T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE ÜRETİM/DAĞITIM AĞLARININ TASARIMINA YENİ MODEL YAKLAŞIMLARI

Eren ÖZCEYLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Konya, 2010

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE ÜRETİM/DAĞITIM AĞLARININ TASARIMINA YENİ MODEL YAKLAŞIMLARI

EREN ÖZCEYLAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez, … / … / ….. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir

Prof. Dr. Hasan Kürşat GÜLEŞ	Prof. Dr. Ahmet PEKER	Doç. Dr. Turan PAKSOY
(Danışman)	(Üye)	(Üye)

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE ÜRETİM/DAĞITIM AĞLARININ TASARIMINA YENİ MODEL YAKLAŞIMLARI

Eren ÖZCEYLAN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Hasan Kürşat GÜLEŞ

2010, 164 Sayfa

Jüri: Prof. Dr. Hasan Kürşat GÜLEŞ
Prof. Dr. Ahmet PEKER
Doç. Dr. Turan PAKSOY

Tedarik zinciri ağı, malzeme tedariki işlemlerini yerine getiren, bunları yarı mamul ve mamullere dönüştüren ve bunları daha sonra dağıtım kanallarıyla müşterilere ulaştıran hizmet ve dağıtım seçeneklerinden oluşan yapılardır. Bu ağ yapısında bulunan öğelerin, sayılarının ve yerlerinin tespiti, birbirleri arasındaki fiziksel akış miktarının belirlenmesi gibi alt problemleri içeren ağ tasarımı problemi tedarik zinciri yönetimi içinde stratejik bir öneme sahiptir.

Bu çalışmada, öncelikle tedarik zinciri yönetimi ve model tasarımı konularına değinilmiştir. Tedarik zinciri üzerindeki genel ve özel kısıtlar dikkate alınarak verimlilik artışı, kar iyileştirilmesi ve maliyetlerin kontrol edilebilir hala getirilmesi gibi amaçlar altında matematiksel modeller geliştirilmiş ve her bir model hipotetik veriler doğrultusunda sayısal örneklerle test edilip, yorumlanmıştır.

Anahtar sözcükler: Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı, Doğrusal Programlama, Tedarik Zinciri Modelleme, Optimizasyon.

ABSTRACT

Master Thesis

NEW MODELING APPROACHES TO PRODUCTION/DISTRIBUTION NETWORK DESIGN IN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

Eren ÖZCEYLAN

Selçuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Industrial Engineering
Advisory: Prof. Dr. Hasan Kürşat GÜLEŞ

2010, 164 Pages

Jury: Prof. Dr. Hasan Kürşat GÜLEŞ
Prof. Dr. Ahmet PEKER
Doç. Dr. Turan PAKSOY

A supply chain is a network of facilities and distribution options that performs the functions of procurement of materials, transformation of these materials into intermediate and finished products, the distribution of these finished products to the customers. Network design problem, that includes sub problems such as assigning the numbers and the locations of entities of this business network and determining the amount of physical distribution among these entities, has a strategic role in supply chain management.

In this study, at first design and modelling problem of distribution networks in supply chain management is considered. Developing and proposing mathematical models is goaled that to study on the optimum modelling in supply chain management and to become convenient in optimization related factors such as productivity increase, realization of profit and correcting and providing cost controlling and a numerical example with hypothetical data is tested and discussed for each mathematical model.

Key words: Supply Chain Network Design, Linear Programming, Supply Chain Modeling, Optimization.

ÖNSÖZ

Bir tedarik zinciri; tedarikçiler, üreticiler, depolar, dağıtım merkezleri, perakendeciler ve nihai müşteriler gibi aktörlerden oluşan, hammadde temininden başlayarak son kullanıcıya kadar olan tüm üretim/dağıtım sürecinin, bilgi, para ve malzeme akışıyla sürdürüldüğü bütünleşik bir sistemdir. Ağda rolü olan işletmelerin, iletişim halinde olmasını, bunların birbirlerine bilgi sağlamasını ve bu bilgileri doğru kişiye hatasız ve ihtiyaç duyulan şekilde ulaştırılmasını sağlayan, Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY)'dir. Gittikçe kısalan ürün hayat sürelerinin ve artan müşteri isteklerinin işletmeleri küresel pazarlara itmesi, ürünleri en düşük maliyet, en yüksek verim ve hızda üretme zorunluluğu, işgücü, teknoloji ve hammadde gibi kısıtlı kaynakların herkese açık olması nedenleriyle tedarik zinciri kavramı, rekabet piyasasında önemini her geçen gün artırmaktadır.

Bu bağlamda, bir tedarik zincirindeki oyuncuların lokasyon, kapasite ve diğer özellikleri ile ağ içindeki taşıma tipleri belirlenirken, aynı zamanda müşteri hizmet düzeyinin en iyilenmesi ve maliyetlerin en küçüklenmesi amaçlarına yönelik olarak, hangi noktadan hangi noktaya ne kadar taşıma yapmanın en uygun olduğu sonucu ağ tasarımı ile belirlenmektedir. Günümüzde, kaynakların kısıtlı olması bize tedarik zincirinde en uygun tasarımları zorunlu hala getirmektedir.

Son yıllarda, TZY' ye olan akademik ve ticari ilgi dikkat çekici bir şekilde artmıştır. Yapılan çalışmalarda, hammadde tedarikçilerinden nihai tüketiciye kadar olan süreçte rekabet üstünlüğü elde etmek ve müşteri tatmini sağlayabilmek için tedarik zincirini oluşturan öğeler arasındaki işbirliğinin önemi ve gereği vurgulanmaktadır.

Bu çalışmada, söz konusu süreci ve işbirliğini matematiksel olarak ifade etmek adına, tedarik zinciri yönetiminde üretim/dağıtım ağları tasarımı ve optimizasyonu için yeni model yaklaşımlarında bulunulmuştur. Geliştirilen altı adet matematiksel model kurulurken, literatürdeki boşlukları doldurması ve gerçek hayatta karar vericilerin sıkça karşılaştıkları problemleri çözmesi hedef alınmıştır. Giriş niteliğindeki birinci bölümün ardından, ikinci bölümde konunun daha iyi anlaşılması için sık kullanılan terimler üzerinde durulmuştur. Üçüncü bölümde

konuyla ilgili yapılan literatür taramasına yer verilmiş, dördüncü bölümde ise materyal ve metot başlığı adı altında genel olarak kullanılan ağ tasarımı amaçları, kısıtları ve karar değişkenleri ile beraber geliştirilen modeller, notasyonları, kısıtları ve amaç fonksiyonları ile beraber açıklanmıştır. Beşinci bölümde ise geliştirilen modeller hipotetik verilere dayalı sayısal örneklerle denenmiş, LINDO 6.1 paket programında çözülmüş ve yorumlanarak Araştırma Sonuçları ve Tartışma kısmı tamamlanmıştır. Son bölümde sonuç ve kaynakça kısmı ile de çalışma sonlandırılmıştır.

Yüksek lisans eğitimim süresince değerli katkılarını ve desteklerini esirgemeyen, tezimin planlanmasından hazırlanmasına kadar her aşamasında yanımda olan danışman hocam Prof. Dr. Hasan Kürşat GÜLEŞ'e; en az danışman hocam kadar tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen ve mümkün olduğu sürece bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan bölüm hocalarımdan sayın Doç. Dr. Turan PAKSOY'a; lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve emekleriyle destekleyerek beni yüksek lisansa hazırlayan Selçuk Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Sayın Hocalarıma; yüksek lisansım süresince maddi destek sağlayan TÜBİTAK–BİDEB programına, bu çalışmanın doktora çalışmalarıma basamak olması dileğiyle sonsuz teşekkür ederim.

Konya, 2010 **Eren ÖZCEYLAN**

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
ÖNSÖZ..... iii
İÇİNDEKİLER……..……..…….v
ŞEKİL LİSTESİ……..……vii
TABLO LİSTESİ……..……...viii
1.GİRİŞ 1
2.TEDARİK ZİNCİRİ ve YÖNETİMİ 4
2.1. Tedarik Zincirinin Tanımı 4
2.2. Tedarik Zincirinin Fonksiyonları 4
2.3. Tedarik Zincirinin Yapısı 5
2.4. Tedarik Zinciri Çeşitleri 6
2.4.1. Firma Yapısına Göre..... 6
2.4.2. Üretim Sürecine Göre 8
2.5. Tedarik Zinciri Yönetimi.....10
2.5.1. Tedarik Zinciri Yönetiminin Tanımı 10
2.5.2. Tedarik Zinciri Yönetiminin Gelişimi 10
2.5.2.1. Lojistiğin Dağıtılması: Depolama ve Taşıma.....10
2.5.2.2. Malzeme Yönetimi ve Fiziksel Dağıtım 11
2.5.2.3. Lojistiğin Entegrasyonu 13
2.5.2.4. Tedarik Zinciri Yönetimi Süreci.....14
2.5.3. Tedarik Zinciri Yönetiminin Fonksiyonları.....15
2.5.4. Tedarik Zinciri Yönetiminde Alıcı Tedarikçi İlişkileri 16
2.5.5. Tedarik Zinciri Yönetiminin Avantajları.....17
2.5.6. Tedarik Zinciri Yönetiminin Problemleri 19
3. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....22
4. MATERYAL ve METOT.....31
4.1. Tedarik Zinciri Ağı Tasarımı.....38
4.1.1. Tedarik Zinciri Ağı Tasarımı Amaçları.....39
4.1.2. Tedarik Zinciri Ağ Tasarımında Kullanılan Kısıtlar 44
4.1.3. Tedarik Zinciri Ağ Tasarımında Kullanılan Karar Değişkenleri 45

4.2. Matematiksel Modeller.....46

4.2.1. Model 1: Çok Aşamalı - Çoklu Taşıma Seçenekli ve Stok Kontrollü Bir Doğrusal Programlama Modeli.....47

4.2.2. Model 2: Malzeme İhtiyaç Kısıtı Altında Çok Ürünlü Karma Tamsayılı Bir Doğrusal Programlama Modeli.....50

4.2.3. Model 3: Çok Amaçlı Tedarik Zinciri Ağı Tasarımı ve Optimizasyon53

4.2.4. Model 4: Çok Ürünlü Bozulma Faktörlü Kapalı Çevrimli Esnek Bir Tedarik Zinciri İçin Karma Tamsayılı Bir Doğrusal Programlama Modeli...57

4.2.5. Model 5: Malzeme İhtiyaç Kısıtı Altında Çok Ürünlü Çok Katmanlı Çok Aşamalı Esnek Bir Tedarik Zinciri İçin Karma Tamsayılı Bir Doğrusal Programlama Modeli.....64

4.2.6. Model 6: Malzeme İhtiyaç Kısıtı Altında Çoklu Taşıma Seçenekli Çok Dönemli Stok Kontrollü Bir Doğrusal Programlama Modeli.....69

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA.....74

5.1. Model 1: Sayısal Örnek.....74

5.2. Model 2: Sayısal Örnek.....78

5.3. Model 3: Sayısal Örnek.....81

5.4. Model 4: Sayısal Örnek.....86

5.5. Model 5: Sayısal Örnek.....92

5.6. Model 6: Sayısal Örnek.....101

6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....105

7. KAYNAKLAR.....111

8. EK-A.....119

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Tedarik Zinciri Yapısı 6
Şekil 2.2 Temel Tek Safhalı Tedarik Zinciri 7
Şekil 2.3 Çok Safhalı Tedarik Zinciri 8
Şekil 2.4 Tedarik Zinciri Gelişim Süreci 9
Şekil 2.5 Tedarik Zinciri Yönetimi Fonksiyonları 15

Şekil 4.1 Tedarik Zincirinde Karar Adımları 33
Şekil 4.2 SCOR Modeli 36
Şekil 4.3 Tedarik Zinciri Ağı 38

Şekil 5.1 Temsili Tedarik Zinciri Ağı 74
Şekil 5.2 Optimum Dağıtım Ağı 77
Şekil 5.3 Temsili Tedarik Zinciri Ağı 78
Şekil 5.4 Ürün Ağacı 78
Şekil 5.5 Üç Kademe için Komponent ve Nihai Ürün Miktarları 81
Şekil 5.6 Tedarik Zinciri Ağı 82
Şekil 5.7 Amaç fonksiyonlarının öncelik değerleri 85
Şekil 5.8 Her Periyot için Dağıtım Ağı 86
Şekil 5.9 Kapalı Çevrimli Esnek Tedarik Zinciri 88
Şekil 5.10 Optimum Tedarik Zinciri Ağı 91
Şekil 5.11 Geleneksel Tedarik Zinciri 92
Şekil 5.12 Esnek Bir Tedarik Zinciri 93
Şekil 5.13 Esnek Tedarik Zincirindeki Akış Tipleri 93
Şekil 5.14 Çok Katmanlı Esnek Bir Tedarik Zinciri 94
Şekil 5.15 EI-1 ve EI-2' ait Ürün Ağaçları 94
Şekil 5.16 Malzemenin Ürün Ağıcındaki Akışı 100
Şekil 5.17 Optimum Dağıtım Ağı 100
Şekil 5.18 Ürün Ağacı 101

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Üretim Sürecine Göre TZ Çeşitleri 9

Tablo 5.1 Aşama 1'e (tedarikçilerden fabrikalara) ait veriler 75

Tablo 5.2 Aşama 2'ye (fabrikalardan montaja) ve aşama 3'e (montajdan müşterilere) ait birim taşıma maliyetleri (USD); Elde tutma (R) ve yok satma (T) birim maliyetleri (USD) 75

Tablo 5.3 Tedarikçi, fabrika, montaj, taşıma seçenekleri kapasiteleri ve müşteri talepleri (adet).....76

Tablo 5.4 LINDO 6.1 Paket Programı ile Çözüm Sonuçları.....76

Tablo 5.5 Aşama 1'e (tedarikçilerden fabrikalara) ait taşıma maliyetleri (TL).....79

Tablo 5.6 Aşama 2'ye (fabrikalardan montaja) ait taşıma maliyetleri (TL) 79

Tablo 5.7 Aşama 3'e ait (montajdan müşterilere) taşıma maliyetleri (TL).....79

Tablo 5.8 Fabrika ve Montaja ait sabit işletme maliyetleri (TL).....79

Tablo 5.9 Tedarikçilere ait 2. kademe komponent kapasite bilgileri (adet).....80

Tablo 5.10 Fabrikalara ait 1. kademe komponent kapasite bilgileri (adet).....80

Tablo 5.11 Montaja ait nihai ürün kapasite bilgileri ve nihai ürünlere olan müşteri talepleri (adet).....80

Tablo 5.12 LINDO 6.1 paket programı ile çözüm sonuçları.....80

Tablo 5.13 Tedarikçilerden fabrikalara periyot başına birim taşıma maliyetleri (tl) 83

Tablo 5.14 Fabrikalardan dağıtım merkezlerine periyot başına birim taşıma maliyetleri (tl).....83

Tablo 5.15 Dağıtım merkezlerinden müşterilere periyot başına birim taşıma maliyetleri (tl).....84

Tablo 5.16 Fabrika ve Dağıtım Merkezlerine ait sabit işletme maliyetleri (tl) 84

Tablo 5.17 Tedarikçilerin, fabrikaların ve dağıtım merkezlerinin eksik teslimat birim ceza maliyeti (tl) 84

Tablo 5.18 Tedarikçilerin, fabrikaların ve dağıtım merkezlerinin periyot başına kapasiteleri.....84

Tablo 5.19 Tedarikçilerin, fabrikaların ve dağıtım merkezlerinin teslimat güven oranları (%).....84

Tablo 5.20 Müşteri bölgelerinin periyot başına talepleri (adet) 84

Tablo 5.21 Amaç fonksiyonları ilişki matrisi.....85

Tablo 5.22 LINDO 6.1 programından elde edilen sonuç değerleri 85

Tablo 5.23 Birinci Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL).....88

Tablo 5.24 İkinci Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL) 88
Tablo 5.25 Üçüncü Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL) 89
Tablo 5.26 Dördüncü Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL) 89
Tablo 5.27 Beşinci Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL) 89
Tablo 5.28 Altıncı Aşama Birim Taşıma Seçenekleri (TL) 89
Tablo 5.29 Yedinci Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL) 89
Tablo 5.30 Sekizinci Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL) 89
Tablo 5.31 Fabrika ve Dağıtım Merkezi Sabit Açılış Maliyeti (TL) 89
Tablo 5.32 Kapasite ve Talep Miktarları 90
Tablo 5.33 LINDO 6.1 paket programı ile elde edilen sonuçlar 90
Tablo 5.34 Birinci Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL) 96
Tablo 5.35 İkinci Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL) 97
Tablo 5.36 Üçüncü Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL) 97
Tablo 5.37 Fabrikalardan, Dağıtım Merkezlerine, Perakendecilere ve Müşterilere Gerçekleşen Teslimatların Birim Taşıma Maliyetleri (TL) 97
Tablo 5.38 Dağıtım Merkezlerinden, Perakendecilere ve Müşterilere Gerçekleşen Teslimatların Birim Taşıma Maliyetleri (TL) 98
Tablo 5.39 Perakendecilerden Müşterilere Gerçekleşen Teslimatların Birim Taşıma Maliyetleri (TL) 98
Tablo 5.40 Fabrika ve Dağıtım Merkezlerinin Sabit İşletme Maliyetleri (TL) 98
Tablo 5.41 Üçüncü Aşama Tedarikçi Kapasitesi (Adet) 98
Tablo 5.42 İkinci Aşama Tedarikçi Kapasitesi (Adet) 98
Tablo 5.43 Birinci Aşama Tedarikçi Kapasitesi (Adet) 99
Tablo 5.44 Fabrika, DM, Perakendeci Kapasiteleri ve Müşteri Talepleri 99
Tablo 5.45 LINDO 6.1 paket programı ile elde edilen sonuçlar 99
Tablo 5.46 Aşama 1'e (tedarikçilerden fabrikalara) ait veriler 102
Tablo 5.47 Aşama 2'ye (fabrikalardan montaja) ve aşama 3'e (montajdan müşterilere) ait birim taşıma maliyetleri (TL) 102
Tablo 5.48 Kapasiteler ve Müşteri Talepleri (adet) 103
Tablo 5.49 LINDO 6.1 paket programı ile çözüm sonuçları 103

1. GİRİŞ

Küreselleşen dünyada kısıtlı kaynaklar altında tüm kaynakların herkese açık olması, ürün çeşitliliği sağlarken aynı zamanda bunları en küçük maliyet ve en yüksek verimle üretme isteği, işletmelerin yerel bölgelerinden ziyade kısalan ürün hayatlarından dolayı global pazarlara ulaşma isteği, işgücü, teknoloji ve hammadde etkenlerinden dolayı rekabet üstü kavramı sistemdeki herkes için olmasa olmazlar arasına girmiştir.

Üretim yönetimi alanında işletmelerin hacim esaslı seri üretim döneminden, rekabet yeteneklerini arttırıcı kalite-stok-zaman-maliyet tabanlı çalışma ölçülerinin ön plana çıkarıldığı, teknolojik gelişmelerin yaygınlaştığı, karar vermede merkeziyetçilikten kaçınıldığı, ürün ve hizmete değer katmayan faaliyetlerin elimine edilerek *"israf"* ın ortadan kaldırılarak *"ilk seferde doğru yap"* düşüncesi ile şekillenen *"yalın üretim"* uygulamaları ve pazardaki müşteri gereksinimlerine rakiplerden önce ürün ve hizmete değer katan tüm zincir ortaklarıyla cevap verebilme yeteneklerini geliştirmeyi hedefleyen *"çevik üretim"* e geçişle devrim sayılabilecek gelişmeler yaşanmaktadır (Albayrakoğlu 2006).

Lojistik yönetiminde ise bu gelişmeler doğrultusunda gerçekleştirilen faaliyetlerin işletmenin diğer fonksiyonları ile bütünleşik bir yapıda ele alınmasının önemi giderek artmış bulunmaktadır.

Tedarik zinciri yönetiminin rekabet açısından önemi, sanayicilerimiz tarafından da anlaşılmıştır. Artık önemli olan, şirketler arası rekabette değil, şirketlerin içinde bulundukları tedarik zincirleri arasındaki rekabette başarılı olmaktır. Tedarik zinciri ortaklarının ulaşmak istedikleri, "son kullanıcı" yani "müşteri"dir. Kendi tedarik zincirlerini en etkin, ekonomik ve verimli bir şekilde modelleyenler ve yönetenler pazardan daha fazla oranda pay almaktadır.

Tedarik zinciri yönetimini firmaların ihtiyaçlarına göre modellendirip, günümüz koşullarına uygun halde sunmak büyük önem taşımaktadır. Tedarik zincirinde tüm halkaları hızlı, verimli ve karlı bir şekilde yönetmek, düşen

maliyetler, artan verimlilik ile açığa çıkan insan ve finans kaynaklarının başka şekillerde kullanımının sağlandığı kalite artışı ve zamanında gerçekleşen üretim, depolama, nakliye, dağıtım ve perakende; firmaların rekabet güçlerini artırıp, pazar paylarını genişletmeleri için "farklılık yaratan" bir avantaj haline gelmiştir. Tedarik zincirlerinin stratejik tasarımları ve optimum tedarik zinciri modelinin uygulanması günümüz işletmeleri için gerçekten önemli sorunlardır. Bu konuda ise; üretim tesisleri sayısı ile yerleşim yeri, dağıtım merkezleri, tedarik kanalları, tedarikçi seçimi, ulaştırma yöntemleri ve lojistik, stok seviyeleri ve buna benzer etmenler tedarik zinciri bütünü altında ele alınmaktadır (Srinivasan ve Moon 1999).

Tedarik zincirindeki bütün halkaların bu çevrime katılımıyla, tedarik zinciri üzerinde sinerjik bir yaklaşım oluşturulmaktadır. Firmaların rekabetçi ortamda etkin ve etkili bir şekilde yer alabilmeleri için üretim safhalarında kullanılan bütün malzemelerin ve materyalin minimum maliyetle ve en doğru şekilde kullanılması gerekmektedir. Bütün bu işlemlerin başlangıç noktası ise tedarikçi-üretici-dağıtıcı-perakendeci-müşteri poligonunu en uygun yapıya kavuşturmak için Tedarik Zinciri Yönetimi sistemi ve Tedarik Zinciri Modellerinin tasarımıdır (Çetinkaya 2003).

Yapılan çalışmada ilk önce günümüz rekabet koşullarında olmazsa olmazlar arasında yer alan tedarik zinciri yönetimi, tasarımı, problem yapıları, kararları, tasarım ve model yaklaşımları ve tedarik zinciri yönetiminde üretim-dağıtım sürecinde ki problem yapısının tanımlanması ve problemin karakteristiğine uygun bir model yapısının seçimi için karar vericiye yardımcı olunması anlatılmıştır. Daha sonra çalışmanın esas amacı olan ve yukarıdaki bilgiler doğrultusunda geliştirilen matematiksel modeller amaç fonksiyonları, kısıtları ve karar değişkenleri ile beraber anlatılmış, sayısal örneklerle de test edilip, yorumlanmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde kısa bir giriş yapıldıktan sonra ikinci, üçüncü ve dördüncü bölümlerde tedarik zincirinin tanımı, fonksiyonları, yapısı ve çeşitleri, yönetimi, yönetim kararları, kullanıcılara karşı olan avantaj ve dezavantajları, alıcı-tedarikçi ilişkileri, tedarik zinciri ağ tasarımı, kısıtları, amaçları, karar değişkenleri ve modelleme esnasında kullanılan genel yöntemlere kısaca yer verilmiştir.

Beşinci bölümde geniş bir kaynak araştırmasına yer verildikten sonra, altıncı bölümde çalışmanın metodu ve kullanılan materyal açıklanmıştır. Yedinci bölümde

geliştirilen matematiksel modeller birer birer ele alınıp sayısal verilerle alınan sonuçlar yorumlanmıştır. Son üç bölümde ise sırasıyla tartışma, sonuç/öneriler ve kaynakça belirtilmiştir.

2. TEDARİK ZİNCİRİ ve YÖNETİMİ

2.1. Tedarik Zincirinin Tanımı

Tedarik zinciri, bir veya daha fazla ürün grubuyla ilgili elde etme, üretim ve dağıtım faaliyetlerinden kolektif bir biçimde sorumlu olan otonom veya yarı otonom iş faaliyetlerinden oluşan bir şebekedir (Swaminathan ve ark. 1998).

Tedarik zinciri, hammaddeleri elde eden, bunları yarı ve tamamlanmış ürünlere dönüştüren ve ardından bir dağıtım sistemi vasıtasıyla bu ürünleri müşterilere teslim eden yapılar şebekesidir (Lee ve ark. 1993).

Bu noktada, tek bir ürün için basit bir tedarik zinciri örneği verilebilir: Bu zincirde satıcılardan hammadde sağlanır, tek bir adımda tamamlanmış ürüne dönüştürülür, ardından dağıtım merkezlerine ve son olarak da müşterilere taşınır. Gerçek tedarik zincirleri ortak bileşenlere, üretim araçlarına ve kapasitelere sahip tamamlanmış birçok ürünü bulundurur (Ganeshan ve Harrison 1995).

Genel bir tanım olarak tedarik zinciri, tedarikçilerden alınan hammadde ve yarı mamulden, üretim yerlerinde mamullerin üretilmesine varsa montaj, dağıtım merkezi ve perakendecilerinde sistemde yer aldığı, son olarak ise nihai müşterinin de içinde bulunduğu dağıtım ve ulaştırma fonksiyonları bütünüdür.

2.2. Tedarik Zincirinin Fonksiyonları

Kurumsal fonksiyonların verimli olabilmeleri için bütünleşik bir biçimde çalışmaları gerekir. Tedarik zinciri ile ilgili olaylara hızlı ve kaliteli bir şekilde karşılıklar verilmesini sağlamak için kuruluş çerçevesindeki birçok fonksiyonun koordinasyonu gereklidir.

Bir iş ortamında üç çeşit akış mevcuttur. Bunlar:

1. Mamulün elde edilmesinden tüketimine kadar olan akışı
2. Satıcılardan iş ortamına ve buradan da müşterilere olan bilgi akışı
3. Satın alma vs. için gerekli fonları sağlayan müşterilerden iş ortamına olan finansal akış (Çizmeci 2002).

Tedarik zinciri fonksiyonları, tedarik zincirindeki mamul, bilgi ve para akışını temsil etmektedir. Bu fonksiyonlar bir işletmede malzemelerin, hizmetlerin, teknolojinin ve paranın doğru kaynaktan, doğru zaman ve uygun kalitede satın alındığının garanti edilmesinden sorumludur.

Tedarik zinciri, malzemelerin sağlanması, bu malzemelerin ara ve tamamlanmış ürünlere dönüşümü ve tamamlanmış ürünlerin müşterilere dağıtımı fonksiyonlarını yerine getiren araç ve dağıtım seçeneklerinin bir şebekesidir. Tedarik zinciri, karmaşıklığı endüstri veya işletmeye göre değişse de, hem hizmet, hem de üretim işletmelerinde bulunur (Çizmeci 2002).

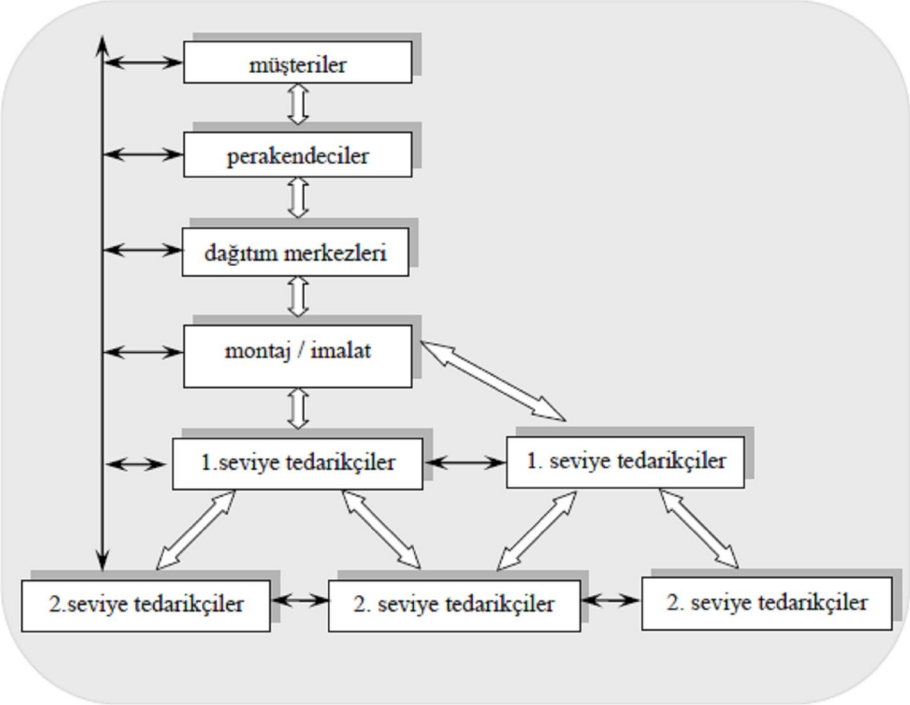
Pazarlamanın yüksek seviyeli müşteri hizmeti maksimum satış amaçları, üretim ve dağıtım hedefleriyle de çakışmaktadır. Birçok üretim işlemi, envanter seviyeleri ve dağıtım imkanları üzerindeki etkisi göz önüne alınmadan, çıktıyı maksimize etmek ve maliyetleri düşürmek üzere tasarlanmıştır. Satın alma kontratları, eski satın alma örneklerinin ötesinde çok az bir bilgiyle müzakere edilmektedir. Bu etmenlerin sonucunda, işletme için tek, bütünleşik bir plan bulunmamaktadır, planların sayısı iş çeşitlerinin sayısı kadardır. Bu farklı fonksiyonların bütünleştirilmesi için bir mekanizmaya ihtiyaç vardır. Tedarik zinciri yönetimi, bu tür bir bütünleşmeye ulaşılabilecek bir stratejidir. Tedarik zinciri yönetiminin tipik olarak, malzeme akışının bütün olarak tek bir firma tarafından sahip olduğu ve her bir kanal üyesinin bağımsız olarak çalıştığı tam olarak bütünleşmiş firmalar arasında bulunduğu gözlenmektedir. Bu yüzden zincirdeki çeşitli bileşenlerin koordinasyonu, onların etkili bir şekilde yönetilmesiyle sağlanır (Ganeshan ve Harrison 1995).

2.3. Tedarik Zincirinin Yapısı

Tedarik zincirinde malzemeler hammadde kaynaklarından, bu hammaddeleri yarı mamullere dönüştüren bir üretim seviyesine geçer. Bu yarı mamuller daha sonra tamamlanmış ürünleri meydana getirmek üzere bir sonraki seviyede birleştirilecektir. Elde edilen ürünler dağıtım merkezlerine ve buralardan da satıcılar ve müşterilere aktarılır.

Tedarik zincirinin, mal ve hizmet üretimi içeren ve bunları nihai alıcılarla sonlandıran bir süreç olduğunu yukarıda anlatmıştık. Tanımdan da anlaşılacağı gibi bu süreçte eylemleri gerçekleştiren ve zincirin yapısı oluşturan baş aktörler bulunmaktadır. Bu aktörler,

- Müşteriler
- Perakendeciler
- Toptancılar
- Üreticiler
- Parça/Hammadde Tedarikçileri



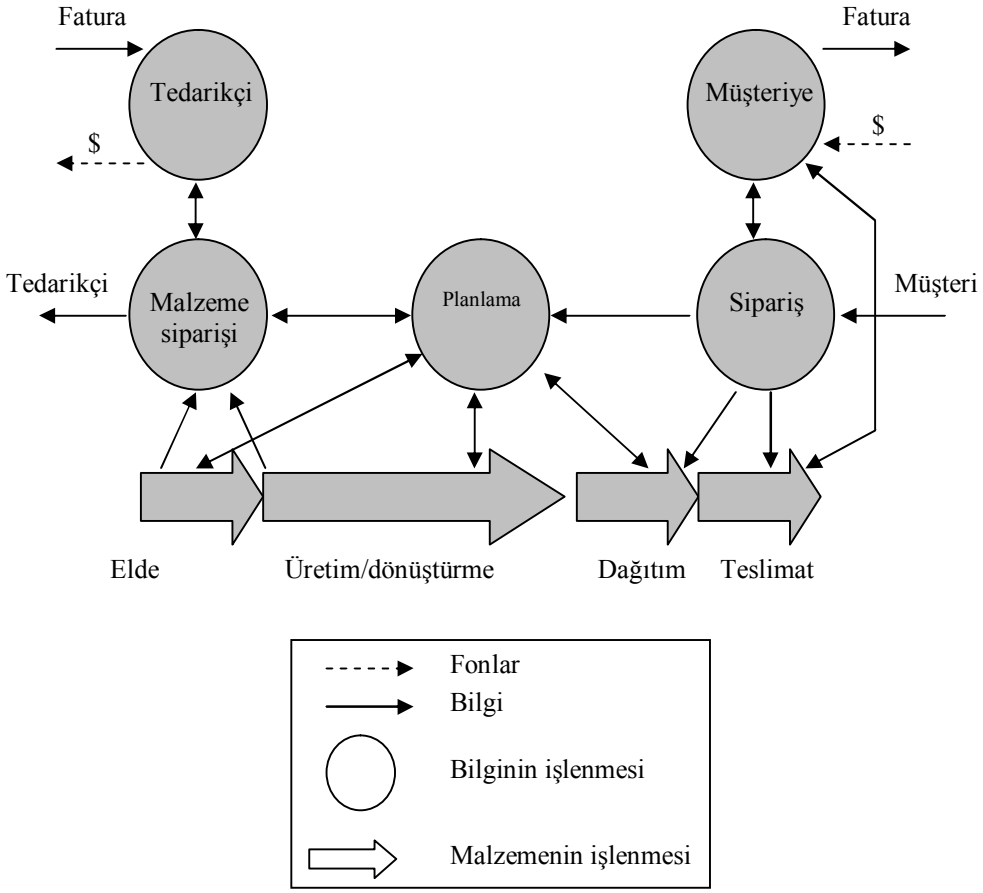
Şekil 2.1 Tedarik Zinciri Yapısı (Handfield ve Ernest 1999)

2.4. Tedarik Zinciri Çeşitleri

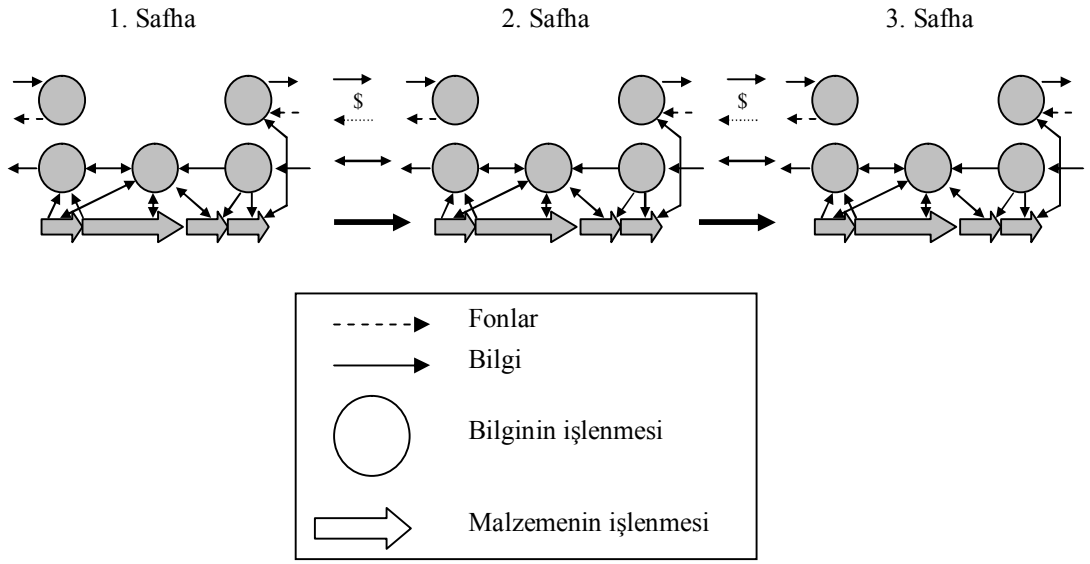
2.4.1. Firma Yapısına Göre

Tedarik zincirleri, artan karışıklığa göre çeşitlilik gösterir. Tek safhalı tedarik zinciri hammaddelerin elde edilmesi, üretim ve dağıtımın malzeme akış fonksiyonlarını birleştirir. Bu çeşit tedarik zincirinde birçok bilgi işleme ve karar

verme fonksiyonu bulunmaktadır. Fonların yönetimi de kapsanmaktadır, çünkü borçlar ve alacaklar formundaki işletme sermayesi, stok ve ekipman formundaki çalışma sermayesi kadar önemlidir (Çizmeci 2002).



Şekil 2.2 Temel Tek Safhalı Tedarik Zinciri (Çizmeci 2002)



Şekil 2.3 Çok Safhalı Tedarik Zinciri (Çizmeci 2002)

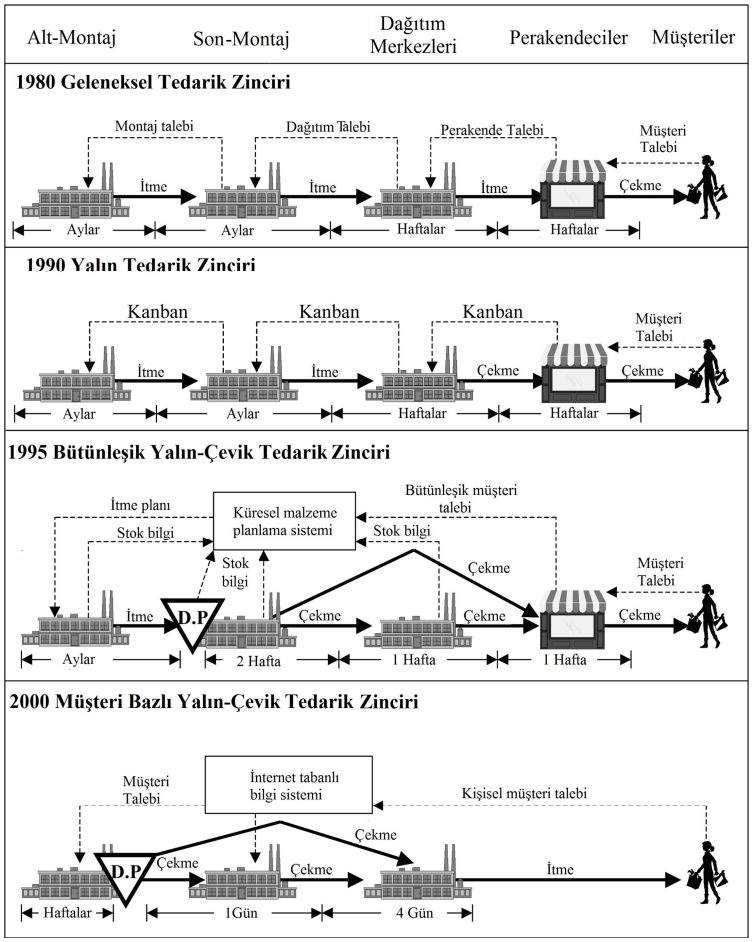
Çok safhalı tedarik zinciri yönetimi, daha önce belirtilen tedarik zinciri tanımına daha iyi bir örnektir. Bunlar tipik olarak çok şirketli tedarik zincirleridir, tek safhalı tedarik zincirlerinin birkaçının sistematik bir şekilde birleşmesiyle oluşur.

2.4.2. Üretim Sürecine Göre

Geleneksel üretim yöntemiyle başlayan süreç, israfların ortadan kaldırılmak istenmesiyle yalın sürece girmiş ve müşteri faktörünün ön plana çıkmasıyla da çevik bir yapıya kavuşmuştur. Günümüzde artık çeviklikte yüzde yüz sonuç vermemekte dolayısıyla pazardakileri birleşik bir yapıya sevk etmektedir. Bir tabloya tedarik zincirindeki bu çeşitliği açıklayacak olursak;

Tablo 2.1 Üretim Sürecine Göre TZ Çeşitleri (Çizmeci 2002)

Kategori	Yalın	Çevik	Birleşik
Tanım	Değersiz işlemlerin ve hiçbir değer katmayan aşamaların elimine edilmesine odaklıdır.	ÇTZ' nin kazancı, hızlı değişebilme, doğru bir şekilde büyüyebilmelidir.	BTZ genelde siparişe göre montaj ürünlerini kapsar.
Amaç	Sürekli bir iyileşme süreci olup ürüne değer katmayan basamaklar elimine edilir.	Amaç her ürünün büyüklüğüne ve sayısına bakılmaksızın üretilip teslim etmektir.	Montajın son anına kadar yenilikçidir ve küçük değişimler uygulamak mümkündür.
Üretime Yaklaşım	Yalın üretim tekniğini kullanır.	Çevik üretim tekniğini kullanır. Yalın üretimin uzantısıdır.	Yalın ve çevik üretim tekniklerini benimser.
Entegrasyon	Üretimi, satın almayı, kalite ve tedarikçileri entegre eder.	Pazarı, mühendisliği, dağıtımı ve bilgi sistemlerini entegre eder.	YTZ ile parça seviyesi benzer ve ÇTZ' deki ürün seviyesini takip eder.
Ürün Yaşam Çemberinin Uzunluğu	Standart ürünlerin, yaşam çemberi ömrü nispeten uzun olmaktadır (>2 yıl).	Yenilikçi ürünlerin yaşam çemberi ömrü kısadır (3 ay-1yıl).	Montaja göre bir üretim söz konusudur. Yaşam çemberi ömrü uzundur.
Tedarikçi Seçimi	Tedarikçi nitelikleri düşük fiyat yüksek kalitedir.	Tedarikçi nitelikleri hızlı, esnek ve kalitedir.	Tedarikçi nitelikleri düşük fiyat, yüksek kalite, hız ve esnekliktir.



Şekil 2.4 Tedarik Zinciri Gelişim Süreci (Childerhouse ve Towill 2000)

2.5. Tedarik Zinciri Yönetimi

2.5.1. Tedarik Zinciri Yönetiminin Tanımı

Tedarik zinciri yönetimi, malzemelerin ve tamamlanmış malların, satıcıdan müşteriye kadar olan akışının potansiyel ara duraklar olarak üretim vasıtaları ve depolar kullanılarak etkili yönetimidir. Buna karşın bu faaliyet, yeni bir kavram değildir. İşletmeler son yıllarda tedarik zincirine uygun yapının verilmesi sonucunda müşteri hizmet seviyelerini iyileştirebileceği, sistemdeki fazla envanterin azaltılabileceğini ve işletme ağındaki gereksiz maliyetlerin kısılabileceğine dikkat etmiştir (Sengupta ve Turnbull 1996).

Tedarik zinciri yönetimi müşteriyi memnun edecek bir şekilde daha iyi bir şekilde ürün ve hizmet üretip sunmak için genişleyen bir faktörler bileşenini planlama ve kontrol etme amacıyla ileri teknoloji, bilişim yönetimi ve yöneylem araştırmaları matematiği kullanır. İleri seviyede programlar, ilişkisel veritabanları ve buna benzer teknik araçları kullanır. Teknolojisi karmaşık olsa bile, tedarik zinciri yönetiminin en önemli kavramları ve çalışma teknikleri oldukça anlaşılırdır (Metz 1998).

2.5.2. Tedarik Zinciri Yönetiminin Gelişimi

Tedarik Zinciri Yönetimi günümüzde enerji faktöründen dolayı en popüler terimlerin başında gelmektedir. TZ Yönetimi telaffuz edilmeden önce bazı süreçlerden geçmiştir. Bu süreçlerin başında da Lojistik konusu gelmektedir. Lojistikten başlayarak TZ Yönetiminin hangi aşamalardan geçtiği aşağıda anlatılmaya çalışılmıştır.

2.5.2.1. Lojistiğin Dağıtılması: Depolama ve Taşıma

İlk işletme organizasyonlarından, 1960'ların ilk yıllarına kadar, lojistik firmalara önemli rekabet avantajı sağlayan alanlardan biri olarak görülmüyor, yalnızca operasyonel bir fonksiyon olarak görülüyordu. Kütle üretimi ve kütle dağıtımı çağında lojistik, depolama ve taşımada fiziksel dağıtım faaliyetleri olarak

anlaşılıyordu. İlk aşama olarak kabul edilen fiziksel dağıtım aşaması ile ilk adım Bowersox tarafından yapılmıştır. Bowersox fiziksel dağıtım gözlemlerine ek olarak, dağıtım fonksiyonunun firma dışında, kanal içi entegrasyonla, rekabetçi bir avantaj sağlayacağını öne sürmüştür. Firmalar lojistik yönetimi faaliyetlerini parçalara bölüp, birden çok departmana sorumluluk veriyorlardı. Bu yaklaşımın temel sebebi o günün koşullarında kapsamlı ve zor problemleri çözmek için gerekli bilgisayarların olmaması ve yönetim biliminin yeterli derecede gelişmemiş olmasıydı (Türköz 2007).

Organizasyonel yapı pazarın gereklerine göre farklılık gösteriyordu. Eğer firma için kritik üretim süreçlerini gerçekleştirmek öncelikli ise lojistik üretime bağlı bir fonksiyon olarak görülüyordu. Organizasyon yapılanması firmadan firmaya değişse de pek çok üretim ve dağıtım organizasyonunda taşıma yönetimi, genelde, tedarik zincirinde yukarı doğru envanterlerden sorumlu tedarik veya üretim departmanlarıyla, bitmiş ürünün aşağıya doğru depodan taşınmasından sorumlu pazarlama ve satış departmanlarına veriliyordu.

Bu yönetim yaklaşımında eğer bir departman kendi hedeflenen etkinlik ve performans hedeflerini gerçekleştirirse tüm süreçlerin en yüksek performansla gerçekleştirileceği düşünülüyordu. Ayrıca satın alma ve envanter yönetimi gibi birbirleriyle ilgili alanlar ayrıldıkları gibi, departman performans ölçümleri departmanları birbirleriyle etkinlik açısından yarışmaya da itiyordu. Satın alma büyük miktar iskontolarından faydalanmak isterken, bu envanterlerin çok olması anlamına geliyordu. Ayrıca lojistikle ilgili sorumlu bir kişi olmadığı için planlama ve kontrol yapılamıyor ve pek çok zaman sorumluluğun kimde olduğu ile ilgili belirsizlikler ortaya çıkıyordu. Sonuç olarak firma içinde ve tedarik zincirinde ürün ve bilginin koordine olmamış ve bağımsız yönetimi görülüyordu (Türköz 2007).

2.5.2.2. Malzeme Yönetimi ve Fiziksel Dağıtım

1960'lı yıllarda lojistiğin dağıtılmasının etkin olmadığı anlaşılmaya başlanmıştır. Pazarda ürün çeşitliliği patlamasının olması, müşterilerin küçük sipariş miktarları talep etmeleri, çevrim süresinin kısalması ve artan rekabetle, lojistik

fonksiyonunun dağılmış olmasının etkinlik ve maliyet kayıplarına yol açması sebebiyle, entegre lojistik sistem planlaması yaklaşımı ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Bazı firmalar bir veya daha çok lojistik fonksiyonunu kapsayacak şekilde departman yaratarak çözmeye çalışmışlardır. Örneğin, pazar avantajı için taşımaya önem veren firma fiziksel dağıtım departmanı oluşturuyor ve üretim, pazarlama ve finansta bulunan dağıtım aktivitelerini bu departman altında gruplandırıyorlardı. Fakat lojistik müdürü yine üretim, pazarlama ve finans yönetimine rapor veriyordu. 1970'li yıllarda bilgi teknolojilerinin gelişmesi ve sayısal analizlerin uygulanması, rekabet ve ekonomik baskıların artmasının da etkisiyle lojistik organizasyonunda merkezileşme başladı. Firmalar malzeme yönetimi ve fiziksel dağıtımı, üretim, pazarlama ve satıştan ayırıp, bunları tek bir yönetim altında merkezi bir lojistik departmanın da organize ettiler. Lojistiğin fiziksel dağıtım fonksiyonları entegre edildiğinde, buradan elde edilecek maliyet avantajlarıyla, müşteriye taşıma ücretini azaltmakla lojistiğin büyük avantajlar sağlayacağı fark edildi (Türköz 2007).

Lojistik maliyetleri ve hedeflenen müşteri hizmeti karşıt olduğu için, toplam lojistik sistem maliyetlerini firmanın pazarlama ve satış hedefleriyle dengelemek için gerekli maliyet karşılaştırmalarının etkin lojistik yönetimi ile yapılabileceği varsayımı ile 'toplam maliyet' kavramı ortaya çıkmıştır. Tek bir lojistik fonksiyonunun maliyetini azaltmaya çalışmanın toplam lojistik sistem maliyetinde artmaya yol açabileceği düşünülüyordu (Türköz 2007).

Örneğin, envanter taşıma maliyetini düşürmek için stok miktarını düşürmek, hedeflenen hizmet seviyesini sağlayabilmek için taşıma maliyetlerinde artışa sebep olacaktır. 1970'lerde pek çok firma satın alma, üretim planlaması, dağıtım fonksiyonlarını tek bir lojistik müdürünün sorumluluğuna vermeye başladı.

Bu dönemde ürün dağıtımı ile doğrudan ilgili fonksiyonların entegrasyonu görülmüştür. Son ürüne odaklanmanın sebebi, toplam envanter de büyük yer oluşturmaları, müşteri hizmetleri performansına doğrudan etkileri olmaları ve üretim akışına karışmayı gerektirmemesinden dolayıdır (Türköz 2007).

2.5.2.3. Lojistiğin Entegrasyonu

Önceki dönemde firmalar, depolama, taşıma ve müşteri hizmetlerini merkezileştirmeye odaklanmışlardı. Bu, kısa süreli taktiksel avantajlar ve maliyet ekonomisi sağladı. Fakat artık sadece maliyet yönetimine odaklanılmıyor, stratejik üstünlük elde etmek için diğer departmanların stratejik planları ile entegre edilebilecek bu fonksiyonların nasıl yapılandırılması gerektiği de değerlendiriliyordu. Bu yeni bakış ile lojistik, pazarlama ve üretim ile stratejik planlar oluşturulmakta, işletme kaynaklarının paylaşımının belirlenmesinde ve hedeflerin tanımlanmasında yer almaktadır (Croxton ve ark. 2007).

1980'lerde küresel rekabet ve kalite artırımı pazara en fazla şekil veren dinamiklerdi. Müşteri hizmetini artırılması için sürekli bir talep vardı. Bu dönemde lojistiğin amacı, tüm malzeme akışının, tedarikçiden başlayıp, üretim ve müşteri siparişi yönetimiyle devam edip, fiziksel dağıtım ve satış sonrası müşteri hizmeti yönetimi ile son olana kadar entegre edilmesidir (Croxton ve ark. 2007).

Gerek maliyet, gerek müşterilere sunulan değer, gerekse stratejik önemi bakımından lojistiğin bir firma için önemi hayatidir. Fakat yalnızca son yıllarda işletmeler arz zinciri faaliyetlerini entegre biçimde yapmaya başlamışlardır. Ürünler ve hizmetlerin, hammadde kaynaklarından, nihai müşterilere doğru kesintisiz akışı sağlanmaya çalışılmış ve son yıllarda ters yönde akış lojistiği de değerlendirilmeye başlanmıştır.

Lojistik Yönetimi Konseyinin tanımına göre lojistik, müşteri ihtiyaçlarını karşılamak için, hammaddelerin, proses içi envanterin, bitmiş ürünlerin ve bilginin başlangıç noktasından tüketim noktasına etkin ve optimum maliyetli akışının ve saklanmasının planlama, uygulama ve kontrol sürecidir. Lojistik Yönetimi Konseyine göre tipik bir lojistik sisteminin bileşenleri müşteri hizmetleri, talep tahmini, dağıtım irtibatı, envanter kontrolü, malzeme yönetimi, sipariş işleme, parça ve hizmetlere destek fonksiyonlar, fabrika ve depo tesisi seçimi ve yer analizi, satın alma, paketleme, dönüştürülmüş ürünlerin yönetimi, yok edilmesi, trafik ve taşıma, depolama ve saklamadır (Türköz 2007).

Lojistik yönetimi planlama, organize etme ve kontrolden oluşur. Planlama hedeflere karar verme ve alternatifler arasından seçim yapma sürecidir. Lojistik yönetiminde planlama, müşteri hizmet seviyelerini karşılamak için yer seçimi, envanter ve taşıma kararlarını içerir. Buna lojistik üçgeni denilmektedir.

2.5.2.4. Tedarik Zinciri Yönetimi Süreci

1990'larda pazardaki globalleşmenin ivme kazanması, hizmet kalitesinin artması talepler, ortaklıklar ve işbirlikleri, organizasyonun yeniden yapılandırılması, bilgi ve teknolojideki gelişmelerin etkileri firmaları entegre lojistik modelinin ötesinde yeni bulgular aramaya itti. Daha önce lojistik aktivite ve stratejilerin entegrasyonu sağlanmışken şimdi iş ortaklarıyla müşteri hizmetini ilerletmeyi ve tüm kanallar boyunca maliyeti azaltmayı hedefleyen entegre faaliyetlerden sonra tedarik zinciri yönetiminde ise kritik becerilerini birbirine bağlayan, tüm tedarik kanallarına rekabet avantajı sağlayan operasyonel entegrasyon söz konusudur. Bu safhada sadece lojistik faaliyetlerinin optimizasyonu değil, üretim, pazarlama, ürün dizaynı, dağıtım gibi diğer tüm faaliyetlerin de optimizasyonu söz konusudur (Chopra ve Meindl 2004).

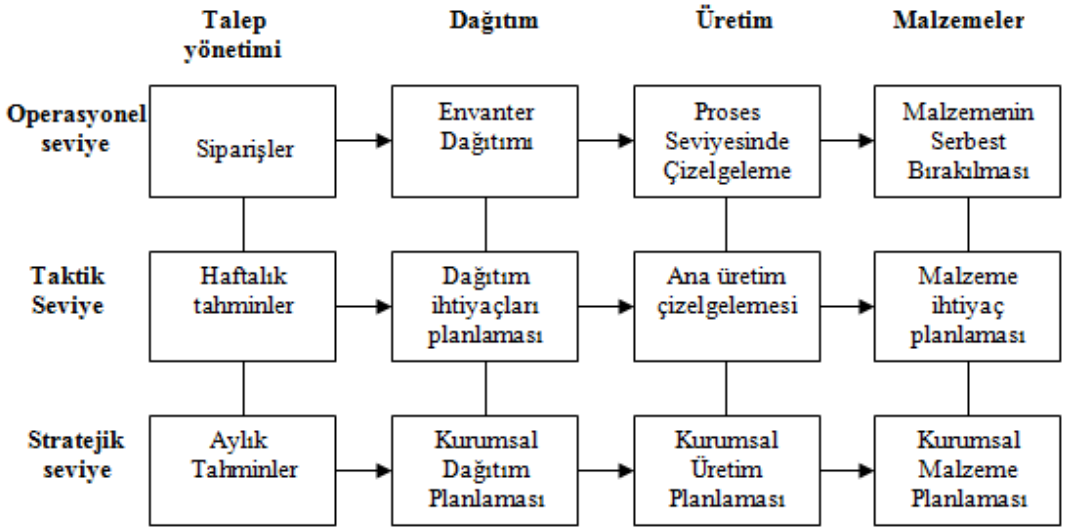
Tedarik zincirinde temel hedef müşteri talebidir. Tüm halkaların son hedefi müşteri isteklerini yerine getirip, müşteriyi tatmin etmektir. Optimizasyon ve tüm süreçler boyunca eş zamanlılık, süreçlerin birden çok kez yapılması ve operasyonların tekrarlanmasının önlenmesinde esastır. Arz zincirinde gerekli bu işleyişi bilgi teknolojileri sağlar.

Birbirini takip eden zincirler talep planlama süreçlerini müşteri ile ilgili spesifik bilgi toplayan perakendeciye veya uç noktadaki tedarik zinciri bileşeninin sağladığı bilgiye göre entegre etmelidir. Talep planlama süreçlerinin arz zinciri boyunca bir olması ve tüm zincir boyunca talep planlama süreçlerini gerçekleştirmesi lüzumsuz faaliyetleri önler. Bu sisteme girdiyi perakendeci sağlar ve arz zinciri boyunca her bir bileşen için talep miktarı sistemin çıktısıdır. Yani birleştirilmiş talep planlama süreci tedarik zincirindeki halkalara gerekli talep bilgisini ulaştırır. Tedarik zinciri halkaları arasında etkileşimli aktivitelerin optimizasyonu ve eş zamanlılığı da

ancak bilgi teknolojileri ile tedarik zinciri boyunca bilgiye ulaşmakla sağlanabilir (Türköz 2007).

2.5.3. Tedarik Zinciri Yönetiminin Fonksiyonları

Tedarik zinciri yönetimi fonksiyonları üç seviyede çalışmaktadır: Stratejik seviye, taktik seviye ve operasyonel seviye. Şekil 2.5.'te bu seviyeler talep yönetimi, dağıtım, üretim ve malzemelere göre tanımlanmıştır.



Şekil 2.5 Tedarik Zinciri Yönetimi Fonksiyonları (Çizmeci 2002)

Her bir seviye, kararların alındığı sürenin periyodu ve bu periyot süresince alınan kararların sıklığı ile birbirinden ayrılmaktadır. Stratejik seviyede, üretimin nerede tahsis edileceği ve en iyi kaynak bulma stratejinin ne olacağı. Taktik seviyede, tahmin yürütme, planlama, temin süresi kısa olan malzemelerin siparişi ve üretim ihtiyaçlarının karşılanması için fazla mesailerin çizelgelenip çizelgelenmeyeceği. Operasyonel seviyede ise envanter dağıtımı, detaylı çizelgeleme ve bir makine bozulduğu zaman bir siparişin ne yapılacağı.

Tedarik zinciri yönetimi, ayrıca, müşteri ve tedarikçilerle de koordinasyonu gerektirir. Pazar dinamikleri bunu güçleştirmektedir. Müşteriler sık sık değişiklikler yapmakta veya siparişleri iptal etmektedir. Tedarikçiler yanlış malzemeleri

sağlayabilmekte veya geç teslimat yapabilmektedir. Temin sürelerini ve envanteri minimize ederken pazarın dinamiklerine hızlı bir biçimde karşılık verecek sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır (Yaman 2001).

Pazarda olduğu gibi, üretimin tabanı da dinamik bir yapıdadır. Planlanmamış olayların gerçekleşmesi çizelgelenmiş faaliyetlerden sapmalara yol açabilir. Üretim kontrol sisteminin, planlı bir üretim için, üretim hedeflerini optimize edecek yöntemlerle bu olaylara cevap vermesi gereklidir. Olaylar bazı durumlarda, söz konusu kısımda kontrol altında olmayan problemlere yol açabilir. Üretim kontrol sistemi, faaliyetlerini planlama, satış ve pazarlama gibi daha üst seviyelerdeki fonksiyonlarla koordine etmelidir (Fox ve ark. 1993).

2.5.4. Tedarik Zinciri Yönetiminde Alıcı Tedarikçi İlişkileri

Bir sistemin başarısı o sistemde yer alan tüm öğelerin sistematik bir şekilde ilişkilerinin düzenli ve doğru olmasıyla sağlanabilir. Tedarik Zinciri Yönetiminin başarısı da zincirdeki her aşamayı tedarikçi ve müşteri olarak tanımlarsak bu iki öğenin ilişkisine bağlıdır.

Alıcı-tedarikçi ilişkileri literatürde genellikle geleneksel ve işbirliği esasına bağlı ilişkiler olmak üzere iki temel gruba ayrılır (Paksoy ve ark. 2003).

Ancak gerçekte bu iki tip ilişkide tam bir şekilde uygulanmamaktadır. Bu iki model uç noktalar olarak kabul edilecek olursa, uygulamada alıcı-tedarikçi ilişkilerinin bu iki nokta arasında bir yerde yer aldığı kabul edilir ve yakın olduğu uca bağlı olarak da daha rekabetçi veya daha işbirlikçi olarak nitelendirilir. Literatürde genel kabul gören eğilim, batıdaki alıcı-tedarikçi ilişkilerinin daha çok rekabetçi modele, Japonya'daki ilişkilerin ise daha çok işbirliği modeline yakın olduğu ve alıcı-tedarikçi ilişkilerinin gittikçe daha işbirlikçi hale geldiği şeklindedir. İşbirliği esasına dayanan alıcı-tedarikçi ilişkilerinin geliştirilmesindeki temel amaç, karşılıklı güven ve işbirliğini esas alan Japon tipi alıcı-tedarikçi ilişkilerinin oluşturulmasıdır (Paksoy ve ark. 2003).

Alıcı –Tedarikçi ilişkilerinin bağlandığı temel faktörler (Lamming 1993),

- Ekonomik faktörler
- Ticari faktörler
- Teknolojik faktörlerdir.

Örneğin, İngiliz üreticilerin alıcı-tedarikçi ilişkilerinde geleneksel modelden uzaklaşmalarının nedeni olarak, uluslar arası rekabet gücünün ve kar düzeyinin azalması ile atıl kapasiteden kaynaklanan güçlükler şeklinde sıralanmaktadır (Morris ve Imrie 1992).

Alıcı-tedarikçi ilişkilerinde geleneksel model yerine işbirliği modelinin uygulamasına neden olan faktörleri şu şekilde özetlemek mümkündür,

- Üretimde kullanılan yalın üretim tekniklerinin alıcı-tedarikçi ilişkilerinde de kullanılarak karşılıklı güven ve işbirliğine dayalı bir ilişkinin kurulması.
- Tam zamanında üretim ve toplam kalite yönetimi gibi yeni üretim yönetimi tekniklerinin uygulamaya konulması ve bunların büyük ölçüde tedarikçilerin desteğini gerektirmesi.
- Müşterilerin ihtiyaç ve isteklerinde meydana gelen değişmelerin sonucu olarak girdi temin edilirken fiyat dışındaki unsurlara, örneğin kalite, esneklik vs. verilen önemin artırılması.
- Fiyat konusunda baskı altında tutulan tedarikçilerin alıcıların ihtiyaçlarına cevap verebilecek teknolojilere yatırım yapmaması veya yapamaması (Paksoy ve ark. 2003).

2.5.5. Tedarik Zinciri Yönetiminin Avantajları

TZY, işletmelerin içsel ve dışsal sisteme uyum sağlamaları için kullandıkları çok önemli bir araçtır. Eğer bu araç etkin kullanılabilirse üretici işletmeye birçok fayda sağlayacaktır. Bu faydaların başında da firmanın tüm aktivitelerini içerecek şekilde planlama yapılabilmesi ve işletmeler arasındaki işbirliği ile kalitenin

yakalanması, fiyat ve tasarım açısından tercih edilecek bir ürün sunulması ve gerekli servis yapısının oluşturulabilmesidir. TZY aşağıdaki avantajları da sağlayabilecektir,

- Teslim performansının iyileştirilmesi,
- Envanterin azaltılması,
- Sipariş karşılama oranının iyileştirilmesi, talep tahmin başarısı,
- Tedarik çevrim süresinin kısaltılması,
- Toplam lojistik maliyetlerin azaltılması,
- Verimlilik/Kapasite kullanım oranı artışı,
- Hizmet düzeyinin ve kalitesinin artırılması,
- Envanter üzerindeki kontrol düzeyinin yükseltilmesi,
- Müşteri beklentilerinin karşılanması,
- Daha yüksek müşteri bağlılığı,
- Operasyonel karmaşıklıkların yok edilmesi,
- Gecikme ve beklemelerin en aza İndirilmesi.
- *Düşük Maliyet Avantajı;* uzmanlaşmış firmalardan sağlanan girdiler işletmenin kendi yaptığı üretimden daha az maliyetli olmaktadır.
- *Esneklik Avantajı;* işletmelerin kendilerinin mal üretip büyük sabit yatırımlar yapmalarından ziyade dış kaynak kullanımına yönelmeleri istedikleri zaman koşulların değişmesi ile başka faaliyetlere kayma konularında esnekliklerini arttırmaktadır.
- *Yüksek Kalite Avantajı;* uzmanlaşmış firmalara yaptırılan üretim daha kaliteli olmaktadır çünkü; tedarikçiler ana sanayi için firmaların kendi yapabileceklerinden çok daha iyi bir şekilde girdileri sağlayabileceklerdir.

- *Kapasite Kullanım Avantajı;* işletmeler pazardaki dalgalanmalara daha kolay cevap verebilmek için tedarikçilerini kullanabilmektedirler. Örneğin talepteki bir artışa işletme kendi bünyesinden gerekli cevabı verememesine rağmen dış kaynakları vasıtası ile talebe karşı mal arzını arttırabilir.
- *Teknoloji Avantajı;* uzmanlaşmış tedarikçiler en son teknolojileri takip etmek zorundadırlar. Bu nedenle hem kaliteli ürün tedariki artacak hem de daha kısa sürede üretimler gerçekleşebilecektir.
- *Pazar Bilgisi Avantajı;* tedarikçiler birden çok işletme ile çalıştığından pazar dinamiklerini iyi bilirler ve işletmeleri bu konuda yönlendirebilirler.
- *Teknik Uzman Avantajı;* çoğunlukla tedarikçiler müşterilerinin ürünlerini iyileştirebilen uzmanları yetiştirebilirler. Böylece firmaların bu alanda gösterebilecekleri başarıya katkıda bulunabilirler.
- *Temel Yeteneklere Odaklanma Avantajı;* işletmeler dış kaynak kullanarak temel yetenekler üzerine daha fazla yoğunlaşma yoluna gidebilirler. Böylece yaptıkları işte daha fazla uzmanlaşma yolunda ilerleme sağlayabileceklerdir.
- *Geniş Bakış Açısı Avantajı;* tedarikçilerle olan ilişkiler doğrultusunda tedarikçilerin işletmeye olan bakışları değerlendirilip eksik olan noktalar giderilmeye çalışılır.
- *Yalın Üretim Avantajı;* işletme içi bazı fonksiyonları dış kaynaklara bırakmak üretimde yalınlaşmayı sağlayacaktır (Dönmez 2007).

2.5.6. Tedarik Zinciri Yönetiminin Problemleri

Tedarik zincirindeki satın alma, üretim, dağıtım, pazarlama bölümleri birbirinden bağımsız olarak faaliyette bulunduklarında, bu bölümlerin belirledikleri amaçlar birbiriyle çakışabilmektedir. Tedarik zincirindeki bölümlerin ve işletmelerin amaçlarının çakışmaması için farklı fonksiyonlara sahip olan bu bölümlerin ve işletmelerin faaliyetlerinin bütünleştirilmesi gerekmektedir. İşletmeler, kendi içerisinde ve işletme dışındaki ilgili taraflarla işbirliği içerisinde çalışmanın

yararlarını görmeye başlamışlardır. Teknolojik gelişmelerle birlikte de TZY kavramına ilgi artmıştır.

TZY' nin gelişimini etkileyen önemli bir faktör olarak, ulusal ve uluslar arası alanda artan rekabet koşulları belirtilebilir. Rekabet koşullarına bağlı olarak işletmelerin, müşterilerin değişen taleplerini hızlı bir şekilde karşılayabilmenin önemi de artmıştır. Reid ve Sanders'a (2002) göre; müşterilerin talep ettikleri ürünleri sağlayabilen işletme sayısının artmasına bağlı olarak, güç, işletmelerden müşterilere geçmiştir. Ürün yaşam sürecinin de kısalmasıyla birlikte işletmelerin, pazardaki ürünlerin değişimine hızlı tepki verebilmeleri için esnek süreçlere ihtiyaçları artmıştır. Ayrıca Chandra ve Kumar'ın (2000) belirttiği gibi kitlesel üretimden müşteriye özel ürünlerin üretimine geçiş işletmelerin, örgütsel ve süreç esnekliğine daha çok odaklanmalarına neden olmuştur.

Artan rekabet koşulları ve işletmelerin süreçlerinde esnek olmaları gerekliliği, işletmelerin tedarikçilerine daha fazla sorumluluk yüklemelerini de beraberinde getirmiştir. İşletmeler, işbirliği içerisinde oldukları tedarikçi sayılarını azaltırken, aynı zamanda tedarikçileriyle arasındaki güven unsurunu da daha çok vurgulamışlardır. İşletmeler ile tedarikçileri arasında uzun dönemli ilişkiler önem kazanırken, isletmelerle tedarikçiler arasında bilgi paylaşımı da önemli bir koşul olmuştur (Chandra ve Kumar 2000).

Tedarik zincirindeki işletmelerle tedarikçileri arasında iletişimin hızlı bir biçimde gerçekleştirilebilmesi, tedarik zincirindeki birçok ara aşamanın ortadan kaldırılması eğilimini kuvvetlendirmektedir. Tedarik zinciri yönetiminin gelişimini etkileyen önemli bir faktör de son yıllarda teknolojide meydana gelen hızlı ilerlemelerdir. Teknolojideki ilerlemeler ile birlikte, bilgi paylaşımı işletmeler arasında kolaylaşmış ve işletmeler arasında iletişim olanakları da artmıştır. Cazla ve Passaro'ya (1997) göre teknolojideki ilerlemeler, süre ve yer kısıtlarını ortadan kaldırarak, ürünlerin ve bilgilerin işletmeler arasındaki akışını kolaylaştırmış ve hızlandırmıştır. Teknolojik gelişmeler, müşterilere dünyanın herhangi bir köşesinde ihtiyaçları olan ürünü satın alam olanağını sağlamaktadır.

Benzer biçimde işletmelerin tedarikçi alternatifleri de artmıştır. Bilgi teknolojilerindeki ilerlemeler sonucunda, ürünlerin talep bilgileri direkt olarak satış

noktalarından sağlanabilmektedir ve böylece işletmeler, Pazar bilgilerine çok daha hızlı ulaşabilmektedirler. Bu gelişmelere bağlı olarak işletmelerin tek başlarına faaliyette bulunmaları güçleşmekte ve bütünleştirilmiş tedarik zinciri çok daha önem kazanmaktadır. İşletmeler yalnızca işletme içersindeki faaliyetlerine odaklanıp, tedarik zincirinin üyeleriyle iletişim içerisinde olmadıklarında, işletmelerin, müşteri taleplerinin karşılanamaması, yüksek stok maliyetlerine katlanılması, tedarik süresinin belirsizliği vb. birçok problemle karşılaşma olasılıkları artacaktır (Chandra ve Kumar 2000).

Son yıllarda tedarik zincirinin gelişiminde etkili olan önemli bir bileşen de dış kaynaklama (outsourcing) olmaktadır. İşletmeler, sadece temel işlevlerini yerine getirmeye yönelmekle, muhasebe, insan kaynakları, Ar-Ge vb. temel faaliyetleri içersinde yer almayan faaliyetlerinin üçüncü taraf tarafından daha etkin olarak gerçekleştirilebileceğini fark etmektedirler. İşletmelerin temel faaliyetlerinin dışındaki faaliyetlerini sürdürmeme eğilimi göstermeleri tedarik zincirinde üçüncü taraf sayısının artmasına neden olacaktır (Reid ve Sanders 2002).

İşletmelerin, temel faaliyetleri üzerinde odaklanıp, diğer faaliyetlerini dış kaynaklama ile gerçekleştirmesi sonucunda tedarik zincirinin üyeleri arasındaki işbirliğinin önemi de artacaktır. Çevre sorunlarına ilişkin işletmelerde ve toplumda son yıllarda hızla artmaktadır. İşletmelere, ürünlerinin çevreye etkilerinin sorumluluğunu da almalarına ilişkin baskıların artması, işletmeleri, yaşanan sürecinin sonuna gelen ürünlerin çevreye zarar vermeden bertaraf ve geri dönüşüm olanaklarını da değerlendirmeye yöneltmiştir.

3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Williams (1983), tedarik zinciri ağların üretim ve dağıtım operasyonları için amacı maliyetleri minimize etmek olan 7 sezgisel algoritma sunmuştur.

Ishii ve ark. (1988), sonu ufuk boyunca entegre edilmiş tedarik zinciri için düşük maliyetli çözümler ile ilgili gecikme zamanı ve taban stok seviyesini belirleyen deterministik bir model geliştirmiştir.

Cohen ve Lee (1989), tarafından geliştirilen deterministik karma tamsayılı doğrusal olmayan matematiksel programlama modeli, bu alandaki öncü çalışmalardan biridir. Önerilen model, ekonomik sipariş miktarı tekniğine dayalı olarak global bir tedarik zinciri planı geliştirmektedir. Bu kapsamda imalat tesisleri ve dağıtım merkezleri için vergi sonrası karları en çoklamakta ve aynı zamanda malzeme ihtiyaçlarını ve tüm ürünler için atamaları belirlemektedir.

Cohen ve Moon (1990), Cohen ve Lee'nin (1989) modelini geliştirmişlerdir. Model çeşitli parametrelerin tedarik zincir maliyeti üzerindeki etkisini ve hangi üretim tesisi ve dağıtım merkez açılmalı gibi problemlerin yanıtını araştırmıştır.

Pyke ve Cohen (1993), imalat tesisi, depo ve perakendecilerden oluşan 3 seviyeli bütünleşik bir tedarik zinciri için stokastik alt modeller kullanarak matematiksel bir proglama modeli geliştirmişlerdir. Tek ürünün söz konusu olduğu model, servis düzeyi kısıtı altında toplam maliyeti en küçükleyen ekonomik yeniden sipariş aralığını, ikmal parti hacimlerini ve perakendeciler için en büyükleyen sipariş miktarı seviyesini belirlemektedir.

Newhart ve ark. (1993), optimal tedarik zincirini 2 evreli bir yaklaşımla tasarlamıştır. İlk evrede matematiksel program ve sezgisel modelin kombinasyonunu ve tedarik zinciri boyunca stokta tutulan farklı ürünlerin sayısının en küçüklenmesini amaçlamıştırlar. İkinci evrede ise stok modeli tabanlı elektronik çizelge olup, talep ve gecikme zamanı dalgalanmalarını absorbe eden minimum güvenlik stoğu miktarını saptamışlardır.

Lee ve ark. (1993), geliştirdikleri modelde, her tesisteki her üründe hedeflenen servis düzeyini elde etmek için gerekli stok düzeyini hesaplayarak malzeme sipariş politikasını belirlemek ve verilen malzeme sipariş politikası ile her tesisteki her ürün için servis düzeyini saptamayı amaçlamıştır.

Arntzen ve ark. (1995), global tedarik zinciri yönetimi olarak "GSCM" adlandırılan karma tam sayılı bir model geliştirmiştir. GSCM, malzeme listesi, talep miktarları, maliyetler ve vergiler gibi girdileri kullanarak, faaliyet günlerini ve üretim, stok, malzeme taşıma ve ulaştırmaya ilişkin maliyetleri en azlayan dağıtım merkezlerinin sayısını ve yerlerini, müşteri- dağıtım merkezi ve ürün-tesis atamalarını belirlemektedir.

Voudouris (1996), tedarik zincirinde verimi ve yanıt vermeyi geliştiren matematiksel model tasarlamıştır.

Camm ve ark. (1997), Procter & Gamble firması için tamsayılı programlama geliştirmişlerdir. Modelin amacı; Dağıtım merkezlerinin yerlerini saptamak ve müşteri belgelerine bu seçilen merkezleri atamaktır. Modelin amaç fonksiyonu seçilen dağıtım merkezlerinde ve atanan müşteri bölgelerinde toplam maliyeti minimize etmektir.

Shih (1997), çok sayıda arz merkezinden çok sayıda güç istasyonuna kömür taşınan bir sistemin planlanması için bir karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli oluşturmuştur. Model, toplam satın alma, taşıma ve elde tutma maliyetlerini minimize etmeyi amaçlamıştır. İşletmenin satın alma politikası, güç istasyonlarının talep miktarları, limanların yük boşaltma kapasiteleri, stok dengesi eşitlikleri, harmanlama oranları ve emniyet stoğu miktarları, sistemin kısıtlarını oluşturmaktadır.

Vidal ve Goetschalckx (1997), stratejik seviyedeki karar problemleri için geliştirilen üretim-dağıtım modellerini gözden geçirmişlerdir. Küresel tedarik zinciri modellerine dikkat çeken yazarlar, özellikle karışık tamsayılı programlama modelleri üzerinde yoğunlaşmışlardır.

Stratejik düzeydeki karar problemlerine ilişkin çalışmaları derleyen bir diğer makale Owen ve Daskin (1998) tarafından yayımlanmıştır. Erengüç ve ark. (1999),

çalışmalarında, üretim-dağıtım planlamasını ele almışlar; tedarik, üretim ve dağıtım aşamalarında verilmesi gereken karar türlerini incelemişlerdir.

Özdamar ve Yazgaç (1999), bir merkezi üretim tesisi ile farklı bölgelerde bulunan depolama merkezlerini kapsayan bir sistem için bir üretim-dağıtım modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada, stok maliyetleri ve taşıma maliyetlerini de kapsayan toplam sistem maliyeti minimize edilmiştir. Üretim kapasitesi, stok dengesi eşitlikleri ve filo büyüklüğü, sistemin kısıtlarını oluşturmuştur.

Petrovic ve ark. (1999), bulanık ortamda, seri bağlı bir tedarik zincirinin davranışını modellemişlerdir. Tanımlanan bulanık tedarik zinciri modeli, tedarik zincirindeki her bir stok için belirsizlik altında, makul maliyetler ile tedarik zincirinin kabul edilebilir bir servis düzeyini veren sipariş miktarlarını belirlemek için geliştirilmiş ve özel amaçlı benzetim programı ile işletilerek sınırlı bir zaman ufku süresince seri bağlı tedarik zincirinin performans ölçüleri ve dinamikleri analiz edilmiştir. Sonuç olarak belirsiz müşteri talebinin ve tedarik zinciri boyunca belirsiz teslimlerin, tedarik zincirinin davranışına büyük etkisi olduğu ortaya konmuştur.

Sabria ve Beamon (2000), güncel araştırmaların stokastik ve deterministik modellere odaklandığından bahsetmektedir. Deterministik modellerin daha stratejik; stokastik modellerin ise daha operasyonel olduğuna değinirler. Yazarlar ayrıca, bir tedarik zincirinde stratejik ve operasyona ait açıların eşzamanlı analizi için bir minimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Modelleri, ilk olarak stratejik amacı analiz eder. Stratejik amaç analizinin çıktısı sonra, operasyona ait amaçta minimum maliyet çözümü geliştirmek için kullanılır.

Ganeshan ve ark. (2001), stok parametrelerinin ve yönetim tekniklerinin geniş bir perakende tedarik zincirinin performansı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Tedarik zinciri performansının, tahmin hatası, aşamalar arasındaki iletişimin biçimi ve planlama sıklığı olmak üzere 3 stok planlama parametresine olan duyarlılığı bir örnek olay üzerinde simülasyon yöntemi ile analiz edilmiştir. Sonuç olarak, 3 parametrenin de tedarik zinciri performansı üzerinde etkili olduğu bulunmuştur. Artan tahmin hataları, hizmet seviyesini ve yatırımın geri dönüşünü azaltmakta ve çevrim süresini artırmaktadır. Planlama sıklığının artışı yatırımın geri dönüşünü ve hizmet seviyelerini artırmakta, çevrim sürelerini düşürmektedir.

Abd El-Wahed (2001), çok amaçlı taşıma problemine bulanık programlama yaklaşımı kullanarak optimum çözüm bulmaya çalışmıştır.

Dhaenens-Flipo ve Finke'nin (2001) yaptığı çalışmada ise çok süreçli, çok ürünlü ve çok dönemli bir problem söz konusudur. Ele alınan sistemde üretim ve dağıtım maliyetleri belirli ve birbiriyle ilişkilidir. Bu bütünleşik üretim-dağıtım problemi, birkaç 0-1 değişken ilave edilmiş bir şebeke akış modeli olarak modellenmiştir.

Tsiakis ve ark. (2001), tarafından yapılan çalışmada, çok ürünlü çok aşamalı bir tedarik zinciri şebekesi ele alınmıştır. Söz konusu şebeke, üretim tesislerini, depoları, dağıtım merkezlerini ve talep merkezlerini kapsamaktadır. Depoların ve dağıtım merkezlerinin coğrafi konumları belirli değildir, alternatif konumlar arasından seçim yapılması gerekmektedir. Çalışmada konu edilen sistem bir karışık tamsayılı doğrusal programlama optimizasyon problemi olarak modellenmiştir. Oluşturulan model, yeni kurulacak depoların ve dağıtım merkezlerinin sayıları, konumları ve kapasitelerinin yanısıra malzeme akışlarını ve üretimde esas alınacak ürün karmasını da belirlemektedir. Sistemde, altyapı ve işletim maliyetlerini içeren toplam yıllık maliyet tutarı minimize edilmek istenmiştir. Sunulan bütünleşik yaklaşımın, talebin belirli ya da belirsiz olduğu durumlardaki uygulanabilirliği, bir örnek olay üzerinde gösterilmiştir.

Tedarik zinciri yönetimindeki bütünleşik üretim-dağıtım problemlerinin çözümü için analitik modellerin geliştirildiğini hatırlatan Lee ve Kim (2002), bu analitik modellerin, işlem sürelerinin kesin olarak bilindiği varsayımından yola çıktığına ya da işlem sürelerini göz ardı ettiğine dikkat çekmiştir. Lee ve Kim (2002), gerçek hayattaki sistemlerde tahmin edilemeyen etkenlerin (beklenmeyen gecikmeler, kuyruklar, arızalar, vb.) ortaya çıkabilmesi nedeniyle, analitik modellerin gerçek işlem sürelerinin dinamik yapısını doğru olarak yansıtamayacağını ileri sürmüşlerdir. Bu sorunu çözebilmek için analitik model ile benzetim modelini birleştiren melez bir yaklaşım önerilmiştir. Analitik modeldeki "işlem zamanı" dinamik bir etken olarak ele alınmış ve bağımsız olarak geliştirilen benzetim modelinden elde edilen sonuçlarla düzeltilmiştir. Çalışmada, yinelemeli melez analitik-benzetim çözüm yöntemi uygulanarak, bütünleşik tedarik zinciri sistemi için,

stokastik yapıları yansıtabilen, daha gerçekçi optimum üretim-dağıtım planları elde edilmiştir.

Sakawa ve ark. (2002), merkeziyetçi olmayan iki seviyeli etkileşimli bulanık programlama yaklaşımı ile ev aletleri imal eden ana sanayi ile tedarikçilerinin amaçları arasında bir uzlaşma sağlamaktadır. Ev imalatçısı işletme işbirlikçi bir yaklaşım ile, fabrika ve depolarından ürünleri müşterilere taşımak için dış kaynak sağladığı iki tür acentenin amaçlarını da değerlendirmektedir. Bu acentelerden biri düzenli partileri, diğerleri küçük partileri taşımaktadır. İşletmenin amacı taşıma maliyetini ve taşıma zamanına göre fırsat maliyetini en azlamak iken acentelerin amacı karlarını en çoklamaktır. Acenteler bu amacı sağlayan işgücü atamasını gerçekleştirirken şoförlerin kabiliyetlerini de dikkate almaktadır. Bu taşıma ve işgücü atama problemi merkeziyetçi olmayan iki seviyeli tamsayılı programlama problemi olarak formüle edilmiş, rasyonel ve etkin bir plan ortaya koyabilmek ve işletmeler arası işbirliğini yansıtabilmek için etkileşimli bulanık programlama kullanılmış ve her bir işletme için tatmin edici bir sonuç elde edilmiştir.

Syarif ve ark. (2002), belirli bir kapasiteye sahip potansiyel tesislerin kurulmasının sabit maliyeti ile müşteri talebinin tesislerden taşınması maliyeti toplamının en azlayacak tesislerin ve dağıtım ağının en uygun tasarımın elde etmeye çalışmışlardır. NP-zor olan karma tamsayılı doğrusal yapısındaki bu problemi çözmek için Genetik Algoritmalara dayalı bir algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirilen algoritmanın performansı basit genetik algoritmalar ve LINDO sonuçları ile karşılaştırılmış, basit genetik algoritmalara göre, sezgisel çözümler ve bilgisayar işlem zamanı bakımından daha iyi sonuçlar elde edildiği gösterilmiştir.

Yan ve ark. (2003), mantık kısıtları kullanarak tedarik zinciri tasarımı için stratejik bir model önermişlerdir. Tedarikçiler, üreticiler, dağıtım merkezleri ve müşteri bölgelerinden oluşan çok aşamalı tedarik zinciri için malzeme ihtiyaçlarını da göz önüne alan bir tasarım gerçekleştiren üretim-dağıtım modeli karma tamsayılı yapıdadır.

Jayaraman ve Ross (2003), çok aşamalı deterministik bir üretim-dağıtım modeli için benzetilmiş tavlama yöntemini kullanmışlar, farklı problem senaryoları ve parametre setleri için performans değerlendirmesi yapmışlardır.

Sundarraj ve Talluri (2003), kurumsal bilgi sistemleri için çok dönemli tamsayılı bir model önermişlerdir. Değişen sistem bütünleşme maliyetleri ve farklı planlama dönemleri için model çıktıları yorumlanmıştır.

Rejowski ve Pinto (2003), tarafından incelenen sistem, bir petrol rafinerisi ile bu rafineriyi çok sayıda depoya ve yerel tüketim noktalarına bağlayan bir çok-ürünlü petrol boru hattından oluşmaktadır. Sistemin çizelgelenmesinde, karışık tamsayılı doğrusal programlama modelleri kullanılmıştır. Bu modeller, kütle dengeleri, dağıtım kısıtları, ürün talepleri, sıralama kısıtları gibi tüm işlemsel kısıtları sağlamaktadır. Tüm tesislerdeki stok seviyeleri, ürünlerin depolar arasında dağıtımı ve ürünlerin petrol boru hattındaki en doğru sıralaması, modellerden elde edilen sonuçlardır.

Yılmaz (2004), üç aşamalı üretim-dağıtım ağı için stratejik planlama problemini göz önüne almıştır. İncelenen problem tek ürünlü, çok tedarikçili, çok üreticili ve çok dağıtıcılı deterministik bir üretim ağıdır. Amaç, sistemin üretim, dağıtım, taşıma ve kapasite artırma sabit maliyetlerini minimize etmektir. Tedarikçilerin ve üreticilerin üretim kısıtları ile tedarikçi-üretici, üretici-dağıtıcı ağlarındaki taşıma kapasitesi sınırlamaları modelin kısıtlarını oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra ele alınan sistemde, kapasiteler çeşitli yatırımlar yapılarak, belli bir sabit maliyetle artırılabilmektedir. Problem, karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli olarak formüle edilmiştir. Modelin gerçek hayattaki planlama problemleri için çözülmesi imkânsız ya da çok zor olduğundan, tamsayı kısıtlamaları kaldırılarak elde edilen sonuçtan özel bir algoritma geliştirilmiştir.

Nihai ürünlerin depolardan perakendecilere dağıtımını içeren bir sistemi inceleyen Wang ve ark. (2004), bir tam zamanında dağıtım ihtiyaçları planlaması sistemi önermişlerdir. Çalışmanın amacı, toplam üretim ve taşıma maliyetlerini minimize eden bir optimum dağıtım ihtiyaçları planlaması modeli kurmaktır. Amaç fonksiyonu, perakendecilerin ihtiyaçlarının tam zamanında karşılanmasını sağlayacak ifadeleri de içermektedir. Model, matematiksel indirgemeler kullanılarak bir doğrusal programlama problemine dönüştürülerek çözülmüştür.

Chen ve Lee (2004), talep miktarlarının ve ürün fiyatlarının belirsiz olduğu bir çok aşamalı tedarik zinciri şebekesinde, belirlenen ölçülemeyen amaçlara ulaşabilmek için çok ürünlü, çok aşamalı ve çok dönemli bir planlama modeli

önermişlerdir. Belirsiz talep miktarlarının modellenmesinde, bilinen olasılıklara sahip farklı senaryolar kullanılmış; satıcıların ve alıcıların ürün fiyatları ile ilgili birbirine uymayan tercihleri ise bulanık kümeler kullanılarak ifade edilmiştir. Tedarik zinciri planlama modeli, karışık tamsayılı doğrusal olmayan programlama problemi olarak kurulmuştur. Modelin çözümünde kullanılmak üzere bir iki-aşamalı bulanık karar verme yöntemi sunulmuş ve sayısal bir örnekle açıklanmıştır.

Paksoy (2005), malzeme ihtiyaç kısıtı altında çok aşamalı bir tedarik zinciri ağı tasarımı için karma tamsayılı bir doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. Nagurney ve Toyasaki (2005), çok katmanlı tedarik zinciri yapısındaki tersine tedarik zincirinde, e-geri dönüşüm dengesini sağlamaya çalışmışlardır. Gen ve Syarif (2005), çok aşamalı ve çok dönemli bir tedarik zinciri ağı için melez bir genetik algoritma geliştirmişlerdir.

Bir hammadde tedarikçisini, bir üreticiyi ve çok sayıda perakendeciyi içeren bir tedarik zincirini inceleyen Kim (2006), satın alma, üretim ve dağıtım faaliyetlerini bütünleştirmek ve birbiriyle uyumlu hale getirmek için bir analitik model önermişlerdir. Üreticinin aynı hammaddeyi kullanarak birden çok ürün elde ettiği bu sistemde, yok satmaya izin verilmemektedir. Söz konusu problem, klasik ekonomik parti çizelgeleme probleminin farklı bir hali olarak formüle edilmiştir. Çalışmada ortalama toplam maliyeti minimize edecek şekilde ürünlerin optimum üretim çizelgelerinin, ortak üretim çevrim süresinin, sevkiyat sıklıklarının ve miktarlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan sayısal testler, önerilen sezgiselin tatmin edici sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Altıparmak ve ark. (2006), çok amaçlı bir tedarik zinciri şebekesi tasarımı problemi için pareto-optimum sonuçlar kümesini bulmak amacıyla genetik algoritmalara dayanan yeni bir çözüm yöntemi önermişlerdir.

Chen ve ark. (2006), birim hammadde maliyetlerinin, birim taşıma maliyetlerinin ve talep miktarlarının bulanık olduğu durumda, bulanık minimum toplam maliyetin üyelik fonksiyonunu bulmak için bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Yaklaşımın temelini, kesmeleri ve bulanık bir modeli kesin modellere dönüştürmede kullandığı yöntem oluşturmaktadır. Tahmini üyelik fonksiyonunu türetebilmek için, farklı olasılık düzeyleri için bulanık minimum toplam maliyetin alt ve üst sınırları

hesaplanmış ve ilgili optimum faaliyet planları üretilmiştir. Önerilen yöntemin geçerliliğini göstermek üzere, çalışmada bulanık parametrelere sahip olan dört aşamalı bir tedarik zinciri için beş planlama dönemini kapsayan bir model oluşturulmuş ve çözülmüştür. Önerilen yaklaşımın, bulanık parametreler barındıran tedarik zincirlerini daha iyi temsil edebildiği sonucuna varılmıştır.

Liang (2006), bulanık çok amaçlı ulaştırma problemleri için bir etkileşimli çok amaçlı doğrusal programlama yöntemi geliştirmiştir. Bu yöntem, amaç fonksiyonlarının bulanık olduğu ve parçalı doğrusal üyelik fonksiyonları ile ifade edildiği durum için önerilmiştir. Makale kapsamında ele alınan problemde, toplam dağıtım maliyetlerinin ve toplam teslimat sürelerinin minimizasyonu amaçlanmıştır. Arz merkezlerinin arz miktarları ve stok kapasiteleri ile talep noktalarına ilişkin talep tahminleri ve depo kapasitelerinin bulanık olduğu belirtilmiştir. Önerilen metot, karar vericiye, tatmin edici bir çözüm elde edene kadar bulanık veriler ve ilgili parametreler üzerinde etkileşimli olarak değişiklikler yapma olanağını da vermektedir. Çalışma kapsamında, bir örnek olay için uygulanan metodun etkinliği gösterilmiştir.

Çok amaçlı taşıma problemi için etkileşimli bulanık amaç programlama yaklaşımı geliştiren Abd El-Wahed ve Lee (2006), her bir amaç fonksiyonu için bulanık bir amaç değeri olduğunu varsaymışlardır. Amaç programlama, bulanık programlama ve etkileşimli programlamanın birleştirildiği bu yöntemin, sadece çok amaçlı taşıma problemi için değil, diğer çok amaçlı karar verme problemlerinin çözümü için de etkili bir yöntem olduğu vurgulanmıştır.

Wang (2007), daha önceki çalışmalarda tedarik zincirinin kusursuz bir dengede çalıştığı varsayımını değiştirerek, aşamalar arasındaki dengesizliği kusurlu tedarik zinciri kavramıyla açıklamıştır. Kusurlu tedarik zincirlerinde ağ tasarımında maliyet minimizasyonu için karınca kolonisi yöntemini kullanmıştır.

Lin ve ark. (2007), hangi miktarda ürünün talep edilen düzeyde müşterilere gönderilmesini sağlayan üretim/dağıtım sistemini, optimize etmek için genetik algoritmaya dayalı minimum kapsayan ağaç yöntemini kullanmışlardır. Kullanılan bu yöntemi bulanık mantık kontrol mekanizmasıyla kombine ederek geleneksel minimum kapsayan ağaç tekniğine göre olan üstünlüğünü göstermişlerdir.

Petrovic ve ark. (2008), tedarik zincirlerinde stok yönetimi ve kontrolü için hiyerarşik iki-seviyeli bir yaklaşım sunmuşlardır. Tedarik zinciri, üretim ve stok birimlerinden oluşan seri yapıdaki geniş ölçekli bir sistem olarak düşünülmüştür. Çalışmada, talebin belirsiz olduğu ve bulanık kümelerle modellendiği belirtilmiştir. Tedarik zinciri kontrolü problemi, daha basit optimizasyon alt problemlerine parçalanmış, bu alt problemler birbirinden bağımsız olarak çözülmüş ve çözümler hiyerarşik bir şekilde birleştirilmiştir.

Tuzkaya ve Önüt (2009), tedarikçi-depo-üreticiden oluşan iki aşamalı bir tedarik zinciri için holonik sistem yaklaşımıyla yok satma ve elde tutma maliyetlerini minimize eden bir model geliştirmişlerdir.

Sourirajan ve ark. (2009), perakendecilerin ağdaki yerlerinin belirlenmesini ve emniyet stoğunun en azlanmasını amaçlayan iki aşamadan oluşan bir tedarik zinciri ağı tasarımına ait, genetik algoritmaya dayalı bir çözüm modeli geliştirmişlerdir.

Xu ve Nozick (2009), iki aşamalı bir tedarik zinciri ağı için risk ve maliyet arasında bir ödünleşme yaparak optimum tedarikçi seçimini gerçekleştiren stokastik bir model geliştirmişlerdir.

Pishvaee ve Torabi (2010), hem ileri hem de tersine lojistik içeren bir kapalı döngü tedarik zinciri için karma tamsayılı matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Gerçek hayattaki belirsizlikleri modelde yansıtabilmek adına bulanık mantığa dayalı bir çözüm yöntemi geliştirmişler ve modelin kullanılabilirliğini göstermek için ise hipotetik verilere dayalı bir örnek vermişlerdir. Nagurney (2010), oligapolistik bir şekilde rekabet eden firmaların tedarik zinciri yapılarını kar maksimizasyonu yapacak şekilde tasarlayan bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Bassett ve Bardner (2010), kimyasal tarım ürünleri üretimi yapan bir işletmenin global tedarik zinciri ağı için karı maksimize eden ve aylık üretim miktarını veren karma tamsayılı bir doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Literatürde az rastlanan stok ve vergi faktörlerini içine alan model aynı zamanda gerçek verilere dayalı bir sayısal bir örneklede test edilmiştir.

4. MATERYAL ve METOT

Tedarik zinciri ağ tasarımı sırasında kullanılan modelleme ve optimizasyon metot sınıflandırmalarına aşağıda yer verilmiştir. Bu çalışmada geliştirilen modellerin kurulumu esnasında analitik modellerden doğrusal programlama kullanılmıştır. İleriki sayfalarda analitik modellere daha geniş bir yer verilmiştir. Bu çalışmada tedarik zinciri modelleme, *Analitik Modeller, Simülasyon ve Bilgi Tabanlı Modeller, Melez Modeller ve Tedarik Zinciri İşlemleri Referans Modeli "SCOR"* olarak 4 gruba ayrılmıştır.

Analitik Modeller: Tüm parametreleri sabit veya karar verici tarafından kesin bir şekilde bilindiği varsayılan modeller bu gruba girer (Paksoy ve Altıparmak 2003). Analitik çözüm, birçok kabule dayanan ve başarım kriterinin analitik denklemlerle ifade edildiği bir modelleme tekniğidir. Analitik model, diğer yöntemler arasında basitlik avantajına sahiptir ve genellikle basitleştirilmiş varsayımlar ve ideal kabuller üzerine kurulur. Bu yüzden kesin sonuçlar istendiğinde analitik modeli oluşturmak karmaşıklık ve zaman tüketimi açısından sistemin prototipini oluşturmak kadar zordur.

Simülasyon ve Bilgi Tabanlı Modeller: Tedarik zinciri bütünleşiminin doğası gereği bu zincir şirketin içi ve dış süreçlerini arasındaki sistematik bağlantılardan oluşmaktadır. Tedarik zinciri' nin yapısını değiştirmek ya da tedarik zinciri' nin işleyişi üzerinde değişiklikler yapmak, tedarik zinciri bütünleşimi için stratejik kararlar vermenin temellerini oluşturur. Aşağıda ki 4 adım kullanıcılara karar vermeleri için uygun tekniklerden bahsetmektedir (Çetinkaya 2003).

Adım 1. Ağ Optimizasyonu

Adım 1'in amacı bütün şebeke yapısının etkin olmasını, bütün taleplerin karşılanmasını, maliyet tabanlı konuların en aza indirgenmesi ve diğer yönetimsel kısıtları karşılamaktır. Bunun için doğrusal tamsayılı programlama modeli, formüle edilip çözülmelidir.

Adım 2. Ağ Simülasyonu

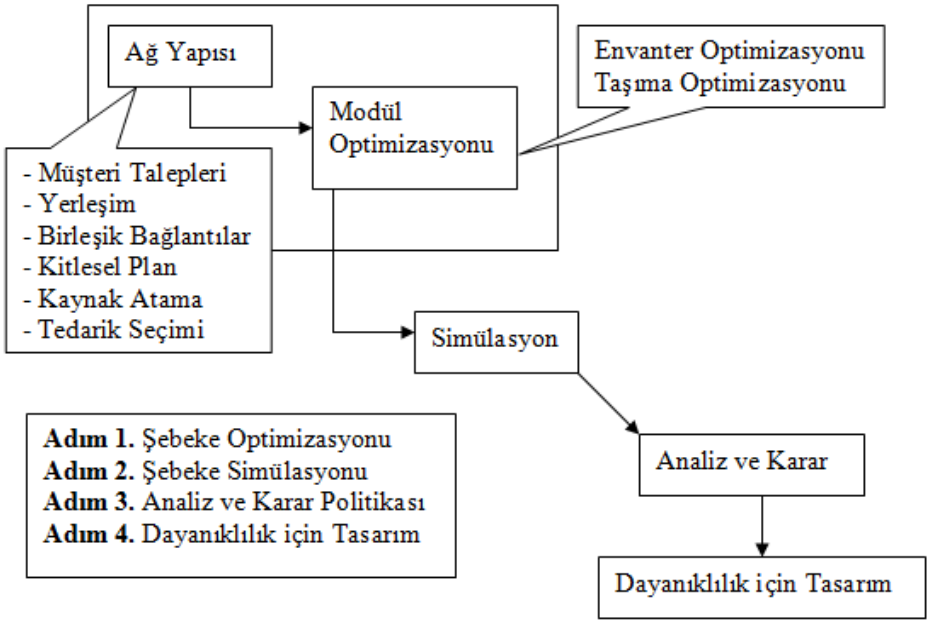
Adım 1 optimal bir zincir yapısı oluştururken, şebekenin zamanında davranmasını gerektirdiği konuları göz ardı eder. Sonuç olarak, Tedarik Zinciri tasarımını seçmek için bize yol gösterir ama bu tasarımın uygulanması sürecinde tam anlamıyla neler olacağını bize önceden bildiremez. Bir tedarik zinciri tasarımının nasıl işlediğini tahmin etmek için, tasarım Adım 2'de simülasyon ile test edilmelidir.

Adım 3. Analiz ve Karar Politikası

Bu politikaların optimizasyonu, daha iyi bir Tedarik Zinciri tasarımı ve uygulanan politikaların geliştirilmesi açısından uç noktalardaki değerli öneriler ışığında bir kenar kesim teknolojisi olarak ifade edilebilir. Ancak, bu gücün yanı sıra, dikkat edilmesi gereken birkaç zayıf yönü de mevcuttur. Öncelikle simülasyon ve optimizasyon kusursuz girdi verileri ve maliyetlerden oluşan tamamlanmış bir modele ihtiyaç duyar. İkincisi, her simülasyon modelinin çalıştırılması hem çok zaman alıcı bir işlemdir hem de tüm modelin simülasyonunun bitmesi bu bağlamda çok uzun süren bir işlemdir. Bu ise üçüncü problemi doğurur; gerçek tasarım politikası optimizasyonları yüzlerce hatta binlerce, işitilip optimize edilmesi gereken karar değişkenleri içerebilir.

Adım 4. Dayanıklılık İçin Tasarım

Bu adımın amacı seçilen son Tedarik Zinciri ağ yapısının ve politikalarının birçok farklı durumlarda çalışabileceğinden emin olmak için yapılmasıdır.



Şekil 4.1 Tedarik Zincirinde Karar Adımları (Lee ve ark. 2002)

Günümüzde firmaların içinde bulundukları tedarik ağları gittikçe karmaşıklaşmaktadır. Bunun yanında iş dünyasının küreselleşmesi, ürün çeşitlerinin giderek artması, ürün hayat çevrimlerinin ise giderek azalması tedarik zinciri yaklaşımlarında özellikle internet teknolojisinin kullanımının daha etken bir biçimde uygulanmasını sağlamıştır. Nitekim ileri bilim teknolojileri ve internet, daha sıkı bir koordinasyonun ve işbirliğinin sağlanması amacına yönelik benimsenen tedarik zinciri entegrasyonu için büyük bir fırsattır.

Shapiro (2001), yaptığı gözlemlerde gelişen IT teknolojileri bağlamında, tedarik zincirini sürekli gelişmeye iten faktörün re-engineering (değişim mühendisliği) ve iş süreçleri olduğunu belirtmiştir. Şu anda gelişmekte olan IT Modelleri'ni taksonomik olarak sıralarsak;

- TMS (Transportation Management System)(Taşıma ve Ulaştırma Yönetimi Sistemi)
- ITT (Integrated Transportation Tracking) (Bütünleşik Ulaştırma Takibi)
- CPFR (Collaborative Planning and Forecasting Replenishment) (Kurumsal Planlama ve Tahmin Yenileme)

- MRP I-II (Material Requirements Planning) (Malzeme İhtiyaç Planlaması)
- DRP (Distribution Planning) (Dağıtım Planlaması)
- ERP (Enterprise Resource Planning) (Kurumsal Kaynak Planlaması)
- GIS (Geographic Information System) (Coğrafi Bilgi Sistemleri),

olarak sıralanabilir. Bu modeller günden güne tedarik zinciri yönetimi ve tedarik akışında artan bir öneme sahip olmaktadırlar.

Tedarik zincirlerinin asıl amacının çok yönlü olarak; maliyet minimizasyonunu, sürekli artan hizmet seviyelerini, tedarik zinciri üyeleri arasındaki gelişmiş iletişim yöntemleri ve dağıtım ile yanıtlama süresi arasındaki artan esnekliği artık görebiliyoruz. Tedarik zincirinde ortak çalışan firmaların yüz-yüze görüşmelerinde zincir direnci kırılmak üzeredir. Üretim ve Yönetim davranışlarındaki değişmeler örneğin JIT, elektronik veri değişimi, satış noktasında veri paylaşımı gibi sistemler bu değişimi körüklemektedir. Geleneksel tedarik zinciri anlayışı Lojistik Yöneticileri'ne bu faktörlerden ötürü birlikte çalışmayan firmaların yada sürekli gelişim göstermeyen firmaların zamanla yok olacağını önceden haber vermektedir (Lancioni ve ark. 2000).

Gelişen EDI(Electronic Data Interchange)[Elektronik Veri Değişimi] gibi sistemler sayesinde firmalar artık tedarik zincirinde tüm birimlerde on-line bağlantı halindedirler ve tüm satıcılar ile potansiyel alıcıların bilgisayar sistemlerine ve bilgisayar yazılımlarına olan yatırımlarını artırdıkları görülmektedir. Gerekli bilginin anında istenilen yere ulaşması da bu veri transfer sistemi ile daha kolay ve daha hızlı olmaktadır. Veri transfer sistemlerinde elbette ki en büyük etken de internettir (Çetinkaya 2003).

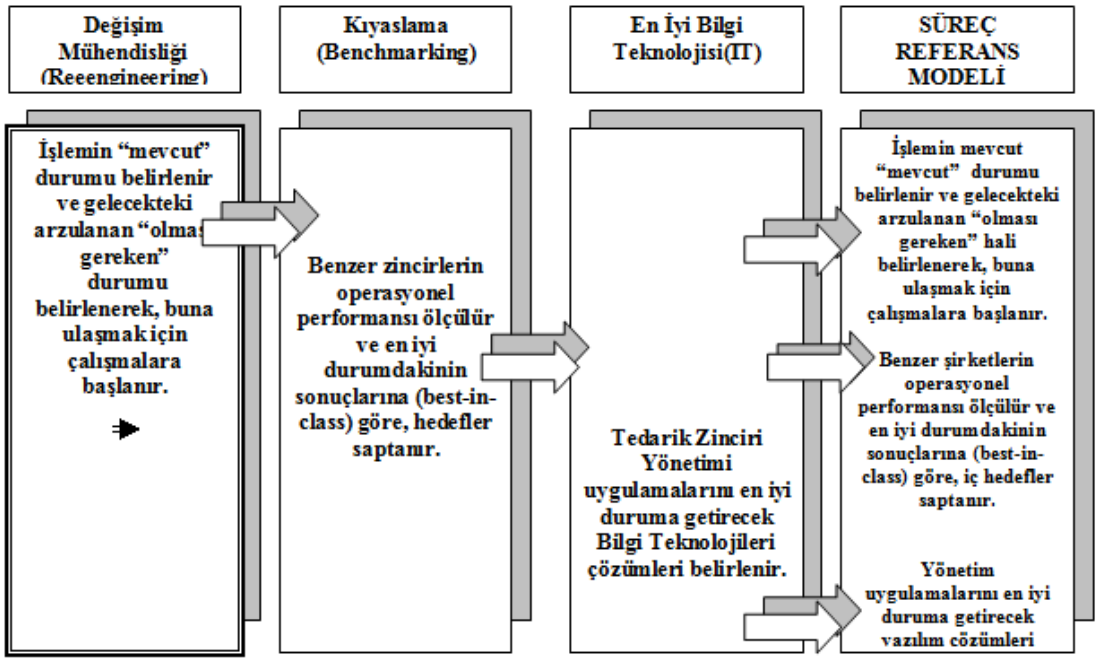
Melez Modeller: Melez modeller, analitik, simülasyon tabanlı veya bilişimi tabanlı modellerin sistematik bir şekilde en az ikisinin birleşmesiyle oluşan modellerdir.

Tedarik Zinciri İşlemleri Referans Modelleri (SCOR): "SCOR Modeli"(Supply Chain Operations Reference Model); Tedarik Zinciri Konseyi'nde ki Pittiglio Rabin Todd & Mcgrath, Advanced Manufacturing Research, Bayer, Compaq Computer, Procter & Gamble, Lockheed Martin, Nortel, Rockwell Semiconductor şirketlerinin

çalışmaları sonucu 1996'da ortaya çıkarılmış, müşteri memnuniyetini amaçlayan tedarik zincirlerinin yönetimi için standart bir metodoloji sağlayan bir modeldir. İş süreçlerinin yeniden yapılandırılması, kıyaslama ve süreç analizi gibi Süreç Referans Modelleri yaklaşımlarını birleştiren bir yapıdır.

Neden SCOR Modeli

- Tedarik zincirinde standardizasyona gitmek ve böylelikle tedarik zinciri süreçlerini tedarikçiler, üreticiler, distribütörler ve parekendeciler arasında oluşturabilmek için ortak bir metodoloji, terminoloji ve standart kavramlar oluşturmak.
- Tedarik zinciri yönetiminde süreç geliştirmeleri için bir alt yapı oluşturmak, süreç hedefleri ve performansı arasında karşılaştırmalar yapmak, zincir performansını değerlendirmek.
- Sektörel kıyaslamalar (benchmarking) yapmak.
- Zincir süreçlerine uygun iletişim ve bilişim sistemleri yeterliliğini değerlendirmek ve zincir yönetimi için gereken yazılımlardan istenilen özellikleri belirlemek.
- Süreç geliştirmeleri yoluyla çevik (agile) ve yalın (lean) bir tedarik zinciri oluşturmak.
- Zincire özel rekabetçi üstünlükler yakalamak (www.wikipedia.com).



Şekil 4.2 SCOR Modeli (Tanyaş 2006)

SCOR Modeli Seviyeleri

- *Planlama:* Teslimat, üretim ve tedarik gereksinimlerinin karşılanabilmesi için arz ve taleplerin dengelenmesidir (supply and demand planning).
- *Tedarik:* Üretim için gerekli kaynakları sağlamak ve çizelgelemektir.
- *Üretim:* Sipariş ve/veya talep tahminine göre üretimin gerçekleştirilmesi ve çizelgelenmesidir.
- *Dağıtım:* Ürünlerin müşteri ve/veya tüketicilere teslim edilmesidir.
- *İade:* Hammadde iadeleri (tedarikçiye) ile bitmiş ürünlerin iadeleridir(üreticiye).

Tüm süreçlerde iş akışı, iş yapma kuralları, performans göstergeleri, bilgi akışı, varlık yönetimi, sözleşme yönetimi ve finansal kaynaklar yönetimi tanımlanır (Cavlak 2008).

Ağ tasarımı sırasında yaygın olarak kullanılan analitik modellerden en fazla uygulamasına rastlanan metotlar aşağıda gösterilmektedir.

- *İleri Doğrusal Programlama* (Konveksite analizleri, optimalite koşulları, doğrusal programla formulasyonu, simpleks metodu, dualite, dual simpleks ve hassasiyet analizleri, Benders ve Lagrange ayrışım metotları, şebeke simpleksi)

- *Tam Sayılı Programlama* (0-1 programlama, dal-sınır metodu, kesme düzlemi ve polihedral yaklaşımlar, lagrange kısıt kaldırma metodu uygulamaları, dinamik programlama)

- *Doğrusal Olmayan Programlama* (Lokal ve global optimum, kısıtsız optimizasyonda Newton tipi, yarı-Newton ve birleşik eğim metotları, Kuhn-Tucker teorisi ve Lagrange dualite, doğrusal kısıtlı modeller için algoritmalar; en dik artma ve azaltılmış eğim metotları, doğrusal ve karesel programlamaya uygulamaları, doğrusal olmayan kısıtlı optimizasyon; ceza ve bariyer fonksiyonları, azaltılmış ve uzatılmış eğim, Lagrange metotları)

- *Bulanık Küme ve Mantık Teorisi* (Bulanık sistem model çeşitleri, bulanık kural modelleri, bulanık fonksiyonlar ve tip 1 ve 2 model yapıları, bulanık grup tanıma algoritma çeşitleri)

- *Stokastik Programlama* (Stokastik programlamada farklı formulasyonlar, belirsizlik içeren doğrusal programlar, şans kısıtları, deterministik karşılığı olan modeller, optimal çözümün var olup olmadığı konuları, senaryo temelli modeller, optimal iki ve çok seviyeli yardımcı karar (recourse) modelleri ve çözüm teknikleri, stokastik programların çözümü ve hesaplama konuları.)

- *Sezgisel Arama Metotları* (Tabu arama, benzetim tavlaması, genetik algoritmalar, saçılmış arama, değişken komşuluklu arama, koloni arama)

Bu çalışmada yer verilen tüm modeller geliştirilirken metot olarak doğrusal programlamaya (ileri doğrusal, tam sayılı ve çok amaçlı programlama) başvurulmuştur. Geliştirilen tüm modellerde materyal olarak LINDO 6.1 paket programı ve 1.66 GHz işlemcili, 2 GB Ram özellikli, çift çekirdekli ve Windows

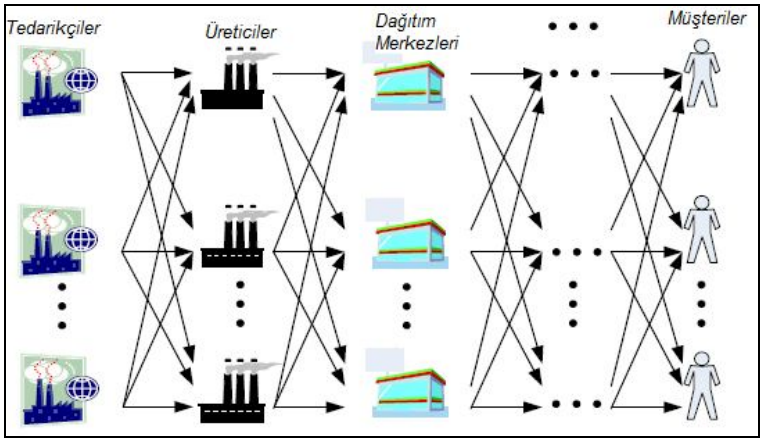
Vista yüklü bir diz üstü bilgisayar kullanılmıştır. Modellerin LINDO 6.1 paket programı kodlarına EK-a şeklinde yer verilmiştir.

Tez çalışmasında yer verilen tedarik zinciri ağ tasarımına ilişkin matematiksel modeller geliştirilirken aşağıda yer verilen amaçlar, kısıtlar ve karar değişkenlerinden yararlanılmıştır.

4.1 Tedarik Zinciri Ağı Tasarımı

Günümüz koşulları, küreselleşme ve rekabetin artması nedeniyle işletmelerin ürün fiyatlarını, dolayısıyla maliyetlerini ve verimliliklerini daha iyi kontrol etmelerini zorunlu kılmaktadır. Birden fazla işletmeyi kapsayan tedarik zinciri yönetimi yapısı, tek bir işletme gibi davranarak kaynakların ortak kullanımı sonucu bir sinerji yaratmayı hedeflemektedir. Sonuç ise yüksek kalitede, düşük maliyette, piyasaya hızlı bir şekilde sunulan ve müşteri memnuniyeti sağlayan hizmet ya da ürünler olmaktadır (Syarif ve ark. 2002).

Tedarik zinciri ağlarının etkin tasarımı ve yönetimi, üretimin ve çeşitli ürünlerin tesliminin düşük maliyet, kısa gecikme zamanı ve yüksek kalitede olmasına yardım eder. Rekabetçi performans açısından tedarik zinciri ağının yapısının çok önemli olduğu açıktır. Problemlerin karmaşıklığıyla başa çıkmak için şebekeyi, giriş, gelişme ve sonuç ağı olarak alt şebekelere de ayrıştırabiliriz. Dağıtımda ortak amaç, perakendecilerin talebini, depoların ve tesis kapasitelerini aşmadan en az maliyetli sistemi kararlaştırmaktır. Şekil 4.3' te tedarikçi, depo, fabrika, dağıtım merkezi ve müşteriden oluşmuş bir tedarik zinciri ağı görülmektedir.



Şekil 4.3 Tedarik Zinciri Ağı (Wang 2007)

Ağ yapısının tanımlanması, önemli stratejik bir karardır. Lojistik şebekelerinin yapısı, yönlendirilmiş bir çizgi ile temsil edilebilir. Ağ düğümleri, tedarik kaynaklarına, var olan tesisler, onun, bir üretim veya dağıtım merkezini inşa etmek veya satın almak için mümkün yerlere potansiyel ortakların tesislerine veya talep bölgelerine karşılık gelir. Şebeke yayları, düğümlerin arasında ürünlerin akışını temsil eder (Geunes ve Pardalos 2005).

4.1.1 Tedarik Zinciri Ağı Tasarımı Amaçları

Tedarik zinciri ağı tasarımında istenen tasarımın gerçekleşebilmesi için konulan hedefler yani amaçlar belirlenmelidir. Bu amaçlar daha önce anlatılan operasyonel, taktik ve stratejik kararların uygulanmasıyla gerçekleşebilecek olan amaçlardır.

Belirlenen amaçlar doğrultusunda verilen kararlar mevcut tedarik zinciri ağının daha iyi optimize olmasını sağlar. Bu kararların, gelir, maliyet ve hizmet seviyesi üzerinde çok önemli etkileri vardır. Bu karar bileşenlerinin birbirleriyle etkileşimli olması sebebiyle karar sürecinde koordinasyon ve ödünleşme etkilerinin değerlendirilmesi gereklidir. Aktiviteler arasında önemli maliyet çatışmaları olan durumlarda bu aktiviteler koordineli biçimde yönetilmelidir. Ağ boyunca maliyet çatışması olan alanlar ve tedarik zincirindeki bir firma tarafından alınan bir kararın ağdaki diğer firmaları etkilemesi dolayısıyla, toplam maliyet denklemi genişletilmeli ve karar verirken ufuk firmanın sınırlarının dışına genişlemelidir. Örnek olarak üretici firmanın envanter politikalarının, hem tedarikçinin envanter maliyetlerini hem de taşıyıcının operasyon maliyetlerini etkilemesidir (Albayrakoğlu 2006).

Aşağıda anlatılacak olan kararlar ağ tasarımı esnasında tasarımcının amaç fonksiyonlarını oluşturmaktadır.

Müşteri Hizmet İhtiyaçları

Hedef müşterilerin ihtiyaç ve taleplerinin rakip tedarik zincirlerinden daha üstün gerçekleştirilmesi için pazarlama ile yürütülen faaliyetler gereklidir. Değişen

Pazar koşullarının gereklerini yerine getirmek için müşteri hizmet seviyesi kararları güncellenir. Farklı müşteriler için farklı müşteri hizmet seviyeleri olabilir.

Tedarik zinciri tasarımını etkileyen en önemli faktör hedeflenen müşteri hizmet seviyesidir. Daha kısıtlı müşteri hizmet seviyesi hedefleri merkezi envanterlerin birkaç yerde oluşturulmasına ve daha ekonomik taşıma tiplerinin kullanılmasına olanak verir. Yüksek müşteri hizmet seviyesi hedeflendiğinde tam karşıtı gerçekleşir. Hizmet seviyeleri çok üst sınırlara çıktığında lojistik maliyetleri çok fazla artmakta ve elde edilen gelirdeki artışla karşılanamamaktadır. Bu sebeple en uygun müşteri hizmet seviyesine karar vermek gerekmektedir (Türköz 2007).

Lojistik Ağı Yapılandırması ve Tesis Yeri Seçimi

Lojistik ağı yapılandırmasında alınması gereken önemli stratejik kararlar, gerekli fabrika ve depo sayısının belirlenmesi, her tesisin yerinin belirlenmesi, her tesisin kapasitesinin belirlenmesi ve her tesiste hangi ürünlerin ne kadar üretileceğinin veya hangi ürünlerden ne kadar bulunacağının belirlenmesidir. Amaç lojistik ağını, sistem boyunca yıllık maliyetleri çeşitli hizmet seviyesi kısıtları göz önünde bulundurularak en aza indirmektir. Bunlar, üretim ve satın alma maliyetlerini, envanter tutma maliyetlerini, tesis maliyetlerini ve taşıma maliyetlerini kapsar.

Karar verilirken tesis sayısının arttırılmasının faydaları ve maliyetleri göz önünde bulundurulur. Yeni bir depo eklendiğinde müşteriye ulaştırma süresi düştüğü için hizmet seviyesi artar. Üreticilerden depolara taşıma maliyetleri artarken depolardan müşterilere taşıma maliyetlerinde düşüş gerçekleşir. Sabit giderlerde ve yerleşim maliyetlerinde ise artış gerçekleşir. Ayrıca ağ boyunca stok tutulan noktaların arttırılması taşıma maliyetlerini düşürürken envanter maliyetlerini arttırmaktadır. Firma depo açma maliyetleriyle müşteriye yakın olmanın avantajlarını dengelemelidir. Depo yer seçimi kararlarının, tedarik zincirinin ürünlerin dağıtımı için etkin bir kanal olmasında çok önemli belirleyici görevleri vardır.

Envanter Yönetimi

Büyük miktarda envanter, gerekli müşteri hizmet seviyelerini gerçekleştirmeyi garantilerken, sistem boyunca giderler üzerinde en büyük etkisi olan maliyetlerdir. Envanterler genelde müşteri talebindeki beklenmeyen değişimlere ve tedarikteki belirsizliklere karşı korunmak için ayrıca büyük partilerle taşımanın sağladığı ekonomiden dolayı tutulur. Envanterler tedarik zinciri boyunca hammadde envanteri, proses içi envanter ve bitmiş ürün envanteri olarak ortaya çıkar. Bu envanterlerden her biri için ayrı envanter kontrol mekanizması gerekir. Envanter yönetimi stratejik bir karardır ve üs yönetim tarafından alınır (Türköz 2007).

Stratejik düzeyde alınan envanter kararlarının organizasyona yayılması, sipariş miktarı ve zamanlarının belirlenmesi ve emniyet stoklarının hesaplanması gibi operasyonel kararlar ile olur. Bugün tedarik zinciri boyunca talep ve tedariği birbirine eşitlemek kritik bir stratejik araştırma konusudur ve bu kararlar müşteri hizmet seviyelerinin belirlenmesinde etkili olan başlıca etmenlerdendir.

Taşıma Kararları

Taşıma, lojistik sistemlerin tasarım ve yönetiminin hayati bir bileşenidir. Toplam lojistik maliyetlerinin 1/3-2/3'ünü taşıma maliyetinin oluşturduğu görülmüştür. Taşıma seçenekleri havayolu, karayolu, demiryolu ve denizyolu ulaşım şekilleriyle olabilir. Firmalar taşımayı kendileri gerçekleştirebilecekleri gibi dışarıdan da sağlayabilirler. Taşıma kararları, taşıma tipine karar verme, taşıma büyüklüğüne karar verme, yük birleştirme kararları, taşıyıcı rota tayini ve araç çizelgelemeyi içerir. Taşıma hizmetleri maliyet ve performanslarına göre değerlendirilir. Bu hizmetlerin fiyatı mesafeye, sevkiyat büyüklüğüne ve rekabetin olmasına bağlı olarak değişir. Performans ise, sevkiyatın iyi şekilde korunmasına ve taşıyıcının hızına bağlıdır (Muriel ve Simchi 2003).

Ayrıca taşıma türüne karar verirken bunun stok seviyelerine etkilerini değerlendirmek gerekir. Stok maliyetleri ile taşıma maliyetleri karşılaştırılarak bir karara varılır. Havayolu taşımacılığı hızlıdır ve küçük partiler gönderilebileceğinden daha düşük stoklarla çalışmayı sağlar, ancak maliyeti diğerlerine kıyasla yüksektir.

Tren ve gemi taşımacılığı bu kadar hızlı değildir ve hizmet kalitesi daha düşüktür. Kamyon taşımacılığında ise yüksek parti miktarları gönderilir, bu da stok miktarlarının yüksek olmasına sebep olur. Buna karşın kamyonla taşıma ölçek ekonomilerinden de faydalanması bakımından en ucuz yöntemlerdendir. Coğrafi koşullar, yükleme hacimleri, rota tayini ve zaman taşıma kararlarında önemli rol oynar. Taşıma maliyetlerindeki ölçek ekonomilerinden dolayı küçük taşıma yüklerinden büyük taşıma yükleri oluşturmak stratejik planlamada önemli bir araçtır. Bu parça başına taşıma maliyetlerini düşürür. Siparişlerin birleştirilmesi ile sağlanan maliyet avantajları ile artan tedarik süresi ile düşen müşteri hizmet seviyeleri dengelenmelidir. Uluslar arası taşıma sistemi kullanan firmalar genel olarak konteynerleri kullanmaktadırlar. Konteyner, düzensiz yığın haldeki malzemenin veya parça eşyaların ambalajlanmasını kolaylaştırarak depolamak veya taşımak için kullanılan, değişik biçimlerdeki büyük kaptır. Yüklerin kaybı ve hasarı gibi zararları önler.

Üretim Kararları

Çekme tabanlı tedarik zincirinde üretim kararları uzun süreli talep tahminlerine dayalıdır. Perakendecilerden gelen siparişler doğrultusunda siparişini gönderen toptancı talepleri müşteri taleplerini tahmin etmekte kullanılır. Çekme tabanlı tedarik zincirinin pazardaki değişimlere uyum gösterebilmesi daha uzun zaman alır. Ayrıca talepteki değişkenlik müşteri talebinin değişkenliğinden çok fazladır (Naylor ve ark. 1999).

İtme tabanlı tedarik zincirinde üretim tahmine değil gerçek müşteri talebine bağlıdır. Bu amaçla tedarik zincirinde satış noktasından müşteri talebi ile ilgili bilgileri üretim tesislerine ve tedarikçilere iletmede hızlı bilgi akış mekanizmaları kullanılır. Bu tip sistemlerde sistem envanter düzeylerinde muazzam azalma gözlenir. Kaynaklar daha etkin kullanılır. Diğer taraftan itme tabanlı sistemler tedarik süreleri uzunken pratik değildir. Ayrıca sistemler daha önce bir zamanda planlanmadıkları için üretim ve taşımada ölçek ekonomilerinden faydalanmak daha zordur (Naylor ve ark. 1999).

Hangi ürünlerin üretileceği, hangi hizmetlerin dışarıdan alınacağı, hangi ürünlerin hangi üretim alanlarında üretileceği, hangi tedarikçilerin hangi fabrikalara malzeme sağlayacağı üretimle ilgili stratejik kararlardır. Üst yönetimin stratejik kararı doğrultusunda operasyonel seviyedeki faaliyetlere karar verilir. Üretimle ilgili operasyonel kararlarda detaylı üretim planlamaları yapılır. Bu kararlar ana üretim planı yapılması, üretim miktarlarının makinelere tayin edilmesi, bakım planlaması, iş yükü dengelemesi ve kalite kontrol faaliyetlerinin içerir.

Dağıtım Stratejileri

Dağıtım stratejileri, tedarik zincirinin tedarikçiden ve üreticiden başlayıp perakendecilere ve son müşteriye giden kısmıyla ilgilidir. Tedarik zincirinin özelliklerine göre üç tip dağıtım stratejisi kullanılır.

1. Doğrudan Sevkiyat: Bu stratejide, ürünler üreticiden veya tedarikçiden doğrudan perakendeci mağazalara iletilir. Dağıtım merkezleri kullanılmamaktadır.
2. Depolama: Bu, depoların stok tuttuğu ve müşterilere gerekli ürünleri ilettiği klasik stratejidir.
3. Aktarma Noktaları: Bu stratejide, ürünler üreticiden depolar vasıtasıyla müşterilere kesintisiz olarak iletilir. Aktarma noktaları birimleri 10 veya 15 saatten az kısa bir süre tutar (Lee ve ark. 2002).

Dağıtım stratejilerine karar verilirken deponun taşıma maliyetlerini azaltmakta faydalı olup olmadığı değerlendirilir. Perakendecilerin bir kamyon dolusu mal alabildikleri durumlarda depo maliyet unsuru olmaktadır. Tedarik süresinin kritik olduğu veya tazelik gerektiren durumlarda da doğrudan sevkiyat kullanılır. Aktarma noktaları stratejisinde depolar klasik anlayıştan farklı olarak envanter tutma noktaları değil, envanter koordinasyon noktaları olarak görev yapar. Bu sistemde ürünler depoya geldikten kısa bir süre sonra perakendecilere giden araçlara en kısa sürede nakledilirler. Ürünler depoda çok az zaman geçirir.

Stratejik Ortaklıklar

Firmaların hayatta kalmaları için pek çok yatırım gerektiren stratejik tedarik zinciri kararları almaları gerekmektedir. Bir firma tek başına bütün işleri en iyi şekilde yapamaz. Firma kendi temel güçlü noktalarına ve becerilerine odaklanmalı, diğer faaliyetlerini uzmanlığına güvendiği firmalarla iş birliği içinde gerçekleştirmelidir. Firmanın güçlü noktaları kaynaklarını büyük yatırımlarda kullandığı faaliyet alanları demek olmayıp, onu rakiplerinden ayıran nitelikteki üstün kabiliyet sahibi olduğu faaliyetlerini ifade etmektedir.

Stratejik ortaklıklar iki firma arasında, ortak hedeflere ulaşmak amaçlı, risklerin ve ödüllerin paylaşıldığı uzun süreli ortaklıklardır. Ortak hedeflerin varlığı eski resmi alışveriş süreçlerindeki zamanlara kıyasla ortak hedefler için daha fazla kaynak ayrılmasını sağlar (Türköz 2007).

4.1.2. Tedarik Zinciri Ağ Tasarımında Kullanılan Kısıtlar

Tedarik zinciri kısıtları, işletmenin seçebileceği bir dizi alternatif karar seçeneği üzerinde konumlanmış etmenlerdir. Böylece, bu etmenler bazı karar alternatiflerinin yapılabilirliklerini belirlerler. Bu kısıtların içerikleri (Paksoy 2005).

Kapasite: Tedarik zinciri üyelerinin finans, üretim, tedarik ve teknik yeterliliklerini; istenilen gelir düzeyinde stok seviyeleri, üretim, işgücü, öz-sermaye yatırımı, outsourcing ve bilişim teknolojileri adaptasyonu ile ilgili durumları belirler. Kapasite ayrıca üretim ve stoklama için kullanılabilir alanları da içerir.

Hizmet Uyumu: Tedarik zincirinin nihai hedefinin müşterilerin hizmet ihtiyaçlarını karşılaması ya da bu ihtiyaçların da ötesinde hizmet verilmesi esası olduğunu düşünürsek, bu oluşum müşteri memnuniyeti için en önemli kısıttır. Bunların tipik örnekleri; dağıtım zamanları, gününde üretim, ardışık sipariş için maksimum bekleme süresi ve taşıma yapan kamyon sürücüleri için ulaştırmada geçen yolculuk süresidir.

Talep Kapsamı/Miktarı: Tedarik zincirinin dikey bütünleşimi, bir önceki kademedeki tedarik kapasitesini dengelemek amacıyla aşağı yöndeki tedarik zinciri üyelerinin

kendi kademelerinde başarıya ulaşması için gereken talep miktarını, artırılmış tüketim doğrultusunda dengelemektir.

4.1.3. Tedarik Zinciri Ağ Tasarımında Kullanılan Karar Değişkenleri

Karar değişkenleri genel olarak, karar çıktısı aralıklarının sınırlarını belirlemelerinden dolayı, tedarik zinciri ile ilişkili fonksiyonel performansın artmasına katkıda bulunmaktadırlar. Dolayısıyla, bir tedarik zincirinin performans ölçümleri genel olarak karar değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Karar değişkenlerinin bazıları aşağıdaki gibi açıklanabilir (Paksoy 2005);

- **Yer:** Bu tür değişkenler; fabrikaların, depoların, montajcıların, perakendecilerin veya dağıtım merkezlerinin konsolidasyon noktalarının ve tedarik kaynaklarının nerede konumlandırılacağına ilişkin karar verme sürecinde etkilidir.

- **Yerleşim:** Hangi toptancıdan, fabrikadan ve konsolidasyon noktasından hangi müşteriye, pazar dilimine ve tedarikçiye hizmet verileceğini gösteren değişkenlerdir.

- **Şebeke/Ağ Yapısı:** Bu tip değişkenler, bir dağıtım şebekesinin merkezileştirilmesi ya da merkezden uzaklaştırılması ve tedarikçiler depolar ve konsolidasyon/birleşim noktalarının hangi kombinasyonundan yararlanılacağını belirtir. Ayrıca bu değişkenler, üretim ve dağıtım kaynaklarının tam zamanında kullanılması ya da elimine edilmesi esasına da dayanır.

- **Tesis ve Teçhizat Sayısı:** Müşteri ihtiyaçlarını ve pazar isteklerini karşılayabilmek için kaç adet fabrika, depo ve birleşim noktası gerektiğini belirleyen değişkenlerdir.

- **Aşama-Katman Sayısı:** Bu değişken ise, bir tedarik zincirinin içerdiği aşamalarının sayısını belirler. Ayrıca, yatay tedarik zinciri bütünleşiminde kademeleri birleştirerek ya da kademeleri bölerek kademe sayısını artırabilir veya azaltabilir.

- **Hizmet Sıklığı:** Müşterilere veya tedarikçilere hizmet veren araçların dağıtım-getiri zaman çizelgesini ya da izlediği rotayı belirleyen değişkendir.
- **Miktar:** Bu değişken, tedarik zincirinin her noktasında (tedarikçi, üretici, dağıtıcı vs.) optimal satın alma miktarı, üretim, nakil miktarını belirler.
- **Stok Seviyesi:** Tedarik zincirinin her safhasındaki hammadde, bölüm, iş süreci, nihai ürün ve stok tutma birimini belirleyen değişkendir.
- **İşgücü Miktarı:** Bu değişken, sistemde kaç adet tır şoförü ve ürün yükleyici bulunması gerektiğine karar verilmesini sağlar.
- **Dış-kaynak Kapsamı:** Hangi tedarikçinin, hangi bilişim hizmeti ve üçüncü taraf destek sağlayıcısının kullanılacağı, uzun dönemli temaslarda dış kaynak (tekil veya çoklu kaynak) bakımından kaç tanesinden faydalanabileceği belirleyen değişkendir.

4.2 Matematiksel Modeller

Üçüncü bölümdeki kaynak araştırması incelendiğinde gerçek hayattaki tedarik zinciri uygulamalarının yeterince modellenmediği görülebilmektedir. Bu çalışmada karar vericilerin tedarik zinciri ağlarını planlarken karşılarına çıkan gerçekçi problemler (taşıma şekilleri, malzeme ihtiyaç kısıtları, stok ve yok satma faktörleri, çoklu ürün, çoklu dönem, farklı tedarik zincirleri yapısı, geri dönüşüm vb.) düşünülmüştür. Bu problemlerden yola çıkılarak oluşturulan amaç fonksiyonları ve kısıtların oluşturduğu matematiksel modeller kurulurken doğrusal programlamanın karma tamsayılı ve hedef programlama gibi çeşitlerine de yer verilmiştir.

Yukarıda bahsedilen tedarik zinciri ağ tasarımı modelleme tekniklerinden yaygın olarak kullanılan doğrusal programlama metodu ile geliştirilen modellerin matematiksel gösterimlerine aşağıda yer verilmektedir.

4.2.1 Model 1: Çok Aşamalı - Çoklu Taşıma Seçenekli ve Stok Kontrollü Bir Doğrusal Programlama Modeli

Modelde kullanılan indisler $i \in I$, tedarikçiler kümesini; $j \in J$, fabrikalar kümesini; $k \in K$, müşteriler kümesini; $t \in T$, birinci aşama taşıma seçenekleri kümesini; $p \in P$, dönem kümesini tanımlamaktadır.

Notasyonlar:

X_{ijtp} = i'nci tedarikçiden j'nci fabrikaya t'nci taşıma seçeneği ile p'nci dönemde taşınan ürün miktarı.

W_{jp} = j'nci üreticiden montaja p'nci dönemde taşınan ürün miktarı.

Y_{kp} = Montajdan k'ncı müşteriye p'nci dönemde taşınan ürün miktarı.

C_{ijtp} = i'nci tedarikçiden j'nci üreticiye t'nci taşıma seçeneği ile p'nci dönemde taşıma birim maliyeti.

C_{jp} = j'nci fabrikadan montaja p'nci dönemde taşıma birim maliyeti.

C_{kp} = Montajdan k'ncı müşteriye p'nci dönemde taşıma birim maliyeti.

a_{ip} = i'nci tedarikçinin p. dönemde ki kapasitesi.

b_{jp} = j'nci fabrikanın p. dönemde ki kapasitesi.

c_p = Montajın p. dönemde ki kapasitesi.

d_{kp} = k'ncı müşterinin p'nci dönemde ki talebi.

A_{tp} = t'nci taşıma seçeneğinin p'nci dönemde ki taşıma kapasitesi.

N_{ijtp} = p'nci dönemde i'nci tedarikçiden j'nci fabrikaya t'nci taşıma seçeneği ile mal gönderildiği takdirde oluşabilecek fırsat kaybı değeri (zaman birimi).

π = Tedarikçilerden fabrikaya mal gönderilirken meydana gelen gecikmelerin birim fırsat maliyeti (para birimi/zaman birimi).

α_{ijtp} = i'nci tedarikçiden j'nci fabrikaya t'nci taşıma seçeneğiyle p'nci dönemde ulaştırma süresi.

$N_{ijtp} = \alpha_{ijtp} - \min\{\alpha_{ijtp}\}$

R = Montajda bulunan stoğun birim elde tutma maliyeti.

T = Müşteri talebini karşılamama durumunda oluşan birim yok satma maliyeti.

F_j = j'nci fabrikadan montaja ürünü ulaştırma süresi.

G_k = Montajdan k'ncı müşteriye ürünü ulaştırma süresi.

B_{kp} = k'ncı müşterinin p'nci dönemde karşılanamayan talep miktarı.

Q_p = p'nci dönemde montajda bulunan stok miktarı.

S_i = Montajda bulunan başlangıç stok miktarı.

Amaç Fonksiyonu:

$$Min \sum_i \sum_j \sum_t \sum_p X_{ijtp}.C_{ijtp}^{+} \sum_j \sum_p W_{jp}.C_{jp}^{+} \sum_k \sum_p Y_{kp}.C_{kp}^{+} \quad (1)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_t \sum_p X_{ijtp}.N_{ijtp}.\pi^{+} \quad (2)$$

$$\sum_p R\left(\sum_j W_{j(p-Fj)}^{-} \sum_k Y_{k(p+Gk)}^{-} \sum_k B_{k(p+Gk-1)}^{+} Q_{(p-1)}\right)^{+} \quad (3)$$

$$\sum_p T\left(\sum_k Y_{k(p+Gk)}^{+} \sum_k B_{k(p+Gk-1)}^{-} \sum_j W_{j(p-Fj)}^{-} Q_{(p-1)}\right) \quad (4)$$

Kısıtlar:

$$\sum_j \sum_t X_{ijtp} \le a_{ip} \qquad \forall_{i,p} \quad (5)$$

$$W_{jp} \le b_{jp} \qquad \forall_{j,p} \tag{6}$$

$$\sum_{k} Y_{kp} \le c_p \qquad \forall_{p} \tag{7}$$

$$\sum_{i}\sum_{j} X_{ijtp} \le A_{tp} \qquad \forall_{t,p} \tag{8}$$

$$\sum_{j} W_{j(p-Fj)} + Q_{(p-1)} - \sum_{k} B_{k(p+Gk-1)} - \sum_{k} Y_{k(p+Gj)} = Q_p \qquad \forall_{p} \tag{9}$$

$$\sum_{k} Y_{k(p+Gj)} + \sum_{k} B_{k(p+Gk-1)} - \sum_{j} W_{j(p-Fj)} - Q_{(p-1)} = \sum_{k} B_{kp} \qquad \forall_{p} \tag{10}$$

$$Y_{kp} + B_{k(p-1)} + B_{kp} \ge d_{kp} \qquad \forall_{k,p} \tag{11}$$

$$\sum_{i}\sum_{t} X_{ijtp} - W_{jp} = 0 \qquad \forall_{j,p} \tag{12}$$

$$Q_p \le c_p \qquad \forall_{p} \tag{13}$$

$$Q_0 = S_i \tag{14}$$

$$X_{ijtp},\ W_{jp},\ Y_{kp} \ge 0 \qquad \forall_{i,j,k,t,p} \tag{15}$$

Amaç fonksiyonun ilk kısmı tedarikçilerden fabrikalara, fabrikalardan montaja ve montajdan da müşterilere olan taşıma maliyetlerini kapsamaktadır (Eşitlik 1). İkinci kısım, tedarikçiler ile fabrikalar arasındaki taşıma seçeneklerinin seçiminde oluşabilecek fırsat kayıplarının maliyetini göstermektedir (Eşitlik 2). Üçüncü kısım, o anki dönemde montajda bulunan stok maliyetini gösterirken (Eşitlik 3), dördüncü kısımda, yine o anki dönemde müşteri taleplerinin karşılanamaması durumunda oluşabilecek yok satma maliyetlerini göstermektedir (Eşitlik 4).

Eşitlik 5, 6 ve 7 sırasıyla tedarikçi, fabrika ve montajın kapasite kısıtını sağlamaktadır. Eşitlik 8, tedarikçiler ve fabrikalar arasındaki taşıma seçeneklerinin dönem başına kapasite kısıtlarını göstermektedir. " j "'nci fabrikadan (p-Fj)'nci dönemde montaja taşınan miktar ile (p-1)'nci dönemde montajda bulunan stok miktarından, k'ncı müşterinin (p+Gk-1)'nci dönemdeki karşılanamayan talep miktarını ve k'ncı müşteriye (p+Gj)'nci dönemde taşınan miktarı çıkartırsak, p'nci

dönemde montajdaki stok miktarını elde ederiz (Eşitlik 9). " k"'ncı müşteriye (p+Gk)'ncı dönemde taşınan miktar ile k'ncı müşterinin (p+Gk-1)'nci dönemde karşılanamayan talebinden, j'nci fabrikadan (p-Fj)'nci dönemde montaja taşınan miktarı ve (p-1)'nci dönemde montajdaki stok miktarını çıkartırsak, k'ncı müşterinin p'nci dönemde karşılanamayan talebini elde etmiş oluruz (Eşitlik 10). Eşitlik 11, müşteri talep kısıtını sağlamaktadır, k'ncı müşteriye p'nci dönemde taşınan miktar, k'ncı müşterinin bir dönem öncesine(p-1) kadar olan karşılanmamış talebi ve p'nci dönemdeki karşılanamayan talebi, o müşterinin p'nci dönemdeki talep miktarından küçük olamaz. Eşitlik 12, birinci aşama denge kısıtını sağlar, i'nci tedarikçiden j'nci fabrikaya t'nci taşıma seçeneğiyle p'nci dönemde taşınan miktar, p'nci dönemde j'nci fabrikadan montaja taşınan miktara eşit olmalıdır. p'nci dönemde montajda bulunan stok miktarı, montajın o dönemki kapasitesinden büyük olamaz (Eşitlik 13). Eşitlik 14, 0'ncı dönemde montajda bulunan stok miktarının başlangıç stok miktarına eşit olmasını sağlamaktadır. Eşitlik 15 ise, işaret kısıtlarını göstermektedir.

4.2.2 Model 2: Malzeme İhtiyaç Kısıtı Altında Çok Ürünlü Karma Tamsayılı Bir Doğrusal Programlama Modeli

Modelde kullanılan indisler $i \in I$, tedarikçiler kümesini; $j \in J$, potansiyel fabrika kümesini; $k \in K$, potansiyel montajcı kümesini; $l \in L$, müşteriler küsmesini; $t \in T$, nihai ürün kümesini; $p \in P$, birinci seviye komponent kümesini; $m \in M$, ikinci seviye komponent kümesini tanımlamaktadır.

Notasyonlar:

X_{ijtpm} = i'nci tedarikçiden j'nci fabrikaya taşınan t'nci nihai ürünün p'nci komponentinin m'nci komponent miktarı (adet).

Y_{jktp} = j'nci fabrikadan k'ncı montajcıya taşınan t'nci nihai ürünün p'nci komponent miktarı (adet).

Z_{klt} = k'ncı montajcıdan l'nci müşteriye taşınan t'nci nihai ürün miktarı (adet).

C_{ijtpm} = i'nci tedarikçiden j'nci fabrikaya t'nci nihai ürünün p'nci komponentinin m'nci komponenti birim taşıma maliyeti (para birimi).

C_{jktp} = j'nci fabrikadan k'ncı montajcıya t'nci nihai ürünün p'nci komponentinin taşıma birim maliyeti (para birimi).

C_{klt} = k'ncı montajcıdan l'nci müşteriye taşınan t'nci nihai ürünün birim taşıma maliyeti (para birimi).

a_{itpm} = i'nci tedarikçinin t'nci nihai ürününün p'nci komponentinin m'nci komponenti kapasitesi.

b_{jtp} = j'nci fabrikanın t'nci nihai ürününün p'nci komponenti kapasitesi.

c_{kt} = k'ncı montajcının t'nci nihai ürün kapasitesi.

d_{lt} = l'nci müşterinin t'nci nihai ürün talebi.

w_{pm} = p'nci komponent içindeki m'nci komponentin kullanım miktarı.

w_p = Bir birim nihai ürün içindeki p'nci komponentin kullanım miktarı.

φ_j = j'nci fabrikanın sabit işletme maliyeti.

$$\phi_j = \begin{cases} 1, & \text{j'nci fabrikada üretim gerçekleşirse,} \\ 0, & \text{d.d.} \end{cases}$$

δ_k = k'ncı montajcının sabit işletme maliyeti.

$$\Delta_k = \begin{cases} 1, & \text{k'ncı montajcıda üretim gerçekleşirse,} \\ 0, & \text{d.d.} \end{cases}$$

P = Açılacak toplam fabrika sayısının üst sınırı.

D = Açılacak toplam montajcı sayısının üst sınırı.

Amaç Fonksiyonu;

$$Min \sum_i \sum_j \sum_t \sum_p \sum_m X_{ijtpm} C_{ijtpm} + \sum_j \sum_k \sum_t \sum_p Y_{jktp} \cdot C_{jktp} + \sum_k \sum_l \sum_t Z_{klt} \cdot C_{klt} + \quad (1)$$

$$\sum_j \varphi_j \cdot \phi_j + \sum_k \delta_k \cdot \Delta_k \quad (2)$$

Kısıtlar;

$$\sum_j X_{ijtpm} \le a_{itpm} \qquad \forall_{i,t,p,m} \quad (3)$$

$$\sum_k Y_{jktp} \le b_{jtp} \cdot \phi_j \qquad \forall_{j,t,p} \quad (4)$$

$$\sum_j \phi_j \le P \quad (5)$$

$$\sum_l Z_{klt} \le c_{kt} \cdot \Delta_k \qquad \forall_{k,t} \quad (6)$$

$$\sum_k \Delta_k \le D \quad (7)$$

$$\sum_i X_{ijtpm} - w_{pm} \cdot \sum_k Y_{jktp} \qquad \forall_{j,t,p,m} \quad (8)$$

$$\sum_k Y_{jktp} - w_p \cdot \sum_l Z_{klt} \qquad \forall_{k,t,p} \quad (9)$$

$$\sum_k Z_{klt} \ge d_{lt} \qquad \forall_{l,t} \quad (10)$$

$$\phi_j, \Delta_k = \{0, 1\} \qquad \forall_{j,k} \quad (11)$$

$$X_{ijtpm}, Y_{jktp}, Z_{klt} \ge 0 \qquad \forall_{i,j,k,l,t,p,m} \quad (12)$$

Amaç fonksiyonun ilk kısmı, tedarikçilerden fabrikalara, fabrikalardan montajcılara ve montajcılardan da müşterilere olan taşıma maliyetlerini

kapsamaktadır (Eşitlik 1). İkinci kısım, potansiyel fabrika ve montajcıların açılma durumunda ki toplam sabit işletme maliyetlerini en küçüklemektedir (Eşitlik 2). Eşitlik 3, tedarikçi kapasitesini göstermektedir. Tedarikçilerden fabrikalara giden m'nci komponent miktarları, tedarikçi kapasitesinden büyük olamaz. Eşitlik 4, fabrikaların kapasitesini göstermektedir. Nihai ürünü oluşturan p'nci komponent miktarı, fabrika kapasitesinden büyük olamaz. Eşitlik 5, açılabilir fabrika sayısının istenen üst sınırdan büyük olmasını önler. Eşitlik 6, montaj kapasitesini sağlamaktadır. Müşterilere giden nihai ürün miktarları montajın kapasitesinden büyük olamaz. Açılabilir maksimum montajcı sayısının belirlenmesidir (Eşitlik 7). Eşitlik 8, birinci aşama denge kısıtıdır, tedarikçilerden çıkan m'nci komponent miktarı, fabrikalardan çıkan p'nci komponent miktarının w_{pm} komponent oranıyla çarpımına eşittir. Eşitlik 9, ikinci aşama denge kısıtıdır. Fabrikalardan çıkan p'nci komponent miktarı, montajdan çıkan t'nci ürünün p'nci komponent oranı (w_p) ile çarpımına eşittir. Montajdan çıkan t'nci ürün miktarı, müşteri talebinden küçük olamaz (Eşitlik 10). Eşitlik 11, potansiyel fabrika ve montajcıların açık veya kapalı olmasını sağlamaktadır. Eşitlik 12 ise, işaret kısıtlarını göstermektedir.

4.2.3 Model 3: Çok Amaçlı Tedarik Zinciri Ağı Tasarımı ve Optimizasyonu

Modelde kullanılan indisler; $i \in I$, tedarikçiler kümesini; $j \in J$, potansiyel fabrikalar kümesini; $k \in K$, potansiyel dağıtım merkezleri kümesini; $l \in L$, müşteriler kümesini; $p \in P$, periyot kümesini tanımlamaktadır.

Notasyonlar;

X_{ijp} = i'nci tedarikçiden j'nci potansiyel fabrikaya p'nci periyotta taşınan hammadde miktarı (adet).

Y_{jkp} = j'nci fabrikadan k'ncı potansiyel dağıtım merkezine p'nci periyotta taşınan miktar (adet).

Z_{klp} = k'ncı potansiyel dağıtım merkezinden l'nci müşteriye p'nci periyotta taşınan miktar (adet).

A_{ip} = p'nci periyotta i'nci tedarikçinin teslim etmediği hammadde miktarı (adet).

F_{jp} = p'nci periyotta j'nci potansiyel fabrikanın teslim etmediği ürün miktarı (adet).

K_{kp} = p'nci periyotta k'ncı potansiyel dağıtım merkezinin teslim etmediği ürün miktarı (adet).

$$\phi_j = \begin{cases} 1, & \text{j'nci fabrikada üretim gerçekleşirse,} \\ 0, & \text{d.d.} \end{cases}$$

$$\Delta_k = \begin{cases} 1, & \text{k'ncı dağıtım merkezi açılırsa,} \\ 0, & \text{d.d.} \end{cases}$$

C_{ijp} = i'nci tedarikçiden j'nci potansiyel fabrikaya p'nci periyotta taşınan hammaddenin birim taşıma maliyeti (tl).

C_{jkp} = j'nci fabrikadan k'ncı potansiyel dağıtım merkezine p'nci periyotta taşınan ürünün birim taşıma maliyeti (tl).

C_{klp} = k'ncı potansiyel dağıtım merkezinden l'nci müşteriye p'nci periyotta taşınan ürünün birim taşıma maliyeti (tl).

C_{ip} = p'nci dönemde i'nci tedarikçinin teslim etmediği miktarın birim ceza maliyeti

C_{jp} = p'nci dönemde j'nci potansiyel fabrikanın teslim etmediği miktarın birim ceza maliyeti (tl).

C_{kp} = p'nci dönemde k'ncı potansiyel dağıtım merkezinin teslim etmediği miktarın birim ceza maliyeti (tl).

φ_j = j'nci potansiyel fabrikanın sabit işletme maliyeti (tl).

δ_k = k'ncı potansiyel dağıtım merkezinin sabit işletme maliyeti (tl).

$G_{i,j,k}$ = Sırasıyla i'nci tedarikçinin, j'nci potansiyel fabrikanın ve k'ncı potansiyel dağıtım merkezinin teslimat güvenilirlik yüzdeleri.

β = Açılabilir toplam potansiyel fabrika sayısı üst sınırı.

∇ = Açılabilir toplam potansiyel dağıtım merkezi sayısı üst sınırı.

a_{ip} = i'nci tedarikçinin p'nci periyottaki kapasitesi (adet).

b_{jp} = j'nci potansiyel fabrikanın p'nci periyottaki kapasitesi (adet).

e_{kp} = k'ncı potansiyel dağıtım merkezinin p'nci periyottaki kapasitesi (adet).

d_{lp} = l'nci müşterinin p'nci periyottaki talebi (adet).

Amaç Fonksiyonu;

$$Min_{f(1)} \quad \left[X_{ijp} C_{ijp} + Y_{jkp} C_{jkp} + Z_{klp} C_{klp}\right] \tag{1}$$

$$Min_{f(2)} \quad \left[\varphi_j \phi_j + \delta_k \Delta_k\right] \tag{2}$$

$$Min_{f(3)} \quad \left[F_{jp} C_{jp} + K_{kp} C_{kp} + A_{ip} C_{ip}\right] \tag{3}$$

Kısıtlar;

$$\sum_j X_{ijp} \leq a_{ip} \qquad \forall_i \tag{4}$$

$$\sum_k Y_{jkp} \leq b_{jp}\phi_j \qquad \forall_j \tag{5}$$

$$\sum_j \phi_j \leq \beta \tag{6}$$

$$\sum_l Z_{klp} \leq e_{kp}\Delta_k \qquad \forall_k \tag{7}$$

$$\sum_k \Delta_k \leq \nabla \tag{8}$$

$$\sum_i X_{ijp} G_i = \sum_k Y_{jkp} \qquad \forall_{j,p} \tag{9}$$

$$\sum_j X_{ijp}(1 - G_i) = A_{ip} \qquad \forall_{i,p} \tag{10}$$

$$\sum_j Y_{jkp} G_j = \sum_l Z_{klp} \qquad \forall_{k,p} \tag{11}$$

$$\sum_k Y_{jkp}(1 - G_j) = F_{jp} \qquad \forall_{j,p} \tag{12}$$

$$\sum_k Z_{klp} G_k \geq d_{lp} \qquad \forall_{l,p} \tag{13}$$

$$\sum_l Z_{klp}(1 - G_k) = K_{kp} \qquad \forall_{k,p} \tag{14}$$

$$\phi_j, \Delta_k = [0\text{–}1] \qquad \forall_{j,k} \tag{15}$$

$$X_{ijp}, Y_{jkp}, Z_{klp}, A_{ip}, F_{jp}, K_{kp} \geq 0 \qquad \forall_{i,j,k,l,p} \tag{16}$$

Geliştirilen modelin amaç fonksiyonlarından birincisi, üç aşamaya ait tüm taşıma maliyetlerini (Eşitlik 1), ikinci amaç fonksiyonu potansiyel fabrika ve dağıtım merkezlerinin sabit işletme ve açma/kapama maliyetlerini (Eşitlik 2), son olarak üçüncü amaç fonksiyonu ise her aşamadaki gecikmiş teslimat miktarlarına ait ceza maliyetlerini (Eşitlik 3) minimize etmektedir. Tedarikçilerden potansiyel fabrikalara, potansiyel fabrikalardan potansiyel dağıtım merkezlerine ve potansiyel dağıtım

merkezlerinden müşterilere giden hammadde ve ürün miktarları her dönem için sırasıyla tedarikçilerin, fabrikaların ve dağıtım merkezlerinin kapasitelerinden büyük olamaz (Eşitlik 4, 5, 7). 6. ve 8. eşitlikler açılabilir maksimum potansiyel fabrika ve dağıtım merkezleri sayısının üst sınırın altında olmasını sağlamaktadır. Tedarikçilerden o tedarikçiye ait güvenilir teslimat değerlerine bağlı olarak fabrikaya taşınan miktar o fabrikadan potansiyel dağıtım merkezlerine taşınan miktara her dönem için eşit olmalıdır (Eşitlik 9). Fabrikalardan o fabrikaya ait güvenilir teslimat değerlerine bağlı olarak dağıtım merkezine taşınan miktar o dağıtım merkezinden müşterilere taşınan miktara her dönem için eşit olmalıdır (Eşitlik 11). Dağıtım merkezlerinden o dağıtım merkezine ait güvenilir teslimat değerlerine bağlı olarak taşınan miktar müşterilerin dönemlik taleplerinden büyük veya eşit olmalıdır (Eşitlik 13). 10, 12 ve 14. eşitlikler dönemsel olarak aşamalar arası gerçekleşmeyen eksik teslimat miktarlarını belirlemektedir. Eşitlik 15, 0-1 değişkenlerini gösterirken, 16. eşitlik karar değişkenlerinin sıfıra eşit veya büyük olmasını sağlayan işaret kısıtını ifade etmektedir.

4.2.4 Model 4: Çok Ürünlü Bozulma Faktörlü Kapalı Çevrimli Esnek Bir Tedarik Zinciri İçin Karma Tamsayılı Bir Doğrusal Programlama Modeli

Modelde kullanılan indisler; $i \in I$, fabrikalar kümesini; $j \in J$, depo kümesini; $k \in K$, dağıtım merkezleri kümesini; $l \in L$, potansiyel perakendeciler kümesini; $m \in M$, müşteriler kümesini; $t \in T$, nihai ürün kümesini tanımlamaktadır.

<u>Notasyonlar;</u>

X_{ijt} = i'nci fabrikadan j'nci depoya taşınan t'nci ürün miktarı.

Y_{ikt} = i'nci fabrikadan k'ncı dağıtım merkezine taşınan t'nci ürün miktarı.

Z_{ilt} = i'nci fabrikadan l'nci perakendeciye taşınan t'nci ürün miktarı.

W_{imt} = i'nci fabrikadan m'nci müşteriye taşınan t'nci ürün miktarı.

V_{jkt} = j'nci depodan k'ncı dağıtım merkezine taşınan t'nci ürün miktarı.

A_{jlt} = j'nci depodan l'nci perakendeciye taşınan t'nci ürün miktarı.

B_{jmt} = j'nci depodan m'nci müşteriye taşınan t'nci ürün miktarı.

D_{jt} = j'nci depodan onarım merkezine taşınan t'nci bozuk ürün miktarı.

E_{klt} = k'ncı dağıtım merkezinden l'nci perakendeciye taşınan t'nci ürün miktarı.

F_{kmt} = k'ncı dağıtım merkezinden m'nci müşteriye taşınan t'nci ürün miktarı.

G_{kt} = k'ncı dağıtım merkezinden onarım merkezine taşınan t'nci bozuk ürün miktarı.

H_{lmt} = l'nci perakendeciden m'nci müşteriye taşınan t'nci ürün miktarı.

I_{lt} = l'nci perakendeciden onarım merkezine taşınan t'nci bozuk ürün miktarı.

J_{mt} = m'nci müşteriden toplama merkezine taşınan t'nci ürün miktarı.

K_t = Toplama merkezinden onarım merkezine taşınan t'nci ürün miktarı.

L_t = Toplama merkezinden geri dönüşüm merkezine taşınan t'nci ürün miktarı.

M_{mt} = Onarım merkezinden m'nci müşteriye taşınan t'nci ürün miktarı.

N_t = Onarım merkezinden geri dönüşüm merkezine taşınan t'nci ürün miktarı.

O_{it} = Geri dönüşüm merkezinden i'nci fabrikaya taşınan t'nci ürün miktarı.

C_{ijt} = i'nci fabrikadan j'nci depoya taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{ikt} = i'nci fabrikadan k'ncı dağıtım merkezine taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{ilt} = i'nci fabrikadan l'nci perakendeciye taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{imt} = i'nci fabrikadan m'nci müşteriye taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{jkt} = j'nci depodan k'ncı dağıtım merkezine taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{jlt} = j'nci depodan l'nci perakendeciye taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{jmt} = j'nci depodan m'nci müşteriye taşınana t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{jt} = j'nci depodan onarım merkezine taşınana t'nci bozuk ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{klt} = k'ncı dağıtım merkezinden l'nci perakendeciye taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{kmt} = k'ncı dağıtım merkezinden m'nci müşteriye taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{kt} = k'ncı dağıtım merkezinden onarım merkezine taşınan t'nci bozuk ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{lmt} = l'nci perakendeciden m'nci müşteriye taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{lt} = l'nci perakendeciden onarım merkezine taşınan t'nci bozuk ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{mt} = m'nci müşteriden toplama merkezine taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{t} = Toplama merkezinden onarım merkezine taşınana t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

P_{t} = Toplama merkezinden geri dönüşüm merkezine taşınana t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

R_{mt} = Onarım merkezinden m'nci müşteriye taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

S_t = Onarım merkezinden geri dönüşüm merkezine taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{it} = Geri dönüşüm merkezinden i'nci fabrikaya taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

T = Açılacak toplam fabrika sayısının üst sınırı.

U = Açılacak toplam dağıtım merkezi sayısının üst sınırı.

φ_i = i'nci fabrikanın sabit işletme maliyeti.

$$\phi_i = \begin{cases} 1, & \text{i'nci fabrikada üretim gerçekleşirse,} \\ 0, & \text{d.d.} \end{cases}$$

δ_k = k'ncı dağıtım merkezinin sabit işletme maliyeti.

$$\Delta_k = \begin{cases} 1, & \text{k'ncı dağıtım merkezinde üretim gerçekleşirse,} \\ 0, & \text{d.d.} \end{cases}$$

a_{it} = i'nci fabrikanın t'nci ürün kapasitesi.

b_{jt} = j'nci deponun t'nci ürün kapasitesi.

d_{kt} = k'cı dağıtım merkezinin t'nci ürün kapasitesi.

e_{lt} = l'nci perakendecinin t'nci ürün kapasitesi.

f_{mt} = m'nci müşterinin t'nci ürün talebi.

g_t = Toplama merkezinin t'nci ürün kapasitesi.

h_t = Onarım merkezinin t'nci ürün kapasitesi.

j_t = Geri dönüşüm merkezinin t'nci ürün kapasitesi.

α = i'nci fabrikadan j'nci depoya mal taşınırken ki oluşan bozunma oranı.

β = i'nci fabrikadan k'ncı dağıtım merkezine mal taşınırken ki oluşan bozunma oranı.

χ = i'nci fabrikadan l'nci perakendeciye mal taşırken ki oluşan bozunma oranı.

ε = i'nci fabrikadan m'nci müşteriye mal taşınırken ki oluşan bozunma oranı.

γ = j'nci depodan k'ncı dağıtım merkezine mal taşınırken ki oluşan bozunma oranı.

η = j'nci depodan l'nci perakendeciye mal taşınırken ki oluşan bozunma oranı.

κ = j'nci depodan m'nci müşteriye mal taşınırken ki oluşan bozunma oranı.

λ = k'ncı dağıtım merkezinden l'nci perakendeciye mal taşınırken ki oluşan bozunma oranı.

μ = k'ncı dağıtım merkezinden m'nci müşteriye mal taşınırken ki oluşan bozunma oranı.

ν = l'nci perakendeciden m'nci müşteriye mal taşınırken ki oluşan bozunma oranı.

ϖ = m'nci müşteriden toplama merkezine götürülmek üzere toplanan ürün oranı.

π = Toplama merkezinden onarma merkezine giden ürünlerin genele oranı.

ϑ = Onarım merkezinden müşterilere giden ürünlerin oranı.

Amaç Fonksiyonu;

$$MIN[\sum_i\sum_j\sum_t X_{ijt}\cdot C_{ijt}+\sum_i\sum_k\sum_t Y_{ikt}\cdot C_{ikt}+\sum_i\sum_l\sum_t Z_{ilt}\cdot C_{ilt}+\sum_i\sum_m\sum_t W_{imt}\cdot C_{imt}+\sum_j\sum_k\sum_t V_{jkt}\cdot C_{jkt}+$$
$$\sum_j\sum_l\sum_t A_{jlt}\cdot C_{jlt}+\sum_j\sum_m\sum_t B_{jmt}\cdot C_{jmt}+\sum_j\sum_t D_{jt}\cdot C_{jt}+\sum_k\sum_l\sum_t E_{klt}\cdot C_{klt}+\sum_k\sum_m\sum_t F_{kmt}\cdot C_{kmt}+$$
$$\sum_k\sum_t G_{kt}\cdot C_{kt}+\sum_l\sum_m\sum_t H_{lmt}\cdot C_{lmt}+\sum_l\sum_t I_{lt}\cdot C_{lt}+\sum_m\sum_t J_{mt}\cdot C_{mt}+\sum_t K_t\cdot C_t+\sum_t L_t\cdot P_t+$$
$$\sum_m\sum_t M_{mt}\cdot R_{mt}+\sum_t N_t\cdot S_t+\sum_i\sum_t Q_{it}\cdot C_{it}] \qquad (1)$$

$$[\sum_i \varphi_i \cdot \phi_i + \sum_k \delta_k \cdot \Delta_k] \quad (2)$$

<u>*Kısıtlar;*</u>

$$\sum_j X_{ijt} + \sum_k Y_{ikt} + \sum_l Z_{ilt} + \sum_m W_{imt} \le a_{it} \cdot \phi_i \qquad \forall_{i,t} \quad (3)$$

$$\sum_i \phi_i \le T \quad (4)$$

$$\sum_k V_{jkt} + \sum_l A_{jlt} + \sum_m B_{jmt} + D_{jt} \le b_{jt} \qquad \forall_{j,t} \quad (5)$$

$$\sum_l E_{klt} + \sum_m F_{kmt} + G_{kt} \le d_{kt} \cdot \Delta_k \qquad \forall_{k,t} \quad (6)$$

$$\sum_k \Delta_k \le U \quad (7)$$

$$\sum_m H_{lmt} + I_{lt} \le e_{lt} \qquad \forall_{lt} \quad (8)$$

$$K_t + L_t \le g_t \qquad \forall_t \quad (9)$$

$$\sum_m M_{mt} + N_t \le h_t \qquad \forall_t \quad (10)$$

$$\sum_i O_{it} \le j_t \qquad \forall_t \quad (11)$$

$$(1-\alpha)\sum_i X_{ijt} - \sum_k V_{jkt} - \sum_l A_{jlt} - \sum_m B_{jmt} = 0 \qquad \forall_{j,t} \quad (12)$$

$$\alpha \sum_i X_{ijt} - D_{jt} = 0 \qquad \forall_{j,t} \quad (13)$$

$$(1-\beta)\cdot\sum_i Y_{ikt} + (1-\gamma)\sum_j V_{jkt} - \sum_l E_{klt} - \sum_m F_{kmt} = 0 \qquad \forall_{k,t} \quad (14)$$

$$\beta \cdot \sum_i Y_{ikt} + \gamma \cdot \sum_j V_{jkt} - G_{kt} = 0 \qquad \forall_{k,t} \quad (15)$$

$$(1-\chi)\cdot\sum_{i} Z_{ilt} + (1-\eta)\cdot\sum_{j} A_{jlt} + (1-\lambda)\cdot\sum_{k} E_{klt} - \sum_{m} H_{lmt} = 0 \qquad \forall_{l,t} \tag{16}$$

$$\chi\cdot\sum_{i} Z_{ilt} + \eta\cdot\sum_{j} A_{jlt} + \lambda\cdot\sum_{k} E_{klt} - I_{lt} = 0 \qquad \forall_{l,t} \tag{17}$$

$$(1-\varepsilon)\cdot\sum_{i} W_{imt} + (1-\kappa)\cdot\sum_{j} B_{jmt} + (1-\mu)\cdot\sum_{k} F_{kmt} + (1-\nu)\cdot\sum_{l} H_{lmt} \geq f_{mt} \qquad \forall_{m,t} \tag{18}$$

$$\varpi\cdot f_{mt} - J_{mt} = 0 \qquad \forall_{m,t} \tag{19}$$

$$\pi\cdot\sum_{m} J_{mt} - K_{t} = 0 \qquad \forall_{t} \tag{20}$$

$$(1-\pi)\cdot\sum_{m} J_{mt} - L_{t} = 0 \qquad \forall_{t} \tag{21}$$

$$\vartheta\cdot K_{t} - \sum_{m} R_{mt} = 0 \qquad \forall_{t} \tag{22}$$

$$(1-\vartheta)\cdot K_{t} - N_{t} = 0 \qquad \forall_{t} \tag{23}$$

$$L_{t} + N_{t} - \sum_{i} O_{it} = 0 \qquad \forall_{t} \tag{24}$$

$$\phi_{i}, \Delta_{k} = \{0,1\} \qquad \forall_{i,k} \tag{25}$$

$$X_{ijt}, Y_{ikt}, Z_{ilt}, W_{imt}, V_{jkt}, A_{jlt}, B_{jmt}, D_{jt}, E_{klt}, F_{kmt}, G_{kt}, H_{lmt}, I_{lt}, J_{mt}, K_{t}, L_{t}, M_{mt}, N_{t}, O_{it} \geq 0 \qquad \forall_{i,j,k,l,m,t} \tag{26}$$

Amaç fonksiyonunun ilk kısmı ağdaki tüm taşıma maliyetlerinin en küçüklenmesini sağlamaktadır (Eşitlik 1). İkinci kısım, potansiyel fabrikaların ve dağıtım merkezlerinin sabit işletme maliyetlerinin en küçüklenmesidir (Eşitlik 2). Eşitlik 3, fabrikalardan çıkan tüm ürün çeşitlerinin fabrika kapasitesinden büyük olamayacağını göstermektedir. Açılabilir fabrika sayısının üst sınırıdır (Eşitlik 4). Depolardan çıkan ürünlerin depo kapasitesinden büyük olamayacağını göstermektedir (Eşitlik 5). Dağıtım merkezlerinin kapasite kısıtı sağlanmaktadır (Eşitlik 6). Açılabilir dağıtım merkezlerinin üst sınırıdır (Eşitlik 7). Eşitlik 8,

perakendeci kapasite kısıtını göstermektedir. Toplama, onarım ve geri dönüşüm merkezlerine ait kapasite kısıtlarını göstermektedir (Eşitlik 9, 10, 11). Eşitlik 12 ve 13, birinci aşama denge kısıtıdır. İkinci aşamaya ait denge kısıtı, eşitlik 14 ve 15 da gösterilmektedir. Üçüncü aşama denge kısıtı (Eşitlik 16, 17). Müşterilere gelen nihai ürün çeşitleri müşteri talebinden küçük olamaz (Eşitlik 18). Müşteriler ve toplama merkezleri arasında ki dengenin sağlanmasıdır (Eşitlik 19). Toplama merkezi ile onarım merkezi arasındaki denge kısıtı (Eşitlik 20). Toplama merkezinden direk geri dönüşüme giden ürüne ait denge kısıtı (Eşitlik 21). Onarım merkezi ile müşteriler arasındaki denge kısıtı (Eşitlik 22). Onarım merkezi ve geri dönüşüm merkezi arasındaki denge kısıtı (Eşitlik 23). Geri dönüşüme gelen tüm ürünlerin onarım ve toplama merkezinden gelmesini sağlanır (Eşitlik 24). Eşitlik 25, potansiyel fabrika ve dağıtım merkezlerinin açılıp açılmamasını sağlamaktadır. Eşitlik 26 ise işaret kısıtıdır.

4.2.5 Model 5: Malzeme İhtiyaç Kısıtı Altında Çok Ürünlü Çok Katmanlı Çok Aşamalı Esnek Bir Tedarik Zinciri İçin Karma Tamsayılı Bir Doğrusal Programlama Modeli

Modelde kullanılan indisler; $i \in I$, üçüncü kademe tedarikçiler kümesini; $j \in J$, ikinci kademe tedarikçiler kümesini; $k \in K$, birinci kademe tedarikçiler kümesini; $l \in L$, potansiyel fabrikalar kümesini; $r \in R$, potansiyel dağıtım merkezleri kümesini; $t \in T$, perakendeciler kümesini; $u \in U$, müşteriler kümesini; $v \in V$, nihai ürün kümesini; $m \in M$, birinci kademe komponent kümesini; $p \in P$, ikinci kademe komponent kümesini; $n \in N$, üçüncü kademe komponent kümesini tanımlamaktadır.

Notasyonlar;

X_{ijvmpn} = i'nci tedarikçiden j'nci tedarikçiye taşınan v'nci nihai ürünün üçüncü kademe komponent miktarı.

Y_{jkvmp} = j'nci tedarikçiden k'ncı tedarikçiye taşınan v'nci nihai ürünün ikinci kademe komponent miktarı.

Z_{klvm} = k'ncı tedarikçiden l'nci fabrikaya taşınan v'nci ürünün birinci kademe komponent miktarı.

S_{lrv} = l'nci fabrikadan r'nci dağıtım merkezine taşınan v'nci nihai ürün miktarı.

H_{ltv} = l'nci fabrikadan t'nci perakendeciye taşınan v'nci nihai ürün miktarı.

D_{luv} = l'nci fabrikadan u'ncu müşteriye taşınan v'nci nihai ürün miktarı.

F_{rtv} = r'nci dağıtım merkezinden t'nci perakendeciye taşınan v'nci nihai ürün miktarı.

B_{ruv} = r'nci dağıtım merkezinden u'ncu müşteriye taşınan v'nci nihai ürün miktarı.

E_{tuv} = t'nci perakendeciden u'ncu müşteriye taşınan v'nci nihai ürün miktarı.

C_{ijvmpn} = i'nci tedarikçiden j'nci tedarikçiye v'nci nihai ürünün üçüncü kademe komponentinin taşıma birim maliyeti.

C_{jkvmp} = j'nci tedarikçiden k'ncı tedarikçiye v'nci nihai ürünün ikinci kademe komponentinin taşıma birim maliyeti.

C_{klvm} = k'ncı tedarikçiden l'nci müşteriye v'nci nihai ürünün birinci kademe komponentinin taşıma birim maliyeti.

C_{lrv} = l'nci fabrikadan r'nci dağıtım merkezine taşınan v'nci nihai ürünün taşıma birim maliyeti.

C_{ltv} = l'nci fabrikadan t'nci perakendeciye taşınan v'nci nihai ürünün taşıma birim maliyeti.

C_{luv} = l'nci fabrikadan u'ncu müşteriye taşınan v'nci nihai ürünün taşıma birim maliyeti.

C_{rtv} = r'nci dağıtım merkezinden t'nci perakendeciye taşınan v'nci nihai ürünün taşıma birim maliyeti.

C_{ruv} = r'nci dağıtım merkezinden u'ncu perakendeciye taşınan v'nci nihai ürünün taşıma birim maliyeti.

C_{tuv} = t'nci perakendeciden u'ncu müşteriye taşınan v'nci ürünün taşıma birim maliyeti.

w_{pn} = ikinci kademe komponent içindeki üçüncü kademe komponentin kullanım miktarı.

w_{mp} = birinci kademe komponent içindeki ikinci kademe komponentin kullanım miktarı.

w_{vm} = v'nci nihai ürün içindeki birinci kademe komponentin kullanım miktarı.

φ_l = l'nci fabrikanın sabit işletme maliyeti.

ϕ_l = $\begin{cases} 1, & \text{l'nci fabrikada üretim gerçekleşirse,} \\ 0, & \text{d.d.} \end{cases}$

δ_r = r'nci dağıtım merkezinin sabit işletme maliyeti.

Δ_r = $\begin{cases} 1, & \text{r'nci dağıtım merkezi açılırsa,} \\ 0, & \text{d.d.} \end{cases}$

G = Açılacak toplam fabrika sayısının üst sınırı.

O = Açılacak toplam dağıtım merkezi sayısının üst sınırı.

a_{ivmpn} = i'nci tedarikçinin v'nci nihai ürünün üçüncü kademe komponent kapasitesi.

b_{jvmp} = j'nci tedarikçinin v'nci nihai ürünün ikinci kademe komponent kapasitesi.

c_{kvm} = k'ncı tedarikçinin v'nci nihai ürünün birinci kademe komponent kapasitesi.

d_{lv} = l'nci fabrikanın v'nci nihai ürün kapasitesi.

e_{rv} = r'nci dağıtım merkezinin v'nci nihai ürün kapasitesi.

f_{tv} = t'nci perakendecinin v'nci nihai ürün kapasitesi.

q_{uv} = u'ncu müşterinin v'nci nihai ürün talebi.

Amaç Fonksiyonu;

$$Min \sum_i \sum_j \sum_v \sum_m \sum_p \sum_n X_{ijvmpn} C_{ijvmpn} + \sum_j \sum_k \sum_v \sum_m \sum_p Y_{jkvmp} \cdot C_{jkvmp} +$$

$$\sum_k \sum_l \sum_v \sum_m Z_{klvm} \cdot C_{klvm} + \sum_l \sum_r \sum_v S_{lrv} \cdot C_{lrv} + \sum_l \sum_t \sum_v H_{ltv} \cdot C_{ltv} + \sum_l \sum_u \sum_v D_{luv} \cdot C_{luv} +$$

$$\sum_r \sum_t \sum_v F_{rtv} \cdot C_{rtv} + \sum_r \sum_u \sum_v B_{ruv} \cdot C_{ruv} + \sum_t \sum_u \sum_v E_{tuv} \cdot C_{tuv} + \quad (1)$$

$$\sum_l \varphi_l \cdot \phi_l + \sum_r \delta_r \cdot \Delta_r \quad (2)$$

Kısıtlar;

$$\sum_j X_{ijvmpn} \le a_{ivmpn} \qquad \forall_{i,v,m,p,n} \quad (3)$$

$$\sum_k Y_{jkvmp} \le b_{jvmp} \qquad \forall_{j,v,m,p} \quad (4)$$

$$\sum_l Z_{klvm} \le c_{kvm} \qquad \forall_{k,v,m} \quad (5)$$

$$\sum_r S_{lrv} + \sum_t H_{ltv} + \sum_u D_{luv} \le d_{lv} \cdot \phi_l \qquad \forall_{l,v} \quad (6)$$

$$\sum_{l} \phi_{l} \leq G \tag{7}$$

$$\sum_{t} F_{rtv} + \sum_{u} B_{ruv} \leq e_{rv} \cdot \Delta_{r} \qquad \forall_{r,v} \tag{8}$$

$$\sum_{r} \Delta_{r} \leq O \tag{9}$$

$$\sum_{u} E_{tuv} \leq f_{tv} \qquad \forall_{t,v} \tag{10}$$

$$\sum_{i} X_{ijvmpn} - w_{pn} \cdot \sum_{k} Y_{jkvmp} = 0 \qquad \forall_{j,v,m,p,n} \tag{11}$$

$$\sum_{j} Y_{jkvmp} - w_{mp} \cdot \sum_{l} Z_{klvm} = 0 \qquad \forall_{k,v,m,p} \tag{12}$$

$$\sum_{k} Z_{klvm} - w_{vm} \cdot \sum_{r} S_{lrv} - w_{vm} \cdot \sum_{t} H_{ltv} - w_{vm} \cdot \sum_{u} D_{luv} = 0 \qquad \forall_{l,v,m} \tag{13}$$

$$\sum_{l} S_{lrv} - \sum_{t} F_{rtv} - \sum_{u} B_{ruv} = 0 \qquad \forall_{r,v} \tag{14}$$

$$\sum_{l} H_{ltv} + \sum_{r} F_{rtv} - \sum_{u} E_{tuv} = 0 \qquad \forall_{t,v} \tag{15}$$

$$\sum_{l} D_{luv} + \sum_{r} B_{ruv} + \sum_{t} E_{tuv} \geq q_{uv} \qquad \forall_{u,v} \tag{16}$$

$$\phi_{l}, \Delta_{r} = \{0,1\} \qquad \forall_{l,r} \tag{17}$$

$$X_{ijvmpn}, Y_{jkvmp}, Z_{klvm}, S_{lrv}, H_{ltv}, D_{luv}, F_{rtv}, B_{ruv}, E_{tuv} \geq 0 \qquad \forall_{i,j,k,l,r,t,u,v,m,p,n} \tag{18}$$

Amaç fonksiyonunun ilk kısmı, tüm aşamalar arasında olan dokuz adet taşıma şekline ait taşıma maliyetlerini en küçüklemektedir (Eşitlik 1). Potansiyel fabrikaların ve dağıtım merkezlerinin açılma durumundaki sabit işletme maliyetleri en küçüklenmektedir (Eşitlik 2). Eşitlik 3,4 ve 5 sırasıyla üçüncü, ikinci, birinci kademe tedarikçilerin nihai ürün içindeki üçüncü, ikinci ve birinci komponent kapasitelerini sağlamaktadır. Potansiyel fabrikalardan çıkan direkt teslimat, direkt taşıma ve direkt dağıtım miktarları fabrika kapasitesinden büyük olamaz (Eşitlik 6).

Eşitlik 7, açılabilir maksimum fabrika sayısını göstermektedir. Potansiyel dağıtım merkezlerinden çıkan direkt teslimat ve direkt dağıtım miktarları dağıtım merkezinin kapasitesinden büyük olamaz (Eşitlik 8). Eşitlik 9, açılabilir maksimum dağıtım merkezi sayısını göstermektedir. Perakendecilerden çıkan direkt teslimat miktarları perakendecinin kapasitesinden büyük olamaz (Eşitlik 10). Eşitlik 11, birinci aşama denge kısıtıdır. Üçüncü kademe tedarikçilerden çıkan, komponent miktarı, ikinci kademe tedarikçilerden çıkan, komponent miktarına komponent katsayısıyla eşitlenmektedir. Eşitlik 12, ikinci aşama denge kısıtıdır. İkinci kademe tedarikçilerden çıkan komponent miktarı, birinci kademe tedarikçinin komponent miktarına eşit olmalıdır. Eşitlik 13, üçüncü aşama denge kısıtıdır. Birinci kademe tedarikçilerden çıkan ürün miktarı, fabrikalardan çıkan direkt teslimat, dağıtım ve taşıma miktarına eşit olmalıdır. Eşitlik 14, dördüncü aşama denge kısıtıdır. Fabrikalardan dağıtım merkezine giden direkt teslimat miktarı, dağıtım merkezlerinden çıkan direkt dağıtım ve taşıma miktarlarına eşittir. Eşitlik 15, beşinci aşama denge kısıtıdır. Dağıtım merkezlerinden perakendecilere olan direkt teslimat ve fabrikalardan perakendecilere giden direkt dağıtım miktarları, perakendecilerden nihai müşterilere giden direkt teslimat miktarına eşittir. Eşitlik 16, müşteri talebi kısıtıdır. Fabrikalardan gelen direkt taşıma, dağıtım merkezlerinden gelen direkt dağıtım ve perakendecilerden gelen direkt teslimat miktarları, nihai müşteri talebinden küçük olamaz. Potansiyel fabrika ve dağıtım merkezlerinin açılıp açılmama durumu sağlanmaktadır (Eşitlik 17). Eşitlik 18, işaret kısıtlarını göstermektedir.

4.2.6 Model 6: Malzeme İhtiyaç Kısıtı Altında Çoklu Taşıma Seçenekli Çok Dönemli Stok Kontrollü Bir Doğrusal Programlama Modeli

Modelde kullanılan indisler $i \in I$, tedarikçiler kümesini; $j \in J$, fabrikalar kümesini; $k \in K$, müşteriler kümesini; $t \in T$, taşıma seçenekleri kümesini; $m \in M$, komponent kümesini; $p \in P$, dönem kümesini tanımlamaktadır.

Notasyonlar:

X_{ijtp} = i'nci tedarikçiden j'nci fabrikaya t'nci taşıma seçeneği ile p'nci dönemde taşınan ürün miktarı.

W_{jmp} = j'nci üreticiden montaja m'nci komponentin p'nci dönemde taşınan miktarı.

Y_{kp} = Montajdan k'ncı müşteriye p'nci dönemde taşınan ürün miktarı.

C_{ijtp} = i'nci tedarikçiden j'nci üreticiye t'nci taşıma seçeneği ile p'nci dönemde taşıma birim maliyeti.

C_{jmp} = j'nci fabrikadan montaja m'nci komponenti p'nci dönemde taşıma birim maliyeti.

C_{kp} = Montajdan k'ncı müşteriye p'nci dönemde taşıma birim maliyeti.

a_{ip} = i'nci tedarikçinin p'nci dönemde ki kapasitesi.

b_{jmp} = j'nci fabrikanın m'nci komponentinin p'nci dönemde ki kapasitesi.

c_p = Montajın p'nci dönemde ki toplam stok kapasitesi.

v_p = Montajın p'nci dönemdeki kapasitesi.

d_{kp} = k'ncı müşterinin p'nci dönemde ki talebi.

A_{tp} = t'nci taşıma seçeneğinin p'nci dönemde ki taşıma kapasitesi.

N_{ijtp} = p'nci dönemde i'nci tedarikçiden j'nci fabrikaya t'nci taşıma seçeneği ile mal gönderildiği takdirde oluşabilecek fırsat kaybı değeri (zaman birimi).

π = Tedarikçilerden fabrikaya mal gönderilirken meydana gelen gecikmelerin birim fırsat maliyeti (para birimi/zaman birimi).

α_{ijtp} = i'nci tedarikçiden j'nci fabrikaya t'nci taşıma seçeneğiyle p'nci dönemde ulaştırma süresi.

N_{ijtp} = α_{ijtp} - min{ α_{ijtp} }

R = Montajda bulunan stoğun birim elde tutma maliyeti.

F_j = j'nci fabrikadan montaja ürünü ulaştırma süresi.

G_k = Montajdan k'ncı müşteriye ürünü ulaştırma süresi.

Q_{mp} = m'nci komponentin p'nci dönemde montajda bulunan stok miktarı.

S_m = Montajda bulunan m'nci komponentin başlangıç stok miktarı.

Amaç Fonksiyonu:

$$Min \sum_i \sum_j \sum_t \sum_p X_{ijtp}.C_{ijtp} + \sum_j \sum_m \sum_p W_{jmp}.C_{jp} + \sum_k \sum_p Y_{kp}.C_{kp} + \quad (1)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_t \sum_p X_{ijtp}.N_{ijtp}.\pi \quad + \quad (2)$$

$$\sum_p R \left(\sum_m \left(\sum_j W_{jm(p-Fj)} - w_m \cdot \sum_k Y_{k(p+Gk)} + Q_{(p-1)} \right) \right) \quad (3)$$

Kısıtlar:

$$\sum_j \sum_t X_{ijtp} \le a_{ip} \qquad \forall_{i,p} \quad (4)$$

$$W_{jmp} \le b_{jmp} \qquad \forall_{j,m,p} \quad (5)$$

$$\sum_k Y_{kp} \le v_p \qquad \forall_p \quad (6)$$

$$\sum_i \sum_j X_{ijtp} \le A_{tp} \qquad \forall_{t,p} \quad (7)$$

$$\sum_j W_{jm(p-Fj)} + Q_{m(p-1)} \ge w_m \cdot \sum_k Y_{k(p+Gk)} \qquad \forall_{m,p} \quad (8)$$

$$\sum_j W_{jm(p-Fj)} + Q_{m(p-1)} - w_m \cdot \sum_k Y_{k(p+Gk)} = Q_{mp} \qquad \forall_{m,p} \qquad (9)$$

$$Y_{k(p+Gk)} \geq d_{kp} \qquad \forall_{k,p} \qquad (10)$$

$$\sum_i \sum_t X_{ijtp} - \sum_m W_{jmp} = 0 \qquad \forall_{j,p} \qquad (11)$$

$$\sum_m Q_{mp} \leq c_p \qquad \forall_p \qquad (12)$$

$$Q_{m0} = S_m \qquad \forall_m \qquad (13)$$

$$X_{ijtp}, W_{jmp}, Y_{kp} \geq 0 \qquad \forall_{i,j,k,m,t,p} \qquad (14)$$

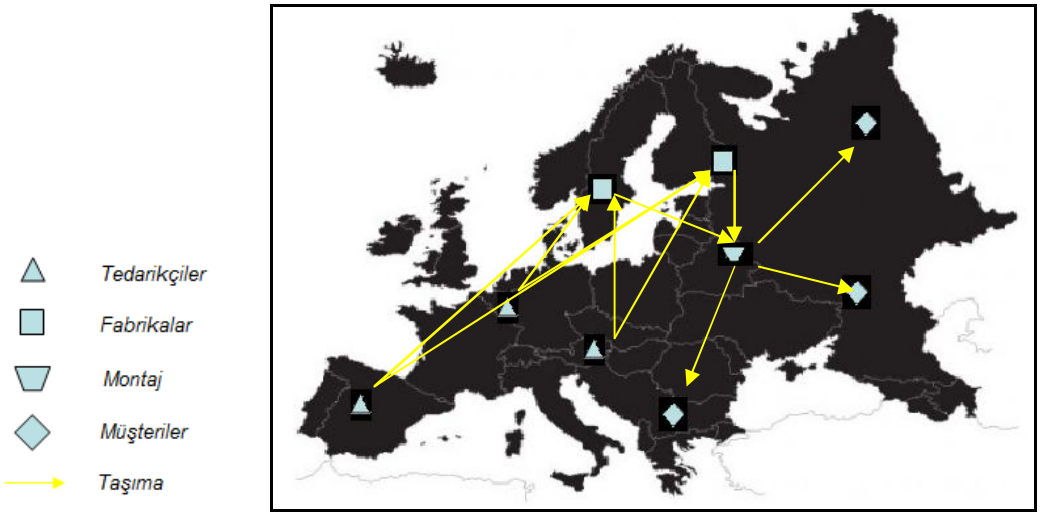
Amaç fonksiyonun ilk kısmı tedarikçilerden fabrikalara, fabrikalardan montaja ve montajdan da müşterilere olan taşıma maliyetlerini kapsamaktadır (Eşitlik 1). İkinci kısım, tedarikçiler ile fabrikalar arasındaki taşıma seçeneklerinin seçiminde oluşabilecek fırsat kayıplarının maliyetini gösterirken (Eşitlik 2), üçüncü kısım, o anki dönemde montajda bulunan stok maliyetini göstermektedir (Eşitlik 3). Eşitlik 4, 5 ve 6 sırasıyla tedarikçi, fabrika ve montajın kapasite kısıtını sağlamaktadır. Eşitlik 7, tedarikçiler ve fabrikalar arasındaki taşıma seçeneklerinin dönem başına kapasite kısıtlarını göstermektedir. " j "' nci fabrikadan (p-Fj)' nci dönemde montaja taşınan miktar ile (p-1)' nci dönemde montajda bulunan stok miktarının, k'ncı müşteriye (p+Gk)' nci dönemde taşınan miktardan büyük olması gereklidir (Eşitlik 8). " j " 'nci fabrikadan (p-Fj)' nci dönemde montaja taşınan miktar ile (p-1)' nci dönemde montajda bulunan stok miktarından, k' ncı müşteriye (p+Gk)' nci dönemde taşınan miktarı çıkartırsak, p' nci dönemde montajdaki stok miktarını elde ederiz (Eşitlik 9). Eşitlik 10, müşteri talep kısıtını sağlamaktadır, k' ncı müşteriye (p+Gk)' nci dönemde taşınan miktar, k' ncı müşterinin p' nci dönemdeki talebinden küçük olamaz. Eşitlik 11, birinci aşama denge kısıtını sağlar, i' nci tedarikçiden j' nci fabrikaya t' nci taşıma seçeneğiyle p' nci dönemde taşınan miktar, p' nci dönemde j' nci fabrikadan montaja taşınan miktara eşit olmalıdır. " p " nci dönemde montajda bulunan stok miktarı, montajın o dönemki stok kapasitesinden büyük olamaz (Eşitlik 12). Eşitlik 13, 0' ncı dönemde montajda bulunan stok

miktarının başlangıç stok miktarına eşit olmasını sağlamaktadır. Eşitlik 14 ise, işaret kısıtlarını göstermektedir.

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde, bir önceki bölümde matematiksel formülasyonları ile beraber verilen ve geliştirilen tedarik zinciri dağıtım ağı modelleri hipotetik verilerle LINDO 6.1 paket programınca test edilmiş, dağıtım ağları optimize edilmiş, amaç fonksiyonları doğrultusunda sonuçlar bulunmuş ve yorumlanmıştır.

5.1 Model 1: Sayısal Örnek



Şekil 5.1 Temsili Tedarik Zinciri Ağı

Bu bölümde, anlatılan modele uygun olarak, hipotetik verilere dayalı, küçük ölçekli bir tedarik zinciri problemi sunulmuştur. Şekil 5.1'de temsili olarak gösterilen üç tedarikçi, iki fabrika, bir adet montaj ve üç adet müşteriden oluşan tedarik zinciri ağı için, geliştirilen model test edilmiştir. Modelde, tedarikçiler ve fabrikalar arasında sırasıyla tren, kara ve deniz olmak üzere üç çeşit taşıma şekli mevcuttur. Aşağıda, sayısal örneğe ilişkin veriler tablolar halinde gösterilmiştir.

Toplam tedarikçi sayısı = 3 Toplam periyot sayısı = 6 Toplam fabrika sayısı = 2

Toplam müşteri sayısı = 3 Toplam taşıma seçeneği sayısı = 3

π = 0.01 USD; S_i = 4000; $F_{1,2}$ = 1; $G_{1,2,3}$ = 2

Tablo 5.1 Aşama 1'e (tedarikçilerden fabrikalara) ait veriler α_{ijtp}, N_{ijtp}; C_{ijtp}^{*}

		1. Tedarikçi			2. Tedarikçi			3. Tedarikçi		
	P.	**Tren**	**Kara**	**Deniz**	**Tren**	**Kara**	**Deniz**	**Tren**	**Kara**	**Deniz**
Fabrika 1	**1**	120,48; 0.3	72,0; 0.5	264,192; 0.135	160,70; 0.6	90,0; 0.675	270,180; 0.2	180,100; 0.4	80,0; 0.6	260,180; 0.2
	2	168,72; 0.325	96,0; 0.625	336,240; 0.175	200,114; 0.65	86,0; 0.8	310,224; 0.25	178,108; 0.35	70,0; 0.55	290,220; 0.3
	3	192,96; 0.4	96,0; 0.625	384,288; 0.2	250,172; 0.7	78,0; 0.825	380,302; 0.3	200,100; 0.5	100,0; 0.7	390,290; 0.25
	4	240,120; 0.5	120,0; 0.8	504,384; 0.275	220,104; 0.5	116,0; 0.75	450,334; 0.35	300,170; 0.3	130,0; 0.45	430,300; 0.2
	5	220,110; 0.75	110,0; 0.9	460,350; 0.35	245,125; 0.45	120,0; 0.6	480,360; 0.25	288,144; 0.625	144,0; 0.725	576,432; 0.3
	6	250,145; 0.6	105,0; 0.7	500,395; 0.4	200,100; 0.35	100,0; 0.55	500,400; 0.2	230,130; 0.3	100,0; 0.4	300,200; 0.25
Fabrika 2	**1**	240,120; 0.5	120,0; 0.8	480,360; 0.25	270,160; 0.3	110,0; 0.5	500,390; 0.2	238,138; 0.45	100,0; 0.6	480,380; 0.3
	2	288,144; 0.625	144,0; 0.725	576,432; 0.3	250,150; 0.55	100,0; 0.65	600,500; 0.25	216,120; 0.475	96,0; 0.75	550,454; 0.275
	3	230,130; 0.3	100,0; 0.4	300,200; 0.25	230,140; 0.6	90,0; 0.8	320,230; 0.35	230,150; 0.25	80,0; 0.375	400,320; 0.15
	4	200,90; 0.25	110,0; 0.35	550,440; 0.2	200,112; 0.4	88,0; 0.5	510,422; 0.2	290,180; 0.6	110,0; 0.775	500,390; 0.3
	5	250,172; 0.7	78,0; 0.825	380,302; 0.3	120,48; 0.3	72,0; 0.5	264,192; 0.135	270,160; 0.3	110,0; 0.5	500,390; 0.2
	6	220,104; 0.5	116,0; 0.75	450,334; 0.35	168,72; 0.325	96,0; 0.625	336,240; 0.175	250,150; 0.55	100,0; 0.65	600,500; 0.25

*((saat,saat); USD)

Tablo 5.2 Aşama 2'ye (fabrikalardan montaja) ve aşama 3'e (montajdan müşterilere) ait birim taşıma maliyetleri (USD); Elde tutma (R) ve yok satma (T) birim maliyetleri (USD)

	Montaj					
Periyot	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Fabrika 1	2	3	2	3	4	2
Fabrika 2	3	2	4	2	3	2
Müşteri 1	4	2	3	3	4	2
Müşteri 2	3	4	3	2	4	2
Müşteri 3	3	2	4	2	3	2
R	2	2.5	2	1	2	2
T	2	2	2	3	2.5	1.5

Tablo 5.3 Tedarikçi, fabrika, montaj, taşıma seçenekleri kapasiteleri ve müşteri talepleri (adet)

	Periyot					
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Tedarikçi 1	1000	2500	2000	1000	1000	1000
Tedarikçi 2	1500	3000	1500	1000	1500	1000
Tedarikçi 3	2500	2000	3000	2000	2500	1000
Fabrika 1	4000	3000	3400	2800	4000	3600
Fabrika 2	4000	2000	3000	3100	3800	4000
Montaj	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Tren Yolu	5500	5500	5500	5500	5500	5500
Kara Yolu	3500	3500	3500	3500	3500	3500
Deniz Yolu	7500	7500	7500	7500	7500	7500
Müşteri 1	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Müşteri 2	1500	1000	1000	1500	1500	1500
Müşteri 3	1500	2000	1500	1500	1500	1500

Çözüm

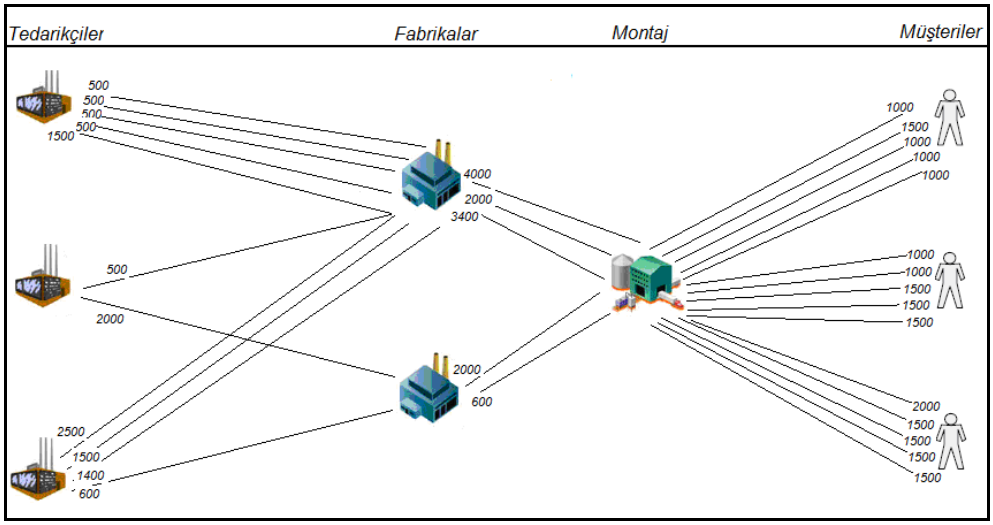
LINDO 6.1 paket programı ile elde edilen sonuçlar Tablo 5.4'te gösterilmiştir.

Tablo 5.4 LINDO 6.1 Paket Programı ile Çözüm Sonuçları

Değişken	**Değer**	**Değişken**	**Değer**
$X_{1,1,1,1}$	500	$Y_{1,4}$	1000
$X_{1,1,1,2}$	500	$Y_{1,5}$	1000
$X_{1,1,1,3}$	500	$Y_{1,6}$	1000
$X_{1,1,2,1}$	500	$Y_{2,2}$	1000
$X_{1,1,2,3}$	1500	$Y_{2,3}$	1000
$X_{2,1,2,1}$	500	$Y_{2,4}$	1500
$X_{2,2,2,2}$	2000	$Y_{2,5}$	1500
$X_{3,1,2,1}$	2500	$Y_{2,6}$	1500
$X_{3,1,2,2}$	1500	$Y_{3,2}$	2000
$X_{3,1,2,3}$	1400	$Y_{3,3}$	1500
$X_{3,2,2,3}$	600	$Y_{3,4}$	1500
$W_{1,1}$	4000	$Y_{3,5}$	1500
$W_{1,2}$	2000	$Y_{3,6}$	1500
$W_{1,3}$	3400	Q_0	4000
$W_{2,2}$	2000	$B_{1,0}$	1000
$X_{2,3}$	600	$B_{2,0}$	1500
$Y_{1,2}$	1000	$B_{3,0}$	1500
$Y_{1,3}$	1500	**Amaç**	90147.5

Şekil 5.2' den ve Tablo 5.4' ten görüleceği gibi birinci tedarikçiden birinci fabrikaya tren yoluyla ilk üç periyotta toplam 1500, kara yoluyla ise birinci ve üçüncü periyotta toplam 2000 adet olmak üzere 3500 birim ürün taşınmıştır. Verilen hipotetik değerlere göre maliyet ve kapasite kısıtlarından dolayı birinci tedarikçiden

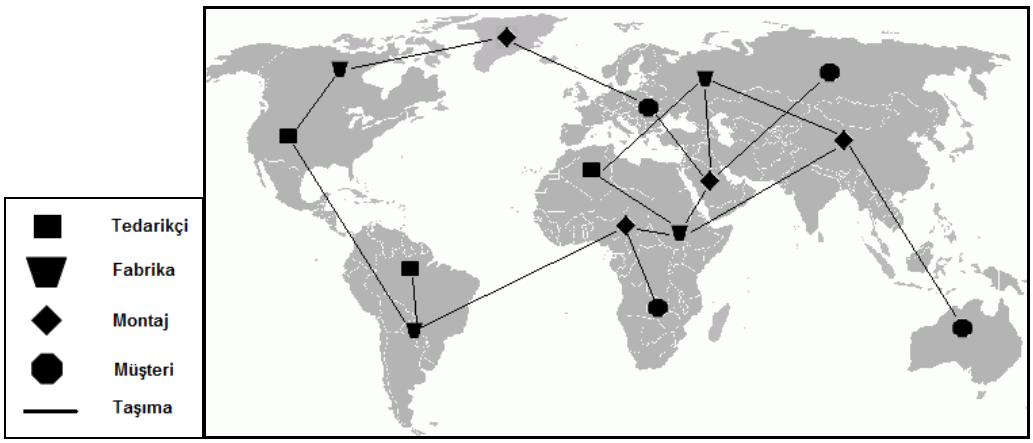
ikinci fabrikaya ürün gitmemiştir. İkinci tedarikçiden birinci fabrikaya kara yoluyla birinci periyotta 500 birim ürün taşınırken, ikinci fabrikaya aynı tedarikçiden yine kara yoluyla ikinci periyotta 2000 birim ürün taşınmıştır. Üçüncü tedarikçiden, birinci fabrikaya hepsi kara yoluyla olmak üzere ilk üç periyotta 5400 adet ürün, yine aynı tedarikçiden ikinci fabrikaya kara yoluyla üçüncü periyotta 600 birim ürün taşınmıştır. Sonuç olarak, birinci aşamada tedarikçilerden toplam 12000 adet ürün çıkmış olup bunlardan 4000'ni birinci periyotta, 2000'i ikinci periyotta, 3400'ü üçüncü periyotta birinci fabrikaya taşınmıştır. Kalan 2600 adedin, 2000'i ikinci periyotta, 600'ü ise üçüncü periyotta ikinci fabrikaya gönderilmiştir.



Şekil 5.2 Optimum Dağıtım Ağı

Fabrikalara gelen 12000 adet ürün, birinci, ikinci ve üçüncü periyotlarda 4000'er adet olmak üzere montaja gönderilmiştir. Üçüncü aşamada montajdan çıkan ürünlerin müşterilere ulaşma süresi iki ay olarak verildiğinden, birinci periyottaki toplam 4000 adetlik müşteri talebi, karşılanamayan talep olarak ($B_{1,0}$+$B_{2,0}$+$B_{3,0}$) alınmış ve yok satma maliyetleri hesaplanmıştır. İkinci periyottaki müşteri talepleri olan 4000 adet ürün ise, başlangıç stoğundaki miktarla karşılanmıştır. Geriye kalan 12000 adetlik müşteri talebine, montajdan çıkan 12000 adetlik ürün ile cevap verilmiştir.

5.2 Model 2: Sayısal Örnek



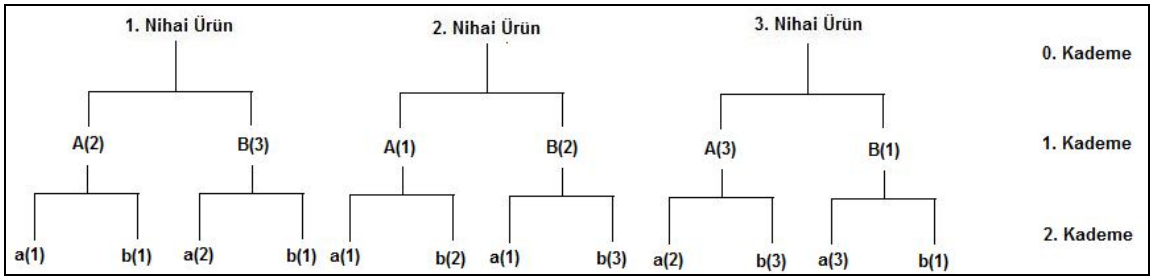
Şekil 5.3 Temsili Tedarik Zinciri Ağı

Bu bölümde, anlatılan modele uygun olarak, hipotetik verilere dayalı, küçük ölçekli bir tedarik zinciri problemi sunulmuştur. Şekil 5.3'te temsili olarak gösterilen üç adet tedarikçi, dörder adet fabrika, montaj ve müşteriden oluşan tedarik zinciri ağı için, geliştirilen model test edilmiştir. Aşağıda, sayısal örneğe ilişkin veriler tablolar halinde gösterilmiştir.

Tedarikçi sayısı: 3 Fabrika sayısı: 4 Montajcı sayısı: 4

Müşteri sayısı: 4 Nihai ürün sayısı: 3

1. Kademe komponent sayısı: 2 2. Kademe komponent sayısı: 2 P: 4, D: 4



Şekil 5.4 Ürün Ağacı

Tablo 5.5 Aşama 1'e (tedarikçilerden fabrikalara) ait taşıma maliyetleri (TL)

			Tedarikçi 1			Tedarikçi 2			Tedarikçi 3		
	1. Kademe	2. Kademe	1. Ürün	2. Ürün	3. Ürün	1. Ürün	2. Ürün	3. Ürün	1. Ürün	2. Ürün	3. Ürün
Fab1	Komp 1	Komp 1	1	2	2	1	3	2	1	2	3
		Komp 2	1	2	3	1	1	2	3	1	2
	Komp 2	Komp 1	2	3	1	1	2	4	2	1	2
		Komp 2	2	3	1	2	3	1	2	3	4
Fab2	Komp 1	Komp 1	2	1	3	2	2	1	2	3	3
		Komp 2	2	3	2	1	2	3	2	2	3
	Komp 2	Komp 1	3	2	1	2	3	2	2	1	1
		Komp 2	2	2	1	1	2	2	3	2	2
Fab3	Komp 1	Komp 1	3	1	2	2	1	2	1	3	2
		Komp 2	2	2	1	4	2	3	2	2	2
	Komp 2	Komp 1	1	3	2	3	3	4	3	1	3
		Komp 2	2	3	3	2	4	3	4	1	2
Fab4	Komp 1	Komp 1	2	2	3	1	2	2	3	2	1
		Komp 2	2	1	2	2	1	1	2	3	1
	Komp 2	Komp 1	1	2	1	3	2	2	2	2	2
		Komp 2	1	2	1	2	3	3	2	1	3

Tablo 5.6 Aşama 2'ye (fabrikalardan montaja) ait taşıma maliyetleri (TL)

		Fab. 1			Fab. 2			Fab. 3			Fab. 4		
Mont.	1.Kademe	1.Ür	2.Ür	3.Ür	1.Ür	2.Ür	3.Ür	1.Ür	2.Ür	3.Ür	1.Ür	2.Ür	3.Ür
1	Komp 1	2	1	2	1	3	1	1	2	1	1	1	1
	Komp 2	1	4	1	2	4	3	2	4	2	3	2	2
2	Komp 1	3	3	1	2	3	4	3	3	3	2	3	4
	Komp 2	1	3	3	1	2	3	2	2	2	3	2	3
3	Komp 1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	4	4	2
	Komp 2	1	1	1	2	1	1	2	3	4	3	3	3
4	Komp 1	2	1	1	3	1	1	2	3	3	2	2	2
	Komp 2	2	2	1	2	3	2	3	2	2	1	1	1

Tablo 5.7 Aşama 3'e ait (montajdan müşterilere) taşıma maliyetleri (TL)

	1. Montaj			2. Montaj			3. Montaj			4. Montaj		
	1.Ür.	2.Ür.	3.Ür	1.Ür.	2.Ür.	3.Ür.	1.Ür.	2.Ür.	3.Ür.	1.Ür.	2.Ür.	3.Ür.
1.Müşt.	2	1	1	2	3	4	3	2	3	2	1	2
2.Müşt.	1	2	3	1	2	1	2	2	3	2	1	2
3.Müşt.	2	3	2	1	2	3	4	3	2	1	2	2
4.Müşt.	3	4	1	1	2	3	2	1	2	3	2	1

Tablo 5.8 Fabrika ve Montaja ait sabit işletme maliyetleri (TL)

	Fab. 1	Fab. 2	Fab. 3	Fab. 4	Montaj 1	Montaj 2	Montaj 3	Montaj 4
Sabit Maliyet	500	550	490	560	380	400	415	390

Tablo 5.9 Tedarikçilere ait 2. kademe komponent kapasite bilgileri (adet)

		Tedarikçi 1			Tedarikçi 2			Tedarikçi 3		
1. Kademe	**2. Kademe**	**1. Ürün**	**2. Ürün**	**3. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**	**3. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**	**3. Ürün**
1. Komp	**Komp.1**	10000	10000	10000	10000	8500	10000	10000	9000	11000
	Komp.2	9000	11000	10000	9000	10000	10000	12000	10000	10000
2. Komp	**Komp.1**	10000	10000	11000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
	Komp.2	9000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

Tablo 5.10 Fabrikalara ait 1. kademe komponent kapasite bilgileri (adet)

	Fab. 1			Fab. 2			Fab. 3			Fab. 4		
1. Kademe	**1. Ürün**	**2. Ürün**	**3. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**	**3. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**	**3. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**	**3. Ürün**
Komp.1	13000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	14000	13500	12000
Komp.2	12000	15000	12000	10000	12000	13000	12000	11000	12000	12000	12000	12000

Tablo 5.11 Montaja ait nihai ürün kapasite bilgileri ve nihai ürünlere olan müşteri talepleri (adet)

	1. Montaj	**2. Montaj**	**3. Montaj**	**4. Montaj**	**1. Müşteri**	**2. Müşteri**	**3. Müşteri**	**4. Müşteri**
1.Ürün	8000	7500	7500	7500	1000	1000	1000	500
2.Ürün	6500	9500	8500	9500	500	1000	500	500
3.Ürün	7500	7500	7500	8000	1000	500	1000	500

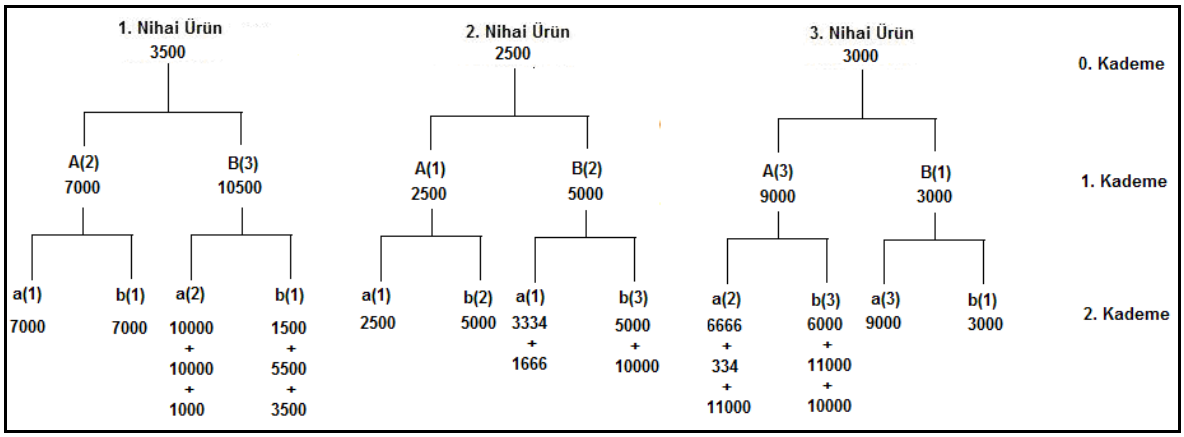
Çözüm

LINDO 6.1 paket programı ile elde edilen sonuçlar Tablo 5.12'de gösterilmiştir.

Tablo 5.12 LINDO 6.1 paket programı ile çözüm sonuçları

Değişken	**Değer**	**Değişken**	**Değer**	**Değişken**	**Değer**	**Değişken**	**Değer**
$X_{1,1,1,1,2}$	7000	$X_{2,4,3,1,1}$	334	$Y_{1,4,1,1}$	3667	$Z_{3,4,1}$	500
$X_{1,1,1,2,2}$	3500	$X_{2,4,3,1,2}$	11000	$Y_{1,4,2,1}$	2500	$Z_{4,1,1}$	834
$X_{1,1,3,2,1}$	9000	$X_{3,1,2,1,1}$	2500	$Y_{3,1,3,1}$	333	$Z_{4,1,2}$	500
$X_{1,1,3,2,2}$	3000	$X_{3,3,2,2,1}$	3334	$Y_{3,3,3,1}$	3000	$Z_{4,2,2}$	1000
$X_{1,3,3,1,1}$	6666	$X_{3,3,2,2,2}$	10000	$Y_{3,4,2,2}$	3333	$Z_{4,3,1}$	1000
$X_{1,3,3,1,2}$	10000	$X_{3,4,1,2,1}$	1000	$Y_{4,1,3,1}$	5667	$Z_{4,3,2}$	500
$X_{1,4,1,2,1}$	10000	$X_{3,4,3,1,1}$	11000	$Y_{4,4,1,2}$	5500	$Z_{4,4,2}$	500
$X_{1,4,1,2,2}$	5500	$X_{3,4,3,1,2}$	6000	$Y_{4,4,2,2}$	1667	Φ_1	1
$X_{1,4,2,2,1}$	1666	$Y_{1,1,1,1}$	2333	$Z_{1,1,1}$	166	Φ_3	1
$X_{1,4,2,2,2}$	5000	$Y_{1,1,1,2}$	3500	$Z_{1,1,3}$	1000	Φ_4	1
$X_{2,1,1,1,1}$	7000	$Y_{1,1,3,2}$	2000	$Z_{1,2,1}$	1000	Δ_1	1
$X_{2,1,1,2,1}$	10000	$Y_{1,3,1,1}$	1000	$Z_{1,2,3}$	500	Δ_3	1
$X_{2,1,1,2,2}$	1500	$Y_{1,3,1,2}$	1500	$Z_{1,4,3}$	500	Δ_4	1
$X_{2,1,2,1,2}$	5000	$Y_{1,3,3,2}$	1000	$Z_{3,3,3}$	1000	**Amaç**	215735

Birinci tip ürün için 3500, ikinci tip ürün için 2500, üçüncü tip ürün için ise 3000 adetlik talep karşılanmıştır (Şekil 5.5). Maliyet ve kapasite durumuna göre fabrikalardan üç tanesi açılmış ikinci fabrika açılmamıştır, montajdan da üç tanesi açılırken ikinci montaj açılmamıştır (Tablo 5.12). Toplam 8500 adetlik nihai ürün için, ikinci kademe komponentten, 130050 adetlik miktar, tedarikçilerden, birinci, ikinci ve üçüncü fabrikalara taşınmıştır. 130050 adetlik ikinci kademe komponent, fabrikada montajlanarak 37000 adet olmak üzere birinci kademe komponente dönüştürülmüştür ve birinci, üçüncü ve dördüncü montajcılara yollanmıştır. Örneğin ikinci tip nihai ürünü oluşturan birinci kademe komponent miktarı sırasıyla 2500 ve 5000 adet olarak fabrikaya taşınmıştır (Şekil 5.5). Fabrikaya gelen bu 7500 adetlik miktar için, tedarikçilerden, birinci komponent için 7500, ikinci komponent için ise 20000 adet temin edilmiştir.

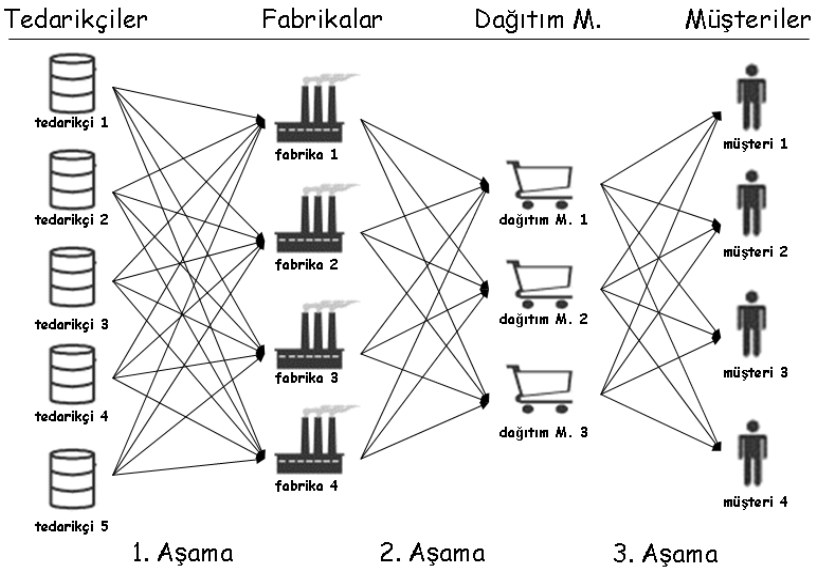


Şekil 5.5 Üç Kademe için Komponent ve Nihai Ürün Miktarları

5.3 Model 3: Sayısal Örnek

Karma tamsayılı doğrusal programlama şeklinde tasarlanan modelde sırasıyla (1) aşamalar arası (tedarikçi-fabrika-dağıtım merkezi-müşteri) tüm taşıma maliyetleri, (2) fabrika ve perakendecilerin açma/kapama maliyetleri, (3) her bir aşamada taşıma güvenilirlik katsayısına bağlı olarak eksik taşınan ürün başına ceza maliyetleri şeklinde 3 maliyet minimizasyonundan oluşan bir amaç fonksiyonu yer

almaktadır. Şekil 5.6'dan görüleceği gibi geliştirilen model çok dönemli ve 3 aşamalı bir tedarik zinciri ağı için tasarlanmış ve optimum dağıtım ağına çözüm aranmıştır.



Şekil 5.6 Tedarik Zinciri Ağı

Modelde karar verici müşterilere talep edilen miktarı sağlamak için tedarikçilerden hammaddeyi temin etmeli bunları doğru zamanda ve doğru fabrikaya taşımalı, işlenen nihai ürünleri dağıtım merkezlerine göndermelidir. Ağdaki fabrikalar ve dağıtım merkezleri kapasitelerine ve açma/kapama maliyetlerine göre ağda yer almaktadırlar. Aşamalardaki her bir aktörün geçmiş teslimat verilerinden yaralanılarak elde edilen teslimat güvenilirlik katsayıları doğrultusunda istenen miktarın altında gelen her bir ürün için karar verici ceza maliyeti ile karşı karşıya kalmaktadır. İkinci ve üçüncü aşamalarda bu ceza maliyeti karar vericinin sorumluluğunda iken birinci aşamadaki ceza maliyetleri tedarikçilerden kesilmektedir. Geliştirilen bu model yukarıda anlatılmaya çalışılan bilgiler doğrultusunda müşteri taleplerini yüzde yüz karşılamak için taşıma-açma/kapama-ceza maliyetleri arasında bir ödünleşme kurarak optimum dağıtım ağının bulunmasında kullanılmaktadır.

Bu bölümde yukarıda anlatılan matematiksel modelin daha iyi anlaşılabilmesi için sayısal bir örnek yardımıyla geliştirilen model test edilmiştir. Şekil 5.6' da ki

gibi 5 adet tedarikçiden, 4 adet potansiyel fabrikadan, 3 adet potansiyel dağıtım merkezinden ve 4 adet müşteri bölgesinden oluşan 3 aşamalı bir tedarik zinciri ağı örnek alınmıştır. Ağdaki fabrika ve dağıtım merkezlerinin kapasite ve maliyete göre açılıp açılmama durumları söz konusudur. Model aynı zamanda dinamik bir yapıdadır ve 3 dönemden oluştuğu varsayılmıştır. Müşteriler hariç tüm aktörlerin geçmiş teslimat verilerine göre her bir aşama için güvenilir teslimat değerleri belirlenmiştir. Bu verilere göre hiçbir taşıma yüzde yüz bir verimle gerçekleşmemektedir. Tedarikçilerin, fabrikaların veya dağıtım merkezlerinin planlamalarını yanlış yapmalarından, zaman faktörünü iyi hesaplamamalarından, eldeki kapasitelerini yüzde yüz kullanmamaları veya diğer bir takım (bozulma, yıpranma, anlaşmazlık) problemlerden dolayı bir sonraki aşamanın talep ettiği miktar bir önceki aşama tarafından tümüyle teslim edilememektedir. Bu eksik teslimatlara rağmen karar verici müşteri taleplerinin her dönem için tam olarak karşılanmasını istemektedir. Karar vericiye yardımcı olmak amacıyla, 3 aşamalı çok dönemli karma tamsayılı olan modelde taşıma maliyetlerini, fabrika ve dağıtım merkezi sabit işletme maliyetlerini ve yukarda bahsedilen eksik teslimat miktarlarına ait olan ceza maliyetlerini minimize eden sayısal bir örnek aşağıdaki veriler doğrultusunda test edilip, Lindo 6.1 programından elde edilen sonuçlarda yorumlanmıştır.

Toplam tedarikçi kümesi: 5 Toplam potansiyel dağıtım merkezi kümesi: 3

Toplam potansiyel fabrika kümesi: 4 Toplam periyot kümesi: 3

Toplam müşteri bölgesi kümesi: 4 $\beta = 3; \nabla = 2$

Tablo 5.13 Tedarikçilerden fabrikalara periyot başına birim taşıma maliyetleri (tl)

	Fab.1			**Fab.2**			**Fab.3**			**Fab.4**		
Ted./Periyot	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
1	3	4	2	2	2	2	3	3	3	4	4	4
2	3	3	3	2	2	2	2	3	1	3	4	2
3	4	5	3	4	4	4	5	3	5	4	2	4
4	3	3	3	2	4	2	3	3	3	4	3	2
5	4	2	3	3	2	4	2	4	4	2	3	4

Tablo 5.14 Fabrikalardan dağıtım merkezlerine periyot başına birim taşıma maliyetleri (tl)

	Fab.1			**Fab.2**			**Fab.3**			**Fab.4**		
DM/Periyot	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
1	6	3	3	4	5	6	5	5	3	2	3	6
2	5	5	5	5	6	5	5	4	4	3	4	6
3	5	4	4	6	6	4	4	4	5	4	5	5

Tablo 5.15 Dağıtım merkezlerinden müşterilere periyot başına birim taşıma maliyetleri (tl)

	Müş.1			Müş.2			Müş.3			Müş.4		
DM/Periyot	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
1	3	4	5	4	3	4	4	3	3	3	4	4
2	2	5	5	3	6	6	4	5	5	3	4	4
3	4	4	3	5	3	2	4	4	3	2	5	4

Tablo 5.16 Fabrika ve Dağıtım Merkezlerine ait sabit işletme maliyetleri (tl)

	Fab.1	**Fab.2**	**Fab.3**	**Fab.4**	**DM.1**	**DM.2**	**DM.3**
Sabit İşletme M.	1050	870	1230	950	500	430	570

Tablo 5.17 Tedarikçilerin, fabrikaların ve dağıtım merkezlerinin eksik teslimat birim ceza maliyeti (tl)

Periyot	**Ted.1**	**Ted.2**	**Ted.3**	**Ted.4**	**Ted.5**	**Fab.1**	**Fab.2**	**Fab.3**	**Fab.4**	**DM.1**	**DM.2**	**DM.3**
1	3	2	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4
2	4	4	2	4	4	4	4	4	4	3	3	3
3	5	3	4	2	2	6	6	6	6	5	5	5

Tablo 5.18 Tedarikçilerin, fabrikaların ve dağıtım merkezlerinin periyot başına kapasiteleri

Periyot	**Ted.1**	**Ted.2**	**Ted.3**	**Ted.4**	**Ted.5**	**Fab.1**	**Fab.2**	**Fab.3**	**Fab.4**	**DM.1**	**DM.2**	**DM.3**
1	1530	1170	1240	1160	1320	1940	1860	1930	1980	2300	2330	2440
2	1140	1460	1320	1150	1230	1900	1870	1750	1960	2450	2240	2520
3	1260	1350	1240	1440	1150	1840	1950	1770	1840	2440	2350	2430

Tablo 5.19 Tedarikçilerin, fabrikaların ve dağıtım merkezlerinin teslimat güven oranları (%)

	Ted.1	**Ted.2**	**Ted.3**	**Ted.4**	**Ted.5**	**Fab.1**	**Fab.2**	**Fab.3**	**Fab.4**	**DM.1**	**DM.2**	**DM.3**
Güv.Y.	90	85	88	92	95	96	93	86	9	95	92	89

Tablo 5.20 Müşteri bölgelerinin periyot başına talepleri (adet)

Periyot	**Müşteri 1**	**Müşteri 2**	**Müşteri 3**	**Müşteri 4**
1	940	1120	890	920
2	1180	980	960	1060
3	1060	1150	1240	1120

Çözüm

Çok amaçlı bir yapıda olan modelin çözülmesinde analitik hiyerarşik proses (AHP) yöntemi kullanılarak amaç fonksiyonu ağırlıklandırılmıştır. Aşağıda amaçların birbirleriyle olan ilişki matrisi gösterilmektedir (Tablo 5.21).

Tablo 5.21 Amaç fonksiyonları ilişki matrisi

	f_1	f_2	f_3
f_1	1	3	2
f_2	1/3	1	1/2
f_3	1/2	2	1

Expert Choice 11.5 bilgisayar programına girilen yukarıdaki öncelik ağırlıkları sonucunda elde edilen normalleştirilmiş değerler Şekil 5.7'de gösterilmektedir.



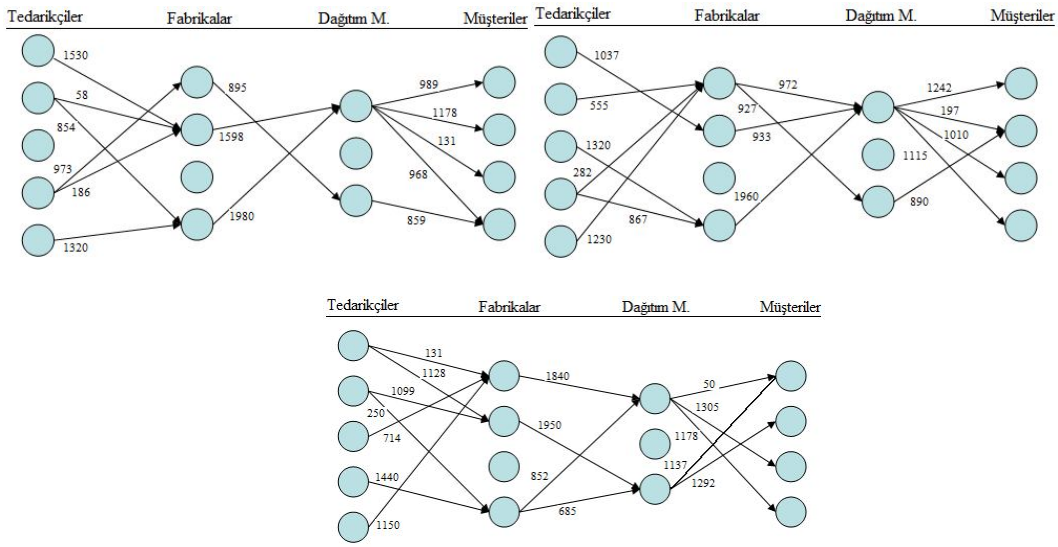
Şekil 5.7 Amaç fonksiyonlarının öncelik değerleri

Şekil 5.7'den anlaşılacağı gibi taşıma maliyetleri 0,54; ceza maliyetleri değeri 0,297; fabrika ve dağıtım merkezleri sabit işletme maliyetleri ise 0,163 ağırlıklı oranları elde edilmiş ve sürecin tutarlılığı istenen düzeyde çıkmıştır. Yukarıda bulunan AHP değerleri sonucunda ağırlıklandırılmış amaç fonksiyonları ile LINDO 6.1 paket programı sonucunda elde edilen değerler Tablo 5.22'de yer almaktadır.

Tablo 5.22 LINDO 6.1 programından elde edilen sonuç değerleri

Değişken	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer
$X_{1,1,3}$	131	$Y_{1,1,3}$	1840	$Z_{1,4,3}$	1178	$A_{1,1}$	153
$X_{1,2,1}$	1530	$Y_{1,3,1}$	895	$Z_{3,1,3}$	1137	$A_{1,2}$	103
$X_{1,2,2}$	1037	$Y_{1,3,2}$	927	$Z_{3,2,2}$	890	$A_{1,3}$	126
$X_{1,2,3}$	1128	$Y_{2,1,1}$	1598	$Z_{3,2,3}$	1292	$A_{2,1}$	136
$X_{2,1,2}$	555	$Y_{2,1,2}$	933	$Z_{3,3,1}$	859	$A_{2,2}$	83
$X_{2,2,1}$	58	$Y_{2,3,3}$	1950	$K_{1,1}$	163	$A_{2,3}$	202
$X_{2,2,3}$	1099	$Y_{4,1,1}$	1980	$K_{1,2}$	178	$A_{3,2}$	158
$X_{2,4,1}$	854	$Y_{4,1,2}$	1960	$K_{1,3}$	126	$A_{3,3}$	85
$X_{2,4,3}$	250	$Y_{4,1,3}$	852	$K_{3,1}$	94	$A_{4,1}$	92
$X_{3,1,3}$	714	$Y_{4,3,3}$	685	$K_{3,2}$	97	$A_{4,2}$	92
$X_{3,4,2}$	1320	$Z_{1,1,1}$	989	$K_{3,3}$	267	$A_{4,3}$	115
$X_{4,1,1}$	973	$Z_{1,1,2}$	1242	$F_{1,1}$	35	$A_{5,1}$	66
$X_{4,1,2}$	282	$Z_{1,1,3}$	50	$F_{1,2}$	76	$A_{5,2}$	61
$X_{4,2,1}$	186	$Z_{1,2,1}$	1178	$F_{1,3}$	73	$A_{5,3}$	57
$X_{4,4,2}$	867	$Z_{1,2,2}$	197	$F_{2,1}$	111	ϕ_1	1
$X_{4,4,3}$	1440	$Z_{1,3,1}$	131	$F_{2,2}$	65	ϕ_2	1
$X_{5,1,2}$	1230	$Z_{1,3,2}$	1010	$F_{2,3}$	136	ϕ_4	1
$X_{5,1,3}$	1150	$Z_{1,3,3}$	1305	$F_{4,1}$	198	Δ_1	1
$X_{5,4,1}$	1320	$Z_{1,4,1}$	968	$F_{4,2}$	196	Δ_3	1
$Y_{1,1,2}$	972	$Z_{1,4,2}$	1115	$F_{4,3}$	153	**Toplam**	78670 tl

LINDO 6.1 paket programından elde edilen sonuçlara göre her periyot için müşteri talepleri tümüyle karşılanmış, maliyet 78670 tl olarak belirlenmiştir (Tablo 5.22). Tüm periyotlar boyunca açılabilecek maksimum fabrika ve dağıtım merkezleri üst sınırından dolayı 3. fabrika ve 2. dağıtım merkezi açılmamıştır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 Her Periyot için Dağıtım Ağı

Birinci periyotta 3. tedarikçiden hammadde alınmamışken, diğer periyotlarda çalışılmıştır. İlk periyotta toplam 381 adet ürün tedarikçilerden fabrikalara, 344 ürün fabrikalardan dağıtım merkezlerine teslim edilmemiştir. Dağıtım merkezlerinde teslimat güvenilirliği %100 olmamasına rağmen müşteri talepleri karşılanmıştır. Bunun nedeni kısıt 13'e göre olan çekme sistemidir. Fiziksel ürün akışı tedarikçilerden müşterilere giderken, bilgi akışı ise ters istikamette hareket etmektedir. Dolayısıyla teslimattaki aksaklıklar hesaba katılarak müşteri talepleri karşılanmıştır.

5.4 Model 4: Sayısal Örnek

Bu bölümde, geliştirilen matematiksel modelin daha iyi anlaşılabilmesi için bir önceki bölümdeki açıklamaların dışında, hipotetik verilere dayalı sayısal bir örnek verilmiştir. Örnek, potansiyel fabrikalardan, depolardan, potansiyel dağıtım merkezlerinden, perakendecilerden, nihai müşterilerden, toplama, onarma ve geri

dönüşüm merkezlerinden oluşan, çok aşamalı esnek bir tedarik zinciri ağına sahiptir (Şekil 5.9). Nihai müşteriye iki çeşit ürün sunulmaktadır. Zincirin esnek yapısından dolayı, fabrikalardan hem depolara hem de diğer öğelere ürün taşınabilmektedir. Aynı durum depolar, dağıtım merkezleri, perakendeciler ve toplama merkezi içinde geçerlidir. Aşamalar arasında ürünler taşınırken taşımalardan kaynaklanan problemlerden dolayı ürünlerde bir takım bozulmalar olmaktadır. Bozulan ürünler belli miktarlarla, onarım merkezine yollanmakta, eğer sorun giderilirse müşterilere gönderilmekte aksi takdirde tekrardan sürece dahil edilmek üzere geri dönüşüm merkezine yollanmaktadır. Müşterilerden toplanan kullanılmış ürünler, toplama merkezlerinde durumlarına bakılarak gerekli ise geri dönüşüm merkezine ya da onarım merkezine yollanmaktadır. Geri dönüşüm merkezine gelen ürünler bir takım işlemlerden geçirilerek sürece tekrardan dahil edilmek üzere fabrikalara yollanmaktadır.

Aşağıda sayısal örneğe ilişkin veriler verilmiştir. Geliştirilen karma tamsayılı doğrusal programlama modeli bu veriler doğrultusunda, LINDO 6.1 paket programında çözülmüş, sonuçlar elde edilmiş ve yorumlanmıştır.

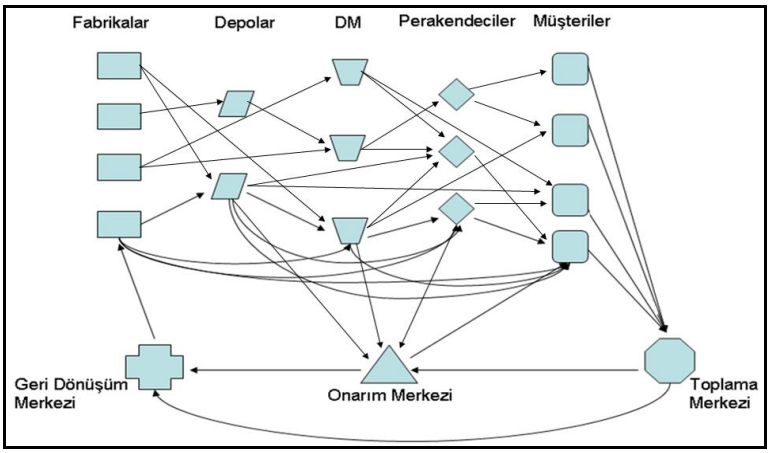
Toplam Potansiyel Fabrika Sayısı: 4 Toplam Potansiyel Dağıtım Merkezi Sayısı: 3

Toplam Depo Sayısı: 2 Toplam Perakendeci Sayısı: 3

Toplam Müşteri Sayısı: 4 Toplam Nihai Ürün Çeşidi: 2

$\alpha, \beta, \chi, \varepsilon, \gamma, \eta, \kappa, \lambda, \mu, \nu = \{\%\ 10\}$ $\varpi = \%\ 20$, $\pi = \%\ 30$, $\vartheta = \%\ 40$ T: 3; U: 2

$g_t = \{10000, 10000\}$, $j_t = \{10000, 10000\}$, $h_t = \{10000, 10000\}$



Şekil 5.9 Kapalı Çevrimli Esnek Tedarik Zinciri

Tablo 5.23 Birinci Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL)

	Fabrika 1		**Fabrika 2**		**Fabrika 3**		**Fabrika 4**	
	1. Ürün	**2. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**
Depo 1	1	2	1	1	1	2	2	1
Depo 2	1	2	2	1	1	1	1	1
DM 1	2	1	2	2	1	3	2	1
DM 2	2	1	1	2	1	4	3	3
DM 3	1	1	1	3	1	2	3	3
Perkd 1	2	2	1	1	1	1	1	1
Perkd 2	1	2	1	2	1	2	1	1
Perkd 3	1	2	1	1	1	1	1	1
Müşteri 1	5	5	3	3	4	3	4	5
Müşteri 2	5	5	4	4	3	3	4	4
Müşteri 3	4	4	4	4	4	4	5	3
Müşteri 4	3	3	5	5	4	4	4	4

Tablo 5.24 İkinci Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL)

	Depo 1		**Depo 2**	
	1. Ürün	**2. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**
DM 1	1	1	2	2
DM 2	1	1	1	2
DM 3	1	1	1	1
Perkd 1	2	1	1	5
Perkd 2	3	2	2	1
Perkd 3	1	3	2	1
Müşteri 1	3	2	4	1
Müşteri 2	2	2	1	2
Müşteri 3	3	4	1	1
Müşteri 4	2	2	1	1
Onarım Merk.	1	1	1	1

Tablo 5.25 Üçüncü Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL)

	DM 1		DM 2		DM 3	
	1. Ürün	**2. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**
Perkd 1	2	1	3	1	1	1
Perkd 2	1	2	1	1	1	1
Perkd 3	1	1	1	1	1	1
Müşteri 1	2	2	4	1	2	1
Müşteri 2	1	2	5	1	3	4
Müşteri 3	1	4	5	1	1	3
Müşteri 4	3	1	3	1	1	1
Onarım Merk.	3	1	2	1	3	1

Tablo 5.26 Dördüncü Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL)

	Perakendeci 1		Perakendeci 2		Perakendeci 3	
	1. Ürün	**2. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**
Müşteri 1	1	1	1	2	3	1
Müşteri 2	2	1	1	1	1	1
Müşteri 3	1	1	1	2	2	1
Müşteri 4	1	1	1	1	1	2
Onarım Merk.	2	1	2	1	3	2

Tablo 5.27 Beşinci Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL)

		Müşteri 1	**Müşteri 2**	**Müşteri 3**	**Müşteri 4**
Toplama	**1. Ürün**	2	3	3	2
Merk.	**2. Ürün**	1	1	1	1

Tablo 5.28 Altıncı Aşama Birim Taşıma Seçenekleri (TL)

	Onarım Merkezi	**Geri Dönüşüm Merkezi**
1. Ürün	2	4
2. Ürün	3	3

Tablo 5.29 Yedinci Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL)

	Müşteri 1	**Müşteri 2**	**Müşteri 3**	**Müşteri 4**	**Geri Dön. Merk.**
1. Ürün	2	3	2	3	3
2. Ürün	1	1	1	1	2

Tablo 5.30 Sekizinci Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL)

	Fabrika 1	**Fabrika 2**	**Fabrika 3**	**Fabrika 4**
1. Ürün	2	3	2	1
2. Ürün	1	1	1	2

Tablo 5.31 Fabrika ve Dağıtım Merkezi Sabit Açılış Maliyeti (TL)

	Fabrika 1	**Fabrika 2**	**Fabrika 3**	**Fabrika 4**	**DM 1**	**DM 2**	**DM 3**
Sabit Maliyet	5000	6000	6500	4500	300	500	700

Tablo 5.32 Kapasite ve Talep Miktarları

	F.1	F.2	F.3	F.4	Dp1	Dp2	DM1	DM2	DM3	Per1	Per2	Per3	M.1	M.2	M.3	M.4
1. Ürün	3000	2500	3200	3100	2900	2800	2300	2150	2200	1000	1000	1200	1800	1500	1600	1600
2. Ürün	3000	2500	3200	3100	3100	3000	2000	1900	2100	1050	900	1100	1600	1900	1900	2000

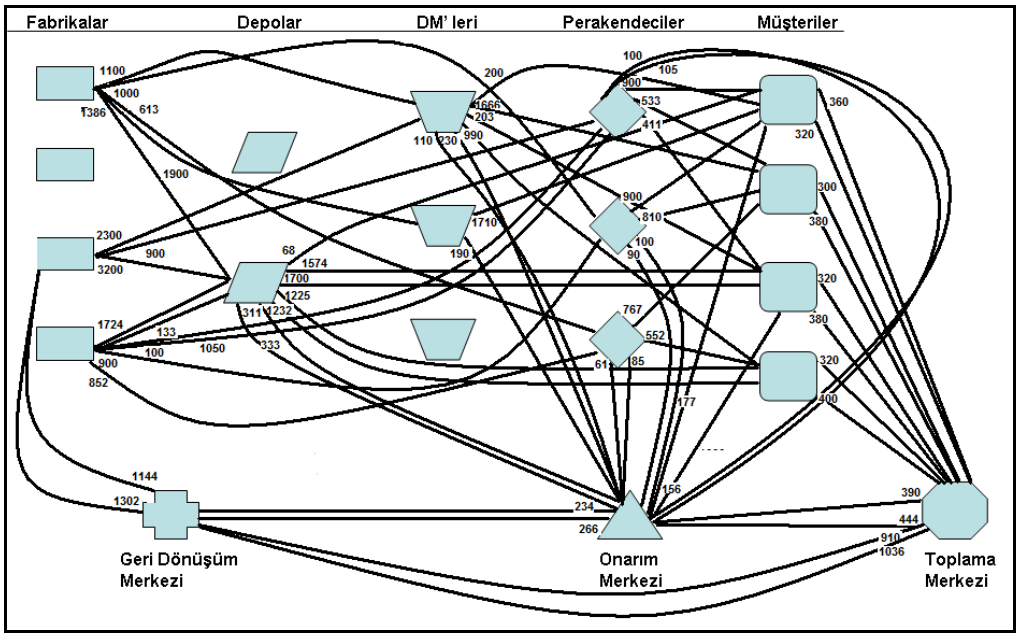
Çözüm

LINDO 6.1 paket programı ile elde edilen sonuçlar aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 5.33 LINDO 6.1 paket programı ile elde edilen sonuçlar

Değişken	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer
$X_{1,2,1}$	1386	$B_{2,3,1}$	1574	$H_{1,2,2}$	533	$J_{2,2}$	380
$X_{3,2,2}$	3200	$B_{2,3,2}$	1700	$H_{1,3,2}$	411	$J_{3,1}$	320
$X_{4,2,1}$	1724	$B_{2,4,1}$	1225	$H_{2,1,1}$	900	$J_{3,2}$	380
$X_{4,2,2}$	133	$B_{2,4,2}$	1232	$H_{2,2,2}$	810	$J_{4,1}$	320
$Y_{1,1,2}$	1100	$D_{2,1}$	311	$H_{3,2,2}$	767	$J_{4,2}$	400
$Y_{1,2,2}$	1900	$D_{2,2}$	333	$H_{3,4,1}$	552	K_1	390
$Y_{3,1,1}$	2300	$F_{1,1,1}$	200	$I_{1,1}$	100	K_2	444
$Z_{1,2,1}$	1000	$F_{1,2,1}$	1666	$I_{1,2}$	105	L_1	910
$Z_{1,3,1}$	613	$F_{1,3,1}$	203	$I_{2,1}$	100	L_2	1036
$Z_{3,1,1}$	900	$F_{1,4,2}$	990	$I_{2,2}$	90	$M_{1,2}$	177
$Z_{4,1,1}$	100	$F_{2,1,2}$	1710	$I_{3,1}$	61	$M_{3,1}$	156
$Z_{4,1,2}$	1050	$G_{1,1}$	230	$I_{3,2}$	85	N_1	234
$Z_{4,2,2}$	900	$G_{1,2}$	110	$J_{1,1}$	360	N_2	266
$Z_{4,3,2}$	852	$G_{2,2}$	190	$J_{1,2}$	320	$O_{3,1}$	1144
$B_{2,1,2}$	68	$H_{1,1,1}$	900	$J_{2,1}$	300	$O_{3,2}$	1302
						Amaç	67473

LINDO 6.1 paket programından çıkan sonuçlara göre fabrikalardan birinci, üçüncü ve dördüncü fabrikalar, dağıtım merkezlerinden ise birincisi ve ikincisi açılmıştır. Birinci depo, malzeme akışında görev almamıştır. Fabrikalardan 17158 adet ürün, depolara, dağıtım merkezlerine ve perakendecilere gönderilmiş fakat müşterilere direk bir taşıma olmamıştır. İkinci depodan sadece müşterilere mal akışı gerçekleşmiştir. Fabrikalardan depoya mal taşınırken birinci üründen 311 adet, ikinci üründen de 333 adet üründe bozulma meydana gelmiş ve tamir edilmesi için onarım merkezine gönderilmiştir. Dağıtım merkezlerinden yalnızca müşterilere ve onarım merkezine bir malzeme hareketi söz konusudur. İkinci aşamadaki taşımadan kaynaklı çıkan problemlerden dolayı 230 adet birinci ürün, 300 adet de ikinci ürün onarım merkezine gönderilmiştir. Perakendecilerden müşterilere 2352 adet birinci ürün, 2521 adet de ikinci ürün teslimatı olmuştur.



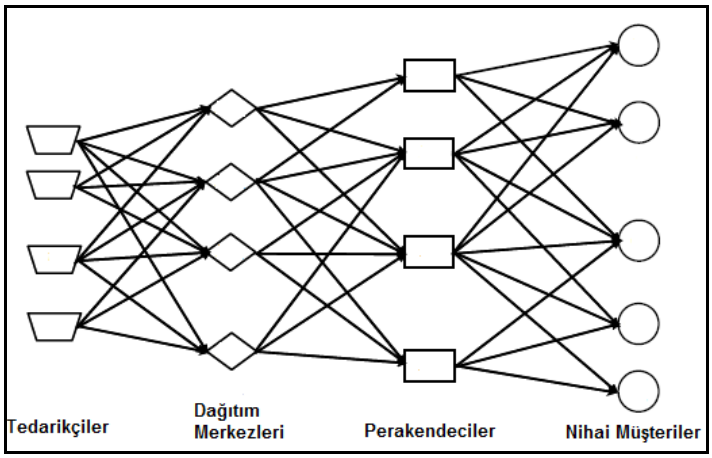
Şekil 5.10 Optimum Tedarik Zinciri Ağı

Üçüncü aşamadaki taşıma problemlerinden dolayı, birinci üründen 261 adet, ikinci üründen ise 280 adet ürün, perakendecilerden onarım merkezine yollanmıştır. Tüm aşamalardaki taşıma kaynaklı bozulan ürünler, onarım merkezinden tekrar müşterilere yollanmıştır. Birinci müşterini toplam 3400, ikinci müşterinin 3400, üçüncü müşterinin 3500 ve dördüncü müşterinin de 3600 adet ürün olan talepleri, fabrikalar hariç onarım merkezide dahil olmak üzere tüm aşamalardan karşılanmıştır. Müşterilerden birinci ürün için 1300 adet, ikinci üründen ise 1480 adet malzeme toplama merkezlerine götürülmüştür. Buradan birinci ürünün 390 adedi onarım merkezine, kalan 910 adet ise direk geri dönüşüm merkezine gönderilmiştir. Onarım merkezinden geri dönüşüm merkezine, fabrikalara yollanması için birinci üründen 234, ikinci üründen ise 266 adet ürün gönderilmiştir. Geri dönüşüm merkezinden, üçüncü fabrikaya, ürünlerin sürece tekrardan dahil edilmesi için sırasıyla 1144 ve 1302 adet ürün teslim edilmiştir.

5.5 Model 5: Sayısal Örnek

Bu bölümde, öncelikle geliştirilen modelin daha iyi anlaşılması için geleneksel ve esnek tedarik zincirleri kısaca açıklanmıştır.

Tedarikçiler, fabrikalar, dağıtım merkezleri ve nihai müşterilerden oluşan geleneksel bir tedarik zincirinde, malzeme akışı, aşamalar arasında ardışık bir şekilde gerçekleşmektedir (Şekil 5.11).

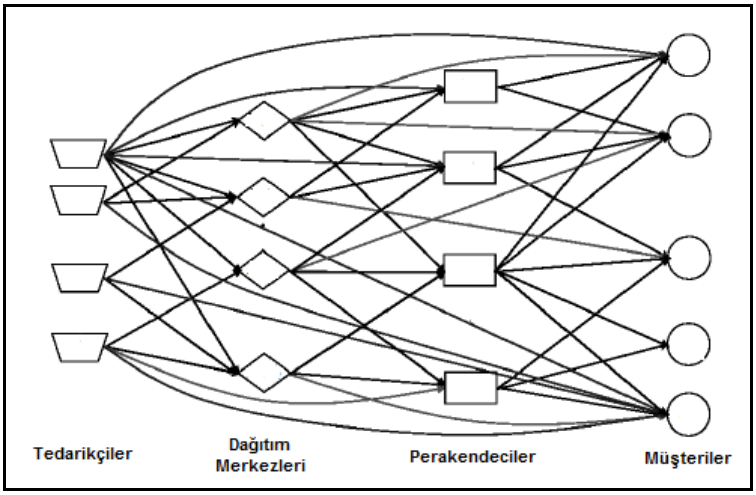


Şekil 5.11 Geleneksel Tedarik Zinciri (Lin ve ark., 2007)

Geleneksel tedarik zincirinin dezavantajları (Lin ve ark., 2007),

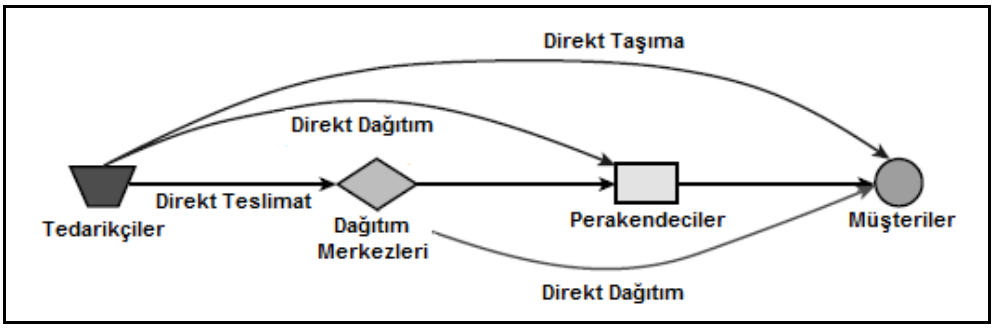
- Yüksek ve gereksiz maliyetler (yükleme/ boşaltma, sabit açılış ve işçi maliyetleri vb.),
- Müşteri taleplerine geç cevap verme,
- Ardıl malzeme akışından dolayı etkisi daha da büyük olan kamçı etkisi,
- Düzgün bir stok kontrolünün gerçekleştirilememesi vb. sayılabilir.

Yukarıda sayılan dezavantajları engelleyerek, hem uluslar arası bir ağa sahip olmak hem de maliyetleri minimize etmek için geleneksel tedarik zinciri yapısının esnek bir yapıya dönüştürülmesi gerekmektedir. Esnek tedarik zincirlerinde de geleneksel tedarik zincirinde ki gibi öğeler arasında ardışık bir malzeme akışı mevcutken buna ek olarak esnek tedarik zincirlerinde malzemeler aşama atlayarak da akabilir (Şekil 5.12).



Şekil 5.12 Esnek Bir Tedarik Zinciri (Lin ve ark. 2007)

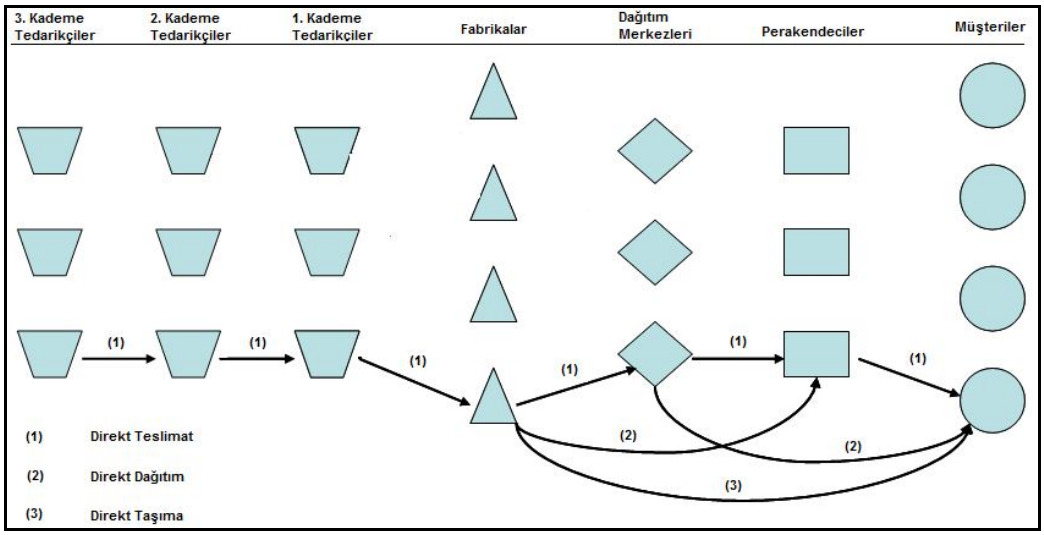
Sırasıyla fabrikalardan, dağıtım merkezlerinden, perakendecilerden ve nihai müşterilerden oluşan esnek bir tedarik zincirinde ardıl öğeler arasında ki akış *direkt teslimat*, dağıtım merkezlerinden müşterilere ve fabrikalardan perakendecilere olan akış *direkt dağıtım*, fabrikalardan müşterilere olan akış ise *direkt taşıma* olarak tanımlanabilir (Şekil 5.13).



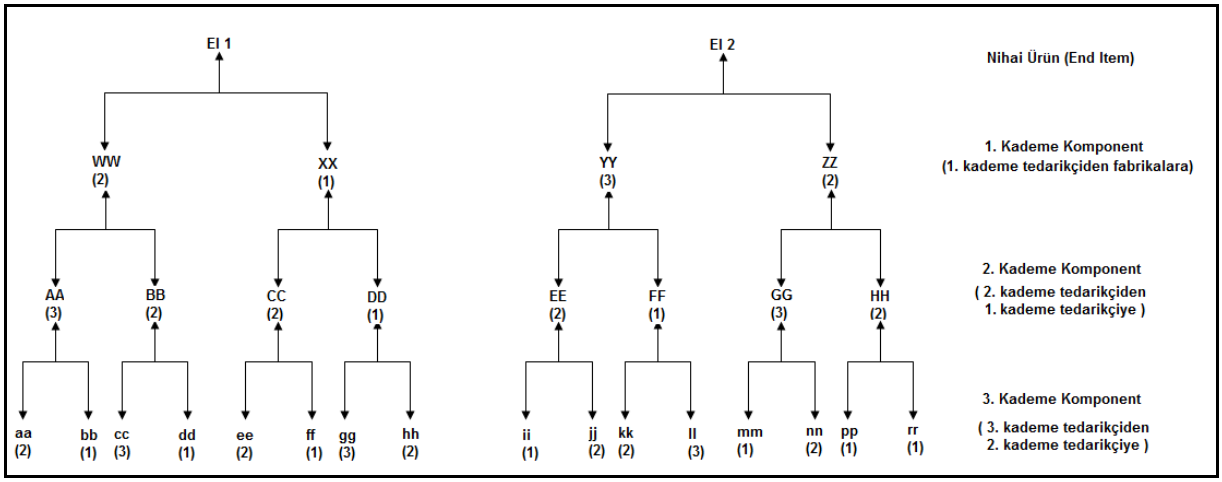
Şekil 5.13 Esnek Tedarik Zincirindeki Akış Tipleri

Yukarıda bahsedilen esnek tedarik zinciri yapısını ve üç kademeli tedarikçiyi içeren, malzeme ihtiyaç kısıtı altında nihai müşterilerine çoklu ürün çeşidi sunan bir ağ için karma tamsayılı bir doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model ile geleneksel tedarik zincirindeki dezavantajlar giderilmeye çalışılmıştır. Modelin gerçek hayattaki problemlere daha iyi çözüm olabilmesi için

modele, çoklu tedarikçilerden oluşan tedarikçi katmanı eklenmiştir (Şekil 5.14). Bu tedarikçilerden gelen üç kademe komponent, sırasıyla tedarikçi ve fabrikalarda montajlanarak nihai müşterilere çok çeşitli ürün sunulmaktadır (Şekil 5.15).



Şekil 5.14 Çok Katmanlı Esnek Bir Tedarik Zinciri



Şekil 5.15 EI-1 ve EI-2' ait Ürün Ağaçları

Bu bölümde, geliştirilen matematiksel modelin daha iyi anlaşılabilmesi için bir önceki bölümdeki açıklamaların dışında, hipotetik verilere dayalı sayısal bir örnek verilmiştir. Örnek, üç kademe tedarikçiden, potansiyel fabrikalardan, potansiyel dağıtım merkezlerinden, perakendecilerden ve nihai müşterilerden oluşan, çok katmanlı ve esnek bir tedarik zinciri ağına sahiptir (Şekil 5.14). Nihai müşteriye

iki çeşit ürün sunulmaktadır (Şekil 5.15). Bu iki çeşit ürüne ait, üç kademe alt komponent mevcuttur. Üçüncü kademe tedarikçiden çıkan on altı çeşit üçüncü kademe komponent, ikinci kademe tedarikçide montajlanarak, sekiz çeşit olan ikinci kademe komponente dönüştürülmektedir. İkinci kademe tedarikçide ki, sekiz çeşit komponent, öncelikle birinci kademe tedarikçide montajlanarak dört çeşit komponente, buradan da fabrikalarda montajlanarak müşterilere sunulmak üzere iki çeşit nihai ürüne dönüştürülmektedir (Şekil 5.15). Fabrikalardan; dağıtım merkezlerine, perakendecilere ve müşterilere, sırasıyla; direkt teslimat, dağıtım ve taşıma yapılabilmektedir. Dağıtım merkezlerinden de perakendecilere ve müşterilere direkt teslimat ve dağıtım gerçekleşmektedir. Perakendecilerden müşterilere yalnızca direkt teslimat yapılabilmektedir.

Aşağıda sayısal örneğe ilişkin veriler verilmiştir. Geliştirilen karma tamsayılı doğrusal programlama modeli bu veriler doğrultusunda, LINDO 6.1 paket programında çözülmüş, çıkan sonuçlar açıklanmış ve yorumlanmıştır.

Üçüncü Kademe Toplam Tedarikçi Sayısı: 3 Toplam Perakendeci Sayısı: 3
Toplam Potansiyel Dağıtım Merkezi Sayısı: 3 Toplam Müşteri Sayısı: 4
İkinci Kademe Toplam Tedarikçi Sayısı: 3 Toplam Nihai Ürün Çeşidi: 2
Birinci Kademe Toplam Tedarikçi Sayısı: 3 Toplam Potansiyel Fabrika Sayısı: 4
G= 3, O=2

Bir birim nihai ürün içindeki, üçüncü, ikinci ve birinci komponentlere ait kullanım oranları Şekil 5.15'te gösterilmektedir.

Tablo 5.34 Birinci Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL)

	Nihai Ürün	**1. Nihai Ürün**							
	1. Kad. Komp	**1. Komp**				**2. Komp**			
	2. Kad. Komp	**1. Komp**		**2. Komp**		**1. Komp**		**2. Komp**	
	3. Kad. Komp	**1. Komp**	**2. Komp**	**1. Komp**	**2. Komp**	**1. Komp**	**2. Komp**	**1. Komp**	**2. Komp**
3. Kad 1.Ted	**2. Kad. 1. Ted.**	2	3	1	2	3	2	2	1
	2. Kad. 2. Ted.	1	2	1	2	3	2	1	2
	2. Kad. 3. Ted.	2	1	2	1	2	1	1	2
3. Kad. 2.Ted	**2. Kad. 1. Ted.**	3	1	3	1	1	1	3	3
	2. Kad. 2. Ted.	2	2	3	2	1	3	2	2
	2. Kad. 3. Ted.	1	2	4	2	1	1	1	1
3. Kad. 3.Ted	**2. Kad. 1. Ted.**	1	3	2	2	1	2	1	1
	2. Kad. 2. Ted.	2	2	1	1	3	2	2	1
	2. Kad. 3. Ted.	3	3	1	1	2	1	1	2
	Nihai Ürün	**2. Nihai Ürün**							
	1. Kad. Komp	**1. Komp**				**2. Komp**			
	2. Kad. Komp	**1. Komp**		**2. Komp**		**1. Komp**		**2. Komp**	
	3. Kad. Komp	**1. Komp**	**2. Komp**	**1. Komp**	**2. Komp**	**1. Komp**	**2. Komp**	**1. Komp**	**2. Komp**
3. Kad. 1.Ted	**2. Kad. 1. Ted.**	1	1	2	2	1	1	1	1
	2. Kad. 2. Ted.	2	2	1	1	3	2	2	2
	2. Kad. 3. Ted.	2	3	3	3	2	3	3	3
3. Kad. 2.Ted	**2. Kad. 1. Ted.**	1	2	2	2	1	1	1	2
	2. Kad. 2. Ted.	3	2	1	1	1	2	2	1
	2. Kad. 3. Ted.	2	1	1	1	2	1	2	1
3. Kad 3.Ted	**2. Kad. 1. Ted.**	1	2	2	2	3	2	3	2
	2. Kad. 2. Ted.	2	3	3	3	2	3	2	3
	2. Kad. 3. Ted.	3	1	1	1	1	1	1	1

Tablo 5.35 İkinci Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL)

	Nihai Ürün	**1. Nihai Ürün**				**2. Nihai Ürün**			
	1. Kad. Komp	**1. Komp**		**2. Komp**		**1. Komp**		**2. Komp**	
	2. Kad. Komp	**1. Komp**	**2. Komp**	**1. Komp**	**2. Komp**	**1. Komp**	**2. Komp**	**1. Komp**	**2. Komp**
2. Kad. 1.Ted	**1. Kad. 1. Ted.**	2	2	2	2	2	1	2	3
	1. Kad. 2. Ted.	2	3	1	3	3	2	1	2
	1. Kad. 3. Ted.	1	3	1	1	3	3	2	1
2. Kad. 2.Ted	**1. Kad. 1. Ted.**	1	2	2	2	2	2	3	2
	1. Kad. 2. Ted.	2	1	3	3	1	1	2	3
	1. Kad. 3. Ted.	3	1	2	2	1	1	1	3
2. Kad. 3.Ted	**1. Kad. 1. Ted.**	2	2	3	2	2	2	2	2
	1. Kad. 2. Ted.	1	3	2	1	3	2	3	1
	1. Kad. 3. Ted.	3	2	1	2	2	2	2	2

Tablo 5.36 Üçüncü Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL)

	1. Kad. 1. Tedarikçi				**1. Kad. 2. Tedarikçi**				**1. Kad. 3. Tedarikçi**			
	1. Nihai Ürün		**2. Nihai Ürün**		**1. Nihai Ürün**		**2. Nihai Ürün**		**1. Nihai Ürün**		**2. Nihai Ürün**	
	1. Komp	**2. Komp**	**1. Komp**	**2. Komp**	**1. Komp**	**2. Komp**	**1. Komp**	**2. Komp**	**1. Komp**	**2. Komp**	**1. Komp**	**2. Komp**
Fab.1	2	2	2	3	2	2	1	3	3	2	3	1
Fab.2	1	1	2	2	2	3	2	1	3	2	2	2
Fab.3	2	2	3	1	1	2	1	3	2	1	1	3
Fab.3	3	3	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2

Tablo 5.37 Fabrikalardan, Dağıtım Merkezlerine, Perakendecilere ve Müşterilere Gerçekleşen Teslimatların Birim Taşıma Maliyetleri (TL)

	1. Fab		**2. Fab**		**3. Fab**		**4. Fab**	
	1. Ürün	**2. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**
1. DM	3	3	2	2	1	3	3	4
2. DM	3	3	2	4	4	2	3	3
3. DM	1	3	2	4	4	2	3	3
1. Perkd	3	2	2	1	4	3	1	4
2. Perkd	3	4	2	3	4	1	3	2
3. Perkd	3	1	2	4	4	3	1	2
1. Müşt	2	2	4	1	3	2	1	3
2. Müşt	2	1	3	4	2	3	1	2
3. Müşt	5	2	4	5	3	3	2	2
4. Müşt	2	3	1	4	4	2	3	3

Tablo 5.38 Dağıtım Merkezlerinden, Perakendecilere ve Müşterilere Gerçekleşen Teslimatların Birim Taşıma Maliyetleri (TL)

	1. DM		2. DM		3. DM	
	1. Ürün	**2. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**
1. Perkd	1	1	1	1	1	1
2. Perkd	2	3	2	1	2	3
3. Perkd	2	1	3	1	1	3
1. Müşt	1	3	3	1	1	1
2. Müşt	1	3	3	1	1	1
3. Müşt	2	2	1	1	2	1
4. Müşt	1	1	1	1	2	3

Tablo 5.39 Perakendecilerden Müşterilere Gerçekleşen Teslimatların Birim Taşıma Maliyetleri (TL)

	1. Perakendeci		2. Perakendeci		3. Perakendeci	
	1. Ürün	**2. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**
1. Müşt	2	3	3	2	5	1
2. Müşt	3	4	2	2	3	2
3. Müşt	3	3	2	2	1	1
4. Müşt	2	2	3	4	2	2

Tablo 5.40 Fabrika ve Dağıtım Merkezlerinin Sabit İşletme Maliyetleri (TL)

	1. Fab	2. Fab	3. Fab	4. Fab	1. DM	2. DM	3. DM
Sabit Maliyet	100	150	130	120	200	150	170

Tablo 5.41 Üçüncü Aşama Tedarikçi Kapasitesi (Adet)

	1. Kad. Komp	1. Komp				2. Komp			
	2. Kad. Komp	1. Komp		2. Komp		1. Komp		2. Komp	
	3. Kad. Komp	**1.Komp**	**2.Komp**	**1.Komp**	**2.Komp**	**1.Komp**	**2.Komp**	**1.Komp**	**2.Komp**
3. Kad.	**1. Ürün**	18000	20000	20000	19000	20000	21000	2000	2000
1. Ted.	**2. Ürün**	17500	20000	19000	20000	18000	20000	21000	18500
3. Kad.	**1. Ürün**	11000	9000	10000	11000	10000	10500	10000	10000
2. Ted.	**2. Ürün**	11500	10000	9500	10000	11000	10000	12000	10000
3. Kad.	**1. Ürün**	11000	11000	10000	12000	10000	12000	10500	10000
3. Ted.	**2. Ürün**	10000	10500	10000	11500	10000	10000	9000	9500

Tablo 5.42 İkinci Aşama Tedarikçi Kapasitesi (Adet)

	1. Kad. Komp	1. Komp	2. Komp	1. Komp	2. Komp
	2. Kad. Komp	**1. Komp**	**2. Komp**	**1. Komp**	**2. Komp**
2. Kad. 1. Ted	1. Ürün	9000	9500	11000	10500
	2. Ürün	10000	12000	11000	10500
2. Kad. 2. Ted	1. Ürün	10000	11000	10000	10000
	2. Ürün	10000	12000	10000	10500
2. Kad. 3. Ted	1. Ürün	10000	9000	10000	10000
	2. Ürün	9500	10000	11000	10000

Tablo 5.43 Birinci Aşama Tedarikçi Kapasitesi (Adet)

	1. Ürün		2. Ürün	
	1. Komp	**2. Komp**	**1. Komp**	**2. Komp**
1. Kad. 1. Ted	11000	10000	9000	10000
1. Kad. 2. Ted	10000	9000	10000	10500
1. Kad. 3. Ted	10000	10000	11500	10000

Tablo 5.44 Fabrika, Dağıtım Merkezi, Perakendeci Kapasiteleri ve Müşteri Talepleri

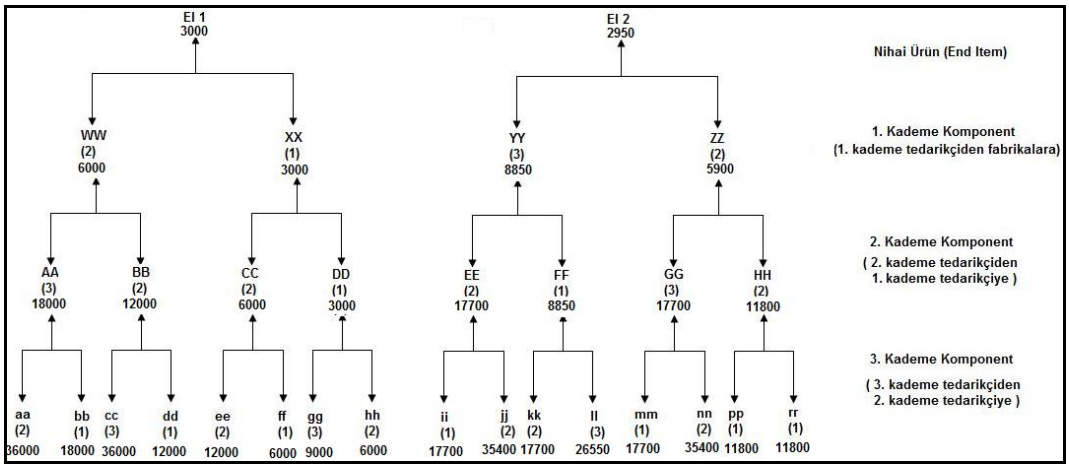
	Fab1	**Fab2**	**Fab3**	**Fab4**	**DM1**	**DM2**	**DM3**	**Per1**	**Per2**	**Per3**	**Müş1**	**Müş2**	**Müş3**	**Müş4**
1.Ürün	2100	2500	2000	2000	2200	2050	2100	2200	1900	2050	750	750	750	750
2.Ürün	2000	2050	2100	1900	1900	2000	1950	2100	2000	2150	750	750	700	750

Çözüm

LINDO 6.1 paket programı ile elde edilen sonuçlar aşağıda gösterilmiştir.

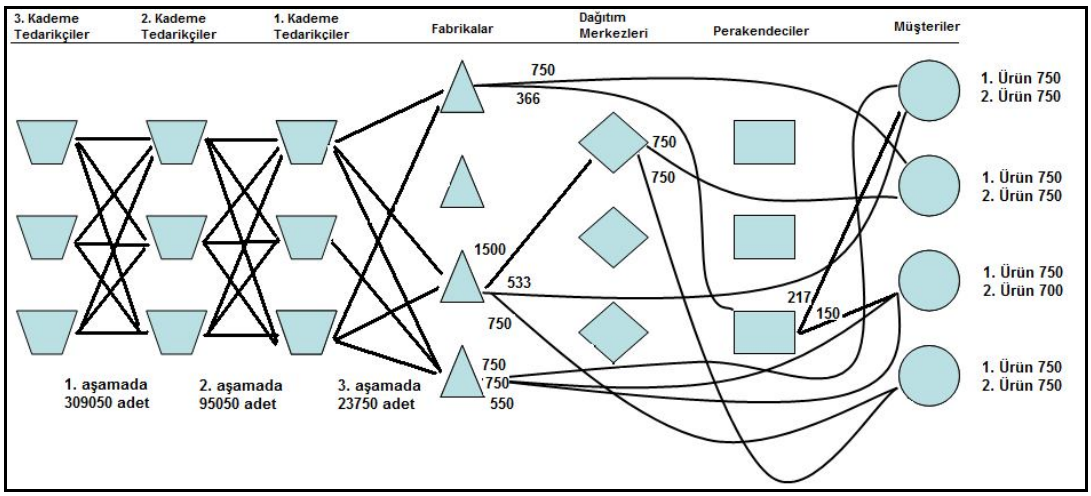
Tablo 5.45 LINDO 6.1 paket programı ile elde edilen sonuçlar

Değişken	**Değer**	**Değişken**	**Değer**	**Değişken**	**Değer**	**Değişken**	**Değer**
$X_{1,1,1,1,1,1}$	7000	$X_{2,3,2,1,2,1}$	9500	$Y_{1,3,1,2,1}$	3000	$Z_{3,1,2,2}$	2233
$X_{1,1,2,1,1,2}$	20000	$X_{2,3,2,1,2,2}$	2750	$Y_{1,3,1,2,2}$	1500	$Z_{3,3,1,2}$	1500
$X_{1,1,2,2,1,1}$	11000	$X_{2,3,2,2,1,2}$	3400	$Y_{1,3,2,2,2}$	4466	$Z_{3,3,2,1}$	3850
$X_{1,1,2,2,1,2}$	20000	$X_{2,3,2,2,2,2}$	7334	$Y_{2,1,1,1,1}$	1500	$Z_{3,4,1,1}$	3000
$X_{1,1,2,2,2,2}$	4466	$X_{3,1,1,1,1,1}$	11000	$Y_{2,2,1,1,2}$	5000	$S_{3,1,1}$	1500
$X_{1,2,1,1,1,1}$	3000	$X_{3,1,1,2,1,1}$	2000	$Y_{2,2,2,1,2}$	250	$H_{1,3,2}$	216
$X_{1,2,1,1,2,1}$	20000	$X_{3,1,1,2,2,1}$	4500	$Y_{2,3,1,1,2}$	6000	$D_{1,2,2}$	750
$X_{1,2,2,1,2,1}$	8200	$X_{3,1,1,2,2,2}$	3000	$Y_{2,3,2,1,2}$	3850	$D_{1,3,2}$	150
$X_{1,2,2,1,2,2}$	12300	$X_{3,1,2,1,1,1}$	6200	$Y_{3,1,1,1,2}$	1000	$D_{3,1,2}$	534
$X_{1,3,1,1,1,1}$	4000	$X_{3,2,1,1,1,2}$	1500	$Y_{3,1,2,1,2}$	4750	$D_{3,4,2}$	750
$X_{1,3,1,1,1,2}$	7500	$X_{3,2,1,1,2,1}$	7000	$Y_{3,2,1,1,1}$	7500	$D_{4,1,1}$	750
$X_{1,3,1,1,2,2}$	4500	$X_{3,2,1,1,2,2}$	11000	$Y_{3,2,1,2,2}$	1500	$D_{4,2,1}$	750
$X_{2,1,1,1,1,2}$	9000	$X_{3,3,1,1,2,1}$	3000	$Y_{3,2,2,2,2}$	7334	$D_{4,3,2}$	550
$X_{2,1,1,2,1,1}$	10000	$X_{3,3,2,1,1,2}$	5400	$Y_{3,3,2,1,1}$	7700	$B_{1,3,1}$	750
$X_{2,1,1,2,1,2}$	6000	$X_{3,3,2,1,2,2}$	11500	$Y_{3,3,2,2,1}$	6700	$B_{1,4,1}$	750
$X_{2,1,2,1,1,1}$	3800	$X_{3,3,2,2,1,1}$	6700	$Z_{1,1,2,1}$	3100	$N_{3,1,2}$	216
$X_{2,1,2,2,1,2}$	2000	$X_{3,3,2,2,1,2}$	10000	$Z_{1,3,1,1}$	500	Φ_1	1
$X_{2,1,2,2,2,1}$	4466	$X_{3,3,2,2,2,1}$	7334	$Z_{1,4,2,1}$	1650	Φ_3	1
$X_{2,2,1,1,2,1}$	6000	$Y_{1,1,2,1,1}$	9500	$Z_{2,1,2,1}$	250	Φ_4	1
$X_{2,3,1,1,1,1}$	11000	$Y_{1,2,1,2,1}$	3000	$Z_{2,3,1,1}$	2500	Δ_1	1
$X_{2,3,1,2,2,2}$	3000	$Y_{1,2,2,1,1}$	500	$Z_{2,3,2,2}$	2566	**…..**	…..
$X_{2,3,2,1,1,1}$	7700	$Y_{1,1,2,2,1}$	11000	$Z_{2,4,1,2}$	1500	**…..**	…..
$X_{2,3,2,1,1,2}$	10000	$Y_{1,3,1,1,1}$	9000	$Z_{2,4,2,2}$	1100	**Amaç**	513133



Şekil 5.16 Malzemenin Ürün Ağıcındaki Akışı

Şekil 5.16'dan anlaşılacağı gibi, müşteri taleplerini karşılamak için, üçüncü kademe tedarikçiden, birinci nihai ürün için sırasıyla, 36000, 18000, 36000, 12000, 12000, 6000, 9000, 6000 adet üçüncü kademe komponent, ikinci kademe tedarikçilere ulaştırılmıştır. Yine aynı şekilde ikinci nihai ürün için toplam 174050 adet üçüncü kademe komponent, ikinci kademe tedarikçilere dağıtılmıştır. İkinci kademedeki tedarikçiler aldıkları üçüncü kademe komponentleri, ikinci kademe komponentlere dönüştürerek birinci kademedeki tedarikçilerin nihai ürünün bir alt komponentini oluşturmalarını sağlamışlardır. Birinci nihai ürün içindeki üçüncü kademe komponent oranı 12'dir. Yani 3000 adetlik birinci nihai ürün içinde 36000 adet üçüncü kademe birinci komponent bulunmaktadır (Şekil 5.16). Birinci kademe tedarikçilerden, fabrikalara 3000 adetlik ilk nihai ürün için toplam 9000 adet, ikinci nihai ürün içinse toplam 14750 adet birinci kademe komponent taşınmıştır.



Şekil 5.17 Optimum Dağıtım Ağı

Kapasite ve maliyet kısıtlarına göre ikinci fabrika, dağıtım merkezlerinden ise ikinci ve üçüncü DM açılmamıştır (Şekil 5.17). Birinci fabrikadan direkt teslimat yokken, dağıtım merkezine ikinci nihai üründen 366 adet, ikinci müşteriye ise yine ikinci nihai üründen 750 adet ürün yollanmıştır. Dördüncü fabrikadaki tüm teslimatlar birinci nihai üründen toplam 1500, ikinci nihai üründen de 550 olacak şekilde direkt taşıma çeşidiyle gerçekleşmiştir. Açılan birinci dağıtım merkezinden direkt dağıtım yoluyla ikinci ve üçüncü müşterilere mal gönderilmiştir. Perakendecilerden sadece üçüncüsü sürece dahil olurken, birinci müşteriye birinci nihai üründen 217 adet, üçüncü müşteriye de yine birinci nihai üründen 150 adet mal direkt teslim edilmiştir.

5.6 Model 6: Sayısal Örnek

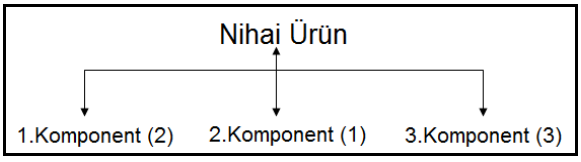
Bu bölümde, anlatılan modele uygun olarak, hipotetik verilere dayalı, küçük ölçekli bir tedarik zinciri problemi sunulmuştur. Üç tedarikçi, iki fabrika, bir adet montaj ve üç adet müşteriden oluşan tedarik zinciri ağı için, geliştirilen model test edilmiştir. Modelde, tedarikçiler ve fabrikalar arasında sırasıyla tren, kara ve deniz olmak üzere üç çeşit taşıma şekli mevcuttur. Fabrikadan çıkan üç farklı komponent, farklı oranlarda montajlanarak müşterilere dağıtılmaktadır. Bir birim nihai ürün içinde, birinci komponentten iki adet; ikinci komponentten bir adet; üçüncü komponentten üç adet kullanılmaktadır (Şekil 5.18).

Aşağıda, sayısal örneğe ilişkin veriler tablolar halinde gösterilmiştir.

Toplam tedarikçi sayısı = 3 Toplam periyot sayısı = 6 Toplam fabrika sayısı = 2

Toplam müşteri sayısı = 3 Toplam taşıma seçeneği sayısı = 3

π = 0.01 TL S_m = 5000, 0, 0 (adet) R = 1 TL $F_{1,2}$ = 1, 1 $G_{1,2,3}$ = 1, 1, 1



Şekil 5.18 Ürün Ağacı

Tablo 5.46 Aşama 1'e (tedarikçilerden fabrikalara) ait veriler α_{ijtp}, N_{ijtp}; C_{ijtp} *

		1. Tedarikçi			2. Tedarikçi			3. Tedarikçi		
	P.	Tren	Kara	Deniz	Tren	Kara	Deniz	Tren	Kara	Deniz
Fabrika 1	1	120,48; 0.3	72,0; 0.5	264,192; 0.135	160,70; 0.6	90,0; 0.675	270,180; 0.2	180,100; 0.4	80,0; 0.6	260,180; 0.2
	2	168,72; 0.325	96,0; 0.625	336,240; 0.175	200,114; 0.65	86,0; 0.8	310,224; 0.25	178,108; 0.35	70,0; 0.55	290,220; 0.3
	3	192,96; 0.4	96,0; 0.625	384,288; 0.2	250,172; 0.7	78,0; 0.825	380,302; 0.3	200,100; 0.5	100,0; 0.7	390,290; 0.25
	4	240,120; 0.5	120,0; 0.8	504,384; 0.275	220,104; 0.5	116,0; 0.75	450,334; 0.35	300,170; 0.3	130,0; 0.45	430,300; 0.2
	5	220,110; 0.75	110,0; 0.9	460,350; 0.35	245,125; 0.45	120,0; 0.6	480,360; 0.25	288,144; 0.625	144,0; 0.725	576,432; 0.3
	6	250,145; 0.6	105,0; 0.7	500,395; 0.4	200,100; 0.35	100,0; 0.55	500,400; 0.2	230,130; 0.3	100,0; 0.4	300,200; 0.25
Fabrika 2	1	240,120; 0.5	120,0; 0.8	480,360; 0.25	270,160; 0.3	110,0; 0.5	500,390; 0.2	238,138; 0.45	100,0; 0.6	480,380; 0.3
	2	288,144; 0.625	144,0; 0.725	576,432; 0.3	250,150; 0.55	100,0; 0.65	600,500; 0.25	216,120; 0.475	96,0; 0.75	550,454; 0.275
	3	230,130; 0.3	100,0; 0.4	300,200; 0.25	230,140; 0.6	90,0; 0.8	320,230; 0.35	230,150; 0.25	80,0; 0.375	400,320; 0.15
	4	200,90; 0.25	110,0; 0.35	550,440; 0.2	200,112; 0.4	88,0; 0.5	510,422; 0.2	290,180; 0.6	110,0; 0.775	500,390; 0.3
	5	250,172; 0.7	78,0; 0.825	380,302; 0.3	120,48; 0.3	72,0; 0.5	264,192; 0.135	270,160; 0.3	110,0; 0.5	500,390; 0.2
	6	220,104; 0.5	116,0; 0.75	450,334; 0.35	168,72; 0.325	96,0; 0.625	336,240; 0.175	250,150; 0.55	100,0; 0.65	600,500; 0.25

*((saat,saat); TL)

Tablo 5.47 Aşama 2'ye (fabrikalardan montaja) ve aşama 3'e (montajdan müşterilere) ait birim taşıma maliyetleri (TL)

		Montaj					
	Periyot	1	2	3	4	5	6
Fab. 1	1. Komp	2	3	2	4	4	2
	2. Komp	2	3	2	3	4	2
	3. Komp	2	3	2	3	4	2
Fab. 2	1. Komp	4	3	3	3	3	2
	2. Komp	1	2	1	3	3	2
	3. Komp	2	2	2	3	3	1
	1. Müşt	4	2	3	3	4	2
	2. Müşt	3	4	3	2	4	2
	3. Müşt	3	2	4	2	3	2

Tablo 5.48 Kapasiteler ve Müşteri Talepleri (adet)

		Periyot					
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
	1. Tedarikçi	6000	6000	6000	6000	6000	5000
	2. Tedarikçi	5000	6000	6000	6000	6000	6000
	3. Tedarikçi	6000	5000	5000	5000	5000	5000
	1. Komp	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Fab. 1	**2. Komp**	4000	4000	4000	4000	4000	4000
	3. Komp	4000	4000	4000	4000	4000	4000
	1. Komp	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Fab.2	**2. Komp**	4000	4000	4000	4000	4000	4000
	3. Komp	4000	4000	4000	4000	4000	4000
	Montaj	4000	4000	4000	4000	4000	4000
	Tren Yolu	5500	5500	5500	5500	5500	5500
	Kara Yolu	5500	5500	5500	5500	5500	5500
	Deniz Yolu	5500	5500	5500	4500	5500	4500
	1. Müşteri	500	1000	500	1000	750	1000
	2. Müşteri	1000	1000	1000	750	1000	1000
	3. Müşteri	500	1000	500	1000	500	1000
	Stok	2000	2000	2000	2000	2000	2000

Çözüm

LINDO 6.1 paket programı ile elde edilen sonuçlar Tablo 5.49'da gösterilmiştir.

Tablo 5.49 LINDO 6.1 paket programı ile çözüm sonuçları

Değişken	**Değer**	**Değişken**	**Değer**	**Değişken**	**Değer**	**Değişken**	**Değer**
$X_{1,1,1,1}$	2500	$X_{3,1,3,4}$	2750	$W_{2,2,1}$	3500	$Y_{2,7}$	1000
$X_{1,1,1,2}$	4500	$X_{3,2,1,2}$	1000	$W_{2,2,2}$	1500	$Y_{3,2}$	500
$X_{1,1,1,3}$	3500	$X_{3,2,2,1}$	500	$W_{2,2,3}$	4000	$Y_{3,3}$	1000
$X_{1,1,1,5}$	5000	$X_{3,2,2,3}$	3000	$W_{2,2,4}$	750	$Y_{3,4}$	500
$X_{1,1,2,5}$	500	$X_{3,2,2,5}$	5000	$W_{2,2,5}$	3000	$Y_{3,5}$	1000
$X_{1,2,1,1}$	3000	$W_{1,1,1}$	4000	$W_{2,3,1}$	4000	$Y_{3,6}$	500
$X_{1,2,1,4}$	5500	$W_{1,1,2}$	4000	$W_{2,3,2}$	4000	$Y_{3,7}$	1000
$X_{1,2,2,4}$	500	$W_{1,1,3}$	4000	$W_{2,3,3}$	4000	$Q_{1,0}$	5000
$X_{1,2,3,3}$	2500	$W_{1,1,4}$	1000	$W_{2,3,4}$	4000	$Q_{2,0}$	2000
$X_{2,1,2,3}$	2500	$W_{1,1,5}$	1500	$W_{2,3,5}$	4000	$Q_{3,0}$	7000
$X_{2,1,3,2}$	500	$W_{1,2,4}$	250	$Y_{1,2}$	500	$Q_{1,1}$	1000
$X_{2,2,1,5}$	500	$W_{1,3,1}$	4000	$Y_{1,3}$	1000	$Q_{3,1}$	1000
$X_{2,2,2,1}$	5000	$W_{1,3,2}$	2250	$Y_{1,4}$	500	$Q_{2,2}$	500
$X_{2,2,2,2}$	5500	$W_{1,3,3}$	4000	$Y_{1,5}$	1000	$Q_{1,3}$	1000
$X_{2,2,2,4}$	2750	$W_{1,3,4}$	3750	$Y_{1,6}$	750	$Q_{3,3}$	250
$X_{2,2,3,3}$	3000	$W_{1,3,5}$	4000	$Y_{1,7}$	1000	$Q_{2,4}$	1250
$X_{2,2,3,5}$	5500	$W_{2,1,1}$	1000	$Y_{2,2}$	1000	$Q_{1,5}$	500
$X_{3,1,1,3}$	2000	$W_{2,1,2}$	1000	$Y_{2,3}$	1000	$Q_{3,5}$	1000
$X_{3,1,2,4}$	2250	$W_{2,1,3}$	500	$Y_{2,4}$	1000	**Amaç**	332775
$X_{3,1,3,1}$	5500	$W_{2,1,4}$	4000	$Y_{2,5}$	750		
$X_{3,1,3,2}$	1250	$W_{2,1,5}$	4000	$Y_{2,6}$	1000		

Tablo 5.49'da ki sonuçlara göre, tedarikçilerden 76000 adet ürün fabrikalara yollanmıştır. Bunlardan 27500'ü, birinci tedarikçiden tren, deniz ve kara yolları kullanılarak fabrikalara taşınmıştır. Birinci tedarikçi en çok tren yolunu kullanmışken, ikinci ve üçüncü tedarikçiler ilk aşamada kara yolunu daha çok tercih etmişlerdir. Fabrikalara gelen 76000 adet ürün, sırasıyla 25000, 13000, 38000 adet olmak üzere birinci, ikinci ve üçüncü komponent olarak montaja ulaştırılmıştır. İkinci aşamada, birinci ve son periyotta 16500 adet ürün montaja yollanmıştır. İkinci ve üçüncü aşamada ki birer periyotluk taşıma sürelerinden dolayı, birinci periyottaki müşterinin talebi montajda bulunan başlangıç stoğu ile karşılanmaktadır. Fabrikadan gelen komponentler en yakın üçüncü periyotta müşteriyle buluşmaktadır. Birinci periyottaki toplam 2000 adetlik müşteri talebi, montajdaki başlangıç stoğu ile karşılanmış ve bir sonraki döneme birinci ve üçüncü komponentten 1000'er adet stok artmıştır. $Q_{1,1}$ ve $Q_{3,1}$ stok miktarıyla, ilk periyotta fabrikalardan çıkan toplam 16500 adetlik komponent miktarı, üçüncü periyottaki müşteri talebini karşılamada kullanılmıştır. Başlangıç stoğu ile devreden stok miktarları toplamı 20500 adet olup, son döneme stok kalmayacak şekilde tüm müşteri talepleri karşılanmıştır.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Gittikçe kısalan ürün hayat sürelerinin ve artan müşteri isteklerinin işletmeleri küresel pazarlara itmesi, ürünleri en düşük maliyet, en yüksek verim ve hızda üretme zorunluluğu, işgücü, teknoloji ve hammadde gibi kısıtlı kaynakların herkese açık olması nedenleriyle tedarik zinciri kavramı, rekabet piyasasında önemini her geçen gün artırmaktadır.

Rekabette öne geçmek için önemli güçlerden biri olan tedarik zinciri yönetimi, tedarikçiler, imalatçılar, dağıtıcılar, perakendeciler ve nihai müşteriler tarafından ürün, bilgi ve paranın sistematik bir şekilde iletimi ve bu fonksiyonların bütünleşik bir şekilde yönetimidir.

Bu bağlamda, bir tedarik zincirindeki oyuncuların lokasyon, kapasite ve diğer özellikleri ile ağ içindeki taşıma tipleri belirlenirken, aynı zamanda müşteri hizmet düzeyinin en iyilenmesi ve maliyetlerin en küçüklenmesi amaçlarına yönelik olarak, hangi noktadan hangi noktaya ne kadar taşıma yapmanın en uygun olduğu sonucu ağ tasarımı ile belirlenmektedir. Günümüzde, özellikle enerji kaynaklarının kısıtlı olması bize tedarik zincirinde en uygun tasarımları zorunlu hala getirmektedir.

Tedarik zincirinin başarısı gerçek hayatta karşılaşılan problemlerin en iyi şekilde temsil eden modellerle sağlanabilmektedir. Literatür taramasından sonra tespit edilip araştırmacılar tarafından sıkça kullanılmayan malzeme ihtiyaç kısıtı, taşıma şekilleri, çok ürünlü ve çok dönemli yapı, birden fazla amacın hedeflenmesi, esnek ağ yapıları, geri dönüşüm süreçli kapalı ağlar, birden fazla katmanlı tedarikçi yapıları vb. gibi etmenlerin birlikte çeşitli kısıtlar altında kombine edilmesiyle yeni modeller geliştirilmiştir.

Model 1

Tedarik zinciri yönetiminde ki dağıtım ağlarının tasarımı ve optimizasyonu problemi ele alınmıştır. Konuya kısaca girildikten sonra, geliştirilen çok aşamalı, çok dönemli, çoklu taşıma seçenekli ve stok kontrollü bir doğrusal programlama modeli ayrıntılı bir şekilde tanıtılmıştır. Tuzkaya ve Önüt'ün (2009), sadece iki aşamadan

oluşan ve stok kontrollü doğrusal programlama modeliyle, Paksoy ve ark.' nın (2003) çoklu taşıma seçenekli ve fırsat kaybı fonksiyonlu, karma tamsayılı doğrusal programlama modeli kombine edilmiştir.

Lojistikte, taşıma şekillerinin toplam taşıma maliyetlerinde ki etkisi çok büyüktür. Maliyetleri azaltmak içinde taşıma süresi ve maliyetine göre en uygun seçeneğin seçilmesi zorunludur. Bundan dolayı modele, fırsat maliyeti kavramı eklenmiş ve işletmelere, kara, tren ve deniz yolları arasında bir seçim yapma şansı tanınmıştır. Geliştirilen modelde, tedarikçilerden, fabrikalardan, montajdan ve müşterilerden oluşan bir zincirde, yok satma-elde tutma ve taşıma seçeneklerinden doğabilecek olan fırsat kaybı maliyetlerini minimize eden ve bunları çok dönemli bir süreçte gerçekleştiren bir dağıtım ağı tasarlanmıştır. Ortaya çıkan yeni model sayısal veriler doğrultusunda optimal sonuçları bulmuştur. Bundan sonraki çalışmalarda, tek tip ürün yerine çoklu ürün çeşidi eklenebilir. Aynı zamanda, mevcut model, malzeme ihtiyaç kısıtı altında tekrardan modellenebilir. Deterministik olan model yapısı, ileri ki çalışmalarda gerçeklere daha uygun olabilmesi için belirsizlik yaklaşımlarını da içerebilir.

Model 2

Farklı bölgelerde, farklı sektörlerde, farklı ürünlerde ve farklı komponentlerle gerçekleştirilen üretim tiplerinde, malzeme ihtiyaç planlamasının TZ ağı ile entegre bir şekilde planlanması gerekmektedir. Gerek birden fazla noktada, gerekse birden fazla tipte üretim yapan işletmelerin tüm fonksiyonları ile birlikte entegre bir şekilde sürdürülmesi ve kontrol edilmesi en uygun TZ ağı tasarımı ile gerçekleşebilir.

Model 2'de, yukarıda bahsedilen faktörleri içine alan, tedarikçilerden, potansiyel fabrikalardan ve montajcılardan ve son olarak nihai müşterilerden oluşan bir tedarik zinciri için ağ tasarımı problemi ele alınmıştır. Ele alınan problemde, müşterilerine farklı tipte ürünler sunan işletmelerin, bu talepleri karşılayabilmesi için gerekli olan alt komponent miktarlarının hangi tedarikçilerden, fabrikalardan ve montajcılardan ne miktarda çekmesi sorusu sayısal bir örnekle açıklanmıştır. Malzeme ihtiyaç kısıtlı ve çoklu ürün tipli bu problem için yeni geliştirilen modelde karma tamsayılı doğrusal programlama yöntemi kullanılmıştır. Bundan sonraki

çalışmalarda, statik olan model yapısı dönemler katılarak dinamikleştirilebilir. Aşamalar arasındaki tek tip taşıma seçeneği, fırsat maliyeti kısıtı ile çoklu taşıma seçeneğine dönüştürülebilir. Gerçek hayattaki belirsizlikleri içine alarak daha gerçekçi sonuçlar alınabilmesi için modelin deterministik yapısı stokastik veya bulanık küme teorisi ile tekrardan modellenebilir.

Model 3

Gerçek hayatta bir ürünün tedariki esnasında veya gerekli yerlere dağıtımı sırasında yüzde yüz bir teslimat gerçekleşemez. Bu eksik teslimatların müşterilere yansıtılmaması için ağdaki aktörlerden en uygun olanlarla çalışılmalı aksi halde caydırıcı uygulamalarda bulunulmalıdır.

Bu çalışmada çok dönemli, çok aşamalı bir tedarik zinciri ağı için karma tamsayılı bir doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelde yukarıda bahsedilen problemlere çözüm olması adına (1) taşıma maliyetlerinin minimize edilmesi, (2) sabit işletme maliyetlerinin minimize edilmesi, (3) eksik teslimatlar sırasında gerçekleşen ceza maliyetlerinin minimize edilmesi, hesaplanan öncelik değerlerine göre amaçlanmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda öncelikle geliştirilen model matematiksel ifadelerle belirtilmiş daha sonra model sayısal bir örnek yardımıyla test edilip, yorumlanmıştır.

Bundan sonraki çalışmalarda kesin olan kapasite, talep ve güvenilirlik gibi parametreler stokastik bir yapıda tekrar ele alınabilir, dönem sayısı artırılabilir, yok satma maliyetleri eklenebilir ve başka yöntemlerle (bulanık mantık, tabu araştırması, genetik algoritma) yeni modeller geliştirilebilir.

Model 4

Bu çalışmada, küreselleşen dünyada kendisine bir yönetim aracı olarak, vazgeçilmez bir yer edinen TZY' de dağıtım ağlarının tasarımı ve optimizasyonu problemi ele alınmıştır. Tuzkaya ve Önüt'ün (2009) stok kontrollü doğrusal programlama modeli, Paksoy ve ark.'nın (2003) fırsat maliyetli karma tamsayılı doğrusal programlama modeli ve Paksoy'un (2005) malzeme ihtiyaç kısıtı altındaki

karma tamsayılı doğrusal programlama modeli kombine edilerek yeni bir model geliştirilmiştir. Model, hipotetik verilere dayalı sayısal bir örnekle de test edilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır.

Bundan sonraki çalışmalarda, modelin tek tip ürün yapısı çok ürünlü hala getirilebilir, taşıma şekilleri tüm aşamalara yayılabilir, tek aşamadan oluşan tedarikçi yapısı çok katmanlı hala getirilebilir, zincir üzerinde ardışık olan malzeme akışı esnek bir yapıya dönüştürülebilir (tedarikçiden montaja, fabrikadan müşteriye vb.) ve belirsizlikler katılarak stokastik bir şekilde model tekrar kurulabilir.

Model 5

Ağ boyutuyla, taşıma maliyetleri ve müşterilere cevap verme süresi doğru orantılıdır. TZ Yönetimi bu aşamada bir ikilem yaşamaktadır. Bir yandan pazarda pay kapabilmek için uluslar arası bir tedarik zinciri ağına sahip olmak gerekirken, bir yandan da bu zincirin getirdiği yüksek taşıma maliyetleri ve gecikme süreleriyle de başa çıkması gerekmektedir.

Bu çalışmada anlatılan yeni model, dağıtım ağları tasarımında tedarik zinciri yönetimine yardımcı olmak amacıyla geliştirilmiştir. Global bir şekilde genişleyen ağlara, yeni öğelerinde katılmasıyla ağ optimizasyonu zorlaşmaktadır. Pazarda pay kapabilmek için ürün çeşitliliğinin artırılması ve çeşitliliğin getirdiği alt ürünlerin de yarattığı zorlukları katarsak, dağıtım ağları tasarımının işletmeler için çözülmesi gereken büyük bir sorun olduğu gerçeği ortaya çıkmaktadır. Bu sorunları çözmek için işletmeler, geleneksel tedarik zinciri yapısını da içine alan esnek tedarik zincirlerini tercih etmelidirler. Aynı zamanda malzeme ihtiyacının hızlı bir şekilde giderilmesi içinde, çok sayıda tedarikçiden oluşan geniş bir seçenek yelpazesi oluşturulmalıdır. Geliştirilen model, malzeme ihtiyaç kısıtı altında çok ürünlü çok katmanlı esnek bir tedarik zinciri ağının tasarım problemini çözmek için tasarlanmıştır.

Bu çalışmaya ek olarak ileriki çalışmalarda modelin statik yapısı periyotlar katılarak dinamikleştirilebilir, tedarikçi katman sayısı komponent miktarıyla doğru orantılı olacak şekilde artırılabilir, fırsat maliyeti faktörüyle çoklu taşıma seçenekleri

eklenebilir, gerçek hayattaki belirsizleri de içerecek şekilde stokastik bir yapıda model tekrar kurulabilir.

Model 6

Bu çalışmada anlatılan yeni model, dağıtım ağları tasarımında tedarik zinciri yönetimine yardımcı olmak amacıyla geliştirilmiştir. Genişleyen ağlarda ürünlerin akışı uzun süreler ve mesafeler aldığından bu süre zarfında ürünlerde bir takım yıpranmalar ve bozulmalar olabilmektedir. Bozulan bu ürünler müşteri taleplerinin karşılanmasından kullanılmamalıdır. Bunun önüne geçebilmek için eş zamanlı bir şekilde, bu ürünlerin tamir edilmesi gerekmekte ve taleplerin diğer ürünlerle beraber karşılanması sağlanmalıdır. Tüm bu sorunlara ek olarak, kaynakların da gitgide azalması işletmeleri geri dönüşüme sevk etmektedir. Müşterilerden toplanan ürünlerin tekrardan işleme sokularak zincire dahil edilmesi kaynakların daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Geliştirilen model, yukarıda sayılan tüm problemleri çözmek adına, içinde bozulma faktörü ve geri dönüşüm sürecini de kapsayacak şekilde, çok ürünlü çok aşamalı kapalı çevrimli esnek bir tedarik zinciri ağının tasarımında kullanılmıştır.

Bu çalışmaya ek olarak ileriki çalışmalarda modelin statik yapısı periyotlar katılarak dinamikleştirilebilir, tedarikçi katman sayısı komponent miktarıyla doğru orantılı olacak şekilde artırılabilir, fırsat maliyeti faktörüyle çoklu taşıma seçenekleri eklenebilir, gerçek hayattaki belirsizleri de içerecek şekilde stokastik bir yapıda model tekrar kurulabilir.

Bu çalışmada giriş niteliğindeki birinci bölümün ardından, okuyucuların konuyu daha iyi kavrayabilmeleri adına ikinci bölümde konuyla ilgili terimler açıklanmıştır. Üçüncü bölümde tedarik zinciri ağ tasarımına ilişkin modellerin kurulması adına durum tespiti için yapılan geniş kaynak taramasına yer verilmiş ve eksik görülen etmenler tespit edilmiştir. Dördüncü bölümde yer verilen matematiksel modellerin geliştirilmesi esnasında kullanılan malzemeler (paket program ve diz üstü bilgisayar) materyal olarak, modellemede kullanılan ağ tasarımı amaçları, kısıtları, karar değişkenleri ve bunların modellenmesinde kullanılan doğrusal programlamada metot olarak gösterilmiştir. Doğrusal programlama kullanılarak geliştirilen altı adet

matematiksel model amaç fonksiyonları, karar değişkenleri ve kısıtları ile açıklanmıştır. Beşinci bölüm olan Araştırma Sonuçları ve Tartışma kısmında bir önceki bölümde yer verilen yeni matematiksel modellerin test edilmesi ve optimal sonucu verip vermediğini görmek adına farklı sayısal örnekler denenmiş ve LINDO 6.1 paket programında çıkan sonuçlar şekil ve tablolar gösterilerek tartışılmıştır. Son bölüm olan bu kısımda, genel olarak çalışma değerlendirilirken, her bir model için yapılan çalışmalar kısaca özetlenmiş ve yine her bir model için sonraki araştırmacılar adına çeşitli önerilerde bulunulmuştur. Birebir önerilere ek olarak kombinasyonel optimizasyonda arama sezgiselleri (tümleyici sezgiseller, iyileştirici sezgiseller, meta sezgiseller; tabu arama, benzetim tavlaması, genetik algoritmalar, saçılmış arama, değişken komşuluklu arama, koloni arama metotları vb.) sayesinde sezgisel modeller kurularak NP-hard olarak tanımlanan (Syarif ve ark. 2002) tedarik zinciri ağ tasarımları basite indirgenerek daha kısa sürede kabul edilebilir optimal değerler bulunabilir.

7. KAYNAKLAR

Abd El-Wahed W.F. 2001. A Multi Objective Transportation Problem Under Fuzziness. Fuzzy Sets and Systems. Sayı 117. No 1. pp. 27-33.

Abd El-Wahed W.F., Lee S.M. 2006. Interactive Fuzzy Goal Programming For Multi-Objective Transportation Problems. Omega. Sayı 34. No 2. pp. 158-166.

Albayrakoğlu P. 2006. İkram Servis İşletmelerinde Tedarik Zinciri Yönetimi ve Usaş Örneği. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi. İstanbul.

Altıparmak F., Gen M., Lin L., Paksoy T. 2006. A Genetic Algorithm Approach For Multi-Objective Optimization Of Supply Chain Networks. Computers And Industrial Engineering. Sayı 51. No 1. pp. 197-216.

Arntzen B.C., Brown G.G., Harrison T.P., Trafton L.L. 1995. Global Supply Chain Management At Digital Equipment Corporation. Interfaces. Sayı 25. No 1. pp. 69-93.

Bassett M., Gardner L. 2010. Optimizing The Design Of Global Supply Chains at Dow AgroSciences. Computers and Chemical Engineering. Sayı: 34. No 2. pp. 254-265.

Camm J.D., Chorman T.E., Dull F.A., Evans J.R., Sweeney D.J., Wegryn G.W. 1997. Blending OR/MS, Judgement and GIS: Restructuring P&G's Supply Chain. Interfaces. Sayı 27. No 1. pp. 128-142.

Cavlak E. 2008. Tedarik Zinciri Yönetiminde Üretim/Dağıtım Planlama Karar Sürecinde Tasarım ve Optimizasyon Yaklaşımları. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Bölümü. Konya

Cazla F., Passaro R. 1997. EDI Network and Logistic Management at Uniliver-Sagit. Supply Chain Management: An International Journal. Sayı 2. No 4. pp. 158-170.

Chandra C., Kumar S. 2000. Supply Chain Management in Theory and Practice: A Passing Fad or Fundamental Change?. Industrial Management and Data Systems. Sayı 100. No 3. pp. 100-114.

Chen Z., Lee. 2004. Integrated Production And Distribution Operations: Taxonomy, Models And Review. Handbook Of Quantitative Supply Chain Analysis: Modeling In The E-Busines Era. Kluwer Academic Publishers. pp. 412-444. New Jersey.

Chen C.L., Yuan T.Y., Chang C.Y., Lee W.C., Ciou Y.C. 2006. A Multi-Criteria Optimization Model For Planning of a Supply Chain Network Under Demand Uncertainty. Sayı 21. pp. 2075-2080.

Childerhouse P., Towill D. 2000. Engineering the Supply Chain to Match Customer Requirements. Journal of Logistics Information Management. Sayı 13. No 6. pp. 337-345.

Chopra S., Meindl P. 2004. Supply Chain Management. 2nd edition. Prentice Hall. New Jersey. Sayı 4. No 7. pp. 77-90.

Cohen M.A., Lee H.L. 1989. Resource Deployment Analysis of Global Manufacturing and Distribution Networks. Journal of Manufacturing and Operations Management. Sayı 2. No 2. pp. 81-104.

Cohen M.A., Moon, S. 1990. Impact of Production Scale Economies, Manufacturing Complexity, and Transportation Costs on Supply Chain Facility Networks. Journal of Manufacturing and Operations Management. Sayı 3. pp. 216-228.

Croxton K.L., Dastugue-Garcia S.J., Lambert D.M. 2007. The Supply Chain Management Process. The International Journal of Logistics Management. Sayı 12. No 2. pp.13-35.

Çetinkaya E. 2003. Tedarik Zinciri Yönetimi ve Tedarik Zinciri Modelleri. Yayınlanmamış Yıl İçi Projesi. Selçuk Üniversitesi Endüstri Mühendisliği. Konya.

Çizmeci F. 2002. Tedarik Zinciri Yönetimi. Alfa Basım Yayım. Ocak.

Flipo C.D., Finke G. 2001. An Integrated Model For An Industrial Production–Distribution Problem. IIE Transactions. Sayı 33. No 9. pp. 705–715.

Dönmez N. 2007. Tedarik Zinciri Planlama İçin Bir Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Programlama Modeli. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi. Ankara.

Erenguc S.S., Simpson N.C., Vakharia A.J. 1999. Integrated Production/Distribution Planning In Supply Chains: An Invited Review. European Journal of Operational Research. Sayı 115. No 2. pp.219-36.

Fox S.M., Chionglo F.J., Barbuceanu M. 1993. The Integrated Supply Chain Management System. University of Toronto.

Ganeshan R., Harrison T.P. 1995. An Introduction to Supply Chain Management. Working Paper. Department of Management Science and Information Systems. Penn State University. U.S.A.

Ganeshan R., Bone T., Stenger A. 2001. The Impact Of Inventory And Flow Planning Parameters On Supply Chain Performance: An Exploratory Study. International Journal Of Production Economics. Sayı 71. No 1-3. pp. 111-118.

Gen M., Syarif A. 2005. Hybrid Genetic Algorithm For Multi-Time Period Production Distribution Planning, Computers And Industrial Engineering. Sayı 48. No 4. pp. 799-809.

Geunes J., Pardalos P.M. 2005. Supply Chain Optimization. Applied Optimization. Springer.

Handfield R.B., Ernest N.L. 1999. Introduction to Supply Chain Management. Prentice Hall. Upper Saddle River. New Jersey.

Ishii K., Takahashi K., Muramatsu R. 1988. Integrated Production, Inventory and Distribution Systems. International Journal of Production Research. Sayı 26. No 3. pp. 473-482.

Jayaraman V., Ross A. 2003. A Simulated Annealing Methodology To Distribution Network Design And Management. European Journal of Operational Research. Sayı 144. No 3. pp. 629-645.

Kim S.W. 2006. The Effect Of Supply Chain Integration On The Alignment Between Corporate Competitive Capability And Supply Chain Operational Capability. International Journal of Operations & Production Management. Sayı 26. No 10. pp. 1084-1107.

Lamming R. 1993. Beyond Partnership: Strategies For Innovation And Lean Supply. The Manufacturing Practitioners Series. Prentice-Hall.

Lancioni R.A., Smith M.F., Olivia T.A. 2000. The Role Of The Internet in Supply Chain Management. Industrial Marketing Management. Sayı 29. No 1. pp 45-56.

Lee H.L., Billington C., Carter B. 1993. Hewlett-Packard Gains Control of Inventory and Service Through Design for Localization. Interfaces Studies. Sayı 43. No 4. pp. 1-11.

Lee Y.H., Kim S.H. 2002. Production–Distribution Planning In Supply Chain Considering Capacity Constraints. Computers & Industrial Engineering. Sayı 43. No 1-2. pp. 169-190.

Lee Y.H., Cho M.K., Kim Y.B., 2002. A Discrete-Continuous Combined Modeling Approach for Supply Chain Simulation. Simulation. Sayı 48. No 5. pp. 321-329.

Liang T. 2006. Distribution Planning Decisions Using Interactive Fuzzy Multi-Objective Linear Programming. Fuzzy Sets and Systems. Sayı 157. No 10. pp. 1303-1316.

Lin L., Gen M., Wang X. 2007. A Hybrid Genetic Algorithm for Logistics Network Design with Flexible Multistage Model. International Journal of Information Systems for Logistics and Management. Sayı 3. No 1. pp. 1-12.

Metz P.J. 1998. Demystifying Supply Chain Management Supply Chain Management Review. http://www.manufacturing.net/scm/myst.htm. Erişim tarihi: 14.01.2010.

Morris J., Imrie R. 1992. Transforming Buyer-Supplier Relations: Japanese Style Industrial Practices in A Western Context. Macmillian.

Muriel A., Simchi D., 2003. Supply Chain Design and Planning– Applications of Optimization Techniques for Strategic and Tactical Models. Handbooks Operation Research and Management Science. pp 15-93.

Nagurney A. 2010. Supply Chain Network Design Under Profit Maximization and Oligapolistic Competiton. Transportation Research Part E. Sayı: 46. No 3. pp. 281-294.

Nagurney A., Toyasaki F. 2005. Reverse Supply Chain Managment And Electronic Waste Rcycling: A Multitiered Network Equilibirium Framework For E-Cycling, Transportation Research Part E. Sayı 41. No 1. pp. 1-28.

Naylor J., Mohamed M., Berry D. 1999. Leagility:Integrating The Lean And Agile Manufacturing Paradigsm In Total Supply Chain. International Journal of Production Economics. Sayı 62. No 1-2. pp. 107-118.

Newhart D.D., Stott K., Vasko F.J. 1993. Consolidating Product Sizes to Minimize Inventory Levels For A Multi-Stage Production and Distribution Systems. Journal of the Operational Research Society. Sayı 44. No 7. pp.637-44.

Ozdamar L., Yazgaç T. 1999. Capacity Driven Due Date Settings In Make-To-Order Production Systems. International Journal of Production Economics. Sayı 49. No 1. pp. 29-44.

Owen S.H., Daskin M.S. 1998. Strategic Facility Location: A Review. European Journal of Operational Research. Sayı 111. No 3. pp. 423-447.

Paksoy T., Altıparmak F. 2003. Dağıtım Ağlarının Tasarımı ve En İyilenmesi Kapsamında Tedarik Zinciri ve Lojistik Yönetimine Bir Bakış: Son Gelişmeler ve Genel Durum. Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi. Sayı 4. pp. 149-167.

Paksoy T., Güleş H.K., Altıparmak F. 2003, Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Ağlarının Tasarımı ve Eniyilemesi: Çok Aşamalı Karma Tamsayılı Bir Doğrusal Programlama Modeli. Dokuz Eylül Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi. Sayı 4. No 2. pp. 1-26.

Paksoy T. 2005. Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Ağlarının Tasarımı ve Optimizasyonu: Malzeme İhtiyaç Kısıtı Altında Stratejik Bir Üretim-Dağıtım Modeli. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi. Sayı 14. pp. 435-454.

Petrovic D., Roy R., Petrovic R. 1999. Supply Chain Modeling Using Fuzzy Sets. International Journal of Production Economics. Sayı 59. No 1-3. pp. 443-453.

Petrovic D., Xie Y., Burnham K., Petrovic R. 2008. Coordinated Control Of Distribution Supply Chains In The Presence Of Fuzzy Customer Demand. European Journal of Operational Research. Sayı 185. No 1. pp. 146-158.

Pishvaee M.S., Torabi S.A. 2010. A Possibilistic Programming Approach for Closed Loop Supply Chain Network Design Under Uncertainty. Fuzzy Sets and Systems.doi:10.1016/j.fss.2010.04.010

Pyke D.F., Cohen M.A. 1993. Performance Characteristics of Stochastic Integrated Production Distribution Systems. European Journal of Operational Research. Sayı 68. No 1. pp. 23-48.

Reid R.D., Sanders N.R. 2002. Operations Management, John Willey and Sons Inc.

Rejowski R., Pinto J.M. 2003. Scheduling of A Multi Product Pipeline System. Computers and Chemical Engineering. Sayı 27. No 8-9. pp. 1229–1246.

Sabria E.H., Beamon B.M. 2000. A Multi-Objective Approachto Simultaneous Strategic and Operational Planning in Supply Chain Design. Omega. Sayı 28. No 5. pp. 581-598.

Sakawa M., Nishizaki I., Uemura Y. 2002. A Decentralized Two-Level Transportation Problem In Housing Material Manufacturer: Interactive Fuzzy Programming Approach. International Journal Of Operational Research. Sayı 141. pp. 167-185.

Sengupta S., Turnbull J. 1996. Seamless Optimization of The Entire Supply Chain. Industrial Engineering Solutions.

Shapiro J.F. 2001. Modeling The Supply Chain, Duxbury & Thompson Learning Books U.S.A, pp. 41-42.

Shih L. 1997. Planning of Fuel Coal Imports Using A Mixed Integer Programming Method. International Journal of Production Economics. Sayı 51. No 3. pp. 243-249.

Sourirajan K., Ozsen L., Uzsoy R. 2009. A Genetic Algorithm For A Single Product Network Design Model With Lead Time and Safety Stock Considerations. European Journal of Operational Research. Sayı 197. No 2. pp. 599-608.

Srinivasan M., Moon B.Y. 1999. A Comprehensive Clustering Algorithm For Strategic Analysis of Supply Chain Networks. Computers and Industrial Engineering. Sayı 36. No 3. pp. 615-633.

Sundarraj R., Talluri S. 2003. A Multi-Period Optimization Model For the Procurement Of Component Based Enterprise Information Technologies. European Journal Of Operational Research. Sayı 146. pp. 339-351.

Swaminathan J.M., Smith S.F., Sadeh N.M. 1998. Modeling Supply Chain Dynamics: A Multi Agent Approach. Decision Sciences. Sayı 29. No 3. pp 607-632.

Syarif A., Yun Y., Gen M. 2002. Study on Multi-Stage Logistics Chain Network: A Spanning Tree-Based Genetic Algorithm Approach. Computers and Industrial Engineering. Sayı 43. No 1. pp. 299-314.

Tanyaş M. 2006. Tedarik Zinciri Yönetimi ve SCOR Modeli. Power Point Sunusu. Atılım Üniversitesi. Ankara. ankaraem.atilim.edu.tr/sunum/ mehmettanyas2.ppt. Erişim tarihi: 22.06.2010.

Tsiakis P., Shah N., Pantelides C.C. 2001. Design of Multi-Echelon Supply Chain Networks Under Demand Uncertainty, Industrial & Engineering Chemistry Research. Sayı 40. pp. 3585–3604.

Tuzkaya U., Önüt S. 2009. A Holonic Approach Based Integration Methodology For Transportation And Warehousing Functions Of The Supply Network, Computers and Industrial Engineering. Sayı 56. No 2. pp. 708-723.

Türköz Ö. 2007. Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Gereksinim Planlaması. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi. İstanbul.

Vidal C.J., Goetschalckx M. 1997. Strategic Production-Distribution Models: A Critical Review With Emphasis on Global Supply Chain Models. European Journal of Operational Research. Sayı 98. No 1. pp. 1-18.

Voudouris V.T. 1996. Mathematical Programming Techniques to Debottleneck The Supply Chain of Fine Chemical Industries. Computers and Chemical Engineering. Suppl. Pt. B. Sayı 20. No 2. pp.1269-1274.

Wang M., Wang H., Xu D., Wan K., Vogel D. 2004. A Web-Service Agent-Based Decision Support System For Securities Exception Management. Expert Systems with Applications. Sayı 27. No 3. pp. 439-450.

Wang H.S. 2007. A Two-Phase Ant Colony Algorithm For Multi Echelon Defective Supply Chain Network Design. European Journal Of Operation Research. Sayı 192. No 1. pp. 243-252.

Williams J.F. 1981. Heuristic Techniques For Simultaneous Scheduling of Production and Distribution In Multi-Echelon Structures: Theory And Empirical Comparisons. Management Science. Sayı 27. No 3. pp. 336-352.

Xu N., Nozick L. 2009. Modeling Supplier Selection And The Use Of Option Contracts For Global Supply Chain Design. Computers & Operations Research. Sayı 36. No 10. pp. 2786-2800.

Yaman Z. 2001. Tedarik Zinciri Yönetiminde (Scm) Bilgisayar Yazılımları ve SCM'ye Geçiş Uygulamaları. http://www.kho.edu.tr/yayinlar/bilimdergisi/bilimder. Erişim tarihi: 18.02.2010.

Yan H., Yu Z., Cheng T.C.E. 2003. A Strategic Model for Supply Chain Design with Logical Constraints: Formulation and Solution, Computers & Operations Research. Sayı 30. No 14. pp. 2135-2155.

Yılmaz P. 2004. Strategic Level Three-Stage Production Distribution Planning With Capacity Expansion. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Sabancı Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.