



## İKİ AMAÇLI ÇOK SIRALI YERLEŞİM PROBLEMİ İÇİN BİR DİFERANSİYEL EVRİM ALGORİTMASI

Ezgi ÇİMEN ÜNLÜKAL<sup>1</sup>, Feriştah ÖZÇELİK<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi,  
Endüstri Mühendisliği Bölümü, ESKİŞEHİR

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-3813-3963>

<sup>2</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi,  
Endüstri Mühendisliği Bölümü, ESKİŞEHİR

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-0329-203X>

### Anahtar Kelimeler Öz

*Tesis yerleşim problemi  
Çok sıralı yerleşim  
Diferansiyel evrim  
algoritması*

*Çok sıralı yerleşim problemi, gerçek hayatta sıklıkla karşılaşılan önemli bir tasarım problemidir. Bu çalışmada, toplam akış maliyetinin ve yerleşim alanının enküçüklenmesinin amaçlandığı iki amaçlı çok sıralı yerleşim problemi ele alınmıştır. Problemin çözümü için bir diferansiyel evrim algoritması geliştirilmiştir. Önerilen algoritmanın başarısı literatürden alınan test problemleri ile sınanmıştır. Kullanılan problem seti için diferansiyel evrim algoritması ile 24 yeni baskın çözüm elde edilmiştir. Elde edilen baskın çözümler, toplam taşıma maliyeti açısından literatürden alınan sonuçlardan ortalama % 13 daha iyidir. İşletmeler için maliyetin önemi dikkate alındığında DEA'nın başarısı ortaya çıkmaktadır.*

## A DIFFERENTIAL EVOLUTION ALGORITHM FOR BI-OBJECTIVE MULTI-ROW LAYOUT PROBLEM

### Keywords

*Facility layout  
problem  
Multi-row layout*

### Abstract

*The multi-row layout problem is an important design problem often encountered in real life. In this study, we study a multi-row layout problem with two objectives of material flow cost and layout area. A differential evolution algorithm has been*

\*Sorumlu yazar; e-posta : [fdurmaz@ogu.edu.tr](mailto:fdurmaz@ogu.edu.tr)

doi : <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.1248141>

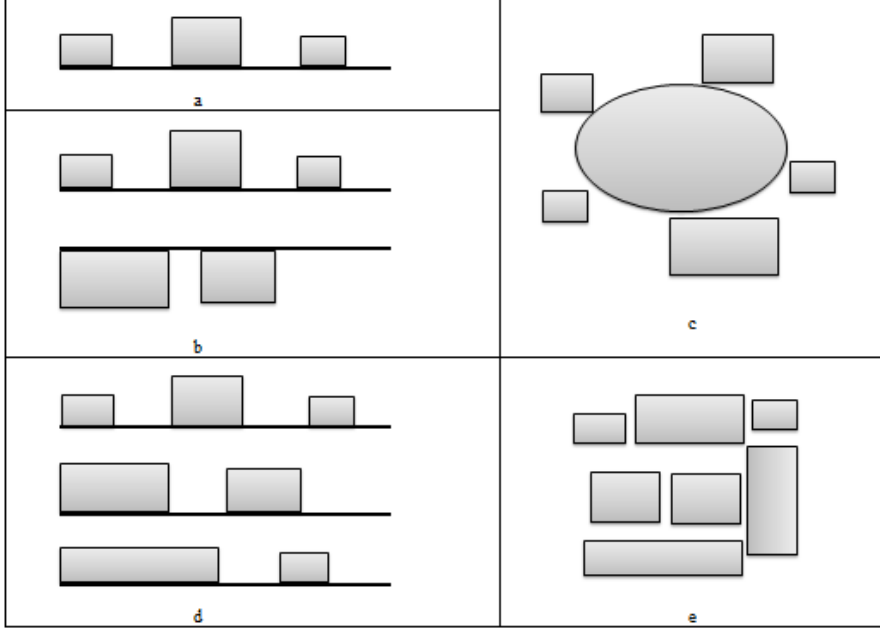
|   |   |
|---|---|
| <i>Differential evolution algorithm</i> | <i>developed to solve the problem. The success of the proposed algorithm has been tested with test problems which are taken from the literature. With the proposed differential evolution algorithm, 24 new nondominated solutions are found for the used test set. The obtained results are on average 13% better than the literature for the total material handling cost. Considering the importance of cost for the companies, the success of differential evolution algorithm emerges.</i> |
| Araştırma Makalesi                      | Research Article  |
| Başvuru Tarihi : 23.02.2023             | Submission Date : 23.02.2023  |
| Kabul Tarihi : 17.06.2023               | Accepted Date : 17.06.2023  |

## 1. Giriş

Küresel dünyada gerek imalat gerekse hizmet sektöründe çalışan işletmeler rekabet gücünü arttırabilmek için her türlü maliyeti azaltıp, verimliliğini ve karlılığını arttırmak istemektedir. İşletmelerde maliyetlerin görünmeyen fakat çoğunu oluşturan etmen malzeme, bilgi, belge vb. taşınmasından oluşan maliyetlerdir. Daha iyi bir yerleşim tasarımı ile malzeme taşıma maliyetlerinin azaltılması mümkün olabilir. Malzeme taşıma maliyetlerini enküçükleyecek şekilde bölümlerin birbirine göre konumlarının belirlenmesi tesis yerleşim problemi olarak ele alınmaktadır.

Esnek üretim sistemi (EÜS), otomatik bir malzeme aktarma sistemiyle birbirine bağlanmış otomatik tezgahlarla, bunların işleyişini kontrol eden bir bilgisayar sisteminden oluşan bir üretim sistemi olarak tanımlanabilir. Bu sistemlerin tasarımında temel problemlerden birisi, tezgah yerleşiminin belirlenmesidir. Yerleşim düzeni, bütün sistemin verimliliğini önemli bir ölçüde etkilediğinden ve bunun daha sonra değiştirilmesi çok pahalıya mal olduğundan etkin bir yerleşim tasarımı, EÜS uygulamalarında kritik bir rol oynar.

Malzeme aktarma sistemleri, yüksek kuruluş ve işletim maliyetleri nedeniyle EÜS'nde özel bir yere sahiptir. EÜS'nde tezgah yerleşimi, genellikle kullanılan malzeme aktarma sistemine bağlı olarak belirlenmektedir. Uygulamada en sık karşılaşılan malzeme aktarma sistemleri, aktarma robotları, otomatik yönlendirilmiş araçlar ve köprülü robotlar olmaktadır. Bu sistemlere bağlı olarak tek sıralı yerleşim (Şekil 1.a), çift sıralı yerleşim (Şekil 1.b), dairesel yerleşim (Şekil 1.c), çok sıralı yerleşim (Şekil 1.d), açık alanlı yerleşim (Şekil 1.e) ortaya çıkmaktadır. Tek sıralı yerleşimde makineler, malzeme aktarma sisteminin bir tarafına olacak şekilde tek bir sıraya yerleştirilirken, çift sıralı yerleşimde malzeme aktarma sisteminin iki tarafına olacak şekilde iki sıraya yerleştirilmektedir. Çok sıralı yerleşimde ise sıra sayısı üç veya daha fazla olabilmektedir. Dairesel yerleşimde makineler, dairesel bir malzeme aktarma sisteminin etrafına yerleştirilmektedir. Herhangi bir sıraya bağlı olmaksızın makinelerin atanabileceği yerleşim türü ise açık alanlı yerleşimdir.



Şekil 1. A) Tek Sıralı Yerleşim B) Çift Sıralı Yerleşim C) Dairesel Yerleşim  
D) Çok Sıralı Yerleşim E) Açık Alanlı Yerleşim

Çok sıralı yerleşim, esnek üretim sistemlerinde sıklıkla kullanılan yerleşim türlerinden birisidir (Fischer, Fischer ve Hungerländer, 2019). Bu problemde temel amaç, toplam taşıma maliyetini enküçükleyecek şekilde makinelerin üç veya daha fazla sıraya atanması ve yerleştirilmesidir. Problemin yapısı nedeniyle büyük boyutlu problemlere kesin çözüm yöntemleri ile makul sürelerde çözüm bulunması mümkün olamamaktadır. Bu nedenle az sayıda çalışmada kesin çözüm yöntemi kullanılmıştır (Fischer ve diğ., 2019; Anjos ve Vieira, 2021; Anjos, Fischer ve Hungerländer, 2018; Hungerländer ve Anjos, 2015). Çok sıralı yerleşim literatürü incelendiğinde genetik algoritma (Safarzadeh ve Koosha, 2017; Lee, 1999; Ficko ve Brezocnik, 2004; Vitayasak, Pongcharoen ve Hicks, 2017), tavlama benzetimi (Tubaileh ve Siam, 2017), harmoni arama algoritması (Lenin ve Siva Kumar, 2021), arı koloni algoritması (Tubaileh ve Siam, 2017; Soimart ve Pongcharoen, 2011), parçacık sürü optimizasyonu algoritması (Hu ve Yang, 2019), değişken komşuluk arama algoritması (Herrán, Colmenar ve Duarte, 2021), öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması (Vitayasak ve Pongcharoen, 2018), guguk kuşu arama algoritması (Mahalingam ve Nagarajan, 2021), GRASP (Wan, Zuo, Li ve Zhao, 2022), biyocoğrafya temelli optimizasyon algoritması (Sooncharoen, Vitayasak, Pongcharoen ve Hicks, 2022) metasezgisel çözüm yaklaşımlarının kullanıldığı görülmektedir.

Diferansiyel evrim algoritması (DEA) son yıllarda eniyileme problemlerinin çözümünde etkin olarak kullanılan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. DEA, Storn ve Price (1997) tarafından geliştirilen popülasyon temelli sezgisel bir algoritmadır. Etkinliği, tesis yerleşim problemleri de dahil olmak üzere birçok gerçek hayattaki uygulama alanında başarıyla kanıtlanmıştır. Tesis yerleşim problemlerinde DEA uygulamaları, tek sıralı yerleşim (Krömer, Platos ve Snasal, 2020) ve dairesel yerleşim (Wan, Zuo ve Zhao, 2022; Zheng ve Teng, 2010) ile sınırlıdır. Erişilebilen literatür dikkate alındığında, çok sıralı yerleşim probleminin çözümü için diferansiyel evrim algoritması (DEA) ilk defa bu çalışmada önerilmiştir.

Bu çalışmada makineler arasında boşlukların olduğu, sıra sayısının bilindiği ve yerleşim alanının serbest olduğu durumda çok sıralı yerleşim problemi ele alınmıştır. Problem, toplam taşıma maliyetinin ve yerleşim alanının enküçüklenmesi olmak üzere iki amaçlı bir yapıya sahiptir.

Bu çalışmanın izleyen bölümünde çok sıralı yerleşim problemi tanımlanmış, üçüncü bölümde geliştirilen diferansiyel evrim algoritması açıklanmıştır. Deneysel sonuçlar dördüncü bölümde, sonuç ve öneriler ise son bölümde sunulmuştur

## 2. Çok Sıralı Yerleşim Problemi

Bu çalışmada  $M$  adet makinenin, serbest bir yerleşim alanına, önceden bilinen sayıda sraya ( $r$ ), hem toplam taşıma maliyetini hem de yerleşim alanının büyüklüğünü enküçükleyecek şekilde yerleştirilmesi problemi ele alınmıştır. Makinelerin uzunluğu ( $l_q$ ) ve genişliği ( $w_q$ ) bilinmektedir ve makineler dikdörtgen şeklindedir. Her makineden sadece bir tane vardır. Birbirine paralel olan herhangi bir sraya birden fazla makine atanabilir.  $t$ . sraya atanan makine sayısı  $R_t$  ile gösterilmektedir. Makinelerde üretilecek ürünlerin rotası belirli ve bilinmektedir. Ürünlerin üretilebilmesi için rotalarında yer alan ve aynı veya farklı sıralarda yer alan makinelere taşınması gerekmektedir. Makineler arasındaki taşımalar alma/bırakma noktaları arasında yapılmakta olup bu noktalar, makine uzunluğunun orta noktasıdır. Makineler ve sıralar arasında güvenlik vb. nedeniyle önceden belirlenmiş ve sabit bir boşluğun olması istenmektedir.

Ele alınan problemde taşıma maliyetinin ve yerleşim alanının eşzamanlı olarak enküçüklenmesi istenilmektedir. Amaç fonksiyonunun değerinin hesaplanması, Lenin ve Siva Kumar'dan (2021) alınan bir örnek problem aracılığıyla gösterilmiştir. Örnek problemde 12 adet makinede işlem görecektir 5 ürün vardır. Makinelerin boyutları Tablo 1'de, ürünlerin rotaları ise Tablo 2'de verilmiştir.

Örnek problemde sıra sayısı ( $r$ ) 5, aynı sıradaki makineler arasında olması gereken enküçük boşluğun değeri ( $g_m$ ) 2 ve sıralar arasında olması istenilen enküçük boşluğun değeri ( $g_r$ ) 2 olarak alınmıştır. Problem için bir örnek

yerleşim Şekil 2’de verilmiştir. Bu çalışmada ele alınan ilk amaç olan yerleşim alanının ( $A$ ) hesaplanabilmesi için yerleşim alanının genişliğinin ( $W$ ) ve uzunluğunun ( $L$ ) belirlenmesi gerekmektedir. Yerleşim alanının genişliği ( $W$ ) sıraların genişliklerinin ( $h_t$ ) toplamı ile sıralar arasındaki boşlukların toplamıyla elde edilmektedir. Bir sıranın genişliği ise, o sıraya atanan makinelerin genişliklerinin enbüyüğüne eşittir. Örnek yerleşim için satır genişlikleri sırasıyla; 12,95 metre, 15,02 metre, 4,85 metre, 6,21 metre ve 12,25 metredir. Örnek problemde sıralar arası genişlik iki olarak ele alındığından ilgili çözüm için yerleşim alanının genişliği 59,28 metre olarak hesaplanmıştır. Yerleşim alanının genişliği Eş. (1)’de verilen formülle hesaplanabilir.

$$W = \sum_{t=1}^R h_t + (r - 1) * g_r \quad (1)$$

Tablo 1.

## Makine Boyutları

| <i>Makine</i> | <i>Genişlik (<math>w_q</math>)</i> | <i>Uzunluk (<math>l_q</math>)</i> |
|---------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| M1            | 6,21                               | 4,88                              |
| M2            | 4,92                               | 11,27                             |
| M3            | 5,87                               | 21,25                             |
| M4            | 4,85                               | 2,78                              |
| M5            | 7,49                               | 5,57                              |
| M6            | 3,25                               | 2,38                              |
| M7            | 10,98                              | 12,94                             |
| M8            | 15,02                              | 12,22                             |
| M9            | 5,78                               | 3,56                              |
| M10           | 12,25                              | 13,48                             |
| M11           | 6,52                               | 4,45                              |
| M12           | 12,95                              | 16,23                             |

Tablo 2.

## Ürünlerin Rotaları

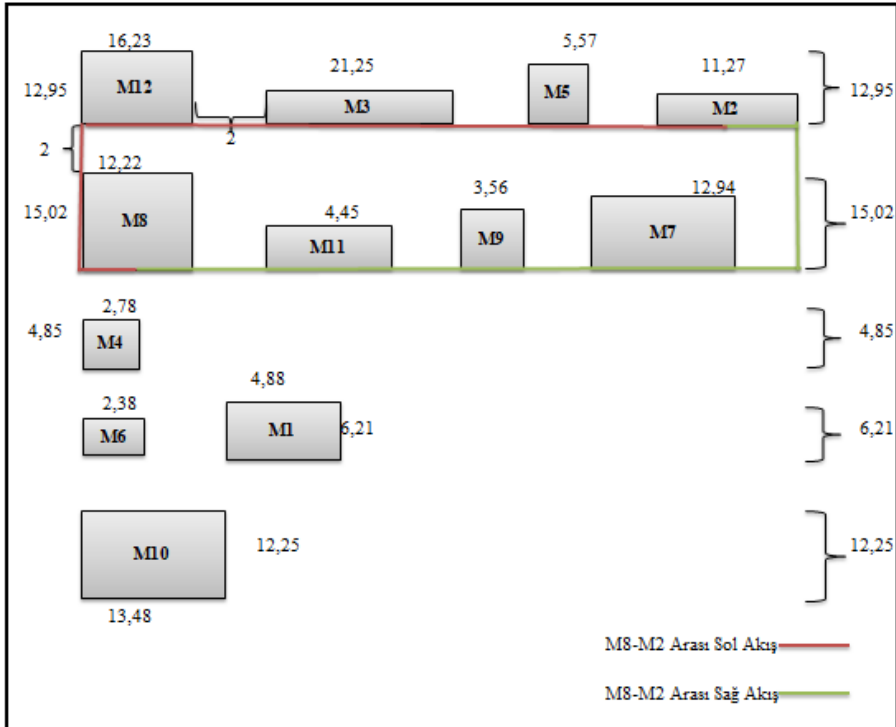
| <i>Ürün</i> | <i>Rota</i>     |
|-------------|-----------------|
| 1           | M8-M2-M10-M9-M6 |
| 2           | M4-M8-M6-M5     |
| 3           | M1-M11-M4-M5    |
| 4           | M12-M3-M7-M1    |
| 5           | M10-M9-M5-M7-M2 |

Bir sıranın uzunluğu ise, o sıraya atanan makinelerin uzunluklarının toplamı ile makineler arası boşlukların toplamına eşittir. Örnek yerleşimde ilk sıranın uzunluğu, bu sıraya atanan makinelerin (M12, M3, M5 ve M2) uzunlukları toplamı (54,32 metre) ile bu dört makine arasında olması istenilen toplam boşluğun (6 metre) toplamı ile bulunmaktadır ve değeri 60,32 metredir. Diğer sıraların uzunlukları sırasıyla 39,17 metre, 2,78 metre, 9,26 metre ve 13,48 metredir. Yerleşim alanının uzunluğu, en uzun satırın uzunluğuna eşittir ve örnek problem için 60,32 metredir. Yerleşim alanının uzunluğu Eş. (2)'de verildiği şekilde hesaplanabilir.

$$L = enb_t \left\{ \sum_{\substack{t.siraya \\ atanan\ i\tilde{m}ler}} l_i + (R_t - 1) * g_m \right\} \quad (2)$$

Bu durumda yerleşim alanı amaç fonksiyonunun değeri Eş. (3)'de verilen formülle hesaplanır ( $59,28 \times 60,32 = 3575,76$  metre olarak bulunur.

$$A = W \times L \quad (3)$$



Şekil 2. Örnek Problem İçin Çok Sıralı Yerleşim Örneği

Diğer amaç fonksiyonu olan toplam taşıma maliyeti ( $F_i$ ), sistemde üretilen tüm ürünlerin rotalarındaki makineler arasındaki taşıma mesafelerinin toplamına eşittir. Bir ürünün rotasındaki ardışık iki makine aynı sıraya veya farklı sıraya atanmış olabilir. Farklı sıradaki makineler arasındaki akışlar ise malzeme aktarma sistemi hem sağa hem de sola taşıma yapabildiğinden sağdan veya soldan olabilmektedir. Örneğin Şekil 2’de M8 ile M2 arasındaki sağdan akışa karşı gelen sağ akış mesafesi yeşil, soldan akışa karşı gelen sol taşıma mesafesi kırmızı ile gösterilmiştir. İki makine arasındaki taşımalar sağdan veya soldan olabileceğinden toplam taşıma maliyetinin enküçüklenebilmesi için bu iki mesafeden enküçüğünün gerçekleştirilmesi uygun olacaktır.

Bu çalışmada ele alınan problem iki amaçlı olduğundan bu amaçların birleştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. İlgilenilen amaçlar öncelikle normalleştirilmiş sonra da bu normalleştirilmiş amaçlar toplanarak Eş. (3)’te verilen birleştirilmiş amaç fonksiyonu elde edilmiştir. Bir sonraki bölümde detayları verilen DEA’da çözümlerin değerlendirilmesi aşamasında bu birleştirilmiş amaç fonksiyonu kullanılmıştır.

$$N_c = \frac{A_i - A_{min}}{A_{max} - A_{min}} + \frac{F_i - F_{min}}{F_{max} - F_{min}} \quad \forall i = 1, 2, \dots, NP \quad (3)$$

### 3. Önerilen Diferansiyel Evrim Algoritması

Diferansiyel Evrim Algoritmasında, her nesilde daha iyi bireyler elde edebilmek için popülasyona sırasıyla mutasyon, çaprazlama ve seçim operatörleri uygulanmaktadır. Bu işlemler önceden belirlenen bir durdurma koşuluna ulaşılan kadar devam etmektedir.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### 3.1. Çözümlerin Gösterimi ve Başlangıç Popülasyonun Türetilmesi

DEA rassal olarak türetilen  $NP$  adet  $D$  boyutlu çözümden oluşan başlangıç popülasyonu ile başlamaktadır.  $G$  neslindeki popülasyonun  $i$ . bireyi  $X_{iG}$  çözüm vektörü, Eş. (4)’de verildiği şekilde gösterilebilir.

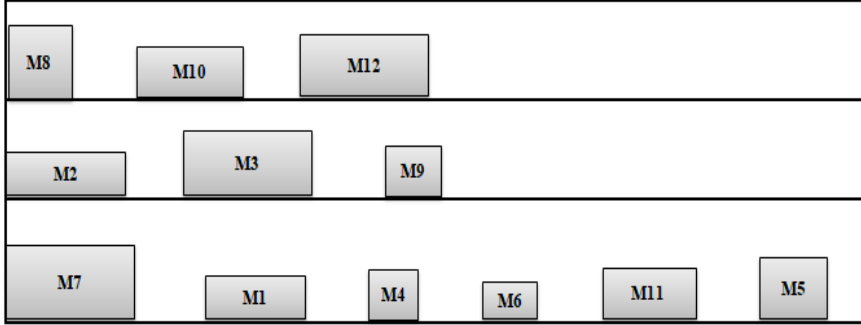
$$X_{iG} = [x_{1iG} \ x_{2iG} \ x_{3iG} \ \dots \ x_{DiG}] \quad i = 1, 2, \dots, NP \quad (4)$$

Bu çalışmada popülasyon büyüklüğü ( $NP$ ) makine sayısına eşit olarak ele alınmıştır. Başlangıç popülasyonu rassal olarak türetilmiştir. Popülasyondaki her bir çözüm vektörünün uzunluğu, makine sayısına eşittir. Vektörün elemanları, [1, satır sayısı+1] aralığında olacak şekilde sürekli rassal değişkenler olarak türetilmiştir. Türetilen rassal sayının ondalık ayracından önceki kısmı ilgili makinenin atandığı sırayı, ondalık ayracından sonraki kısmı ise ilgili

makinenin atandığı sıradaki sıra konumunu vermektedir. Makinelerin sırasını belirlemek için aynı sıraya atanmış makinelere ait rassal sayılar, küçükten büyüğe sıralanmaktadır. 12 makineli ve 3 sıralı bir yerleşim problemi için örnek bir çözüm vektörü Şekil 3'te verilmiştir. İlgili çözüm vektöründe ondalık ayıracından önceki değeri 1 olan M8 (1,3853), M10 (1,8017) ve M12 (1,8017) makineleri 1. sıraya atanmıştır. Bu değerler küçükten büyüğe sıralandığında M8, M10 ve M12 makinelerinin 1. sıraya verilen sıra ile atandığı görülmektedir. Bu çözüme karşı gelen yerleşim, 8-10-12 / 2-3-9 / 7-1-4-6-11-5 şeklinde ifade edilebilir. 1. sıraya makine 8, 10 ve 12'nin, 2. sıraya makine 2, 3 ve 9'un ve 3. sıraya makine 7, 1, 4, 6 11 ve 5'in belirtilen sıra ile yerleştirildiği çözüm için yerleşim, Şekil 4'te verilmiştir.

|        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 3,1245 | 2,7472 | 2,8020 | 3,1626 | 3,9559 | 3,1857 | 3,0890 | 1,3853 | 2,8767 | 1,8017 | 3,6181 | 1,8595 |
| M1     | M2     | M3     | M4     | M5     | M6     | M7     | M8     | M9     | M10    | M11    | M12    |

Şekil 3. Örnek Bir Çözüm Vektörü



Şekil 4. Örnek Çözüme Karşı Gelen Yerleşim

### 3.2. Mutasyon

DEA'da her bir hedef vektör  $X_{iG}$  için mutant vektör  $V_{iG}$ , Eş. (5)'deki gibi türetilmektedir.

$$V_{iG} = X_{aG} + F \times (X_{bG} - X_{cG}) \quad (5)$$

Burada,  $a, b, c$  ile gösterilen değerler 1 ile  $NP$  aralığında rastgele seçilen parametrelerdir. Bu parametreler, hedef vektörden yani  $i$  indisinden farklı olmalıdır. Her bir mutant vektör için ayrı  $a, b, c$  parametreleri elde edilmektedir.



$F$ , ölçek faktörü olarak adlandırılan bir parametredir ve  $[0,2]$  aralığında değer almaktadır. Mutant vektörün türetilmesi için bir örnek Şekil 5'te verilmiştir.

### 3.3. Çaprazlama

Aday vektörün ( $U_{iG}$ ) elemanları, Eş. (6)'e uygun olacak şekilde ya hedef vektörden ( $X_{iG}$ ) ya da mutant vektörden ( $V_{iG}$ ) alınmaktadır. Bunun için  $[0,1]$  aralığında bir rassal sayı üretilmektedir. Bu sayı çaprazlama oranı  $CR$ 'den küçük veya eşit ise aday vektörün ilgili elemanı mutant vektörden, değilse hedef vektörden alınmaktadır. Bunun yanı sıra en az bir elemanın mutant vektörden gelmesini garantilemek amacıyla  $(1,D)$  aralığında bir rassal tamsayı türetilmektedir.

$$U_{jiG} = \begin{cases} V_{jiG} ; & \text{rassal} \leq CR \text{ veya } j = \text{IntRnd}(1, D) \\ X_{jiG} ; & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad (6)$$

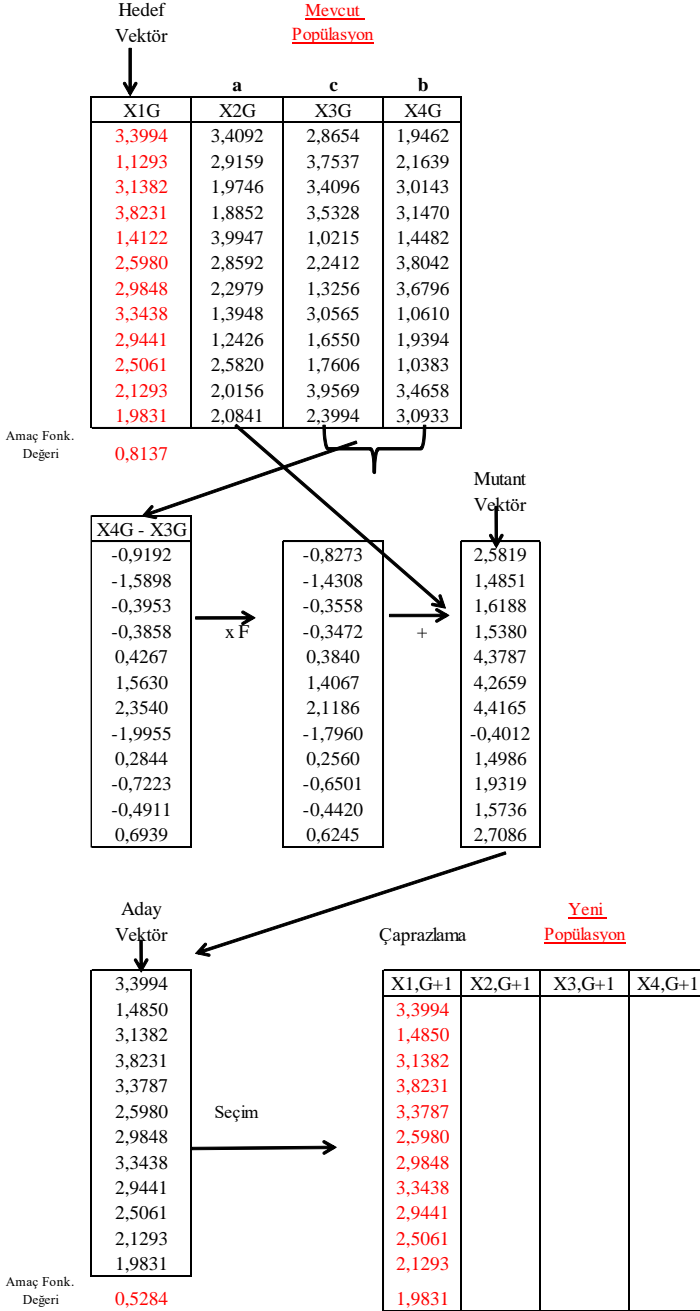
Aday vektörün türetilmesi için bir örnek Şekil 5'te verilmiştir. Aday vektörün herhangi bir elemanının değeri,  $[1, \text{satır sayısı}+1)$  aralığının dışına çıkarsa bu değer, yakın olduğu sınır değerine eşitlenmektedir. Böylece, her zaman olurlu çözümler türetilmesi garanti edilmektedir.

### 3.4. Seçim

Yeni nesilde yer alacak çözüm vektörlerinin belirlenmesi amacıyla Eş. (7)'te verildiği şekilde bir seçim işlemi uygulanmaktadır. Enküçükleme amaç fonksiyonu için yazılmış olan eşitlik incelenecek olursa, aday vektör ( $U_{iG}$ ) veya hedef vektörden ( $X_{iG}$ ) daha iyi amaç fonksiyonu değerine sahip olan bireyin, bir sonraki nesile taşınmak üzere seçileceği görülecektir.

$$X_{i,G+1} = \begin{cases} U_{iG} ; & f(U_{iG}) \leq f(X_{iG}) \\ X_{iG} ; & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad (7)$$

Seçim mekanizması için bir örnek Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Yeni Neslin Türetilmesi için Bir Örnek

#### 4. Deneysel Sonuçlar

Önerilen DEA Python 3.9'da kodlanmıştır. Testler için Intel® Core™ i5-3210 CPU 2.5 GHZ işlemcisi olan 4 GB ram özelliklerine sahip bir bilgisayar kullanılmıştır. Kullanılan test problemlerinin özellikleri ve test sonuçları, izleyen alt başlıklarda sunulmuştur.

##### 4.1 Test problemlerinin özellikleri

Geliştirilen algoritmanın performansı Lenin ve Siva Kumar (2021)'dan alınan test problemleri kullanılarak test edilmiştir. Her bir test problemi için makine sayısı, ürün sayısı, satır sayısı Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Test Problemlerinin Özellikleri

| <i>Problem</i> | <i>Makine Sayısı</i> | <i>Ürün Sayısı</i> | <i>Sıra Sayısı</i> |
|----------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| TP 1           | 12                   | 5                  | 3                  |
| TP 2           | 10                   | 5                  | 3                  |
| TP 3           | 10                   | 10                 | 4                  |
| TP 4           | 20                   | 10                 | 4                  |
| TP 5           | 20                   | 20                 | 4                  |
| TP 6           | 20                   | 40                 | 4                  |
| TP 7           | 30                   | 15                 | 5                  |
| TP 8           | 30                   | 30                 | 6                  |
| TP 9           | 40                   | 20                 | 6                  |
| TP 10          | 40                   | 40                 | 6                  |
| TP 11          | 50                   | 25                 | 8                  |
| TP 12          | 50                   | 40                 | 9                  |

##### 4.2 Test Sonuçları

Algoritmanın bütün parametreleri literatürdeki öneriler doğrultusunda yapılan ön denemeler ile belirlenmiş ve tüm test problemleri için sabitlenmiştir. Das ve Suganthan (2011) DEA ile ilgili literatür taraması çalışmasında, DEA'nın iki önemli parametresi olan ölçek faktörü için 0.4 ile 1 aralığının, çaprazlama oranı için ise ayrıştırılabilir fonksiyonlar için 0.1 gibi düşük değerlerin etkin olduğunu belirtmiştir. Bununla uyumlu olacak şekilde, ölçek faktörünün ( $F$ ) değeri Ronkkonen, Kukkonen ve Price (2005) tarafından önerildiği gibi 0.9 ve çaprazlama oranı ( $CR$ ) Storn ve Price (1997) tarafından önerildiği gibi 0.1 olarak alınmıştır. Bu parametreler, başka araştırmacılar (Özçelik, 2018) tarafından da kullanılmış ve başarılı oldukları gösterilmiştir. Popülasyon büyüklüğü makine sayısına eşit, durdurma koşulu ise problem boyutuna göre değişken olacak şekilde *makine sayısı*  $x$  500 olarak alınmıştır. Tüm test problemleri 10 tekrarlı olarak çözülmüştür.

DEA ile elde edilen sonuçlar, Lenin ve Siva Kumar (2021) tarafından önerilen Harmoni Arama Algoritması'nın (HAA) sonuçları ile karşılaştırılmıştır. HAA ve

DEA ile elde edilen baskın çözümler Tablo 4'te, DEA için ortalama çözüm süreleri ise Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 4.

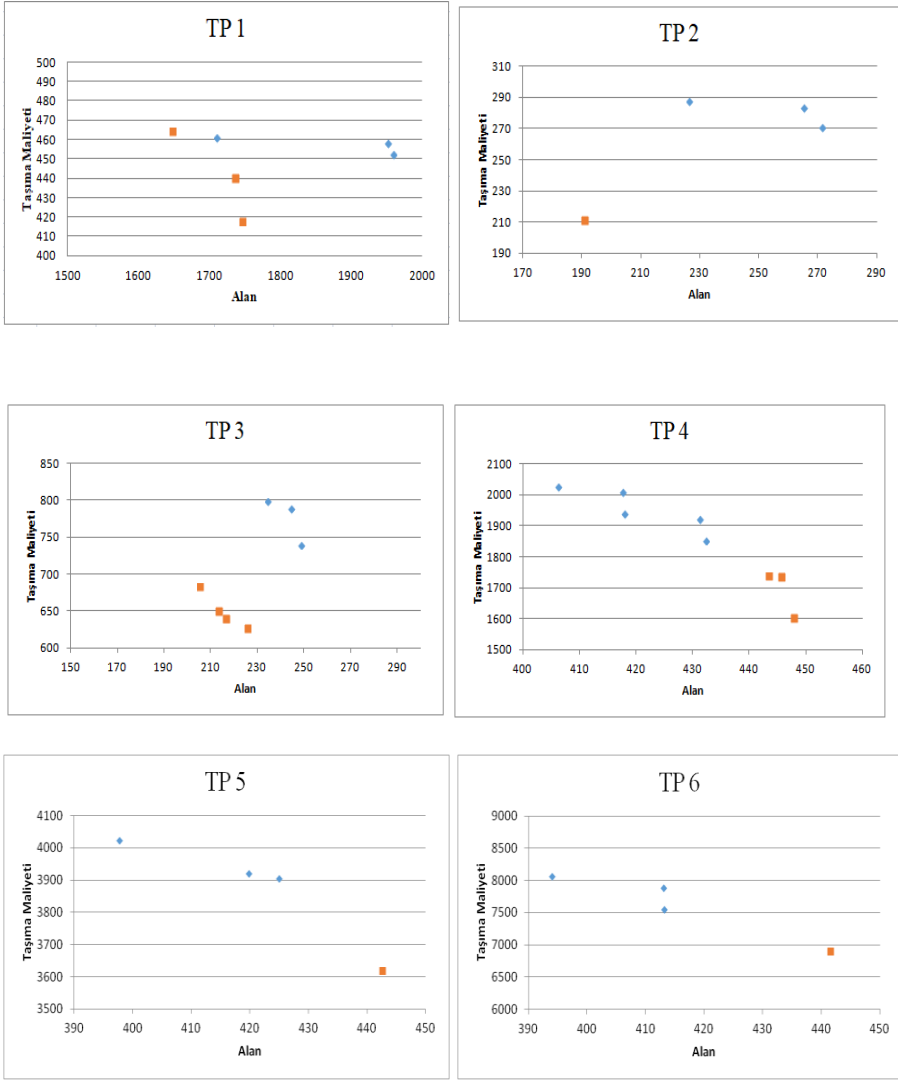
## Test Sonuçları

|      | <i>HAA (Lenin ve Siva Kumar, 2021)</i> |                        | <i>DEA</i>     |                        |
|------|--|------------------------|----------------|------------------------|
|      | <i>Alan</i>                            | <i>Taşıma Maliyeti</i> | <i>Alan</i>    | <i>Taşıma Maliyeti</i> |
| TP 1 | <b>1710,75</b>                         | <b>460,86</b>          | <b>1647,51</b> | <b>464,56</b>          |
|      | 1951,65                                | 457,97                 | <b>1735,69</b> | <b>440,66</b>          |
|      | 1958,95                                | 452,20                 | <b>1745,52</b> | <b>418,19</b>          |
| TP2  | 226,46                                 | 287,52                 | <b>191,10</b>  | <b>210,98</b>          |
|      | 265,32                                 | 283,42                 |                |                        |
|      | 271,35                                 | 270,77                 |                |                        |
| TP 3 | 234,60                                 | 797,90                 | <b>205,32</b>  | <b>683,90</b>          |
|      | 244,37                                 | 789,05                 | <b>213,36</b>  | <b>651,45</b>          |
|      | 248,97                                 | 739,45                 | <b>216,25</b>  | <b>640,60</b>          |
| TP 4 | <b>406,07</b>                          | <b>2025,45</b>         | <b>443,37</b>  | <b>1739,87</b>         |
|      | <b>417,60</b>                          | <b>2011,23</b>         | <b>445,69</b>  | <b>1739,29</b>         |
|      | <b>417,86</b>                          | <b>1938,96</b>         | <b>447,96</b>  | <b>1605,04</b>         |
|      | <b>431,11</b>                          | <b>1924,03</b>         |                |                        |
|      | <b>432,28</b>                          | <b>1852,92</b>         |                |                        |
| TP5  | <b>397,68</b>                          | <b>4024,84</b>         | <b>442,60</b>  | <b>3620,08</b>         |
|      | <b>419,78</b>                          | <b>3921,49</b>         |                |                        |
|      | <b>424,92</b>                          | <b>3906,40</b>         |                |                        |
| TP6  | <b>413,14</b>                          | <b>7547,90</b>         | <b>441,55</b>  | <b>6898,42</b>         |
|      | <b>413,08</b>                          | <b>7885,82</b>         |                |                        |
|      | <b>393,98</b>                          | <b>8067,52</b>         |                |                        |
| TP7  | <b>631,07</b>                          | <b>4519,01</b>         | <b>725,14</b>  | <b>3975,33</b>         |
|      | <b>659,29</b>                          | <b>4419,40</b>         | <b>740,92</b>  | <b>3913,99</b>         |
|      |  |                        | <b>769,65</b>  | <b>3902,72</b>         |
| TP8  | 731,82                                 | 8792,94                | <b>727,17</b>  | <b>7319,89</b>         |
|      | 736,30                                 | 8432,44                | <b>745,19</b>  | <b>7279,57</b>         |
|      | 749,63                                 | 8540,43                | <b>767,85</b>  | <b>7225,79</b>         |
|      | 777,84                                 | 8504,90                |                |                        |
| TP9  | <b>1018,60</b>                         | <b>7935,66</b>         | <b>1090,70</b> | <b>6653,32</b>         |
|      | <b>1022,35</b>                         | <b>7754,13</b>         |                |                        |
|      | <b>1043,18</b>                         | <b>7553,67</b>         |                |                        |
|      | <b>1046,64</b>                         | <b>7079,21</b>         |                |                        |
| TP10 | <b>998,07</b>                          | <b>14834,88</b>        | <b>1070,15</b> | <b>12974,14</b>        |
|      | <b>1016,08</b>                         | <b>14369,72</b>        | <b>1077,98</b> | <b>12699,20</b>        |
|      | <b>1024,64</b>                         | <b>14278,58</b>        |                |                        |
|      | <b>1055,88</b>                         | <b>13569,29</b>        |                |                        |
| TP11 | <b>1131,87</b>                         | <b>11146,09</b>        | <b>1382,39</b> | <b>10326,53</b>        |
|      | <b>1140,89</b>                         | <b>10493,86</b>        |                |                        |
|      | <b>1163,27</b>                         | <b>10419,68</b>        |                |                        |
|      | <b>1092,89</b>                         | <b>16453,9</b>         | 1426,76        | 16619,54               |
| TP12 | <b>1094,07</b>                         | <b>16357,87</b>        | <b>1940,64</b> | <b>15624,27</b>        |
|      | <b>1108,22</b>                         | <b>16031,3</b>         |                |                        |
|      | <b>1125,02</b>                         | <b>15857,92</b>        |                |                        |

Tablo 4'te koyu ile işaretlenen sonuçlar iki çalışmanın birbiriyle karşılaştırılmasıyla elde edilen baskın noktaları göstermektedir. Her iki yöntemle elde edilen Pareto çözümler Şekil 6 ve Şekil 7'de verilen grafiklerde gösterilmiştir. Tablo ve şekillerden görülebileceği gibi DEA ile, tüm test problemlerinde en az bir tane yeni baskın çözüm edilmiştir. Kullanılan problem seti için diferansiyel evrim algoritması ile 24 yeni baskın çözüm elde edilmiştir (Tablo 6). Elde edilen baskın çözümler, toplam taşıma maliyeti açısından literatürden alınan sonuçlardan ortalama % 13 daha iyidir. İşletmeler için maliyetin önemi dikkate alındığında DEA'nın başarısı ortaya çıkmaktadır.

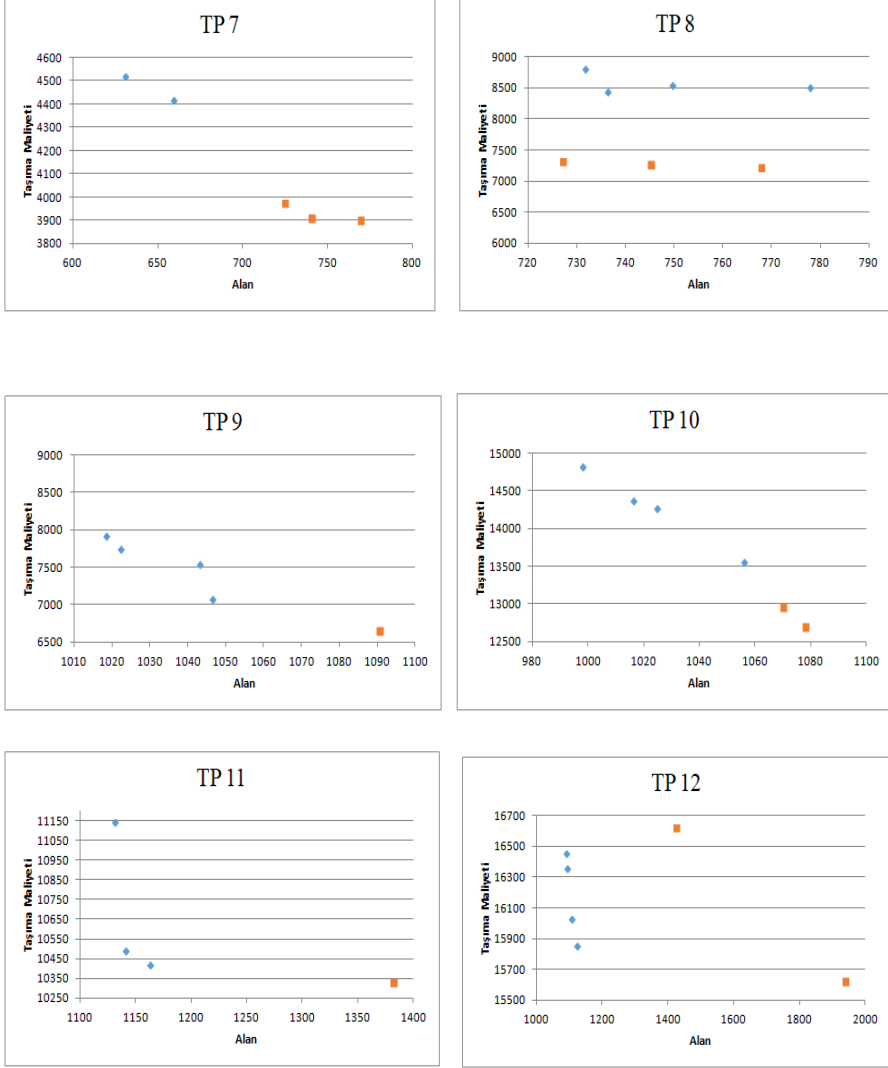
Tablo 5.  
DEA için Ortalama Çözüm Süreleri

| <i>Problem</i> | <i>Süre (sn)</i> | <i>Problem</i> | <i>Süre (sn)</i> |
|----------------|------------------|----------------|------------------|
| TP 1           | 9                | TP 7           | 63               |
| TP 2           | 6                | TP 8           | 226              |
| TP 3           | 7                | TP 9           | 517              |
| TP 4           | 19               | TP 10          | 623              |
| TP 5           | 75               | TP 11          | 994              |
| TP 6           | 43               | TP 12          | 1569             |



◆ HAA (Lenin ve Siva Kumar, 2021) ■ DEA

Şekil 6. 20 ve Daha Az Makineli Test Problemleri İçin Elde Edilen Pareto Çözümler



◆ HAA (Lenin ve Siva Kumar, 2021) ■ DEA

Şekil 7. 30 ve Daha Fazla Makineli Test Problemleri İçin Elde Edilen Pareto Çözümler.

Tablo 6.  
DEA ile Elde Edilen Yeni Baskın Çözümler

| Problem | Alan    | Taşıma Maliyeti | Çözüm  |
|---------|---------|-----------------|--|
| TP 1    | 1647,51 | 464,56          | 10-8-12 / 9-2-3 / 1-6-11-4-5-7   |
|         | 1735,69 | 440,66          | 12-8-2 / 9-5-6-10-7 / 4-3-11-1   |
|         | 1745,52 | 418,19          | 2-8-10-6 / 7-12-5-9 / 3-1-11-4   |
| TP 2    | 191,10  | 210,98          | 10-6-1 / 5-7-8-4 / 9-3-2   |
| TP 3    | 205,32  | 683,90          | 6-10 / 5-4-8 / 1-7-2 / 3-9   |
|         | 213,36  | 651,45          | 4-10-6 / 8-5-1 / 7-9 / 2-3   |
|         | 216,25  | 640,60          | 8-5-10 / 6-1-4 / 9-7 / 3-2   |
|         | 225,70  | 627,45          | 10-6 / 5-8-1 / 7-9 / 4-2-3   |
| TP 4    | 443,37  | 1739,87         | 20-13-10-18-15 / 9-6-2-14-16 / 7-11-5-8-3 / 1-12-19-17-4   |
|         | 445,69  | 1739,29         | 15-12-19-20-14 / 18-10-17-4-13 / 1-9-6-5-11 / 3-7-8-2-16   |
|         | 447,96  | 1605,04         | 18-8-6-10 / 15-16-11-20-9-7 / 17-3-1-2-5 / 19-14-13-12-4   |
| TP 5    | 442,60  | 3620,08         | 19-12-18-10 / 13-1-14-4-7 / 17-6-3-9-2 / 15-11-20-8-5-16   |
| TP 6    | 441,55  | 6898,42         | 10-8-18-5-4 / 17-13-19-12-2 / 15-1-9-14-20 / 16-11-7-3-6   |
| TP 7    | 725,14  | 3975,33         | 22-10-13-1-12-14 / 11-7-30-6-26-9 / 25-8-27-15-28-20-19 / 3-24-4-18-17-5 / 21-29-23-2-16   |
|         | 740,92  | 3913,99         | 26-16-10-8-23-6 / 9-29-14-12-15-2 / 3-4-30-5-13-1 / 11-21-17-22-7-20 / 28-18-27-24-19-25   |
|         | 769,65  | 3902,72         | 20-10-27-9-25-16 / 8-22-4-26-15-11 / 2-30-1-3-7-5 / 6-23-24-21-18-12 / 19-14-29-28-13-17   |
| TP 8    | 727,17  | 7319,89         | 21-23-1-2 / 10-12-9-6-26 / 3-11-5-15-22 / 13-30-8-7-19-28 / 16-29-4-20-17 / 24-25-14-18-27   |
|         | 745,19  | 7279,57         | 13-10-29-12-15 / 3-30-20-14-17 / 4-28-1-19-9 / 18-11-2-5-24 / 8-22-25-27-21 / 6-16-26-23-7   |
|         | 767,85  | 7225,79         | 26-23-10-27-25 / 20-2-11-17 / 4-13-16-1-7 / 5-3-18-24-22 / 28-12-19-9-14-15 / 21-30-8-29-6   |
| TP 9    | 1090,70 | 6653,32         | 18-6-21-19-7-10-34 / 20-9-26-31-15-30-32-25 / 16-3-1-22-14-35 / 17-8-13-5-38-2 / 27-37-28-36-40-12 / 11-23-4-24-39-33-29                                     |
| TP 10   | 1070,15 | 12974,14        | 30-34-20-39-40-32-36 / 9-8-6-10-1-19-18 / 2-15-16-4-35-13-33 / 31-25-23-26-38-17-28 / 5-22-27-14-24-11 / 7-12-3-37-29-21                                     |
|         | 1077,98 | 12699,20        | 20-18-8-10-28-1-31 / 3-22-27-23-29-13-2 / 15-12-5-26-9-11-16 / 6-19-25-4-36-14-39 / 30-17-32-38-24-7 / 33-34-37-40-21-35                                     |
| TP 11   | 1382,39 | 10326,53        | 37-20-29-23-26-15 / 6-47-16-49-19-38 / 2-39-4-44-13-42 / 21-48-33-22-40-31 / 3-14-7-11-50-25-8 / 1-43-28-5-12 / 10-17-34-18-24-35-45 / 32-9-46-36-27-30-41   |
| TP 12   | 1940,64 | 15624,27        | 5-7-31-21-39-40-8 / 9-17-49-45-44-22-18-4-43 / 19-3-46-50-6-30-25 / 2-11-42-37-36-13 / 27-14-16-34-15-20 / 23-12-29-32 / 33-47-24-10-28 / 1-41-38 / 26-35-48 |



## 5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada çok sıralı yerleşim problemi ele alınmıştır. Ele alınan problem iki amaçlı bir yapıya sahip olup amaçlar, makinelerin atanacağı yerleşim alanının ve makineler arası malzeme taşıma maliyetinin enküçüklenmesidir. Problemin çözümü için diferansiyel evrim algoritması geliştirilmiştir. Önerilen DEA ile çok sıralı yerleşim problemi için yeni baskın çözümler elde edilmiştir. DEA ile özellikle malzeme taşıma maliyeti açısından daha iyi çözümler elde edilmiştir. Bu çalışmada, makineler arası boşlukların tüm makineler için eşit ve simetrik olduğu durum dikkate alınmıştır. Gelecek çalışmalarda, makineler arası boşluğun simetrik olmadığı durum ele alınabilir. Bu çalışmada ele alınan probleme, literatürde uygulanmayan diğer meta sezgiseller de uygulanabilir.

## Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Ezgi ÇİMEN ÜNLÜKAL, literatür taraması, diferansiyel evrim algoritmasının geliştirilmesi, deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesi, makalenin yazımı; Feriştah ÖZÇELİK, makalede ele alınan problemin ve çözüm yaklaşımının ana fikrinin oluşturulmasında, diferansiyel evrim algoritmasının geliştirilmesi, makalenin yazımı konularında katkı sağlamışlardır.

## Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

## Kaynaklar

- Anjos, M. F., Fischer, A. ve Hungerländer, P. (2018). Improved exact approaches for row layout problems with departments of equal length. *European Journal of Operational Research*, 270(2), 514-529. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.04.008>
- Anjos, M. F. ve Vieira, M.V. (2021). Mathematical optimization approach for facility layout on several rows. *Optimization Letters*, 15, 9-23. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11590-020-01621-z>
- Das, S. ve Suganthan, P.N. (2011). Differential evolution: A survey of the State-of-the-Art, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 15(1), 4-31. Doi: <https://doi.org/10.1109/TEVC.2010.2059031>.
- Ficko, M. ve Brezocnik, M. (2004). Designing the layout of single- and multiple-rows flexible manufacturing system by genetic algorithms. *Journal of Materials Processing Technology*, 157, 150-158. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.09.012>

- Fischer, A., Fischer, F. ve Hungerländer, P. (2019). New exact approaches to row layout problems. *Mathematical Programming Computation*, 11, 703-754. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12532-019-00162-6>
- Herrán, A., Colmenar, J. M. ve Duarte, A. (2021). An efficient variable neighborhood search for the Space-Free Multi-Row Facility Layout problem. *European Journal of Operational Research*, 295(3), 893-907. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.03.027>
- Hu, B. ve Yang, B. (2019). A particle swarm optimization algorithm for multi-row facility layout problem in semiconductor fabrication. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10, 3201-3210. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12652-018-1037-3>
- Hungerländer, P. ve Anjos, M. F. (2015). A semidefinite optimization-based approach for global optimization of multi-row facility layout. *European Journal of Operational Research*, 245(1), 46-61. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.02.049>
- Krömer, P., Platoš, J. ve Snášel, V. (2020). Solving the single row facility layout problem by differential evolution. *2020 Genetic and Evolutionary Computation Conference*, 210-218. Doi: <https://doi.org/10.1145/3377930.3389839>
- Lee, G. H. (1999). Design of components and manufacturing system for material handling in CIM. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 12(1), 39-53. Doi: <https://doi.org/10.1080/095119299130452>
- Lenin, N. ve Siva Kumar, M. (2021). Harmony search algorithm for simultaneous minimization of bi-objectives in multi-row parallel machine layout problem. *Evolutionary Intelligence*, 14, 1495-1522. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12065-020-00419-3>
- Mahalingam, S. K. ve Nagarajan, L. (2021). Strategy to reduce floor area and flow distance of products in multi-row parallel machine layout design using cuckoo search algorithm. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 20(02), 273-315. Doi: <https://doi.org/10.1142/S0219686721500141>
- Özçelik, F. (2018). Basit düz ve U-tipi montaj hattı dengeleme problemleri için diferansiyel evrim algoritması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(1), 130-140. Doi: <https://doi.org/10.5505/pajes.2017.47487>
- Ronkkonen, J.I., Kukkonen, S. ve Price, K. (2005). Real-Parameter optimization with differential evolution. *2005 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, Edinburgh, UK, 506-513. Doi: <https://doi.org/10.1109/CEC.2005.1554725>
- Safarzadeh, S. ve Koosha, H. (2017). Solving an extended multi-row facility layout problem with fuzzy clearances using GA. *Applied Soft Computing*, 61, 819-831. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.09.003>

- Soimart, P. ve Pongcharoen, P. (2011). Multi-row machine layout design using artificial bee colony. *International Conference on Economics and Business Information*, 103-108. Erişim adresi: [https://www.researchgate.net/publication/316154721\\_Multirow\\_Machine\\_Layout\\_Design\\_using\\_Artificial\\_Bee\\_Colony](https://www.researchgate.net/publication/316154721_Multirow_Machine_Layout_Design_using_Artificial_Bee_Colony)
- Sooncharoen, S., Vitayasak, S., Pongcharoen, P. ve Hicks, C. (2022). Development of a modified biogeography-based optimisation tool for solving the unequal-sized machine and multi-row configuration facility layout design problem. *ScienceAsia*, 48S1, 12-20. Doi: <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2022.S002>
- Storn, R. ve Price, K. (1997). Differential evolution - A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of Global Optimization*, 11, 341-359. Doi: <https://doi.org/10.1023/A:1008202821328>
- Tubaileh, A. ve Siam, J. (2017). Single and multi-row layout design for flexible manufacturing systems. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 30(12), 1316-1330. Doi: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2017.1314013>
- Vitayasak, S. ve Pongcharoen, P. (2018). Performance improvement of Teaching-Learning-Based Optimisation for robust machine layout design. *Expert Systems with Applications*, 98, 129-152. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.01.005>
- Vitayasak, S., Pongcharoen, P. ve Hicks, C. (2017). A tool for solving stochastic dynamic facility layout problems with stochastic demand using either a Genetic Algorithm or modified Backtracking Search Algorithm. *International Journal of Production Economics*, 190, 146-157. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.03.019>
- Wan, X., Zuo, X. ve Zhao, X. (2022). A differential evolution algorithm combined with linear programming for solving a closed loop facility layout problem. *Applied Soft Computing*, 121, 108725. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.108725>
- Wan, X., Zuo, X., Li, X. ve Zhao, X. (2022). A hybrid multiobjective GRASP for a multi-row facility layout problem with extra clearances. *International Journal of Production Research*, 60(3), 957-976. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1847342>
- Zheng, X. J. ve Teng, H. F. (2010). A relative position-coded differential evolution for loop-based station sequencing problem. *International Journal of Production Research*, 48(18), 5327-5344. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207540903121073>