi ve kontrol kuralları aksi yönde akmakta olup her iki sistemde de objeler lokal bilgiye

(alt aşama) dayalı bağımsız kararlar vermektedirler. Trafikte de, darboğazdan uzaklaştıkça değişkenlik (belirli bir zamanda bir noktadan geçen araba sayısı) artmaktadır, dur-kalklar sürücü davranışına (tepki zamanı) bağlıdır, gecikmeler vardır ve talebe bağlı olan stoktaki değişim de buna benzemektedir. Envanter seviyesi, talep oranı, ve teslim zamanlarının kamçının temeli olması gerektiği belirtilmektedir (Ouyang ve diğ., 2006).

Bu noktada öne sürülen önerme de, hangi envanter yönetimi prensibi olursa olsun, teslimat için bir zaman gerekliliği mevcutsa kamçının oluşacağıdır (Daganzo, 2001, 2003).

3.8.3.2 Sipariş politikaları ve envanter kazanımı

Bir tedarik zincirinin davranışını, her aşamadaki oyuncunun sipariş verme politikaları belirlemektedir (Ouyang ve diğ., 2006). Bu sipariş politikaları; mevcut stok, envanter pozisyonu (stok + transit stok + bekleyen siparişler), talep geçmişi ve geçmiş dönem stoklarına dayanmaktadır.

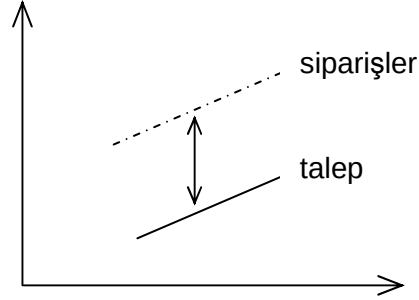
Örnek olarak üst aşamaya sipariş yapısında, talep tahminini baz alan belirli bir stok seviyesi öngörülmekte, ve mevcut envanter pozisyonu ile o seviye farkı sipariş edilmekte olup bu yapı, sabit sipariş maliyetinin olmadığı durumlarda optimal davranış sergilemektedir. Kanban yapısı, üst aşamaya siparişi baz almakta, ancak envanter pozisyonu yerine mevcut stok miktarının arzulanan stok ile farkını sipariş etmektedir. Genelleştirilmiş Kanban ise, mevcut stok ve envanter pozisyonu değerlerini baz alan bir sistemdir. Ayrıca sipariş bazlı politikalar da mevcut olup, mevcut envanter pozisyonu ve geçmiş tüm talepleri temel almaktadır (Ouyang ve diğ., 2006).

Ancak talebin belirsiz olduğu durumlarda bu kadar basit politikalar etkinliklerini yitirmektedir. Sezonale talebin yüksek olduğu durumlarda bir firma daha fazla güvenlik stoku taşımayı uygun görüyorsa, bu durumda *pozitif envanter kazanımı*'ndan söz edilmektedir (Ouyang ve diğ., 2006). Envanter kazanımı kısaca, talebin bir birim arttığı durumda, stokta meydana gelen artış miktarı olarak tanımlanmakta ve zaman üzerinde ölçülmektedir (Şekil 3.13; Ouyang ve diğ., 2006).

Zaman üzerinde kümülatif siparişler ile taleplerin birbirine paralel davranış sergilemeleri beklenmekte, ve bu iki paralel doğru arasındaki mesafe de envanter kazanımını vermektedir.

Pozitif envanter kazanımının iki nedeni olarak operasyonel verimlilik ve risk yönetimi gösterilmektedir (Ouyang ve diğ., 2006). Operasyonel verimlilik; ölçek etkisi

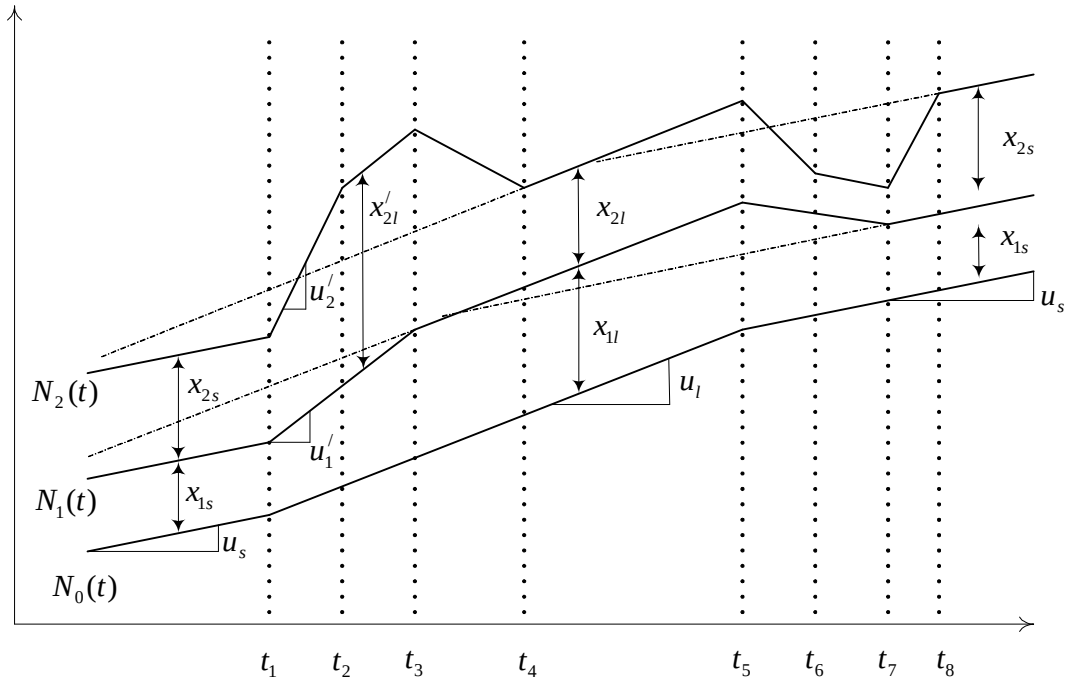
nedeniyle ekonomik sipariş miktarlarına, risk yönetimi ise talep artması durumunda güvenlik stokunun da daha yüksek seviyede tutulması gerekliliğine dayanmaktadır.



Şekil 3.13: Envanter kazanımı

3.8.3.3 Envanter kazanımı ve kamçı etkisi

Daganzo (2001)'nin en önemli önermelerinden biri, sonsuz uzunluktaki bir tedarik zincirinin aşamaları pozitif envanter kazanımına sahipse kamçının oluşacağı şeklindedir.



Şekil 3.14: Envanter kazanımı ve kamçı etkisi

Bu önerme, sipariş politikasından bağımsız olarak, sonlu sayıda aşama sonrasında (genelde bir ya da iki) aşama sonrasında kamçının ortaya çıkacağını öngörmektedir.

Şekil 3.14 incelenecek olursa, örneğin t_1 anında taleplerde meydana gelecek bir artış, pazara en yakın zincir firmasının (N_2) güvenlik stoklarını arttırmasına,

dolayısıyla envanter pozisyonunu, x_{2s} değerinden daha büyük bir x_{2l} 'ye getirmesine yol açacaktır.

Ancak x_{2l} değerini elde etmek için belirli bir süre (t_2) daha da büyük bir değer üzerinden sipariş verecektir. Benzer şekilde bir üst aşamadaki firma da (N_1) kendi envanter pozisyonunu x_{1s} değerinden x_{1l} değerine taşıyacak, ve bu kümülatif artışlar, kamçıyı oluşturacaktır (Ouyang ve diğ., 2006).

Pozitif envanter kazanımının olmadığı sistemlerin de kamçı davranışı gösterebileceği, ancak bu durumun nadir olarak meydana geldiği de belirtilmektedir (Ouyang ve diğ., 2006).

3.8.3.4 Kararsız durumdan kararlı duruma geçiş ve ileri talep bilgisine dayanan politikalar

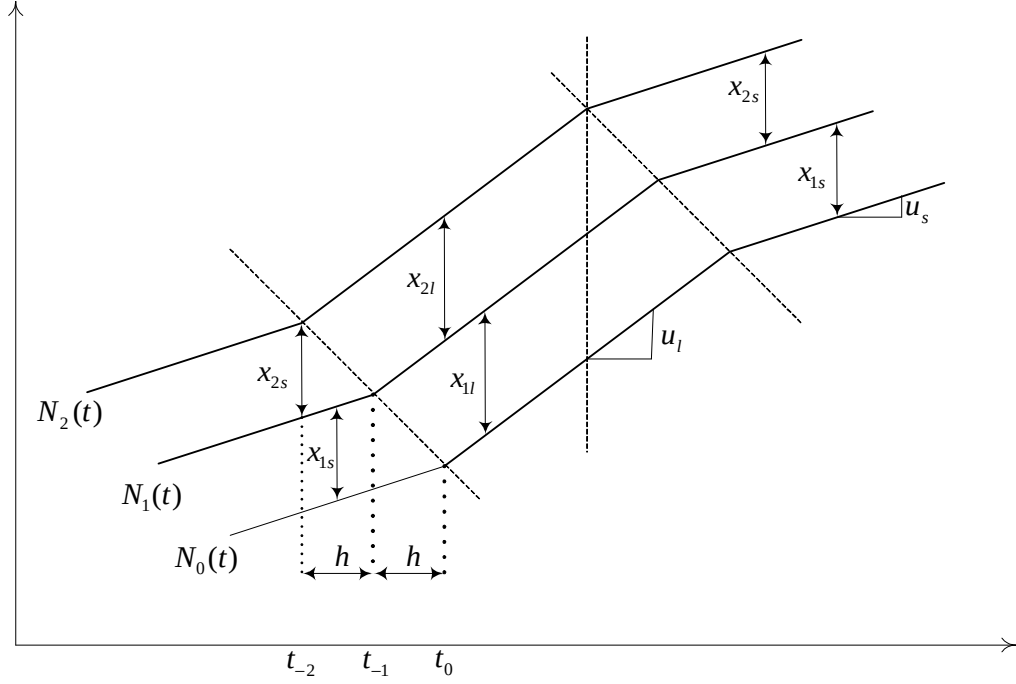
Literatürde yer alan çalışmalarda tedarik zincirlerinin kararlı davranış sergilemeleri için zincirdeki bir partinin dominant olması, diğer partilerinse daha fazla fedakarlıkta bulunmaları öngörülmektedir. Daha önce açıklanan VMI yapısı da bu sisteme uygun bir örnek teşkil etmektedir. Ancak VMI, uzun zincirlerde pratik olmamakla birlikte, kararlı durum için daha merkezi olmayan bir yapının gerekliliğini öngörmektedir.

Tedarik zincirlerinde kararsızlık, firmaların stoklarını “yeni” arzulan seviyeye adapte etmeleri sırasındaki gecikmelerden kaynaklanmaktadır (Ouyang ve diğ., 2006). Ouyang ve diğ. (2006), talebin önceden bilinmesi durumunda pozitif envanter kazanımının önüne geçilebileceğini söylemektedirler.

Önceden talep bilgisi (*advance demand information* - ADI) adı verilen bu sistemde her parti, üst aşamalara, geleceğe yönelik talep bilgisini vermekte, ve bu bilgi sipariş sistemine entegre edilmektedir (Ouyang ve diğ., 2006).

Bu geleceğe ait talebin h zaman kadar önceden bilinmesi durumunda tedarikçiler, kendi taleplerini de adapte etmekte ve talepler ile siparişlerin paralelliğinin korunması amaçlanmaktadır. Talebe bağlı olarak arzulan envanter düzeyi ne kadar yüksekse, h zaman dilimi de o kadar büyük olmalıdır (Şekil 3.15; Ouyang ve diğ., 2006).

Örneğin sipariş miktarının hedeflenen ve mevcut envanter pozisyonları farkına eşit olduğu stoka ikmal yapısında ADI, geleceğe ilişkin talebi envanter pozisyonuna entegre ederek ve hedef düzeyle mevcut durum farkı kadar sipariş vermeye devam edilerek uygulanabilir (Ouyang ve diğ., 2006).



Şekil 3.15: Önceden talep bilgisinin envanter kazanımının önüne geçmesi

Trafik analojisinden yola çıkılarak, ADI ailesine ait politikalar asenkron hücre transmisyonu (*asynchronous cell transmission - ACT*) olarak adlandırılmış ve kamçı üretmedikleri saptanmıştır. Örneğin tam zamanında üretim (JIT) sistemleri, ACT ailesinden gelmekte olup, benzer şekilde geleceğe ilişkin talebin envanter pozisyonuna entegre edilmesi suretiyle tüm klasik politikaların ADI varyantlarının oluşturulabileceği belirtilmektedir. Mevcut sipariş sisteminin ADI varyantı da aynı envanter kazanımı ve stok seviyesini koruduğundan, en az orijinali kadar verimli olacaktır (Ouyang ve diğ., 2006).

3.8.3.5 Potansiyel getiriler ve merkezi olmayan yapılar

ADI, belirli bir partinin dominansına gerek kalmadan kamçıyı azaltacağı için, merkezi olmayan tedarik zinciri yapısını mümkün kılmaktadır. Öte yandan kamçı etkisinin eliminasyonu, daha çok tedarik zincirinin üst aşamaları için avantaj sağlayacağından, alt aşamaların katılımı için finanssal önerilerle desteklenmiş ve talebin önceden bilinmesine dayalı kontratlar önerilmektedir (Ouyang ve diğ., 2006).

Önerilen kontratların gerçekleştirilmesi için de ADI'nın operasyonel maliyetlere (üretim, depolama, envanter, nakliye) olan etkisi incelenmiştir.

u^∞ uzun dönem talep ortalaması ve σ_0 talep standart sapması olmak üzere; i tedarikçisinin siparişleri h_{i-1} periyot önceden ve σ_{i-1} standart sapmayla alması ve, h_i periyot ile σ_i standart sapma ile kendi siparişlerini iletmesi durumunda maliyeti;

$e_i(\sigma_i, \sigma_{i-1}, h_i, h_{i-1}) \quad i=1, 2, \dots, I$ ve son tedarikçi $I+1$ için $e_{I+1}(\sigma_I, h_I)$ olacaktır.

Bu noktadan hareketle, bir tedarikçinin üst aşamalara ilettiği siparişlerin kuvvetlenme faktörü de;

$$\sigma_i = \sigma_{i-1} \cdot A_i(h_{i-1}, h_i) \quad (3.12)$$

formülü yardımıyla hesaplanabilmektedir (Ouyang ve diğ., 2006). Bu vasıta ile kamçı etkisi ile ADI arasında kantitatif bir bağ kurulmuş olmaktadır. ADI olmayan yapıdaki

toplam maliyet $\sum_{i=1}^{I+1} e_i^0$, ve ADI'lı durumdaki maliyet;

$$\min_{h_1, \dots, h_I, \sigma_1, \dots, \sigma_I} \left[\sum_{i=1}^I e_i(\sigma_i, \sigma_{i-1}, h_i, h_{i-1}) + e_{I+1}(\sigma_I, h_I) \right] \quad (3.13)$$

s.t.

$$\sigma_i = \sigma_{i-1} \cdot A_i(h_{i-1}, h_i) \quad , \forall i$$

$$h_i \in \{0, 1, 2, \dots\} \quad , \forall i$$

olacaktır. Bu formül, ADI sistemi olması durumunda yapılabilecek en iyi maliyeti vereceğinden ve en yüksek maliyet de $h_i = 0 \quad , \forall i$ durumunda oluşacağından, her koşulda ADI olmayan yapıya göre daha iyi sonuç çıkacağı görülmektedir (Ouyang ve diğ., 2006). ADI konusunda diğer bir önemli nokta da, sadece bir aşamada dahi uygulanması durumunda daha üst aşamaların bundan avantaj sağlayacağı, kazanımın zincir uzunluğu ile eksponansiyel olarak artacağı, ve zincirin homojen olması durumunda daha detaylı matematiksel açıklamaların getirilebileceğidir (Ouyang ve diğ., 2006).

3.8.4 Kontrol mühendisliği uygulamaları ve bilgi ve iletişim teknolojileri (ICT) ile kamçının dizginlenmesi

Kamçı etkisini azaltacak prensiplerin kontrol sistemleri, zaman sıkıştırmaları, enformasyon paylaşımı ve aşama eliminasyonu prensipleri olduklarına daha önce değinilmişti (McCullen ve Towill, 2002). Bu prensiplerden aşama eliminasyonu ve zaman sıkıştırmaları önceki bölümlerde detaylı olarak açıklanmıştı. Diğer iki prensip ise daha çok kontrol mühendisliği ve bilgi teknolojileri alanlarına girmektedir ve literatürde bu konularla ilgili olarak da çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

İngiltere'deki bir süper market zincirinde yapılan araştırmada, bilgi paylaşımının talep tahmin yönteminden daha önemli bir etken olduğu vurgulanmaktadır (Ge ve

diğ., 2003). Bu çalışmada talep tahmin yöntemleri olarak hareketli ortalamalar ve üstel düzeltme teknikleri kullanılarak, promosyonlar gibi dağıtım yönetimine ilişkin faktörler simülasyona tabi tutulmuş, ve yukarıda özetlenen bulgulara kesinlik kazandırılmıştır (Ge ve diğ., 2003).

Hsu (2005), bilişim yöneticileriyle yaptığı anketlere dayanan çalışmasında, tedarik zinciri yönetiminin kolayca hesaplanabilen (*tangible*) ve kolayca hesaplanamayan (*intangible*) faydalarını belirtmektedir. Kolayca hesaplanabilen faydalar; ürün geliştirme zamanlarının kısalması, zamanında teslimatların artması, üretim maliyetlerinin azalması, artan kalite, ve azalan envanter düzeyi olarak belirtilmektedir. Kolayca hesaplanamayan getiriler ise; servis kalitesinde iyileşme, müşteri ihtiyaçlarına daha çabuk cevap verme, bilgi paylaşımı ve değişimi, ve bilgiye zamanında ve kesin ulaşımıdır. İşte bu kolayca hesaplanamayan getirilerin firmaların bilişim yapıları ve bilgi paylaşımı ile doğrudan ilgili olduğu belirtilmektedir (Hsu, 2005).

Özellikle internet teknolojilerinin ve elektronik ticaret yapılarının yaygınlaşmasıyla, sadece EDI ve benzeri yapıların kullanılabilirliği sorgulanır olmuş, bu teknolojiler de bilgi paylaşımında önemli roller almaya başlamışlardır. Bianchi ve Bivona (2002), küçük ve orta ölçekli işletmeler için internet teknolojilerinin kullanımına ilişkin çalışmalarında, bu işletmelerin elektronik ticaret başarılarının; içerik, uygunluk, kontrol, etkileşim, hitap edilen topluluk, fiyat duyarlılığı, marka imajı, adanmışlık, ve ortaklık gibi etmenlere bağlı olduğunu söylemektedirler.

Aynı çalışmada, bu faktörlerin birbirleri ile dinamik etkileşimde bulundukları belirtilerek, çeşitli senaryolara ilişkin simülasyonlar yürütülmüştür (Bianchi ve Bivona, 2002). Dolayısıyla sistem dinamiği, elektronik ticaret yapılarının başarılarının değerlendirilmesinde de önemli bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır.

Prater (2005) de, tedarik zincirleri performanslarının belirsizliklere bağlı olduğunu belirterek, bilgi teknolojileri yapısının bu belirsizlikleri ortadan kaldırdığını söylemektedir. Bu çalışmada Prater, tedarik zincirlerine ilişkin belirsizlikleri makro ve mikro bazda gruplayarak, bu belirsizliklerin zincir üzerindeki seri ve paralel etkilerini incelemiştir. Bu etkiler sonucunda tedarik zinciri üzerinde iki türlü deterministik kaos olduğu bulgusuna ulaşan Prater, bu iki tür kaosu karar verme prosesinden kaynaklanan ve kontrol sistemlerinden kaynaklanan kaos olarak adlandırmıştır (Prater, 2005). Prater'e göre basit sipariş noktası sistemleri kaotik davranış göstermezler çünkü geri besleme mantığını dikkate almamaktadırlar. Ancak bu sistemler, yine de kamçı etkisini göstereceklerdir (Prater, 2005).

Tedarik zincirlerindeki bir diğer önemli nokta da bilgi paylaşım yapısının etkisidir. Parti büyüklüğünün Silver-Meal sezgisel yaklaşımı ile hesaplandığı bir çalışmada, tedarik zincirlerinde bilginin yukarıdan aşağıya paylaşıldığı yapıda daha az stok miktarlarının elde edildiği ve bilginin tüm zincir aşamaları tarafından daha yaygın olarak kullanıldığı belirlenmiş, ancak karşılanamayan talep durumuyla karşılaşma olasılığının daha yüksek olduğu vurgulanmıştır (Ng ve diğ., 2003). Dolayısıyla bu yapının, ancak zincirin aşağıdaki aşamalarına iletilen bilginin güvenilir olduğu durumlarda tercih edilmesi gerektiği belirtilmiştir, tedarik zincirinin nihai tüketicinin talep değişikliklerine duyarlı olduğu durumlarda ise aşağıdan yukarıya bilgi paylaşım yapısının avantajlı olacağı vurgulanmıştır (Ng ve diğ., 2003).

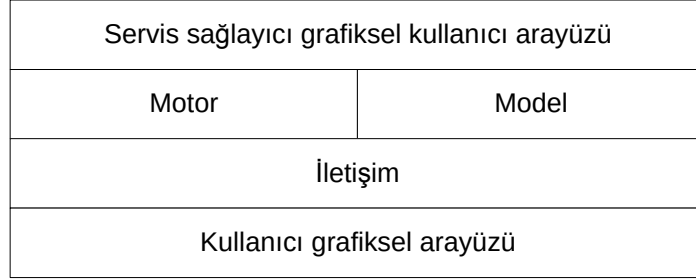
Tedarik zincirlerinde bilgi paylaşımı ve kontrol sistemleri üzerinde yapılan çalışmalarda, tedarikçi değerlendirmesinde de sıkça karşılaşılan bulanık mantık ve analitik hiyerarşi prosesi (*analytic hierarchy process* – AHP) kombinasyonu da karşımıza çıkmaktadır. Ağ organizasyon yapılarında bilgi paylaşımının etkinliği, enformasyon paylaşım yeteneği ve paylaşım yapısı olarak iki ana kriter altında incelenmektedir (Shore ve Venkatachalam, 2003). Shore ve Venkatachalam (2003), çalışmalarında bilgi paylaşımını itme ve çekme sistemleri olarak sınıflandırmışlar, ve bu iki yapı üzerinde, yukarıda bahsedilen iki ana kriteri baz alarak bulanık bir AHP çalışması yürütmüşlerdir. Bu iki ana kritere ait alt kriterler, bulanık mantık yardımıyla AHP'ye tabi tutularak, çeşitli tedarikçilerin bilgi paylaşım yeterlilikleri ve potansiyelleri ortaya konmuştur (Shore ve Venkatachalam, 2003).

Bir başka ilgi çekici çalışma da, mobil ajan (*mobile agent*) sistemi yardımıyla distribütörler hakkında bilgi toplanması ve değerlendirilmesine yöneliktir (Ma ve diğ., 2004). Bu çalışma, veri zarflama analizi (*data envelopment analysis* – DEA) gibi distribütör karşılaştırması amacı taşımakta, ancak kullanılan sistemle distribütörler hakkında kısa zamanda ve kesin bilgi toplamaya yönelik olmaktadır (Ma ve diğ., 2004). Sistemde, mobil ajan adı verilen bir yazılım, distribütörleri dolaşarak bilgiyi merkeze iletmekte, ve toplanan bu bilgiler daha sonra, bulanık mantık ve düzen bazlı mantık (*array based logic*) ile değerlendirilmektedir. Düzen bazlı mantık, nominal, ordinal ve aralık değişkenlerine ilişkin işlem yapılabilmesi açısından tercih edilmektedir (Ma ve diğ., 2004).

3.8.4.1 EDI sisteminin kamçı üzerindeki etkisi

Yukarıda özetlenen kontrol sistemleri ile ilgili literatüre ilave olarak, elektronik veri değişimi yapısının da kamçı üzerinde sağlayacağı iyileştirmeleri gösteren araştırmalar mevcuttur. Örneğin Duggan (2002), sanal organizasyonları baz almıştır.

Sanal organizasyonlar kısaca, hızla değişen koşullara uyum sağlamak ve fırsatları değerlendirmek için, her birinin en iyi olduğu alanda değer yaratmak üzere bir araya gelmiş firmalar ağı olarak tarif edilmektedir (Byrne, 1993). Ağ organizasyonlar ise, özellikle internet teknolojilerinin yaygınlaşmasından ve elektronik ticaretin devreye girmesinden sonra gündeme gelen bir kavramdır. Önergeleri internetin, iletişim, bilgi, dağıtım, ve işlemsel fonksiyonlarının yürütüldüğü ortam olarak algılanmasıdır (Overby ve Min, 2001).



Şekil 3.16: Duggan modelinin gösterimi

Bu noktadan hareketle Duggan (2002), Umar'ın (1997) üç paylaşım yapısını (dosya transferi, servis sağlayıcı ve karşılıklı iletişim (*peer-to-peer*)) kullanarak kontrolü organizasyonlardan bireylere verecek ve bu sayede tepki zamanını azaltacak bir bilgi işlem yapısı modeli geliştirmiştir.

Bu sistemde, obje tabanlı programlama teknikleri yardımıyla değişkenlerin yeni değerleri hesaplanarak kullanıcılara iletilmektedir (Şekil 3.16; Duggan, 2002). Kısaca sistem, obje tabanlı geliştirilmiş bir EDI yapısına benzemektedir.

Duggan'ın sistemine benzer bir yapı da, "sanal sinirsel sistemler" olarak adlandırılan, ve yine kullanıcıya grafiksel ara yüz ile hitap ederken, simülasyon modülü de barındıran sistemlerdir (Winch ve diğ., 1997).

Machuca ve Barajas (2006) da EDI'in olduğu ve olmadığı iki sistemi baz alarak, simülasyon vasıtasıyla kamçı değerini, kümülatif maliyeti, ve net atıl stok değerini ölçümleyen bir çalışma yürütmüşlerdir. Simülasyonda EDI'in hem aşama bazında, hem de zincir genelinde kamçıyı azaltacağı hipotezi test edilmiş olup, bu alanda istatistiksel analiz içeren en geniş çalışma olduğu belirtilmektedir. Simülasyon sonucunda kamçı değerinde belirgin bir iyileşme sağlandığı saptanmış, ancak tam olarak ortadan kalkmadığı gözlemlenmiştir (Machuca ve Barajas, 2006).

EDI'in ayrıca zaman ve maliyet kazanımı sağladığı, sipariş partilemeyi azalttığı, daha sağlıklı talep tahminine imkan tanıdığı, geri beslemelerin yanlış algılanmasını indirgediği, ve etkin planlamaya ve dolayısıyla yatırım ve sermaye tasarrufuna olanak tanıdığı belirtilmektedir (Machuca ve Barajas, 2006).

3.8.4.2 Bira oyununun elektronik ortamda oynanması

Machuca ve Barajas (2006), yukarıda özetlenen istatistiksel çalışmaya ilave olarak, bira oyununun ICT desteği ile ağ tabanlı ve internet üzerinden oynanabilen versiyonunu geliştirmişlerdir. SIMCAS adı verilen bu simülatörde, EDI yapısının da bira oyununa entegre edilmesi mümkün kılınmış ve sıralı EDI ile simültane EDI olmak üzere iki yapı seçeneği oyuna eklenmiştir. Sıralı EDI yapısında her oyuncu, alt aşamadan gelen bilgiye dayanarak aynı periyotta karar vermektedir. Simültane EDI yapısında ise zincirin dört partisini oluşturan her oyuncu bağımsız olarak karar vermekte, dolayısıyla bir haftalık gecikmeler oluşmaktadır (Machuca ve Barajas, 2006).

Oyunda amaç; gecikmeler ve geri bildirimlerin yanlış algılanmasının sonucu olarak ortaya çıkan kamçının gösterimi ve, EDI ile enformasyon gecikmelerinin azaltılması sayesinde kamçı ve kararsız yapı davranışında sağlanacak iyileştirmelerin simülasyonu olmaktadır. Bu amaçla başlangıç aşamasında EDI olup olmayacağının ve olacaksa türünün seçimi sorulmaktadır. Oyun hem gerçek hem de sanal oyuncularla oynanabilmekte olup, sunucuyu kontrol eden bir yöneticiye gereksinim duymaktadır (Machuca ve Barajas, 2006).

SIMCAS'te envanter girişleri, gelen siparişler, tamamlanan siparişler oyunun verilerini oluşturmakta, oyuncuların vereceği tek karar da üst aşamaya iletilecek sipariş miktarı olmaktadır (Machuca ve Barajas, 2006).

Bira oyununun tahta üzerinde oynanmasının daha eğlenceli olduğu, ancak SIMCAS vasıtasıyla oyuncuların sonuçlar için koşulları suçlama imkanının ortadan kalktığı belirtilmektedir. Ayrıca sonuçların elektronik ortamda hesaplanma kolaylığı, kamçının ispatının kolaylığı, ve mesafe sorununun ortadan kalkması diğer avantajlar olarak gösterilmekte ve yukarıda bahsedilen EDI avantajlarının simülasyon vasıtasıyla ortaya konduğu belirtilmektedir (Machuca ve Barajas, 2006).

3.9 Tersine Kamçı Etkisi

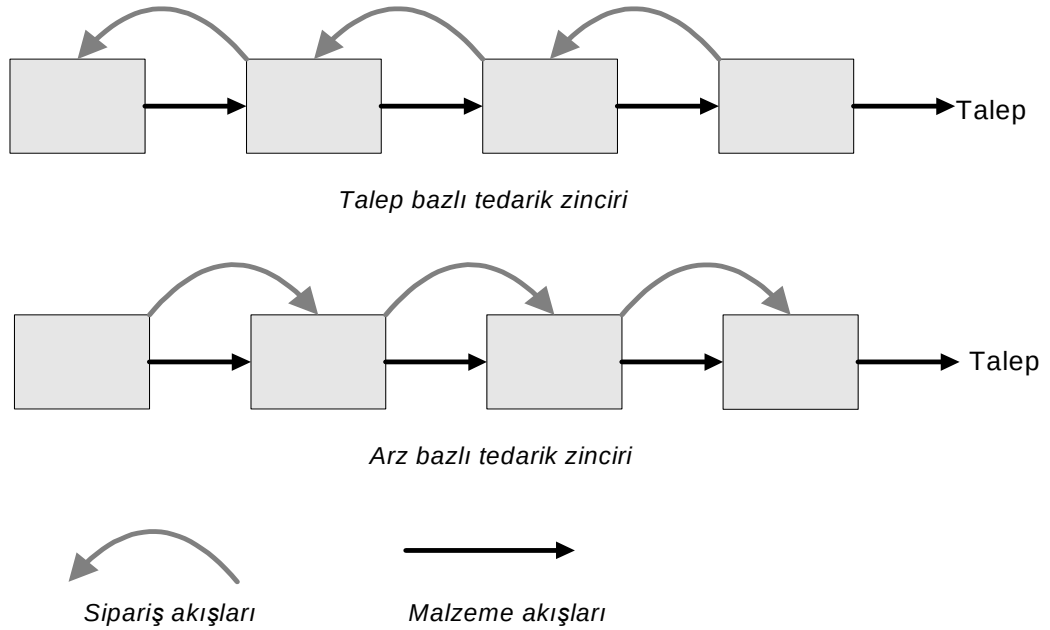
3.9.1 Arz ve talep bazlı zincirler

Literatürde yer alan çalışmaların önemli bir kısmı, tahmini yada gerçek talebin sistem içerisinde baskın olduğu, ve bilgi akışlarının bu talebe dayandığı sistemlerdir. Oysa bunlara ilave olarak, talep tahminlerinin uzun vadeli karar vermede önemli olmadığı, bilgi ve malzeme akışlarının arz tarafından domine edildiği sistemler de bulunmaktadır (Şekil 3.17; Hull, 2005).

Arz bazlı zincirler; akışların talepler tarafından aktive edildiği sipariş için üretim yapılan sistemlerden, veya akışların talep tahminine dayanan üretim programı tarafından aktive edildiği stok için üretim sistemlerinden farklılık gösterirler.

Hoekstra ve Romme (1992), tedarik zincirlerini iki bölüme ayırmış, ve üst aşamadaki bölümün fiziksel verimliliğe dayalı hammadde ve malzeme tedarikinden sorumlu olduğu, dolayısıyla mümkün olduğunca yalın bir proses yapısına sahip olması gerektiğini söylemektedirler. Alt aşamada yer alan bölüm ise müşteri isteklerine göre farklı ürünlerin temininden sorumlu olup, daha aktif ve çevik bir yapıya sahip olmalıdır. Benzer şekilde Svensson (2003) da tedarik zincirlerinde erteleme (*postponement*) ve spekülasyon (*speculation*) olmak üzere iki prensibin etkisine değinmiştir. Erteleme kısaca, değişimlerin mümkün olan en geç noktada gerçekleştirilmesi olarak tanımlanabilir (Alderson, 1950). Bu prensibe göre üretim prosesleri de mümkün olan en geç zamanda meydana getirilecek, böylece, oluşabilecek farklılıklara karşı risk minimizasyonu sağlanacaktır.

Spekülasyon ise, erteleme prensibinin tam tersine, değişikliklerin mümkün olan en erken zamanda gerçekleştirilmesini öngörmektedir (Bucklin, 1965). Bu sayede pazarlama bakış açısıyla riskler minimize edilecektir.



Şekil 3.17: Talep ve arz bazlı tedarik zincirleri (Hull, 2005)

Svensson (2003) bu iki prensibin içsel ve dışsal lojistik akışlarındaki baskınlığını incelemiş ve içsel akışların spekülasyon, dışsal akışların da erteleme etkisi altında kalması durumunda kamçı etkisinin oluşacağını belirtmiştir. Ancak, tam tersi durum

söz konusu olduğunda, yani içsel akışlar talep etkisiyle spekülasyondan çok, arz etkisiyle erteleme prensibi etkisi altındaysa, buna mukabil dışsal akışlar da talebe bağlı spekülasyon etkisi altındaysa oluşacak duruma “tersine kamçı etkisi” (*reversed bullwhip effect*) adı verilmiştir.

Tahmin edilebileceği gibi tersine kamçı, arz tarafındaki değişkenliğin zincir boyunca artarak devam etmesi durumunu belirtmektedir ve arz bazlı sistemlerde ortaya çıkması beklenmelidir.

3.9.1.1 Yapısal ve davranışsal karakteristikler

Senge’in (1990) “yapı, davranışı etkiler” prensibinden hareketle, arz bazlı tedarik zincirlerinin, talep bazlı zincirlere göre daha farklı bir kamçı yapısı göstereceği beklenebilir. Bu noktada oluşabilecek iki problem, akışlarda bir darboğaz yaşanması yada müşterilerin tüm üretimi satın almamaları olabilir (Hull, 2005). Bu az satın alma, fiyat indirimlerine, yada satıcıların nasıl olsa sipariş iptalleri meydana geleceği düşüncesiyle aşırı satış vaadinde bulunmalarına (*overselling*) yol açabilir.

Başka bir farklılık da kamçı etkisi alanında ortaya çıkmaktadır. Talep bazlı sistemlerdeki kamçı etkisi, talebe karşılık olarak tedarik tarafındaki dalgalanmalardan ortaya çıkarken, arz bazlı sistemlerdeki tersine kamçı etkisi yeterli talep oluşmayacağı endişesine dayanmaktadır (Hull, 2005). Yine kamçı etkisinde enformasyon paylaşımı prensibi, tedarik zinciri etkinliğini arttıracak önemli bir paradigma iken, tersine kamçı etkisinde ise gizlilik neredeyse zorunluluk halinde olmaktadır. Zira talep tarafına ait bir endişenin müşteriler tarafından bilinmesi, ciddi fiyat indirimi pazarlıklarına yol açabilecektir (Hull, 2005).

Hull (2005), arz bazlı zincirleri çeşitli örnek gruplara ayırmaktadır. Ölçek etkisi, değişken tedarik ve hızlı tüketim zorunluluğu, yan ürün yapısı, nakliye gereklilikleri, fiyat yapıları, kontrata dayanan zorunluluklar, ve yönetimin vizyonu/katılımı, bir zinciri arz bazlı yapan örnek gruplar olarak gösterilmektedir.

3.9.1.2 Arz bazlı sistemlerin ortak özellikleri

Yukarıda özetlenen örnek gruplar farklı arz bazlı sistemler oluşturmalarına rağmen, dört ortak özellikleri bulunmaktadır (Hull, 2005):

1. Akışlar arz tarafından aktive edilmektedir. Malzeme ve bilgi akışları müşteri talebine bağlı değildir.

2. Talep yapısındaki değişikliklere karşı esneklik (*resilience*). Sistemler, talep yapısındaki değişikliğe karşı alternatif kanallara yönelme esnekliğine sahiptirler.
3. Arz bazlı sistemlerin ürünleri genellikle yüksek miktarda üretilen ve ticari avantaj sağlayacak yapıya sahip standart ürünlerdir (*commodity*). Bu nedenle fiyatlama politikası önem kazanmaktadır.
4. Müşteri servis düzeyi arz bazlı sistemlerde önemlidir. Zira satış pazarı bulma zorunluluğu, atıl stok ve daha sonra oluşabilecek fiyat indirimlerinin önüne geçilmesi için elzemdir.

3.9.1.3 Arz bazlı sistemlere ilişkin önermeler

Hull (2005), yukarıda özetlenen bilgiler ışığında, talep ve arz bazlı sistemlerin farklılıkları ve arz bazlı sistemlerin ortak özelliklerini göz önüne alarak bu sistemlere ilişkin dört önermede bulunmuştur:

1. Arz bazlı sistemlerdeki ürünler ticari ve standart ürünlerdir, ve satışları fiyata karşı hassastır.
2. Arz bazlı sistemler dağıtım kanalı anlamında esnek olmak zorundadırlar. Amaç, tedarik hattını hep dolu tutmak, ve talep değişkenliği durumunda alternatif dağıtım kanallarına yönelmektir.
3. Arz bazlı sistemler tersi kamçı etkisi gösterirler. Bu durum da genellikle tedarikçiler ve müşteriler arasında bilgi gizliliğini gerektirmektedir.
4. Arz bazlı sistemlerde gerçek arz ve talebin buluşması fiyat mekanizması ile mümkündür. Genellikle daha karlı pazarlara yönelme söz konusudur ve tedarik ile talep, üretim devam ederken buluşur.

3.9.2 Organizasyon içi yapıların incelenmesi

Svensson (2003), yukarıda kısaca değinilen çalışmasında, firmaların içsel ve dışsal lojistik akışlarını baz alarak tedarik zinciri yerine bir firmaya ait organizasyon içi davranışları analiz etmiş ve kamçı etkisine değer zinciri perspektifiyle yaklaşmıştır. Bu bakış açısıyla, yukarıda özetlenen erteleme ve spekülasyon konseptlerinin etkisiyle kamçı ve tersine kamçı oluşumu ortaya konmuştur.

Svensson (2003), değer zinciri faaliyetlerini asıl faaliyetler ve destek faaliyetler olarak ikiye ayırmıştır. Asıl faaliyetler, ürünlerin fiziksel olarak yaratılması, satışlar, alıcıya iletilmesi ve satış sonrası hizmetlerdir. Destek faaliyetler ise satın almalar,

teknoloji, insan kaynakları, ve diğer firma faaliyetleridir. Kamçı etkisinin değer zinciri perspektifiyle incelenmesinde ise asıl faaliyetler esas alınmaktadır.

Kamçı etkisine bu yeni yaklaşım, kamçının incelenmesinin de dört farklı seviyede yapılması gerektiğini belirtmektedir (Svensson, 2005):

- Değer zinciri içerisinde
- Değer zincirleri arasında
- Değer sistemi içerisinde
- Değer sistemleri arasında

Değer zincirlerinde ürünlerin zincir boyunca bir prosese tabi olup, artan değerle pazara doğru hareket ettiği göz önüne alındığında, tersine kamçı etkisinin stok maliyeti bakış açısıyla daha yüksek düzeyde maliyetlere yol açacağı belirtilmektedir. Svensson (2005), bu analiz düzeylerinden ilk üçünün kanal bazlı, sonuncusunun ise pazar bazlı bir yapıya sahip olduğunu belirtmektedir. Kısacası değer zinciri perspektifiyle de kamçı etkisi analiz edilmekte, ve bu bakış açısıyla tedarik zinciri yaklaşımından farklı olarak firmalar arası değil, bir firmaya ilişkin içsel ve dışsal lojistik akışları incelemesi yapılmaktadır (Svensson, 2003 ve 2005).

3.9.3 İleri çalışmalar

Tersine kamçı etkisi ve arz bazlı zincirlere ilişkin özetlenen bilgiler sonrasında, literatüre katkıda bulunması düşünülen alanlar şu şekilde özetlenmektedir (Hull, 2005):

- Arz bazlı zincirlere örnek teşkil edecek başka vakaların ortaya konması ve farklı grupların yaratılması.
- Arz ve talep bazlı zincirlerin aralarındaki sınırın belirsizleştiği durumların araştırılması ve arz bazlı bir zincirin talep bazlı bir zincire dönüşümünün incelenmesi.
- Tersine kamçı etkisini dizginleyecek politikaların (kontrat yönetimi, stoklama, vs) araştırılması.
- Yukarıda açıklanan dört önermenin genişletilmesi ve ilave önermeler sunulması.

4. BİR SİPARİŞ İÇİN ÜRETİM SİSTEMİNİN DAĞITIM ALANINDA KAMÇI ETKİSİNİN ANALİZİ

4.1 Genel Bilgiler

Kamçı etkisinin incelendiği sipariş için üretim sistemi, Çerkezköy'deki fabrikasında üretim yapan bir elektrik motoru üreticisi firmadır. Aslen dayanıklı tüketim sektöründe faaliyet gösteren firma, beyaz eşyalara ait elektrik motorları ile genel maksatlı elektrik motorlarının üretimini aynı çatı altında gerçekleştirmektedir.

4.1.1 Rakamlarla firma bilgileri

1955 yılında kurulmuş olan firma, 1966 yılında beyaz eşya motorları, 1989 yılından itibaren de genel maksatlı elektrik motorları üretimine başlamıştır.

Şirketin mevcut halde dünya genelinde 17 bin çalışanı vardır. Bu çalışanlardan 1000'i elektrik motoru üretimi ile ilgilidir.

2006 yılı sonuçlarına göre şirketin toplam net satışları 3.9 milyar avro olup, bunun 1.9 milyar avro'luk bölümü uluslar arası satışlardan oluşmaktadır.

Firmanın 4 ayrı ülkede 11 üretim merkezi vardır. Bunlara ilave olarak 13 ayrı ülkede de satış ve dağıtım operasyonlarından sorumlu ofisleri bulunmaktadır.

Elektrik motoru üretiminde ise beyaz eşya ve genel maksatlı motor olarak sırasıyla 11.5 milyon ve 660 bin adetlik yıllık üretim kapasitesine sahiptir. 2006 yılı itibariyle fiili üretim ise yine sırasıyla 8 milyon 350 bin ve 595 bin adettir.

Çalışmanın yapılacağı genel maksatlı elektrik (endüstriyel) motorlarında üç fazlı ve tek fazlı sınıflandırmasına tabi olmak üzere toplam 319 ana model bulunmaktadır.

Bu motorlar, Çerkezköy'de yer alan 73 bin m²'si kapalı toplam 144 bin m²'lik alana yayılmış fabrikada üretilmektedirler.

4.1.1.1 Tarihçe

Firma geneline ve endüstriyel motor üretimine ait bazı önemli tarihsel bilgiler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

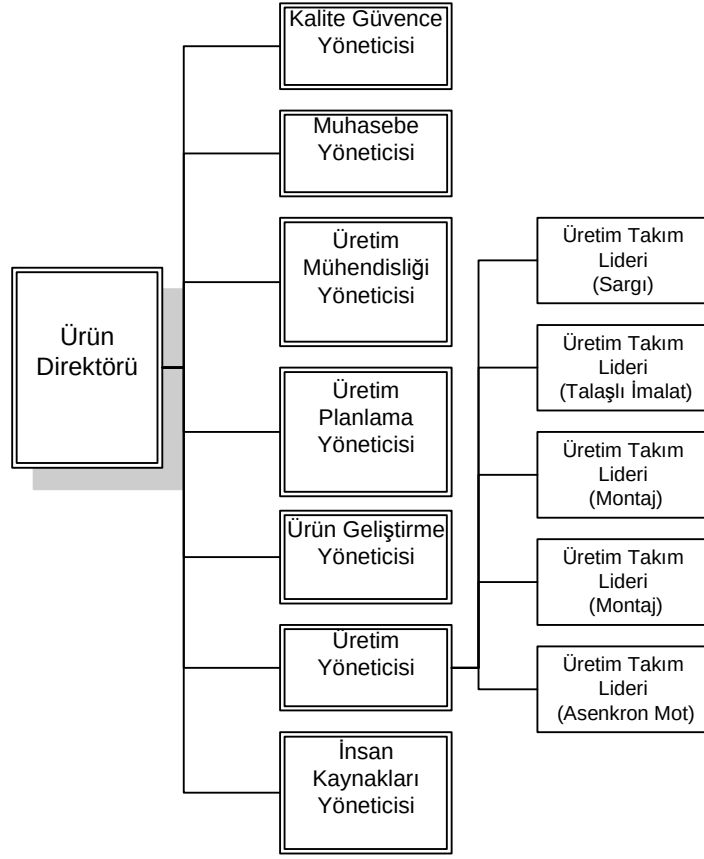
1955 : Şirketin kuruluşu

- 1959 : İlk amaşır makinası etimi
- 1961 : İlk buzdolabı etimi
- 1966 : Çamaşır makinesi motoru ve komponentlerinin üretimine başlanması
- 1984 : Elektrik süpürgesi motoru üretimine başlanması
- 1989 : Endüstriyel motor fabrikasının satın alınması
- 1993 : Elektrik motoru fabrikası için ISO 9001 belgesinin alınması
- 1995 : Endüstriyel motor üretim kapasitesinin 260 bin adede çıkarılması
- 1997 : Endüstriyel motor üretim kapasitesinin 350 bin adede çıkarılması
- 1998 : TÜSİAD-KALDER kalite dl
- 2000 : Yeni seri tek fazlı motor üretimine geçilmesi
- 2001 : Beyaz eşya motoru üretiminin erkezky'e taşınması
- 2002 : 1.sınıf verimlilik seviyesine ait (Eff1) endüstriyel motor üretimine başlanması
- 2002 : Çeşitli ülkelerde 5 ayrı markanın satın alınması
- 2003 : Endüstriyel motor üretim kapasitesinin 550 bin adede çıkarılması
- 2007 : Endüstriyel motor fabrikasının erkezky'e taşınması

4.1.2 Organizasyon

Endüstriyel motor üretim fabrikasında fonksiyonel organizasyon yapısı baz alınmış olup, bir fabrika yöneticisi (rn direktörü) altında 7 yönetici yer almaktadır. Ayrıca retim yöneticisine bağlı olarak, proses bazlı organizasyon yapısına uygun 5 ayrı takım lideri bulunmaktadır. Fabrika organizasyon şeması şekil 4.1'de görülebilir.

Satış organizasyonu ise bölgesel bazlı organizasyonu temel almış olup, bir satış yöneticisi altında 2 uluslararası satış sorumlusu ile 2 yurt içi satış sorumlusunu içermektedir. Satış yöneticisi, Avrupa İş Geliştirme ve Satış Direktörü'ne, Direktör de, Uluslararası Satış ve Pazarlama Genel Müdür Yardımcısı'na rapor etmektedir.



Şekil 4.1: Fabrika organizasyon şeması

4.1.3 Dağıtım sistemi

4.1.3.1 Genel yapı

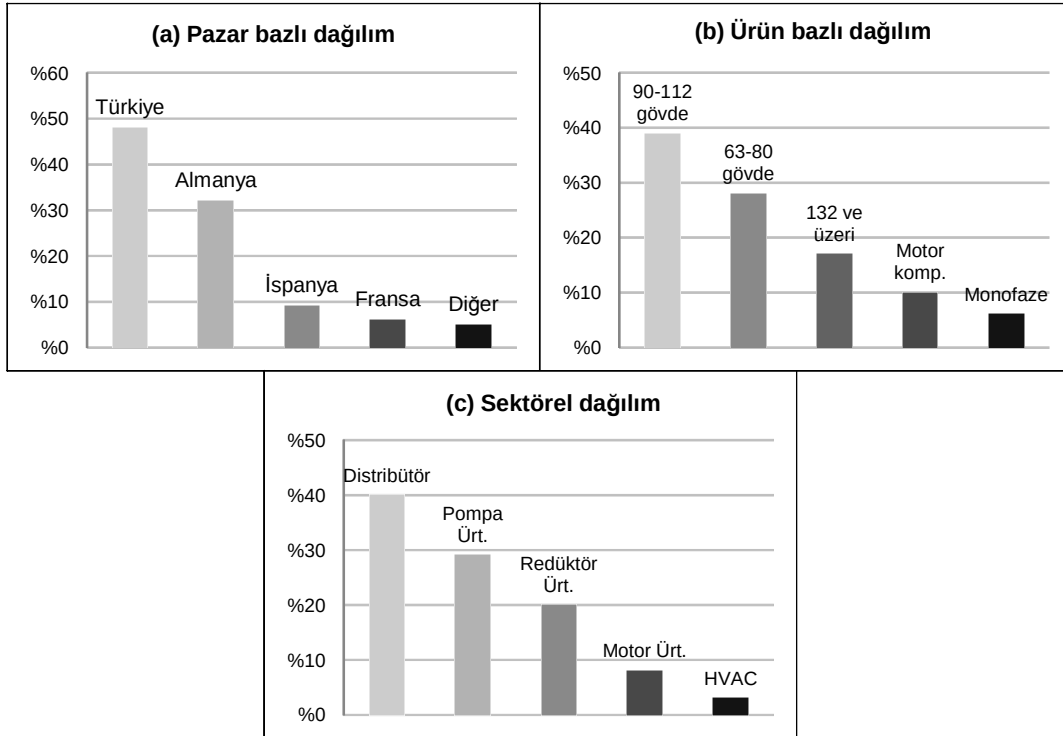
Endüstriyel motorlar, gerek yurtiçi gerekse yurtdışı satışlarında distribütörler ve üreticiler olmak üzere iki ilgi grubuna satılmaktadırlar. Özellikle yurtdışı müşterilerde motorların sahip olması talep edilen özellik sayısı ve çeşitliliği çok fazla olup, teslim zamanı ve kalite özelliklerinin üst düzey olması beklenmektedir. Özellik sayısının fazlalığı, motorlara bu özellikleri sağlayacak bazı özel hammadde ihtiyaçlarının çok iyi planlanması gerekliliğini beraberinde getirmektedir. Ayrıca, yurtdışı satışlara özgü olan ve genellikle lojistik ve finansal koşulların karmaşıklığından kaynaklanan kısıtlar, ekonomik üretim ve dağıtım ile müşteri memnuniyeti gibi çok ve çelişen amaçlı bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Üretici (*original equipment manufacturer* - OEM) müşterilerde sevkiyat gecikmeleri, müşterinin üretim hattında verimsizlik hatta durmalara sebep olacağından hayati önem taşımaktadır.

Bütün bu koşullar göz önüne alınarak çalışmanın sipariş için üretim yapısına sahip yurtdışı dağıtım sistemini içermesinin uygun olacağı düşünülmüştür. Şekil 4.2’de pazar, ürün ve sektörel bazlı dağılımlar görülmektedir.

4.1.3.2 Pazar bazlı ayırım

Genel maksatlı motor üretiminin %48’i Türkiye pazarına arz edilmiş olup, diğer önemli pazarlar sırasıyla Almanya (%32), İspanya (%9), Fransa (%6), Hollanda (%2), ve İtalya ile İsviçre’dir (%1).



Şekil 4.2: Endüstriyel motor kanal dağılımları

4.1.3.3 Ürün bazlı ayırım

Endüstriyel motorlar ilk aşamada tek fazlı ve üç fazlı olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Üretim ve satışlarda büyük ağırlık (%84) üç fazlı motorlarda olup, bu motorlar da büyüklüklerine göre üç gruba ayrılmaktadırlar. Bu ayırım hem üretim hatları, hem de lojistik açıdan önemlidir.

İlk grup, 80 gövde ve daha küçük motorları içeren küçük motorlar grubudur. Bu gruptaki modellerin ambalajlaması büyük adetler içermekte, yüklemeleri daha kolay gerçekleşmekte, ve siparişleri genellikle yüksek adetlerde olmaktadır. İkinci grup, 90 gövde ile 112 gövde arası motorları içeren orta büyüklükte motorlardan oluşmaktadır. Ambalajlamaları ve yüklemeleri ilk grup ile benzer olup, sipariş adetleri biraz daha düşük olmaktadır.

Son grup ise, 132 gövde ve üzeri motorları içeren büyük motorlardır. Ambalajlamaları müşterilere göre farklılık gösteren, birim fiyatları ve stok maliyetleri daha yüksek olan, üretimi daha zor gerçekleşen ve yüklemeleri spesifik olan motorlar bu gruba dahil olmaktadır.

Özetlenen gruplara ilave olarak firma, başka motor üreticilerine motor komponentleri de üretip sevk etmektedir.

4.1.3.4 Sektörel bazlı ayırım

Dağıtım kanallarında önemli bir nokta da, daha önce kısaca bahsedildiği üzere sektörel bazlı ayırımdır. Motorlar ya distribütörler vasıtasıyla satılmakta, yada üreticilere sevk edilmektedir. Bu üreticiler; redüktör, pompa, yada yine motor üreticileridir. Ayrıca az miktarda havalandırma ve soğutma (HVAC) sektöründeki üreticilere de ürün gönderilmektedir.

4.1.4 Proses yapısı

Firmanın sipariş için üretim sistemi ile çalıştığı daha önce belirtilmişti. Üretim aylık periyotlarla gerçekleşmekte olup, sevkiyatlar üretim gerçekleştikçe yapılmaktadır.

Belirli bir ayın üretimi için siparişler, bir önceki ay içerisinde müşterilerden gelmekte olup, satış departmanı tarafından üretim planlamaya iletilmektedir. Burada belirtilmesi gereken önemli bir husus, satış departmanının, üretim kapasitesine göre her siparişi fabrikaya iletmeyebileceğidir. Yani, siparişlere yönelik ilk değerlendirme satış departmanı tarafından yapılmakta olup, kapasitenin üzerindeki siparişlerin üretim için talep edilemeyeceği müşterilere bildirilmektedir. Bu noktada siparişler, bir sonraki ayın üretimine talep edilmektedir.

Siparişlerin fabrikaya iletilmesini takiben, üretim planlama, sipariş edilen ürünlerin teknik özellikleri, özel hammadde ihtiyaçları v.b. konuları dikkate alarak siparişleri üretim programına alır. İkinci önemli değerlendirme de bu noktada yapılmakta olup, fabrikaya iletilen her siparişin üretim programına alınmayabileceği gözden kaçırılmamalıdır.

Üretim programına alınan siparişler, normal koşullarda o ay içerisinde üretilerek sevke hazır duruma gelirler. Ancak çeşitli nedenlerle (tezgah arızaları, tedarikçilerden hammadde temininde problem yaşanması, v.b.) bazı siparişler, ilgili ayın üretiminde tamamlanamayarak bir sonraki ayın üretimine sarkabilmektedir.

Üretilerek stoka girmiş olan siparişler, yine satış departmanı tarafından sevk edilirler. Ancak burada önemli bir husus daha karşımıza çıkmaktadır. Özellikle çalışmanın

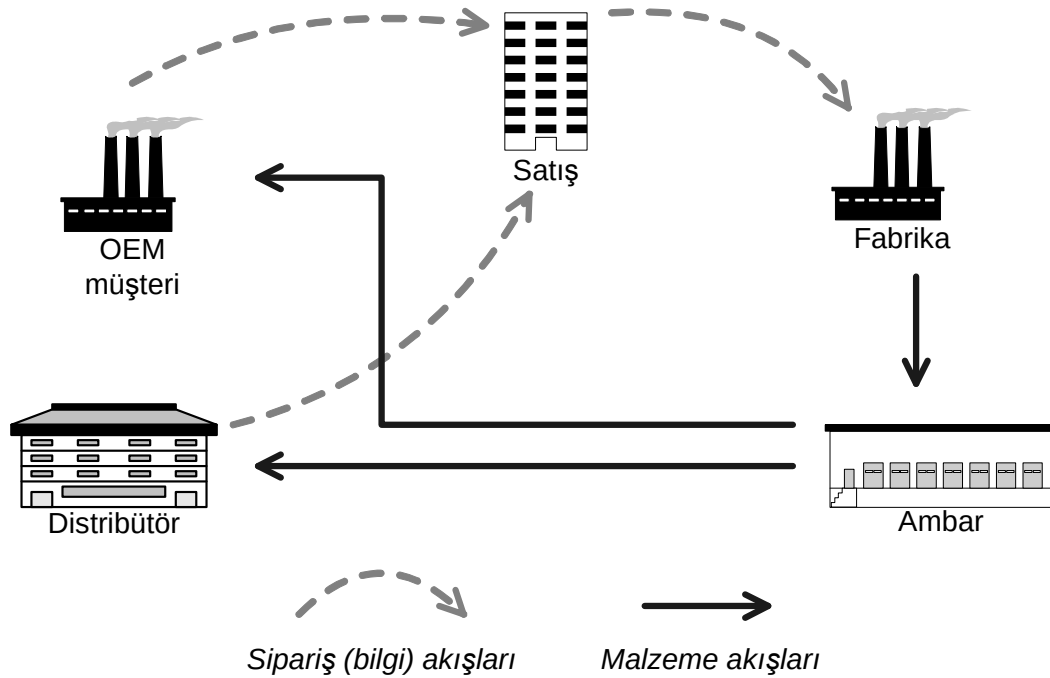
kapsamında yer alan uluslararası satışlarda, çeşitli belirsizlikler sevkiyatlara da yansımaktadırlar. Sipariş sahibi müşterinin finansal durumu, sevkiyata ilişkin ödeme problemleri, araç temini yada araç uygunluğu gibi lojistik problemleri, müşterilerin bazı ürünleri mutlaka bazı başka ürünlerle alma isteği (sipariş partileme) gibi problemler bu belirsizliklerin temelini teşkil etmektedirler.

Şekil 4.3'te özetlenen proses yapısına ilişkin detaylı bilgiler, simülasyon modelinin açıklanması sırasında da verilecektir.

4.2 Simülasyon Modeli

Yukarıda bilgileri verilen işletmenin sipariş alma, üretim ve sevkiyat süreçleri göz önüne alınarak, çeşitli politikalara ilişkin ile kamçı değerleri ve sistem performansının değişimini gözlemlemek amacıyla sistem dinamiği simülasyonundan yararlanılmıştır.

Sistem dinamiği modellemesinde, sisteme uygun bir temel model baz alınmış ve incelenen politikalara ilişkin model varyantları oluşturulmuştur. İleriki kısımlarda ilk önce temel modele ilişkin detaylı bilgi verilecek, daha sonra varyant modeller açıklanacaktır.



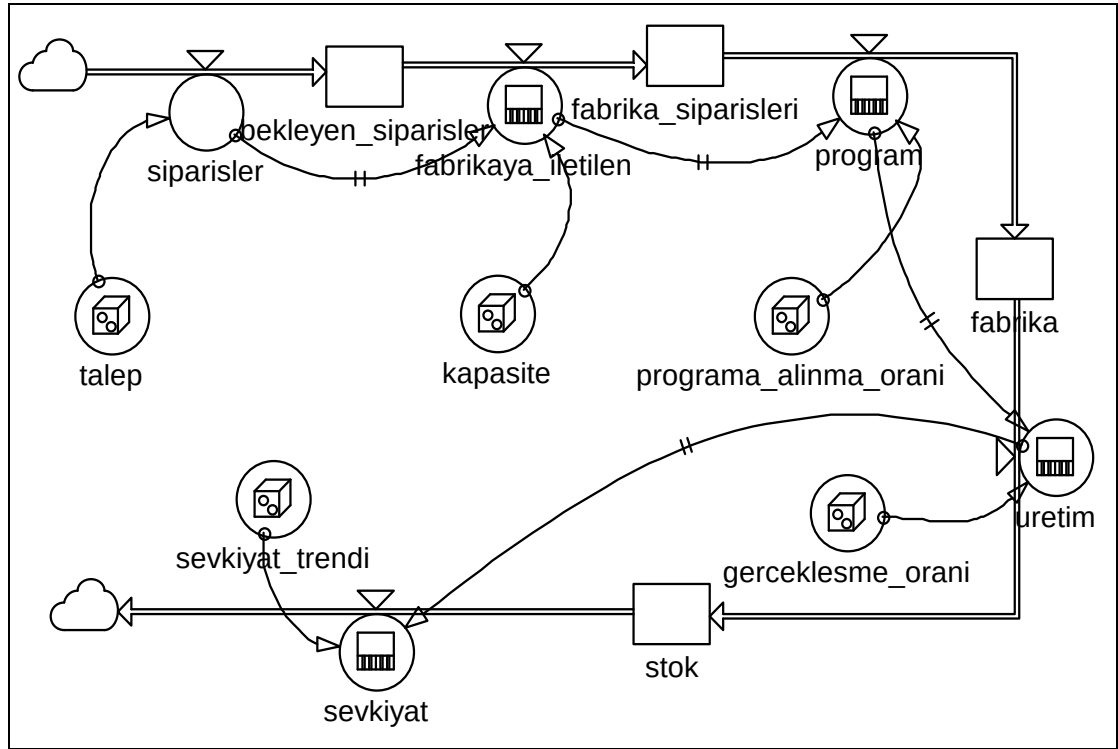
Şekil 4.3: Malzeme ve bilgi akışları

4.2.1 Modelin yapısı ve bileşenleri

Gerek bilgi gecikmelerinin olduğu ve FCFS (*first-come-first-serve*) yapısının baz alındığı durum, gerekse bilgi gecikmelerinin ortadan kaldırıldığı ve üretim önceliklendirmede herhangi bir yapının dikkate alınmadığı (havuzlandığı) durumlar arasında bir mukayese yapmak, simülasyon çalışmasının amacını teşkil etmektedir.

Bu amaçla her iki politikanın uygulandığı durumlardaki kamçı değeri ve envanter değişkenliği, performans kriteri olarak alınmıştır. Simülasyonun dengede başlaması amacıyla, sistemde yer alan tüm seviyelerin ilk değerleri, kapasite değişkeninin sahip olduğu normal dağılımın ortalaması olan 7000 olarak seçilmiştir. Ayrıca simülasyon, aylık zaman dilimlerini esas almakta olup, koşum adımı ise 0.5 olarak seçilmiştir. Koşum adımı, simülasyon sonuçlarını ayırmak için belirlenen zaman dilimini göstermekte olup, 0.5 değeri, 2 haftalık ayrıma karşılık gelmektedir.

Her iki modelin Powersim'deki gösterimleri Şekil 4.4 ve 4.5'de verilmiştir.



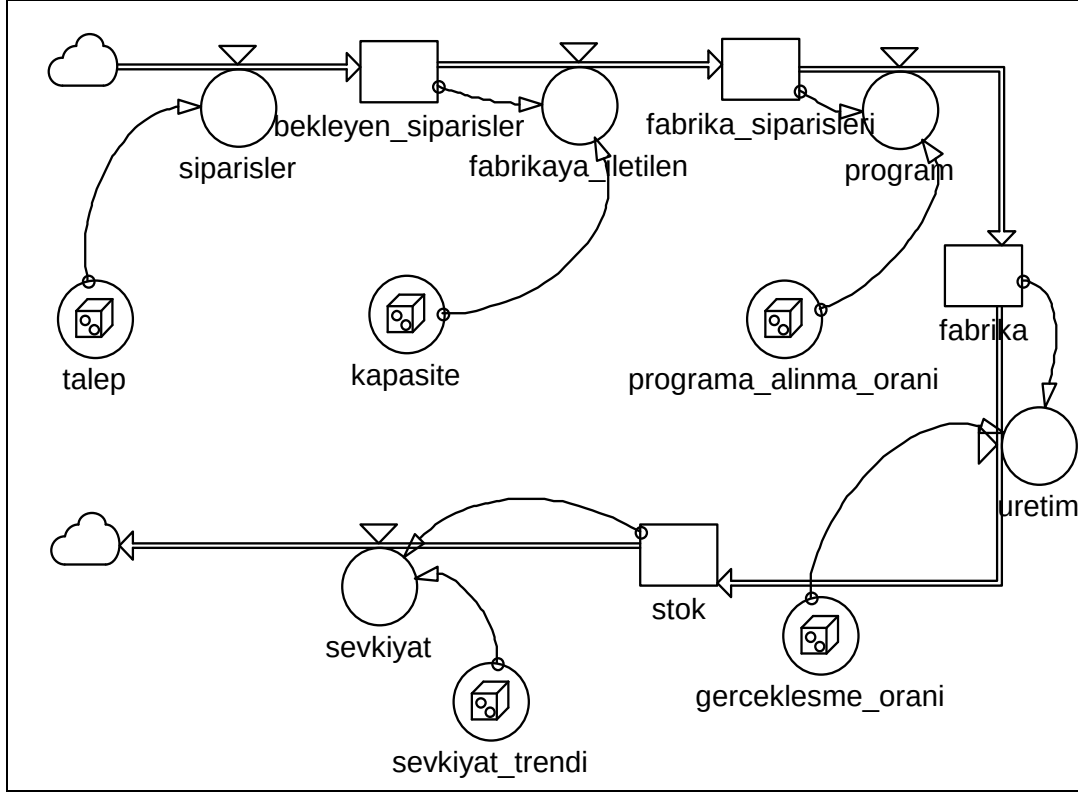
Şekil 4.4: FCFS sistemine ilişkin Powersim diyagramı

4.2.1.1 Seviyeler

Simülasyon modelinde; *bekleyen siparişler*, *fabrika*, *fabrika siparişleri*, ve *stok* olmak üzere dört seviye bulunmaktadır.

“*Bekleyen siparişler*” bir alt aşamadan (müşterilerden) gelmiş ancak henüz fabrikaya iletilmemiş siparişlerdir. Sistemde aylık sipariş ve planlama periyodu baz alındığı,

ancak bir alt aşamadan herhangi bir zamanda sipariş gelebildiği için, siparişlerin gelmesi ile fabrikaya iletilmesi arasındaki süre kapsamında bu seviyede yer aldıkları varsayılmaktadır. Aynı zamanda sipariş, daha sonraki bir üretim periyodu için gelmiş ve henüz fabrikaya iletilmemiş olabilir. Yada, siparişe ilişkin mutabık kalınmamış konular (fiyat yada teknik özellikler) mevcut olup satış birimi ile müşteri arasında görüşülüyor olabilir. Bu seviye, bir siparişin kabul edilmesi ile bir birim artmakta, fabrikaya iletilmesi ile bir birim eksilmektedir.



Şekil 4.5: Siparişlerin havuzlandığı duruma ilişkin Powersim diyagramı

“Fabrika siparişleri”, satış birimi tarafından fabrikaya iletilmiş, ancak henüz üretim programına dahil olmamış siparişlerdir. Belirli bir üretim dönemi için alınmış siparişlerin hepsi, istenilen dönemin üretim programına alınamayabilir.

Bu seviyedeki siparişler, üretim planlama departmanının hammadde ve yarı-mamul uygunluğunu kontrol ederek üretim programına alınma teyidi için uğraş verdiği siparişlerdir. Bu seviye, bir siparişin fabrikaya iletilmesi ile bir birim artmakta, bir siparişin üretim programına alınması ile de bir birim azalmaktadır.

“Fabrika” seviyesi, kısaca yarı-mamul stoklarını temsil eder. Üretim programına alınmış, ancak henüz üretimi tamamlanmadığı için nihai stoka aktarılamamış siparişler bu seviye içerisinde yer almaktadırlar. Bir siparişin üretim programına alınması ile bir birim artmakta, üretimin tamamlanarak stoka aktarılması ile bir birim

azalmaktadır. Görüldüğü üzere, üretim programına alınmış herhangi bir sipariş de bu seviye içerisinde yer almaktadır. Zira sisteme ilişkin önemli bir varsayım, üretim programına alınan bir siparişin, gecikmeler olabilse dahi –iptal edilmedikçe- mutlaka üretileceği şeklindedir.

“*Stok*”, üretimi tamamlanmış ve sevkedilmeyi bekleyen malzemelere ilişkin bir seviyedir. Sipariş için üretim (*make-to-order*) bir sistemde stok ve kamçı değerlerinin 1 olması beklenmekle birlikte, bu durumun gerçeği yansıtmadığı simülasyon sırasında ortaya çıkacaktır. Tahmin edilebileceği gibi stok, bir birim üretimin tamamlanması ile bir birim artmakta, bir birimlik sevkiyat ile yine bir birim azalmaktadır.

4.2.1.2 Akışlar

Yukarıda özetlenen seviyeleri etkileyen akışlar ise şu şekildedir:

“*Siparişler*”, talep değişkenine bağlı olan ve fabrikaya iletilen siparişleri arttıran akıştır.

“*Fabrikaya iletilen*” siparişler, bekleyen siparişlerin fabrikaya bildirilerek üretim talep edilmesini sağlayan akıştır.

“*Program*”, satış birimi tarafından üretimi talep edilen siparişlerin, üretim programına alınmasını sağlayan akıştır.

“*Üretim*”, üretim programında yer alan siparişlerden üretimi tamamlanarak stoka girmesini sağlayan akıştır.

“*Sevkiyat*” ise, tahmin edilebileceği gibi, stokta yer alan malzemelerin müşterilere sevk edilmesini sağlayan akıştır.

4.2.1.3 Değişkenler

Daha önce belirtildiği üzere, bir sistem dinamiği modelinde, genelde performans göstergesini oluşturan seviyeler sadece akışlardan etkilenmekle birlikte; akışlar, gerek seviyelerden, gerek diğer akışlardan, gerekse diğer yardımcı değişkenlerden etkilenebilmektedirler.

“*Talep*”, birim zamanda gerçekleşen talep miktarını veren değişken olup, “*siparişler*” akışını etkilemektedir.

“*Kapasite*”, fabrikanın üretim kapasitesini belirten değişkendir ve “*fabrikaya iletilen*” siparişleri etkilemektedir. Bir başka deyişle, satış birimi, belirli bir periyoda ait siparişleri, o periyodun üretim kapasitesi ile sınırlamakta, ve kapasite üzerindeki

siparişleri müşterinin isteğine göre bir sonraki periyot için talep etmekte yada iptal etmektedir.

“*Programa alınma oranı*”, fabrikaya iletilen siparişlerin üretim programına alınıp alınamayacağını belirleyen değişkendir. Talep edilen ürünlerin özelliklerine göre, o ürüne ilişkin hammaddelerin elde bulunmaması ve tedarik süresinin uzun olması, yada ürünün gerektirdiği özel üretim proseslerinin o periyottaki üretimde gerçekleştirilemeyecek olması gibi sebeplerden dolayı bazı siparişler, kapasite sınırları içerisinde yer almalarına rağmen üretim programına alınamayabilmektedirler. Bu değişken, “*program*” akışını etkilemektedir.

“*Gerçekleşme oranı*”, üretim programında yer alan ve normal koşullarda ilgili dönemde üretiminin tamamlanması gereken siparişlerin, çeşitli nedenlerle (iş kazaları, tezgah arızaları, hammadde gecikmesi, vb) üretiminin tamamlanamaması durumunu belirten değişkendir. “*Üretim*” akışını etkilemektedir.

“*Sevkiyat trendi*” ise, sistemin uluslararası dağıtım sistemi olmasından kaynaklanan, ve literatürde çok fazla yer almamasına rağmen, gerçekte önemli bir rol oynayan değişkendir. Bir sipariş için üretim sisteminde normal koşullarda üretimi tamamlanan her siparişin sevk edilmesi beklenmektedir. Ancak, bazı koşullardan dolayı sevkiyatlar gerçekleşmeyebilir yada siparişlerin tümünü kapsamayabilir. Örneğin lojistik koşulları sevkiyatların arzulanan şekilde gerçekleşmesini engelleyebilir. Stokta yer alan malzemelerin toplamının, sevkiyatın ağırlık sınırını aştığı durumlarda siparişlerin bir kısmı stokta bekletilerek bir sonraki sevkiyata aktarılabilir. Ya da, ekonomik sevkiyat miktarını sağlamayıp, sevk edilmeleri için diğer siparişlerin tamamlanmasını bekleyebilir.

Benzer şekilde, müşterilerin siparişe ilişkin finansal garanti sağlaması gerçekleşmeyebilir, ödemelerde problemler yaşanabilir. Yada, müşterilerin ürüne ilişkin teslim süresi talebi, üretimin gerçekleştiği zaman içerisinde değişebilir. Özetlenen çeşitli koşullardan sadece birinin bile gerçekleşmesi durumunda, ürünlerin stokta bekletilme gereği doğmakta, dolayısıyla bir sipariş için üretim sisteminde dahi stoklu çalışmayı gerekli kılmaktadır.

4.2.2 Parametre değerleri

Bu bölümde, simülasyon modellerinde yer alan seviye, akış ve değişkenlerin dağılım ve değerlerine ilişkin parametre değerleri ile, bu değerleri elde etmek amacıyla incelenen geçmiş veriler ve analizlerine değinilecektir. Seviyelerin akışlardan, akışların ise değişkenlerden etkilendiği göz önüne alınırsa, öncelikle değişkenlerin parametre değerlerini incelemek gerekmektedir.

4.2.2.1 Değişkenlere ilişkin parametre değerleri

Talep değişkeni, $\lambda = 6205$ parametrelili Poisson dağılımından gelmektedir. Bu değer hesaplanmasında, 2007 yılına ilişkin 12 aylık talepler baz alınmıştır. Bu talepler Çizelge 4.1'de, dağılımın hesaplanmasına ilişkin ki-kare testi ise EK-A.1'de görülmektedir.

Çizelge 4.1: 12 aylık talepler

Aylar	Talep değerleri	Aylar	Talep değerleri
1	10784	7	7844
2	3824	8	2018
3	5738	9	4710
4	5409	10	6384
5	6727	11	5983
6	9390	12	5645
Toplam		74456	

Kapasite, ve programa alınma oranlarını hesaplamak amacıyla, fabrikadan alınan veriler Çizelge 4.2'de, dağılımların hesaplanmasına ilişkin ki-kare testleri ise sırasıyla EK-A.2 ve EK-A.3'te görülmektedir.

Bu değişkenler yine sırasıyla 7000 ortalama ve 1500 standart sapmaya sahip normal dağılım ile, 0.98 ortalama ve 0.084 standart sapmaya sahip normal dağılıma uymaktadırlar.

Çizelge 4.2: Taleplere karşılık gelen kapasite ve üretim programı verileri

Aylar	Talepler	Kapasite	Üretim Programı	Programa Alınma Oranı
1	10784	9400	9234	%98
2	3824	5500	4231	%111
3	5738	6900	5898	%103
4	5409	6300	4987	%92
5	6727	7000	6137	%91
6	9390	9350	9118	%98
7	7844	8250	7235	%92
8	2018	3950	2211	%110
9	4710	5400	3998	%85
10	6384	7200	6021	%94
11	5983	7500	6238	%104
12	5645	7400	5635	%100

Üretimin *gerçekleşme oranı* ise, her döneme ilişkin fiili üretimin üretim programına oranlanması ile elde edilmiştir. Yani, programlanan ve gerçekleşen üretimlerin saptması dikkate alınmaktadır. Hesaplanan bu değerler, Çizelge 4.3'te gösterilmeke olup, üretim gerçekleşmesine ait dağılımın hesaplanmasına ilişkin ki-kare testi ise EK-A.4'te verilmiştir

Çizelge 4.3: Programlanan ve gerçekleşen üretim miktarları

Aylar	Üretim Programı	Gerçekleşen Üretim	Gerçekleşme Oranı
1	9234	6279	%68
2	4231	3173	%75
3	5898	5249	%89
4	4987	4588	%92
5	6137	6014	%98
6	9118	9756	%107
7	7235	7235	%100
8	2211	2366	%107
9	3998	3718	%93
10	6021	5660	%94
11	6238	6113	%98
12	5635	5522	%98

.*Sevkiyat trendi*, daha önce açıklandığı üzere, çeşitli nedenlerle sevkiyatların sipariş yada üretimler ile birebir gerçekleşmemesinden doğan yapıyı eklemek amacıyla modele eklenmiş bir değişkendir. Bu değişkenin parametrelerini belirlemek amacıyla son 12 aydaki gerçekleşmiş aylık sevkiyat adetleri incelenmiştir. Sevkiyat adetleri Çizelge 4.4'de, değişkene ilişkin ki-kare testi ise EK-A.5'te görülmektedir.

Özetle, değişkenlere ilişkin parametre değerleri ve dağılımlar aşağıdaki şekilde belirtilebilir:

Talep; Poisson (6205)

Kapasite; Normal (7000, 1500)

Programa alınma oranı; Normal (0.98, 0.084)

Gerçekleşme oranı; Normal (0.93, 0.12)

Sevkiyat trendi; Normal (6200, 1000)

Çizelge 4.4: 12 aylık sevkiyat adetleri

Aylar	Sevkiyat adetleri	Aylar	Sevkiyat adetleri
1	8646	7	4380
2	7282	8	4969
3	5442	9	6074
4	5090	10	8232
5	6555	11	7440
6	7074	12	6677
Toplam		77861	

4.2.2.2 Akışlara ilişkin parametre değerleri

Siparişler'e ilişkin değerler, direkt olarak talep değişkeninden gelmektedir. Diğer tüm akışlar için, siparişlere öncelik vermek için ilişkin herhangi bir yapının bulunmadığı

karma durumda sadece belirli seviye ve değişkenlerle mukayese prosesi olacağından, bir parametre gerekmemektedir.

Ancak FCFS yapısında durum biraz daha değişmektedir. Yine akışların bağlı olduğu değişkenlerle mukayese prosesi olacak, yalnız bu kez mukayese edilecek olan, bir önceki akıştan gecikmeli olarak gelen bilgi olacaktır. Bu amaçla, Powersim'de yer alan DELAYPPLINF fonksiyonu kullanılmıştır.

Örneğin fabrikaya iletilen siparişler için FCFS yapısında,

$$Fabrikaya\ iletilen = \text{MIN}(\text{DELAYPPLINF}(\text{siparisler}, 1, 2, 7000), \text{kapasite})$$
 denklemi geçerlidir. Burada *kapasite* değişkeni ile *siparişler* akışından gecikmeli olarak gelecek bilgi kıyaslanmaktadır. Denklemden yer alan parametrelerden 1, gecikme zamanını (1 ay); 2, maksimum gecikme zamanını; 7000 de ilk değeri (seviyelere ilişkin parametrelerde de açıklanacaktır) vermektedir.

4.2.2.3 Seviyelere ilişkin parametre değerleri

Seviyeler sadece akışlardan etkilendiği için parametre değerlerinin olmayacağı aşıkardır. Ancak, sistemin gerçekçi neticeler vermesi ve simülasyonların dengede başlamasını sağlamak amacıyla tüm seviyelere ilişkin bir ilk değer verilmelidir. Simülasyonlarda tüm seviyelere ilk değer olarak 7000 verilmiştir.

4.2.3 Politika analizi

4.2.3.1 Sipariş önceliklendirme bazlı sistem (FCFS)

Bu sisteme ilişkin simülasyon modelinin gösterimi Şekil 4.4'te verilmişti. Modele ilişkin denklemler ise şu şekildedir:

init *bekleyen_siparisler* = 7000

flow *bekleyen_siparisler* = $-dt * \text{fabrikaya_iletlen} + dt * \text{siparisler}$

init *fabrika* = 7000

flow *fabrika* = $-dt * \text{uretim} + dt * \text{program}$

init *fabrika_siparisleri* = 7000

flow *fabrika_siparisleri* = $-dt * \text{program} + dt * \text{fabrikaya_iletlen}$

init *stok* = 7000

flow *stok* = $-dt * \text{sevkiyat} + dt * \text{uretim}$

aux *fabrikaya_iletlen* = $\text{MIN}(\text{DELAYPPLINF}(\text{siparisler}, 1, 2, 7000), \text{kapasite})$
(simülasyon denklemleri devam etmektedir)

```

aux  program = DELAYPPLINF(fabrikaya_iletlen, 1, 2, 7000)
      *programa_alinma_orani
aux  sevkiyat = MIN(DELAYPPLINF(uretim, 1, 2, 7000), sevkiyat_trendi)
aux  siparisler = talep
aux  uretim = DELAYPPLINF(program, 1, 2, 7000)*gerceklesme_orani
aux  gerceklesme_orani = NORMAL(0.93, 0.12)
aux  kapasite = NORMAL(7000, 1500)
aux  programa_alinma_orani = NORMAL(0.98, 0.084)
aux  sevkiyat_trendi = NORMAL(6200, 1000)
aux  talep = POISSON(6205)

```

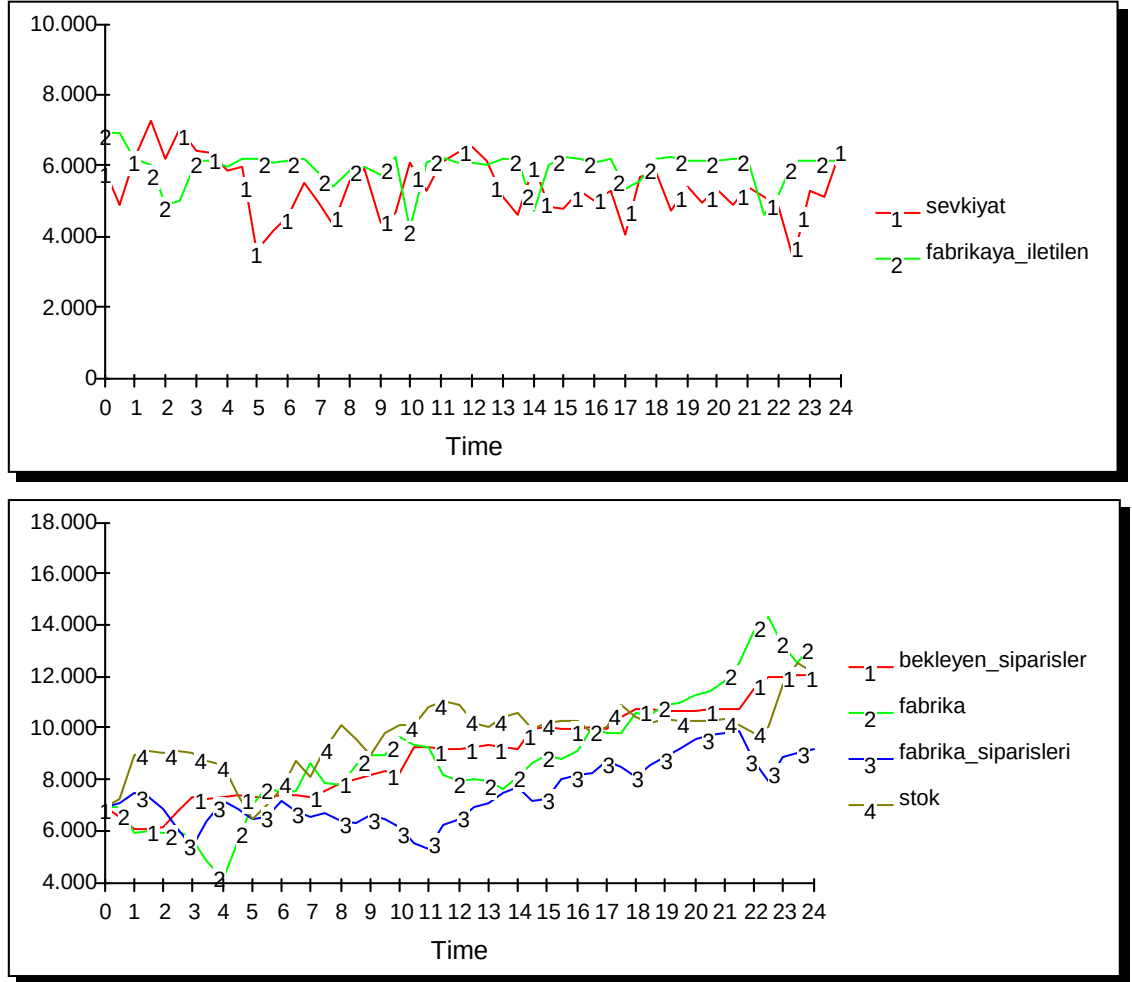
Denklemlerde *init*, seviyelere ilişkin ilk değeri, *flow* ise seviyelerin akış matematiğini göstermektedir. Tüm akış ve yardımcı değişkenler *aux* ile belirtilmektedir.

Simülasyon, 24 aylık periyot için, ay bazında iki haftada bir sevkiyat yapıldığı varsayımı nedeniyle 0.5 koşum adımı alınarak gerçekleştirilmiştir. Simülasyon koşumlarına ilişkin bir örneğin sonucu Şekil 4.6'da görülmektedir.

Modelde yer alan tüm seviye ve akışların, koşum süresince oluşan değerleri kaydedilmiş ve kamçı değerini bulmak amacıyla, fabrikaya iletilen siparişler ile sevkiyatların değişkenlikleri (varyansları) oranlanmıştır. Ayrıca, diğer bir performans göstergesi olarak envanter değişkenliği incelenmiştir. Bunun için de, *stok* seviyesinin koşum süresince aldığı değerlerin standart sapmaları ele alınmıştır.

FCFS yapısına ilişkin 32 simülasyon koşumunun sonuçları EK-B.1'de verilmiştir. Bu simülasyonlar sonucunda sistemde kamçı değil, tersine kamçı etkisine rastlandığı görülmektedir. Zira sevkiyatların değişkenliği, fabrikaya iletilen siparişlerin değişkenliğinden, 32 koşumun tamamında da daha yüksek çıkmaktadır.

Bu yapıya ilişkin tersine kamçı değerlerinin ortalaması 2.38; envanter değişkenliği değerlerinin ortalaması da 2016 olarak hesaplanmıştır



Şekil 4.6: FCFS sisteminde simülasyona ilişkin örnek diyagram
 (a) Sevkiyat ve fabrikaya iletilen siparişler (üstte)
 (b) Modelde yer alan tüm seviyeler (altta)

4.2.3.2 Havuz sistemi

Bu sisteme ilişkin simülasyon modelinin gösterimi Şekil 4.5'te verilmişti. Modele ilişkin denklemler ise şu şekildedir:

init $bekleyen_siparisler = 7000$

flow $bekleyen_siparisler = -dt*fabrikaya_iletlen + dt*siparisler$

init $fabrika = 7000$

flow $fabrika = -dt*uretim + dt*program$

init $fabrika_siparisleri = 7000$

flow $fabrika_siparisleri = -dt*program + dt*fabrikaya_iletlen$

init $stok = 7000$

flow $stok = -dt*sevkiyat + dt*uretim$

aux $fabrikaya_iletlen = \text{MAX}(\text{MIN}(bekleyen_siparisler, kapasite), 0)$

(simülasyon denklemleri devam etmektedir)

```

aux   program = fabrika_siparisleri*programa_alinma_orani
aux   sevkiyat = MAX(MIN(stok, sevkiyat_trendi),0)
aux   siparisler = talep
aux   uretim = fabrika*gerceklesme_orani
aux   gerceklesme_orani = NORMAL(0.93, 0.12)
aux   kapasite = NORMAL(7000, 1500)
aux   programa_alinma_orani = NORMAL(0.98, 0.084)
aux   sevkiyat_trendi = NORMAL(6200, 1000)
aux   talep = POISSON(6205)

```

Havuz yapısına ilişkin 32 simülasyon koşumunun sonuçları EK-B.2'de görülmektedir. Bu 32 koşum sonucunda da, tıpkı FCFS yapısında olduğu gibi *tersine kamçı etkisi* öne çıkmaktadır. 32 koşumun sadece 7'sinde, sistem kamçı üretmiş, ve bu 7 koşuma ilişkin kamçı değerleri de, literatürde rastlanan örneklerle nazaran oldukça küçük çıkmıştır (maksimum kamçı: 2.187).

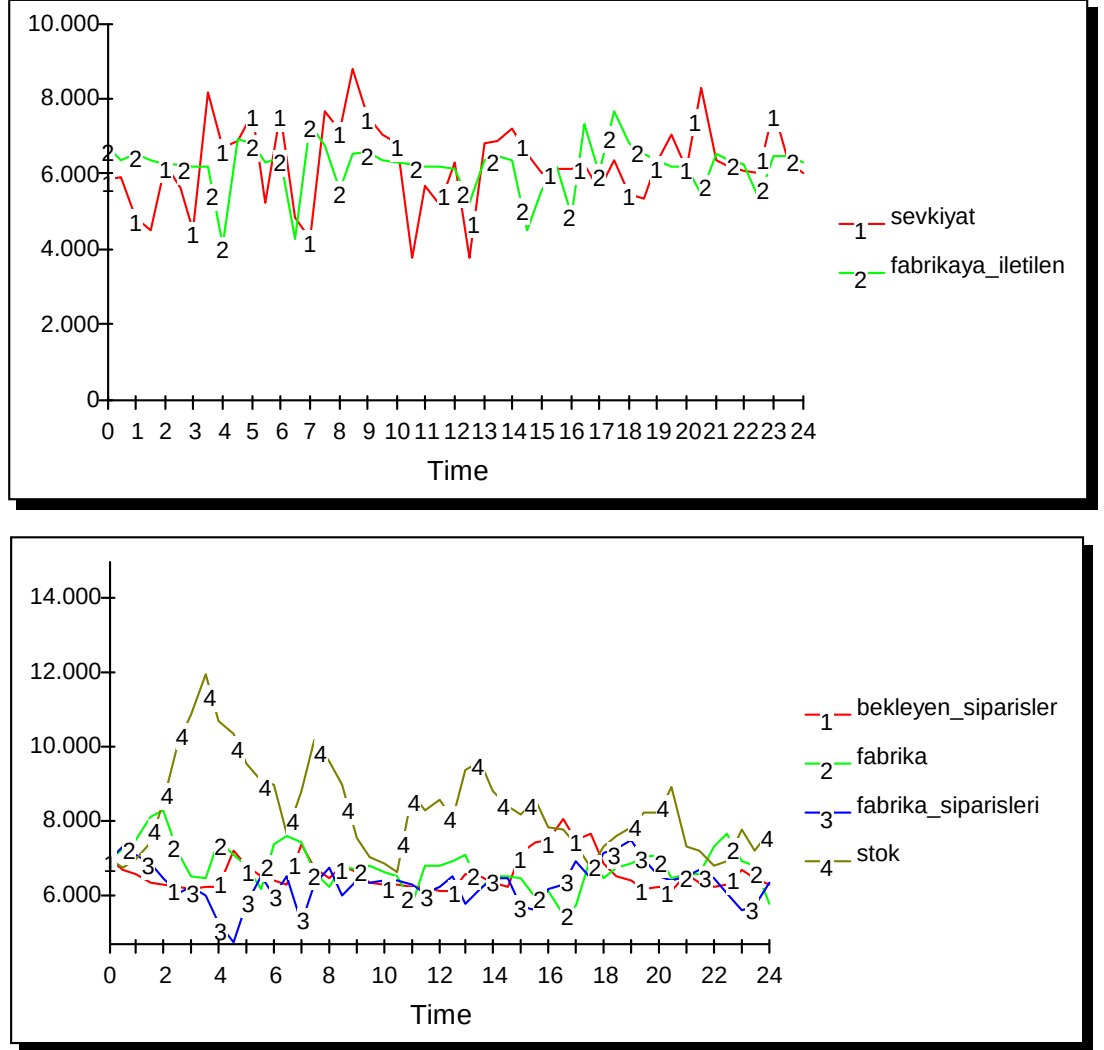
Havuz yapısına ilişkin tersine kamçı değerlerinin ortalaması 1.76; envanter değişkenliği değerlerinin ortalaması da 1561 olarak hesaplanmıştır.

Siparişlerin bir havuzda toplandığı sisteme ilişkin örnek bir simülasyon sonuç diyagramı, Şekil 4.7'de verilmiştir. Her iki modele ilişkin sonuçlar incelendiğinde, sistemin tersine kamçı etkisi gösterdiği görülmektedir. Bu davranış, talep tarafından yönlendirilen sipariş için üretim yapılarında normalde beklenen bir durum olmamakla beraber, ortaya çıkmasındaki sebeplerin araştırılmasında fayda olacaktır.

Bölüm 3'te bahsedildiği üzere, tersine kamçı etkisi, daha ziyade arz bazlı sistemlerde ortaya çıkması beklenen bir durumdur. Ancak incelenen yapıda, üretim programlama ve fiili üretime ilişkin belirsizlikler, ayrıca dışsatımın getirdiği sevkiyat dalgalanmaları, sipariş için üretim sisteminde dominansı arz tarafına kaydırmaktadır. Dolayısıyla sistem, belirsizliklerden dolayı arz bazlı hale gelmekte ve tersine kamçı davranışı göstermektedir.

Bu noktada model kapsamında incelenmeyen, ancak realitede önem teşkil eden bir konunun belirtilmesinde fayda vardır. Yine Bölüm 3'te değinildiği üzere, arz bazlı sistemlerde zincirin üst aşamasında yer alan bir firmanın, alt aşamadan gelecek talebe ilişkin endişesi olmamalıdır. Zira bu durum, fiyat indirimlerine yada elde stok kalmasına yol açacaktır. İncelenen sipariş için üretim sisteminde ise, ürünlerin çok fazla müşteri bazlı spesifikasyona sahip olduğu belirtilmelidir. Yani, her müşteriye ait ayrı bir ürün özelliği bulunmakta, bu durum da elde stok kalması durumunda alternatif dağıtım kanalları bulunmasını oldukça güç kılmaktadır. Dolayısıyla, arz

tarafındaki belirsizliğin sipariş iptallerine yol açması durumunda oldukça hızlı davranmak gerekmektedir. Siparişe ilişkin iptal yada değişiklik bilgisinin gecikmesi durumunda üretim tamamlanacak, ve iptal edilmiş olan sipariş stok olarak kalacaktır. Dolayısıyla sipariş için üretim sistemlerinin arz bazlı yapıya dönüşmesinin sadece kamçı değil, alternatif kanal bulma zorluğu yüzünden de tehlike arz ettiği söylenebilir.



Şekil 4.7: Siparişlerin havuzlandığı sisteme ilişkin örnek diyagram
(a) Sevkiyat ve fabrikaya iletilen siparişler (üstte)
(b) Modelde yer alan tüm seviyeler (altta)

4.2.3.3 FCFS ve havuz sistemlerinin mukayesesi

Yukarıda özetlenen iki sisteme ilişkin tersine kamçı ve envanter değişkenlikleri performans kriteri olarak göz önüne alındığında; aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığının anlaşılması için hipotez testleri yürütülmüştür.

FCFS yapısına ait olan değerler;

$$\begin{aligned}\bar{X}_{FCFS,RBW} &= 2.38 && ; \text{tersine kamçı etkisi değerleri ortalaması,} \\ s_{FCFS,RBW} &= 0.92 && ; \text{tersine kamçı etkisi değerleri standart sapması,} \\ \bar{X}_{FCFS,ED} &= 2016 && ; \text{envanter değişkenliği değerleri ortalaması,} \\ s_{FCFS,ED} &= 643 && ; \text{envanter değişkenliği değerleri standart sapmasıdır.}\end{aligned}$$

Havuz yapısının sahip olduğu değerler ise;

$$\begin{aligned}\bar{X}_{H,RBW} &= 1.76 && ; \text{tersine kamçı etkisi değerleri ortalaması,} \\ s_{H,RBW} &= 1.15 && ; \text{tersine kamçı etkisi değerleri standart sapması,} \\ \bar{X}_{H,ED} &= 1561 && ; \text{envanter değişkenliği değerleri ortalaması,} \\ s_{H,ED} &= 644 && ; \text{envanter değişkenliği değerleri standart sapması olmaktadır.}\end{aligned}$$

Veriler ışığında alternatif hipotez, mevcut durumda hem kamçı, hem de envanter değişkenliği için havuz sisteminin FCFS yapısından daha iyi performans gösterdiği şeklinde kurulacak olup, bunu destekleyecek sıfır hipotezi de ortalamalar arasında anlamlı bir fark olmadığı yönünde olacaktır.

$$\begin{aligned}H_0 : \mu_{H,RBW} &= \mu_{FCFS,RBW} \\ H_1 : \mu_{H,RBW} &< \mu_{FCFS,RBW} \\ z &= \frac{\bar{X}_{FCFS,RBW} - \bar{X}_{H,RBW}}{\sqrt{\frac{s_{FCFS,RBW}^2}{n_1} + \frac{s_{H,RBW}^2}{n_2}}} = \frac{2.38 - 1.76}{\sqrt{\frac{0.92^2}{32} + \frac{1.15^2}{32}}} = 2.379; \quad (4.1)\end{aligned}$$

ve bulunan bu z değeri, tek taraflı hipotez testlerinde $\alpha = .05$ için kritik z değeri olan 1.64'ten büyük olduğundan H_0 reddedilecektir. Dolayısıyla, 0.05 anlamlılık düzeyinde havuz sisteminin, FCFS sisteminden daha düşük tersine kamçıya yol açtığı söylenebilir.

Benzer test envanter değişkenliği için de yapılacak olursa;

$$\begin{aligned}H_0 : \mu_{H,ED} &= \mu_{FCFS,ED} \\ H_1 : \mu_{H,ED} &< \mu_{FCFS,ED} \\ z &= \frac{\bar{X}_{FCFS,ED} - \bar{X}_{H,ED}}{\sqrt{\frac{s_{FCFS,ED}^2}{n_1} + \frac{s_{H,ED}^2}{n_2}}} = \frac{2016 - 1561}{\sqrt{\frac{643^2}{32} + \frac{644^2}{32}}} = 1.008; \quad (4.2)\end{aligned}$$

ve bulunan bu z değeri, tek taraflı hipotez testlerinde $\alpha = .05$ için kritik z değeri olan 1.64'ten küçük olduğundan H_0 kabul edilecektir. Dolayısıyla, 0.05 anlamlılık düzeyinde havuz sistemi ile FCFS sistemine ilişkin envanter değişkenlikleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark olmadığı söylenebilir.

Elde edilen simülasyon sonuçlarının analizi sonrasında, siparişlerin havuzda toplandığı yapının, siparişlerin bir öncelik sırasına kondukları yapıya tercih edilmesi gerektiği kolaylıkla görülmektedir. İncelenen iki performans kriterinden birinde, sistemler arasında anlamlı bir fark çıkmamış, ancak diğerinde ortalama %35'lik bir iyileştirme sağlanmıştır.

4.2.4 Parametre analizi

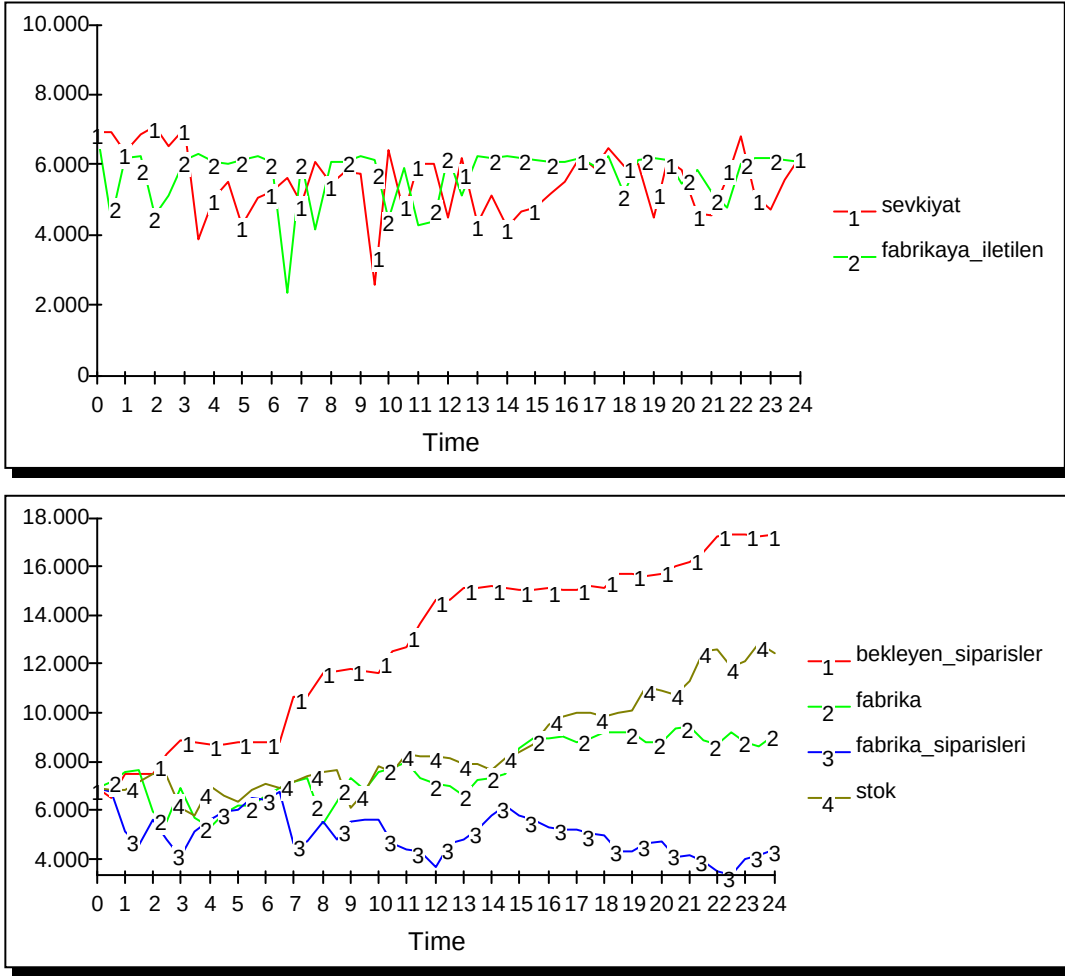
Yukarıda özetlenen politika mukayesesine ilave olarak, benzer yapıların, sistem performansı üzerinde olumsuz etkisi olduğu düşünülen üretim ve sevkiyat belirsizliklerinin azaltılması durumunda nasıl davranış göstereceği sorusunu cevaplamak bu bölümün amacını teşkil etmektedir.

Hatırlanacağı üzere simülasyonlarda, reel verilerin ışığı altında üretim gerçekleşme oranı $N(0.93, 0.12)$ ve sevkiyat trendi de $N(6200, 1000)$ parametrelili dağılımlardan getirilmişti. Bu kısımda ilk önce üretim gerçekleşmesine ilişkin belirsizliğin azaltılması durumunda, ikinci kısımda ise sevkiyat hacminin artması ve belirsizliğin azalması durumunda sistemlerin göstereceği performanslar simüle edilecek, ve sonuçlar yine istatistiksel anlamlılık kriteri altında irdelenecektir.

4.2.4.1 Üretim belirsizliğinin azaltılması

Üretim belirsizliğinin azaltıldığı durumda üretim gerçekleşme oranı değişkenine ilişkin parametre, $N(0.93, 0.12)$ yerine $N(0.98, 0.03)$ olarak alınmıştır. FCFS ve havuz modellerine ilişkin örnek simülasyon sonuç diyagramları sırasıyla Şekil 4.8 ve 4.9'da görülmektedir. Her iki sistemin tüm koşumlarına ilişkin simülasyon sonuçları ise yine sırasıyla EK-B.3 ve EK-B.4'te verilmiştir.

Simülasyon sonuçlarını özetlemek gerekirse, yeni durumda FCFS modelinde 32 koşuma ilişkin tersine kamçı değeri ortalaması 1.86, envanter değişkenliği ortalaması ise 2204 olmaktadır. Havuz modelinde ise tersine kamçı değeri ortalaması 2.31, ve envanter değişkenliği ortalaması da 1067 olmaktadır.



Şekil 4.8: Üretim belirsizliğinin azaltıldığı durumda FCFS yapısı diyagramı
 (a) Sevkiyat ve fabrikaya iletilen siparişler (üstte)
 (b) Modelde yer alan tüm seviyeler (altta)

Yine her iki modelin mukayeselerini yapmak istediğimizde, üretim belirsizliğinin azaltılması durumunda FCFS yapısının havuz yapısından daha iyi performans gösterdiği hipotezini test etmek gerekecektir. Kısım 4.2.3.3'teki notasyonlar geçerli olmak üzere;

$$\overline{X}_{2,FCFS,RBW} = 1.86 \quad ; \text{tersine kamçı etkisi değerleri ortalaması,}$$

$$s_{2,FCFS,RBW} = 0.90 \quad ; \text{tersine kamçı etkisi değerleri standart sapması,}$$

$$\overline{X}_{2,FCFS,ED} = 2204 \quad ; \text{envanter değişkenliği değerleri ortalaması,}$$

$$s_{2,FCFS,ED} = 609 \quad ; \text{envanter değişkenliği değerleri standart sapmasıdır.}$$

Havuz yapısının sahip olduğu değerler ise;

$$\overline{X}_{2,H,RBW} = 2.31 \quad ; \text{tersine kamçı etkisi değerleri ortalaması,}$$

$$s_{2,H,RBW} = 1.91 \quad ; \text{tersine kamçı etkisi değerleri standart sapması,}$$

$\bar{X}_{2,H,ED} = 1067$; envanter değişkenliği değerleri ortalaması,

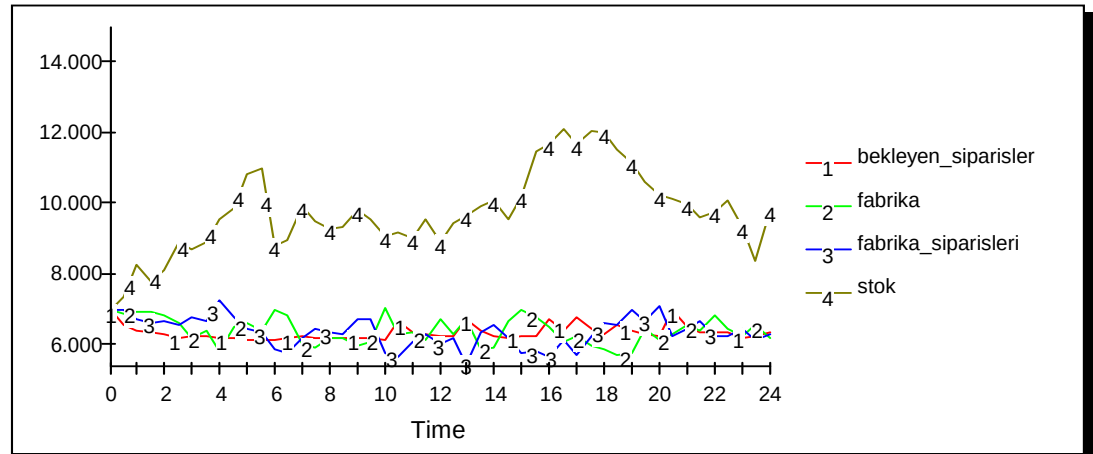
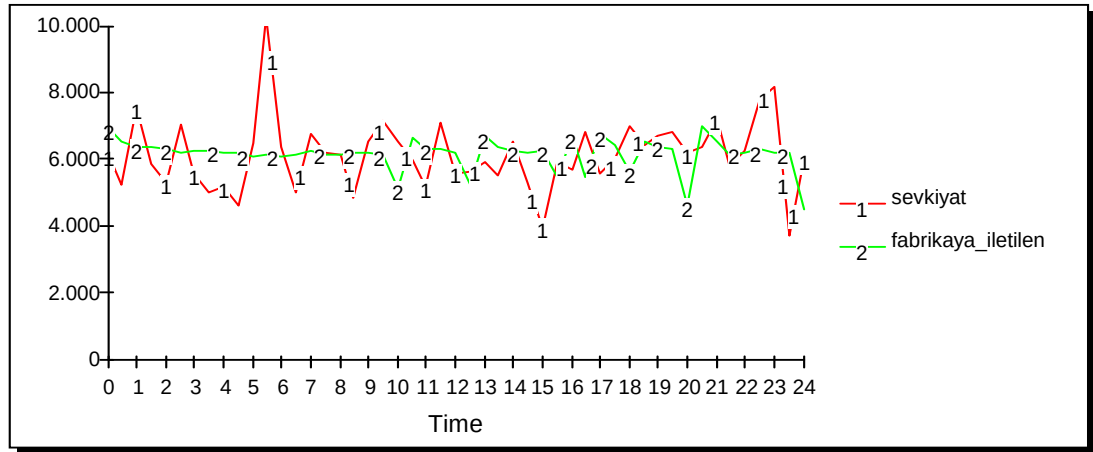
$s_{2,H;ED} = 390$; envanter değişkenliği değerleri standart sapması olmaktadır.

$$H_0 : \mu_{2,H,RBW} = \mu_{2,FCFS,RBW}$$

$$H_1 : \mu_{2,H,RBW} > \mu_{2,FCFS,RBW}$$

$$z = \frac{\bar{X}_{2,H,RBW} - \bar{X}_{2,FCFS,RBW}}{\sqrt{\frac{s_{2,H,RBW}^2}{n_1} + \frac{s_{2,FCFS,RBW}^2}{n_2}}} = \frac{2.31 - 1.86}{\sqrt{\frac{0.90^2 + 1.91^2}{32}}} = 1.211 \quad (4.3)$$

Hesaplanan z değeri, tek taraflı hipotez testlerinde $\alpha = .05$ için kritik z değeri olan 1.64'ten küçük olduğundan H_0 kabul edilecektir. Dolayısıyla, 0.05 anlamlılık düzeyinde iki sistem arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.



Şekil 4.9: Üretim belirsizliğinin azaltıldığı durumda havuz yapısına ilişkin diyagram
(a) Sevkiyat ve fabrikaya iletilen siparişler (üstte)
(b) Modelde yer alan tüm seviyeler (altta)

Benzer testi envanter değişkenliği için de yapacak olursak;

$$H_0 : \mu_{2,H,ED} = \mu_{2,FCFS,ED}$$

$$H_1 : \mu_{2,H,ED} < \mu_{2,FCFS,ED}$$

$$z = \frac{\bar{X}_{2,FCFS,ED} - \bar{X}_{2,H,ED}}{\sqrt{\frac{s_{2,FCFS,ED}^2}{n_1} + \frac{s_{2,H,ED}^2}{n_2}}} = \frac{2204 - 1067}{\sqrt{\frac{609^2}{32} + \frac{390^2}{32}}} = 2.628; \quad (4.4)$$

Hesaplanan z değeri, tek taraflı hipotez testlerinde $\alpha = .05$ için kritik z değeri olan 1.64'ten büyük olduğundan H_0 reddedilecektir. Dolayısıyla, 0.05 anlamlılık düzeyinde havuz sisteminin envanter değişkenliğinin, FCFS sistemine ait envanter değişkenliğinden daha düşük olacağı ifade edilebilir.

Üretime ait belirsizliğin azaltılması durumunda, yine havuz sisteminin FCFS yapısına tercih edilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Zira, tersine kamçı değeri açısından sistemler arasında anlamlı bir fark bulunmamakta, ancak envanter değişkenliği göz önüne alındığında %52'lik bir iyileştirme olduğu görülmektedir.

Bu noktada, belirli bir sistemin önceden tercih edilmiş olması durumunda, üretimdeki belirsizliğin azaltılmasının, o politikanın performansını nasıl etkileyeceğinin de araştırılmasında fayda olacağı düşünülmektedir. Kısacası, her iki politikaya ilişkin her iki performans kriterinin ilk durum ve üretim belirsizliğinin azaltıldığı durum arasındaki farkın test edilmesi gerekmektedir.

FCFS yapısını ele alacak olursak;

$$H_0 : \mu_{FCFS,RBW} = \mu_{2,FCFS,RBW}$$

$$H_1 : \mu_{2,FCFS,RBW} < \mu_{FCFS,RBW}$$

$$z = \frac{\bar{X}_{FCFS,RBW} - \bar{X}_{2,FCFS,RBW}}{\sqrt{\frac{s_{FCFS,RBW}^2}{n_1} + \frac{s_{2,FCFS,RBW}^2}{n_2}}} = \frac{2.38 - 1.86}{\sqrt{\frac{0.92^2}{32} + \frac{0.90^2}{32}}} = 2.284 \quad (4.5)$$

Hesaplanan z değeri, tek taraflı hipotez testlerinde $\alpha = .05$ için kritik z değeri olan 1.64'ten büyük olduğundan H_0 reddedilecektir. Dolayısıyla, 0.05 anlamlılık düzeyinde FCFS sistemine ait tersine kamçı değerinde, üretimdeki belirsizliğin azaltılması durumunda bir iyileştirme olacağı belirtilebilmektedir. İki tersine kamçı ortalamaları dikkate alındığında, %22'lik bir iyileştirme sağlandığı görülmektedir.

Yine FCFS yapısında envanter değişkenliğini inceleyecek olursak,

$$H_0 : \mu_{FCFS,ED} = \mu_{2,FCFS,ED}$$

$$H_1 : \mu_{2,FCFS,ED} < \mu_{FCFS,ED}$$

$$z = \frac{\bar{X}_{2,FCFS,ED} - \bar{X}_{FCFS,ED}}{\sqrt{\frac{s_{FCFS,ED}^2}{n_1} + \frac{s_{2,FCFS,ED}^2}{n_2}}} = \frac{2204 - 2016}{\sqrt{\frac{643^2 + 609^2}{32}}} = 0.357 \quad (4.6)$$

Hesaplanan z değeri, tek taraflı hipotez testlerinde $\alpha = .05$ için kritik z değeri olan 1.64'ten küçük olduğundan H_0 kabul edilecektir. Dolayısıyla, 0.05 anlamlılık düzeyinde FCFS sistemine ait envanter değişkenliğinin üretim belirsizliğinin azaltılması ile değişmediği söylenebilir.

Havuz sistemini ele alacak olduğumuzda ise, tersine kamçı değeri için;

$$H_0 : \mu_{H,RBW} = \mu_{2,H,RBW}$$

$$H_1 : \mu_{2,H,RBW} > \mu_{H,RBW}$$

$$z = \frac{\bar{X}_{2,H,RBW} - \bar{X}_{H,RBW}}{\sqrt{\frac{s_{H,RBW}^2}{n_1} + \frac{s_{2,H,RBW}^2}{n_2}}} = \frac{2.31 - 1.76}{\sqrt{\frac{1.91^2 + 1.15^2}{32}}} = 1.40 \quad (4.7)$$

Hesaplanan z değeri, tek taraflı hipotez testlerinde $\alpha = .05$ için kritik z değeri olan 1.64'ten küçük olduğundan H_0 kabul edilecektir. Dolayısıyla, 0.05 anlamlılık düzeyinde havuz sistemine ait tersine kamçı değerinin, üretim belirsizliğinin azaltılması ile değişmediği söylenebilir.

Yine havuz sisteminde envanter değişkenliği için;

$$H_0 : \mu_{H,ED} = \mu_{2,H,ED}$$

$$H_1 : \mu_{2,H,ED} < \mu_{H,ED}$$

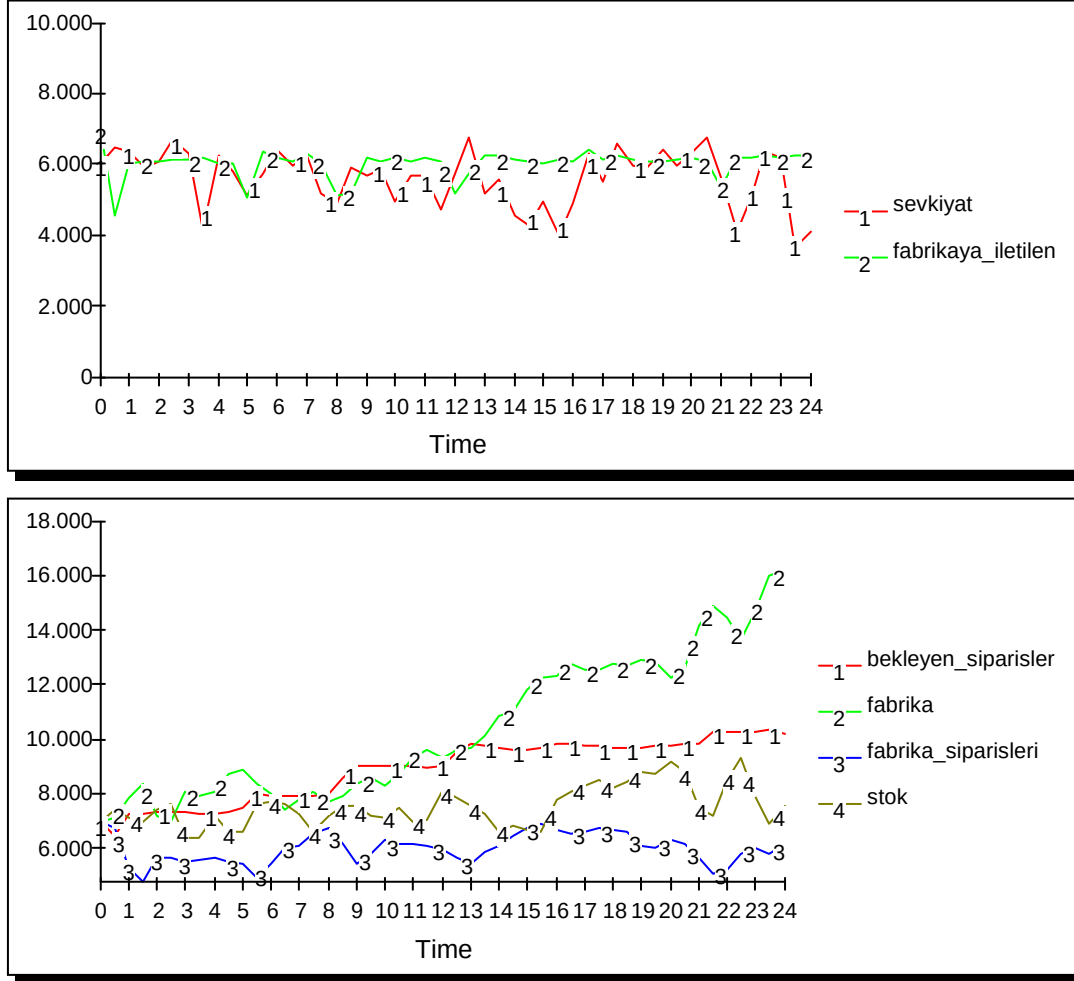
$$z = \frac{\bar{X}_{H,ED} - \bar{X}_{2,H,ED}}{\sqrt{\frac{s_{H,ED}^2}{n_1} + \frac{s_{2,H,ED}^2}{n_2}}} = \frac{1561 - 1067}{\sqrt{\frac{644^2 + 390^2}{32}}} = 1.479 \quad (4.8)$$

Hesaplanan z değeri, tek taraflı hipotez testlerinde $\alpha = .05$ için kritik z değeri olan 1.64'ten küçük olduğundan H_0 kabul edilecektir. Dolayısıyla, 0.05 anlamlılık düzeyinde havuz sistemine ait envanter değişkenliğinin de, üretim belirsizliğinin azaltılması ile değişmediği ifade edilebilir.

Kısacası, üretim belirsizliğinin azalması, FCFS yapısının tersine kamçı değerinde azalma sağlarken envanter değişkenliğinde anlamlı bir fark yaratmamaktadır. Havuz sisteminde ise, her iki performans kriterine ait değerler de değişmemektedir.

4.2.4.2 Sevkiyat belirsizliğinin azaltılması

Sevkiyat belirsizliğinin azaltıldığı durumda sevkiyat trendi değişkenine ilişkin parametre, $N(6200, 1000)$ yerine $N(6500, 300)$ olarak alınmıştır. FCFS ve Havuz modellerine ilişkin örnek simülasyon sonuç diyagramları sırasıyla Şekil 4.10 ve 4.11'de görülmektedir. Her iki sistemin tüm koşumlarına ilişkin simülasyon sonuçları ise yine sırasıyla EK-B.5 ve EK-B.6'te verilmiştir.



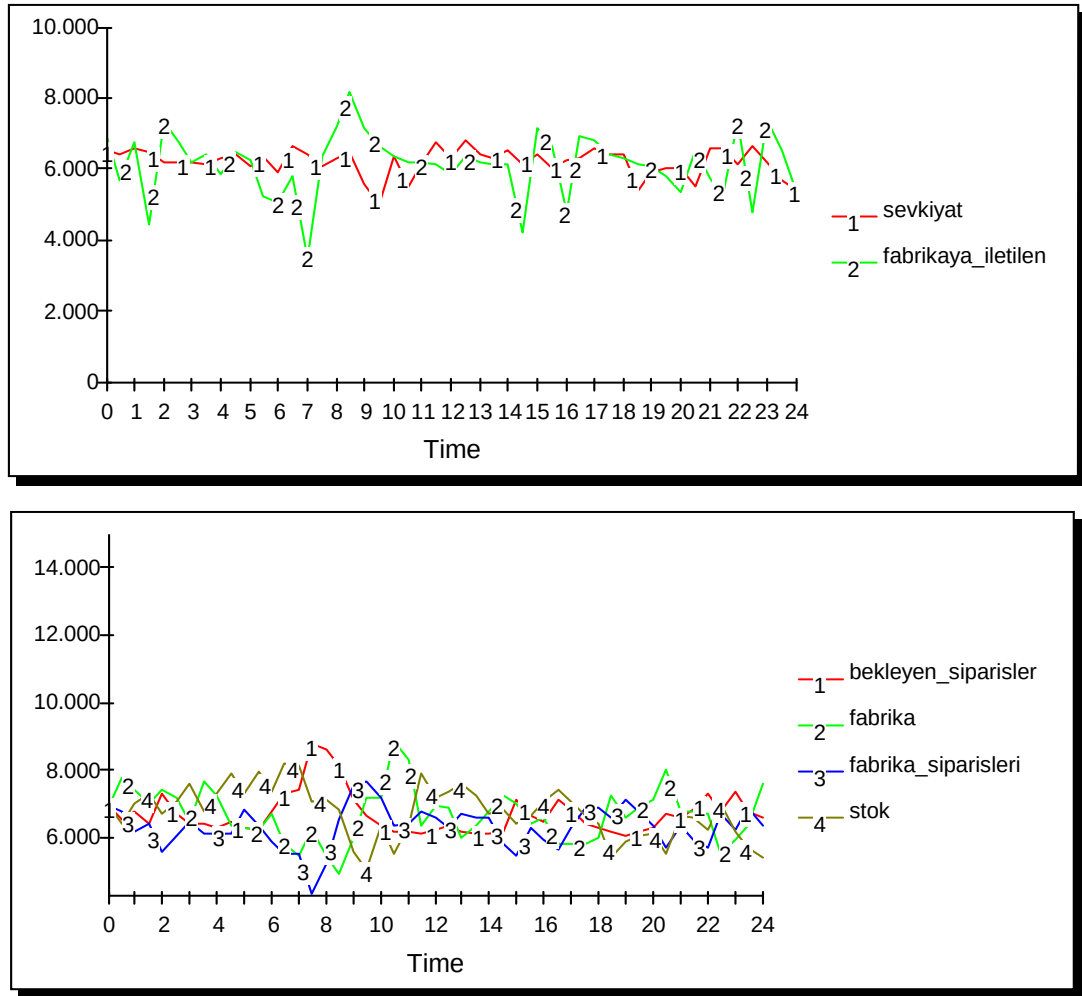
Şekil 4.10: Sevkiyat belirsizliğinin azaltıldığı durumda FCFS yapısı diyagramı
(a) Sevkiyat ve fabrikaya iletilen siparişler (üstte)
(b) Modelde yer alan tüm seviyeler (altta)

Simülasyon sonuçlarını özetlemek gerekirse, yeni durumda FCFS modelinde 32 koşuma ilişkin tersine kamçı değeri ortalaması 2.53, envanter değişkenliği ortalaması ise 804 olmaktadır. Havuz modelinde ise tersine kamçı değeri ortalaması 0.22, ve envanter değişkenliği ortalaması da 713 olmaktadır.

Bu sonuçlarda en dikkat çekici husus, havuz sistemindeki tersine kamçı değeri olmaktadır. 1'den küçük olan tersine kamçı değeri, aşıkarak sistemde *kamçı etkisinin* görüldüğünü göstermektedir. Bu durumda kamçı değeri;

$$BW = \frac{1}{0.22} = 4.48 \quad \text{olarak ortaya çıkmaktadır.}$$

Bölüm 3'te belirtildiği üzere, literatürde genellikle her aşamada 2:1 oranında talep kuvvetlenmesi gerçekleşmektedir. Bu durumda bulunan kamçı değerinin, incelenen sistemin tek aşamalı olduğu ve sadece dağıtım yapısını içerdiği düşünülürse oldukça yüksek olduğu rahatlıkla söylenebilir.



Şekil 4.11: Sevkiyat belirsizliğinin azaltıldığı durumda havuz yapısı diyagramı
(a) Sevkiyat ve fabrikaya iletilen siparişler (üstte)
(b) Modelde yer alan tüm seviyeler (altta)

Havuz yapısı kamçı özelliği gösterdiğinden, FCFS yapısı ile bir mukayese yapmak anlamlı olmayacaktır. Ancak, sevkiyat belirsizliğinin FCFS yapısının performansı üzerinde olumlu bir etkisi olup olmadığını yine de incelemek gerekmektedir.

$$\overline{X}_{3,FCFS,RBW} = 2.53 \quad ; \text{tersine kamçı etkisi değerleri ortalaması,}$$

$$s_{3,FCFS,RBW} = 1.21 \quad ; \text{tersine kamçı etkisi değerleri standart sapması,}$$

$$\overline{X}_{3,FCFS,ED} = 804 \quad ; \text{envanter değişkenliği değerleri ortalaması,}$$

$s_{3,FCFS,ED} = 251$; envanter değişkenliği değerleri standart sapması olmak

üzere, tersine kamçı etkisinin analizi için;

$$H_0 : \mu_{FCFS,RBW} = \mu_{3,FCFS,RBW}$$

$$H_1 : \mu_{3,FCFS,RBW} > \mu_{FCFS,RBW}$$

$$z = \frac{\bar{X}_{3,FCFS,RBW} - \bar{X}_{FCFS,RBW}}{\sqrt{\frac{s_{FCFS,RBW}^2}{n_1} + \frac{s_{3,FCFS,RBW}^2}{n_2}}} = \frac{2.53 - 2.38}{\sqrt{\frac{0.92^2}{32} + \frac{1.21^2}{32}}} = 0.556 \quad (4.9)$$

Bulunan z değeri, tek taraflı hipotez testlerinde $\alpha = .05$ için kritik z değeri olan 1.64'ten küçük olduğundan H_0 kabul edilecektir. Dolayısıyla, 0.05 anlamlılık düzeyinde FCFS sistemine ait tersine kamçı değerlerinin, sevkiyat belirsizliğinin azaltılması ile değişmediği söylenebilir.

Yine FCFS sisteminde envanter değişkenliğinin analizi için;

$$H_0 : \mu_{FCFS,ED} = \mu_{3,FCFS,ED}$$

$$H_1 : \mu_{3,FCFS,ED} < \mu_{FCFS,ED}$$

$$z = \frac{\bar{X}_{FCFS,ED} - \bar{X}_{3,FCFS,ED}}{\sqrt{\frac{s_{FCFS,ED}^2}{n_1} + \frac{s_{3,FCFS,ED}^2}{n_2}}} = \frac{2016 - 804}{\sqrt{\frac{643^2}{32} + \frac{251^2}{32}}} = 3.157 \quad (4.10)$$

Hesaplanan z değeri, tek taraflı hipotez testlerinde $\alpha = .05$ için kritik z değeri olan 1.64'ten büyük olduğundan H_0 kabul edilmeyecektir. Dolayısıyla, 0.05 anlamlılık düzeyinde FCFS sistemine ait envanter değişkenliğinin üretim belirsizliğinin azaltılması ile azaldığı belirtilebilir. Bu durumda envanter değişkenliğinde %60'lık bir azalma sağlanmış olacaktır.

4.3 Sonuçların Yorumlanması

4.3.1 Çalışmanın özeti

Sipariş için üretim sistemine ilişkin simülasyon çalışmasında, iki temel politika, çeşitli koşullara bağlı parametreler ışığında analiz edilmiştir.

Bu politikalar siparişlerin ilk gelen servis edilir prensibiyle önceliklendirildiği FCFS yapısı ile havuzlandıkları yapılar olup, mevcut durumda ve üretim ile sevkiyat belirsizliklerinin azaltıldığı durumlardaki performansları incelenmiştir. Performans

kriterleri ise (tersine) kamçı etkisi ve envanter değişkenlikleridir (Disney ve Towill, 2006).

Bu performans kriterlerine göre sistemlerin her üç durumda (mevcut durum, üretim belirsizliğinin azaltılması, ve sevkiyat belirsizliğinin azaltılması) almış oldukları değerler Çizelge 4.5'te, istatistiksel olarak anlamlı olan iyileştirmeler ise Çizelge 4.6'da özetlenmiştir.

Bu sonuçlardan yola çıkılarak sisteme ilişkin bazı yorumlar yapmak mümkün olmaktadır.

Çizelge 4.5: Simülasyon sonuç özetleri - ortalamalar

Yapı	Mevcut Durum		Üretim Belirsizliğinin Azaltıldığı Durum		Sevkiyat Belirsizliğinin Azaltıldığı Durum	
	RBW	ED	RBW	ED	RBW	ED
FCFS	2.38	2016	1.86	2204	2.53	804
Havuz	1.76	1561	2.31	1067	0.22(!)	713
Havuz ve FCFS yapıları arasındaki fark	%35	-	-	%106	-	-

Mevcut durumda, siparişlerin havuzlandığı yapı, FCFS yapısına göre daha etkindir. Zira, sistemlerin envanter değişkenlikleri arasında anlamlı bir fark olmamasına rağmen, tersine kamçı değerleri açısından havuz sistemi %35'lik bir iyileştirme sağlamaktadır.

Üretim belirsizliğinin azaltılması durumunda ise, tersine kamçı değerleri anlamlı bir fark göstermemekte, ancak envanter değişkenliği ele alındığında havuz sistemi %106'lık bir iyileştirme göstereceğinden yine tercih edilmesi gereken sistem olmaktadır.

Çizelge 4.6: Parametre analizinde sağlanan sistem bazlı iyileştirmeler

Yapı	Mevcut Duruma Göre Üretim Belirsizliğinin Azaltılması		Mevcut Duruma Göre Sevkiyat Belirsizliğinin Azaltılması	
	RBW	ED	RBW	ED
FCFS	%22	-	-	%60
Havuz	-	-	Kamçı	-

Üretim belirsizliğinin azaltıldığı durumda, FCFS yapısına ilişkin tersine kamçı değerinde ortalama %22'lik bir iyileştirme sağlanmakta, ancak envanter değişkenliği için anlamlı bir iyileştirme belirtilememektedir. Havuz sisteminin mevcut durum değerleri ile üretim belirsizliğinin azaltılması durumundaki değerleri açısından anlamlı bir fark yoktur.

Sevkiyat belirsizliğinin azaltıldığı durumda ise; havuz sistemi, kamçı davranışı göstermeye başlamaktadır. Üstelik elde edilen kamçı değeri, literatürde yer alan ortalamalara göre oldukça büyük olmaktadır (Disney ve Towill, 2006). Bu durumda, FCFS yapısı tercih edilmesi gereken yapı olarak ortaya çıkmaktadır.

FCFS yapısında ise, sevkiyat belirsizliğinin azaltılması ile birlikte, tersine kamçı değerinde anlamlı bir iyileştirme gözlemlenmemekle birlikte, envanter değişkenliğinde ortalama %60'lık bir iyileştirme sağlandığı saptanmaktadır.

4.3.2 Sonuç ve öneriler

Bütün bu veriler ışığında sisteme ilişkin bulgular özetlenecek olursa;

- Literatürde yer alan kamçı incelemelerinin birçoğundan farklı olarak; tedarik zinciri boyunca bir aşamadan diğerine iletilen siparişler yerine dağıtım zinciri incelenmiş; ve kamçı değeri olarak siparişler ile sevkiyat adetlerinin değişkenliklerinin oranı ele alınmıştır. Üretim değişkenliğinin sevkiyat değişkenliğine oranının kamçı değeri olarak kullanılmasına Torres ve Morán (2006)'ın çalışmalarında rastlanılmaktadır.
- İncelenen zincir, bir sipariş için üretim sistemi olmasına rağmen, üretim ve sevkiyatlardaki belirsizliklerin sistemi domine etmesi neticesinde arz bazlı bir sisteme dönüşmekte, ve tersine kamçı davranışı göstermektedir. Sistem, çekme sistemi iken, üretimden çıkanların sevk edildiği yada ekonomik sevkiyat miktarına ulaşınca sevkiyat gerçekleştirilen bir itme sistemine dönüşmektedir.
- Ancak Hull'ın (2005) arz bazlı sistemler için tanımladığı "alternatif dağıtım kanallarına yönelmede esneklik" özelliği ürün nitelikleri gereği olmadığından, bekleyen sipariş, sipariş iptalleri, ve stok tutma oldukça riskli olmaktadır.
- Bu koşullarda sipariş verme yapıları mukayese edildiğinde, havuz yapısının FCFS yapısına göre daha iyi performans sergilediği gözlemlenmektedir.
- Üretim belirsizliğinde azalma sağlandığında dahi, havuz yapısının tercih edilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.
- Sevkiyat belirsizliği azaltıldığında havuz yapısı kamçı davranışı göstermeye başlamaktadır. Bu noktadan hareketle, sipariş için üretim sisteminin arz bazlı hale gelmesini sağlayan temel etkenin sevkiyatlara ilişkin belirsizlik olduğu söylenebilir.

- Sevkiyat belirsizliğinde azalma olması durumunda FCFS yapısının tersine kamçı değerinde bir fark olmamakla birlikte, envanter değişkenliğinde önemli iyileştirmeler sağlanmaktadır.

Bu sonuçların ardından, ileriki çalışmalara ilişkin öneriler de şu şekilde özetlenebilir:

- Sipariş için üretim sistemini arz bazlı hale getiren görünen sebep sevkiyat belirsizliği olmakla beraber, başka sebeplerin varlığının araştırılması faydalı olacaktır.
- Havuz ve FCFS yapılarının tercihi için, üretim ve sevkiyat belirsizliklerine ilişkin kritik parametre değerlerinin araştırılması, yorumların daha da derinleştirilebilmesine imkan sağlayacaktır.
- Simülasyonda sevkiyat belirsizliği olarak verilen ve geçmiş sevkiyat verilerinden elde edilen değişkenin alt bileşenlerini de içeren daha detaylı bir modelleme yapılarak, (tersine) kamçı değerlerine olan etkilerini ortaya koyan bir çalışma gerçekleştirilebilir.
- Özellikle siparişlerin, kapasite değerinden yüksek olduğu durumlarda, miktar belirleme etkisi de devreye girebilir ve (tersine) kamçının oluşmasında önemli bir rol oynayabilir. Bu durumun önüne geçmek için kapasite tahsisinde distribütörlere ilişkin tahmin tutarlılığı da dikkate alınabilir. Kapasite tahsis problemi, başlı başına bir araştırma ve inceleme konusu olmakla birlikte, literatürde çok fazla tedarikçi ve bayi sayısı belirleme ve performans değerlendirme çalışması yer almakta, ve bu çalışmalarda özellikle *veri zarflama analizi* ile *bulanık analitik hiyerarşi prosesi* tekniklerinin kullanıldığı görülmektedir (Çebi ve Bayraktar, 2003; Kahraman, Cebeci ve Ulukan, 2003; Liao ve Chen, 2002, Rickards, 2003; Seydel, 2006; Suntornsaratoon, Newton ve Lewis, 1999; Weber, 1996; Weber, Current ve Desai, 2000).
- Sipariş için üretim sistemi analiz edilmesine karşın, bazı spesifik ürünlerde yer alan özel hammaddelerin tedarik zamanlaması açısından talep tahminlerinin de önemli rol oynadığı durumlar olabilmektedir. Bu tahminleri içeren genişletilmiş bir model oluşturulabilir.
- Son olarak; simülasyonlardaki seviyelere ilişkin ilk değerlerin, kapasite değişkeninin ortalama değeri olan 7000 olarak seçildiği ve simülasyonların 0.5 koşum adımı ile çalıştırıldığı unutulmamalıdır. Yukarıda özetlenen sonuçlar; fiili durum esas alınarak belirlenen bu şartlar altında geçerli olup,

genel bir yargıya varmak için, farklı ilk değer ve koşum adımları için denemeler yapılması gerekeceği belirtilmelidir.

5.2 Uygulamanın Gerçekleştirildiği Şirkete İlişkin Genel Bilgiler

5.2.1 Rakamlarla firma verileri

Kamçı etkisinin incelenmesi amaçlı ikinci bir uygulama, ev yaşamına yönelik dayanıklı tüketim malları ve komponentleri üretimi, pazarlama ve satış sonrası servis hizmeti yapan bir şirkette gerçekleştirilecektir.

Dünya genelinde 18 binden fazla çalışanı olan firma, 2007 yılı verilerine göre 1.9 milyar avrosu uluslararası satış olmak üzere 3.7 milyar avro konsolide net satışa ulaşmıştır. Çeşitli pazarlar, marka konumlaması ve sektörlerle göre firmanın 10 adet ulusal ve uluslararası markası bulunmaktadır.

5.2.2 Üretim ve dağıtım merkezleri

Firmanın Türkiye, Romanya, Rusya ve Çin'de olmak üzere toplam 10 adet üretim merkezi vardır.

Eskişehir'de buzdolabı ve buzdolabı kompresörleri, Çin'de ve İstanbul Tuzla'da çamaşır makinası, Ankara'da bulaşık makinası, Bolu'da pişirici cihazlar, Tekirdağ Çerkezköy'de çamaşır kurutma makinaları ve elektrik motorları, Romanya'da soğutucu cihazlar, ve Rusya'da buzdolabı ve çamaşır makinaları üretilmektedir.

Üretim merkezlerine ilave olarak firmanın; Almanya, Avusturya, Çek Cumhuriyeti, İspanya, Fransa, İngiltere, İtalya, Macaristan, Slovakya ve Polonya'da satış ve dağıtım şirketleri bulunmaktadır.

5.2.3 Tarihçe

Firmanın kuruluşundan bugüne kadar bazı önemli gelişmeler şu şekilde sıralanmaktadır:

- 1955 : Firmanın kuruluşu
- 1959 : Türkiye'de ilk çamaşır makinasının üretimi
- 1960 : Türkiye'de ilk buzdolabı üretimi
- 1968 : Üretim tesisinin İstanbul Çayırova'ya taşınması
- 1975 : Eskişehir'de buzdolabı üretimine başlanması
- 1977 : Pişirici ve ısıtıcı cihazlar şirketinin kurulması
Kompresör üretimine başlanması
- 1979 : İzmir'de elektrikli süpürge üretimine başlanması
- 1991 : Ar-Ge merkezinin ve tüketici danışma servisinin kurulması

- 1993 : Ankara'da bulaşık makinası üretimine başlanması
- 1996 : İstanbul'da klima üretimine başlanması
- 1997 : Ulusal Kalite Büyük Ödülü'nün alınması
- 1998 : Altı Sigma metodolojisi uygulamasına başlanması
- 1999 : Pişirici cihazlar, komponent üretimi ve pazarlama şirketlerinin tek bir bünye altına toplanması
- 2000 : Avrupa Kalite Başarı Ödülü'nün (EFQM) alınması
- 2001 : Elektrikli süpürge ve motor ve pompa üretimlerinin birleştirilerek Çerkezköy'e taşınması
- 2002 : İngiltere buzdolabı pazarında lider konuma yükselmesi
İngiltere, Almanya, Avusturya ve Romanya'da 6 markanın şirket bünyesine katılması
- 2003 : Financial Times tarafından Türkiye'nin en iyi şirketi seçilmesi
- 2004 : Rusya'ya yatırım kararı alınması
Buzdolabı ve çamaşır makinası üretim tesislerinin TPM mükemmellik ödülü alması
- 2005 : Türkiye'de ilk yerli çamaşır kurutma makinasının üretimi
Rusya tesisinin temelini atılması
- 2006 : Türkiye'den Çin'e ilk bulaşık ve çamaşır makinası ihracatının gerçekleştirilmesi
Rusya'da çamaşır makinası üretimine başlanması
Tüketici elektroniği alanında faaliyet gösteren şirketin hisselerinin alınması

5.2.4 Ürün gamı

5.2.4.1 Temel dayanıklı tüketim malları

Bu gruba giren ürünler buzdolapları, dondurucular, çamaşır makinaları, kurutucular, bulaşık makinaları, fırınlar, mini ve midi fırınlar, mikrodalga fırın ve ocaklardır.

5.2.4.2 Küçük ev aletleri

Elektrik süpürgeleri, elektrikli mutfak gereçleri, ütü, vantilatör, ve kişisel bakım ürünleri bu grup dahilinde yer almaktadır.

5.2.4.3 Tüketici elektroniği

Televizyonlar, video ve DVD oynatıcılar, uydu sistemleri, müzik setleri, telefonlar, bilgisayarlar ve faks makinaları bu grubu oluşturmaktadır.

5.2.4.4 Ankastre ürünler

Ankastre buzdolabı, bulaşık makinaları, fırınlar, davlumbaz ve pişiricilerden oluşmaktadır.

5.2.4.5 Isıtma ve havalandırma ürünleri

Klimalar, termosifonlar, şofbenler ve ısıtıcılar bu grup dahilinde yer alan ürünlerdir.

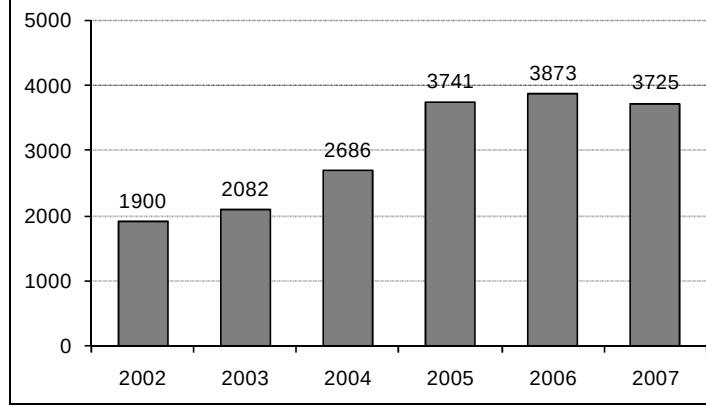
5.2.4.6 Komponentler

Kompresörler, genel maksatlı elektrik motorları ve beyaz eşya motor ve pompaları bu grubu oluşturmaktadır.

5.2.5 Finansal ve üretime ait veriler

Bu bölümde firmaya ilişkin bazı önemli finansal değerler ile Türkiye’de üretimi gerçekleştirilen dört ürün grubuna ait üretim kapasiteleri verilecektir.

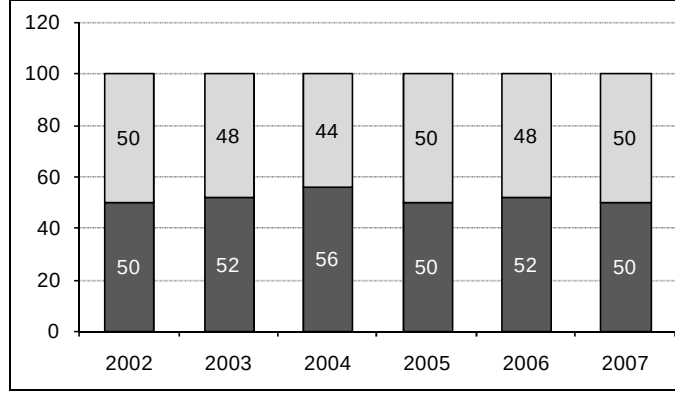
Şekil 5.4’de firmanın konsolide cirosunun yıllar içindeki dağılımı verilmiştir. Değerler incelendiğinde özellikle son 5 yılda firmanın cirosal olarak 2 katına çıktığı, yani hızlı bir büyüme gösterdiği görülmektedir.



Şekil 5.4: Konsolide ciro (milyon avro)

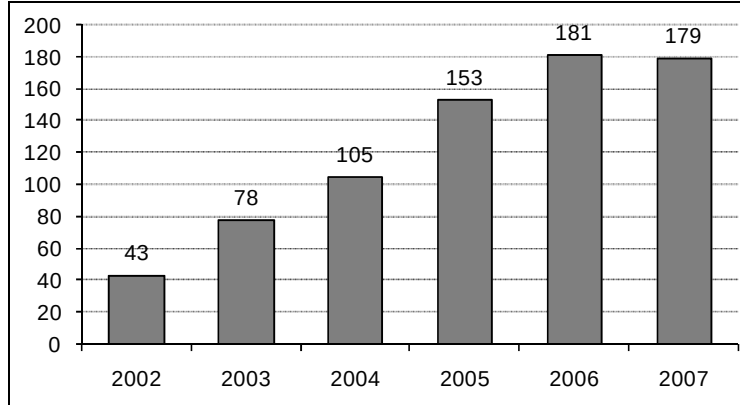
Şekil 5.5’de ise cironun Türkiye ve İhracat pazarlarına göre dağılımı verilmektedir. Cironun stabil bir şekilde yurtiçi ve yurtdışı satışlar arasında yarı yarıya dağıldığı gözlemlenmektedir.

Şekil 5.6’te ise yıllar itibariyle şirketin yapmış olduğu yatırım harcamaları yer almaktadır. Son beş yılda yaklaşık altı katına çıkan harcamaların 200 milyon avro seviyesine geldiği görülmektedir. Bu önemli artışın, şirketin inovasyon odaklılık ve teknolojik liderlik olarak ortaya koyduğu stratejik hedeflerin bir yansıması olduğu söylenebilir.



Şekil 5.5: Cironun pazar bazlı dağılımı (%), ■ ihracat; ■ yurtiçi)

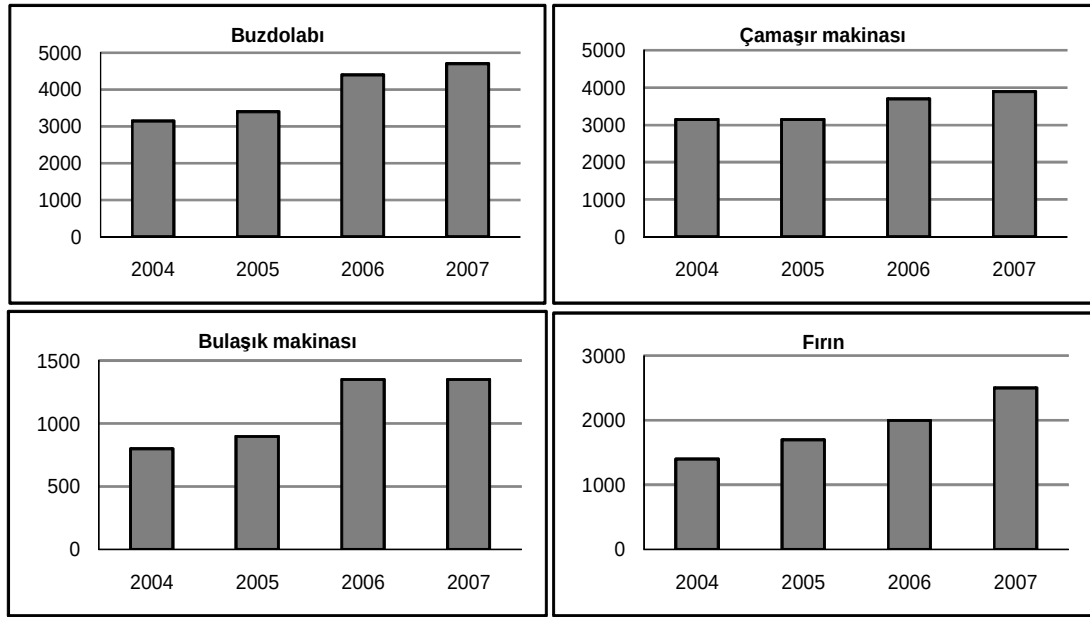
Bu yatırımlar arasında Rusya'da kurulan ve yıllık 900 bin adet buzdolabı ve çamaşır makinası ile 750 bin adet televizyon üretim kapasitesine sahip fabrika, Çin'de kurulan ve yıllık 200 bin adet üretim kapasitesine sahip fabrika, yıllık 400 bin adet üretim kapasitesine sahip ve İstanbul'da yer alan çamaşır kurutma makinası fabrikası, ve Romanya'daki fabrikada devreye giren yıllık 400 bin adet kapasiteli sandık tipi soğutucu üretim hattı yer almaktadır.



Şekil 5.6: Yatırım harcamaları (milyon avro)

Şirketin Türkiye'de bulunan üretim tesisleri incelenecek olduğunda, özellikle dört ana ürün grubu için (buzdolabı, çamaşır makinası, bulaşık makinası ve fırın) üretim kapasite değerlerinin önem kazandığı göze çarpmaktadır. Şekil 5.7'te yıllara göre üretim kapasite değerleri verilmektedir. Taleplerdeki artış ve büyüme stratejisine uygun olarak, 4 yıl içerisinde buzdolabı üretim kapasitesinde %50'lik bir artış olduğu görülmektedir.

Çamaşır makinası üretiminde de son dört yıl içerisinde yaklaşık %20'lik bir kapasite artışı görülmektedir. Bulaşık makinasına ilişkin üretim kapasite değerlerinin yine dört yıllık zaman diliminde yaklaşık iki katına çıktığı gözlemlenmektedir. Önemli bir üretim kapasitesi artışı da fırın üretiminde meydana gelmiştir. Bu ürün grubuna ilişkin kapasite de dört yıl içerisinde yaklaşık iki katına çıkmıştır.



Şekil 5.7: Üretim kapasite değerleri (bin adet)

5.2.6 Uluslararası dağıtım sistemi

5.2.6.1 Genel yapı ve organizasyon

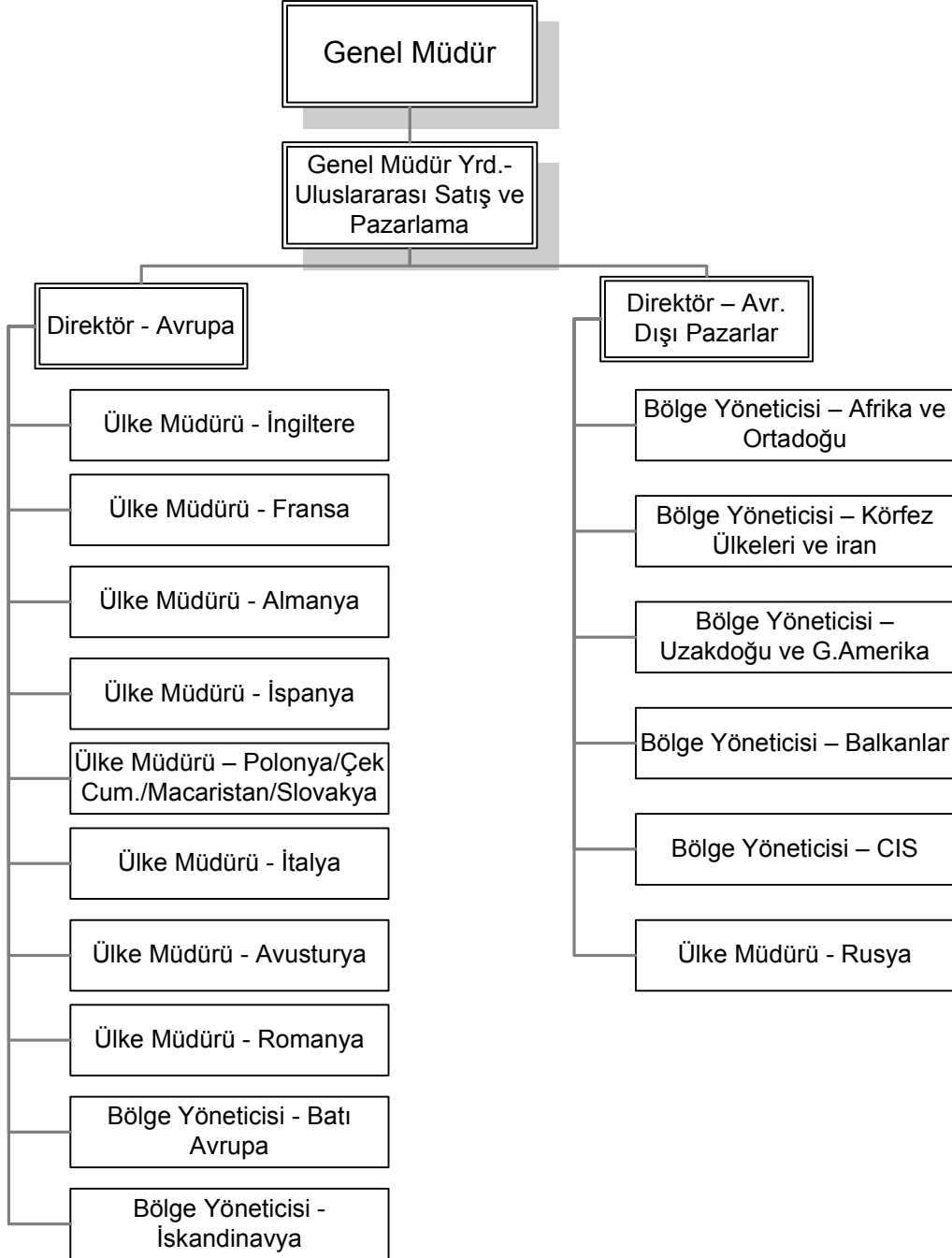
Firmanın uluslararası dağıtım sistemi, bölgesel ayrıma dayanmaktadır. İhracat işlemleri, faaliyet gösterilen pazarlar baz alınarak Avrupa ve Avrupa Dışı olmak üzere iki ayrı bölüme ayrılmaktadır.

Avrupa; firmanın satış şirketlerinin yer aldığı pazarlar (İngiltere, Fransa, Almanya, İspanya, Polonya, Macaristan, Çek Cumhuriyeti, Slovakya, İtalya, Avusturya, ve Romanya), Batı Avrupa (ABD, Belçika, Faroe Adaları, İsviçre, Malta, Portekiz, ve Avrupa'daki diğer üreticilere gönderilen özel markalı ürünler (*private label* - PL) satışları, İskandinavya (Danimarka, Finlandiya ve İsveç) departmanlarından oluşmaktadır.

Avrupa dışı pazarlar ise Afrika ve Ortadoğu (Angola, Benin, Cezayir, Etiyopya, Fas, Fildişi Sahili, Güney Afrika, Gabon, Gana, Irak, İsrail, Kongo, Libya, Lübnan, Mısır, Moritanya, Nijerya, Senegal, Sudan, Suriye, Togo, Tunus, Ürdün), Körfez ülkeleri ve İran (Birleşik Arap Emirlikleri, İran, Katar, KKTC, Kuveyt, Yemen), Uzakdoğu ve Güney Amerika (Arjantin, Avustralya, Çin, Filipinler, Güney Kore, Hindistan, Hong Kong, Moğolistan, Nepal, Peru, Singapur, Şili, Yeni Zelanda), Balkanlar (Arnavutluk, Bosna-Hersek, Bulgaristan, Hırvatistan, Kosova, Slovenya, Sırbistan, Karadağ, Yunanistan), CIS (Bağımsız Devletler Topluluğu ve yakın ülkeler – Azerbaycan, Afganistan, Estonya, Gürcistan, Kazakistan, Litvanya, Özbekistan, Türkmenistan,

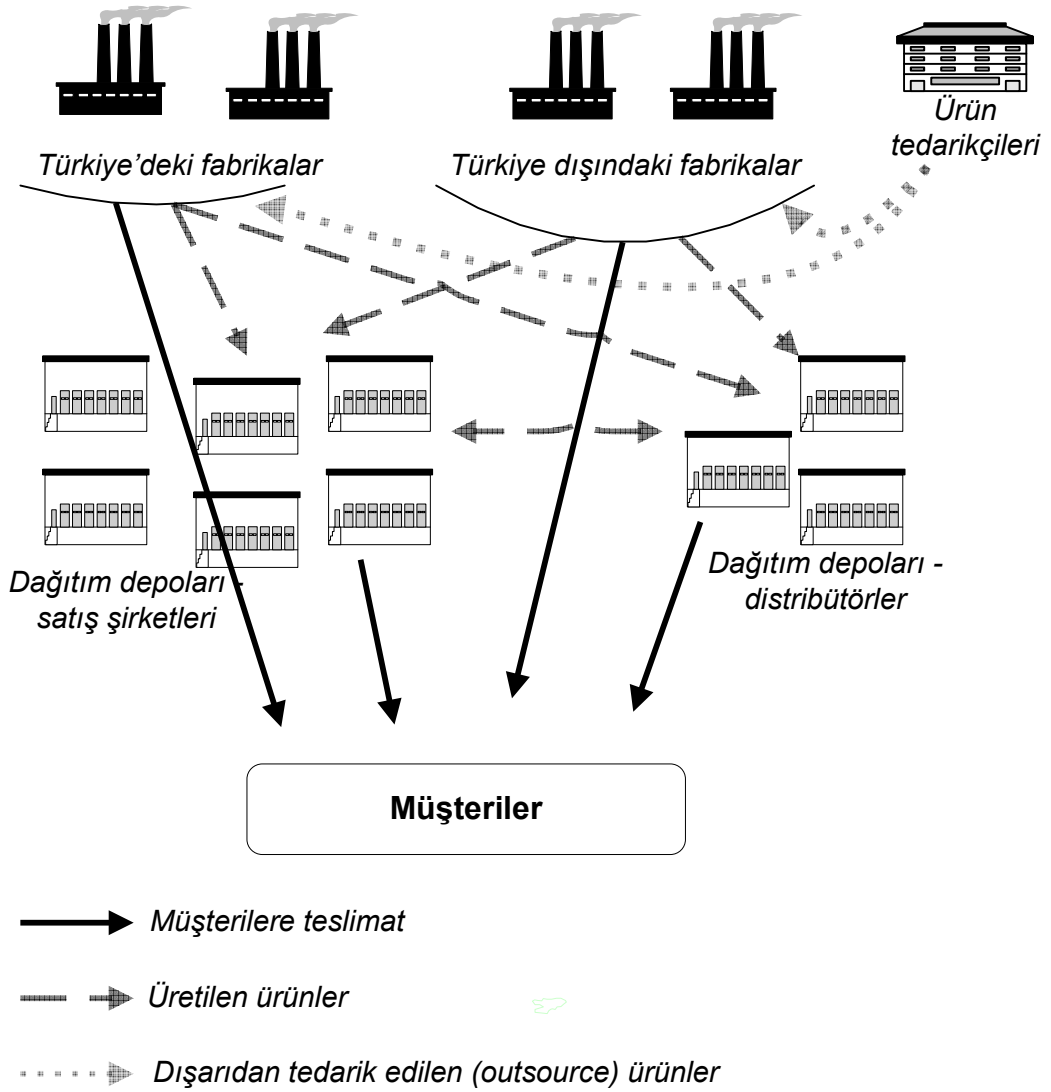
Ukrayna), ve Rusya (Avrupa Dışı Pazarlar dahilindeki tek üretim ve satış şirketi) departmanlarından oluşmaktadır.

Uluslararası dağıtıma ilişkin organizasyon şeması Şekil 5.8'de görülmektedir.



Şekil 5.8: Uluslararası satış ve pazarlama organizasyon şeması

Firmanın uluslararası dağıtım sisteminin gösterimi ise Şekil 5.9'da verilmektedir.

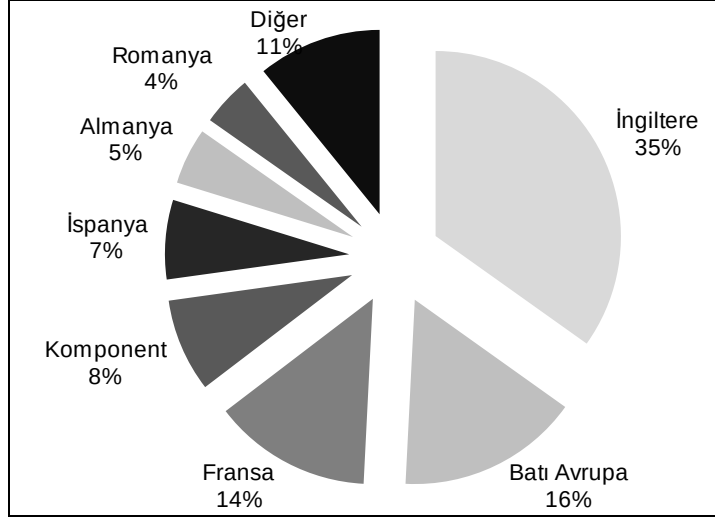


Şekil 5.9: Uluslararası dağıtım yapısı

5.2.6.2 Pazar bazlı ayırım

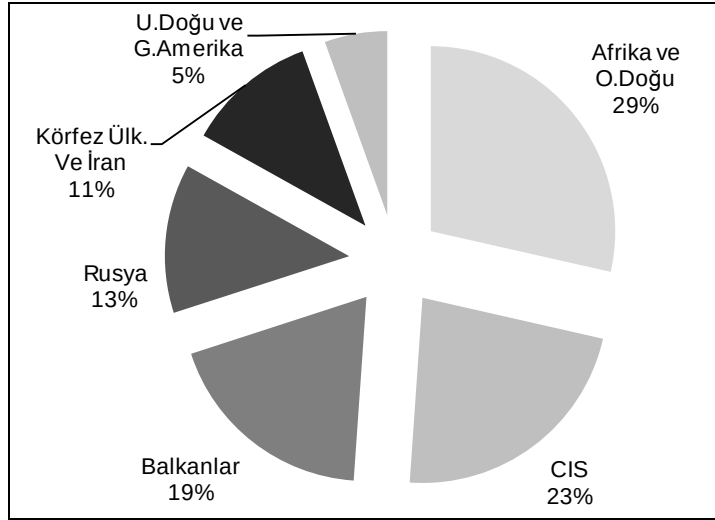
Firmanın 2007 yılı ihracat verileri ele alındığında, toplam ihracatın %60'ının Avrupa, %40'ının ise Avrupa dışı pazarlara gerçekleştiği görülmektedir.

Avrupa satışları ve Avrupa dışı pazarlara ilişkin ihracat rakamlarının kendi içlerindeki dağılımları ise sırasıyla Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'de verilmiştir.



Şekil 5.10: Uluslararası satışlar (Avrupa)

Dağılımlara ilave olarak, genel ihracat rakamlarına göre pazarlar hakkında bilgi verilecek olursa, Türkiye'den gerçekleştirilen ihracat toplamında ilk sırayı yaklaşık 214 milyon avro ile İngiltere'nin aldığı görülmektedir. Daha sonra ise 110 milyon avroluk cirosuyla Afrika ve Ortadoğu bölgesinin geldiği ortaya çıkmaktadır.

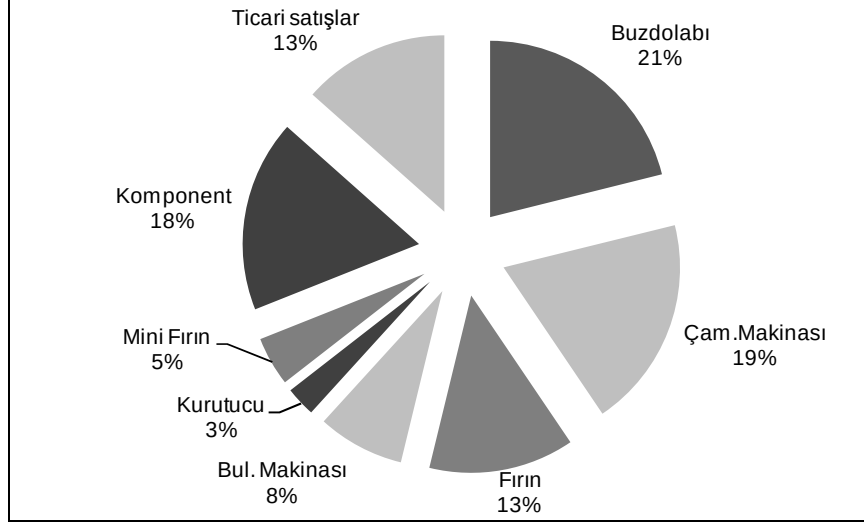


Şekil 5.11: Uluslararası satışlar (Avrupa dışı)

5.2.6.3 Ürün bazlı ayırım

Firmanın 2007 yılı sonu itibariye toplam uluslararası satış adedi 8,885,880 olarak gerçekleşmiştir. Bu toplam dahilinde, firmanın kendi üretimi olan ürünler ile birlikte dışarıdan tedarik edilen (outsorce) ve ticari ürünler olarak adlandırılan malzemeler de bulunmaktadır.

Bu malzemeler; klima, elektrikli süpürge, tüketici elektroniği ve su ısıtıcılarından oluşmaktadır. Ürünlerin adetsel toplamının yüzdesel dağılımı Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.12: Uluslararası satışlar (adet bazlı yüzdesel dağılım)

5.3 Tedarik Zinciri Yapısı

Firmanın tedarik zinciri sistemi; sipariş yönetimi, tahminleme ve talep planlama, envanter yönetimi, depo ve depo ağı yönetimi, üretim planlama, tedarik zinciri maliyetleme, ve ERP entegrasyonu modüllerini baz almaktadır.

İlerleyen bölümlerde bu modüllerin detaylı açıklamaları verilmektedir.

5.3.1 Sipariş yönetimi

Sipariş yönetimi için mevcut durumda herhangi bir kural yapısı bulunmamaktadır. Bu nedenle, müşteri segmentleri ve ürün gruplarını baz alan kuralların yerleştirilmesi amaçlanmaktadır.

Bu kuralların belirlenmesine ilişkin kararların verilmesi aşamasında tedarik zincirlerinin daha güvenilir olması, müşteri hizmet seviyesinin iyileştirilmesi, ve ürün bazında daha verimli bir yapı oluşturulması hedeflenmektedir.

5.3.2 Tahminleme ve talep planlama

Siparişlere ilişkin tahmin yöntemi mevcut durumda kesin olarak belirtilmemiştir. Uzun dönemli planlar, yıllık bütçeler ve gerçekleşen değerler arasında önemli farklara rastlanmakta olup, talep tahmin sonuçları sistematik olarak gözlemlenmemektedir. Bu aşamada, yıllık bütçelerin baz alınması, kültürel farklılıkların gözönüne alınması ve yönetim desteğine ihtiyaç duyulmaktadır.

5.3.3 Üretim planlama

Tedarik zincirinin üretim planlama modülü ele alındığında, üretim planlarının sıkça değiştiği görülmektedir. Bu değişimlerin sebebi olarak, tahmin hataları ve sipariş değişimleri, malzeme problemleri, ekipman problemleri, ve tedarikçilerden kaynaklanan problemler belirtilmektedir.

5.3.4 Depo ve depo ağı yönetimi

Firma, tedarik zinciri yapısı içinde yer alan depolardaki stokların takibini etkin bir şekilde gerçekleştirmek amacıyla mevcut ERP yazılımının kullanımını yaygınlaştırma ve depo ihtiyaçlarının ERP yazılımına eklenmesi projelerini yürütmektedir.

Ayrıca, özellikle yurt içi pazarına yönelik çok sayıda deponun mevcut olması, depolar arası bilgi ve malzeme akışının yönetim zorunluluğunu da beraberinde getirmektedir. Kullanılan depolara duyulan ihtiyaç artmakla beraber, küçük depoların ERP sisteminde yer almadığı saptanmıştır. Ayrıca yurt içi bayilerine ait stoklar da firmanın kendi depolarında tutulmaktadır. Bu nedenle öncelikle tüm depoların ERP sistemine tanıtılması, sonrasında ise lokasyon ve büyüklük etmenleri göz önüne alınarak depo ağı optimizasyonu sağlanması hedeflenmektedir.

5.3.5 Tedarik zinciri maliyetlendirme

Mevcut halde tedarik zinciri maliyetlerine ilişkin bir raporlama sistemi bulunmamaktadır. Navlun hesaplamalarındaki hatalar, demoraj masrafları gibi çeşitli maliyet kalemleri dağıtılmaktadır.

Faaliyet tabanlı maliyetlendirme (ABC) yapısının uzun dönemde devreye alınması planlanmakla birlikte mevcut maliyet yapısına bağlı olarak tedarik zinciri maliyetlerinin raporlanması ilk etapta gerçekleştirilmek istenmektedir.

5.3.6 ERP entegrasyonu

Tedarik zinciri ve bu zincir dahilindeki satış şirketleri ele alındığında birçok prosesin tekrarlı olarak gerçekleşmesinden doğan verimsizlik dikkat çekmektedir. Şirket geneline ilişkin verilere dayanarak karar vermek, bu entegrasyon eksikliği nedeniyle zor olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı, proseslerin entegre edilmesi ve şirket bütününde karar verme koordinasyonu sağlanması amacıyla ERP sisteminin satış şirketlerinde kullanımına geçilmesi hedeflenmektedir.

5.3.7 Envanter yönetimi

Envanter yönetimi için belirlenmiş spesifik kurallar bulunmamakta olup, envantere ilişkin organizasyonel sorumluluklar belirlenmemiş, ve partiler arası görünebilirlik sağlanamamıştır. Bu bağlamda kastedilen özellikle transit stokların (dolaşım halindeki malzeme) takibinin yapılmıyor olmasıdır. Ayrıca sezonsal ürünler, demode ürünler ve yavaş hareket eden ürünlere ilişkin tanımlama ve paylaşılan kriterler bulunmamaktadır. Pazar bazlı bölgesel envanter gereksinimleri dikkate alınmamaktadır. Envanter kontrolü için spesifik performans kriterleri ve maliyet odaklı yaklaşım eksikliği gözlemlenmektedir.

Tedarik zinciri yapısında amaçlanan, proses kurallarının ve hedeflerin belirlenerek uygulamaya alınması ve sistem genelinde görünebilirliğin sağlanmasıdır.

Bu amacı gerçeklemek için malzemelerin sınıflandırılması, her grup malzeme için envanter stratejilerinin belirlenmesi, takip sisteminin oturtulması, ve stok politikalarına bağlı olarak ikmal parametrelerinin ortaya konulması gerekmektedir.

5.3.7.1 Envanter yönetiminde amaçlanan fonksiyonlar

Envanter yönetimi projesi ile firma; müşterilere ürünlerin uygunluğunu yönetmeyi hedeflemektedir. Bu bağlamda tahminleme, dağıtım, ve üretim fonksiyonlarının koordinasyonu ile, tedarik, stoklama ve sevkiyat maliyetlerinin optimizasyonu amaçlanmaktadır.

5.3.8 Envanter yönetiminin alt prosesleri

Tedarik zinciri genelinde etkin bir envanter yönetim sistemi için sistematik karar verme mekanizmasının yerleştirilmesi ilk adım olarak görülmektedir. Envanter kararlarının verilmesinde sezonsal ürünler, yavaş hareket eden ürünler, üretilen veya tedarik edilen ürünler, ve pazar etmenleri gibi kriterler ortaya konmak istenmektedir. Ayrıca envanter kontrolüne ilişkin spesifik hedefler ve maliyet odaklı yaklaşım benimsenmek istenmektedir. Arzulanın bu yapının oturtulması için bazı alt prosesler belirlenmiştir.

5.3.8.1 Envanter takibi

Envanter takibi; stok kalemlerinin parametrelere göre sınıflandırılması, her sınıf için stok stratejilerinin belirlenmesi, takip ve analiz konularını içermektedir. Bu alt prosesin amaçları yurtdışı satış şirketlerinin konsolide stoklarını takip etmek ve performans indikatörlerini belirlemek, envanter devrini ve stoklama maliyetlerini tanımlamak, ve envanter yönetim politikası ile uygun ikmal planını ortaya koymaktır.

Bu amaçları gerçeklemek için tüm yurtdışı satış şirketlerinin 4 ana ürün grubuna ilişkin direkt ve endirekt satış akışları ortaya konmuştur.

Envanter takibine ilişkin veriler incelendiğinde; en önemli iki hususun stoğun sahibi ve ürünün kaynağı olduğu görülmektedir. Envanterin raporlanmasında ise üç ayrı kalemin göz önüne alınması gerekmektedir. Türkiye'deki üretim merkezlerinde satış şirketleri için tutulan stok, yurtdışındaki üretim merkezinde satış şirketleri için tutulan stok, ve satış şirketlerinin bulundukları ülkelerdeki depolarda bulundurdıkları stok.

Satışlar ise Türkiye'den direkt satışlar, yurtdışındaki direkt satışlar, dışarıdan tedarik edilen ürünlerin satışı; ayrıca bu üç grup için satış şirketinin kendi deposundan satışlar olmak üzere gruplanmaktadır.

Bu bilgiler ışığında performans indikatörü olarak stok devri aşağıdaki formüller yardımı ile hesaplanabilir:

$$\text{Stok devri} = (\text{İlgili satış şirketinin toplam stoğu}) / (\text{İlgili satış şirketinin nihai müşterilerine toplam satışlar}) \quad (5.1)$$

Formüldeki toplam stok; Türkiye, yurtdışı üretim merkezi ve şirketin kendi ülkesindeki konsolide stokların toplamıdır. Toplam satışlar ise, şirketin müşterilerine Türkiye ve yurtdışı üretim merkezinden direkt sevkiyatlar ile, şirketin kendi deposundan yaptığı satışların toplamı olacaktır. Kısacası, aşama bazlı hesapta şirketin deposuna yapılan sevkiyatlar hesaplamaya katılmayarak iki defa toplam alınması engellenmektedir.

5.3.8.2 Envanter planlama

Envanter planlama; stok politikalarının kullanılarak ikmal parametrelerinin belirlenmesi, stok kalemi bazında planlama ve satın alma politikalarının oluşturulmasını kapsamaktadır.

5.3.8.3 İkmal planlama

Envanter ikmal planlama; tahmini talebin karşılanması için malzemelerin dağıtım lokasyonlarında mevcut olmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Firmada özellikle A grubu ürünler adı verilen, yurtdışı satış şirketlerinin satış rakamı yüksek ürünlerine ait bir ikmal planı oluşturulması hedeflenmektedir. Bu amaçla ilk önce, yurtdışı satış şirketlerine ilişkin konsolide stok takip raporları yayınlanmaya başlanmış, ve stok-gün sayılarının azaltılarak ürün çevriminin hızlandırılması hedefleri belirlenmiştir.

5.4 İkmal Sisteminin Uygulamaya Alınması Projesi

Yukarıda özetlenen durum ve bilgiler ışığında, firmanın ikmal yapısını devreye alması amacıyla bir proje gerçekleştirilmiştir. Projenin adımları kısaca Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Performans kriterlerinden biri olarak belirlenen stok*gün sayısı; (6.1)'deki hesaplama ile benzerlik göstermekte olup, kısaca aşağıdaki şekilde belirtilmektedir:

$$\theta_{i,j} = \frac{[(S_{i,j} + S_{i,j-1}/2)]}{D_{i,j}} * 30 \quad (5.2)$$

$\theta_{i,j}$: i ürününe ait j dönemi için stok*gün sayısı

$S_{i,j}$: i ürününe ait j dönemi sonundaki stok

$S_{i,j-1}$: i ürününe ait j dönemi başındaki stok

$D_{i,j}$: i ürününe ait j dönemdeki toplam satışlar

Çizelge 5.1: İkmal projesinin adımları

Adım No.	Adım Tanımı	Hedef Çıktı ve Spesifikasyonlar
1	A sınıfı ürünler içerisinde ikmal politikasına dahil edilecek olanların seçimi	İkmal politikasına dahil olacak A sınıfı ürünlerin seçim prosedürü
2	İkmal parametrelerinin belirlenmesi	Emniyet stoğu seviyeleri, hedef stok seviyeleri, sipariş adetleri (stok kodu bazında)
3	Simülasyon çalışması	Belirlenen parametrelerin geçmiş verilere uyarlanması
4	Proses dokümanlarının oluşturulması	Proses dokümanları

5.4.1 Proje kapsamı ve hedefleri

5.4.1.1 Ürün kapsamı

İkmal politikasının uygulanacağı ürünler, sadece Türkiye'deki üretim merkezlerinde üretilen dört temel dayanıklı tüketim ürün grubunu kapsamaktadır. Yurtdışı üretim ve ticari (*outsourced*) ürünler politika kapsamı dışında bırakılmıştır. Bu dört ürün grubuna ait konsolide uluslararası satışlar, toplam uluslararası satışların %62'sini oluşturmaktadır.

Ürün bazında kapsama ilişkin bir diğer önemli husus da, bu dört ana ürün grubuna ait A sınıfı adı verilen, satış hacmi yüksek ve satış periyodu süreklilik arzeden ürünlerin proje kapsamında yer alacağıdır.

5.4.1.2 Pazar ve marka kapsamı

İkmal politikası, firmanın yurtdışı satış şirketlerinin faaliyet gösterdiği ve satışların bu şirketler üzerinden gerçekleştirildiği üç pazarda uygulanacaktır.

Bu üç pazara ilişkin yıllık konsolide satışların toplamı, toplam uluslararası satışların %54'ünü oluşturmaktadır. Ayrıca proje, firmanın sadece kendi markasıyla üretip satışını gerçekleştirdiği ürünlere ilişkin olup; özel markalı (PL) ürünleri içermemektedir.

5.4.1.3 Proje hedefleri

Projenin tamamlanması ile birlikte; proje kapsamında yer alan modellere ilişkin stok*gün sayısının, mevcut durumdan %20 aşağıya çekilmesi hedeflenmektedir.

Ayrıca, yine seçilmiş olan ürünlerin kayıp satışlarının mevcut durumdan %10 daha az olması, ve envanter değişkenliğinin de %20 indirgenmesi hedeflenmektedir.

5.4.1.4 Diğer varsayımlar

Yukarıda özetlenen kapsam ve hedefler haricinde, ikmal projesinin her 3 ayda bir gözden geçirilmesi kararlaştırılmıştır.

Bu kararın ardındaki temel sebepler, 3 aylık zaman dilimlerinde yeni ürünlerin devreye girme olasılığı, ikmal projesi kapsamında yer alan ürünlerin demode duruma gelme ihtimalleri, ve ayrıca belirli bir modele yönelik talebin değişkenlik göstermesi (ikmal kapsamına girecek kadar artması yada ikmal politikasından çıkacak kadar azalması) olasılıklarıdır.

Ayrıca, aşağıda açıklanacak seçim algoritmasında adım 2.1 ve 2.3'te son 12 aylık veriler bulunmadığından ilk aşamada 12 yerine 8, 9 yerine de 7 aylık periyotlar öngörülmektedir.

5.4.2 İkmal kapsamına dahil olacak ürünlerin seçimi

İkmal politikasına dahil olacak ürünlerin seçimi için 4 aşamalı iteratif bir algoritma geliştirilmiştir: Bu algoritmanın adımları sırasıyla aşağıda verilmektedir.

Adım 1

1.1 Her pazar (müşteri) için 4 ürün grubunu da içerecek şekilde stok kodu (*stock keeping unit* - SKU) bazında son 12 aylık satış adetlerinin listelenmesi (nihai müşteriye ya da dağıtım kanalına satış).

1.2 Her SKU için indeks değeri λ 'nın hesaplanması, öyle ki;

$$\lambda_{ij} = n_{ij} \cdot \frac{\mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \cdot p_{ij}; \quad i=1,...,m \quad ; \quad j=1,2,3,4 \quad (5.3)$$

n : son 12 ayda satışın gerçekleştiği ay sayısı (adet > 0)

μ : son 12 aya ilişkin aylık ortalama satış

σ : son 12 aylık satışların standart sapması

p : adet bazında i 'nin j ürün grubu içerisindeki yüzdesi

$$1.3 \quad \lambda_{i,j} > \lambda_{i-1,j} > \dots > \lambda_{1,j}; \lambda_{i,j-1} > \lambda_{i-1,j-1} > \dots > \lambda_{1,j-1}; \dots; \lambda_{i,4} > \lambda_{i-1,4} > \dots > \lambda_{1,4}$$

olacak şekilde, her ürün grubuna ait SKU'ların o ürün grubu içerisinde, sahip oldukları indeks değerine göre sıralanması.

1.4 Her SKU'nun ait olduğu ürün grubu içerisinde ciro bazlı yüzdesel oranının $\xi_{i,j}$ hesaplanması.

1.5 İndeks değerine göre sıralı SKU'lar için kümülatif yüzdesel ciro oranının hesaplanması

$$\sum_{\lambda_{i,j}} \xi_{i,j}; \quad i=1,...,m; \quad j=1,2,3,4$$

$$1.6 \quad \sum_{\lambda_{i,j}} \xi_{i,j} > \%80 \text{'i oluşturan SKU'lar ile } Altküme1 \text{'in } (\phi_1) \text{ oluşturulması.}$$

Adım 2

2.1 $\forall x_{i,j} \in \phi_1$ için; her SKU'nun son 12 ayda kaç defa A grubu ürünler sınıfına dahil olduğunun $\alpha_{i,j}$ bulunması.

2.2 $\forall x_{i,j} \in \phi_1$ için; her SKU'nun son 9 ayda kaç defa A grubu ürünler sınıfına dahil olduğunun $\beta_{i,j}$ bulunması.

$$2.3 \quad \beta_{i,j} = 3 \text{ yada};$$

$\alpha_{i,j} \geq 9$ ve $\beta_{i,j} \geq 2$ durumlarını gerçekleyen $x_{i,j} \in \phi_1$ 'lerin seçilerek $Altküme2$ 'nin (ϕ_2) oluşturulması.

Adım 3

3.1 $\forall x_{i,j} \in \phi_2$ için gelecek 3 aya ilişkin satış tahminlerinin $\delta_{i,j}$ alınması

$$3.2 \quad \delta_{i,j} = 0 \Rightarrow x_{i,j} \notin \phi_3; \quad \delta_{i,j} > 0 \Rightarrow x_{i,j} \in \phi_3; \quad \forall x_{i,j} \in \phi_2$$

olacak şekilde, gelecek 3 aylık satış tahmini olan SKU'ların seçilerek *Altküme3*'ün (ϕ_3) oluşturulması.

Adım 4

4.1 $\forall x_{i,j} \in \phi_3$ için ürün yönetimi tarafından demode olarak işaretlenen varsa *Altküme3*'ten çıkarılması ve *Altküme4*'ün (ϕ_4) oluşturulması.

5.4.2.1 Algoritmanın örnek üzerinde açıklanması

EK-C'de ikmal politikası kapsamındaki pazarlara ilişkin veriler yer almaktadır. A pazarına ilişkin veriler ele alınarak ikmal politikasına dahil olacak model seçim algoritması kısaca anlatılmaya çalışılacaktır.

EK-C'de verilen veriler, algorithmada yer alan indeks değerine göre sıralanmış durumdadır. Örneğin 1 no'lu ürün grubuna ait 7713786312 kod'lu ürün, son 10 ayın hepsinde satışı gerçekleşmiş, toplam satış adedi 14970 olmuştur. Bu durumda aylık ortalama 1497, standart sapma ise 495.731 olarak gerçekleşmektedir. İlgili ürün grubunda bu modelin adetsel satış yüzdesi %6.57 olduğundan, indeks değeri 1.9850 olarak hesaplanmaktadır. Aynı ürünün ait olduğu ürün grubunda ciro bazlı yüzdesel oranı %3.65'tir ve kümülatif olarak %80'lik dilimin içinde yer almaktadır. Dolayısıyla ürün, *alküme1* kapsamındadır.

İkinci aşamaya gelindiğinde; ürünün son 8 ayın 8'inde ve son 3 ayın 3'ünde de A grubu ürünler kapsamında olduğu görülmektedir. Dolayısıyla ürün, *alküme2* içinde yer alacaktır.

Üçüncü aşamada, ürüne ait gelecek 3 aylık satış tahmin toplamının 3915 olduğu görülmektedir. Bu rakam 0'dan büyük olduğu için ürün, *alküme3* içindedir.

Son aşamada, ürüne ilişkin ürün yönetimi bilgisi kontrol edilmektedir. Bu noktada özellikle ürünün belirli bir tarihte yeni bir modelle değiştirilip değiştirilmeyeceği bilgisi önemlidir. Kısacası, ürünün ürün-yaşam eğrisine ilişkin bir bilgi notu olup olmadığı yada firmanın kullandığı ERP sisteminde demode ürünler için belirtilen "D3" notu olup olmadığı kontrol edilmektedir. İncelenen ürüne ilişkin not D2 olduğundan demode ürün kapsamında değildir ve *alküme4* içinde de yer almaktadır. Dolayısıyla örnek olarak incelenen ürün, ikmal politikası kapsamında yer alacaktır. Çizelge 5.2, 5.3, ve 5.4'te sırasıyla 3 Pazar için ürün grubu bazında toplam SKU sayısından kaç tanesinin ikmal politikasına dahil olacağı ve bu modellere karşılık gelen toplam satış adetleri görülmektedir.

Çizelge 5.2: Pazar A için ikmal kapsamı model ve adet sayısı

Ürün Grubu	Data	İkmal Kapsamı	İkmal Dışı	Toplam
1	Model sayısı	26	219	245
	Adet toplamı	133585	94150	227735
2	Model sayısı	4	38	42
	Adet toplamı	31314	17932	49246
3	Model sayısı	11	170	181
	Adet toplamı	77588	265197	342785
4	Model sayısı	6	56	62
	Adet toplamı	97135	121040	218175
Toplam Model Sayısı		47	483	530
Toplam Adet		339622	498319	837941

Çizelge 5.3: Pazar B için ikmal kapsamı model ve adet sayısı

Ürün Grubu	Data	İkmal Kapsamı	İkmal Dışı	Toplam
1	Model sayısı	4	62	66
	Adet toplamı	20002	33347	53349
2	Model sayısı	5	39	44
	Adet toplamı	20370	23778	44148
3	Model sayısı	15	97	112
	Adet toplamı	97676	51373	149049
4	Model sayısı	10	47	57
	Adet toplamı	39890	32192	72082
Toplam Model Sayısı		34	245	279
Toplam Adet		177938	140690	318628

Tablolardan görüldüğü üzere, pazar A için toplam model sayısının %10'undan daha azı ile toplam satış adetlerinin yarısına yakını, pazar B için toplam model sayısının %12'si ile toplam adedin yine yarısından fazlası, pazar C için de toplam model sayısının %7'si ile toplam adedin yine yarısından fazlası, yukarıda özetlenen algoritma ile ikmal politikasına dahil edilmiş olmaktadır

Çizelge 5.4: Pazar C için ikmal kapsamı model ve adet sayısı

Ürün Grubu	Data	İkmal Kapsamı	İkmal Dışı	Toplam
1	Model sayısı	-	61	61
	Adet toplamı	-	19460	19460
2	Model sayısı	6	50	56
	Adet toplamı	24431	11184	35615
3	Model sayısı	9	73	82
	Adet toplamı	33423	13224	46647
4	Model sayısı	4	83	87
	Adet toplamı	37598	29848	67446
Toplam Model Sayısı		19	267	286
Toplam Adet		95452	73716	169168

5.4.3 İkmal parametrelerinin belirlenmesi

İkmal politikasına dahil olacak ürünlerin seçimlerinden sonra sıra, belirlenen modellere ilişkin ikmal parametrelerinin ortaya konmasına gelmektedir.

İkmal parametrelerinin belirlenmesinde sistemin deterministik ve periyodik kontrollü bir stok sistemi olduğu gözönüne alınacaktır. Firma, aylık üretim programı bazlı çalıştığı için stok kontrolü ve sipariş verme periyodik bazda gerçekleştirilmektedir.

Parametrelerin hesaplanmasına ilişkin ikinci bir varsayım da müşteri hizmet düzeyinin (*customer service level* – CSL), %95 olarak öngörüldüğüdür. Bu değere karşılık gelen z değeri de 1.645 olmaktadır.

Bu noktada önemli bir husus, iki aşamalı bir dağıtım sisteminde iki ayrı stok lokasyonu (Türkiye ve yurtdışı) için parametrelerin ayrı ayrı hesaplanması gerekliliğidir. Yurtdışı depolar için parametre hesaplanmasında tedarik süresi nakliye, yurtiçi depolar için ise bu süre üretim zamanı olarak alınacaktır. Diğer bir çok önemli konu da, yurtdışı satışlarının direkt olarak müşterilere de yapılabiliniyor olmasıdır. Pazar A için toplam satışların %65'i, Pazar B için %90'ı, ve Pazar C için de %50'si direkt olarak müşterilere sevkedilmektedir.

İkmal parametreleri hesapları, pazarlara göre sırasıyla EK-C4, C5 ve C6'da verilmiştir. Aşağıda bu hesaplamalara ilişkin yöntemlere değinilmektedir.

5.4.3.1 Güvenlik stok seviyeleri

Bu varsayımlar altına yurtdışı depolar için güvenlik stoğu (s_1);

$$s_1 = z \cdot \sigma_D \cdot (1 - p) \cdot \sqrt{L_s} \quad (5.4)$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Burada;

σ_D : talebin standart sapması,

$\sqrt{L_s}$: tedarik (nakliye) süresinin kareköküdür.

z : müşteri hizmet seviyesine karşılık gelen standart normal dağılım katsayısı

p : direkt sevkiyat oranı

Benzer şekilde, değişken tedarik (üretim) süresi baz alınarak Türkiye'deki depolar için güvenlik stoğu (s_2) ise;

$$s_2 = \left(\sigma_D \cdot \bar{L}_p \right) + \left(\sigma_{L_p} \cdot \bar{D} \right) \quad (5.5)$$

olacaktır.

Bu formülde ise;

$\bar{L}_p$: ortalama tedarik (üretim) süresi

σ_{L_p} : tedarik (üretim) süresinin standart sapması

$\bar{D}$: ortalama taleptir.

Formüllerde yer alan talebe ilişkin ortalama ve standart sapmalar, ikmal kapsamında yer alacak modellerin seçimi sırasında hesaplanan değerler ile aynıdır. Üretim süreleri de 5 gün ile 25 arasında üniform dağılıma uymaktadır. Sevkiyat sürelerinin pazarlara göre değerleri ise Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5: Pazarlara göre sevkiyat süreleri

Pazar	Sevkiyat süresi (gün)
A	23
B	25
C	24

Tüm bu veriler ve formüller yardımıyla bölge ve ürün grubu bazında hesaplanan güvenlik stokları yurtdışı (s_1) ve yurtiçi (s_2) için Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6: Pazarlara göre ürün grubu bazında güvenlik stokları

Pazar	Ürün Grubu	Güvenlik Stoğu (s_1)	Güvenlik Stoğu (s_2)
A	1	1132	3694
	2	284	884
	3	826	2312
	4	2526	4424
B	1	75	635
	2	135	841
	3	250	2713
	4	281	1704
C	2	479	796
	3	454	952
	4	870	1315

5.4.3.2 Sipariş adetleri ve hedef stoklar

Sürekli bir stok kontrol sisteminde ikmal politikasının uygulanması için yeniden sipariş verme düzeyi (*reorder point*) esas alınmasına karşılık, incelenen sistemde periyodik stok kontrolü uygulanması ve aylık üretim bazlı çalışılıyor olması göz önüne alındığında, sabit periyodik dilimlerde sipariş verilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu durumda da, bilinen ekonomik sipariş miktarı (EOQ) formülasyonu yardımıyla hesaplanan adet ve bu adetten hareketle yıl içerisinde verilen sipariş sayısı bulunması yönteminden tam tersi bir hareketle, yılda 12 kez sipariş verilmesi baz alınmaktadır. Bu durumda da sipariş miktarı (Q), yıllık talebe ilişkin aylık ortalama olmaktadır.

Benzer şekilde hedef stoklar da;

$$S = s + Q \quad (5.6)$$

formülü yardımıyla güvenlik stoğu ile sipariş adedinin toplamına eşit olacaktır.

Yurtiçi ve yurtdışı depolarda tutulacak stoklara ilişkin hedef değerler, benzer mantıkla sırasıyla yurtiçi ve yurtdışı güvenlik stokları ile aylık ortalama talebin toplamına eşit olacaktır. Bu mantık ile pazar talebi, tedarik zincirinin üst aşamalarına (üretim) da bağlanarak (*rope and drum*; Moran ve Barrar, 2006), sistemin üretmesi muhtemel bir kamçı yada tersine kamçı etkisi mümkün olan en az değere indirgenmeye çalışılacaktır. Pazar ve ürün grubu bazında sırasıyla yurtdışı ve yurtiçi hedef stok adetleri Çizelge 5.7’de verilmektedir.

Çizelge 5.7: Pazarlara göre ürün grubu bazında hedef stoklar

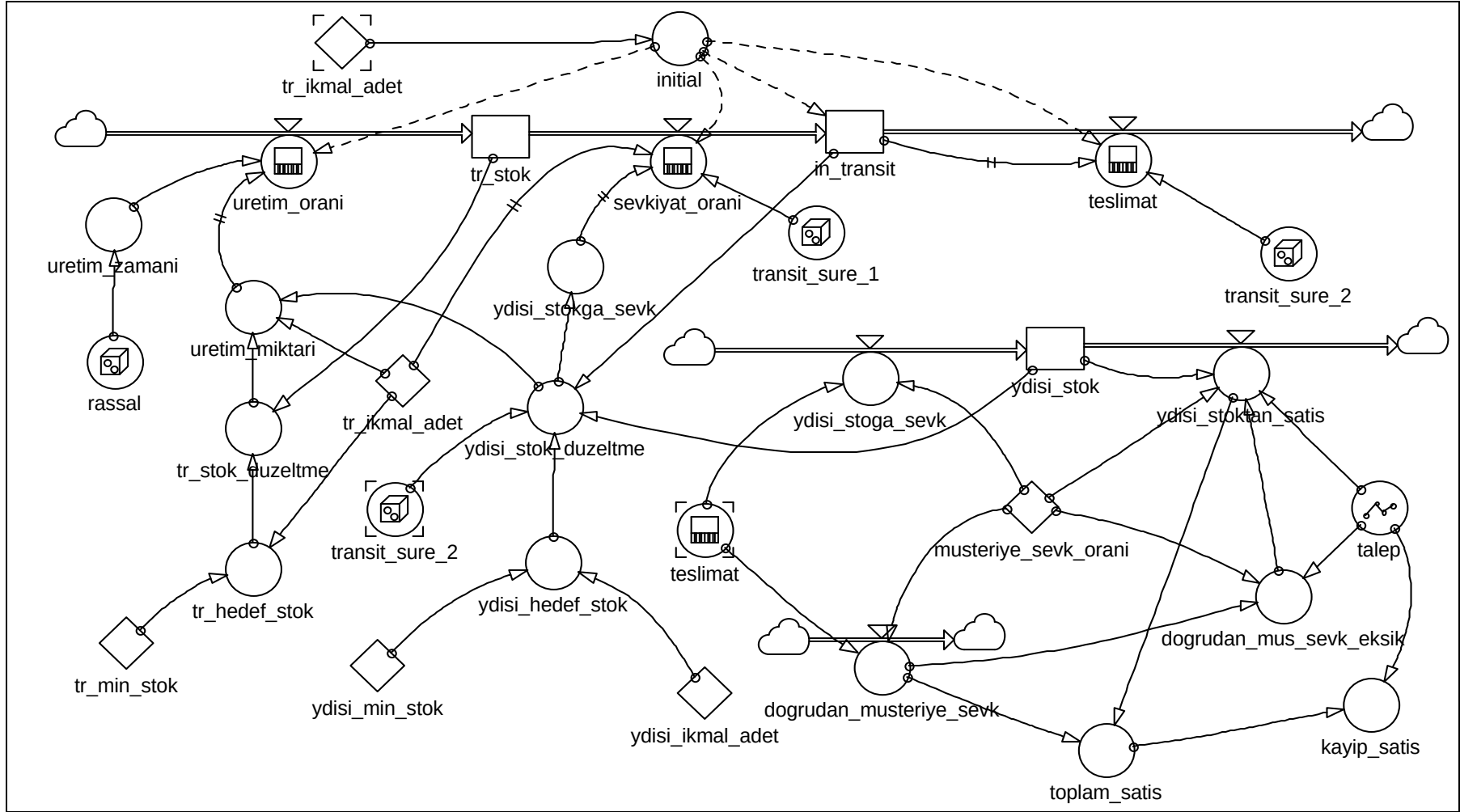
Pazar	Ürün Grubu	Hedef Stok (S_1)	Hedef Stok (S_2)
A	1	5808	17053
	2	1380	4015
	3	3541	10071
	4	5976	14138
B	1	275	2635
	2	339	2878
	3	1227	12481
	4	680	5693
C	2	1701	3239
	3	2125	4294
	4	2750	5075

5.4.4 Simülasyon modelleri

Parametrelerin de belirlenmesini müteakip olarak, geçmiş verileri baz alan bir dinamik simülasyon modeli, pazar ve ürün grubu değişikçe modifiye edilerek oluşturulmuştur.

5.4.4.1 Diyagram gösterimi

Şekil 5.13’te Pazar A, 1.Ürün Grubu’na ait olan modelin Powersim diyagramı verilmektedir. Bazı parametreler, ürün grubu ve pazar değişikçe değişmekte olup, bazıları ise aynı pazar dahilindeki ürün gruplarında değişmektedir. Sistemde yer alan gecikmeler de pazar değişikçe değişen transit sürelerle bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 5.13: İkmal politikasına ilişkin simülasyon modeli

5.4.4.2 Denklemler

Bu bölümde Pazar A – Ürün grubu 1 için modelin simülasyon denklemleri verilmiştir.

```
init    in_transit = initial
flow    in_transit = -dt*teslimat + dt*sevkiyat_orani
init    tr_stok = 2013
flow    tr_stok = -dt*sevkiyat_orani + dt*uretim_orani
init    ydisi_stok = 18339
flow    ydisi_stok = -dt*ydisi_stoktan_satis + dt*ydisi_stoga_sevk
aux     dogrudan_musteriye_sevk = INT(teslimat*musteriye_sevk_orani)
aux     sevkiyat_orani = INT(DELAYMTR(tr_ikmal_adet, transit_sure_1/30, 0.5,
initial) + DELAYMTR(ydisi_stokga_sevk, (1+(transit_sure_1/30)), 2, 0))
aux     teslimat = INT(DELAYMTR(in_transit, transit_sure_2/30, 1, initial))
aux     uretim_orani = INT(DELAYMTR(uretim_miktari, uretim_zamani/30, 1.5,
initial))
aux     ydisi_stoga_sevk = INT(teslimat*(1 - musteriyeye_sevk_orani))
aux     ydisi_stoktan_satis = INT(MIN(((talep*(1 - musteriyeye_sevk_orani) +
dogrudan_mus_sevk_eksik), ydisi_stok))
aux     dogrudan_mus_sevk_eksik = INT(MAX(((talep*musteriyeye_sevk_orani) -
dogrudan_musteriyeye_sevk),0))
aux     initial = INT(tr_ikmal_adet/2)
aux     kayip_satis = INT(MAX(talep-toplam_satis,0))
aux     rassal = RANDOM(0,1)
aux     talep =
GRAPHSTEP(TIME,0,1,[0,10956,15229,14030,13641,13015,11399,13637,1
1167,12130,18381"Min:0;Max:20000"])
aux     toplam_satis = INT(dogrudan_musteriyeye_sevk + ydisi_stoktan_satis)
aux     tr_hedef_stok = INT(tr_min_stok + tr_ikmal_adet)
aux     tr_stok_duzeltme = INT(tr_hedef_stok - tr_stok)
aux     transit_sure_1 = NORMAL(12, 1)
aux     transit_sure_2 = NORMAL(11, 1)
aux     uretim_miktari = INT(MAX(tr_stok_duzeltme,0) +
MAX(ydisi_stok_duzeltme,0) + tr_ikmal_adet)
```

(simülasyon denklemleri devam etmektedir)

```

aux    uretim_zamani = ((rassal*20) + 5)
aux    ydisi_hedef_stok = INT(ydisi_ikmal_adet + ydisi_min_stok)
aux    ydisi_stok_duzeltme = INT((ydisi_hedef_stok - ydisi_stok) -
    (in_transit/(transit_sure_2/30)))
aux    ydisi_stokga_sevk = INT(MAX(ydisi_stok_duzeltme,0))
const  musteriye_sevk_orani = 0.65
const  tr_ikmal_adet = 13359
const  tr_min_stok = 3694
const  ydisi_ikmal_adet = 4676
const  ydisi_min_stok = 1132

```

5.4.4.3 Parametrelerin açıklamaları

Kriterlerde aylık stok adetlerinin gözönüne alınacak olmasından dolayı simülasyonda zaman birimi ay olarak belirlenmiştir. Ancak, sevkiyat ve üretimler haftalık bazda süreklilik gösterdiğinden, simülasyon adım aralığı 1 hafta (0.25) ay olarak kurulmuştur.

Tüm zaman bazlı parametrelerde birim olarak ay alınacağından gün değerinden hesaplanan zamanlar 30'a bölünerek simülasyona dahil edilmiştir.

Simülasyonun dengede başlaması amacıyla yurtiçi ve yurtdışı stok seviyelerine ait ilk değerler, 2007 yılı sonu itibariyle fiil stok rakamları olarak alınmıştır. Dolaşım halindeki malzeme (*in-transit*) seviyesinin ilk değeri ile, üretim, sevkiyat ve teslimata ilişkin akışların ilk değerleri ise, transit sürelerin 1 aya yakın olması esasına istinaden yaklaşık olarak aylık ortalama taleplerin yarısı olarak alınmıştır.

Modelde sabitler olarak belirlenen minimum stok ve ikmal adetleri, önceki bölümlerde hesaplanan değerler olarak alınmıştır.

Talep değişkeni, fiili satışlar baz alınarak tablo olarak manuel girilmiştir. Stok düzeltme oranları, hedef ve fiili stoklar arasındaki farkları esas almakta; üretim ve sevkiyat oranları ise bu düzeltme ve ikmal adedinin toplamalarını baz almaktadır.

Modele ilişkin önemli bir nokta, transit sürenin ikiye bölünmüş olmasıdır. İlk kısım, malzemelerin stoğa girmesini müteakip sevkiyat için yüklenmeleri, gümrükleme, dahili taşıma ve geminin kalkışının beklenmesini içermektedir. İkinci kısım ise, nakliye süresi, varış noktasındaki gümrükleme ve vardığı pazardaki dahili nakliyeyi içermektedir.

5.4.5 Simülasyon sonuçları

Simülasyon her pazar ve ürün grubu için çalıştırıldığında elde edilen veriler EK-D1-11'de verilmiştir. Aşağıda ise kısaca açıklamaları yer almaktadır.

5.4.5.1 Pazar A – ürün grubu 1

EK-D1'de simülasyon sonuçları ve ilgili grafikler verilmiştir. Veriler incelendiğinde stok*gün rakamında %78'lik bir artış görülmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %43'lük bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistem, 3.91 katsayılı kamçı davranışı göstermekte ve kayıp satışlar %0 ile müşteri hizmet seviyesini gerçeklemektedir. Kamçı katsayısı iki aşamalı ortalama değer (4) altındadır.

5.4.5.2 Pazar A – ürün grubu 2

EK-D2'de simülasyon sonuçları ve ilgili grafikler verilmiştir. Veriler incelendiğinde stok*gün rakamında %100'lük bir artış görülmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %81'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistem, 8.26 katsayı ile kuvvetli bir kamçı davranışı göstermekte ve kayıp satışlar %0 ile müşteri hizmet seviyesini gerçeklemektedir.

5.4.5.3 Pazar A – ürün grubu 3

EK-D3'te simülasyon sonuçları ve ilgili grafikler verilmiştir. Veriler incelendiğinde stok*gün rakamında %222'lik bir artış görülmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %71'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistem, 15.11 katsayı ile oldukça kuvvetli bir kamçı davranışı göstermekte ve kayıp satışlar %0 ile müşteri hizmet seviyesini gerçeklemektedir.

5.4.5.4 Pazar A – ürün grubu 4

EK-D4'te simülasyon sonuçları ve ilgili grafikler verilmiştir. Veriler incelendiğinde stok*gün rakamında %40'lık bir artış görülmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %64'lük bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistem, 11.32 katsayı ile kuvvetli bir kamçı davranışı göstermekte ve kayıp satışlar %14 ile müşteri hizmet seviyesini gerçeklememektedir.

5.4.5.5 Pazar B – ürün grubu 1

EK-D5'te simülasyon sonuçları ve ilgili grafikler verilmiştir. Veriler incelendiğinde stok*gün rakamında %1'lik bir artış görülmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %73'lük bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistem, 3.49 katsayı ile

kamçı davranışı göstermekte ve kayıp satışlar %3 ile müşteri hizmet seviyesini gerçeklemektedir. Kamçı katsayısı, ortalamanın altındadır.

5.4.5.6 Pazar B – ürün grubu 2

EK-D6'da simülasyon sonuçları ve ilgili grafikler verilmiştir. Veriler incelendiğinde stok*gün rakamında %13'lük bir artış görülmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %87'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistem, 4.78 katsayı ile kamçı davranışı göstermekte ve kayıp satışlar %7 ile müşteri hizmet seviyesini gerçeklememektedir.

5.4.5.7 Pazar B – ürün grubu 3

EK-D7'de simülasyon sonuçları ve ilgili grafikler verilmiştir. Veriler incelendiğinde stok*gün rakamında %21'lik bir artış görülmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %55'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistem, 24.87 katsayı ile kuvvetli bir kamçı davranışı göstermekte ve kayıp satışlar %1 ile müşteri hizmet seviyesini gerçeklemektedir.

5.4.5.8 Pazar B – ürün grubu 4

EK-D8'de simülasyon sonuçları ve ilgili grafikler verilmiştir. Veriler incelendiğinde stok*gün rakamında %27'lik bir artış görülmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %83'lük bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistem, 1.77 katsayı ile zayıf bir kamçı davranışı göstermekte ve kayıp satışlar %7 ile müşteri hizmet seviyesini gerçeklememektedir.

5.4.5.9 Pazar C – ürün grubu 2

EK-D9'da simülasyon sonuçları ve ilgili grafikler verilmiştir. Veriler incelendiğinde stok*gün rakamında %97'lik bir artış görülmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %81'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistem, 1.12 katsayı ile bir zayıf kamçı davranışı göstermekte ve kayıp satışlar %0 ile müşteri hizmet seviyesini gerçeklemektedir.

5.4.5.10 Pazar C – ürün grubu 3

EK-D10'da simülasyon sonuçları ve ilgili grafikler verilmiştir. Veriler incelendiğinde stok*gün rakamında %82'lik bir artış görülmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %74'lük bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistem, 1.82 katsayı ile zayıf bir kamçı davranışı göstermekte ve kayıp satışlar %0 ile müşteri hizmet seviyesini gerçeklemektedir.

5.4.5.11 Pazar C – ürün grubu 4

EK-D11'de simülasyon sonuçları ve ilgili grafikler verilmiştir. Veriler incelendiğinde stok*gün rakamında %9'luk bir artış görülmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %91'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistem, 1.58 katsayı ile zayıf bir kamçı davranışı göstermekte ve kayıp satışlar %3 ile müşteri hizmet seviyesini gerçeklemektedir.

5.4.6 Sonuçların genel yorumları

Yukarıda ve EK-D'de verilen simülasyon sonuçlarının incelenmesi aşamasında belirtilmesi gereken önemli bir nokta, stok*gün sayısında mevcut durum verilerinin dolaşım halindeki stokları kapsamıyor oluşudur. Dolayısıyla gerçek stok*gün değerleri ile birlikte, transit stokları kapsamayan stok*gün değerleri de hesaplanmış, ve mevcut durumla mukayese bu veriler üzerinden yapılmıştır. Performans kriterlerine ilişkin sonuçlar Çizelge 5.8'de görülmektedir.

Stok*gün değerleri mukayesesi ele alınacak olunursa, genelde bir artış gözlemlenmektedir. İkmal politikasının devreye girmesi ile bir artışın beklenmesi doğal olmakla birlikte; ne kadarlık bir artışın kabul edilebilir olacağı firma yönetiminin inisiyatifinde olacaktır. Ayrıca, ilerleyen bölümlerde, stok*gün sayısında gözlemlenen artışın sebebine değinilecektir. Envanter değişkenliğinin hesaplamasında ise aylar bazında transit stoklar harici stokların standart sapmaları baz alınmıştır. İkmal mantığından kolayca tahmin edilebileceği ve sonuçlardan da rahatlıkla görülebileceği gibi, modelin devreye girmesiyle bu alanda önemli iyileştirmeler sağlanmaktadır. Ayrıca sistem genellikle kamçı davranışı göstermekte, ancak kamçının kuvveti pazar ve ürün bazında değişmektedir.

Çizelge 5.8: Sisteme ilişkin performans kriterleri

Pazar	Ü.Grubu	Stok*Gün		Envanter Değişkenliği		İkmal Durumunda	
		Mevcut	İkmal	Mevcut	İkmal	Kamçı	Kayıp Satış
A	1	44	78	4823	2749	3.91	%0
	2	38	76	3579	697	8.26	%0
	3	38	122	9519	2722	15.11	%0
	4	50	70	10316	3706	11.32	%14
B	1	50	50	1466	396	3.49	%3
	2	44	50	2402	320	4.78	%7
	3	47	57	6443	2880	24.87	%1
	4	42	53	7773	1292	1.77	%7
C	2	55	109	1955	364	1.12	%0
	3	72	131	4084	1066	1.82	%0
	4	68	74	5565	483	1.58	%3

5.5 Senaryo Analizi

Mevcut talep tahminine dayalı, stok için üretim sistemi yerine ikmal politikasının uygulanmaya alınması durumunda geçmiş fiili verilere dayanarak çıkan simülasyon sonuçları önceki bölümde tartışılmıştı. Bu kısımda ise, taleplerin ikmal parametrelerinin hesaplanması sırasında bulunan ortalama ve standart sapmalar ile normal dağılıma uyduğu durumda politikasının sağlamlığı ve bu senaryolar karşısında modelin göstereceği davranış biçimleri incelenecek ve yeni bir model önerisi sunulacaktır.

5.5.1 Uzun dönemde sistem davranışı

Simülasyon modellerinde, modelin sağlamlığının test edilmesi amacıyla simülasyonun uzun dönemde göstereceği davranışın da incelenmesinin önemine değinilmektedir (Sternan, 2000).

Bu amaçla Pazar A – Ürün Grubu 1 için model, normal dağılımlı talebe sahip olarak 1000 ay için simüle edilmiş, ve sisteme ilişkin parametrelerin ekstrem değerlere yönelip yönelmediği incelenmiştir. Şekil 5.14'te de görüldüğü üzere modelin tüm seviye ve akışları belirli değerler arasında dalgalanma davranışı göstermiştir. Dolayısıyla modelin gerçek sistemi yeterli sağlamlıkta temsil ettiği yorumu yapılabilir.

5.5.2 Talebin normal dağıldığı ve 24 aylık periyotta simülasyon

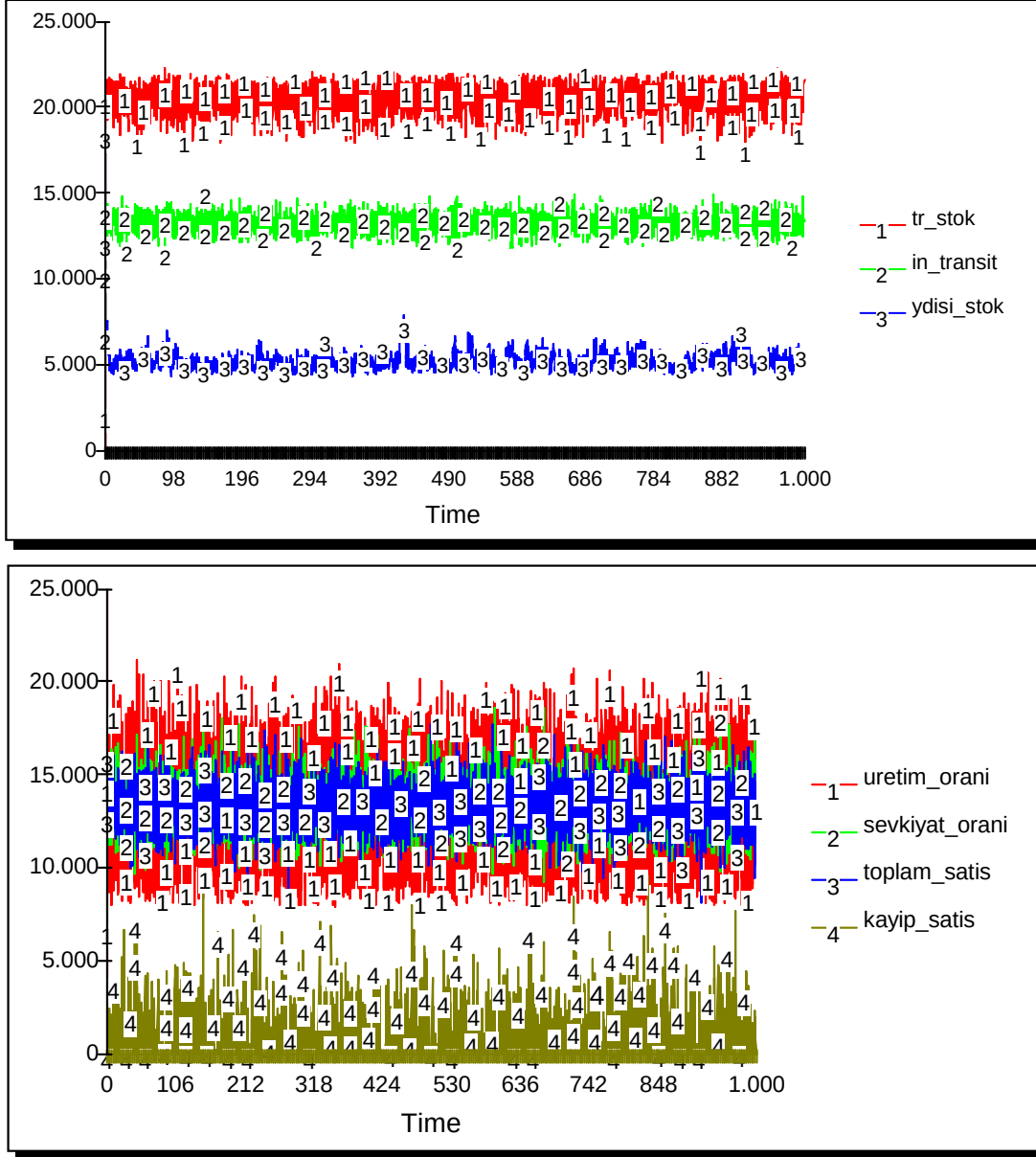
Bu bölümde ise taleplerin, hesaplanan ortalama ve standart sapma parametrelerine sahip normal dağılımdan geldiği varsayımı ile modeller, 24 ay için işletilmiş, ve bulunan değerler EK-D12-22'de verilmiştir. Belirtilmesi gereken önemli bir husus, performans değişkenlerinin 24 ay ve son 12 aybaz alınarak ayrı ayrı hesaplandığıdır.

5.5.2.1 Pazar A – ürün grubu 1

EK-D12'de simülasyon sonuçları ve ilgili grafikler verilmiştir. 24 aylık veriler incelendiğinde stok*gün rakamında %30'luk bir artış görülmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %42'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistem, 22.90 katsayılı kuvvetli bir kamçı davranışı göstermekte ve kayıp satışlar %1 ile müşteri hizmet seviyesini gerçeklemektedir.

Son 12 aylık veriler incelendiğinde ise stok*gün rakamındaki artış %27'ye düşmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %82'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistemin kamçı katsayısı 9.92'ye düşmekte, ancak hala

ortalamanın üzerinde seyretmektedir. Kayıp satışlar yine %1 ile müşteri hizmet seviyesini gerçeklemektedir.



Şekil 5.14: Pazar A - Ürün grubu 1 için talebin normal dağılıma uyduğu durumda ve 1000 aylık periyot bazlı ikmal politikası simülasyon sonuçları
(a) Stoklar
(b) Üretim, sevkiyat ve satış oranları

5.5.2.2 Pazar A – ürün grubu 2

EK-D13'te simülasyon sonuçları ve ilgili grafikler verilmiştir. 24 aylık veriler incelendiğinde stok*gün rakamında %58'lik bir artış görülmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %83'lük bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistem, 15.17 katsayılı kuvvetli bir kamçı davranışı göstermekte ve kayıp satışlar %3 ile müşteri hizmet seviyesini gerçeklemektedir.

Son 12 aylık veriler incelendiğinde ise stok*gün rakamındaki artış %54'e düşmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %95'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistemin kamçı katsayısı 5.30'ye düşmekte, ancak kayıp satışlar %6'ya çıkarak müşteri hizmet seviyesini gerçekleştirmektedir.

5.5.2.3 Pazar A – ürün grubu 3

EK-D14'te simülasyon sonuçları ve ilgili grafikler verilmiştir. 24 aylık veriler incelendiğinde stok*gün rakamında %134'lik bir artış görülmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %86'lık bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistem, 4.37 katsayılı kamçı davranışı göstermekte ve kayıp satışlar %0 ile müşteri hizmet seviyesini gerçekleştirmektedir.

Son 12 aylık veriler incelendiğinde ise stok*gün rakamındaki artış %129'a düşmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %88'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistemin kamçı katsayısı 1.23'e düşmekte, ve kayıp satışlar yine %0'da kalarak müşteri hizmet seviyesini gerçekleştirmektedir.

5.5.2.4 Pazar A – ürün grubu 4

EK-D15'te simülasyon sonuçları ve ilgili grafikler verilmiştir. 24 aylık veriler incelendiğinde stok*gün rakamında %24'lük bir artış görülmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %71'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistem, 10.42 katsayılı kuvvetli bir kamçı davranışı göstermekte ve kayıp satışlar %17 ile müşteri hizmet seviyesini gerçekleştirmektedir.

Son 12 aylık veriler incelendiğinde ise stok*gün rakamındaki artış %27 olmaktadır. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %93'lük bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistemin kamçı katsayısı 4.30'a düşmekte, kayıp satışlar %18 ile müşteri hizmet seviyesini gerçekleştirmektedir.

5.5.2.5 Pazar B – ürün grubu 1

EK-D16'te simülasyon sonuçları ve ilgili grafikler verilmiştir. 24 aylık veriler incelendiğinde stok*gün rakamında %8'lik bir azalış görülmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %74'lük bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistem, 7.85 katsayılı kuvvetli bir kamçı davranışı göstermekte ve kayıp satışlar %9 ile müşteri hizmet seviyesini gerçekleştirmektedir.

Son 12 aylık veriler incelendiğinde ise stok*gün rakamındaki azalış %5'e düşmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %92'lik bir

iyileştirme sağlanmıştır. Sistemin kamçı katsayısı 6.81'e düşmekte, ancak kayıp satışlar %7 olarak müşteri hizmet seviyesini gerçekleştirmektedir.

5.5.2.6 Pazar B – ürün grubu 2

EK-D17'de simülasyon sonuçları ve ilgili grafikler verilmiştir. 24 aylık veriler incelendiğinde stok*gün rakamında %13'lük bir artış görülmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %85'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistem, 8.69 katsayılı kuvvetli bir kamçı davranışı göstermekte ve kayıp satışlar %13 ile müşteri hizmet seviyesini gerçekleştirmektedir.

Son 12 aylık veriler incelendiğinde ise stok*gün rakamındaki artış %19 olmaktadır. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %95'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistemin kamçı katsayısı 8.10'e, kayıp satışlar ise %10'a düşmektedir.

5.5.2.7 Pazar B – ürün grubu 3

EK-D18'de simülasyon sonuçları ve ilgili grafikler verilmiştir. 24 aylık veriler incelendiğinde stok*gün rakamında %3'lük bir azalış görülmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %82'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistem, 9.35 katsayılı kuvvetli bir kamçı davranışı göstermekte ve kayıp satışlar %4 ile müşteri hizmet seviyesini gerçekleştirmektedir.

Son 12 aylık veriler incelendiğinde ise stok*gün rakamındaki azalış %2'ye düşmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %90'lık bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistemin kamçı katsayısı 14.51 olmakta, kayıp satışlar ise yine %3 olarak müşteri hizmet seviyesini gerçekleştirmektedir.

5.5.2.8 Pazar B – ürün grubu 4

EK-D19'da simülasyon sonuçları ve ilgili grafikler verilmiştir. 24 aylık veriler incelendiğinde stok*gün rakamında %26'lık bir artış görülmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %90'lık bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistem, 4.88 katsayılı kamçı davranışı göstermekte ve kayıp satışlar %6 ile müşteri hizmet seviyesini gerçekleştirmektedir.

Son 12 aylık veriler incelendiğinde ise stok*gün rakamındaki artış %24'e gerilemektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %97'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistemin kamçı katsayısı 11.58, ancak kayıp satışlar yine %6 olarak müşteri hizmet seviyesini gerçekleştirmektedir.

5.5.2.9 Pazar C – ürün grubu 2

EK-D20'de simülasyon sonuçları ve ilgili grafikler verilmiştir. 24 aylık veriler incelendiğinde stok*gün rakamında %50'lik bir artış görülmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %68'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistem, 1.56 katsayılı zayıf bir kamçı davranışı göstermekte ve kayıp satışlar %3 ile müşteri hizmet seviyesini gerçeklemektedir.

Son 12 aylık veriler incelendiğinde ise stok*gün rakamındaki azalış %43'e düşmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %88'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistemin kamçı katsayısı 2.16 olarak gerçekleşmekte, kayıp satışlar ise yine %3 olarak müşteri hizmet seviyesini gerçeklemektedir.

5.5.2.10 Pazar C – ürün grubu 3

EK-D21'de simülasyon sonuçları ve ilgili grafikler verilmiştir. 24 aylık veriler incelendiğinde stok*gün rakamında %49'lık bir artış görülmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %77'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistem, 0.97 katsayılı çok zayıf bir tersine kamçı davranışı göstermekte ve kayıp satışlar %0 ile müşteri hizmet seviyesini gerçeklemektedir.

Son 12 aylık veriler incelendiğinde ise stok*gün rakamındaki azalış %40'a düşmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %89'luk bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistemin kamçı katsayısı 1.06 ile ideale çok yakın olarak gerçekleşmekte, kayıp satışlar ise yine %0 olarak müşteri hizmet seviyesini gerçeklemektedir.

5.5.2.11 Pazar C – ürün grubu 4

EK-D22'de simülasyon sonuçları ve ilgili grafikler verilmiştir. 24 aylık veriler incelendiğinde stok*gün rakamında %8'lik bir artış görülmektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %92'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistem, 3.14 katsayılı zayıf bir kamçı davranışı göstermekte ve kayıp satışlar %11 ile müşteri hizmet seviyesini gerçeklemektedir.

Son 12 aylık veriler incelendiğinde ise stok*gün rakamındaki azalış %6'a gerilemektedir. Envanter değişkenliğinde ise mevcut duruma göre %95'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Sistemin kamçı katsayısı 6.41 olarak gerçekleşmekte, kayıp satışlar ise yine %8 olarak müşteri hizmet seviyesini gerçeklemektedir.

5.5.3 Konsolide stok değerinin dikkate alınması

İkmal yapısı ile ilgili diğer bir alternatif politika olarak, aşama bazlı stok kontrolü ve hedef stoklara ulaşma yerine, toplam (konsolide) stok değerlerinin hesaplamalarda kullanılması ve stok düzeltmelerin bu değeri baz alması incelenecektir. Bu durumda simülasyon modelinin yapısında bazı değişiklikler gerekmektedir. Yeni modelin diyagram gösterimi Şekil 5.15'te görülmekte olup, sistemin denklemleri aşağıda verilmiştir (Her iki gösterimde de Pazar A – Ürün Grubu 1 örnek olarak alınmıştır).

```
init    in_transit = initial
flow    in_transit = -dt*teslimat + dt*sevkiyat_orani
init    tr_stok = 2013
flow    tr_stok = -dt*sevkiyat_orani + dt*uretim_orani
init    ydisi_stok = 18339
flow    ydisi_stok = -dt*ydisi_stoktan_satis + dt*ydisi_stoga_sevk
aux     dogrudan_musteriye_sevk = INT(teslimat*musteriye_sevk_orani)
aux     sevkiyat_orani = DELAYMTR(sevkiyat_adedi, transit_sure_1/30, 0.5,
initial)
aux     teslimat = INT(DELAYMTR(in_transit, transit_sure_2/30, 1, initial))
aux     uretim_orani = INT(DELAYMTR(uretim_miktari, uretim_zamani/30, 1.5,
initial))
aux     ydisi_stoga_sevk = INT(teslimat* (1 - musteriyeye_sevk_orani))
aux     ydisi_stoktan_satis = INT(MIN((talep* (1-
musteriyeye_sevk_orani))+dogrudan_mus_sevk_eksik), ydisi_stok))
aux     dogrudan_mus_sevk_eksik = INT(MAX(((talep*musteriyeye_sevk_orani) -
dogrudan_musteriyeye_sevk),0))
aux     hesaplanan_sevkiyat_adedi = ydisi_stokga_sevk + tr_ikmal_adet
aux     initial = INT(tr_ikmal_adet/2)
aux     kayip_satis = INT(MAX(talep - toplam_satis,0))
aux     mevcut_toplam_stok = MAX(tr_stok + ydisi_stok,0)
aux     rassal = RANDOM(0,1)
aux     sevkiyat_adedi = INT(MIN(hesaplanan_sevkiyat_adedi, tr_stok))
aux     talep = NORMAL(13359, 2245)
aux     toplam_hedef_stok = MAX(tr_hedef_stok + ydisi_hedef_stok,0)
```

(simülasyon denklemleri devam etmektedir)


```

aux    toplam_satis = INT(dogrudan_musteriye_sevk + ydisi_stoktan_satis)
aux    toplam_stok_duzeltme = MAX(toplam_hedef_stok - mevcut_toplam_stok,0)
aux    tr_hedef_stok = INT(tr_min_stok + tr_ikmal_adet)
aux    tr_stok_duzeltme = INT(tr_hedef_stok - tr_stok)
aux    transit_sure_1 = NORMAL(12, 1)
aux    transit_sure_2 = NORMAL(11, 1)
aux    uretim_miktari = INT(MAX(toplam_stok_duzeltme,0) + tr_ikmal_adet)
aux    uretim_zamani = ((rassal*20) + 5)
aux    ydisi_hedef_stok = INT(ydisi_ikmal_adet + ydisi_min_stok)
aux    ydisi_stok_duzeltme = INT((ydisi_hedef_stok - ydisi_stok)-
    (in_transit/(transit_sure_2/30)))
aux    ydisi_stokga_sevk = INT(MAX(ydisi_stok_duzeltme,0))
const  musteriye_sevk_orani = 0.65
const  tr_ikmal_adet = 13359
const  tr_min_stok = 3694
const  ydisi_ikmal_adet = 4676
const  ydisi_min_stok = 1132

```

Bu politikaya ilişkin simülasyon sonuçları ise EK-D23-33'te verilmektedir. İlerleyen bölümde, sisteme ilişkin performans kriterlerindeki değişiklikler irdelenmektedir.

5.5.4 Kompozit bir model önerisi

Şu ana kadar incelenen senaryolar ve fiili ikmal durumunda, müşterilere doğrudan yapılan sevkiyatlar da ikmal kapsamında yer almaktaydı. Bu kısımda ise, bu sevkiyatların sipariş için üretim mantığı ile kesin sipariş bazlı olması, ikmal politikasının ise yurtdışı stoklardan yapılan satışlara ilişkin olması durumu göz önüne alınacaktır. Aşağıda kompozit modelin denklemleri verilmiş olup, diyagram ise Şekil 5.16'da gösterilmiştir.

```

init    in_transit = initial
flow    in_transit = -dt*delivery_rate + dt*shipment_rate
init    tr_stock = 2013
flow    tr_stock = -dt*shipment_rate + dt*uretim_orani
init    ydisi_stok = 18339

```

(simülasyon denklemleri devam etmektedir)


```

flow  ydisi_stok = -dt*ydisi_stoktan_satis+ dt*ydisi_stoga_sevk
aux   delivery_rate = ROUND(DELAYMTR(in_transit, transit_sure_2/30,
transit_sure_2/30, initial))
aux   dogrudan_musteriye_satis = ROUND(direkt_satis_talebi)
aux   shipment_rate = ROUND(MIN(tr_stock, DELAYMTR(sevkiyat_adedi,
transit_sure_1/30, transit_sure_1/30, initial)))
aux   uretim_orani = ROUND(DELAYMTR(uretim_miktari, uretim_zamani/30,
uretim_zamani/30, initial))
aux   ydisi_stoga_sevk = ROUND(MAX(delivery_rate-
dogrudan_musteriye_satis,0))
aux   ydisi_stoktan_satis = ROUND(MIN(ydisi_stok,stoktan_satis_talebi))
aux   direkt_satis_talebi = ROUND(DELAYINF(kesin_siparis,
toplam_transit_sure, toplam_transit_sure,initial))
aux   dogrudan_satis_kaybi = ROUND(MAX((direkt_satis_talebi -
dogrudan_musteriye_satis),0))
aux   initial = ROUND(tr_ikmal_adet/2)
aux   kayip_satis = ROUND(MAX(((stoktan_satis_talebi -ydisi_stoktan_satis) +
dogrudan_satis_kaybi),0))
aux   kesin_siparis = ROUND(talep*musteriye_sevk_orani)
aux   rassal = RANDOM(0,1)
aux   sevkiyat_adedi = ROUND(kesin_siparis + ydisi_stok_duzeltme +
ydisi_ikmal_adet)
aux   stoktan_satis_talebi = ROUND(talep*(1 - musteriysevk_orani))
aux   talep = ROUND(NORMAL(13359,2245))
aux   toplam_satis = ROUND(dogrudan_musteriye_satis + ydisi_stoktan_satis)
aux   toplam_transit_sure = ROUND((transit_sure_1 + transit_sure_2)/30)
aux   tr_hedef_stok = ROUND(tr_min_stok + tr_ikmal_adet)
aux   tr_stok_duzeltme = ROUND(MAX(tr_hedef_stok - tr_stock,0))
aux   transit_sure_1 = ROUND(NORMAL(12,1))
aux   transit_sure_2 = ROUND(NORMAL(11,1))
aux   uretim_miktari = ROUND(MAX(kesin_siparis + ydisi_stok_duzeltme +
tr_stok_duzeltme,0))
aux   uretim_zamani = ROUND((rassal*20)+2)

```

(simülasyon denklemleri devam etmektedir)

```

aux   ydisi_hedef_stok = ROUND(ydisi_min_stok + ydisi_ikmal_adet)
aux   ydisi_stok_duzeltme = ROUND(MAX(ydisi_hedef_stok - ydisi_stok,0))
const musteriye_sevk_orani = 0.65
const tr_ikmal_adet = 13359
const tr_min_stok = 3694
const ydisi_ikmal_adet = 4676
const ydisi_min_stok = 1132

```

Kompozit modele ilişkin simülasyon sonuçları ise EK-D34-44'te verilmiştir.

5.5.5 Performans kriterlerinin değişimi

5.5.5.1 Stok*gün sayıları

Çizelge 5.9'da sonuçlar verilmiştir. Belirtilmesi gereken önemli bir nokta, talebin normal dağılımının baz alındığı senaryolarda, sistemin dengeye ulaşması açısından 24 aylık simülasyonun son 12 ayının hesaplamalarda kullanıldığıdır. İkmal politikasının devreye alınması düşüncesi ile hesaplanan teorik stok*gün sayıları, istisnai durumlar haricinde mevcut rakamlardan beklenileceği üzere fazladır. Fiili verilere dayanan 10 aylık simülasyon sonuçlarına göre ise stok*gün sayıları genelde önemli artışlar göstermektedir. Bu durumun sebebi, simülasyon 24 aylık dönemde çalıştırıldığında daha açıkça görülmektedir. Firma, 2007 sonu itibariyle özellikle yurtdışı depolarda ihtiyaçtan fazla stok tutmakta, ve sistem, bu stokları arzulan seviyeye indirgemek, bu arada Türkiye'deki stokları da istenen seviyeye çıkarmaya çalışmaktadır.

Çizelge 5.9: Ürün stok*gün sayıları

Pazar	Ürün Gr.	Mevcut	İkmal (Fiili)	İkmal (N.Dağılım)	İkmal (N.Dağılım – T.Stok)	Kompozit	Teorik
A	1	44	78	56	58	43	51
	2	38	76	58	56	44	52
	3	38	122	87	54	49	53
	4	50	70	64	88	60	62
B	1	50	50	48	52	58	44
	2	44	50	52	56	64	47
	3	47	57	46	48	54	42
	4	42	53	52	52	64	48
C	2	55	109	78	88	51	61
	3	72	131	101	105	46	58
	4	68	74	72	76	59	62

Üretim sayesinde Türkiye'deki stokları arzulan seviyeye çıkarmak, yurtdışı stokları indirmeye nazaran çok daha kısa bir zaman diliminde gerçekleştiğinden 10 aylık simülasyonlarda stok*gün sayıları beklenilenin çok üzerinde çıkmaktadır.

Ancak 24 aylık simülasyonun son 12 ayı dikkate alındığında, stok*gün sayılarının hesaplanan teorik değerlere yaklaştığı görülmektedir. Hesaplamalarda konsolide stok değerinin kullanılması durumunda ise, genellikle stok*gün sayılarında hafif artışlar görülmektedir. Bu durumun istisnası ise pazar A- ürün grubu 3 için yaşanmaktadır. Sipariş için üretim yapısının da dahil olduğu kompozit modelde ise stok*gün sayılarında diğer modellere göre ve hatta mevcut duruma göre önemli iyileştirmeler gözlemlenmektedir. Bu noktadan hareketle, kompozit modelin stok miktarında daha iyi sonuçlar verdiği, yorumu yapılabilir.

5.5.5.2 Envanter değişkenliği

Envanter değişkenliğine ilişkin sonuçlar Çizelge 5.10'da verilmiştir. İkmal politikasının, ürün ve bölge ayrımı olmadan envanter değişkenliğine olumlu etkileri olduğu görülmektedir. İkmal politikasının etkilerinin daha kolay olarak gözlemlendiği 24 aylık simülasyonun son 12 ayında bu iyileştirme, çok daha belirgin olarak göze çarpmaktadır.

Toplam stok değerinin parametre hesabında dikkate alınması durumunda ise envanter değişkenliklerinde hafif artışlar gözlemlenmektedir. Ancak bu durumda dahi sistem, mevcut duruma göre önemli iyileştirmeler kaydetmiş durumdadır. Benzer durum kompozit model için de söz konusudur. Kompozit modelin mevcut duruma göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Çizelge 5.10: Envanter değişkenliği

Pazar	Ü.Grubu	Mevcut	İkmal (Fiili)	İkmal (N.Dağılım)	İkmal (N.Dağılım – T.Stok)	Kompozit
A	1	4823	2749	867	931	1136
	2	3579	697	189	277	423
	3	9519	2722	1133	1185	2490
	4	10316	3706	742	1182	2246
B	1	1466	396	111	157	244
	2	2402	320	129	183	383
	3	6443	2880	628	698	1198
	4	7773	1292	263	260	613
C	2	1955	364	240	207	430
	3	4084	1066	467	293	340
	4	5565	483	295	351	490

5.5.5.3 Kamçı

Sevkiyatlara ilişkin kamçı etkisinin değerleri, Çizelge 5.11'de verilmektedir. Başlangıç stok parameterelerine bağlı olarak zaman içerisinde bazı kamçı değerlerinde iyileştirmeler görülürken, bazı değerler ise kötüleşmektedir. Özellikle 4:1'lik ortalama oranın üzerinde gerçekleşen kamçı değerleri ele alındığında, simülasyonun başlangıç değerlerine olan hassas bağlılık daha iyi görülmektedir.

Ayrıca, pazar bazında direkt olarak müşterilere gerçekleştirilen sevkiyat oranları değiştiğinden, kamçı değerlerinin bu parametreye bağlı olduğu yorumu da gerçekçi olacaktır.

Konsolide stokları baz alan hesaplama yönteminin kullanılması durumunda ise kamçı değerleri, genellikle düşmekte, bazı durumlarda ise tersine kamçı davranışına rastlanmaktadır. Ancak kompozit modelde kamçı değerlerinde çok önemli artışlar gözlemlenmektedir. Kısacası, hem sipariş için, hem de ikmale yönelik üretim oranı baz alındığında, bu oranın, satışlara göre önemli değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Bu durumun sebebi ise, kesin siparişlerin devreye girmesiyle üretim değişkenliğinin, üretim zamanına aşırı hassas hale gelmesi olarak görülmektedir.

Çizelge 5.11: Kamçı değerleri

Pazar	Ü.Grubu	İkmal (Fiili)	İkmal (N.Dağılım)	İkmal (N.Dağılım – T.Stok)	Kompozit
A	1	3.91	9.92	8.16	30.90
	2	8.26	5.30	5.83	62.65
	3	15.11	1.23	2.81	20.95
	4	11.32	4.30	0.44	16.50
B	1	3.49	6.81	7.38	26.00
	2	4.78	8.10	11.86	18.66
	3	24.87	14.51	1.67	52.67
	4	1.77	11.58	6.81	6.17
C	2	1.12	2.16	3.59	46.34
	3	1.82	1.06	1.85	328.69
	4	1.58	6.41	0.45	3.00

5.5.5.4 Kayıp satışlar

İkmal politikasının devreye alınması ile simülasyonlarda ortaya çıkan kayıp satışlar Çizelge 5.12'de verilmiştir. %95'lik müşteri hizmet seviyesini hem fiili verilere göre 10 aylık, hem de talebin normal dağılıma uyduğu 24 aylık simülasyonlarda gerçeklemeyen pazarlar ve ürün grupları incelendiğinde, talep standart sapmasının, talep ortalamasına oranının büyük olduğu görülmektedir. Konsolide stok değerlerini baz alan hesaplamanın kullanılması durumunda ise, pazar B, ürün grubu 4 dışında kayıp satışlarda azalma görülmektedir.

Bu durum, birçok detay noktaya ışık tutmaktadır. İki aşamalı bir dağıtım sisteminde, literatürde yer alan formüllere dayanarak hesaplanan ikmal parametreleri, bu parametrelerin hesaplanmasında baz teşkil eden müşteri hizmet seviyesini talep değişkenliğinin yüksek olduğu durumlarda karşılamamaktadır.

Bunun altında yatan sebeplerden bir diğer sebep de, direkt olarak müşterilere gerçekleştirilen sevkiyatların oranı olarak gözükmemektedir. Bu oran yükseldikçe, yurt dışında bulundurulması gereken stok seviyesi azalmakta, bu durum da müşteri hizmet seviyesinin gerçekleşmesini daha kırılgan hale getirmektedir. Özellikle, müşteriye direkt sevkiyat oranının yüksek olduğu B pazarında talep değişkenliğine karşı hassasiyet daha çok hissedilmektedir.

Çizelge 5.12: Kayıp satışlar

Pazar	Ü.Grubu	İkmal (Fiili)	İkmal (N.Dağılım)	İkmal (N.Dağılım – T.Stok)	Kompozit	Talep st. sapması / Talep ortalaması
A	1	%0	%1	%2	%2	0.168
	2	%0	%6	%3	%2	0.180
	3	%0	%0	%0	%1	0.211
	4	%14	%18	%15	%1	0.526
B	1	%3	%7	%4	%0	0.250
	2	%7	%10	%10	%0	0.441
	3	%1	%3	%5	%0	0.171
	4	%7	%6	%11	%0	0.469
C	2	%0	%3	%3	%0	0.267
	3	%0	%0	%0	%4	0.185
	4	%3	%8	%3	%0	0.314

Kompozit model ele alındığında ise, yine diğer senaryolara göre önemli bir üstünlüğü görülmektedir. Tüm pazar ve ürün grupları için kayıp satışlar müşteri hizmet seviyesini gerçekleştirmekle kalmayıp, neredeyse hiç ortaya çıkmamaktadır.

5.6 Sonuç

İkmal politikasının uygulanmasının literatürde gayet iyi bilinen avantajları olduğu gibi, birtakım zorlukları da olacağı aşikardır. Sektörel gereklilikler ve rekabet koşullarına bağlı olarak müşteri istekleri hızlı bir biçimde değişmektedir.

Bu bölümde, sipariş ve stok için üretim yapılarının birlikte bulundukları durumda ikmal politikasında ne gibi değişiklikler olabileceği araştırılmış; ve dayanıklı tüketim alanında faaliyet gösteren bir firmada uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu yapıda ikmal politikasını devreye alması durumunda nelerle karşılaşılacağı soruları da uygulama sonucunda cevaplanmaya çalışılmıştır.

Bu amaçla ilk önce, ikmal kapsamına dahil olacak ürünlerin seçimi için bir algoritma oluşturulmuştur. Algoritma, satışı yüksek ve sık olan, cirodaki katkısı da adetsel katkısıyla paralellik gösteren, ürün-yaşam konumu olarak devrede kalmaya devam edecek, yada belirli bir olgunluğa gelmiş ürünlerin seçimini sağlamaktadır.

Daha sonra, belirlenen modeller, ürün grubu bazında biraraya getirilmiş ve yine ürün grubu bazında ikmal parametreleri belirlenmiştir. Bu parametrelerin belirlenmesinde talep verileri ile birlikte nakliye süreleri, ve direkt olarak müşterilerin depolarına yapılan sevkiyatlar da rol oynamaktadır.

Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre, ikmal politikasına geçiş durumunda taşınacak stok rakamlarının yükseleceği görülmektedir ve ikmal politikası için bu artış normal karşılanmaktadır. Başlangıç anında elde bulundurulanan stok miktarlarına bağlı olarak, ikmal politikasının etkilerinin ise ancak 1 yıl sonra ortaya çıkabileceği de bir diğer önemli noktadır.

Ayrıca kayıp satış oranları genellikle belirlenen müşteri servis düzeyini sağlamaktadır. Bu alanda %5'in üzerine çıkmış olan kayıp satışlara bakıldığında genellikle son zamanlarda taleplerinde önemli artış görülen ve talep değişkenliği yüksek ürün grupları oldukları göze çarpmaktadır. Bu izlenimden hareketle, sadece ikmal kapsamına dahil olacak ürünlerin seçiminin değil, ikmal parametrelerinin de periyodik olarak ve mevcutsa sezonsallık etkisi de dikkate alınarak gözden geçirilmesinin gerekliliği vurgulanabilir. Ağırlıklı ortalama dayanan talep tahminlerinin, literatürde kamçı etkisine yol açtığı sıkça belirtilmektedir ancak bu durumda ileriki çalışmalar için bir opsiyon olarak düşünülebilir. Ayrıca, simülasyon modellerinin tamamına yakınında ikmal politikasının getireceği bir kamçı davranışı ortaya çıkmaktadır. Ancak bazı pazar ve ürün grupları için kamçı etkisi oldukça kuvvetli iken, bazılarında aşama bazında 2:1'lik oranın oldukça altında kalmaktadır.

Modelin stok düzeltme oranlarının konsolide stok rakamını baz alması durumunda ise ikmal politikasına uyum ve performans kriterlerinin değerleri genellikle daha iyi sonuçlar vermektedir. Her iki yapıda da hem stok*gün, hem de kayıp satışlarda arzulanan iyileştirmenin yaşanmadığı pazar ve ürün gruplarına ilişkin ayrıntılı parametre analizi, ileri çalışmalar için bir başka önemli alanı teşkil etmektedir.

Son olarak, ikmal politikasının sipariş için üretim yapısı ile birleştirilmesini baz alan yeni bir kompozit model önerisi sunulmuştur. Bu yeni model, kamçı değerleri dışındaki tüm performans göstergelerinde diğer senaryolara göre üstün sonuçlar vermekte, hatta mevcut durumun da iyileştirilmesini beraberinde getirmektedir. Kamçı değerinin yüksek olması ise kompozit modelin devreye alınması durumunda

firmanın, satışlara göre yüksek bir üretim değişkenliğine katlanması gerektiğini, bu değişkenliğin ise temelde, üretim zamanına karşı aşırı hassasiyetten kaynaklandığını ortaya koymaktadır.

Oluşturulan modellerin, ilgili sektöre ait talep davranışına özgü olduğu göz önünde bulundurulmalı, ancak modellerde ilişkisel ve parametre bazlı değişikliklerle genelleştirmeye yönelik hale getirilebilecekleri belirtilmelidir.

Yukarıda özetlenen senaryo analizleri dışında, stokların ilk değerleri ile, toplam satışların direkt müşteriye sevk edilen oranının çeşitli değerlerine ilişkin duyarlılık analizi yapılmasının ileri çalışmalar açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tedarik zinciri yönetimi, son yıllarda popülerite kazanmış bir alan olmakla birlikte, bu popüleritesi sadece iş dünyası ve yönetsel yaklaşımlarla sınırlı kalmamış gözükmeştir. Akademik anlamda da çok geniş ve kapsamlı bir araştırma alanı teşkil eden tedarik zinciri yönetiminde en önemli alanlardan birinin kamçı etkisi olduğu belirtilmektedir.

Tez çalışması kapsamında uluslararası tedarik zincirlerinin dağıtım alanında kamçı etkisi ile beraber stok seviyeleri, stok devir hızları ve stok değişkenlikleri gibi konular da analiz edilerek farklı sistemlerin farklı koşullarda davranış şekilleri incelenmiştir.

Forrester'ın (1958) sistem dinamiği alanındaki öncü çalışmalarından sonra bu yaklaşım uzunca bir süre popüleriteden uzak kalmış, ancak değişen rekabet koşulları ve bilişim teknolojileri ile birlikte son yıllarda tekrar geniş bir uygulama alanı bulmaya başlamıştır. Kaos teorisi ve öğrenen organizasyonlar gibi açılımların yanı sıra, tedarik zincirlerinin de sistem dinamiği ile modellenmesi, hiç kuşkusuz birbirleri ile son derece uyumlu olarak bütünleşen iki alanın birlikte güncellik kazanmasına yol açmaktadır.

Literatürde tedarik zincirlerinde kamçı etkisinin geniş bir inceleme alanı bulunmasına karşılık, sadece dağıtım alanı ile sınırlandırılmış fazla sayıda çalışma yoktur. Sipariş verme yapılarının sistemsal olarak yol açtığı kamçı davranışının, benzer nedenler ile sadece dağıtım alanında da ortaya çıktığı tez çalışmasının sonucunda görülmektedir.

Ayrıca yine literatürde kamçı etkisi araştırmalarında ikmal politikalarının, talep tahminlerine dayalı sistemlerin, stok için üretim yapılarının çok fazla sayıda çalışma ile incelenmiş olmasına rağmen, sipariş için üretim sistemleri ve arz bazlı sistemler, benzer ilgiyi görmemektedir. Tez çalışması ile bu alandaki boşluğun kısmen de olsa doldurulmasına çalışılmıştır.

Yukarıda bahsedildiği üzere ikmal yapıları, talep tahminlerinin tedarik zinciri içerisine ne dereceye kadar girdiği alanlarında sıkça incelenmiş ve kamçıyı ortadan kaldıracak çeşitli prensiplerle birlikte zincirden aşama eliminasyonu da çoklukla analiz edilmiştir. Ancak tez çalışmasında incelenen ikmal yapısı, kısmı olarak iki

aşamalı, kısmi olarak da tek aşamalı bir yapıdır. Bu özelliği ile de tezin, literatürde yer alan başka bir boşluğu doldurması amaçlanmıştır.

Tezde yer alan sipariş için üretim yapısında ilk giren siparişin ilk olarak servis edildiği (FCFS) ve siparişlerin bekleyen siparişler ile havuzlandığı iki farklı politika analiz edilmiştir. Sisteme ilişkin sonuçlar ortaya konduğunda, her iki politika için de sistemin tersine kamçı davranışı gösterdiği ortaya çıkmaktadır. Yani sevkiyatların değişkenliği, siparişlerin değişkenliğinden daha yüksek durumdadır. Bu durumun altında yatan olası nedenler üretim yada sevkiyat aşamalarında belirsizliğin ortaya çıkarak, sevk edilen miktarı etkilemesi olarak düşünülmektedir. Kamçının aşama bazlı değişimi incelendiğinde özellikle sevkiyat aşamasında karşılaşılan sorunların sistemi arz bazlı hale getirdiği görülmektedir.

İki politika, mevcut sistemin altında incelendiğinde Havuz yapısının FCFS yapısına göre daha etkin olduğu görülmektedir. Zira ele alınan iki performans kriteri olan (tersine) kamçı ve envanter değişkenliği için de Havuz yapısı istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha iyi sonuçlar vermektedir.

Üretimdeki belirsizliğin azalması ile de durum değişmemektedir. FCFS yapısına ilişkin tersine kamçı değerinde azalma, Havuz yapısına ilişkin tersine kamçı değerinde ise artış olmasına rağmen; Havuz yapısı envanter değişkenliğinde daha iyi performans ortaya koymaktadır.

Sistemin arz bazlı hale gelmesinin temel sebebi olan sevkiyat belirsizliği azaltıldığında ise durum değişmektedir. Bu durumda Havuz yapısı kuvvetli bir kamçı davranışı sergilemekte, FCFS yapısı ise tercih edilmesi gereken yapı olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu noktada tekrar edilmesi gereken önemli bir konu, arz bazlı sistemlerin alternatif dağıtım kanalı bulma esnekliğine sahip olması gerektiği, mevcut sistemin ise sipariş için üretim yapması nedeniyle bu esnekliğe sahip olmadığı, dolayısıyla risk taşıdığıdır.

Bu uygulamadaki simülasyon, uygulamanın fiili verilerine uygun ilk veriler ve koşum şartları altında çalıştırılmış olup; sipariş için üretim yapan sistemlerde daha genel bir yargıya varılabilmesi için, farklı değer ve koşum şartları altında da simülasyonların çalıştırılması ve güvenilirlik analizi yapılması gerekliliği gözden kaçırılmamalıdır.

Sipariş için üretim sisteminde sistemin belirsizliğine ait dominansı sevkiyat tarafına kaydıran başka etmenlerin de araştırılması, üretim ve sevkiyat belirsizliklerine ilişkin kritik parametre değerlerinin hesaplanması, sevkiyat belirsizliğini oluşturan etmenlerin detaylı analizi ve tersine kamçıya olan etkilerinin araştırılması, ve

kapasite yetersizliği durumunda tahsis sorunun davranışa olan etkisinin incelenmesinin ileri çalışmalar açısından faydalı olacağı düşnlmektedir.

İkinci olarak; sipariş ve stok için üretim yapılarının birarada bulunduğu yapıların modellenmesi amaçlanmış; ve oluşturulan mental modelin analizi yapılmıştır.

Bu analizde ise iki aşamalı bir sistem ele alınmıştır. Zira sevkiyatların bir kısmı yurtdışında bulunan depolara yapılmakta, ve iki aşamalı bir tedarik (dağıtım) zinciri yapısı ortaya çıkmaktadır. Ancak diğer bir kısım sevkiyat da doğrudan müşterilerin depolarına gerçekleştirilmekte, ve tek aşamalı bir tedarik zinciri yapısı oluşmaktadır.

İkmal kapsamına girecek ürünlerin seçimine ilişkin oluşturulan algortima, tamamen zgn olup, gelecek çalışmalarda birçok seçim problemine baz teşkil edebilir.

İkmal poltikasının devreye alınması ile birlikte tüm pazar ve ürün grupları için envanter değişkenliklerinde önemli iyileştirmeler sağlanmaktadır. Bu noktadan hareketle, firmanın stoklarının daha stabil bir dağılım göstereceği aşıkdır. Elde bulundurulacak stok miktarı açısından ise, beklenileceği gibi ikmal yapısı firmanın daha fazla stok tutmasına yol açacaktır.

Ancak bu aşamada yorumlanması gereken önemli bir konu, yurtdışı lokasyonlarda tutulacak stokların, doğrudan müşterilere yapılan sevkiyatlar ile bağlantılı olduğu ve doğrudan müşterilere yapılan sevkiyat oranı parametresinin de mevcut durum baz alınarak simülasyona dahil edildiğidir. İdeal durumda, stok maliyetleri de gözönüne alınarak, bu oranın çeşitli değerleri için parametreye dayalı duyarlılık analizi gerçekleştirilmesi yararlı olacaktır. Bu konu, tez çalışmasının devamında bir ileri inceleme alanı olarak yorumlanabilir.

İkmal yapısı, sipariş için üretim yapısının aksine kamçı davranışı göstermektedir. Bu durum da literatürde yer alan çalışmalar ile uyum göstermektedir. İkmal politikasının uygulamaya alınması ile birlikte kayıp satışların olacağı ve bazı ürünlerde müşteri hizmet düzeyinin altında kalınacağı görülmektedir. Ancak bu durum yanıltıcı olabilmektedir zira yukarıda değinildiği üzere ikmal yapısı ile birlikte yurtdışı lokasyonlarda bulundurulacak stok miktarları ile ilgili olarak yeni bir değerlendirmeye gidilmesi gerekmektedir.

Ayrıca simülasyonlarda stok seviyelerinin ilk değerleri, elde bulundurulan yıl sonu fiili stok değerleri olarak alınmıştır. Buradan hareketle, fiili verilere dayanarak hesaplanan performans kriterleri, beklenilenin üzerinde çıkmakta, ancak talebin normal dağılıma uygun olarak alındığı ve 24 ay için çalıştırılan modellerde teorik değerlere yakınlaşma gözlemlenmektedir. Bu durum, ikmal parametreleri ile belirlenen hedef stok değerlere ulaşılması için de 12 aylık bir zaman geçmesi

gerektiğini ortaya çıkarmaktadır. Bunlara ilave olarak simülasyon sonuçlarından elde edilen diğer bir önemli olgu; ikmal yapısında stok düzeltmelerin aşama bazlı stoklar yerine konsolide stoklar dikkate alınarak gerçekleştirilmesi durumunda sistemin daha iyi sonuçlar ortaya koyduğudur.

İkmal yapısı modelin sağlamlığını belirlemek amacıyla simülasyon 1000 ay boyunca işletilmiş ve sistemin pozitif geri beslemeye girerek eksponansiyel büyüme yada eksponansiyel azalma davranışına girmediği görülmüştür. Ayrıca sistemde dominans kayması da yaşanmamıştır. Bu noktadan hareketle modelin gerçek durumu yeteri sağlamlıkta temsil ettiği yorumu yapılabilir.

Ayrıca ikmal politikasına ilişkin yeni ve kompozit bir model önerilmiştir. Bu modelde, müşterilere gerçekleştirilen doğrudan sevkiyatlar, kesin siparişlere tabi olmakta, ve sipariş için üretim sistemi ortaya konmaktadır. İkmal ile bütünleşik kompozit bu sistem, gerek mevcut duruma göre, gerekse diğer senaryo modellerine göre çok daha iyi sonuçlar ortaya koymakta, ancak daha büyük bir kamçı davranışına maruz bırakmaktadır. Bu kamçı davranışının temel sebebi, stokları düzeltmeye yönelik üretimlere ilave olarak gelen talebe ilişkin üretimin, talep tahminlerinden değil, direkt olarak pazar verilerinden alınması ve üretim zamanının dağılımına aşırı hassas duruma gelmesidir. Özellikle talebe ilişkin değişkenliğin fazla olduğu durumlarda bu değişkenlik, üretime daha büyük ölçüde yansımaktadır. Bu noktada karar vericilerin, düşük stok ve satış kaybı ile yüksek kamçı değerine katlanma konusunda öncelikleri belirleyici olacak, ya da üretim zamanına ilişkin değişkenliğin düşürülmesi hedeflenecektir. Kompozit modelde kamçının ehlileştirilmesi bir diğer ileri çalışma alanı olarak görülebilir.

Bu aşamada oluşturulan modelde, ilgili sektöre özel talep yapısının dikkate alındığı belirtilmeli, modelin genelleştirilmesi için benzer talep yapısının varlığı sorgulanmalıdır. Ayrıca farklı simülasyon koşum şartlarında da modelin geçerliliğinin test edilmesi faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Affeldt, John F.**, 1999: The application of system dynamics (SD) simulation to enterprise management, *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, 1496.
- Akkermans, Henk**, 1995: Developing a logistics strategy through participative business modeling, *International Journal of Operations & Production Management*, **11**, 100-112.
- Akkermans, Henk, Bogerd, Paul, ve Vos, Bart**, 1999: Virtuous and vicious cycles on the road towards international supply chain management, *International Journal of Operations & Production Management*, **19**, 565-581.
- Angerhofer, Bernhard J., ve Angelides Marios C.**, 2000: System dynamics modeling in supply chain management: Research review, *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, 342.
- Ashayeri, J., Keij, R., ve Bröker, A.**, 1998: Global business process reengineering: A system dynamics-based approach, *International Journal of Operations and Production Management*, **18/9-10**, 817-831.
- Barutçugil, İ.S.**, 1988: *Üretim Sistemi ve Yönetim Teknikleri*, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Benito, Gabriel R.G., Pedersen, Torben ve Petersen, Bent**, 2005: Export channel dynamics: An empirical investigation, *Managerial and Decision Economics*, **26**, 159-173.
- Bianchi, Carmine, ve Bivona, Enzo**, 2002: Opportunities and pitfalls related to e-commerce strategies in small-medium firms: A system dynamics approach, *System Dynamics Review*, **18/3**, 403-429.
- Bowersox, Donald J. and Closs, David J.**, 1996: *Logistical Management – The Integrated Supply Chain Process*, The McGraw-Hill Companies, Inc., New York.
- Bozdağ, C. Erhan**, 1998: Kaos Analizi: Bir Finansal Sektör Uygulaması, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Burbidge, J.L.**, 1983: Five golden rules to avoid bankruptcy, *Production Engineer*, **62/10**, 13-14.
- Burbidge, J.L., ve Halsall, J.**, 1994: Group technology and growth at Shalibane, *Production Planning and Control*, **5/2**, 213-18.

- Byrne, JA**, 1993: The virtual corporation, *Business Week*, **February**, 98-103.
- Campbell, Deborah**, 2001: The long and winding (and frequently bumpy) road to successful client engagement: One team's journey, *System Dynamics Review*, **17/3**, 195-215.
- Cárdenas-Barrón, Leopoldo Eduardo**, 2007: Optimizing inventory decisions in a multi-stage multi-customer supply chain – a note, *Transportation Research Part E*, **43**, 647-654.
- Cassivi, Luc**, 2006: Collaboration planning in a supply chain, *Supply Chain Management: An International Journal*, **11/3**, 249-258.
- Chan, Chi Kin, Li, Leon Yuk-on, Ng, Chi To, Cheung, Bernard Kin-sion, Langevin, Andre**, 2006: Scheduling of multi-buyer joint replenishments, *International Journal of Production Economics*, **102**, 132-142.
- Chen, Tsung-Hui, ve Chen, Jen-Ming**, 2004: Optimizing supply chain collaboration based on joint replenishment and channel coordination, *Transportation Research Part E*, **41**, 261-285.
- Chen, Jen-Ming, ve Chen, Tsung-Hui**, 2005: The multi-item replenishment problem in a two-echelon supply chain: The effect of centralization versus decentralization, *Computers & Operations Research*, **32**, 3191-3207.
- Chen, Jen-Ming, ve Chen, Tsung-Hui**, 2007: The profit maximization model for a multi-item distribution channel, *Transportation Research Part E*, **43**, 338-354.
- Chiou, Chuang-Chun, Yao, Ming-Jong, ve Tsai, Jenteng**, 2007: A mutually beneficial coordination mechanism for a one-supplier multi-retailers supply chain, *International Journal of Production Economics*, **108**, 314-328.
- Choy, K.L., ve Lee, W.B.**, 2002: On the development of a case-based supplier management tool for multi-national manufacturers, *Measuring Business Excellence*, **6/1**, 15-22.
- Choy, K.L., ve Lee, W.B.**, 2003: A generic supplier management tool for outsourcing manufacturing, *Supply Chain Management: An International Journal*, **8/2**, 140-154.
- Christopher, Martin, ve Lee Hau**, 2004: Mitigating supply chain risk through improved confidence, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, **34/5**, 388-396.
- Croson, Rachel ve Donohue, Aren**, 2005: Upstream versus downstream information and its impact on the bullwhip effect, *System Dynamics Review*, **21/3**, 249-260.
- Çebi, Ferhan, ve Bayraktar, Demet**, 2003: An integrated approach for supplier selection, *Logistics Information Management*, **16/6**, 395-400.

- Dahel, Nasr-Eddine**, 2003: Vendor selection and order quantity allocation in volume discount environments, *Supply Chain Management: An International Journal*, **8/4**, 335-342.
- De Souza, Robert, Zice, Song, ve Chaoyang, Liu**, 2000: Supply chain dynamics and optimization, *Integrated Manufacturing Systems*, **11/5**, 348-364.
- Dickson, G.W.**, 1966: An analysis of vendor selection systems and decisions, *Journal of Purchasing*, **2/1**, 5-17.
- Disney, S.M., Naim, M.M., ve Towill, Denis R.**, 1997: Dynamic simulation modelling for lean logistics, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, **27/3-4**, 0960-0035.
- Disney, S.M., ve Towill, Denis R.**, 2000: The effect of VMI on the bullwhip effect, *International Conference on Production Research, Prague, 30 July – 2 August*.
- Disney, S.M., Towill, Denis R.**, 2002a: Optimisation of the dynamic response of vendor managed inventory, *Computers and Industrial Engineering*, **43/1-2**, 27-58.
- Disney, S.M., Towill, Denis R.**, 2002b: A discrete linear control theory model to determine the dynamic stability of vendor managed inventory, *International Journal of Production Research*, **40/1**, 179-204.
- Disney, S.M., Towill, Denis R.**, 2003: Vendor-managed inventory and bullwhip reduction in a two-level supply chain, *International Journal of Operations & Production Management*, **23/6**, 625-651.
- Disney, S.M., Towill, Denis R.**, 2006: A methodology for benchmarking replenishment-induced bullwhip, *Supply Chain Management: An International Journal*, **11/2**, 160-168.
- Dong, Yan, Shankar, Venkatesh, ve Dresner, Martin**, 2007: Efficient replenishment in the distribution channel, *Journal of Retailing*, **83**, 253-278.
- Duggan, Jim**, 2002: A distributed computing approach to system dynamics, *System Dynamics Review*, **18/1**, 87-98.
- Dutta, Amitawa, ve Roy, Rahul**, 2003: Effects of information feedbacks on supply chain management, *EC'03*, **June 9-12**, 270.
- Ertogral, Kadir, ve Rahim, M.A.**, 2005: Replenish-up-to inventory control policy with random replenishment intervals, *International Journal of Production Economics*, **93-94**, 99-405.
- Fisher, M.L.**, 1997: The right supply chain for your products, *Harvard Business Review*, **March-April**, 105-16.

- Forker, Laura B., ve Mendez, David**, 2001: An analytical method for benchmarking best peer suppliers, *International Journal of Operations & Production Management*, **21/1-2**, 195-209.
- Forrester, J.W.**, 1961: *Industrial Dynamics*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Fransoo, Jan C., ve Wouters, Marc J.F.**, 2000: Measuring the bullwhip effect in the supply chain, *Supply Chain Management: An International Journal* , **5/2**, 78-89.
- Ge, Y., Yang, J.B., Proudlove N. ve Spring, M**, 2004: System dynamics modeling for supply-chain management: A case study on a supermarket chain in the UK, *International Transactions in Operational Research*, **11**, 495-509.
- Gleick, James**, 2003: *Kaos*, Tübitak Yayınları, İstanbul.
- Gonzales, M.**, 1996: Relationship of selective process variables to product quality and customer satisfaction in chair manufacturing, *Industrial Engineering*, Purdue University, West Lafayette, IN.
- Gonzales, Marvin E., Quesada, Gioconda, ve Mora Monge, Carlo A.**, 2004: Determining the importance of the supplier selection process in manufacturing: A case study, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, **34**, 492-504.
- Graham, Alan K., ve Ariza, A. Carlos**, 2003: Dynamic, hard and strategic questions: Using optimization to answer a marketing resource allocation question, *System Dynamics Review*, **19/1**, 27-46.
- Holmberg, Stefan**, 2000: A systems perspective on supply chain measurements, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, **30/10**, 847-868.
- Holström, J**, 1997: Product range management: A case study of supply chain operations in the European grocery industry, *Supply Chain Management*, **2/3**, 107-15.
- Hong-Minh, S.M., Disney, S.M., ve Naim, M.M.**, 2000: The dynamics of emergency transshipment supply chains, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, **30/9**, 788-815.
- Hoque, M.A.**, 2008: Synchronization in the single-manufacturer multi-buyer integrated inventory supply chain, *European Journal of Operations Research*, **188**, 811-825.
- Houlihan, J.B.**, 1988: International Supply Chain Management, in Christopher, M. (Ed.) (1992), *Logistics: The Strategic Issues*, Chapman & Hall, London.
- Hsiao, Yu-Cheng**, 2008: Integrated logistic and inventory model for a two-stage supply chain controlled by the reorder and shipping points with sharing information, *International Journal of Production Economics*, **115**, 229-235.

- Hsu, Li-Ling**, 2005: SCM system effects on performance for interaction between suppliers and buyers, *International Management & Data Systems*, **105/7**, 857-875.
- Huang, Shuo, ve Chen, Jian**, 2007: Analytical study of multi-item joint replenishment problem, *Systems Engineering – Theory & Practice*, **27/12**, 90-95.
- Hull, Bradley Z.**, 2005: Are supply (driven) chains forgotten? *The International Journal of Logistics Management*, **16/2**, 218-236.
- Jain, Apurva, ve Moinzadeh, Kamran**, 2005: A supply chain model with reverse information exchange, *Manufacturing & Service Operations Management*, **7/4**, 360-378.
- Johansson, H.J., McHugh, P., Pendlebury, A.J., ve Wheeler, W.A. III**, 1993: *Business Process Re-engineering*, John Wiley & Sons, Chichester.
- Kahraman, Cengiz, Cebeci, Ufuk, ve Ulukan, Ziya**, 2003: Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP, *Logistics Information Management*, **16/6**, 382-394.
- Kaplan, R.S., ve Norton, D.P.**, 1992: The balanced scorecard – measures that drive performance, *The Harvard Business Review*, **January/February**, 71-9.
- Khouja, Moutaz**, 2003: Optimizing inventory decisions in a multi-stage multi-customer supply chain, *Transportation Research Part E*, **39**, 193-208.
- Kim, Bowon ve Oh, Heungshik**, 2005: The impact of decision-making sharing between supplier and manufacturer on their collaboration performance, *Supply Chain Management: An International Journal*, **10/3**, 223-236.
- Kobu, Bülent**, 1996: *Üretim Yönetimi*, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Araştırma ve Yardım Vakfı, İstanbul.
- Kosior, Jake M., ve Strong, Doug**, 2006: Supply/demand chain modeling utilizing logistical-based costing, *Journal of Enterprise Information Management*, **19/3**, 346-360.
- Lalwani, C.S., Disney, S.M., ve Naim, M.M.**, 2006: On assessing the sensitivity to uncertainty in distribution network design, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, **36/1**, 5-21.
- Lau, R.S.M., Xie, Jinxing, ve Zhao, Xiande**, 2008: Effects of inventory policy on supply chain performance: A simulation study of critical decision parameters, *Computers & Industrial Engineering*, **55**, 620-633.
- Lee, H., Padmanabhan, V., ve Whang, S.**, 1997a: Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect, *Management Science*, **43/4**, 546-58.

- Lee, H., Padmanabhan, V., ve Whang, S.,** 1997b: The bullwhip effect in supply chains, *Sloan Management Review*, **38/3**, 93-102.
- Lee, H.T., ve Wu, J.C.,** 2006: A study on inventory replenishment policies in a two-echelon supply chain system, *Computers & Industrial Engineering*, **51**, 257-263.
- Li, Zhenping, Kumar, Arun, ve Lim, Yan Guam,** 2002: Supply chain modelling – A co-ordination approach, *Integrated Manufacturing Systems*, **13/8**, 551-561.
- LiBo, Zhang, ve Qin, Zhang.** 2007: A comparison of system dynamics between time-based and quantity-based VMI consolidated replenishment system, *Proceedings of 2007 International Conference on Grey Systems and Intelligent Services*, 1568.
- Liu, Jian, Ding, Fong-Yuen, ve Lall, Vinod,** 2000: Using data envelopment analysis to compare suppliers for supplier selection and performance improvement, *Supply Chain Management: An International Journal*, **5/3**, 143-150.
- Lummus, Rhonda R., Duclos, Leslie K., ve Vokurka, Robert J.,** 2003: The impact of marketing initiatives on the supply chain, *Supply Chain Management: An International Journal*, **8/4**, 317-323.
- Ma, Hongze, Deng, Ziqiong, ve Solvang, Wei Deng,** 2004: An online approach for distributor benchmarking, *Benchmarking: An International Journal*, **11/4**, 385-402.
- Magee, J.F.,** 1958: *Production Planning and Inventory Control*, McGraw-Hill Book Company, New York, NY, pp.80-3.
- Maister, D.H.,** 1975: Centralisation of inventories and 'the square root law', *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, **6/3**, 124-134.
- Mak, K.L., Lai, K.K., Ng, W.C., ve Yiu, K.F.C.,** 2005: Analysis of optimal opportunistic replenishment policies for inventory systems by using a (s, S) model with a maximum issue quantity restriction, *European Journal of Operations Research*, **166**, 385-405.
- Mason-Jones, Rachel, ve Towill, Denis R.,** 1998: Time compression in the supply chain: Information management is the vital ingredient, *Logistics Information Management*, **11/2**, 93-104.
- McCullen, Peter, ve Towill, Denis,** 2002: Diagnosis and reduction of bullwhip in supply chains, *Supply Chain Management: An International Journal*, **7/3**, 164-179.
- Meijboom, Bert,** 1999: Production-to-order and international operations: A case study in the clothing industry, *International Journal of Operations and Production Management*, **19/5-6**, 602-619.

- Meredith, J.R.**, 1992: *The Management of Operations: A Conceptual Emphasis*, 4th Edition, John Wiley & Sons Inc., TX, United States.
- Metters, R.**, 1997: Quantifying the bullwhip effect in supply chains, *Journal of Operations Management*, **3/15**, 89-100.
- Moon, Seong-Am, ve Kim, Dong-Jin**, 2005: Systems thinking ability for supply chain management, *Supply Chain Management: An International Journal*, **10/5**, 394-401.
- Narasimhan, Ram, ve Mahapatra, Santosh**, 2004: Decisions models in global supply chain management, *Industrial Marketing Management*, **33**, 21-27.
- Ng, Woon Kian, Piplani, Rajesh, ve Viswanathan, S.**, 2002: Simulation workbench for analysing multi-echelon supply chains, *Integrated Manufacturing Systems*, **14/5**, 449-457.
- Nielsen, Christina, ve Larsen, Christian**, 2005: An analytical study of the Q(s,S) policy applied to the joint replenishment problem, *European Journal of Operations Research*, **163**, 721-732.
- Nikandish, Naser**, 2008: Comment on "optimizing supply chain collaboration based on joint replenishment and channel coordination", *Transportation Research Part E*, **44**, 948-949.
- Overby, Jeffrey W., ve Min, Soonhong**, 2001: International supply chain management in an internet environment: A network-oriented approach to internationalization, *International Marketing Review*, **18/4**, 392-419.
- Owen, Neil R.H., , ve Towill, Denis R.**, 2006: Cusum modeling of the dynamics of process performance improvement programmes, *International Journal of Productivity & Performance Management*, **55/2**, 99-117.
- Özalkan, E. C., ve Çakanyıldırım, M.**, 2007: Reverse bullwhip effect in pricing, *European Journal of Operations Research*, **10**, 1016.
- Papanagnou, C.I., ve Halikias, G.D.**, 2008: Supply-chain modelling and control under proportional inventory-replenishment policies, *International Journal of Systems Science*, **39/7**, 699-711.
- Pathak, Surya D., Day, Jamison M., Nair, Anand, Sawaya, William J., Kristal, M.Murat**, 2007: Complexity and adaptivity in supply networks: Building supply network theory using a complex adaptive systems perspective, *Decision Sciences*, **35/4**, 547-580.
- Pawlak, Marek, ve Malyszczek, Elzbieta**, 2008: A Local collaboration as the most successful co-ordination scenario in the supply chain, *Industrial Management & Data Systems*, **108/1**, 22-42.
- Pentico, David W., Drake, Matthew J., ve Toews, Carl**, 2009: The deterministic EPQ with partial backordering: A new approach, *Omega*, **37**, 624-636.

- Plossl, G.W.-Wight, O.W.**, 1967: *Production and Inventory Control*, Prentice-Hall.
- Porras, Eric, ve Dekker, Rommert**, 2006: An efficient optimal solution method for the joint replenishment problem with minimum order quantities, *European Journal of Operations Research*, **27/12**, 90-95.
- Prasad, Sameer, Tata, Jasmine, ve Motwani, Jaideep**, 2001: International supply chain management: Learning and evolving networks, *Global Journal of Flexible Systems Management*, **174**, 1595-1615.
- Prater, Edmund**, 2005: A Framework for understanding the interaction of uncertainty and information systems on supply chains, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, **35**, 524-539.
- Rickards, Robert C.**, 2003: Setting benchmarks and evaluating balanced scorecards with data envelopment analysis, *Benchmarking: An International Journal*, **10/3**, 226-245.
- Ritchie-Dunham, James, Morrice, Douglas J., Scott, Judy ve Anderson, Edward G.** 2000: A strategic supply chain simulation model, *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, 1260.
- Rouse, Paul, ve Putterill, Martin**, 2003: An integral framework for performance measurement, *Management Decision*, **41/8**, 791-805.
- Ruelle, David**, 1994: *Rastlantı ve Kaos*, Tübitak Yayınları, İstanbul.
- Sachan, Amit, Sahay, B.S. ve Sharma Dinesh**, 2005: Developing Indian grain supply chain cost model: A system dynamics approach, *International Journal of Productivity and Performance Management*, **54/3**, 187-205.
- Schruben, Lee W.** 2000: Mathematical programming models of discrete event system dynamics, *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, 381.
- Senge, Peter M.**, 2003: *Beşinci Disiplin*, Yapı Kredi Yayınları, İstanbul.
- Seydel, John**, 2006: Data envelopment analysis for decision support, *Industrial Management & Data Systems*, **106/1**, 81-95.
- Shapiro, Jeremy F.**, 2001: *Modeling the Supply Chain*, Duxbury, Thomson Learning, Pacific Grove.
- Sharma, Dinesh, Sahay, B.S. ve Sachan Amit**, 2004: Modeling distributor performance index using system dynamics approach, *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, **16/3**, 37-67.
- Shewchuk, P.**, 1998: Agile manufacturing: One size does not fit all, *Proceedings of International Conference Manufacturing Value Chains*, Troon, 143-50.

- Shore, Barry, ve Venkatachalam, A.R.**, 2003: Evaluating the information sharing capabilities of supply chain partners, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, **33/9**, 804-824.
- So, Kut C., ve Zheng, Xiaona**, 2003: Impact of supplier's lead time and forecast demand updating on retailer's order quantity variability in a two-level supply chain, *International Journal of Production Economics*, **86**, 169-179.
- Son, Joong Y., ve Sheu, Chwen**, 2008: The impact of replenishment policy in a decentralized supply chain, *International Journal of Production Economics*, **113**, 785-804.
- Stalk, G.H. Jr, ve Hout, T.M.**, 1990: *Competing Against Time: How Time Based Competition is Reshaping Global Markets*, Free Press, New York, NY.
- Sterman, J.D., Forrester J.W., Graham, A.K., ve Senge P.M.**, 1983: An integrated approach to the economic long wave, *Depression, Innovation*, Siena-Florence, Italy.
- Sterman, J.D.**, 1989: Modeling managerial behavior: Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment, *Management Science*, **35/3**, 321-339.
- Sterman, John D.**, 2000: *Business Dynamics – Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, McGraw-Hill Higher Education, New York.
- Suntornsaratoon, Meta, Newton, Charles, ve Lewis, Edward**, 1999: A verification of weight coefficients in the objective function for efficiency optimisation of dynamic systems using DEA, *Proc. Of 10th Australasian Conference*, 907.
- Stock, James R. and Lambert, Douglas M.**, 1987: *Strategic Logistics Management*, Richard D. Irwin, Inc.
- Svensson, Göran**, 2002: Vulnerability scenarios in marketing channels, *Supply Chain Management: An International Journal*, **7/5**, 322-333.
- Svensson, Göran**, 2002: A Conceptual framework of vulnerability in firms' inbound and outbound logistics flows, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, **32/2**, 110-134.
- Svensson, Göran**, 2003: The bullwhip effect in intra-organisational echelons, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, **33/2**, 103-131.
- Svensson, Göran**, 2005: The multiple facets of the bullwhip effect: refined and re-defined, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, **35/10**, 762-777.

- Tanyaş, Mehmet, ve Baskak, Murat**, 2006: *Üretim Planlama ve Kontrol*, İrfan Yayıncılık, İstanbul.
- Torres, Octavio A. Carranza, Moran, Felipe A. Villegas**, 2006: *The Bullwhip Effect In Supply Chains – A Review of Methods, Components and Cases*, Palgrave MacMillan, New York.
- Towill, Denis R.**, 1996: Industrial dynamics modelling of supply chains, *Logistics Information Management*, **9/4**, 43-56.
- Towill, Denis R.**, 1996: Time compression and supply chain management – A guided tour, *Logistics Information Management*, **9/6**, 41-53.
- Towill, Denis R.**, 1999: Simplicity wins twelve rules for designing effective supply chain, *IOM Control Journal*, **25/2**, 9-13.
- Towill, Denis R., Childerhouse, Paul, ve Disney, Stephen M.**, 2000: Speeding up the progress curve towards effective supply chain management, *Supply Chain Management: An International Journal*, **5/3**, 122-130.
- Towill, Denis R.**, 2005: The impact of business policies on bullwhip induced risk in supply chain management, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, **35/8**, 555-575.
- Turner, Kevin, ve Williams, Geoff**, 2005: Modelling complexity in the automotive industry supply chain, *Journal of Manufacturing Technology Management*, **16/4**, 447-458.
- Vos, Bart, ve Akkermans, Henk**, 1996: Capturing the dynamics of facility allocation, *International Journal of Operations & Production Management*, **16/11**, 57-70.
- Wang, Shu-Jen, Liu, Shih-Fei, ve Wang, Wei-Ling**, 2008: The simulated impact of RFID-enabled supply chain on pull-based inventory replenishment in TFT-LCD industry, *International Journal of Production Economics*, **112**, 570-586.
- Weber, Charles A.**, 1996: A data envelopment analysis approach to measuring vendor performance, *Supply Chain Management*, **1/1**, 28-39.
- Weber, Charles A., Current, John ve Desai, Anand**, 2000: An optimization approach to determining the number of vendors to employ, *Supply Chain Management: An International Journal*, **5/2**, 90-98.
- Weber, John A.**, 2000: Partnering with distributors to stimulate sales: A case study, *Journal of Business & Industrial Marketing*, **15/2-3**, 154-162.

- White, Anthony Sydney, ve Censlive, Michael**, 2006: Observations on modelling strategies for vendor-managed inventory, *Journal of Manufacturing Technology Management*, **17/4**, 496-512.
- Winch, Graham, Gyllstrom, Hans, Sauer, François, ve Seror-Marklin, Susanne**, 1997: The virtual neural business system: A vision for IT support for the network from organization, *Management Decision*, **35/1**, 40-48.
- Wolstenholme, Eric F.**, 1990: *System Enquiry – A System Dynamics Approach*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester.
- Yao, Ming-Jong, ve Chuang-Chun, Chiou**, 2004: On a replenishment coordination model in an integrated supply chain with one vendor and multiple buyers, *European Journal of Operations Research*, **159**, 406-419.
- Yao, Yuliang, ve Dresner, Martin**, 2008: The inventory value of information sharing, continuous replenishment and vendor-managed inventory, *Transportation Research Part E*, **44**, 361-378.
- Yaşarcan, Hakan, ve Barlas, Yaman**, 2005: A generalized stock control formulation for stock management problems involving composite delays and secondary stocks, *System Dynamics Review*, **21/1**, 33-68.
- Yoshida, Taketoshi**, 1999: A systems view of supply chain management systems, *Asia-Pacific Conf of Industrial Engineering and Management Systems*.
- Yücesan, E., Chen C.-H., Snowdon, J.L., ve Charnes, J.M.**, 2002: Investigation of influence of modeling fidelities on supply chain dynamics, *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*, 1183.
- Zhou, Li, ve Disney, Stephen M.**, 2006: Bullwhip and inventory variance in a closed loop supply chain, *OR Spectrum*, **28**, 127-149.

EKLER

EK (A.1-5) ilerleyen bölümde; EK (B.1-B.6), EK (C.1-C.6), ve EK (D.1-D.44) ise ekli CD'de verilmiştir.

A. DEĞİŞKENLERE İLİŞKİN İSTATİSTİKSEL TESTLER

1 Talep

$$H_0 : \text{Poisson}(6205)$$

$$X_{\max} = 10784$$

$$X_{\min} = 2018$$

$$X_{\max} - X_{\min} = 8766$$

$$\text{Histogramın sınıf sayısı: } 1 + 3.3 \log n = 1 + 3.3 \log 12 \cong 5$$

$$\text{Ki-kare testine ilişkin sınıf aralıkları: } \frac{8766}{5} \cong 1760$$

Çizelge A.1: Talep değişkenine ilişkin ki-kare testi

Frekans Aralıkları	Gözlenen Frekans	Teorik Olasılık	Teorik Frekans	Birleştirilmiş Durumda Gözlenen Frekans	Birleştirilmiş Durumda Teorik Frekans	Ki Kare Değeri
2000-3760	1	0.13	2	4	5	0.20
3761-5520	3	0.28	3			
5521-7280	5	0.30	4	8	7	0.14
7281-9040	1	0.19	2			
9041-10800	2	0.10	1			
Toplam	12	1.00	12			0.34

$$\text{Serbestlik derecesi } \nu = 2 - 1 = 1, \chi^2_{.01;1} = 6.635$$

$$\chi^2 < \chi^2_{.01;1}, \quad H_0 \text{ kabul.}$$

2 Kapasite

$$H_0 : \text{Normal}(7000,1500)$$

$$X_{\max} = 9400$$

$$X_{\min} = 3950$$

$$X_{\max} - X_{\min} = 5450$$

$$\text{Histogramın sınıf sayısı: } 1 + 3.3 \log n = 1 + 3.3 \log 12 \cong 5$$

$$\text{Ki-kare testine ilişkin sınıf aralıkları: } \frac{5450}{5} \cong 1090$$

$$\text{Serbestlik derecesi } \nu = 2 - 1 = 1, \chi^2_{.01;1} = 6.635$$

$$\chi^2 < \chi^2_{.01;1}, \quad H_0 \text{ kabul.}$$

Çizelge A.2: Kapasite değişkenine ilişkin ki-kare testi

Frekans Aralıkları	Gözlenen Frekans	Teorik Olasılık	Teorik Frekans	Birleştirilmiş Durumda Gözlenen Frekans	Birleştirilmiş Durumda Teorik Frekans	Ki Kare Değeri
3950-5040	1	0,10	1	7	6	0.17
5041-6130	2	0,19	2			
6131-7220	4	0,28	3			
7221-8310	3	0,25	3	5	6	0.17
8311-9400	2	0,19	3			
Toplam	12	1,00	12			

3 Programa Alınma Oranı

$$H_0 : Normal(0.98,0.08)$$

$$X_{\max} = 1.11$$

$$X_{\min} = 0.85$$

$$X_{\max} - X_{\min} = 0.26$$

$$\text{Histogramın sınıf sayısı: } 1 + 3.3 \log n = 1 + 3.3 \log 12 \cong 5$$

$$\text{Ki-kare testine ilişkin sınıf aralıkları: } \frac{0.26}{5} \cong 0.052$$

Çizelge A.3: Programa alınma oranına ilişkin ki-kare testi

Frekans Aralıkları (%)	Gözlenen Frekans	Teorik Olasılık	Teorik Frekans	Birleştirilmiş Durumda Gözlenen Frekans	Birleştirilmiş Durumda Teorik Frekans	Ki Kare Değeri
85-90.2	1	0.16	2	5	5	0
90.3-95.4	4	0.21	3			
95.5-100.6	3	0.25	3			
100.7-105.8	2	0.21	2	7	7	0
105.9-111	2	0.16	2			
Toplam	12	1.00	12			

$$\text{Serbestlik derecesi } \nu = 2 - 1 = 1, \chi^2_{.01;1} = 6.635$$

$$\chi^2 < \chi^2_{.01;1}, \quad H_0 \text{ kabul.}$$

4 Üretim Gerçekleşme Oranı

$$H_0 : Normal(0.93,0.12)$$

$$X_{\max} = 1.07$$

$$X_{\min} = 0.68$$

$$X_{\max} - X_{\min} = 0.39$$

$$\text{Histogramın sınıf sayısı: } 1 + 3.3 \log n = 1 + 3.3 \log 12 \cong 5$$

$$\text{Ki-kare testine ilişkin sınıf aralıkları: } \frac{0.39}{5} \cong 0.078$$

$$\text{Serbestlik derecesi } \nu = 2 - 1 = 1, \chi^2_{.01;1} = 6.635$$

$$\chi^2 < \chi_{0.01;9}^2, \quad H_0 \text{ kabul.}$$

Çizelge A.4: Üretim gerçekleştirme oranına ilişkin ki-kare testi

Frekans Aralıkları (%)	Gözlenen Frekans	Teorik Olasılık	Teorik Frekans	Birleştirilmiş Durumda Gözlenen Frekans	Birleştirilmiş Durumda Teorik Frekans	Ki Kare Değeri
68-75.8	2	0.08	1	3	6	1.5
75.9-83.6	0	0.14	2			
83.7-91.4	1	0.23	3			
91.5-99.2	6	0.30	3	9	6	1.5
99.3-107	3	0.25	3			
Toplam	12	1.00	12			3

5 Sevkiyat Trendi

$$H_0 : Normal(6200,1000)$$

$$X_{\max} = 8646$$

$$X_{\min} = 4380$$

$$X_{\max} - X_{\min} = 4266$$

$$\text{Histogramın sınıf sayısı: } 1 + 3.3 \log n = 1 + 3.3 \log 12 \cong 5$$

$$\text{Ki-kare testine ilişkin sınıf aralıkları: } \frac{4266}{5} \cong 860$$

Çizelge A.5: Sevkiyat trendine ilişkin ki-kare testi

Frekans Aralıkları	Gözlenen Frekans	Teorik Olasılık	Teorik Frekans	Birleştirilmiş Durumda Gözlenen Frekans	Birleştirilmiş Durumda Teorik Frekans	Ki Kare Değeri
4380-5240	3	0.17	2	5	5	0
5241-6100	2	0.29	3			
6101-6960	2	0.32	4			
6961-7820	3	0.17	2	7	7	0
7821-8680	2	0.05	1			
Toplam	12	1.00	12			0

$$\text{Serbestlik derecesi } \nu = 2 - 1 = 1, \quad \chi_{0.01;1}^2 = 6.635$$

$$\chi^2 < \chi_{0.01;1}^2, \quad H_0 \text{ kabul.}$$

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Burak Kandemir

Doğum Yeri ve Tarihi: Denizli, 1977

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi – Endüstri Mühendisliği

Yayın Listesi:

- Ülengin F., **Kandemir, B.**, 2001: Avrupa Birliği adayı ülkelerin göreceli konumlarının veri zarflama ile değerlendirilmesi. *XXII. Yöneylem Araştırması / Endüstri Mühendisliği Kongresi*, Temmuz, 2001, Ankara, Türkiye.

