

# DİNAMİK TESİS DÜZENLEME PROBLEMİ İÇİN BİR TAVLAMA BENZETİMİ SEZGİSELİ

**Ramazan ŞAHİN**

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara  
[rsahin@gazi.edu.tr](mailto:rsahin@gazi.edu.tr)

(Geliş/Received: 12.02.2008 ; Kabul/Accepted: 10.04.2008)

## ÖZET

Günümüz piyasa koşullarında, global rekabetin artması, teknolojiadaki hızlı değişimler ve ürünlerin hayat eğrilerinin kısalması tesis düzenleme problemini Dinamik Tesis Düzenleme Problemi (DTDP) olarak değerlendirmeyi gerekli kılmaktadır. DTDP'nin amacı, planlama dönemi süresince, bölümler arasındaki malzeme taşıma maliyetleri ile bölümlerin yer değiştirme maliyetlerinin toplamını en küçükleyecek şekilde bölümlerin alanlara atamasını yapmaktır. DTDP genellikle Kareli Atama Problemi (KAP) olarak modellenir ve KAP, NP-zor yapıya sahiptir. Problem boyutu arttıkça en iyi sonuçların bulunması da oldukça zordur. Bu yüzden, makalede DTDP'ni çözmek için bir Tavlama Benzetimi (TB) sezgiseli geliştirilmiştir. Önerilen TB sezgiselinin başarısının analizinde literatürdeki test problemleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen TB algoritmasının DTDP'ni çözmede oldukça etkin olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler** : Dinamik tesis düzenleme problemi, tavlama benzetimi, sezgisel.

## A SIMULATED ANNEALING HEURISTIC FOR THE DYNAMIC FACILITY LAYOUT PROBLEM

### ABSTRACT

In today's market conditions, increasing global competition, rapid changes in technology and shorter life cycle of product the facility layout to be evaluated as the dynamic facility layout problem (DFLP). The purpose of DFLP is to assign the departments to locations for a multi-period planning horizon so that the sum of the material handling and rearrangement costs is minimized. DFLP is generally formulated as a quadratic assignment problem (QAP) which is NP-hard. The larger the size of the problem, the harder to find the optimal solution. In this paper, a simulated annealing (SA) heuristic is developed to solve the DFLP. To test the performance of the proposed SA heuristic, a set of problems from literature is used. The results obtained show that the proposed heuristic is very effective for DFLP.

**Keywords:** Dynamic facility layout problem, simulated annealing, heuristic.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Tesis Düzenlemesi, imalat sistemlerinde karşılaşılan önemli problemlerden birisidir. Tesis Düzenleme Problemi, (TDP) bir tesis içindeki fiziki bölümlerin en etkin düzenlemesinin belirlenmesiyle ilgilidir. TDP için iyi bir çözüm, üretimin etkinliğini ve verimliliğini artırır. Kötü bir düzenleme ise, süreç içi stokların artmasına, malzeme taşıma sisteminin aşırı yüklenmesine, hazırlık zamanlarının artmasına ve malzeme kuyruklarının oluşmasına neden olur [1]. İmalat tesisleri için malzeme taşıma maliyeti, bir düzenlemenin etkinliğinin belirlenmesi için en önemli

ölçüdür ve yerleşim seçeneği karşılaştırılmasında en çok kullanılanıdır. Malzeme taşıma maliyeti toplam işletme maliyetinin %20 ila %50'sini teşkil eder ve aynı zamanda bir ürünün toplam imalat maliyetinin %15 ila %70'ini oluşturur [2]. Bu nedenle, TDP bütün imalat işletmeleri için çözülmesi gereken stratejik bir konudur.

TDP, onun pratik faydası ve disiplinler arası önemi nedeniyle pek çok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Bölümler arasındaki malzeme taşıma verilerinin tipine göre TDP, statik tesis düzenleme problemi ve dinamik tesis düzenleme problemi olarak ikiye ayrılır. Bölümler arasındaki malzeme akış verileri planlama

dönemi boyunca değişmediği durumlarda, düzenleme problemi Statik Tesis Düzenleme Problemi (STDP) olarak adlandırılır. STDP, genellikle Kareli Atama Problemi (KAP) olarak modellenir. STDP'ni çözmek için, geleneksel kombinatoriyal eniyileme tekniklerini kullanan pek çok algoritma önerilmiştir. Bununla birlikte, en iyi çözümlere ancak küçük boyutlu problemlerde erişilebilmektedir. Çünkü KAP NP-zor bir problemdir. STDP ile ilgili ayrıntılı literatür taraması [3] ve [4] tarafından verilmiştir.

Yukarıda belirtildiği gibi STDP, planlama dönemi boyunca bölümler arasındaki malzeme akışlarındaki değişimleri dikkate almamaktadır. Bu nedenle, planlama döneminin başında etkin olarak belirlenen bir düzenleme, planlama dönemi içinde etkinliğini yitirebilir. Bölümler arasındaki malzeme akışlarındaki değişimler aşağıdaki nedenlere bağlı olarak ortaya çıkabilir:

- Mevcut bir ürünün tasarımındaki değişimler,
- Üretim hattından bazı ürünlerin çıkarılması,
- Üretim hattına yeni ürünlerin ilave edilmesi,
- Mevcut üretim donanımlarının yenilenmesi,
- Ürünlerin hayat eğrilerinin kısalması,
- Üretim miktarındaki değişimler.

Bütün bu değişimler bölümler arasındaki malzeme akışlarını ve buna bağlı olarak ta mevcut düzenlemeyi etkiler. Bu durumdaki düzenleme problemi ise Dinamik Tesis Düzenleme Problemi olarak adlandırılır. Son zamanlarda araştırmacılar DTDP'nin çözümünü üzerine yoğunlaşmışlardır.

DTDP çok önemli bir planlamadır. STDP'nin çözümünü ile tek bir yerleşim planı elde edilirken, DTDP'nin çözümünü ile her biri bir dönemle ilişkilendirilecek bir dizi yerleşim planı ortaya çıkar. Bu yüzden, DTDP'nin amaç fonksiyonu genellikle bütün dönemlerdeki malzeme akış maliyetleri ile yeniden düzenleme maliyetlerinin toplamının en küçüklenmesi şeklindedir. Yeniden düzenleme maliyeti, bir alana birbirini takip eden zaman döneminde farklı bölümler yerleştirilmişse ortaya çıkar. Özet olarak, DTDP'nde bölümler arasındaki malzeme taşıma maliyetleri ile yer değiştirme maliyetlerinin toplamı en küçüklenmeye çalışılır. Bu nedenle DTDP, malzeme taşıma maliyetleriyle yer değiştirme maliyetleri arasında bir denge oluşturulmasını gerektirir. Bu çalışmanın amacı, DTDP'ni çözmek için yeni bir Tavlama Benzetimi (TB) algoritmasının geliştirilmesidir.

Çalışmanın sonraki bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde DTDP'nin modeli ve ayrıntılı bir literatür taraması verilmiştir. Üçüncü bölümde problemin çözümü için önerilen TB algoritması açıklanmıştır. Önerilen TB algoritması ile test problemlerinin çözümleri ve literatürdeki diğer yöntemlerle yapılan karşılaştırma dördüncü bölümde sunulmuştur. Beşinci bölümde ise sonuç ve öneriler yer almaktadır.

## 2. LİTERATÜRÜN İNCELENMESİ (LITERATURE REVIEW)

DTDP üzerine ilk çalışmalardan biri Rosenblatt [5] tarafından yapılmıştır. Rosenblatt, DTDP'ni çözmek için en iyi çözüm veren dinamik programlama metodunu kullanmıştır. Ancak DTDP hesaplama açısından zor bir problemdir.  $N$  bölüm ve  $T$  dönemden oluşan bir DTDP'inde, bütün yerleşim planı seçeneklerinin sayısı  $(N!)^T$  ile ifade edilir. Seçilen bir düzenlemenin en iyi olduğunu söylemek için bütün bu seçeneklerin hepsinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Örneğin, 6 bölüm ve 5 dönemden oluşan bir DTDP için  $1.93492 \times 10^{14}$  adet mümkün düzenleme seçeneği vardır. Bu küçük boyutlu örnek de, gerçek hayat problemlerinin hesaplama zorluğunu göstermektedir. Bu yüzden, en iyi çözüm yöntemleri yerine, kısa zamanda en iyiye yakın sonuçlar veren değişik sezgisel algoritmalar önerilmiştir.

DFLP, STDP gibi geliştirilmiş bir KAP olarak modellenilebilir. McKendall vd. [6] tarafından verilen DTDP modeli aşağıdadır.

$$Z = \min \sum_{t=2}^T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^N A_{ijl} Y_{ijl} + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N C_{ijkl} X_{ij} X_{kl} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^N X_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, N, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^N X_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (3)$$

$$Y_{ijl} = X_{(t-1)ij} X_{tjl} \quad i, j, l = 1, 2, \dots, N, \quad t = 2, 3, \dots, T \quad (4)$$

$$X_{ij} \text{ and } Y_{ijl} = \{0, 1\}, \quad i, j = 1, 2, \dots, N \quad t = 1, 2, \dots, T$$

Burada;  $N$  bölümler veya alanların sayısı ve  $T$  dönemlerin sayısıdır.  $A_{ijl}$   $i$  bölümünün  $(t-1)$  döneminde  $j$  alanından  $(t)$  döneminde  $l$  alanına yer değiştirmesinin maliyetidir ( $A_{ijl} = 0$ ).  $C_{ijkl}$  ise  $t$  döneminde  $i$  bölümü  $j$  alanına ve  $k$  bölümü  $l$  alanına atıldığı durumda  $i$  ve  $k$  bölümleri arasında oluşan malzeme taşıma maliyetidir.  $X_{ij}$  eğer  $i$  bölümü  $t$  döneminde  $j$  alanına atanmışsa 1, aksi durumda 0 değerini alan 0-1 karar değişkenidir.  $Y_{ijl}$  eğer  $i$  bölümü  $(t-1)$  döneminde  $j$  alanına,  $t$  döneminde  $l$  alanına atanmışsa 1, aksi durumda 0 değerini alan 0-1 karar değişkenidir.

Amaç fonksiyonu (1), bölümler arasındaki malzeme taşıma maliyetleri ile yer değiştirme maliyetlerinin toplamını en küçükler. (2) numaralı denklemdeki kısıt, her bir dönemde her bir alana sadece bir tesisin

atanmasını ve (3) numaralı denklemdeki kısıt ise, her bir dönemde bir tesisin sadece bir alana atanmasını sağlar. (4) numaralı kısıt ise,  $X_{ij}$  'ler ile  $Y_{ij}$  'ler arasındaki ilişkiyi belirler.

Daha önce bahsedildiği gibi, yakın zamanda DTDP'ni çözmek için pek çok sezgisel yöntem önerilmiştir. Rosenblatt [5] iki sezgisel usul önermiştir. Birinci usul, her bir dönem için STDP'nin çözümüyle elde edilen en iyi düzenlemeyi dikkate almaktadır. Bu usulün zayıf tarafı, her bir dönem için STDP'nin çözümüyle bulunan en iyi düzenleme, çok dönemli problem için en iyi olmayabilir. İkinci usul ise, her bir dönem için belirli sayıda düzenlemelerin kümesini bulmak için CRAFT veya COFAD programlarını kullanmaktadır. Urban [7], DTDP'ni çözmek için en dik iniş ikili değişim sezgiselini geliştirmiştir. Lacksonen ve Enscore [8] geliştirilmiş beş sezgisel yöntemi DTDP'ne uygulamışlardır. Bu sezgiseller şunlardır: 1) dinamik programlama sezgiseli 2) KAP için dal-sınır algoritması 3) KAP için kesme düzlemi algoritması 4) kesme ağaçlar algoritması ve 5) KAP için CRAFT algoritmasıdır. Conway ve Venkataraman [9] ile Balakrishnan ve Cheng [10] DTDP için genetik algoritma önermişlerdir. Kaku ve Mazzola [11] ise DTDP'ni çözmek için çeşitlendirme (diversification) ve kuvvetlendirme (intensification) stratejilerini içeren iki aşamalı bir tabu arama algoritması kullanmışlardır. Balakrishnan vd. [12], Urban'ın [7] ikili değişim metodunu geliştiren iki sezgisel yöntem önermişlerdir. Baykasoğlu ve Gindy [13] DTDP için bir tavlama benzetimi sezgiseli önermişlerdir. Çalışmalarında kullandıkları parametreleri belirlemek için çözülen problemin alt sınır çözüm değeri ile üst sınır çözüm değerini kullanmışlardır. Bunlardan başka, DTDP'ni çözmek için Balakrishnan vd. [14] melez genetik algoritma, McKendall ve Shang [15] melez karınca sistemi, McKendall vd. [6] iki yeni Tavlama Benzetimi algoritması ve Rodriguez vd. [16] ise genetik algoritma ile tabu aramayı birleştiren bir melez sezgisel algoritma önermişlerdir. Balakrishnan ve Cheng [17] DTDP ile ilgili olarak bir literatür araştırması yayınlamışlardır.

### 3. DİNAMİK TESİS DÜZENLEME PROBLEMİ İÇİN TB ALGORİTMASI (SA ALGORITHM FOR DYNAMIC FACILITY LAYOUT PROBLEM)

Tavlama Benzetimi (TB), eniyileme problemlerini çözmek için Kirkpatrick vd. [18] tarafından önerilen rastsal bir arama yöntemidir. Pek çok büyük boyutlu gerçek hayat problemlerine başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Uygulama kolaylığı, yakınsama özelliği ve yerel en iyilerden kaçınmak için kullandığı strateji nedeniyle TB, son yıllarda eniyileme problemlerinin çözümünde kullanılan yaygın bir yöntem olmuştur. TB ismini katıların fiziksel tavlama işlemi ile olan benzerlikten almaktadır. TB adım adım iyileştirme yapan bir yöntemdir. Bu işlem

sırasında sadece daha iyi sonuçlar kabul edilmez, aynı zamanda belli bir olasılıkla kötü çözümler de kabul edilir. Böylece algoritmanın yerel en iyilerden kurtulması sağlanır. Bu işlem TB'nin temel özelliklerinden birisidir. TB'inde hedef yerel en iyilerden kurtularak genel en iyiye ulaşmaktır. Kabul olasılığı kavramsal bir sıcaklığa bağlı olarak  $e^{-\Delta E/T}$  şeklinde ifade edilir. Burada  $\Delta E$  mevcut çözüm ile üretilen komşu çözümün amaç fonksiyonları arasındaki değişimi ifade etmektedir.  $T$  ise kontrol parametresi olan sıcaklıktır.

$\Delta E$  'nin küçük değerleri için kötü çözümün kabul edilme olasılığı, büyük değerlerinkinden daha fazladır. Ayrıca, yüksek sıcaklık değerlerinde üretilen yeni çözümlerin çoğu kabul edilecektir. Sıcaklık sıfıra yaklaştıkça üretilen yeni çözümlerin kabul edilme olasılığı da düşecektir. Bu nedenle TB algoritmasında, yerel en iyilerden kurtulmak için başlangıç sıcaklığı genel olarak yüksek bir değer olarak belirlenir. Kolay uygulanabilirliği ve kombinatoriyal eniyileme problemleri için iyi kalitede çözümler üretmesine karşın, TB'nin daha fazla bilgisayar zamanına ihtiyaç duyması ve parametre seçimi için çok deneme gerektirmesi dezavantajlarıdır.

TB'nin DTDP'ne uygulanması için önceden bazı tanımlamalar yapılmalıdır. Problemin çözümünün gösterimi, bu çalışmada iki boyutlu bir matris olarak ifade edilmiştir. Matrisin satırları dönemleri, sütunları ise alanları göstermektedir. Matrisin elemanları ise tesisleri göstermektedir. Mevcut çözümden komşu çözüm elde etmek için ikili yer değiştirme yöntemi kullanılmıştır ve bu işlem iki aşamada yapılmaktadır. Birinci aşamada, rastsal olarak bir dönem seçilir. İkinci aşamada, seçilen bu dönemde rastsal olarak seçilen iki tesisin yerleri değiştirilir böylece bir komşu çözüm elde edilmiş olur. Tavlama Çizelgesi, TB'nde kullanılan parametrelerin oluşturduğu bir yapıdır. Başlangıç sıcaklığı, soğutma oranı, kabul ölçütü, bitirme koşulu parametrelerini içerir. Başlangıç çözümü bu çalışmada algoritma tarafından rastsal olarak oluşturulmaktadır. Algoritmanın başında üretilen çözümlerin büyük çoğunluğunun kabul edilmesi için başlangıç sıcaklığı ( $T_b$ ) yeterince büyük olmalıdır. Bu çalışmada yapılan denemeler sonucunda  $T_b$  20000 olarak belirlenmiştir. Soğutma işlemi iyi kalitede çözümler elde edebilmek için yavaş yapılmalıdır. Bunun için bir soğutma hızından ( $\alpha$ ) yararlanılır. Bir sıcaklıktan diğerine geçerken, önceki sıcaklık soğutma hızı ile çarpılarak yeni sıcaklık bulunur ( $T_c = \alpha * T_{c-1}$ ). Parametre seçimi bütün sezgisel eniyileme problemleri için önemli bir konudur. TB'inde soğutma hızı önemli bir parametredir ve iyi sonuçların elde edilmesi üzerinde çok büyük etkiye sahiptir. Bunun nedeniyle bu çalışmada, üç farklı soğutma hızı kullanılmıştır. Bunlar 0.9997, 0.9998 ve 0.9999 olarak alınmıştır. Algoritmayı durdurma koşulu olarak iterasyon sayısı

kullanılmıştır. Algoritma en büyük iterasyon sayısına ( $iter_{max}$ ) ulaştığı zaman arama sonlanır. Sıcaklık değeri azaltılırken, her bir sıcaklıkta belli sayıda yeni çözüm üretilerek arama işlemi gerçekleştirilir. Bu çalışmada her bir sıcaklıkta üretilen yeni çözümlerin sayısı, çözümü yapılan problemin tesis sayısı olarak belirlenmiştir. Problemler için belirlenen parametreler Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’de ayrıca, problemlerin her bir grubu için saniye olarak ortalama çözüm süresi de yer almaktadır. Geliştirilen TB’nin adımları aşağıda verilmiştir.

**Tablo 1.** Problemler için belirlenen parametreler  
(Parameters determined for problems)

Bölüm Sayısı ( $N$ )	Dönem Sayısı ( $T$ )	Soğutma hızı ( $\alpha$ )	En büyük İterasyon Sayısı ( $iter_{max}$ )	Ortalama Çözüm Zamanı ( $sn$ )
6	5	0.9997	15000	5,93
		0.9998	20000	7,03
		0.9999	40000	13,47
	10	0.9997	15000	18,32
		0.9998	25000	29,12
		0.9999	50000	51,16
15	5	0.9997	18000	152,66
		0.9998	25000	210,96
		0.9999	50000	420,42
	10	0.9997	20000	670,89
		0.9998	30000	1004,66
		0.9999	60000	2005,15
30	5	0.9997	25000	2529,03
		0.9998	30000	3036,30
		0.9999	60000	6055,59
	10	0.9997	25000	10044,68
		0.9998	35000	14045,29
		0.9999	60000	24061,81

**Adım 1:** Parametreleri gir;  $T_b$  (başlangıç sıcaklığı),  $\alpha$  (soğutma hızı),  $CS$  (her bir sıcaklıkta üretilen çözümlerin sayısı),  $iter_{max}$  (en büyük iterasyon sayısı).

**Adım 2:** Rastsal olarak bir başlangıç çözümü üret ( $S_0$ ).  $f_0$  (başlangıç çözümünün maliyeti) hesapla.

**Adım 3:**  $S_{best}$  (en iyi çözüm) =  $S_c$  (mevcut çözüm) =  $S_0$ .  $T_c$  (mevcut sıcaklık) =  $T_b$ ,  $el$  (mevcut iterasyon sayısı) = 1,  $il$  (her bir sıcaklıkta üretilen çözüm sayacı) = 1 ve  $f_{best}$  (en iyi çözümün maliyeti) =  $f_0$ .

**Adım 4:** Yukarıda tanımlandığı gibi mevcut çözümden bir komşu çözüm ( $S_n$ ) üret. Komşu çözümün maliyetini hesapla ( $f_n$ ).

**Adım 5:**  $\Delta = f_n - f_c$  hesapla.

**Adım 6:** Eğer ( $\Delta < 0$ ) ise Adım 8’e değilse Adım 7’ye git.

**Adım 7:** Düzgün dağılıma sahip bir rastsal sayı ( $r$ ) üret. Eğer  $r < e^{(-\Delta / T_c)}$  ise Adım 8’e, değilse Adım 9’a git.

**Adım 8:**  $S_c = S_n$  ve  $f_c = f_n$  yap.

**Adım 9:** Eğer  $f_c < f_{best}$  ise,  $S_{best} = S_c$  ve  $f_{best} = f_c$  yap, değilse Adım 10’a git.

**Adım 10:** Eğer  $il < CS$  ise,  $il = il + 1$  yap ve Adım 4’e git, değilse Adım 11’e git.

**Adım 11:**  $el = el + 1$ ,  $T_{c+1} = \alpha T_c$  ve  $il = 1$  yap.

**Adım 12:** Eğer  $el < iter_{max}$  ise Adım 4’e git, değilse Adım 13’e git.

**Adım 13:** Algoritmayı durdur ve sonuçları dosyaya yaz.

#### 4. HESAPLAMA SONUÇLARI (COMPUTATIONAL RESULTS)

Bu bölümde, TB algoritmasının test problemlerine uygulama sonuçları verilmiştir. Önerilen TB algoritmasının etkinliğini ölçmek ve literatürde var olan diğer yöntemlerle karşılaştırmak için, Balakrishnan vd. [10] tarafından DTDP için oluşturulan test problemleri seti kullanılmıştır. Bu test problemleri seti 6, 15, 30 bölüm ve 5, 10 dönemlerin kombinasyonu şeklindedir ve her bir kombinasyon için 8 adet problemden oluşmaktadır. Test problemlerinin çözümü Pentium D 3.4 GHz PC ile yapılmıştır. Önerilen TB algoritması Fortran-90 programlama dili kullanılarak kodlanmıştır.

Her bir parametre kombinasyonu için test problemleri 10’ar kez çözülmüştür. Her bir parametre kombinasyonu için 10 deneme sonucunda TB algoritması ile bulunan en iyi çözümler Tablo 2’de verilmiştir. Her bir problem için en iyi çözüm koyu olarak gösterilmiştir. Tablo 2’den görülebileceği gibi, TB algoritması 6 bölüm ve 5 ile 10 dönemden oluşan problemler için 3 ayrı soğutma hızında da aynı sonuçlara ulaşmıştır. Ancak 15 ve 30 bölümden oluşan problemler için en iyi çözümler farklı soğutma oranlarında elde edilmişlerdir.

Tablo 3’te, TB ile bulunan sonuçlar ile literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırması verilmiştir. Karşılaştırılan yöntemler şunlardır; McKendall vd. [6] tarafından önerilen iki adet Tavlama Benzetimi (TB I ve TB II), McKendall ve Shang [15] tarafından önerilen Melez Karınca Sistemi (HKS) ve Rodriguez vd. [16] tarafından geliştirilen genetik Algoritma ile Tabu Arama yöntemlerinin birleştirilmesiyle oluşturulan melez algoritmadır (GATA). Önerilen TB algoritması yukarıdaki yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Çünkü bu yöntemler çözümü yapılan test problemleri için literatürdeki en iyi sonuçları veren yöntemlerdir.

Tablo 3’te, her bir problem için yapılan 10 deneme çözümünün ortalaması ve bulunan en iyi çözümler verilmiştir. Ayrıca karşılaştırması yapılan diğer 3 yöntem tarafından bulunan en iyi sonuçlar da kendi isimleri altında sunulmuştur. Son sütunda ise, literatürdeki bilinen en iyi sonuçlardan, önerilen TB ile bulunan en iyi sonuçların sapması yüzde olarak

Tablo 2. TB ile elde edilen en iyi çözümler (The best solutions obtained by SA)

Problem Boyutu	Problem No	Soğutma hızı			Problem Boyutu	Problem No	Soğutma hızı			Problem Boyutu	Problem No	Soğutma hızı		
		0.9997	0.9998	0.9999			N	T	0.9997			0.9998	0.9999	N
5	F01	106419	106419	106419	5	P17	480453	480453	480453	5	P33	577303	576527	576771
	F02	104834	104834	104834		P18	484761	484761	484761		P34	568962	567992	568702
	F03	104320	104320	104320		P19	490183	489058	489128		P35	575084	573352	574247
	F04	106399	106399	106399		P20	484446	485074	486357		P36	566668	567940	564726
	F05	105628	105628	105628		P21	488262	487822	487822		P37	561092	559107	557138
	F06	103985	103985	103985		P22	486493	487108	486644		P38	568798	569037	568000
	F07	106439	106439	106439		P23	487262	486268	486732		P39	569702	568969	569014
	F08	103771	103771	103771		P24	492094	491806	491137		P40	575747	577183	577025
10	F09	214313	214313	214313	15	P25	979834	981396	978848	30	P41	1168516	1164396	1162432
	F10	212134	212134	212134		P26	978223	978841	978159		P42	1162638	1162656	1162206
	F11	207987	207987	207987		P27	983767	983280	983321		P43	1159192	1160806	1158478
	F12	212530	212530	212530		P28	972867	973122	974409		P44	1150961	1144885	1144345
	F13	210906	210906	210906		P29	978437	978219	976310		P45	1131322	1130353	1129096
	F14	209932	209932	209932		P30	972494	968619	970523		P46	1146431	1147363	1147001
	F15	214252	214252	214252		P31	981525	978806	979868		P47	1151456	1151269	1146884
	F16	212588	212588	212588		P32	984637	984343	983334		P48	1170200	1171261	1163977

**Tablo 3.** TB'nin diğer yöntemlerle karşılaştırması (Comparison of SA with other approaches)

Problem Boyutu		Önerilen TB		TB I-II	HKS	GATA	Bilinen En İyi Çözüm	Bilinen En İyi Çözümden Sapma(%)
N	T	Problem No	Ortalama Çözüm	En İyi Çözüm	En İyi Çözüm	En İyi Çözüm	En İyi Çözüm	
6	5	P01	<b>106419</b>	<b>106419</b>	<b>106419</b>	<b>106419</b>	<b>106419</b>	0
		P02	<b>104834</b>	<b>104834</b>	<b>104834</b>	<b>104834</b>	<b>104834</b>	0
		P03	<b>104320</b>	<b>104320</b>	<b>104320</b>	<b>104320</b>	<b>104320</b>	0
		P04	<b>106399</b>	<b>106399</b>	<b>106399</b>	<b>106399</b>	<b>106399</b>	0
		P05	<b>105628</b>	<b>105628</b>	<b>105628</b>	<b>105628</b>	<b>105628</b>	0
		P06	<b>103985</b>	<b>103985</b>	<b>103985</b>	<b>103985</b>	<b>103985</b>	0
		P07	<b>106439</b>	<b>106439</b>	<b>106439</b>	<b>106439</b>	<b>106439</b>	0
		P08	<b>103771</b>	<b>103771</b>	<b>103771</b>	<b>103771</b>	<b>103771</b>	0
	10	P09	<b>214313</b>	<b>214313</b>	<b>214313</b>	<b>214313</b>	<b>214313</b>	0
		P10	<b>212134</b>	<b>212134</b>	<b>212134</b>	<b>212134</b>	<b>212134</b>	0
		P11	208236	<b>207987</b>	<b>207987</b>	<b>207987</b>	<b>207987</b>	0
		P12	212699	<b>212530</b>	<b>212530</b>	<b>212530</b>	<b>212530</b>	0
		P13	210935	<b>210906</b>	<b>210906</b>	<b>210906</b>	<b>210906</b>	0
		P14	209935	<b>209932</b>	<b>209932</b>	<b>209932</b>	<b>209932</b>	0
		P15	<b>214252</b>	<b>214252</b>	<b>214252</b>	<b>214252</b>	<b>214252</b>	0
		P16	212612	<b>212588</b>	<b>212588</b>	<b>212588</b>	<b>212588</b>	0
15	5	P17	481426	<b>480453</b>	<b>480453</b>	<b>480453</b>	<b>480453</b>	0
		P18	484963	<b>484761</b>	<b>484761</b>	<b>484761</b>	<b>484761</b>	0
		P19	490309	489058	<b>488748</b>	<b>488748</b>	<b>488748</b>	0.063
		P20	486180	484446	<b>484405</b>	484446	484446	0.008
		P21	489283	487822	487882	<b>487722</b>	487753	0.021
		P22	488404	<b>486493</b>	487147	486685	<b>486493</b>	0
		P23	487491	<b>486268</b>	486779	486853	<b>486268</b>	0
		P24	492278	491137	490812	491016	<b>490551</b>	0.119
	10	P25	981742	<b>978848</b>	979468	980351	979472	-0.063
		P26	979769	978159	978065	978271	<b>977338</b>	0.084
		P27	985577	983280	982396	<b>978027</b>	984309	0.537
		P28	976772	972867	<b>972797</b>	974694	973171	0.007
		P29	979378	978219	<b>977188</b>	979196	977226	0.106
		P30	971827	968619	<b>967617</b>	971548	967654	0.104
		P31	982196	<b>978806</b>	979114	980752	979866	-0.031
		P32	985586	<b>983334</b>	983672	985707	984952	-0.034
30	5	P33	578083	576527	576039	576886	<b>575371</b>	0.201
		P34	572622	<b>567992</b>	568095	570349	569023	-0.018
		P35	576220	574247	573739	576053	<b>573493</b>	0.131
		P36	568758	<b>564726</b>	566248	566777	566072	-0.238
		P37	559855	<b>557138</b>	558460	558353	557277	-0.025
		P38	569567	568000	566077	566792	<b>565388</b>	0.462
		P39	571275	568969	<b>567131</b>	<b>567131</b>	567217	0.324
		P40	579069	575747	573755	575280	<b>572992</b>	0.731
	10	P41	1166056	1162432	1163222	1166164	<b>1162191</b>	0.021
		P42	1164907	1162206	<b>1161521</b>	1168878	1161594	0.059
		P43	1161118	1158478	1156918	1166366	<b>1156750</b>	0.149
		P44	1147005	<b>1144345</b>	1145918	1148202	1147112	-0.137
		P45	1131354	1129096	<b>1126432</b>	1128855	1129559	0.236
		P46	1152351	1146431	1145146	<b>1141344</b>	1143721	0.496
		P47	1151386	1146884	<b>1140744</b>	1140773	1151021	0.538
		P48	1170566	1163977	<b>1161437</b>	1166157	1168560	0.219

verilmiştir. Koyu olarak gösterilenler çözümü yapılan problem için bulunan en iyi çözümü göstermektedir.

Test problemlerinden 6 bölümden oluşan 16 adet problemin (P01-P16) en iyi sonuçları bilinmektedir. Diğer 15 ve 30 bölümden oluşan 32 test probleminin ise en iyi çözümleri bilinmemektedir. 6 bölüm ve 5 dönemden oluşan 8 problem (P01-P08) için, önerilen TB her üç soğutma hızı ile en iyi sonuçlara ulaşılmıştır. Hatta bu problemler için yapılan bütün denemelerde en iyi sonuçlar bulunmuştur. Karşılaştırması yapılan diğer 3 yöntemde, bu problem grubu için tamamında en iyi sonuçlara ulaşmışlardır. Aynı şekilde 6 bölüm ve 10 dönemden oluşan problem seti (P09-P16) için de önerilen TB ve diğer yöntemler en iyi sonuçlara ulaşmışlardır. 6 bölümden oluşan problem setindeki problemlerin tamamı için, önerilen TB algoritması ve karşılaştırılan diğer yöntemlerin hepsi en iyi çözümleri bulmuşlardır.

15 bölüm ve 5 dönemden oluşan problem grubu (P17-P24) için, önerilen TB, TB I-II ve HKS yöntemleri 8 problemden 4 tanesi için iyi sonuç bulurken, GATA melez sezgisel yöntemi 6 tane problem için iyi sonuç bulmuştur. Bu 8 problem grubu için GATA melez sezgisel yöntemi diğer 3 yöntemden az bir farkla daha iyi çözümler üretmiştir. 15 bölüm ve 10 dönemden oluşan problemler (P25-P32) için önerilen TB ile TB I-II yöntemleri 3'er adet en iyi sonuç bulurken, HKS ve GATA melez sezgisel yöntemleri ise sadece 1'er adet en iyi çözüm elde etmişlerdir. Bu problem seti için önerilen TB ve TB I-II yöntemleri HKS ve GATA yöntemlerine az bir farkla üstünlük sağlamaktadırlar.

Önerilen TB algoritması 30 bölüm ve 5 dönemden oluşan test problemleri (P33-P40) için 3 adet iyi sonuç bulmuştur. Diğer yöntemlerden GATA, TB I-II ve HKS sırasıyla 4,1, ve 1'er adet iyi sonuç bulmuşlardır. Bu problem grubu için önerilen TB ve GATA melez sezgisel yöntemlerinin diğer iki yöntemden iyi oldukları söylenebilir. Önerilen TB, 30 bölüm ve 10 dönemden oluşan 8 problemden (P41-P48) sadece 1 tanesi için iyi sonuç bulmuştur. Karşılaştırılan diğer yöntemlerden TB I-II, 8 problemden 4 tanesi için, HKS 8 problemden 1 tanesi için ve GATA melez sezgisel yöntemi ise 8 problemden 2 tanesi için iyi çözüm bulmuşlardır. Bu problem grubu için TB I-II yöntemi diğer yöntemlerden daha iyi sonuçlar vermiştir. Özet olarak, önerilen TB algoritması çözümü yapılan 48 problemden 27 tanesi için iyi çözümü elde etmiştir. Bu 27 adet iyi çözümden 7 tanesi ise literatürde bilinen en iyi çözümlerden daha iyidir. Böylece önerilen TB algoritmasının DTDP için etkin olduğu görülmüştür. Özellikle 15 bölüm ve 10 dönemden oluşan problemler ile 30 bölüm ve 5 dönemden oluşan problemler için önerilen yeni TB algoritması daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Aynı zamanda soğutma hızı olarak alınan üç değer birbirine çok yakın değerlerdir. Ancak bu değerlerin bulunduğu en iyi çözümlerin sayısı

ise oldukça farklıdır. Soğutma hızlarının üçünde de, altı bölümden oluşan problemlerin tamamı için en iyi çözümleri vermişlerdir. Ancak 15 ve 30 bölümden oluşan problemler için farklı sayılarda iyi çözümler vermişlerdir. 15 bölümden oluşan problemler için 0.9997 soğutma hızı ile 5 adet, 0.9998 ve 0.9999 soğutma hızları ile 8'er adet iyi çözüm elde edilmiştir. 30 bölümden oluşan problemler için, 0.9997 ve 0.9998 soğutma hızları ile sırasıyla 2 ve 3 adet iyi çözüm bulunurken, 0.9999 soğutma hızı ile 11 adet iyi çözüm bulunmuştur (bakınız Tablo 2). Bu sonuçlar, soğutma işleminin yavaş yapılmasının çözüm kalitesi üzerindeki etkisini daha iyi göstermektedir. Soğutma hızları arasında çok küçük bir fark olmasına rağmen, özellikle büyük boyutlu problemlerde çözüm kalitesi açısından soğutma hızının yüksek olmasının önemi daha belirgin olarak gözlenmektedir. Bununla birlikte karşılaştırması yapılan diğer yöntemlerden TB I-II yöntemi 48 problemden 28 tanesi için, HKS yöntemi 48 problemden 23 tanesi için ve GATA melez yöntemi ise 48 problemden 29 tanesi için iyi çözüm bulmuşlardır. Bütün yöntemler yaklaşık olarak birbirine yakın sayıda iyi çözümler elde etmişlerdir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Tesis düzenlemesi bütün işletmelerin karşılaştığı önemli bir problemdir. Tesis düzenlemesi ile temel olarak malzeme taşıma maliyetleri azaltılmaya çalışılır. Bir tesiste malzeme taşıma maliyetleri toplam işletme maliyetinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu nedenle iyi bir tesis düzenlemesi işletmelere önemli bir tasarruf sağlamaktadır. Tesis düzenleme problemleri NP-zor bir yapıya sahiptir ve problem boyutu arttıkça çözüm zamanı üstel olarak artmaktadır. Bu nedenle problemin çözümünde genellikle sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Bu makalede DTDP'ni çözmek için bir TB algoritması önerilmiştir. Önerilen TB ile literatürdeki test problemlerinin çözümü yapılmış ve literatürde bu problem seti için en iyi çözümleri veren diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Hesaplama sonuçları önerilen TB algoritmasının DTDP'ni çözmede etkin bir algoritma olduğunu göstermiştir. Önerilen TB ile literatürde bilinen en iyi sonuçlardan 7 tanesi için daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ancak önerilen TB algoritması TB algoritmasının en yalın halidir. Yani herhangi bir ilave özellik kullanılmamıştır. Bu yüzden, büyük boyutlu problemler için, özellikle 30 bölüm ve 10 dönemden oluşan problemler, bir adet iyi çözüm bulunabilmiştir. Eğer algoritmaya ek özellikler (yeniden ısıtma, algoritma içinde soğutma çizelgesinin değiştirilmesi gibi) kazandırılırsa, büyük boyutlu problemler içinde daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Bundan sonra yapılabilecek çalışmalar olarak, bütçe kısıtlı DTDP ve çok amaçlı DTDP'lerinin çözümleri ele alınabilir. Ayrıca önerilen TB algoritmasının başarısının artırılması için

yeniden ısıtma (reheating strategy) özelliği eklenebilir. Diğer sezgisel yöntemlerle birleştirilerek melez algoritmalar oluşturulabilir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Chiang, W.-C. ve Chiang, C., "Intelligent local search strategies for solving facility layout problems with the quadratic assignment problem formulation", **European Journal of Operational Research**, Cilt 106, 457-488, 1998.
- Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A., Frazelle, E.H., Tanchoco, J.M.A. ve Trevino, J., **Facilities planning**, John Wiley & Sons, NY, A.B.D., 1996.
- Kusiak, A. ve Heragu, S.S., "The facility layout problem", **European Journal of Operational Research**, Cilt 29, No 3, 229-251, 1987.
- Meller, R.D. ve Gau, K.-Y., "The facility layout problem: Recent and emerging trends and perspectives", **Journal of Manufacturing Systems**, Cilt 15, No5, 351-366, 1996.
- Rosenblatt, M.J., "The dynamics of plant layout", **Management Science**, Cilt 32, No 1, 76-86, 1986.
- McKendall, A.R.Jr., Shang, J. ve Kuppusamy, S., "Simulated annealing heuristics for the dynamic facility layout problem", **Computers and Operations Research**, Cilt 33, 2431-2444, 2006.
- Urban, T.L., "A heuristic for the dynamic facility layout problem", **IIE Transactions**, Cilt 25, No 4, 57-63, 1993.
- Lacksonen, T.A. ve Enscore, E.E., "Quadratic assignment algorithms for the dynamic layout problem", **International Journal of Production Research**, Cilt 31, No 3, 503-517, 1993.
- Conway, D.G. ve Venkataramanan, M.A., "Genetic search and the dynamic facility layout problem", **Computers and Operations Research**, Cilt 21, No 8, 955-960, 1994.
- Balakrishnan, J. ve Cheng, C.H., "Genetic search and the dynamic layout problem", **Computers and Operations Research**, Cilt 27, No 6, 587-593, 2000.
- Kaku, B.K. ve Mazzola, J.B., "A tabu-search heuristic for the dynamic plant layout problem", **INFORMS Journal on Computing**, Cilt 9, No 4, 374-384, 1997.
- Balakrishnan, J., Cheng, C.H. ve Conway, D.G., "An improved pair-wise exchange heuristic for the dynamic plant layout problem", **International Journal of Production Research**, Cilt 38, No 13, 3067-3077, 2000.
- Baykasoğlu, A. ve Gindy, N.N.Z., "A simulated annealing algorithm for dynamic layout problem", **Computers and Operations Research**, Cilt 28, 1403-1426, 2001.
- Balakrishnan, J., Cheng, C.H., Conway, D.G. ve Lau, C.M., "A hybrid genetic algorithm for the dynamic plant layout problem", **International Journal of Production Economics**, Cilt 86, 107-120, 2003.
- McKendall, A.R.Jr. ve Shang, J., "Hybrid ant systems for the dynamic facility layout problem", **Computers and Operations Research**, Cilt 33, 790-803, 2006.
- Rodriguez, J.M., MacPhee, F.C., Bonham, D.J. ve Bhavsar, V.C., "Solving the Dynamic Plant Layout Problem using a new hybrid meta-heuristic algorithm", **International Journal of High Performance Computing and Networking**, Cilt 4, No 5/6, 286-294, 2006.
- Balakrishnan, J. ve Cheng, C.H., "Dynamic Layout Algorithms: a State-of-the-art Survey", **OMEGA**, Cilt 26, No 4, 507-521, 1998.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, Jr.C.D. ve Vecchi, M.P., "Optimization by Simulated Annealing", **Science**, Cilt 220, No 4598, 671-680, 1983.