



**REVERSE LOGISTICS NETWORK DESIGN: A SIMULATED ANNEALING APPROACH**

**Bahadır GÜLSÜN, Gülfem TUZKAYA \*, Ender BİLDİK**

*Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL*

**Geliş/Received: 14.06.2007 Kabul/Accepted: 24.03.2008**

---

**ABSTRACT**

Environmental concerns, competition, economic factors, etc. motivates both academicians and practitioners to study on reverse logistics activities. Reverse logistics contains activities such as product returns, recycling, substitution, reuse, disposal, refurbishment, repair and remanufacturing. Product returns constitutes an important portion in total company costs. A company can take competitive advantage with cost reductions in product returns in terms of transportation, inventory and warehousing costs. Determining convenient quantities and location places for centralized return centers is an important decision in reverse logistics networks. In this paper, a simulated annealing (SA) approach is proposed for this decision making area.

**Keywords:** Reverse logistics, network design, simulated annealing.

**MSC2000 number/numarası:** 90B06, 90C27.

**TERSİNE LOJİSTİKTE AĞ TASARIMI: BİR TAVLAMA BENZETİMİ YAKLAŞIMI**

**ÖZET**

Çevresel faktörler, rekabet, ekonomik faktörler vb. akademisyenler ve uygulamacıları ters lojistik (TL) faaliyetleri üzerinde çalışmaya sevk etmiştir. Tersine Lojistik, ürün dönüşleri, yeniden imalat, yeniden kullanım, bertaraf, tamir gibi faaliyetleri içerir. Ürün dönüşleri toplam şirket maliyetleri içinde önemli bir paya sahiptir. Bir şirket, ürün dönüşleriyle ilgili taşıma ve depolama faaliyetlerinde maliyet düşürerek rekabet avantajı kazanabilir. Tersine lojistik ağlarında, uygun miktar ve merkezi geri dönüş merkezleri için uygun yerlerin belirlenmesi önemli kararlardır. Bu çalışmada, söz konusu karar alanında, Tavlama Benzetimi (TB) kullanılarak yeni bir yaklaşım önerilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Tersine lojistik, ağ tasarımı, tavlama benzetimi.

---

**1. GİRİŞ**

Çevre problemlerinin tehdit eder seviyeye ulaşması nedeniyle, hükümetler, müşteriler ve şirketler tarafından yürütülen çevre-odaklı faaliyetler bir zorunluluk haline gelmiştir. Çevre bilinçli faaliyetlerin bir parçası olarak tersine lojistik, akademisyen ve uygulamacıların ilgisini çekmektedir. Rogers ve Tibben-Lembke [1] tersine lojistiği, “ hammadenin, proses içi envanterin, bitmiş ürünlerin ve ilgili bilginin çıkış noktasından itibaren, değerinin yeniden kazandırılması ya da uygun şekilde bertaraf edilmesi için izlenmesi faaliyetinin maliyet yoğun bir şekilde, planlanması, uygulanması ve kontrolü süreci” olarak tanımlamışlardır [1]. Geleneksel

---

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-mail/e-ileti: gtuzkaya@yildiz.edu.tr, tel: (212) 383 28 75

## Reverse Logistics Network Design: A Simulated ...

olarak, “lojistik” terimi sadece kavramın ileri yönlü olan kısmını çağırır. Diğer taraftan ürünün tersi yönde ilerlemesine neden olan ve lojistiğe tersine bir yön de katarak “kapalı-döngü” kavramının ortaya çıkmasına neden olan dönüşler vardır. Bunlar [2]:

- Ürün dönüşleri,
- Ticari dönüşler (B2B ve B2C),
- Ürün geri çağırılmaları,
- Garantiden kaynaklanan dönüşler,
- Hizmet dönüşleri,
- Kullanım sonu dönüşleri,
- Yaşam sonu dönüşleri,
- Vb.

Genellikle TL, ileri lojistiğin (İL) tam tersi bir faaliyet olarak algılanır, bununla birlikte, TL çeşitli karar alanlarında İL’den farklılıklar gösterir. TL, farklı kanallara, toplama noktalarına, karar alanlarına, ürün karakteristiklerine, vb. sahip olabilir. Çizelge 1’de TL ile İL arasındaki farklar görülmektedir [3]:

**Çizelge 1. İleri ve Tersine Lojistik Arasındaki Farklar [3]**

<b>İleri Lojistik</b>	<b>Tersine Lojistik</b>
Tahmin göreceli olarak daha kolaydır.	Tahmin zordur.
Tek birimden çok birime taşıma söz konusudur.	Çoktan teke taşıma söz konusudur.
Ürün kalitesi düzgün dağılır.	Ürün kalitesi düzgün dağılıma uygun dağılmaz.
Ürün paketlenme düzgün dağılır.	Ürün paketlenme genelde zarar görmüştür.
Konum/rota bilgileri açıktır.	Konum/rota bilgileri açık değildir.
Kanal standartlaştırılmıştır.	İstisna bölgeler olabilir.
Fiyatlandırma göreceli olarak düzgün dağılır.	Fiyatlandırma birçok faktörden etkilenir.
Hızın önemi vardır.	Hız genellikle bir öncelik olarak değerlendirilmez.
İleri dağıtım maliyetleri muhasebe sisteminde takip edilir.	Tersine maliyetler daha az görünürdür.
Envanter yönetimi tutarlıdır.	Envanter yönetimi tutarlı değildir.
Ürün yaşam çevrimi kontrol edilebilir.	Ürün yaşam çevrimi karmaşıktır.
Partiler arası işbirliği daha kolaydır.	Partiler arası işbirliği için ek faktörlerin de dikkate alınması gerekir.
Pazarlama metotları iyi bilinmektedir.	Pazarlama metotları çeşitli faktörlerden etkilenir.

Yukarıdaki farklar dikkate alındığında, TL’in İL’den farklı bir araştırma alanı olarak değerlendirilmesi zorunluluğu görülmektedir. Bu zorunluluk dikkate alınarak, 1992’den bu yana geniş bir literatür oluşmuştur. Araştırmacılar TL’yi farklı bakış açılarıyla ve farklı alanlarıyla araştırmaktadırlar. TL çalışmaları üç sınıfta incelenebilir: TL’de envanter kontrolü, TL’de üretim planlama ve TL’de ağ tasarımı. Bu makalenin konusuna giren TL’de ağ tasarımı Fleischmann vd. (2000)’e göre üç sınıfta incelenebilir [4]. İlk sınıf hacim geri dönüşüm ağlarıdır ve göreceli olarak düşük değerli ürünlerden elde edilen malzemelerle ilgilidir. Barros vd. [5], Biehl vd. [6], Listeş ve Dekker [7] ve Lebreton ve Tuma [8] bu sınıfa örnek olarak verilebilir. Barros vd. [5] iki seviyeli bir hafriyat geri dönüşüm problemi için sezgisel bir teknik önermişlerdir. Biehl vd. [6] TL tedarik zincirini simule etmiş ve TL sisteminin operasyonel performansını etkileyen sistem tasarım faktörlerinin analizinde deneysel tasarım uygulamışlardır. Listeş [7] ürün geri dönüşüm ağ tasarımı için stokastik bir yaklaşım önermiştir. Lebreton vd. [8] bir araba ve kamyon tekerleği geri dönüşüm sisteminin karlılığını araştırmışlardır. İkinci sınıf, montaj ürünlerinin geri dönüşüm

ağlarıyla ilgilidir ve göreceli yüksek değer taşıyan bir ürünün kendisi ya da bir parçasının geri dönüşümü konusunu inceler. Schultmann vd. [9], Franke vd. [10], Shih [11] ve Krikke vd. [12] bu sınıfa örnek olarak gösterilebilir. Schultman vd. [9], kapalı-döngü tedarik zincirleri için TL'yi modellemişler ve otomotiv endüstrisinden bir örnek vermişlerdir. Franke vd. [10] cep telefonlarının yeniden imalatıyla ilgili bir makale sunmuşlardır. Shih [11] Tayvan için elektronik araçlar ve bilgisayarların geri dönüşümü için TL sistemi tasarlamıştır. Krikke vd. [12] fotokopi makinelerinin yeniden kazanımı için bir TL ağı tasarımı metodolojisi önermişlerdir. Son sınıf, yeniden kullanılabilir ürünlerin ağlarıyla ilgilidir ve konteynır, palet vd. ürün TL ağlarını inceler. Kron ve Vrijens [13] bu sınıfa örnek olarak gösterilebilir. Bu çalışmada, yeniden kullanılabilir konteynırlarla ilgili bir TL ağı incelenmiştir.

Bu çalışmada TL literatüründe daha önceden kullanılmamış bir çözüm tekniği önerilmiştir. İkinci bölümde, Tavlama Benzetimi (TB) tekniği açıklanacaktır. Üçüncü bölümde, TL ağı için bir matematiksel model tanıtılacaktır. Dördüncü bölümde bir sayısal örnek verilecek ve beşinci bölümde sonuçlar analiz edilecektir.

## 2. TAVLAMA BENZETİMİ

Tavlama Benzetimi (TB) algoritmasının temelini oluşturan fikirler, ilk olarak Metropolis vd.[14] tarafından 1953 yılında önerilmiştir. TB algoritması, malzemelerin sıcak banyolarda soğutulmasından-tavlama olarak bilinir- esinlenilerek hazırlanmıştır. Eğer, katı malzeme erime noktasına kadar ısıtılır ve katı hale geçinceye kadar tekrar soğutulursa, katı malzemenin soğutulmuş versiyonunun yapısal özellikleri soğutma oranına bağlı olur. Örneğin, kristaller, çok yavaş bir soğutma ile büyüyebilirler, fakat hızlı bir soğutma, kristal yapısında kusurların oluşmasına neden olabilir. Tavlama sürecinin, malzemeyle ilgili bir partiküller sistemi olarak benzetimi yapılabilir. Temel olarak, Metropolis algoritması, soğutma sürecinden geçirilen bir sistemin kararlı bir duruma gelinceye kadarki, enerjisindeki değişikliklerin benzetimini yapar. Otuz yıl sonra, Kirkpartrick vd., bu tür bir benzetimin, optimal sonuca yakınsama amacıyla, optimizasyon problemlerine fizibil çözüm bulmada kullanılabileceğini söylemişlerdir.

TB yaklaşımı, fizibil çözümlerin bir alt seti içerisinde, mevcut çözümden komşu çözümlere tekrarlı bir arama tekniği olan, yerel (komşu) arama tekniğinin bir varyasyonu olarak algılanabilir. Bir minimizasyon problemi için yerel arama tekniği, aramanın daima gelişme yönünde olduğu bir iniş stratejisini çalıştırır. Bununla birlikte, böyle bir strateji, global bir çözümden çok yerel bir çözüme yakınsar. Algoritmanın birkaç değişik başlangıç çözümüyle uygulanması veya komşulukların karmaşıklığını amaçların kapsamını genişleterek artırarak da tatminkâr bir çözüm bulma yoluna gidilebilir. Fakat bu varyasyonların hiç biri tam bir tatmin sağlayamamıştır.

İniş stratejilerinden elde edilen çözümler, kullanılan başlangıç çözümlerine bağlıdır. Bir iniş daima, başlangıç çözümünün de içinde bulunduğu vadinin en alt noktasına doğru arama yapar. Güvenilir bir sezgisel yaklaşım, başlangıç çözüme mümkün olduğunca az bağlı olmalıdır. Çözüm uzayında vadinin tepe noktalarına doğru bazı yokuş yukarı hareketleri olmalıdır, fakat nihai amaç bir minimum noktaya yakınsayacağından, bu, tedbirli ve kontrollü yapılmalıdır. TB sezgisel yaklaşımında yokuş yukarı (kötüleştirmeye neden olan) hareketlere izin verilir, fakat sıklığı, algoritma ilerledikçe değişiklik gösteren bir olasılık fonksiyonuna bağlıdır[14].

Yukarıda söz edilen kontrol şekli, Metropolis'in istatistiksel termodinamik ile ilgili bir çalışmasından esinlenilerek bulunmuştur. Termodinamik kanunları,  $t$  sıcaklığında, enerjinin  $\delta E$  büyüklüğünün artış olasılığının aşağıdaki gibi olduğunu gösterir [14]:

$$p(\delta E) = \exp(-\delta E / kt) \quad (1)$$

Burada  $k$ , Boltzmann sabiti olarak adlandırılan fiziksel bir sabittir.

Metropolis'in benzetimi bir düzen bozukluğu oluşturarak, sonuçlanan enerji değişimini hesaplar. Eğer enerji düşüyorsa, sistem yeni duruma doğru hareket eder. Eğer enerji artıyorsa,

## Reverse Logistics Network Design: A Simulated ...

mevcut durum yukarıdaki olasılık formülasyonu ile hesaplanan olasılığa bakılarak yeni duruma hareket ettirilir. Süreç her sıcaklık için, belirlenen belli bir iterasyon sayısına kadar sürdürülür, sistem kararlı bir seviyeye gelinceye kadar sıcaklık düşürülür.

Metropolis algoritması terimleri, kombinasyonel optimizasyon problemlerinde aşağıdaki Çizelge 2’de görüldüğü gibi verilebilir [15]:

**Çizelge 2.** Metropolis algoritması terimlerinin kombinasyonel optimizasyon problemlerinde karşılığı

Termodinamik benzetimi	Kombinasyonel optimizasyon
Sistem kararlı bir hal alır.	Fizibil çözüm bulunur.
Enerji	Maliyet
Durum değişikliği	Komşu çözüm
Sıcaklık	Kontrol parametresi
Donmuş hal	Sezgisel çözüm

Yerel aramanın en büyük dezavantajı, global optimumdan çok yerel optimum bulmaya olan yatkınlığıdır. Kontrollü bir şekilde yokuş yukarı hareketlere izin vererek TB, bu problemi hafifletir. Komşulukların rasgele yapılması yönünden tavlama algoritması, rasgele iniş algoritmasıyla benzerlik gösterir. Maliyet fonksiyonunda kötüleşmeye neden olan bir komşunun kabul edilebilir olması ve bu kabul edilmiş bir kontrol parametresine (sıcaklığa) ve artışın büyüklüğüne bağlı olması yönünden TB, rasgele inişten farklıdır.

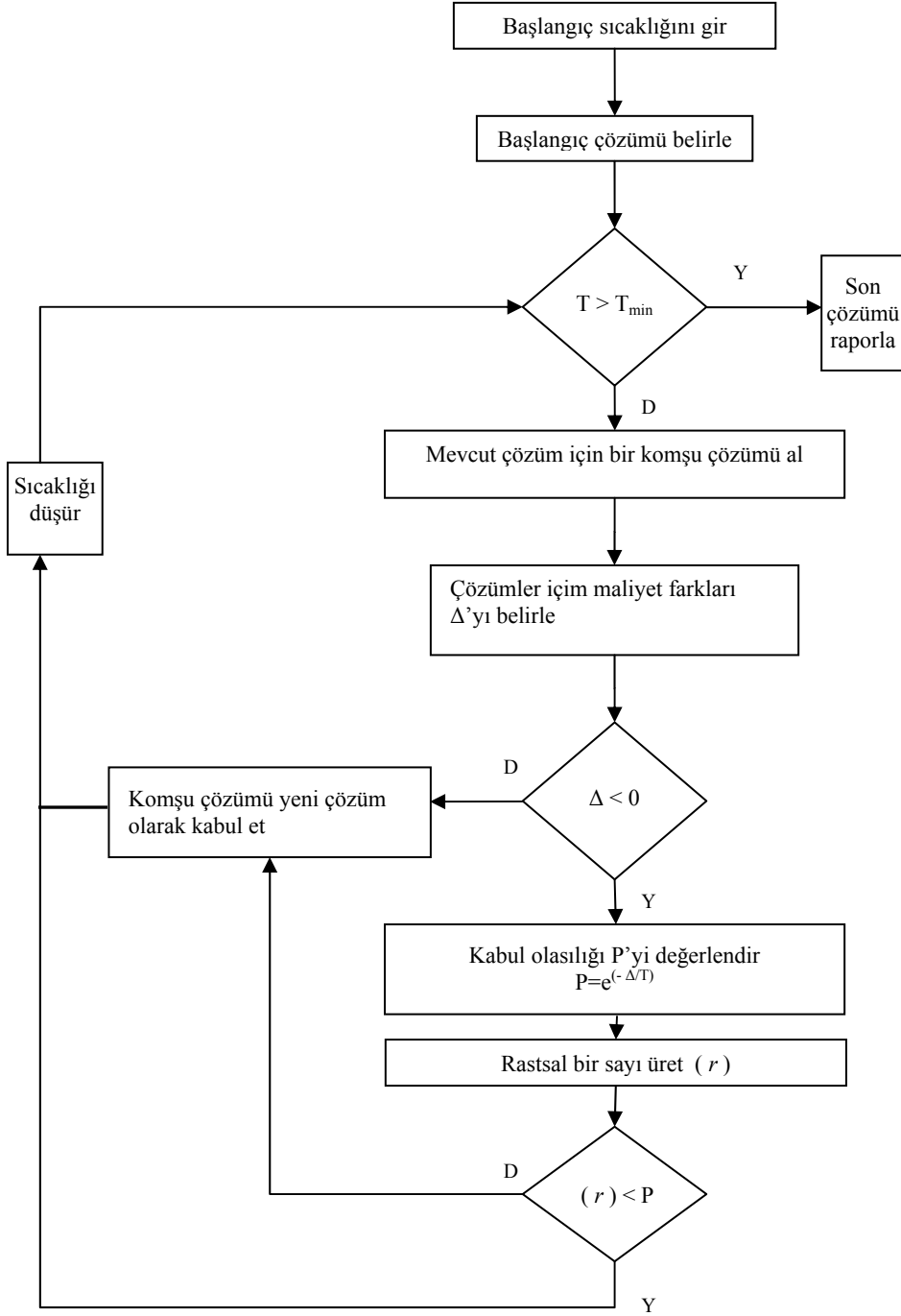
Belirli bir problemin çözümü için yukarıdaki algoritmanın uygulanmasında, belli sayıda kararın verilmesi gerekmektedir. Bu kararlar iki kategoride incelenebilir. Birinci tip kararlar, tavlama algoritmasında kullanılan parametrelerle ilgili olan genel kararlardır. Genel kararlar, başlangıç sıcaklığı, soğutma katsayısı (bitiş iterasyon sayısına ve sıcaklık soğutma fonksiyonu  $\alpha$  ile belirlenen) ve bitiş şartıdır. İkinci tip kararlar spesifikdir ve fizibil çözümlerin uzayının seçimi, maliyet fonksiyonunu şeklinin belirlenmesi ve kullanılacak komşuluk yapısına karar verilmesi gibi kararları içerir. Söz konusu iki karar grubu da algoritmanın hızını ve elde edilen çözümün kalitesini etkilediğinden dikkatle belirlenmelidir [15].

TB algoritması literatürde çok çeşitli alanlarda kullanılmıştır. Bu alanlar Çizelge 3’de özetlenmiştir.

**Çizelge 3.** TB literatürü

Klasik Problemler (Çizge renklendirme, Gezgin satıcı problemi, Steiner ağacı problemi gibi klasik kombinasyonel optimizasyon problemleri)	Kun, Z. vd. [16] Candia-Vejar vd. [17] Peng, T. vd [18] Chams, M. vd. [19]
Sıralama ve Çizelgeleme	Cho, H-S. vd. [20] Tan, K.C.ve Narasimhan, R. [21] Ishibuchi, H. vd. [22]
Diğer Problemler	<b>Hücreli imalat sistemleri:</b> Safaei, L. vd. [23] <b>Lojistik Yönetimi:</b> Lee, D-H. vd. [24] <b>Tesis yer seçimi problemi:</b> Arostegui, Jr. M.A., vd. [25] <b>Pazarlama:</b> MEiri, R. ve Zahavi, J. [26] <b>Araç rotalama:</b> R. Tavakkoli-Moghaddam, R. vd. [27]

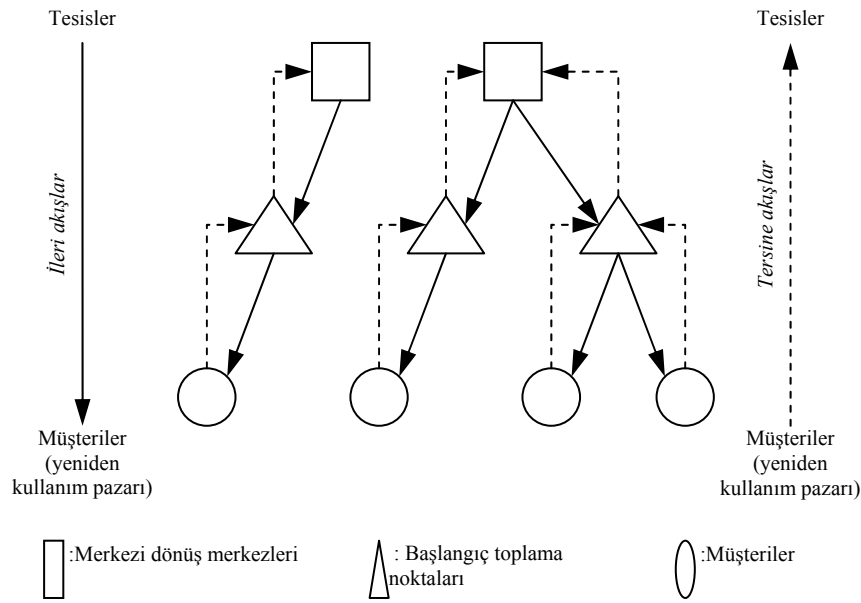
Tavlama Benzetimi (TB) algoritmasının genel adımları Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Tavlama Benzetimi algoritmasının genel adımları

### 3. BİR TERSİNE LOJİTİK AĞI TASARIMI İÇİN MATEMATİKSEL MODEL

Bu çalışmada, Min vd. (2006)'nın hazırlamış oldukları model kullanılmıştır [28]. Şekil 2, TL ağı modelinin genel yapısını göstermektedir. Bu ağ, tesislerden, toplama noktalarından ve merkezi dönüş noktalarından oluşmaktadır. Modelin amacı, kiralama, envanter taşıma, malzeme taşıma ve sipariş alma ve gönderme maliyetlerini içeren toplam maliyetin minimize edilmesidir. Modele göre, üç farklı karar verilmeye çalışılmaktadır. Birinci ve en genel karar, hangi toplama noktalarının ve merkezi dönüş merkezinin açılacağıın belirlenmesi kararıdır. Geriye kalan iki karar, bu ilk karar temel alınarak araştırılır. İkinci karar, açılmış toplama noktalarının açık olduğu gün sayısının belirlenmesi, son kararsa müşterilerin toplama merkezlerine, toplama merkezlerininse merkezi dönüş merkezine atanması ile ilgilidir. Son karar bir atama kararıdır ve eğer kapasite kısıtı yoksa, her müşteri en yakın toplama noktasına ve her toplama noktası en yakın merkezi dönüş merkezine atanır. Min vd.[28]'nin modelinde, müşterilerin hatalı veya arızalı ürünlerini merkezi toplama merkezleri yerine, başlangıç toplama noktalarına göndermeleri gerektiği savunulmuştur. Belirli bir periyot için ürünler toplama noktalarında biriktirilir ve sonrasında merkezi dönüş merkezlerine partiler halinde gönderilir. Bu durumda, toplam uzaklık ve toplam maliyetlerde bir düşüş sağlanabilir.



Şekil 2. Tersine Lojistik Ağ Tasarımı Modelinin Yapısı- Fleischmann vd. [4]'den uyarlanmıştır.

Çizelge 4'de Min vd. [27]'nin modelinde kullanılan terminoloji verilmiştir.

Çizelge 4. Terminoloji

İndisler	Açıklama
$I$	Müşteriler için indis; $i \in I$
$J$	Başlangıç toplama noktaları için indis; $j \in J$
$K$	Merkezi dönüş merkezleri için indis; $k \in K$
<b>Model parametreleri</b>	
$a$	Başlangıç toplama noktalarının yıllık kira maliyeti $j$
$b$	Yıllık çalışma günlerinin her birimi için günlük envanter taşıma maliyeti
$w$	Yıllık çalışma günleri
$ri$	$i$ . müşteriye dönen ürünlerin günlük hacmi
$h$	Her bir ürün için günlük elde etme maliyeti
$qk$	$k$ . merkezi dönüş merkezi için kurma maliyeti
$mk$	$k$ . merkezi dönüş merkezi için maksimum kapasite
$dij$	$i$ . müşteri ile $j$ . başlangıç toplama noktası arasındaki uzaklık
$djk$	$j$ . toplama noktası ile $k$ . merkezi dönüş noktası arasındaki uzaklık
$l$	Belirli bir müşteri ile bir başlangıç toplama noktası arasında izin verilen maksimum uzaklık
$f(X_{j0}, d_{j0})$	<p><math>E\alpha\beta</math>; <math>\alpha</math>, <math>j</math> ve <math>k</math> arasındaki taşımanın hacmine bağlı olan bir indirim oranıdır; <math>\beta</math>, <math>j</math> ve <math>k</math> arasındaki uzaklıkla ilgili olan ceza oranıdır.</p> $\alpha = \begin{cases} 1 & X_{j0} \leq p_1, \\ \alpha_1 & p_1 < X_{j0} \leq p_2, \\ \alpha_2 & X_{j0} > p_2. \end{cases}$ $\beta = \begin{cases} 1 & d_{j0} \leq q_1, \\ \beta_1 & q_1 < d_{j0} \leq q_2, \\ \beta_2 & d_{j0} > q_2. \end{cases}$
$F$	Birim taşıma ücreti
$p1, p2$	Bir indirim için dönen ürünlerin hacmi
$q1, q2$	Ceza için $j$ ve $k$ arasındaki uzaklık
$z$	Kurulacak merkezi dönüş merkezlerinin minimum sayısı
$M$	Keyfi olarak seçilmiş büyük sayı
<b>Karar Değişkenleri</b>	
$X_{jk}$	$j$ 'den $k$ 'ya dönen ürünlerin hacmi
$T_j$	$j$ 'deki toplama periyodunun gün cinsinden uzunluğu
$Y_{ij}$	1, eğer $i$ . müşteri, $j$ . başlangıç toplama noktasına atandıysa ( $i \in I, i \neq j$ ). 0, aksi takdirde.
$Z_j$	1, eğer $j$ alanında bir başlangıç toplama noktası kurulduysa ( $j \in J$ ), 0, aksi takdirde.
$G_k$	1, eğer $k$ alanında bir merkezi dönüş merkezi kurulduysa ( $k \in K$ ), 0, aksi takdirde.

Min vd. [28]'nin modeli aşağıdaki gibidir:

**Amaç fonksiyonu**

Amaç fonksiyonu, kiralama, envanter taşıma, malzeme taşıma, tesis kurma ve ürün yollama gibi maliyetleri içeren toplam maliyeti minimize etmeye çalışır.

$$\text{Min } \alpha \sum_j Z_j + bw \sum_j \left\{ \sum_i r_i Y_{ij} \frac{(T_j + 1)}{2} \right\} + hw \sum_i r_i + \sum_k q_k G_k + \sum_k \left\{ G_k \sum_j \left( X_{jk} \frac{w}{T_j} \right) \times f(X_{jk} \cdot d_{jk}) \right\} \quad (2)$$

**Kısıtlar**

Birinci kısıt bir müşterinin yalnızca tek bir başlangıç toplama noktasına atanmasını sağlar.

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i \in I, \quad (3)$$

İkinci kısıt, açılmamış başlangıç toplama noktalarına dönüş olmamasını sağlamaya çalışır.

$$\sum_i Y_{ij} \leq M \cdot Z_j \quad \forall j \in J, \quad (4)$$

Üçüncü kısıt, gelen akışın, giden akışa eşit olmasını sağlamaya çalışır.

$$\sum_i r_i Y_{ij} T_j = \sum_k X_{jk} \quad \forall j \in J, \quad (5)$$

Dördüncü kısıt, başlangıç toplama noktalarından gelen ürünlerin toplam hacminin merkezi dönüş merkezinin kapasitesini geçmemesini sağlamaya çalışır.

$$\sum_j X_{jk} \leq m_k G_k \quad \forall k \in K, \quad (6)$$

Beşinci kısıt, her bir başlangıç toplama noktasının müşterilere belirli bir yakınlıkta kurulmasını sağlamaya çalışır.

$$d_{ij} Y_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in J, \quad (7)$$

Altıncı ve yedinci kısıtlar, ürün dönüşleri için, başlangıç toplama merkezi ve merkezi dönüş merkezlerinin sayısının belirli bir minimum değerden fazla olmasını sağlamaya çalışır.

$$g \leq \sum_k G_k, \quad (8)$$

$$z \leq \sum_j Z_j, \quad (9)$$

Sekizinci kısıt negatif olmama kısıtıdır.

$$X_{jk} \geq 0, \quad \forall j \in J, \quad \forall k \in K, \quad (10)$$

Dokuzuncu kısıt, karar değişkenleri,  $T_j$ , için bir aralık belirler.

$$T_j \in (0,1,2,3,4,5,6,7), \quad \forall j \in J, \quad (11)$$

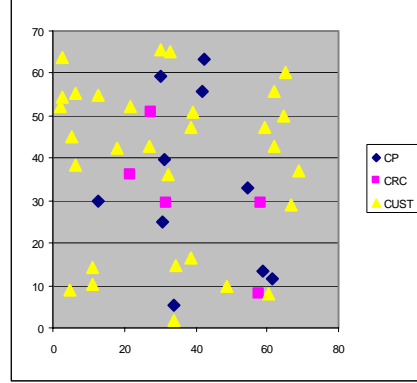
Son kısıt,  $Y_{ij}$ ,  $Z_j$  ve  $G_k$  değişkenlerinin alanını belirler.

$$Y_{ij}, Z_j, G_k \in (0,1) \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K. \quad (12)$$



## 4. SAYISAL ÖRNEK

Bu bölümde, modelin ve çözüm metodolojisinin açıklanması açısından bir sayısal örnek verilmiştir. Örnekle ilgili veriler Çizelge 5 ve Çizelge 6'de verilmiştir. Şekil 3'de toplama noktaları, merkezi dönüş merkezleri ve müşterilerin başlangıç noktaları koordinat ekseninde görülmektedir.



Şekil 3. Toplama noktaları, merkezi dönüş merkezleri ve müşterilerin başlangıç noktaları

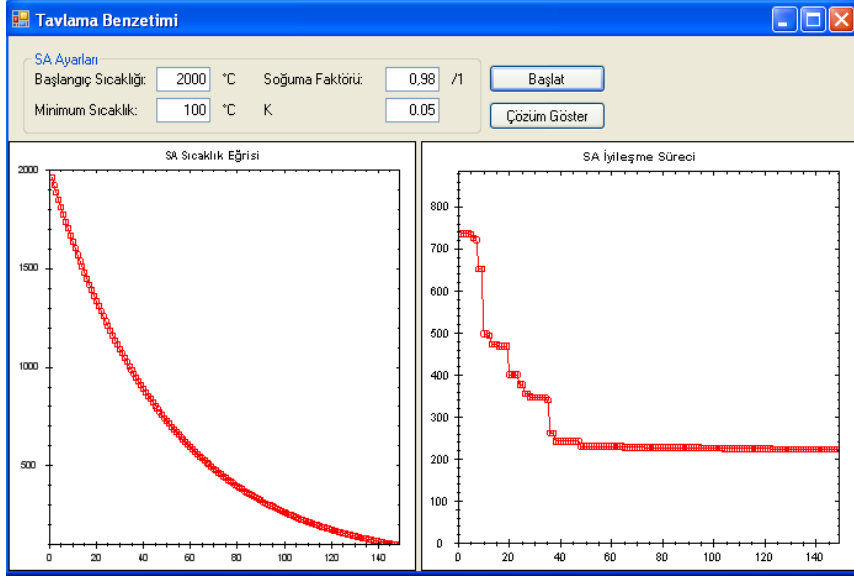
Çizelge 5. Başlangıç toplama noktaları ve merkezi dönüş merkezleri için potansiyel alanlar

Başlangıç toplama noktaları için uygun alanlar	Alan koordinatları		Merkezi dönüş merkezleri için uygun alanlar	Alan koordinatları	
	X	Y		X	Y
cp1	43.97	49.89	crc1	8.58	30.25
cp2	1.57	12.65	crc2	32.36	28.59
cp3	41.23	30.35	crc3	9.58	6.51
cp4	5.04	58.97	crc4	47.54	19.31
cp5	24.79	19.00	crc5	20.14	53.21
cp6	16.18	20.66			
cp7	30.18	45.30			
cp8	40.32	0.40			
cp9	6.94	33.58			
cp10	54.71	57.06			

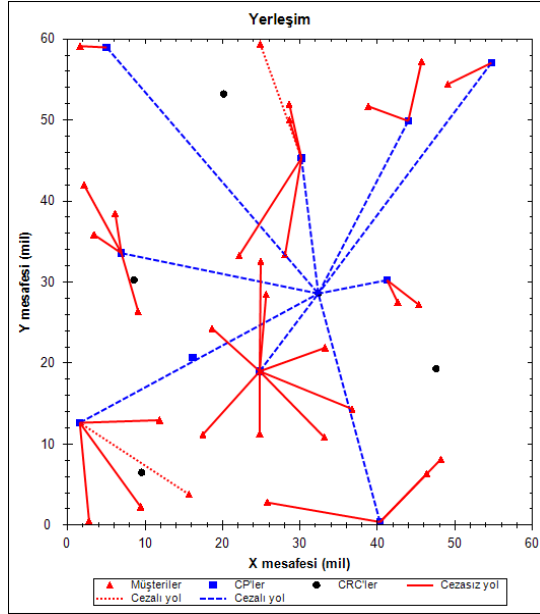
Çizelge 6. Müşterilerin koordinatları

No	Koordinat		Günlük talep
	X	Y	
1	15.69	3.80	12
2	18.67	24.28	43
...	...	...	...
28	17.46	11.20	18
29	11.87	12.97	44
30	6.15	38.45	33

Modelin elimizdeki probleme uygulanması için Microsoft Visual C# programı yardımıyla bir yazılım geliştirilmiştir. Şekil 4'de programın genel ekran görüntüsü, sıcaklık eğrisi ve TB iyileşme süreci görülmektedir.



Şekil 4. Tavlama benzetimi sıcaklık eğrisi ve tavlama benzetimi iyileşme süreci



Şekil 5. Nihai çözüm

TB algoritması ile sonuçlar elde edildiğinde (Şekil 4-5) toplam maliyet 124713 birim, toplam ceza maliyeti 100000 birim, toplam uygunluk değeri 2247713 birim bulunmuştur. Çizelge 7'de Toplama Merkezi-müşteri, Merkezi dönüş merkezi-toplama merkezi atamaları görülmektedir. Çizelge 7, Şekil 5'teki atamaların daha ayrıntılı bir gösterimini sunmaktadır.

Çizelge 7. Toplama Merkezi-müşteri; Merkezi dönüş merkezi-toplama merkezi atamaları

Toplama Merkezi	Toplama Merkezi Yüğü (birim)	Müşteri	Merkezi Dönüş Merkezi
1	91	17-20	2
2	121	1-4-15-29	2
3	51	11-23	2
4	34	3	2
5	200	2-6-10-13-22-25-27-28	2
6	-	-	2
7	138	7-8-14-16-24	2
8	96	12-19-21	2
9	100	9-18-26-30	2
10	19	5	2

Sonuç olarak, tek bir merkezi dönüş merkezinin açılması uygun görülmüştür (Merkezi dönüş merkezi 2). Toplama merkezi 6'ya müşteri tahsisi yapılmamıştır. Bununla birlikte toplama merkezi 5'e 8 müşteri ataması yapılmıştır. Toplama merkezi başına düşen birim yük miktarlarında müşteri sayısına paralel olarak dengesizlikler görülmektedir. Bu durumda, tedarik zinciri yönetimi, bazı toplama merkezlerini kapama, bazı toplama merkezlerini ise birleştirme yoluna gidebilir. Ancak bu tarz bir iyileştirmenin sonucu olarak ortaya çıkabilecek müşteri memnuniyetsizlik durumu dikkatle analiz edilmelidir.

## 5. SONUÇ

TL'de ağ tasarımı konusu, TL literatüründe önemli bir yer kaplar. Şirketler, TL ağlarını düzgün bir şekilde tasarlayarak, maliyetlerinde önemli düşüşler sağlayabilirler. Bu konudaki bilinç arttıkça TL ağlarının tasarlanmasında kullanılan yöntemlere olan ihtiyaç da artacaktır. Bu çalışmada sezgisel bir karar verme tekniği olan Tavlama Benzetimi algoritması kullanılmıştır. TL literatürü incelendiğinde, Genetik Algoritmalar, Yasak Araması gibi çeşitli meta-sezgisellerin kullanıldığı görülmektedir. Ancak, TB'nin TL ağı tasarımı konusuna uygulanması, ilk defa bu çalışmayla gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşımın TL ağı tasarımı literatürüne katkısı, tasarım için yeni bir araç önerilmesidir. Bu araç, çözüm uzayında, belirlenmiş bir başlangıç çözümün komşularına bakarak hassas bir arama sağlar. Bu arama sayesinde, ufak adımlarla hassas iyileştirmelere gidilebilir. Ancak TB'nin başarısında başlangıç çözümünün doğru belirlenmesi önemlidir. Özellikle çözüm uzayı genişledikçe ve şeklinin içerdiği yerel optimumların sayısı arttıkça, TB'nin bir çözüme ulaşması için gerekli zaman da artacaktır. Bu nedenle gelecek çalışmalarda, zamandan tasarruf sağlanabilmesi için, TB'nin evrimsel algoritmalarla melez kullanımı önerilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Tibben-Lembke, R.S. and Rogers, D.S., "Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices" University of Nevada, Reno Center for Logistics Management, 1998.
- [2] Brito, M.P., Flapper, S.D.P., Dekker, R., "Reverse Logistics: a review of case studies" ERIM Report Series Research in Management, Econometric Institute Report EI 2002-21, www.irim.url.nl , 2002.
- [3] Tibben-Lembke, R.S. and Rogers, D.S., "Special feature-reverse logistics, Differences between forward and reverse logistics in a retail environment", Supply Chain Management: An International Journal, 7(5), 271-282, 2002.

- [4] Fleischmann, M., Krikke, H.R., Dekker, R., Flapper, S.D.P., "A characterization of logistics networks for product recovery", *Omega*, 28, 653-666, 2000.
- [5] Barros, A.I., Dekker, R., Scholten, V., "A two-level network for recycling sand: A case study", *European Journal of Operational Research*, 110, 199-214, 1998.
- [6] Biehl, M., Prater, E., Realf, M.J., "Assessing performance and uncertainty in developing carpet reverse logistics systems", *Computers and Operations Research*, 34(2), 443-463, 2007.
- [7] Listeş, O., Dekker, R., "A stochastic approach to a case study for product recovery network design", *European Journal of Operational Research*, 160, 268-287, 2005.
- [8] Lebreton, B., Tuma, A., "A quantitative approach to assessing the profitability of car and truck tire remanufacturing", *International Journal of Production Economics*, 104(2), 639-653, 2006.
- [9] Schultmann, F., Zumkeller, M., Rentz, O., "Modeling reverse logistics tasks within closed-loop supply chains: An example from the automotive industry", *European Journal of Operational Research*, 171(3), 1033-1050, 2006.
- [10] Franke, C., Basdere, B., Ciupek, M., Seliger, S., "Remanufacturing of mobile phones-capacity, program and facility adaptation planning", *Omega*, 34, 562-570, 2005.
- [11] Shih, L.H., "Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan", *Resources. Conservation and Recycling*, 32, 55-72, 2001.
- [12] Krikke, H.R., van Harten, A., Schuur, P.C., "Reverse logistics network re-design for copiers", *OR Spektrum*, 21, 381-409, 1999.
- [13] Kroon, L., Vrijens, G., "Returnable containers: an example of reverse logistics", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 25(2), 56-68, 1995.
- [14] Metropolis, N., Rosenbluth, A., Rosenbluth, M., Teller, A., Teller, E., "Equation of state calculations by fast computing machines", *Journal of Chemical Physics*, 21 1087-1092, 1953.
- [15] Reeves C.R. vd., "Modern heuristic techniques for combinatorial problems", John Wiley&Sons, Inc. New York, Toronto, 1993.
- [16] Kun, Z., Heng, W., Feng-Yu, L., "Distributed multicast routing for delay and delay variation-bounded Steiner tree using simulated annealing", *Computer Communications*, 28(11), 1356-1370, 2005.
- [17] Candia-Vejar, A., Bravo-Azlan, H., "Performance Analysis of Algorithms for the Steiner Problem in Directed Networks", *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 18, 67-72, 2004.
- [18] Peng, T., Huanchen, W., Dongme, A., "Simulated annealing for the quadratic assignment problem: A further study", *Computers&Industrial Engineering*, 31(3-4), 925-928, 1998.
- [19] Chams, M., Hertz, A., de Werra, D., "Some experiments with simulated annealing for coloring graphs", *European Journal of Operational Research*, 32(2), 260-266, 1987.
- [20] Cho, H-S., Paik, C-H., Yoon, H-M., Kim, H-Y., "A robust design of simulated annealing approach for mixed-model sequencing", *Computers & Industrial Engineering*, 48(4), 753-764, 2005.
- [21] Tan, K.C. & Narasimhan, R., "Minimizing tardiness on a single processor with sequence-dependent setup times: a simulated annealing approach", *OMEGA*, 25(6), 619-634, 1997.
- [22] Ishibuchi, H., Misaki, S., Tanaka, H., "Modified simulated annealing algorithms for the flow shop sequencing problem", *European Journal of Operational Research*, 81(2), 388-398, 1995.
- [23] Safaei, N., Saidi-Mehrabad, N., Jabal-Ameli, M.S., "A hybrid simulated annealing for solving an extended model of dynamic cellular manufacturing system", *European Journal of Operational Research*, yayın aşamasında.

- [24] Lee, D.H., Cao, Z., Meng, Q., “Scheduling of two-transtainer systems for loading outbound containers in port container terminals with simulated annealing algorithm”, *International Journal of Production Economics*, 107(1), 2007.
- [25] Arostegui, M.A., Kadipasaoglu, S., Khumawala, B.M., “An empirical comparison of Tabu Search, Simulated Annealing, and Genetic Algorithms for facilities location problems”, *International Journal of Production Economics*, 103(2), 742-754, 2006.
- [26] Meiri, R., Zahavi, J., “Using simulated annealing to optimize the feature selection problem in marketing applications”, *European Journal of Operational Research*, 171(3), 842-858, 2006.
- [27] Tavakkoli-Moghaddam, R., Safaei, N., Gholipour, Y., “A hybrid simulated annealing for capacitated vehicle routing problems with the independent route length”, *Applied Mathematics and Computation*, 176(2), 445-454, 2006.
- [28] Min, H., Jeung Ko, H, Seong Ko, C.,”A genetic algorithm approach to developing the multi-echelon reverse logistics network for product returns”, *Omega* 34(1), 56-59, 2006.