

ÇOK AŞAMALI BÜTÜNLEŞİK LOJİSTİK AĞI OPTİMİZASYONU PROBLEMİNİN MELEZ GENETİK ALGORİTMA İLE ÇÖZÜMÜ

Neslihan DEMİREL*, **Hadi GÖKÇEN***, **M.Ali AKÇAYOL****, **Eray DEMİREL*****

*Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Maltepe, Ankara,

**Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Maltepe, Ankara,

***Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Çankaya, Ankara,

neslihanozgun@gazi.edu.tr, hgokcen@gazi.edu.tr, akcayol@gazi.edu.tr, eray_demirel@hotmail.com

(Geliş/Received: 17.05.2011; Kabul/Accepted: 24.08.2011)

ÖZET

Artan çevre bilinci, kanunlar ve ekonomik nedenler, son yıllarda tersine lojistik konusuna olan ilgiyi arttırmıştır. Tersine lojistik konusunda en önemli ve ilgi çekici problemlerden birisi, tersine lojistik ağı tasarımıdır. Bu çalışmada, genel bütünleşik bir lojistik ağı tasarımı için kapasite kısıtlı, çok aşamalı, çok ürünlü bir karma tamsayı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Problem, ileri ve geri ağda yer alan tesislerin sayı ve yerlerinin belirlenmesi ile müşteri taleplerinin minimum maliyetle karşılanacağı dağıtım ağının tasarlanması kararlarını içermektedir. Modelin karmaşık yapısından dolayı, sezgisel yöntem ile doğrusal programlamayı birlikte kullanan genetik algoritma tabanlı melez bir çözüm yöntemi geliştirilmiş ve üretilen farklı boyuttaki test problemleri için GAMS-CPLEX ve geliştirilen çözüm yönteminden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Geri kazanım, ağ tasarımı, matematiksel model, melez genetik algoritma.

A HYBRID GENETIC ALGORITHM FOR MULTISTAGE INTEGRATED LOGISTICS NETWORK OPTIMISATION PROBLEM

ABSTRACT

Reverse logistics has received growing attention throughout this decade because of the increasing environmental concern, government regulations and economical reasons. The design of reverse logistics network is one of the most important and challenging problems in the field of reverse logistics. This paper proposes a capacitated, multi-echelon, multi-product mixed integer linear programming model for generic integrated logistics network design. The problem includes the decision of the number and location of forward and reverse plants and the distribution network design to satisfy the demands of customers with minimum cost. Because of the complexity of the model, a solution methodology based on the genetic algorithm which hybridizes the heuristic approach with LP is developed. Results obtained by GAMS-CPLEX and proposed solution methodology are compared for different sized test problems.

Keywords: Recovery, network design, mathematical model, hybrid genetic algorithm.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Lojistik faaliyetleri tedarik zincirindeki malzemelerin ileri doğru akışını içerirken tersine lojistik, ürünlerin yeniden kullanılabilir duruma getirilmesi amacıyla başlangıç noktası kullanıcılar olan geri akışı konu edinir [1]. Günümüzde geri dönen ürünlere büyük önem verilmekte ve hayat çevrimini tamamlamış ürünler için imalatçılara sorumluluklar yüklenmektedir.

Atık arazilerinin kapasitelerinin gün geçtikçe daralması, atıkların azaltılmasını endüstriyel ülkelerde en önemli ilgi alanlarından biri haline getirmiştir [2]. Firmaları tersine lojistik uygulamalarını sistemlerine dâhil etmeye yönlendiren pek çok tetikleyici unsur bulunmaktadır. Bu unsurlar; ekonomik nedenler, kanunlar ve artan sorumluluklar olarak üç temel kategori halinde sınıflandırılabilir. Tersine lojistik,

firmalar için çoğunlukla bu faktörlerin bir karması olarak ortaya çıkmaktadır [3].

Fleischmann vd. tersine lojistiği “Kullanıcısına artık gerekmeyen kullanılmış üründen, pazarda yeniden kullanılabilen ürüne kadarki tüm lojistik faaliyetlerini kapsayan bir süreç” olarak tanımlamışlardır [1]. Bu tanıma göre tersine lojistik, dağıtım planlaması açısından, kullanılmış ürünün son kullanıcıdan üreticiye doğru fiziksel olarak taşınmasını içerir. Sonraki adım, geri dönmüş ürünün üretici tarafından yeniden kullanılabilir ürün haline dönüştürülmesidir. Tersine akış, sadece kullanılmaz hâle gelen, hayat çevrimini tamamlamış ürünlerin geri dönmesiyle oluşmaz, perakendecilerin satamadığı ürünlerin geri dönüşleri, üretim hatalarından kaynaklanan geri dönüşler, garanti kapsamındaki ürün dönüşleri de tersine akış nedenleri arasında yer almaktadır.

Genel bir tersine lojistik sistemi toplama, sınıflandırma, ayrıştırma, yeniden işleme ve yeniden dağıtım faaliyetlerini içerir. Bütün tersine lojistik sistemleri bu faaliyetleri kısmen ya da tamamen içerir. Farklılık, yeniden işleme faaliyetinde meydana gelir. Yeniden işleme için tamir etme, ürün yenileme, yeniden imalat, geri dönüşüm gibi pek çok farklı geri kazanım opsiyonu kullanılabilir. Bahsedilen geri kazanım opsiyonlarının uygulanması, teknik açıdan mümkün olsa bile, ekonomik açıdan çekici olmayabilir. Bu yüzden, toplam geri kazanım maliyetlerinin büyük kısmını oluşturan taşıma maliyetini azaltmak amacıyla etkili bir lojistik ağı tasarlanması gerekmektedir. Lojistik ağı tasarımında, ürünlerin kullanıcılarından tesislere taşınması ve buradan da yeniden pazara sunulması için yerleşim yerlerinin tespiti, açılacak tesisler ve her bir tesis arasında taşınacak ürün ve parça miktarları alınması gereken önemli kararlar arasındadır [2]. Bu çalışmada, ürünlerin ileri ve geri yönlü akışını dikkate alan genel, bütünleşik bir lojistik ağı için, toplam sistem maliyetini minimize etmek üzere dağıtım merkezleri ve toplama merkezlerinin açılıp/açılmama kararlarının alındığı, karma tamsayılı doğrusal programlama modeli (MILP) formüle edilmiş ve modelin yapısı NP-Zor olduğundan [4] kısa sürelerde optimuma yakın çözümler elde etmek üzere sezgisel çözüm yöntemi geliştirilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)

Tersine lojistikte ağ tasarımını konu edinen literatür oldukça geniştir. Literatürde, bu alanda yapılmış çalışmalar için farklı sınıflandırmalar yapılmıştır. İçerdiği modelin yapısı (MILP, Çok amaçlı gibi), örnek olay içeren çalışmalar, kullanılan geri kazanım opsiyonu ve çözüm yöntemi dikkate alınarak yapılan sınıflandırmalar bunlara örnek verilebilir. Literatürdeki bir diğer sınıflandırma şekli de sadece tersine akışın ele alındığı bağımsız modeller ve ileri ve geri akışın birlikte ele alındığı bütünleşik modeller

olarak karşımıza çıkmaktadır. Tersine lojistik ağı tasarımını ve matematiksel modelini ele alan çalışmalar için [1; 5-10] tarafından yapılan inceleme makaleleri referans gösterilebilir.

Diğer taraftan, günümüzün karmaşık ve zor koşulları, problemlere hızlı ve kolay çözüm veren yeni çözüm yöntemleri arayışına neden olmuştur. Özellikle sert optimizasyon teknikleri yerine, yumuşak hesaplama ve evrimsel algoritma kullanımı ön plana çıkmıştır. Evrimsel yaklaşımlardan olan genetik algoritmalar da, bu arayışlar içinde önemli bir yer tutmaya başlamıştır [11]. Tersine lojistik ağlarının tasarımında geliştirilen modelin karmaşıklığı nedeniyle genetik algoritmayı kullanan literatür oldukça geniştir. Kusumastuti vd., yapmış oldukları çalışmada, ürünlerin geri kazanımı için çok amaçlı, çok ürünlü, çok dönemli bir tersine lojistik ağı tasarlamış ve problemi yayılan ağaç temelli genetik algoritma ile çözmüşlerdir [12]. Ko ve Evans, çalışmalarında bütünleşik lojistik ağı için, çok dönemli ve çok ürünlü, karma tamsayılı, doğrusal olmayan programlama (MINLP) modeli formüle ederek, modelin çözümü için genetik algoritma tabanlı bir sezgisel geliştirmişlerdir [13]. Lee vd., çok ürünlü, ürünlerin geri döndüğü tesisler, ayrıştırma tesisleri, işleme tesisleri ve tedarikçilerden oluşan 3 aşamalı lojistik ağı için matematiksel model geliştirmişlerdir. İlk iki aşamanın çözümü için ağırlık eşleştirmeli çaprazlama (weight mapping crossover) operatörü kullanan öncelik tabanlı genetik algoritma yaklaşımı, 3. aşamanın çözümü için ise sezgisel bir yaklaşım kullanmışlardır [14]. Yazarlar, diğer bir çalışmada, 3 aşamalı lojistik ağı için birden fazla dönem içeren ve stok maliyetlerini de dikkate alan, tek ürünlü matematiksel model geliştirmişler, modelin çözümünde yine aynı yaklaşımı uygulamışlardır [15]. Kannan vd., pillerin geri dönüşümünü içeren, bütünleşik bir ağ için çok aşamalı, çok dönemli, çok ürünlü MILP modeli geliştirerek, genetik algoritma yardımıyla çözmüşlerdir [16]. Tang ve Xie, müşteriler, toplama merkezleri, tamir merkezleri ve tesislerden oluşan bir tersine lojistik ağının, çok dönemli matematiksel modelini formüle ederek, maliyet minimizasyonu sağlamak amacıyla genetik algoritma tabanlı bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir [17]. Min ve Ko, tamir merkezlerinin sayısı ve lokasyonlarını belirlemek üzere, çok ürünlü ve çok dönemli bütünleşik bir lojistik ağı için matematiksel model geliştirmişler ve genetik algoritma ile çözmüşlerdir [18]. Zarei vd., yeni araçların dağıtımını ve ELV'lerin (hayat çevrimini tamamlamış araçlar) toplanmasını dikkate alan bütünleşik bir lojistik ağı tasarlamışlardır. Yazarlar, taşıma ve ağ tasarım maliyetlerini minimize etmek üzere matematiksel bir model formüle ederek, modelin çözümü için genetik algoritma tabanlı bir sezgisel geliştirmişlerdir [4]. Shi vd., çalışmalarında tıbbi atıkların yönetimi için hastaneler, toplama merkezleri, işleme merkezleri ve tesislerden oluşan tersine lojistik ağı tasarlayarak, geliştirdikleri modeli genetik

algoritma yardımıyla çözmüşlerdir [19]. Zhou vd., müşterilerden ve tamir merkezlerinden geri dönen ürünlerin toplandığı geri dönüş tesislerinin sayılarının ve yerlerinin belirlenmesi amacıyla bütünleşik bir lojistik ağı için MINLP modeli geliştirerek, genetik algoritma yardımıyla çözmüşlerdir [20].

Literatürde melezleme tipleri, iki sezgiselin melezlenmesi ve bir sezgisel ile kesin çözüm veren algoritmanın melezlenmesi şeklinde iki kısımda incelenmektedir [21]. İleri yönlü, çok aşamalı tedarik zinciri ağı tasarımı için sezgisel çözüm yöntemi ile doğrusal programlamayı melezleyen çalışmalar [22-24] tarafından yapılmıştır. [22], sezgisel çözüm yöntemi olarak memetik algoritmayı kullanırken, [23], dağılık arama algoritmasını, [24] ise genetik algoritmayı kullanmışlardır. Bu çalışmada farklı olarak, geleneksel ileri akış ile hayat çevrimini tamamlamaları nedeniyle müşterilerden geri dönen ürünlerin tersine akışını eş zamanlı olarak ele alan bütünleşik bir ağ yapısı için model kurulmuş, çözüm yöntemi olarak da genetik algoritma ve doğrusal programlama yaklaşımı birlikte kullanılmıştır.

3. MATEMATİKSEL MODEL (MATHEMATICAL MODEL)

Müşteri taleplerinin karşılanması için ürünlerin ileri yönlü hareketine ve müşterilerden dönen ürünlerin geri kazanılması için ters yönlü hareketine imkan veren, genel bütünleşik bir lojistik ağı tasarlanmıştır (Şekil 1). Burada, üründen kasıt, geri kazanımı teknik açıdan mümkün ve ekonomik açıdan avantajlı olan ya da geri kazanımı kanunlar tarafından zorunlu kılınan genel bir ürün yapısıdır. İleri yönlü akış dâhilinde, üretim tesislerinde üretilen ürünler dağıtım merkezlerine, buradan da talepleri karşılamak üzere müşterilere gönderilmektedir. Müşterilerden ürünlerin belirli bir yüzdesi hayat çevrimlerini tamamladıklarında geri dönmektedir. Müşteriler tarafından istenmeyen bu ürünler, geri akışa dâhil olarak toplama merkezlerinde toplanmakta, buradan da geri kazanım tesislerine yollanmaktadır. Geri kazanım tesislerinde kalite kontrollerinden geçen ürünlerin uygun kalitede olanları, çeşitli işlemlerden geçirilerek yeniden ileri akışa dâhil olmak üzere üretim tesislerine gönderilmekte, kalite şartlarını sağlamayan ürünler ise belirli bir maliyete katlanılarak, çevreye en az zararı verecek uygun şekilde bertaraf edilmektedir.

3.1. Notasyonlar (Notations)

İndisler

i ürünler
k fabrikalar

l aday dağıtım merkezleri
m müşteriler
n aday toplama merkezleri
p yeniden işleme merkezleri

Parametreler

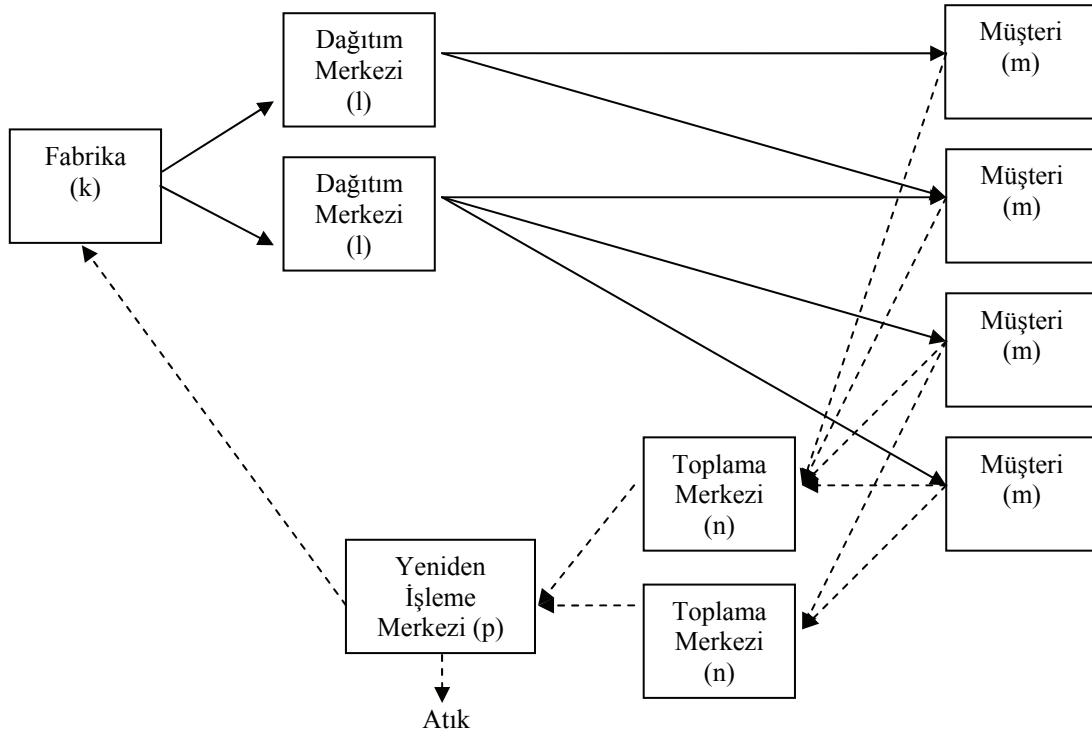
f_i : l dağıtım merkezini açık tutma maliyeti
 f_n : n toplama merkezini açık tutma maliyeti
 PC_{ik} : i ürününü k tesisinde üretim maliyeti
 RC_{ip} : i ürününü p tesisinde yeniden işleme maliyeti
 DC_i : i ürününü elden çıkarma maliyeti(atık maliyeti)
 CC_i : i ürününü toplama maliyeti
 t_i : i ürününü km başına br. ileri taşıma maliyeti
 r_i : i ürününü km başına br. geri taşıma maliyeti
 CAP_l : l dağıtım merkezi kapasitesi
 CAP_n : n toplama merkezi kapasitesi
 CAP_p : p yeniden işleme merkezi kapasitesi
 s_i : i ürünü için geri dönüş oranı
 b_i : i ürünü için yeniden işleme tesisinde kalite şartlarını sağlayan kısım
 D_{im} : m müşterisinin i ürünü talebi

Karar Değişkenleri

x_{ikl} : k fabrikasından l dağıtım merkezine taşınan i ürünü miktarı
 x_{ilm} : l dağıtım merkezinden m müşterisine taşınan i ürünü miktarı
 y_{imn} : m müşterisinden n toplama merkezine taşınan i ürünü miktarı
 y_{inp} : n toplama merkezinden p yeniden işleme merkezine taşınan i ürünü miktarı
 y_{ipk} : p yeniden işleme merkezinden k üretim tesisine taşınan i ürünü miktarı
 q_{ik} : i ürününden k tesisinde üretilen miktar
 $z_l=1$ l dağıtım merkezi açılırsa, 0 dd.
 $z_n=1$ n toplama merkezi açılırsa, 0 dd.

3.2. Formülasyon (Formulation)

Geliştirilen çok aşamalı, çok ürünlü, kapasite kısıtlı, MILP modelinde ileri ve geri akışlar birlikte dikkate alınmıştır. Model, tek bir dönem için formüle edilmiştir. Modelde, geri kazanım tesislerinde yeniden işlenen ürünlerin, üretim tesislerinde üretilen yeni ürünlerle aynı kalite şartlarını sağladığı varsayılmıştır. Her bir ürün tipi için, farklı oranlarda geri dönüş ve kalite uygunluk oranının olduğu ve müşterilerden dönen ürün miktarlarının, müşteri taleplerinden küçük olduğu varsayılmıştır. Modelde, müşteri talepleri karşılanmalıdır. Uygun kalitede olmayan ürünlerin, geri kazanım tesislerinde belirli bir maliyete katlanılarak bertaraf edildiği varsayılmıştır. İleri ve geri yönlü taşıma maliyetleri birbirinden farklı olarak alınmıştır. Modele ilişkin formülasyon aşağıda verilmiştir:



Şekil 1. Bütünleşik Lojistik Ağı (Integrated Logistics Network)

Amaç Fonksiyonu

Tesis açma maliyeti

$$\sum_l f_l \cdot z_l + \sum_n f_n \cdot z_n +$$

Üretim maliyeti

$$\sum_{ik} PC_{ik} \cdot q_{ik} +$$

İleri yönlü taşıma maliyeti

$$\sum_{ikl} t_i \cdot x_{ikl} \cdot d_{kl} + \sum_{ilm} t_i \cdot x_{ilm} \cdot d_{lm} +$$

Geri yönlü taşıma maliyeti

$$\sum_{imn} r_i \cdot y_{imn} \cdot d_{mn} + \sum_{inp} r_i \cdot y_{inp} \cdot d_{np} + \sum_{ipk} r_i \cdot y_{ipk} \cdot d_{pk} +$$

Toplama maliyeti

$$\sum_{imn} CC_i \cdot y_{imn} +$$

Yeniden işleme maliyeti

$$\sum_{inp} RC_{ip} \cdot y_{inp} \cdot b_i +$$

Atık maliyeti

$$\sum_{inp} DC_i \cdot y_{inp} \cdot (1 - b_i) \quad (1)$$

Kısıtlar

$$q_{ik} + \sum_p y_{ipk} = \sum_l x_{ikl} \quad \forall i, k \quad (2)$$

$$\sum_k x_{ikl} = \sum_m x_{ilm} \quad \forall i, l \quad (3)$$

$$\sum_l x_{ilm} \geq D_{im} \quad \forall i, m \quad (4)$$

$$\sum_n y_{imn} \leq \sum_l x_{ilm} \cdot s_i \quad \forall i, m \quad (5)$$

$$\sum_m y_{imn} = \sum_p y_{inp} \quad \forall i, n \quad (6)$$

$$\sum_n y_{inp} \cdot b_i \geq \sum_k y_{ipk} \quad \forall i, p \quad (7)$$

$$\sum_{ik} x_{ikl} \leq CAP_l \cdot z_l \quad \forall l \quad (8)$$

$$\sum_{im} y_{imn} \leq CAP_n \cdot z_n \quad \forall n \quad (9)$$

$$\sum_{in} y_{inp} \leq CAP_p \quad \forall p \quad (10)$$

$$z_l, z_n \in \{0,1\} \quad (11)$$

$$x_{ikl}, x_{ilm}, y_{imn}, y_{inp}, y_{ipk}, q_{ik} \geq 0 \text{ ve Tamsayı} \quad (12)$$

Modelde Eş. (1) tüm maliyetleri içeren amaç fonksiyonu değeridir. Eş. (2) her bir k üretim tesisinde üretilen ve buraya yeniden işleme merkezlerinden gelen ürün miktarlarının, dağıtım merkezlerine gönderilmesini sağlamaktadır. Eş. (3) dağıtım merkezi için akış denge kısıtıdır. Eş. (4) taleplerin karşılanmasını sağlamaktadır. Eş. (5) müşterilerden dönen ürün miktarının, müşteri talebinin belirli bir yüzdesini aşmasını önlemektedir. Eş. (6) toplama merkezi için akış denge kısıtıdır. Eş. (7) her bir yeniden işleme tesisinden, üretim tesislerine giden ürün miktarının, yeniden işleme tesisine toplama merkezlerinden gelen ürünlerin uygun kalitede olan kısmını aşmasını önlemektedir. Eş. (8) dağıtım merkezi için kapasite kısıtıdır. Eş. (9) toplama merkezi için kapasite kısıtıdır. Eş. (10) yeniden işleme tesisi için kapasite kısıtıdır. Eş. (11) ve Eş. (12) 0-1 değişkenlere ait kısıtları ve negatif olmama ile tamsayı kısıtlarını göstermektedir.

4. MELEZ ÇÖZÜM YÖNTEMİ (HYBRID SOLUTION METHOD)

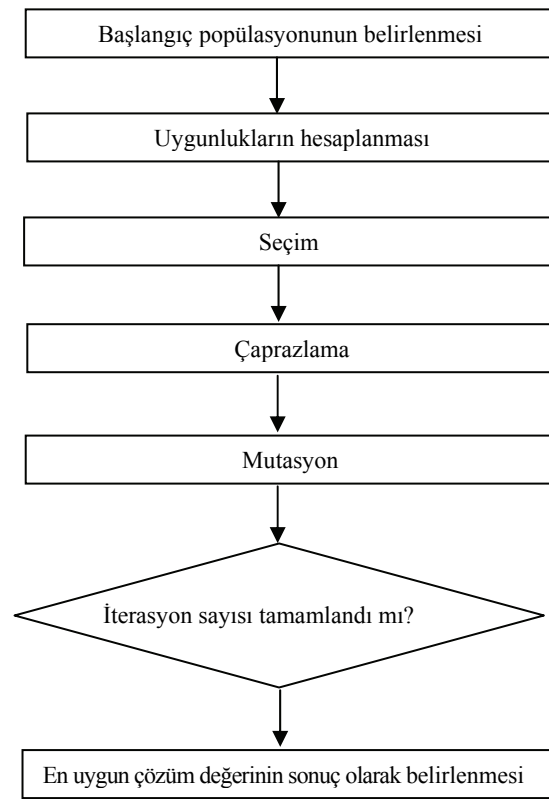
Tesislerin açılıp/açılmama kararlarının alındığı çok aşamalı lojistik problemleri NP-Zor sınıfına girmektedir [25]. Bu türde problemlerin çözümü için, son yıllarda genellikle evrimsel algoritmaların kullanımı ön plana çıkmıştır.

Geliştirilen kapasite kısıtlı, çok aşamalı, çok ürünlü MILP modelinde, açılacak olan tesislerin belirlenmesi, modelin doğrusal programlama modeli yapısına dönüşmesini sağlayacaktır. 0,1 değişkenlerin olmadığı bu tip problemlerinin Lingo, Cplex gibi optimizasyon yazılım paketleriyle çözümü daha kolaydır [24]. Buradan hareketle, orta ve büyük boyutlu problemlerin çözümlerinin makul sürelerde elde edilebilmesi amacıyla, sezgisel yaklaşım ile Cplex'in birlikte kullanıldığı melez bir algoritma geliştirilmiştir.

Modelde yer alan 0,1 değişkenlerin belirlenebilmesi için, doğal seçim ilkelerine dayanan bir arama ve optimizasyon yöntemi olan ve 1975 yılında Holland tarafından ortaya atılan Genetik Algoritma (GA) kullanılmıştır. GA, Darwin'in canlı organizmalar için kurduğu Evrim teorisi üzerine kurulmuştur. GA, sezgisel olarak daha iyi olan çözümü bulmak için, çözüm kümesinin oluşturduğu popülasyonu eş zamanlı olarak inceleyerek, en iyi bireyin hayatta kalması temeline dayanır. Çözüm uzayının büyük olduğu karmaşık problemlerin çözümünde geleneksel yöntemler etkili sonuçlar vermemektedir. Bu tip problemlerin çözümü için, çözüm uzayını tamamen tarayan çözüm yöntemleri yerine, geliştirilen bir sistematige göre çözüm uzayının belirli bir kısmını tarayan sezgisel yaklaşımların kullanımı oldukça popüler hâle gelmiştir. Geleneksel optimizasyon yöntemlerine göre farklılıkları olan GA'lar, parametre kümesini değil, kodlanmış biçimlerini kullanırlar. Olasılık kuramı dâhilinde çalışırlar ve yalnızca amaç

fonksiyonuna gerek duyarlar. Çözüm uzayının tamamını değil, belirli bir kısmını tararlar, böylece etkin arama ile daha kısa sürede sonuca ulaşırlar [26]. Meta-sezgiseller arasından GA'nın seçilme nedeni, tabu arama, tavlama benzetimi gibi diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında, her bir aşamada tek bir çözüm yerine, bir çözüm kümesini dikkate almasıdır.

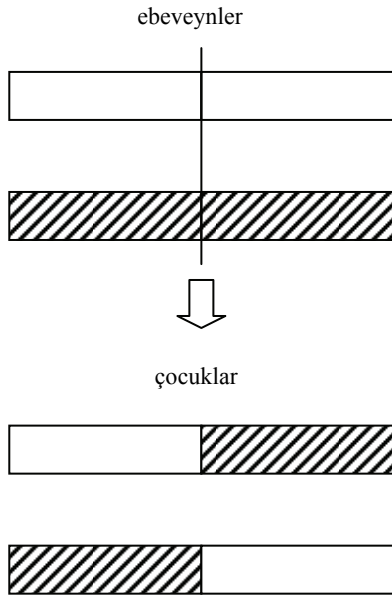
GA'nın dayandığı temel bileşenler, problem çözümlerinin genetik bir gösterimi, başlangıç çözümlerinden oluşan kitlenin oluşturulma tarzı, herhangi bir çözümün kalitesini ölçmek için bir değerlendirme fonksiyonu, yeni kitle üretimi sırasında aday çözümlerin kombinasyonunu etkileyen genetik operatörler ve evrimleşme için kullanılacak parametre değerleri olarak özetlenebilir [27]. Genel bir GA için gerçekleştirilen adımlar Şekil 2'de verilmiştir.



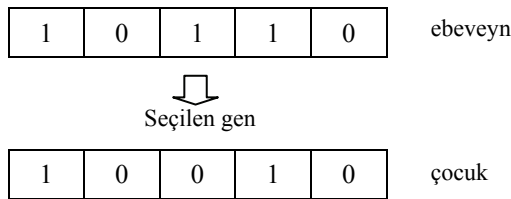
Şekil 2. Genetik Algoritma Adımları [28] (The Steps of Genetic Algorithm)

Bir problemin çözümü için genetik algoritma geliştirirken, ilk olarak çözümün veya bireyin gösterimi ve başlangıç popülasyonunun oluşturulması gerekmektedir. Çalışmada, kromozomların gösterimi için ikili sistem kullanılmış ve ilk popülasyonun oluşturulmasında, rassal sayı üreticisi kullanılmıştır. Üretilen değer, 0,5'ten küçükse gen 0, değilse 1 değerini almıştır. Bireylerin değerlendirilmesi aşamasında, amaç fonksiyonu uygunluk değeri olarak kullanılmış ve problem kapasite kısıtlarını dikkate aldığından, kapasite yetersizliği durumu için ceza maliyeti amaç fonksiyonuna eklenmiştir. Uygunluk

değerinin hesaplanmasının ardından, mevcut kuşaktan yeni popülasyon oluşturulması için bireylerin seçilmesi aşamasında rulet tekerleği seçimi yöntemi kullanılmış, böylece bireylerin çözüme uygunluk derecesi arttıkça, yeni popülasyona aktarılması şansının artması sağlanmıştır [29]. Yeni bir jenerasyonun oluşturulması aşamasında ise, bir önceki kuşaktan daha iyi nitelikler içeren yeni kromozomlar elde etmek amacıyla tek noktali çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanılmıştır. Tek noktali çaprazlama süreci Şekil 3'de, uygulanan mutasyon süreci ise Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 3. Tek noktali çaprazlama [29]
(One point crossover [29])



Şekil 4. Basit Mutasyon (Basic Mutation)

5. SAYISAL ÖRNEK (NUMERICAL EXAMPLE)

Bu bölümde farklı sayılarda ürün, üretim tesisi, aday dağıtım merkezi, aday toplama merkezi, müşteri ve geri kazanım tesisi içeren, değişik boyutlarda test problemleri üretilmiştir. Söz konusu matematiksel model, değişik boyuttaki problemler için GAMS-CPLEX ve geliştirilen melez çözüm yöntemi ile çözülmüş, süreler ile amaç fonksiyonu değerleri karşılaştırılmıştır. Aynı yapıda, farklı büyüklükteki problemlerin elde edilmesi ve sezgisel çözüm yönteminin geliştirilmesinde C++ programlama dili kullanılmıştır. Problem üretiminde kullanılan parametre aralıkları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Problem üretiminde kullanılan parametre aralıkları (Parameter intervals used in generating problems)

Parametre	Değer
Talep (D_{im})	900-1000
Üretim maliyeti (PC_{ik})	100-130
İleri yönlü taşıma maliyeti (t_i)	0,01-0,03
Geri yönlü taşıma maliyeti (r_i)	0,01-0,03
Toplama maliyeti (CC_i)	5-10
Geri kazanım maliyeti (RC_{ip})	20-30
Elden çıkarma maliyeti (DC_i)	1-4
Geri dönüş oranı (s_i)	0,5-0,8
Kalite uygunluk oranı (b_i)	0,5-0,8
1 tesisi açma maliyeti (f_1)	7500-9000
n tesisi açma maliyeti (f_n)	3000-5000
1 tesisi kapasitesi (CAP_1)	15000-16000
n tesisi kapasitesi (CAP_n)	12000-13000
p tesisi kapasitesi (CAP_p)	95000-100000
Uzaklık (x,y)	0-100

Parametreler, Tablo 1'de verilen aralıklar kullanılarak uniform dağılıma uygun olarak üretilmiştir. Tesisler arası uzaklıkların belirlenmesinde, üretilen x ve y koordinatları kullanılarak öklit uzaklığı hesaplanmıştır. Geliştirilen çözüm yöntemini test etmek üzere, farklı boyutlarda üretilen problem setlerine ait bilgiler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2'de gösterilen test problemleri için GAMS ve geliştirilen çözüm yöntemi ile elde edilen sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir. Sezgiselin geliştirilmesinde, farklı büyüklükteki popülasyon sayısı ve iterasyon sayısı ikilileri kullanılmış, sezgisel parametrelerinin belirlenmesi için yapılan denemeler sonucu mutasyon oranı $P_m=0,1$; çaprazlama oranı ise $P_c=0,8$ olarak alınmıştır. Her bir problem seti ve popülasyon sayısı ile iterasyon sayısının (10, 25), (50, 200) ve (100, 500) değerleri için sezgisel 5 kez çalıştırılmış ve ortalama amaç fonksiyonu ve çözüm süresi değerleri dikkate alınmıştır. Hata değerinin hesaplanmasında, sezgisel yöntemle elde edilen sonuç değerleri ve GAMS ile elde edilen alt sınır değerleri kullanılmıştır [16].

$$\%Hata = \frac{GA - GAMS}{GAMS} \cdot 100 \quad (13)$$

Tablo 3 incelendiğinde, bütün problemler için GA'nın, popülasyon büyüklüğü 100, iterasyon sayısı 500 olduğunda en iyi sonuçları verdiği görülmektedir.

Tablo 2. Test problemleri (Test problems)

Tip	Boyut	i	k	l	n	m	p
I	1-1-5-3-25-1	1	1	5	3	25	1
II	1-1-15-10-60-1	1	1	15	10	60	1
III	3-1-5-3-10-1	3	1	5	3	10	1
IV	2-1-3-2-15-1	2	1	3	2	15	1
V	2-1-8-8-25-1	2	1	8	8	25	1
VI	3-1-15-15-50-2	3	1	15	15	50	2

i: ürün sayısı, k: üretim tesisi sayısı, l: aday dağıtım merkezi sayısı, n: aday toplama merkezi sayısı, m: müşteri sayısı, p: geri kazanım tesisi sayısı

Tablo 3. Geliştirilen çözüm yöntemi ve GAMS sonuçları (Proposed solution method and GAMS results)

Tip	Popülasyon Sayısı	İterasyon Sayısı	Toplam Maliyet		Hata (%)	CPU (sn)	
			GAMS ALT SINIR	GA		GAMS	GA
I	10	25		2304044,82	0,19		6,38
I	50	200	2299679,97	2299679,97	0	0,11	47,17
I	100	500		2299679,97	0		112,63
II	10	25		5530162,04	0,35		7,20
II	50	200	5510697,08	5516717,27	0,11	1431,28	49,99
II	100	500		5512636,02	0,04		121,49
III	10	25		2646960,43	0,27		6,54
III	50	200	2639931,03	2640875,35	0,04	6037,83	50,86
III	100	500		2639931,03	0		123,84
IV	10	25		2458229,6	0,06		6,46
IV	50	200	2456829,00	2456829,00	0	10565,45	47,71
IV	100	500		2456829,00	0		121,65
V	10	25		4807957,74	0,47		6,92
V	50	200	4785416,46	4797067,72	0,24	>36000,00	54,41
V	100	500		4795583,70	0,21		136,15
VI	10	25		12236690,14	0,29		11,19
VI	50	200	12201000,17	12225371,85	0,20	>36000,00	79,80
VI	100	500		12223600,23	0,19		185,03

I, III ve IV numaralı test problemleri için, geliştirilen sezgisel yöntem optimum sonucu bulmuştur. Küçük boyutlu problemler için GAMS daha kısa sürede optimum çözümü vermiş olsa da, değişken ve kısıt sayısının arttığı, orta ve büyük boyutlu problemler için sezgiselin kullanılmasının, çözüme yaklaşma performansı ve kısa çözüm süresi dikkate alındığında oldukça avantajlı olduğu görülmektedir.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Günümüzde artan çevre bilinci ve doğal kaynakların tükenmesi ile birlikte tersine lojistik yönetimi konusuna olan ilgi de artmaktadır. Tersine lojistik yönetimi konusu içerisinde yer alan, ileri kanaldaki tesisler ile geri kanaldaki tesislerin açılıp açılmama kararlarının alındığı, dağıtım ağı tasarımı en önemli problemlerden birisi hâline gelmiştir. Bu tür problemlere, karmaşık yapıları nedeniyle geleneksel çözüm yöntemleri ile kısa sürelerde çözüm alınması mümkün olmamaktadır. Bu çalışmada, çok aşamalı, çok ürünlü, ileri ve geri akışın birlikte ele alındığı, genel bütünleşik bir tersine lojistik ağının, karma tamsayılı matematiksel modeli formüle edilerek, modelin çözümü için GA ile Cplex'i birlikte kullanarak melez bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Farklı boyutlardaki test problemleri için GAMS ve sezgisel

yöntem ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve geliştirilen yöntemin kısa sürelerde optimum çözüme yaklaşma performansının oldukça iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Tek dönemli olarak formüle edilen matematiksel modelin, çok dönemli ve stok maliyetlerini de dikkate alacak şekilde geliştirilmesi ile bütünleşik lojistik ağı tasarımı için GA'nın, tabu arama gibi diğer sezgisel yöntemlerle karşılaştırılması, ileride yapılması düşünülen çalışmalar arasında yer almaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J.M., Dekker, R., van der Laan, E., van Nunen, J.A.E.E. And van Wassenhove, L.N., "Quantitative models for reverse logistics: a review (Invited Review)", **European Journal of Operational Research**, Cilt 103, No 1, 1-17, 1997.
2. Fleischmann M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J.M., van Wassenhove, L.N., "The Impact of Product Recovery on Logistics Network Design", **Production and Operations Management**, Cilt 10, No 2, 156, 2001.

3. Brito, M.P., Dekker, R., "Reverse Logistics-A Framework", **Econometric Institute Report EI 2002-38**, Erasmus University Rotterdam, The Netherlands, 1-19, 2002.
4. Zarei, M., Mansour, S., Kahsan, A.H., Karimi, B., "Designing a Reverse Logistics Network for End-of-Life Vehicles Recovery", **Mathematical Problems in Engineering**, doi:10.1155/2010/649028, 2010.
5. Elwany, H., Fors, N., Harraz, N., Galal, N. "Reverse logistics network design: review of models and solution techniques", **Proceedings of the 37th International Conference on Computers and Industrial Engineering**, Alexandria, Egypt , October 20-23, 2007.
6. Akcali, E., Cetinkaya, S., Uster, H. "Network design for reverse and closed- loop supply chains: an annotated bibliography of models and solution approaches", **Networks**, Cilt 53, 231-248, 2009.
7. Demirel, N.Ö., Gökçen, H. "Logistics Network Design for Recoverable Manufacturing Systems: Literature Survey", **Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 23, No 4, 903-912, 2008.
8. Chanintrakul, P., Mondragon, A.E.C., Lalwani, C., Wong, C.Y., "Reverse logistics network design: a state-of-the-art literature review", **International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling**, Cilt 1, No 1, 61-81, 2009.
9. Ilgin, M.A., Gupta, S.M. "Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): A review of the state of the art", **Journal of Environmental Management**, Cilt 91, 563-591, 2010.
10. Pishvae, M.S., Farahani, R.Z., Dullaert, W. "A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design", **Computers & Operations Research**, Cilt 37, 1100-1112, 2010.
11. Emel, G.G., Taşkın, Ç. "Genetik algoritmalar ve uygulama alanları", **Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, Cilt XXI, No 1, 129-152, 2002.
12. Kusumastuti, R.D., Piplani, R., Lim, G.H. "An Approach to Design Reverse Logistics Networks for Product Recovery", **International Engineering Management Conference**, Cilt 3, 1239-1243, 18-21 Ekim 2004.
13. Ko, H.J., Evans, W. "A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs", **Computers & Operations Research**, Cilt 34, 346-366, 2007.
14. Lee, J.E., Gen, M., Rhee, K.G. "Network model and optimization of reverse logistics by hybrid genetic algorithm", **Computers & Industrial Engineering**, Cilt 56, 951-964, 2009.
15. Lee, J.E., Gen, M., Rhee, K.G. "Hybrid Priority-based Genetic Algorithm for Multi-stage Reverse Logistics Network", **IEMS**, Cilt 8, No 1, 14-21, Mart 2009.
16. Kannan, G., Sasikumar, P., Devika, K. "A genetic algorithm approach for solving a closed loop supply chain model: A case of battery recycling", **Applied Mathematical Modelling**, Cilt 34, 655-670, 2010.
17. Tang, Q., Xie, F., "A Genetic Algorithm for Reverse Logistics Network Design", **Third International Conference on Natural Computation**, Cilt 4, 2007.
18. Min, H., Ko, H.J. "The dynamic design of a reverse logistics network from the perspective of third-party logistics service providers", **International Journal of Production Economics**, Cilt 113, 176-192, 2008.
19. Shi, L., Fan, H., Gao, P., Zhang, H. "Network Model and Optimization of Medical Waste Reverse Logistics by Improved Genetic Algorithm", **'09 Proceedings of the 4th International Symposium on Advances in Computation and Intelligence**, 40-52, 2009.
20. Zhou, G., Cao, Z., Cao, J., Meng, Z. "A Genetic Algorithm Approach on Reverse Logistics Optimization for Product Return Distribution Network", **Lecture Notes in Computer Sciences**, Y. Hao vd. (Ed.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 267-272, 2005.
21. Bouabda, R., Jarboui, B., Eddaly, M., Rebai, A. "A branch and bound enhanced genetic algorithm for scheduling a flowline manufacturing cell with sequence dependent family setup times", **Computers & Operations Research**, Cilt 38, 387-393, 2011.
22. Yeh, W.C. "A efficient memetic algorithm for multi-stage supply chain network problem", **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Cilt 29, No 7-8, 803-813, 2006.
23. Keskin, B.B., ve Uster, H. "A scatter search-based heuristic to locate capacitated transshipment points", **Computers & Operations Research**, Cilt 34, No 10, 3112-3125, 2007.
24. Altıparmak, F., Gen, M., Lin, L., Karaođlan, İ. "A steady-state genetic algorithm for multi-product supply chain network design", **Computers & Industrial Engineering**, Cilt 56, 521-537, 2009.
25. Gen, M., Altıparmak, F., Lin, L. "A genetic algorithm for two-stage transportation problem using priority-based encoding", **OR Spectrum**, Cilt 28, No 3, 337-354, 2006.
26. Öztürk, M., **Çok aşamalı tedarik zinciri optimizasyonu probleminin yayılan ağaç tabanlı genetik algoritma ile çözümü**, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
27. Ayan, T.Y. "Sabit maliyetli ulaştırma problemi için bir genetik algoritma", **Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, Cilt 10, No 1, 97 - 116, 2008.
28. Keskin, T., Küçük, B. " Karışık modelli montaj hatlarının genetik algoritma kullanılarak dengelenmesi", **Yönetim Dergisi**, Cilt 17, No 53 , 52-63, 2006.
29. Varlı, A., **Çok amaçlı ve çok konumlu aktarmalı taşıma problemlerinin genetik algoritma ile optimizasyonu**, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.