



ÇOK ÜRÜNLÜ BOZULMA FAKTÖRLÜ KAPALI DÖNGÜ ESNEK BİR TEDARİK ZİNCİRİ İÇİN KARMA TAMSAYILI BİR DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ

Eren ÖZCEYLAN

Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, KONYA
eozeceylan@selcuk.edu.tr

ÖZET: Tedarik zincirini oluşturan aktörlerin sayılarının ve yerlerinin tespiti, aralarındaki malzeme akış miktarının belirlenmesi ve taşıma maliyetlerinin minimizasyonu, tedarik zinciri yönetimi içinde ağ tasarımı problemi olarak ele alınmaktadır. Günümüzde işletmeler, bir yandan sahip oldukları tedarik zinciri ağlarını genişletirken, bir yandan da genişleyen ağlar arasındaki iletişime ve geç cevap verilen müşteri taleplerine çözüm aramaktadırlar. Bahsedilen problemler, aşamaların atlatılması sayesinde, geleneksel tedarik zincirleri yerine esnek tedarik zincirlerinin tercih edilmesi ile daha kolay çözülebilmektedir. Çok çeşitli ürünlerin, genişleyen ağlarda ki akışı, uzun mesafeler ve süreler aldığından, müşterilere ulaşana kadar ürünlerde bir takım bozulmalar olmaktadır. İstenen sayıda talebe cevap verilebilmesi için, bozulan bu miktarların aynı aşamada ve aynı anda yenileriyle değiştirilmesi gerekmektedir. Kapalı döngülü esnek tedarik zincirlerindeki toplama ve geri dönüşüm merkezleriyle, bozulan bu ürünler ve diğer geri dönüşüm ürünleri sürece tekrardan dâhil edilebilmektedir. Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen problemlerin bütünlük bir şekilde çözülebilmesi adına, çok ürünlü bozulma faktörlü kapalı döngülü esnek bir tedarik zinciri ağ tasarımı için karma tamsayılı bir doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model LINDO 6.0 paket programında sayısal örnek üzerinden test edilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çok ürünlü, esnek tedarik zinciri, karma tamsayılı matematiksel model, kapalı döngü, tedarik zinciri ağ tasarımı

A Mixed Integer Linear Programming Model for Multi-Products Closed Loop Flexible Supply Chain with Deterioration Factor

ABSTRACT: Determining positions and number of actors, amount of product flow between them and decreasing transportation costs are handled as a network design problem in supply chain management. Today, on the one hand, while enterprises are expanding their own supply chain networks, on the other hand, they have to solve communication problems and long response time. Mentioned problems can be solved more easily with flexible supply chain instead of traditional supply chain due to dismissing echelons. Some deterioration on multi-products can be performed because of flowing long time and far away distances. This amount of distortion needs to be replaced with new ones in the same phase and at the same time to respond the desired number of demand. This distortion and recycled products can be included into process again with collection and recycling centers in flexible supply chain. In this study, to solve all problems mentioned above simultaneously, a new mixed integer linear programming model is developed for multi-products closed loop flexible supply chain with a deterioration factor. The proposed model is tested via a numerical example on LINDO 6.0 package program and results are discussed.

Key Words: Multi products, flexible supply chain, mixed integer mathematical model, closed loop, supply chain network design

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Üretim ve dağıtımdaki ilerlemeler yüzünden yeni ürün ve hizmetlerin, geliştirme maliyeti düşmekte ve pazarlamanın ağırlığı artmaktadır. Bu artan müşteri talepleri, yerel ve küresel rekabet ve tedarik zinciri üzerindeki baskıyı arttırmaktadır. Rekabette, ayakta kalabilmek için firmalar kendilerini tekrar keşfedip tedarik zincirlerini yüksek maliyetli kırtasiye egzersizinden esnek ve bu günün gereksinimlerine yönelik bir etkinlik haline getirmek zorundadırlar. Geçmişte sabit yatırım tedarik zincirinin en önemli parçası olarak görülürken, günümüzde müşteri merkezli bir yönelim, rekabet edebilecek bir yapının temel taşı olarak görülmektedir (Cisco, 2011).

Geleneksel tedarik zincirleri, müşteri odaklı bir yapıyı sağlamada gerekli şartları sağlamamaktadır. Müşteriye malın teslimi için ürünün belli aşamalardan geçirilmesi, ardıl bir sıranın olması, gereksiz taşıma maliyetlerine ve sürelerine neden olmaktadır. Esnek tedarik zinciri yapısıyla, müşteriye istediği zamanda istediği aşamada cevap verilebilmektedir. Ulaşılmak istenen müşteri sayısının artması, işletmelerde, beraberinde ürün çeşitliğini de getirmektedir. Bu sorunlara birde ürünlerin taşıma esnasındaki bozulmalarını da katarsak, tedarik zinciri ağının bütünleşik bir işbirliği sonucunda tasarlanması elzem olmaktadır.

Bu çalışmada, söz konusu süreci ve işbirliğini matematiksel olarak ifade etmek adına, tedarik zinciri yönetiminde üretim/dağıtım ağları tasarımı ve optimizasyonu için yeni bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model, çok ürünlü, çok aşamalı, kapalı döngü esnek bir tedarik zinciri ağına uygulanmıştır. Giriş niteliğindeki birinci bölümün ardından, ikinci bölümde konuyla ilgili yapılan literatür taramasına yer verilmiş, üçüncü bölümde geliştirilen model, notasyonları, kısıtları ve amaç fonksiyonu ile beraber açıklanmış, son bölümde ise hipotetik verilere dayalı sayısal bir örnekle, profesyonel bir paket programında test edilmiş ve elde edilen optimum sonuçlar yorumlanmıştır.

LİTARETÜR TARAMASI (LITERATURE REVIEW)

Bu bölümde, tedarik zinciri dağıtım ağı tasarımına ilişkin geçmişte yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Williams (1981), tedarik zinciri ağların üretim ve dağıtım operasyonları için amacı maliyetleri minimize etmek olan yedi sezgisel algoritma sunmuştur. 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 küresel 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. Pyke ve Cohen (1993), imalat tesisi, depo ve perakendecilerden oluşan üç seviyeli bütünleşik bir tedarik zinciri için stokastik alt modeller kullanarak matematiksel bir programlama modeli geliştirmişlerdir. Tek ürünün söz konusu olduğu model, servis düzeyi kısıtı altında toplam maliyeti minimize eden ekonomik yeniden sipariş aralığını, ikmal parti hacimlerini ve perakendeciler için maksimum sipariş miktarı seviyesini belirlemektedir. Beamon (1998)'a göre, Arntzen ve diğ. (1995), küresel 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. Özdamar ve Yazgaç (1997), 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 diğ. (1999), bulanık ortamda, seri bağlı bir tedarik zincirinin davranışını modellemiştir. 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. Ganeshan ve diğ. (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 üç 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. Sakawa ve diğ. (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 diğ. (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 programlama yapısındaki bu problemi çözmek için Genetik Algoritmalara dayalı bir algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirilen algoritmanın performansı basit genetik algoritmalar ve LINDO ile karşılaştırılmış, basit genetik algoritmalara göre daha iyi çözümler ve bilgisayar işlem zamanı bakımından daha iyi sonuçlar elde edildiği gösterilmiştir. Yan ve diğ. (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. 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. Chen (2004), talep miktarlarının ve ürün fiyatlarının belirsiz olduğu birçok 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. 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. Paksoy (2005), malzeme ihtiyaç kısıtı altında çok aşamalı bir tedarik zinciri ağı tasarımı için karma tamsayılı bir doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. Altıparmak ve diğ. (2006), çok amaçlı bir tedarik zinciri şebekesi tasarımı problemi için optimum

sonuçlar kümesini bulmak amacıyla genetik algoritmalara dayanan yeni bir çözüm yöntemi önermişlerdir. Lin ve diğ. (2007), melez bir genetik algoritma yöntemiyle, geleneksel bir tedarik zinciri ağı için elde ettiği sonuçları esnek bir tedarik zinciri ağında da çözerek karşılaştırmış ve elde ettiği sonuçlarla esnek tedarik zinciri yapısının avantajlarından bahsetmiştir. Wang (2009), daha önceki çalışmalarda tedarik zincirinin kusursuz bir dengede çalıştığı varsayımını değiştirerek, aşamalar arasındaki dengesizliği kusurlu tedarik zinciri kavramıyla açıklamıştır. Kusurlu tedarik zincirlerinde ağ tasarımı maliyet minimizasyonu için karınca kolonisi yöntemini kullanmıştır. Yang ve diğ. (2009), hammadde tedarikçileri, üreticiler, perakendeciler, müşteriler ve onarım merkezinden oluşan kapalı bir tedarik zinciri ağı için genel bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Değişimsel eşitsizlikler teorisiyle aşamalar arasındaki dengeyi sağlayarak ağ planlaması yapmışlardır. 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. Nagurney (2010), tedarik zinciri boyunca aşamalar arası akışın ve kapasite kullanımının optimal seviyede gerçekleşmesi için maliyet minimizasyonlu bir model önermişlerdir. Geliştirilen model hem ağ tasarımı hem de tasarlanan ağın tekrar tasarlanması için kullanılmıştır. Rezapour and Farahani (2010) rekabetçi ve fiyat tabanlı talep yapısına sahip bir tedarik zinciri için aşamalar arası akışı dengeleyen bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri model tesislerin açma kapama kararlarını verirken aynı zamanda

taktiksel kararlardan stok seviyelerinin belirlenmesini de içermektedir. Wang ve diğ. (2011) çevresel faktörlerin ele alındığı çok amaçlı bir tedarik zinciri ağ tasarımı problemini ele almışlardır. Toplamda iki ana amaç altında modellenen çalışmada birinci amaç toplam taşıma ve stok maliyetleri minimize ederken, ikinci amaç toplam CO₂ miktarını minimize etmeye çalışmaktadır.

Bu çalışmada, Lin ve diğ. (2007)'in esnek tedarik zincirli çalışmasına ek olarak Yang ve diğ. (2009)'nin kapalı döngülü tedarik zinciri yapısı kombine edilerek çok ürünlü çok aşamalı bir tedarik zinciri için karma tamsayı yeni bir doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir (Özceylan, 2010).

ÇOK ÜRÜNLÜ BOZULMA FAKTÖRLÜ KAPALI DÖNGÜLÜ ESNEK BİR TEDARİK ZİNCİRİ İÇİN KARMA TAMSAYILI BİR DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ (A Mixed Integer Linear Programming Model for Multi-Products Closed Loop Flexible Supply Chain with Deterioration Factor)

Bu bölümde, çok ürünlü, bozulma faktörlü, kapalı döngülü esnek bir tedarik zinciri için geliştirilen karma tamsayı doğrusal programlama modeli anlatılmaktadır. Geliştirilen model ile geleneksel tedarik zincirindeki dezavantajlar giderilmeye çalışılmıştır. Modelde kullanılan indisler; $i \in I$, potansiyel fabrikalar kümesini; $j \in J$, depo kümesini; $k \in K$, potansiyel dağıtım merkezleri kümesini; $l \in L$, perakendeciler kümesini; $m \in M$, müşteriler kümesini; $t \in T$, nihai ürün kümesini tanımlamaktadır.

Notasyonlar;

X_{ijt}	i 'nci fabrikadan j 'nci depoya taşınan t 'nci ürün miktarı
Y_{ikt}	i 'nci fabrikadan k 'nci 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 'nci 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 'nci dağıtım merkezinden l 'nci perakendeciye taşınan t 'nci ürün miktarı
F_{kmt}	k 'nci dağıtım merkezinden m 'nci müşteriye taşınan t 'nci ürün miktarı

G_{kt}	k' 'nci 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' 'nci 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' 'nci 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 taşınan t' 'nci ürünün birim taşıma maliyeti
C_{jt}	j' 'nci depodan onarım merkezine taşınan t' 'nci bozuk ürünün birim taşıma maliyeti
C_{klt}	k' 'nci dağıtım merkezinden l' 'nci perakendeciye taşınan t' 'nci ürünün birim taşıma maliyeti
C_{kmt}	k' 'nci dağıtım merkezinden m' 'nci müşteriye taşınan t' 'nci ürünün birim taşıma maliyeti
C_{kt}	k' 'nci dağıtım merkezinden onarım merkezine taşınan t' 'nci 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 ürünün birim taşıma maliyeti
C_{mt}	m' 'nci müşteriden toplama merkezine taşınan t' 'nci ürünün birim taşıma maliyeti
C_t	toplama merkezinden onarım merkezine taşınan t' 'nci ürünün birim taşıma maliyeti
P_t	toplama merkezinden geri dönüşüm merkezine taşınan 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
ϕ_i	$\begin{cases} 1, & i'nci\ fabrikada\ üretim\ gerçekleşirse, \\ 0, & aksi\ halde \end{cases}$
δ_k	k' 'nci dağıtım merkezinin sabit işletme maliyeti
Δ_k	$\begin{cases} 1, & k'nci\ dağıtım\ merkezinde\ üretim\ gerçekleşirse, \\ 0, & aksi\ halde \end{cases}$
a_{it}	i' 'nci fabrikanın t' 'nci ürün kapasitesi
b_{jt}	j' 'nci deponun t' 'nci ürün kapasitesi
d_{kt}	k' 'nci 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 oluşan bozunma oranı
β	i' 'nci fabrikadan k' 'nci dağıtım merkezine mal taşınırken oluşan bozunma oranı
χ	i' 'nci fabrikadan l' 'nci perakendeciye mal taşınırken oluşan bozunma oranı
ε	i' 'nci fabrikadan m' 'nci müşteriye mal taşınırken oluşan bozunma oranı
γ	j' 'nci depodan k' 'nci dağıtım merkezine mal taşınırken oluşan bozunma oranı
η	j' 'nci depodan l' 'nci perakendeciye mal taşınırken oluşan bozunma oranı
κ	j' 'nci depodan m' 'nci müşteriye mal taşınırken oluşan bozunma oranı

- λ k 'nci dağıtım merkezinden l 'nci perakendeciye mal taşınırken oluşan bozunma oranı
 μ k 'nci dağıtım merkezinden m 'nci müşteriye mal taşınırken oluşan bozunma oranı
 ν l 'nci perakendeciden m 'nci müşteriye mal taşınırken oluşan bozunma oranı
 ω 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;

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

Kısıtlar;

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

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

$$\sum_k V_{jkt} + \sum_l A_{jlt} + \sum_m B_{jmt} + D_{jt} \leq b_{jt} \quad \forall_{jt} \quad (5)$$

$$\sum_l E_{klt} + \sum_m F_{kmt} + G_{kt} \leq d_{kt} \cdot \Delta_k \quad \forall_{kt} \quad (6)$$

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

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

$$K_t + L_t \leq g_t \quad \forall_t \quad (9)$$

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

$$\sum_i Q_{it} \leq J_t \quad \forall_t \quad (11)$$

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

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

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

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

$$(1 - \chi) \sum_i Z_{ilt} + (1 - \eta) \sum_j A_{jlt} + (1 - \lambda) \sum_k E_{klt} - \sum_m H_{lmt} = 0 \quad \forall_{lt} \quad (16)$$

$$\chi \sum_i Z_{ilt} + \eta \sum_j A_{jlt} + \lambda \sum_k E_{klt} - I_{lt} = 0 \quad \forall_{lt} \quad (17)$$

$$(1 - \varepsilon) \sum_i W_{imt} + (1 - \kappa) \sum_j B_{jmt} + (1 - \mu) \sum_k F_{kmt} + (1 - \nu) \sum_l H_{lmt} \geq f_{mt} \quad \forall_{mt} \quad (18)$$

$$\omega f_{mt} - J_{mt} = 0 \quad \forall_{mt} \quad (19)$$

$$\pi \sum_m J_{mt} - K_t = 0 \quad \forall_t \quad (20)$$

$$(1 - \pi) \sum_m J_{mt} - L_t = 0 \quad \forall_t \quad (21)$$

$$\vartheta K_t - \sum_m M_{mt} = 0 \quad \forall_t \quad (22)$$

$$(1 - \vartheta) K_t - N_t = 0 \quad \forall_t \quad (23)$$

$$L_t + N_t - \sum_i O_{it} = 0 \quad \forall_t \quad (24)$$

$$\phi_i, \Delta_k = \{0, 1\} \quad \forall_{ik} \quad (25)$$

$$X_{ijt}, Y_{ikt}, Z_{ilt}, W_{imt}, V_{jkt}, A_{jlt}, B_{jmt}, D_{jt}, E_{klt}, F_{kmt}, G_{kt}, H_{lmt}, I_{lt}, J_{mt}, K_t, L_t, M_{mt}, N_t, O_{it} \geq 0 \quad \forall_{ijklmt} \quad (26)$$

Amaç fonksiyonunun ilk kısmı ağıdaki tüm taşıma maliyetlerinin minimizasyonunu sağlamaktadır (1). İkinci kısım, potansiyel fabrikaların ve dağıtım merkezlerinin sabit işletme maliyetlerinin minimize edilmesini sağlamaktadır (2). Eşitlik 3, fabrikalardan çıkan tüm ürün çeşitlerinin fabrika kapasitesinden büyük olamayacağını göstermektedir. Açılabilir fabrika sayısının üst sınırındır (4). Depolardan çıkan ürünlerin depo kapasitesinden büyük

olamayacağını göstermektedir (5). Dağıtım merkezlerinin kapasite kısıtı sağlanmaktadır (6). Açılabilir dağıtım merkezlerinin üst sınırındır (7). Eşitlik 8, perakendeci kapasite kısıtını göstermektedir. Toplama, onarım ve geri dönüşüm merkezlerine ait kapasite kısıtlarını göstermektedir (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 (16, 17). Müşterilere

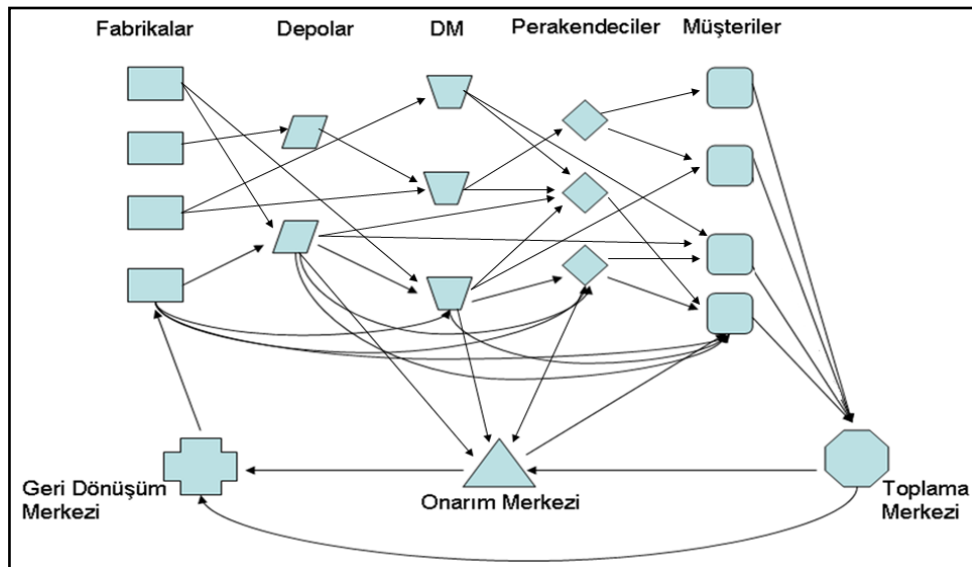
gelen nihai ürün çeşitleri müşteri talebinden küçük olamaz (18). Müşteriler ve toplama merkezleri arasında ki dengenin sağlanmasıdır (19). Toplama merkezi ile onarım merkezi arasındaki denge kısıtı (20). Toplama merkezinden direk geri dönüşüme giden ürüne ait denge kısıtı (21). Onarım merkezi ile müşteriler arasındaki denge kısıtı (22). Onarım merkezi ve geri dönüşüm merkezi arasındaki denge kısıtı (23). Geri dönüşüme gelen tüm ürünlerin onarım ve toplama merkezinden gelmesini sağlar başka bir deyişle geri dönüşüm tesisi için akış denge kısıtıdır (24). Eşitlik 25, potansiyel fabrika ve dağıtım merkezlerinin açılıp açılmamasını sağlamaktadır. Eşitlik 26 ise işaret kısıtıdır.

SAYISAL ÖRNEK (NUMERICAL EXAMPLE)

Bu bölümde, geliştirilen matematiksel modelin daha iyi anlaşılabilmesi için üçüncü 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 1). Nihai müşteriye iki çeşit ürün sunulmaktadır. Zincirin esnek yapısından dolayı, fabrikalardan hem

depolara hem de diğer ögelere 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 dâhil 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 dâhil edilmek üzere fabrikalara yollanmaktadır.

Aşağıda sayısal örneğe ilişkin veriler verilmiştir. Geliştirilen karma tamsayı doğrusal programlama modeli bu veriler doğrultusunda, LINDO 6.0 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 olarak alınmıştır. Örneğe ilişkin diğer bilgiler $\alpha, \beta, \chi, \varepsilon, \gamma, \eta, \kappa, \lambda, \mu, \nu = \%10$; $\varpi = \%20$; $\pi = \%30$; $\vartheta = \%40$; $g_t = \{10000, 10000\}$; $j_t = \{10000, 10000\}$; $h_t = \{10000, 10000\}$.



Şekil 1. Kapalı döngülü esnek tedarik zinciri (Closed-loop flexible supply chain)

Çizelge 1. Birinci aşama birim taşıma maliyetleri (Unit transportation cost of first echelon)

	1. Fabrika		2. Fabrika		3. Fabrika		4. Fabrika	
	1. Ürün	2. Ürün	1. Ürün	2. Ürün	1. Ürün	2. Ürün	1. Ürün	2. Ürün
1. Depo	1	2	1	1	1	2	2	1
2. Depo	1	2	2	1	1	1	1	1
1. DM	2	1	2	2	1	3	2	1
2. DM	2	1	1	2	1	4	3	3
3. DM	1	1	1	3	1	2	3	3
1. Perakendeci	2	2	1	1	1	1	1	1
2. Perakendeci	1	2	1	2	1	2	1	1
3. Perakendeci	1	2	1	1	1	1	1	1
1. Müşteri	5	5	3	3	4	3	4	5
2. Müşteri	5	5	4	4	3	3	4	4
3. Müşteri	4	4	4	4	4	4	5	3
4. Müşteri	3	3	5	5	4	4	4	4

Çizelge 2. İkinci aşama birim taşıma maliyetleri (Unit transportation cost of second echelon)

	1. Depo		2. Depo	
	1. Ürün	2. Ürün	1. Ürün	2. Ürün
1. DM	1	1	2	2
2. DM	1	1	1	2
3. DM	1	1	1	1
1. Perakendeci	2	1	1	5
2. Perakendeci	3	2	2	1
3. Perakendeci	1	3	2	1
1. Müşteri	3	2	4	1
2. Müşteri	2	2	1	2
3. Müşteri	3	4	1	1
4. Müşteri	2	2	1	1
Onarım Merkezi	1	1	1	1

Çizelge 3. Üçüncü aşama birim taşıma maliyetleri (Unit transportation cost of third echelon)

	1. DM		2. DM		3. DM	
	1. Ürün	2. Ürün	1. Ürün	2. Ürün	1. Ürün	2. Ürün
1. Perakendeci	2	1	3	1	1	1
2. Perakendeci	1	2	1	1	1	1
3. Perakendeci	1	1	1	1	1	1
1. Müşteri	2	2	4	1	2	1
2. Müşteri	1	2	5	1	3	4
3. Müşteri	1	4	5	1	1	3
4. Müşteri	3	1	3	1	1	1
Onarım Merkezi	3	1	2	1	3	1

Çizelge 4. Dördüncü aşama birim taşıma maliyetleri (Unit transportation cost of fourth echelon)

	1. Perakendeci		2. Perakendeci		3. Perakendeci	
	1. Ürün	2. Ürün	1. Ürün	2. Ürün	1. Ürün	2. Ürün
1. Müşteri	1	1	1	2	3	1
2. Müşteri	2	1	1	1	1	1
3. Müşteri	1	1	1	2	2	1
4. Müşteri	1	1	1	1	1	2
Onarım Merkezi	2	1	2	1	3	2

Çizelge 5. Beşinci aşama birim taşıma maliyetleri (Unit transportation cost of fifth echelon)

	1. Müşteri		2. Müşteri		3. Müşteri		4. Müşteri	
	1. Ürün	2. Ürün	1. Ürün	2. Ürün	1. Ürün	2. Ürün	1. Ürün	2. Ürün
Toplama Merkezi	2	1	3	1	3	1	2	1

Çizelge 6. Altıncı aşama birim taşıma maliyetleri (Unit transportation cost of sixth echelon)

	Onarım Merkezi	Geri Dönüşüm Merkezi

1. Ürün	2	4
2. Ürün	3	3

Çizelge 7. Yedinci aşama birim taşıma maliyetleri (Unit transportation cost of seventh echelon)

	1. Müşteri	2. Müşteri	3. Müşteri	4. Müşteri	Geri Dönüşüm Merkezi
1. Ürün	2	3	2	3	3
2. Ürün	1	1	1	1	2

Çizelge 8. Sekizinci aşama birim taşıma maliyetleri (Unit transportation cost of eighth echelon)

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

Çizelge 9. Fabrika ve dağıtım merkezi sabit açılış maliyeti (Fixed costs of plants and distribution centers)

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

Çizelge 10. Kapasite ve talep miktarları (capacities and demands)

	1. Fab	2. Fab	3. Fab	4. Fab	1. Depo	2. Depo	1. DM	2. DM	3. DM
1. Ürün	3000	2500	3200	3100	2900	2800	2300	2150	2200
2. Ürün	3000	2500	3200	3100	3100	3000	2000	1900	2100
	1. Perak	2. Perak	3. Perak		1. Müştreri	2. Müştreri	3. Müştreri	4. Müştreri	
1. Ürün	1000	1000	1200		1800	1500	1600	1600	
2. Ürün	1050	900	1100		1600	1900	1900	2000	

Çözüm (Solution)

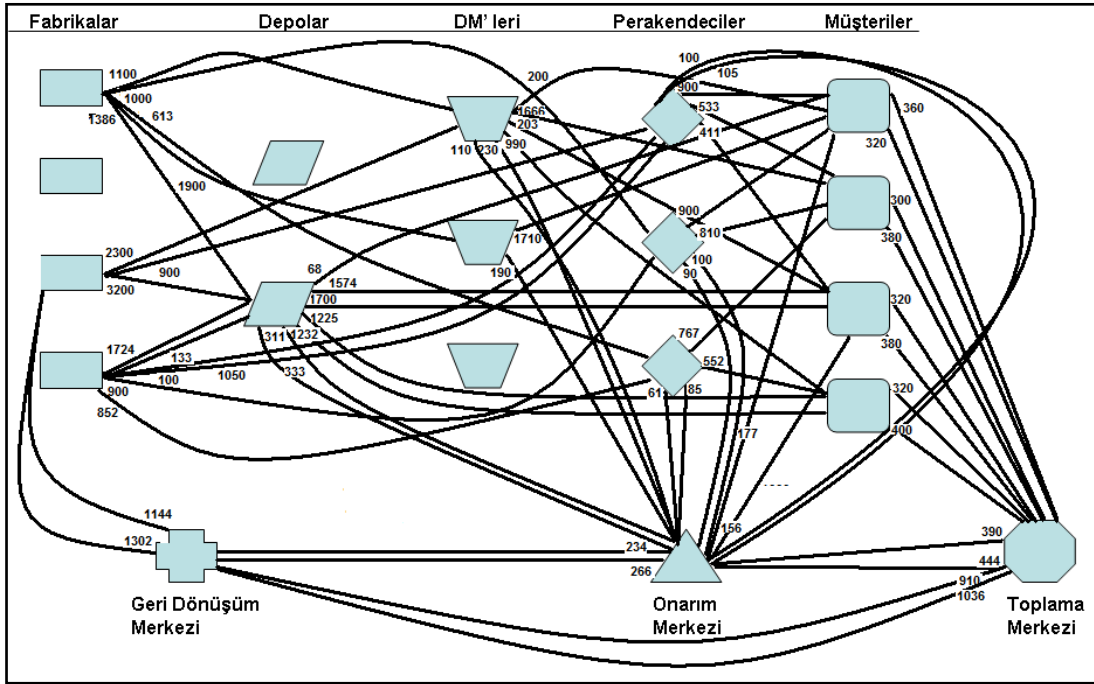
LINDO 6.0 paket programı ile elde edilen sonuçlar aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 11).

Çizelge 11. LINDO 6.0 paket programı ile elde edilen sonuçlar (Obtained results via LINDO 6.0 package program)

Değişken	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer
X _{1,2,1}	1386	Z _{4,2,2}	900	F _{1,4,2}	990	I _{1,1}	100	J _{4,1}	320
X _{3,2,2}	3200	Z _{4,3,2}	852	F _{2,1,2}	1710	I _{1,2}	105	J _{4,2}	400
X _{4,2,1}	1724	B _{2,1,2}	68	G _{1,1}	230	I _{2,1}	100	K ₁	390
X _{4,2,2}	133	B _{2,3,1}	1574	G _{1,2}	110	I _{2,2}	90	K ₂	444
Y _{1,1,2}	1100	B _{2,3,2}	1700	G _{2,2}	190	I _{3,1}	61	L ₁	910
Y _{1,2,2}	1900	B _{2,4,1}	1225	H _{1,1,1}	900	I _{3,2}	85	L ₂	1036
Y _{3,1,1}	2300	B _{2,4,2}	1232	H _{1,2,2}	533	J _{1,1}	360	M _{1,2}	177
Z _{1,2,1}	1000	D _{2,1}	311	H _{1,3,2}	411	J _{1,2}	320	M _{3,1}	156
Z _{1,3,1}	613	D _{2,2}	333	H _{2,1,1}	900	J _{2,1}	300	N ₁	234
Z _{3,1,1}	900	F _{1,1,1}	200	H _{2,2,2}	810	J _{2,2}	380	N ₂	266
Z _{4,1,1}	100	F _{1,2,1}	1666	H _{3,2,2}	767	J _{3,1}	320	O _{3,1}	1144
Z _{4,1,2}	1050	F _{1,3,1}	203	H _{3,4,1}	552	J _{3,2}	380	O _{3,2}	1302

LINDO 6.0 paket programından çıkan sonuçlara göre fabrikalardan birinci, üçüncü ve dördüncü fabrikalar, dağıtım merkezlerinden ise birincisi ve ikincisi açılmış ve toplam taşıma ve açma-kapama maliyetleri 67.473 TL olarak hesaplanmıştır. 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.



Şekil 2. Optimum tedarik zinciri ağı (Optimal supply chain network)

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. 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 olan ürün talepleri, fabrikalar hariç onarım merkezinde dâhil 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 dâhil edilmesi için sırasıyla 1144 ve 1302 adet ürün teslim edilmiştir.

SONUÇ ve TARTIŞMALAR (RESULTS and DISCUSSIONS)

Küresel ekonominin ve e-ticaretin hüküm sürdüğü günümüz piyasalarında, eğer işletmeler kendi pazarlarında lider olmak istiyorlarsa, uluslararası tedarik zinciri ağına ve lojistik bilgisine sahip olmak zorundadırlar. Ağ boyutuyla, taşıma maliyetleri ve müşterilere cevap verme süresi doğru orantılıdır. TZ Yönetimi bu aşamada bir ikilem yaşamaktadır. Bir yandan pazarda pay kapabilmek için uluslararası 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 esnasında oluşan problemlere, azalan kaynakların yarattığı zorlukları da 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. 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 döngülü esnek bir tedarik zinciri ağının tasarımında kullanılmıştır.

Sırt çantası (Knapsack) problemi ile kaynak tahsisi (resource allocation) probleminin kombinasyonu olan bu tarz problemler literatürde NP-zor olarak tanımlanmıştır [11]. Dolayısıyla, önerilen modelin problem hacmi veya boyutu büyüdükçe optimizasyon paket programlarıyla çözüm zorlaşacak ve sezgisel çözümlere başvuru ihtiyacı doğacaktır. Bu nedenle, ileriki çalışmalarda bu ve benzer modellerin sezgisel yaklaşımlarla ele alınması önerilebilir. 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 belirsizlikleri de içerecek şekilde stokastik bir yapıda model tekrar kurulabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Altıparmak, F., Gen, M., Lin, L., Paksoy, T., 2006, "A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks", *Computers & Industrial Engineering*, Cilt: 51, ss: 197-216.
- Arntzen, B. C., Gerald G. B., Terry P. H., Linda L. T., 1995, "Global supply chain management at digital equipment corporation", *Interfaces*, Cilt: 25, ss: 69-93.
- Beamon, B. M., 1998, "Supply chain design and analysis: models and methods", *International Journal of Production Economics*, Cilt: 55, Sayı: 3, ss: 281-294.
- Chen, Z. L., 2004, "Integrated production and distribution operations: taxonomy, models and review" *Handbook of Quantitative Supply Chain Analysis: Modeling in the E-Business Era*, Kluwer Academic Publishers, New Jersey, ss: 412-444.
- Cisco, 2011, "Tedarik zinciri yönetimi", http://www.cisco.com/web/TR/solutions/ent/bus_solutions/scm_home.html, Erişim tarihi: 14.10.2012.
- Cohen, M. A., Lee, H. L., 1989, "Resource deployment analysis of global manufacturing and distribution networks", *Journal of Manufacturing and Operations Management*, Cilt: 2, ss: 81-104.
- Ganeshan, R., Bone, T., Stenger, A.J., 2001, "The impact of inventory and flow planning parameters on supply chain performance: an exploratory study", *International Journal of Production Economics*, Cilt: 71, ss: 111-118.
- Gen, M., Syarif, A., 2005, "Hybrid genetic algorithm for multi-time period production distribution planning", *Computers & Industrial Engineering*, Cilt: 48, ss: 799-809.
- 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*, Cilt: 3, Sayı: 1, ss: 1-12.
- Nagurney, A., Toyasaki, F., 2005, "Reverse supply chain management and electronic waste recycling: a multi-tiered network equilibrium framework for e-cycling", *Transportation Research Part E*, Cilt: 41, Sayı: 1, ss: 1-28.

- Nagurney, A., 2010, "Optimal supply chain network design and redesign at minimal total cost and with demand satisfaction", *International Journal of Production Economics*, Cilt: 128, Sayı: 1, ss: 200-208.
- Özceylan, E., 2010, *Tedarik zinciri yönetiminde üretim/dağıtım ağlarının tasarımına yeni model yaklaşımları*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, ss: 1-164.
- Özdamar, L., Yazgaç, T., 1997, "Capacity driven due date settings in make-to-order production systems", *International Journal of Production Economics*, Cilt: 49, Sayı: 1, ss: 29-44.
- Paksoy, T., 2005, "Tedarik zinciri yönetiminde dağıtım ağlarının tasarımı ve optimizasyonu: malzeme ihtiyaç kısıtı altında stratejik bir üretim-dağıtım modeli", *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt: 14, ss: 435-454.
- Petrovic, D., Roy, R., Petrovic, R., 1999, "Supply chain modeling using fuzzy sets", *International Journal of Production Economics*, Cilt: 59, ss: 443-453.
- Pyke, D. F., Cohen, M. A., 1993, "Performance characteristics of stochastic integrated production/distribution systems", *European Journal of Operational Research*, Cilt: 68, Sayı: 1, ss: 23-48.
- 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*, Cilt: 141, ss: 167-185.
- Rezapour, S., Farahani, R. Z., 2010, "Strategic design of competing centralized supply chain networks for markets with deterministic demands", *Advances in Engineering Software*, Cilt: 41, Sayı: 5, ss: 810-822.
- Syarif, A., Yun, Y., Gen, M., 2002, "Study on multi-stage logistics chain network: a spanning tree-based genetic algorithm approach", *Computers & Industrial Engineering*, Cilt: 43, Sayı: 1-2, ss: 299-314.
- Tuzkaya, U., Önüt, S., 2009, "A holonic approach based integration methodology for transportation and warehousing functions of the supply network", *Computers & Industrial Engineering*, Cilt: 56, ss: 708-723.
- Wang, H. S., 2009, "A two-phase ant colony algorithm for multi echelon defective supply chain network design", *European Journal of Operation Research*, Cilt: 192, Sayı: 1, ss: 243-252.
- Wang, F., Lai, X., Shi, N., 2011, "A multi-objective optimization for green supply chain network design", *Decision Support Systems*, Cilt: 51, Sayı: 2, ss: 262-269.
- Williams, J. F., 1981, "Heuristic techniques for simultaneous scheduling of production and distribution in multi-echelon structures: theory and empirical comparisons", *Management Science*, Cilt: 27, Sayı: 3, ss: 336-352.
- 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*, Cilt: 30, Sayı: 14, ss: 2135-2155.
- Yang, G., Wang, Z., Li, X., 2009, "The optimization of the closed-loop supply chain network", *Transportation Research Part E*, Cilt: 45, Sayı: 1, ss: 16-28.
- Yılmaz, P., 2004, *Strategic level three-stage production distribution planning with capacity expansion*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Graduate School of Engineering and Natural Sciences, Sabancı University, İstanbul, ss: 1-60.