Çok Sıralı Yerleşim Problemi İçin Bir Diferansiyel Evrim Algoritması

Ezgi Çimen Ünlükal

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2023

A Differential Evolution Algorithm for the Multi-Row Layout Problem

Ezgi Çimen Ünlükal

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Industrial Engineering

January 2023

Çok Sıralı Yerleşim Problemi İçin Bir Diferansiyel Evrim Algoritması

Ezgi Çimen Ünlükal

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği Uyarınca

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim ve Servis Sistemleri Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Feriştah Özçelik

Ocak 2023

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Feriştah Özçelik danışmanlığında hazırlamış olduğum "Çok Sıralı Yerleşim Problemi İçin Bir Diferansiyel Evrim Algoritması" başlıklı Yüksek Lisans tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallarına uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim 09/01/2023.

Ezgi Çimen Ünlükal

İmza

ÖZET

İşletmelerin görünmeyen fakat maliyetlerinin çoğunu oluşturan gider kalemi malzeme taşıma maliyetleridir. Optimum bir yerleşim düzeni ile malzeme taşıma maliyeti enküçüklenmektedir. Tesis yerleşim probleminde, malzeme taşıma maliyetini enküçükleyecek yerleşim düzeni araştırılmaktadır. Tesis yerleşim problemleri, kendi içinde tek sıralı, çift sıralı, çok sıralı yerleşim vb. alt problemlere ayrılmaktadır. Bu çalışmada çok sıralı yerleşim problemi ele alınmıştır. Ele alınan çok sıralı yerleşim probleminde hem malzeme taşıma maliyeti hem de yerleşimin alanını enküçüklenmesi istenmektedir. Problemin çözümü için bir Diferansiyel Evrim Algoritması (DEA) geliştirilmiştir. Önerilen algoritmanın başarısı literatürden alınan test problemleri ile sınanmıştır. DEA ile her test probleminde en az bir baskın çözüm elde edilmiştir. Özellikle işletmeler için kritik olan malzeme taşıma maliyeti açısından daha iyi çözümler elde edilmiştir. Bu durum daha önce literatürde çok sıralı yerleşim problemleri için çalışılmayan DEA'nın başarısını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yerleşim problemleri, çok sıralı yerleşim problemi, Diferansiyel Evrim Algoritması

SUMMARY

Material transportation costs are the invisible expense item that constitutes most of the costs of the enterprises. Material handling costs are minimized with an optimum layout. In the facility layout problem, the layout that will minimize the material handling cost is investigated. Facility layout problems divided into sub-problems as single-row, double-row, multi-row layout etc.. In this study, the multi-row layout problem is discussed. İn the multi-row layut problem is desired to minimize both the material handling cost and the settlement area. A Differential Evolution Algorithm (DEA) has been developed to solve the problem. The success of the proposed algorithm has been tested with test problems which are taken from the literature. At least one dominant solution was obtained for each test problem with DEA. Better solutions have been obtained for the cost of material handling which is critical for businesses. This shows the success of DEA which has not been studied for multi-row layout problems in the literature.

Keywords: Layout problems, multi-row layout problem, Differential Evolution Algorithm

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....vi

SUMMARY……..…….vii

TEŞEKKÜR……..……...viii

İÇİNDEKİLER.....ix

ŞEKİLLER DİZİNİ…….…….……..xi

ÇİZELGELER DİZİNİ…….……...xii

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ……..….xiii

1.GİRİŞ VE AMAÇ..... 1

2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI..... 2

2.1 Çok Sıralı Yerleşim Problemi 3

2.2 Literatür Özeti..... 6

3.MATERYAL VE YÖNTEM 11

3.1 Ele Alınan Problem 11

3.1.1 Yerleşim alanının hesaplanması 14

3.1.2 Ürünlerin rotasına göre makineler arası taşıma maliyetinin hesaplanması 16

3.1.3 Normalleşmiş amaç değerinin hesaplanması..... 18

3.2 Diferansiyel Evrim Algoritması 18

3.2.1 Başlangıç popülasyonun türetilmesi..... 18

3.2.2. Mutasyon 19

3.2.3 Çaprazlama 19

İÇİNDEKİLER(devam)

Sayfa

3.2.4 Seçim 20

3.3 Çok Sıralı Yerleşim Problemi için Diferansiyel Evrim Algoritması 20

3.3.1 Başlangıç popülasyonunun oluşturulması ve çözümlerin gösterimi 20

3.3.2 Problem çözümü için Diferansiyel Evrim Algoritmasının adımları 21

4.BULGULAR VE TARTIŞMA 25

4.1 Test Problemlerinin Özellikleri 25

4.2 Test Sonuçları 26

5.SONUÇ VE ÖNERİLER 31

KAYNAKLAR DİZİNİ 32

EK AÇIKLAMALAR 35

Ek Açıklama A: Test problemleri İçin Makine Genişlik ve Uzunlukları 36

Ek Açıklama B: Test Problemleri İçin Ürün Rotaları 39

Ek Açıklama C: DEA İle Elde Edilen Sonuçlar 48

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

2.1. Yerleşim şekilleri: a) tek sıralı yerleşim b) çift sıralı yerleşim c) dairesel yerleşim d) çok sıralı yerleşim e) açık alanlı yerleşim 2
2.2. Çok sıralı yerleşim 3
2.3. Makineler arası boşluğun ele alınmadığı durum 4
2.4. Makineler arası boşluğun ele alındığı durum: a) makineler arası boşluklar eşit $ei,j = ej,k$ b) makineler arası gereken boşluklar eşit değil ve simetrik $ei,j \neq ej,k$ ve $ei,j = ej,i$ c) makineler arası gereken boşluklar eşit değil ve asimetrik $ei,j \neq ej,k$ ve $ei,j \neq ej,i$ 5
3.1. 12 makine 5 ürün problemi için makinelerin yerleşimi 13
3.2. Yerleşim alanının genişliği ve uzunluğunun hesaplanması 15
3.3. M2 ve M8 makineleri arasındaki taşıma mesafesi 17
3.4. Çözüm gösterimi 21
3.5. Şekil 3.4'teki çözüme karşı gelen yerleşim 21
3.6. DEA Algoritma Adımları 22
3.7. Mutasyon, çaprazlama ve seçim aşamaları 24
4.1. HAA ile DEA ile elde edilen pareto çözümler 29
4.2. HAA ile DEA ile elde edilen pareto çözümler 30

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

2.1. Literatür özet tablosu……10
3.1. Makine genişlik ve makine uzunluk tablosu…….12
3.2. Ürünlerin rotası…….12
3.3. Birinci ürün için taşıma mesafesinin hesaplanması……..16
3.4. Her bir ürünün akış mesafesi…… 17
4.1.Test problemlerinde ele alınan makine, ürün ve sıra sayıları..... 25
4.2. Her bir test problemin ortalama çözüm süresi……..26
4.3. Test sonuçları.……...28

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
AKA	Arı Koloni Algoritması
AOUYKG	Ayrık Optimizasyona Uygulanan Yarı Kesin Gevşeme
ARUAP	Aç gözlü Rastgele Uyarlanabilir Arama Prosedürü
BTOA	Biyocoğrafya Temelli Optimizasyon Algoritması
ÇAHGA	Çok Amaçlı Hiyerarşik Genetik Algoritma
DEA	Diferansiyel Evrim Algoritması
DKAA	Değişken Komşuluk Arama Algoritması
DP	Doğrusal Programlama
DSA	Dal Sınır Algoritması
GA	Genetik Algoritma
GKAA	Guguk Kuşu Arama Algoritması
GVTAA	Genetik ve Tabu Arama Algoritması (Melez)
HAA	Harmoni Arama Algoritması
İDOM	İkili Doğrusal Optimizasyon Modeli
KABA	Kuaterniyon Ateş Böceği Algoritması
KPM	Karesel Programlama Modeli
MEGDAA	Modifiye Edilmiş Geriye Dönük Arama Algoritması
ÖÖDO	Öğretme Öğrenmeye Dayalı Optimizasyon
SA	Sezgisel Algoritma
SZA	Sürü Zekâsı Algoritması
TB	Tavlama Benzetimi
YAKA	Yapay Arı Kolonisi Algoritması

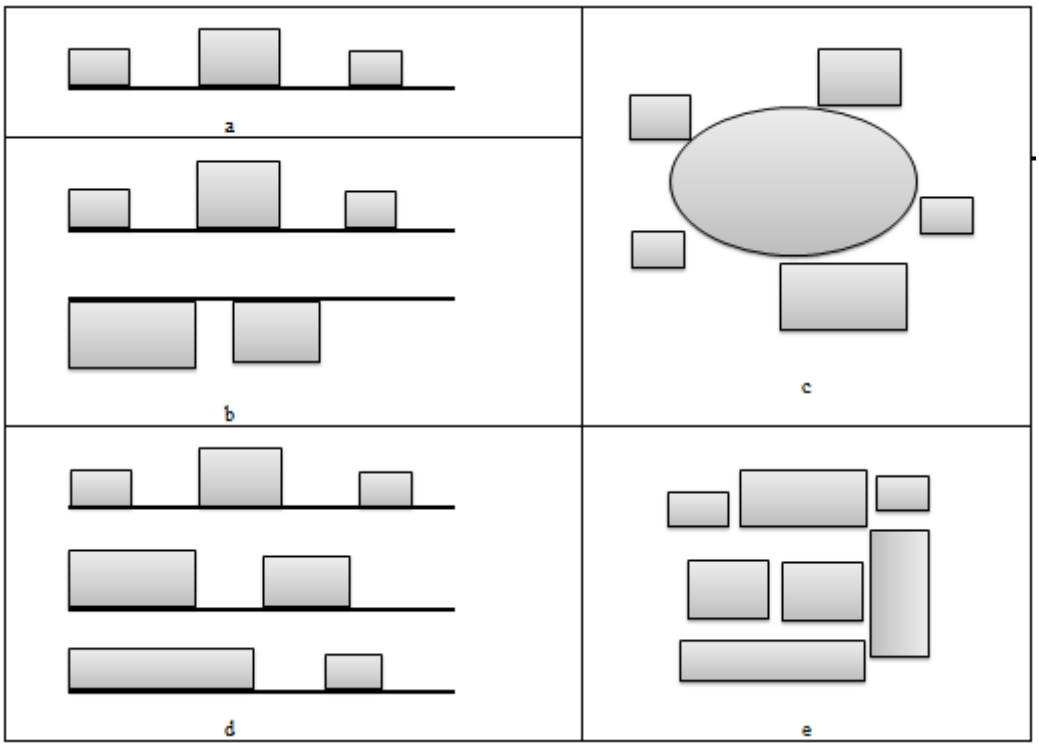
1. GİRİŞ VE AMAÇ

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. Yerleşim problemi, tesis veya makine yerleşim problemi olarak literatürde yer almaktadır. Tesis veya makine yerleşim problemleri; tek sıralı yerleşim, çift sıralı yerleşim ve çok sıralı yerleşim problemleri vb. olarak sınıflandırılmaktadır. Çok sıralı yerleşim problemlerinin gerçek hayata daha uygun olması ve esnek üretim sistemlerinde daha fazla tercih edilmesinden dolayı bu çalışmada çok sıralı yerleşim problemi ele alınmıştır. Çok sıralı yerleşim probleminde temel amaç, malzemenin işletme içinde taşınma yolunun düzenlenmesi ile toplam üretim maliyetini enküçükleyen makine veya tesis düzenini elde etmektir. Bu çalışmada ele alınan çok sıralı yerleşim problemi, malzeme taşıma maliyetini ve yerleşim alanını eş zamanlı olarak enküçüklemeyi amaçlamaktadır. Büyük boyutlu çok sıralı yerleşim problemlerine kesin çözüm yöntemleri ile makul sürelerde çözüm bulunması mümkün olmamaktadır. Bu nedenle problemin çözümü için literatürde sezgisel veya meta sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Ele alınan iki amaçlı çok sıralı yerleşim probleminin çözümü için Diferansiyel Evrim Algoritması (DEA) bu çalışmada ilk kez kullanılmıştır.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İzleyen bölümde, çok sıralı yerleşim problemleri açıklanmakta ve çok sıralı yerleşim problemleriyle ilgili literatür araştırması verilmektedir. Üçüncü bölümde; çalışmada ele alınan problem, amaç fonksiyon değerlerinin nasıl hesaplandığı ve diferansiyel evrim algoritmasının adımları ile geliştirilen DEA açıklanmaktadır. Dördüncü bölümde; deneysel sonuçlar verilmekte ve sonuçlar literatür ile kıyaslanmaktadır. Son bölümde ise çalışma değerlendirilmekte ve gelecekte yapılabilecek çalışma önerilerinde bulunulmaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Esnek üretim sistemlerinde yerleşim, otomatik yönlendirmeli taşıyıcılardan oluşan malzeme aktarma sisteminden etkilenmektedir. Buna bağlı olarak farklı yerleşim türleri vardır. Bu yerleşim türleri; tek sıralı yerleşim, çift sıralı yerleşim, çok sıralı yerleşim, dairesel yerleşim, açık alanlı yerleşim olarak sınıflandırılmaktadır. Tek sıralı yerleşimde makinelerin atanabileceği sıra sayısı birdir. Çift sıralı yerleşim probleminde makineler iki sıraya yerleştirilmektedir. Çok sıralı yerleşimde makineler ikiden fazla sıraya atanabilmektedir. Dairesel yerleşimde, n adet makine n adet konuma atanmaktadır. Dairesel yerleşimde bir yükleme/boşaltma istasyonu bulunmaktadır ve makineler dairesel bir malzeme aktarma sisteminin etrafına yerleştirilmektedir. Herhangi bir sıraya bağlı olmaksızın makinelerin atanabileceği yerleşim türü açık alanlı yerleşimdir. Genel olarak tüm yerleşim problemlerinde amaç makineler arası malzeme taşıma maliyetinin enküçüklendiği yerleşimi bulmaktır. Bahsedilen yerleşim türleri Şekil 2.1'de görülmektedir.

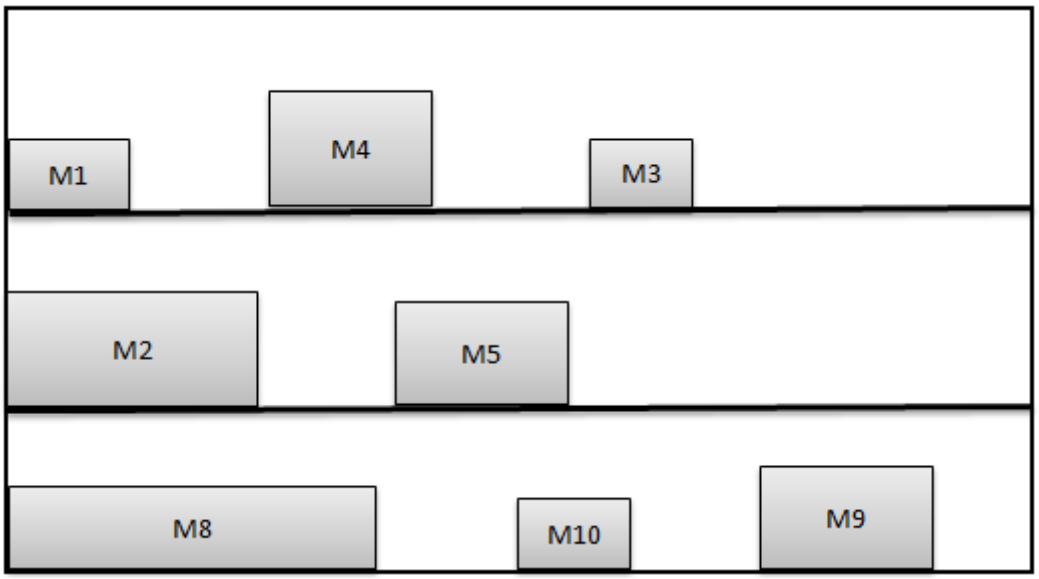


Şekil 2.1. Yerleşim şekilleri: a) tek sıralı yerleşim b) çift sıralı yerleşim c) dairesel yerleşim d) çok sıralı yerleşim e) açık alanlı yerleşim

İzleyen bölümlerde çok sıralı yerleşim problemi ayrıntılı olarak açıklanmış ve literatür özeti verilmiştir.

2.1. Çok Sıralı Yerleşim Problemi

Çok sıralı yerleşim, esnek üretim sistemlerinde sıklıkla kullanılan yerleşim türlerinden birisidir (Fischer vd., 2019). Uygulamada çok sıralı yerleşim problemleriyle tek sıralı yerleşim problemlerine göre daha sıklıkla karşılaşılmaktadır.



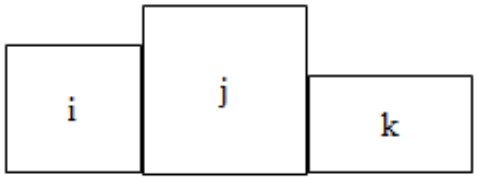
Şekil 2.2. Çok sıralı yerleşim

Çok sıralı yerleşim problemlerinde temel amaç, toplam taşıma maliyetini enküçükleyecek şekilde makinelerin üç veya daha fazla sıraya atanması ve yerleştirilmesidir (Soimart ve Pongcharoen, 2011) (Bkz. Şekil 2.2). Çok sıralı yerleşim problemlerinde ele alınan genel varsayımlar aşağıdaki gibidir (Soimart ve Pongcharoen, 2011).

- Makineler ve makinelerin bulunduğu alanlar dikdörtgen şekillidir.
- Makinelerin alma/bırakma noktaları, ağırlık merkezleridir.
- Makineler alan içinde ve yan duvarlara paralel olarak düzenlenmelidir.

- Makineler arası malzeme ve parça akışı soldan sağa, sağdan sola, yukarıdan aşağıya, aşağıdan yukarıya olabilir.

Çok sıralı yerleşim problemlerinde üç durum dikkati çekmektedir. Bunlardan ilki, yerleşim alanına yerleştirilecek makineler arasındaki boşluğun ele alınıp alınmamasıdır. Makineler arasındaki boşluk, güvenlik vb nedeniyle iki makine arasında olması istenilen enküçük mesafedir. Boşluğun ele alınmadığı durumlarda makineler arasındaki olması gereken boşluk, makinenin boyutlarına dâhil edilmektedir. Pratikte makineler arası boşluğun makinenin boyutlarına dâhil edilerek makineler arası boşluğun olmadığı durum Şekil 2.3'te gösterilmektedir.

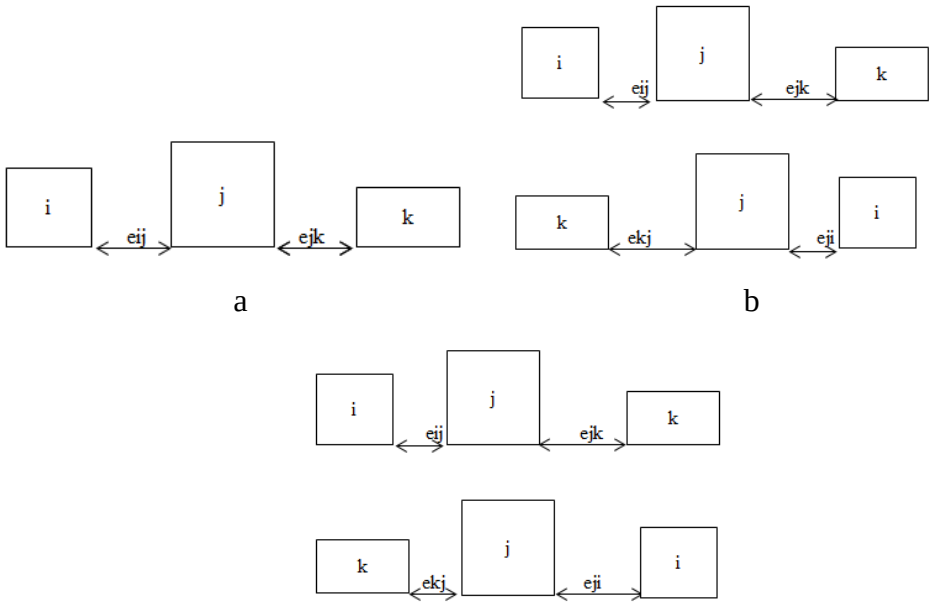


Şekil 2.3. Makineler arası boşluğun ele alınmadığı durum

Makineler arası boşluğun ele alındığı durumlarda kendi içinde üçe ayrılmaktadır. Keller'a (2019) göre *i, j* ve *k* olarak adlandırılan her bir makine çifti arasındaki gereken boşluk $e_{i,j}$ve $e_{j,k}$ olarak ifade edilmektedir. Makineler arası boşlukların ele alındığı durumlardan ilkinde $e_{i,j} = e_{j,k}$'dır. Buna göre makineler arasındaki boşluklar eşittir.

İkinci durumda makineler arası boşluk eşit değildir yani $e_{i,j} \neq e_{j,k}$ 'dır ve makineler için gereken boşluk simetriktir. Buna göre $e_{i,j} = e_{j,i}$ ' dir.

Son durumda ise makineler arası gereken boşluk hem eşit değil hem de asimetriktir. Yani $e_{i,j} \neq e_{j,k}$ ve $e_{i,j} \neq e_{j,i}$ 'dir (Bkz. Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Makineler arası boşluğun ele alındığı durum: a) makineler arası boşluklar eşit $\boldsymbol{e_{i,j} = e_{j,k}}$ b) makineler arası gereken boşluklar eşit değil ve simetrik $\boldsymbol{e_{i,j} \neq e_{j,k}}$ ve $\boldsymbol{e_{i,j} = e_{j,i}}$ c) makineler arası gereken boşluklar eşit değil ve asimetrik $\boldsymbol{e_{i,j} \neq e_{j,k}}$ ve $\boldsymbol{e_{i,j} \neq e_{j,i}}$

İkinci durum, makinelerin yerleşim alanında yerleştirilmesi gereken sıra sayısının sabit olması veya serbest bırakılması durumudur. Sıra sayısının belli olduğu durumda sıra sayısı sabit bir değer olarak ele alınmaktadır. Örneğin yerleşim alanında üç sıra olduğu varsayıldığında tüm makinelerin bu üç sıradan birine yerleştirilmesi gerekmektedir. Sıra sayısının serbest bırakıldığı durumda ise sıra sayısı problemi çözmeden önce bilinmemekte ve çözüme göre değişebilmektedir.

Çok sıralı yerleşim probleminde ele alınan son durum ise yerleşim alanının sabit veya serbest olmasıdır. Yerleşim alanının sabit olduğu durum, makinelerin yerleştirileceği alanın boyutları, genişlik ve uzunluğu, belli ve sınırlı olmasıdır. Serbest olduğu durumda ise çalışmada ele alınan makinelerin hepsi yerleşim alanına yerleştirilene kadar alan genişleyebilmektedir.

İzleyen bölümde çok sıralı yerleşim problemi literatüründeki çalışmalar, bu üç durum açısından incelenmiştir.

2.2. Literatür Özeti

Literatürde çok sıralı yerleşim alanında yapılan çalışmalar özetlenmiş ve Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Anjos ve Vieira (2020), çok sıralı yerleşim problemlerinde bölümler arası taşıma maliyetini enküçükleyen karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. Oluşturulan model on üçten büyük problemler için sınırlı olduğundan modelin çözümü için iki aşamalı optimizasyon algoritması oluşturulmuştur.

Lenin ve Siva Kumar (2021) tarafından, çok sıralı yerleşim problemi, ürünlerin makineler arası toplam akış mesafesi ve makinelerin yerleşim alanını eş zamanlı olarak enküçükleyen amaç fonksiyonu ile ele alınmıştır. Çok sıralı yerleşim probleminde iki amacı eş zamanlı olarak enküçükleyen makinelerin yerleşimini bulmak için harmoni arama(harmony search) algoritması uygulanmıştır.

Literatürde yer alan tek sıralı yerleşim için bir tamsayılı model, Fischer vd. (2019) tarafından çok sıralı yerleşime uyarlanmıştır. Amaç, makineler arası mesafenin enküçüklenmesidir. Uyarlanan model dal sınır algoritması ile çözülmüştür.

Hu ve Yang (2018) yarı iletken imalat fabrikasında makineler arası toplam taşıma mesafesini enküçüklemeyi amaçlayan çok sıralı yerleşim modeli geliştirmişlerdir. Model, sürü zekâsı algoritması ile çözülmüştür.

Anjos vd. (2018) eşit uzunluktaki ve aralarındaki boşlukların göz ardı edildiği makinelerin bulunduğu çok sıralı yerleşim problemini ele almıştır. Geliştirdikleri modeli, CPLEX ile çözmüşlerdir.

Tubaileh ve Siam (2017) tarafından malzeme taşıma maliyetini enküçükleyen iki adımlı bir model oluşturulmuştur. İlk adımda sıralara atanan makine konum ve sıralaması bulunmuştur. İkinci adımda üretim sistemindeki tüm makinelerin atanması için gereken sıra sayısı bulunmuştur. Oluşturulan model tavlama benzetimi ve arı koloni algoritması ile çözülmüştür.

Moghaddama vd. (2015) çok sıralı yerleşim probleminin çözümü için kuaterniyon ateş böceği algoritması geliştirmiştir.

Safarzadeha ve Koosha (2017) komşu makineler arasındaki mesafenin bulanık olarak ele alındığı çok sıralı yerleşim modeli oluşturmuşlardır. Modelde amaç fonksiyonu, malzeme taşıma ve kayıplardan oluşan maliyeti küçüklemek olarak ele alınmıştır. Problemin çözümü için genetik algoritma kullanılmıştır.

Azevedo vd. (2017) tarafından tesis yerleşim problemleri, hem tesislerin birbirine göre yerleşimi hem de tesis içindeki makinelerin yerleşimi olarak faklı bir açıdan ele alınmıştır. Yeniden yerleşim maliyeti, tesisler arası taşıma maliyeti ve makineler arası uygun olmayan yerleşimden kaynaklı maliyetleri enküçükleyen çok amaçlı çok sıralı yerleşim problemi ele alınmıştır.

Mıao ve Xu (2009) tarafından malzeme taşıma maliyetini ve malzeme taşıma süresini eş zamanlı olarak enküçükleyen çok sıralı yerleşim modeli ele alınmıştır. Çalışmada, yerleşim alanında aynı sıraya atanan tesislerin dikey uzunluğunun aynı olduğu varsayımı ele alınmıştır. Oluşturulan model genetik algoritma ve yasaklı arama algoritmasının birleştirilmesiyle elde edilen melez bir algoritma ile çözülmüştür.

Soimart ve Pongcharoen (2011) yerleşim alanı içindeki malzeme taşıma için gereken mesafeyi enküçükleyen çok sıralı yerleşim modeli geliştirmiştir. Çok sıralı yerleşim modelinin çözümü için yapay arı koloni algoritması sunulmuştur.

Zhang vd. (2018) tarafından çizelgeleme problemi ve çok sıralı yerleşim problemi birlikte ele alınmıştır. Çok sıralı yerleşim probleminde malzeme taşıma mesafesinin

küçüklenmesi amacı ele alınmıştır. Oluşturulan modelde makineler arası uzaklık sabit olarak ele alınmıştır. Modelin çözümü için hiyerarşik genetik algoritma uygulanmıştır.

Lee (2001) ele aldığı çok sıralı yerleşim probleminin iki aşamalı olarak çözmüştür. İlk aşamada, işletmede üretilmesi gereken parçaların rota seçimi yapılırken, ikinci aşamada seçilen rotalara göre çok sıralı yerleşim problemi ele alınmıştır. Modelin çözümü için sezgisel algoritma önerilmiştir.

Lee (1999) işletmede üretilmesi gereken parçaların rotaları seçimi ve çok sıralı yerleşim problemini birlikte ele alan bir model geliştirmiştir. Modelin çözümü için genetik algoritma sunulmuştur.

Hungerländer ve Anjos (2015) makineler arası boşluğun olmadığı çok sıralı yerleşim modelini genişleterek yeni bir model geliştirilmiştir. Modelde amaç fonksiyonu makineler arası mesafeyi küçüklemek olarak ele alınmıştır. Modelin çözümü için makineler arası boşlukların genişliği ve makine sayısının kontrol edildiği yarı kesin ayrık optimizasyon formülü ele alınmıştır. Ayrık optimizasyon gevşetme yapılarak Matlab'te çözülmüştür. Elde edilen çözümler üç sıralı, dört sıralı ve beş sıralı örnekler için oluşturulmuştur.

Vitayasak vd. (2017) periyodik olarak değişen ürün talebinin olduğu durumda tesisin yeniden düzenlenmesini ele alan bir dinamik çok sıralı yerleşim problemini ele almıştır. Modelde ele alınan amaç fonksiyonu, toplam malzeme taşıma maliyeti ve tesisin yeniden düzenlenmesi maliyetinin enküçüklenmesidir. Makineler arası boşluk önceden bilinmekte ve sabittir. Problemin çözümü için uyarlanmış geriye dönük arama algoritması önerilmiştir.

Ficko vd. (2004) esnek üretim sistemlerinde malzeme taşıma maliyetini enküçükleyen tek ve çok sıralı yerleşim modelleri için genetik algoritma ile çözüm sunmuşlardır.

Vitayasak ve Pongcharoen (2018), çok dönemli planlama ve dinamik talep durumunda toplam malzeme taşıma maliyetini enküçüklemeyi amaçlayan bilgisayar

destekli bir yerleşim tasarım programı geliştirilmiştir. Problemin çözümünde öğretme-öğrenmeye dayalı optimizasyon tekniği kullanılmıştır.

Wan vd. (2022) tarafından; malzeme taşıma maliyeti ve yerleşim alanını en küçükleyen ekstra boşluklu çok sıralı tesis yerleşim modeli geliştirilmiştir. Küçük boyutlu problemlerin çözümü için karma tam sayılı programlama modeli, büyük boyutlu problemlerin çözümü için bir melez yöntem sunulmuştur. Melez yöntemin ilk aşaması aç gözlü rastgele uyarlanabilir arama prosedüründen, ikinci aşaması ise doğrusal programlamadan oluşmaktadır.

Mahalingam ve Nagarajan (2021) çok sıralı yerleşim problemini iki amaçlı olarak ele almıştır. Modelin amacı, yerleşim alanı ile makineler arası malzeme taşıma maliyetini eş zamanlı olarak en küçüklemektir. Modelde makineler arası boşluk ele alınmaktadır ve boşluklar eşittir. Makinelerin atanacağı sıra sayısı bellidir. Çok sıralı yerleşim modelinin çözümü için Guguk Kuşu Arama Algoritması geliştirilmiştir.

Herrán vd. (2021) makinelerin atanacağı alanın serbest olduğu çok sıralı yerleşim modeli geliştirmiştir. Bu problemin çözümüne yönelik Değişken Komşuluk Arama Algoritması geliştirilmiştir.

Sooncharoen vd. (2022) tarafından çok sıralı yerleşim modeli için Biyocoğrafya Temelli Optimizasyon Algoritması geliştirilmiştir. Ele alınan problemde yerleşim alanının genişliği ve uzunluğu ve makineler arası boşluk miktarı bilinmekte ve sabittir. Makinelerin atanacağı sıra sayısı ise belli değildir.

Çizelge 2.1'den de görüldüğü üzere çok sıralı yerleşim problemlerinin çözümünde DEA daha önce kullanılmamıştır. 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. Ele alınan problemin çözümü için bir DEA literatürde ilk kez kullanılmıştır.

Çizelge 2.1. Literatür özet tablosu

Referans	Makineler Arası Boşluk Var	Sıra Sayısı Belli	Yerleşim Alanı Serbest	Çözüm Yöntemi
Tubaileh ve Siam (2017)			✓	TB ve AKA
Moghaddama vd. (2015)			✓	KABA
Herran vd. (2021)			✓	DKAA
Anjos vd. (2018)		✓	✓	İDOM
Fischer vd. (2019)		✓		DSA
Hu ve Yang (2018)		✓		SZA
Azevedoa vd. (2017)		✓		KPM
Mıao ve Xu (2009)		✓		GVTAA
Soimart ve Pongcharoen (2011)		✓		YAKA
Sooncharoen vd. (2022)	✓			BTOA
Zhang vd. (2018)	✓			ÇAHGA
Lenin ve Kumar (2021)	✓	✓		HAA
Safarzadeha ve Koosha (2017)	✓	✓		GA
Lee (2001)	✓	✓		SA
Lee (1999)	✓	✓		GA
Hungerländera ve Anjos (2015)	✓	✓		AOUYKG
Vitayasak vd. (2016)	✓	✓		MEGDAA
Ficko vd. (2004)	✓		✓	GA
Vitayasak ve Pongcharoen (2018)	✓	✓	✓	ÖÖDO
Wan vd. (2020)	✓	✓	✓	ARUAP ve DP
Mahalingam ve Nagarajan (2021)	✓	✓	✓	GKAA
Bu çalışma	✓	✓	✓	**DEA**

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Ele Alınan Problem

Bu çalışmada makineler ve satırlar arasındaki boşluğun eşit olduğu, yerleşim alanının serbest olduğu ve sıra sayısının bilindiği durumda çok sıralı yerleşim problemi iki amaçlı olarak ele alınmıştır. Literatür özet tablosundan da (Çizelge 2.1) görülebileceği gibi diferansiyel evrim algoritması, çok sıralı yerleşim probleminin çözümü için daha önce kullanılmamıştır. Bu çalışmada ele alınan problemin çözümü için bir diferansiyel evrim algoritması geliştirilmiştir.

Ele alınan problem literatürde daha önce Lenin ve Kumar (2020) tarafından tanımlanmıştır. İncelenen yerleşim probleminde makine boyutları ve yerleşim alanı boyutu dikdörtgen şeklindedir. Her makineden sadece bir tane vardır. Makineler arası boşluk bilinmektedir ve eşittir. Yerleşim alanında makinelerin atanacağı satırlar arası boşluklar bilinmekte ve makineler arası boşluğa eşit olarak alınmaktadır. Her satırın genişliği, ilgili satıra atanan makinelerin genişliğinin enbüyüğü olarak belirlenmektedir. Her satırın uzunluğu ise o satıra atanan makinelerin uzunluğu ve makineler arası olması gereken boşluğun toplamından ibarettir. Makinelerde üretilecek ürünlerin rotası belirli ve bilinmektedir. Makinelerin solundan sağına ve sağından soluna, yukarısından aşağıya ve aşağısından yukarıya olacak şekilde makineler arası ürün akışına izin verilmektedir. Ürün akışının makine merkezlerinden yapıldığı varsayılmaktadır.

Ele alınan problemde taşıma maliyetinin ve yerleşim alanının eşzamanlı olarak enküçüklenmesi istenilmektedir. Öncelikle amaç fonksiyonunun hesabı Lenin ve Kumar'dan (2020) alınan verilerle bir örnek problem aracılığıyla gösterilmiştir. Makine sayısı m, ürün sayısı n olarak ele alınmıştır. i makine indeksidir. Makine genişliği w_i ile makine uzunluğu ise l_i ile gösterilmektedir. 12 makineli ve 5 ürünlü ilk test probleminin makine genişlik ve uzunlukları Çizelge 3.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Makine genişlik ve makine uzunluk tablosu

Makine Numarası	*Makine Genişliği (w_i)(metre)*	*Makine Uzunluğu (l_i)(metre)*
1	6,21	4,88
2	4,92	11,27
3	5,87	21,25
4	4,85	2,78
5	7,49	5,57
6	3,25	2,38
7	10,98	12,94
8	15,02	12,22
9	5,78	3,56
10	12,25	13,48
11	6,52	4,45
12	12,95	16,23

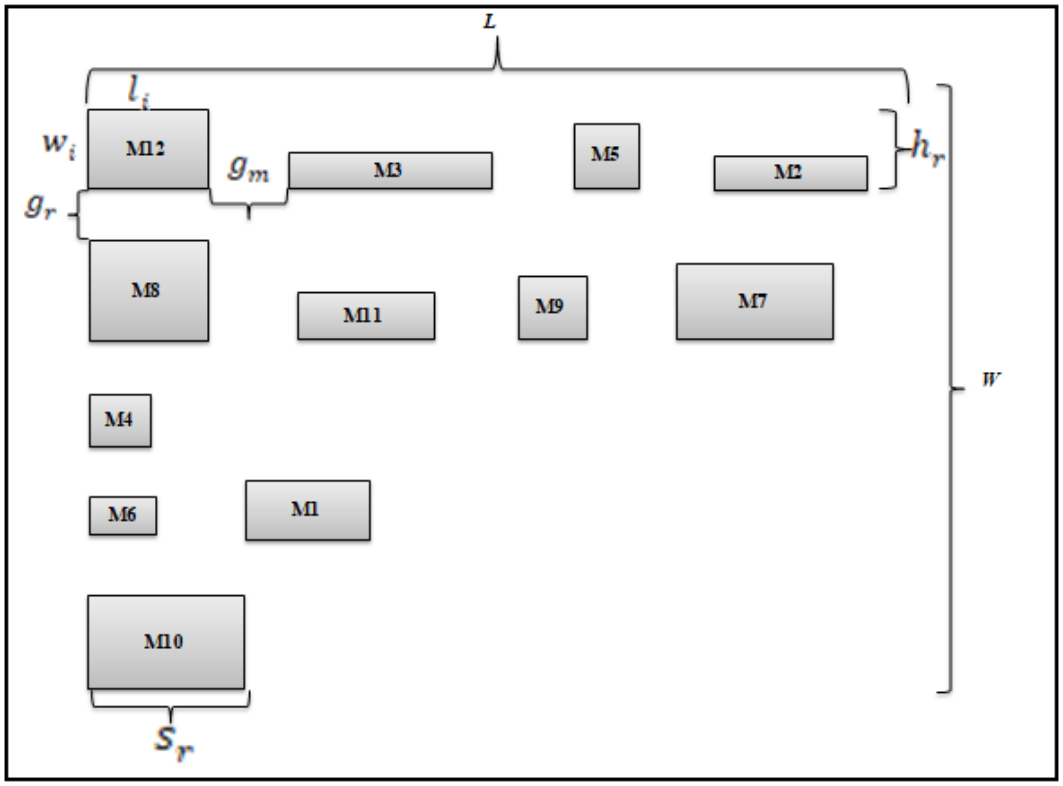
Ele alınan problemde ürün rotaları bilinmektedir. Örnek problemdeki 5 ürünün rotası Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Ürünlerin rotası

Ürün Numarası	*Ürün Rotaları*
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

Çizelge 3.2'ye göre bir numaralı ürün işlem görebilmek için ilk olarak M8'e, sırasıyla M2, M10, M9 ve M6'ya uğramak zorundadır. Makinelerin atanması gereken satırlar r ile gösterilmiştir. Örnek problemde satır sayısı sabit ve 5 olarak alınmıştır. Her satırın genişliği h_r uzunluğu ise s_r ile gösterilmiştir. Aynı satıra atanan makineler arasında olması gereken boşluk g_m, satırlar arasındaki boşluk ise g_r ile gösterilmiş ve $g_m = g_r$ olduğu varsayılmıştır. Örnek problemde bu boşluk değerleri 2 olarak alınmıştır.

Birinci satıra sırasıyla 12, 3, 5 ve 2 numaralı makinelerin, ikinci satıra ise sırasıyla 8, 11, 9 ve 7 numaralı makinelerin, üçüncü satıra 4 numaralı makine, dördüncü satıra 6 ve 1 numaralı makineler ve son olarak beşinci satıra 10 numaralı makinelerin atandığı bir çözümü ele alalım. İlgili çözüme karşı gelen yerleşim Şekil 3.1' de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. 12 makine 5 ürün problemi için makinelerin yerleşimi

Şekilde iki makine arasındaki sol akış miktarı $f_{a(i,j)}$ ve sağ akış miktarı $f_{b(i,j)}$ ile gösterilmiştir. Modelin amacı hem yerleşim alanını hem de makineler arası taşıma maliyetini enküçüklemektir. Şekil 3.1'deki yerleşim için bu amaçların hesaplanması izleyen bölümlerde ele alınmıştır.

3.1.1. Yerleşim alanının hesaplanması

Her satırın genişliği, o satıra atanan makinelerin genişliklerinin enbüyüğüne eşittir. Şekil 3.1'deki makine yerleşimine göre birinci satıra atanan makinelerin genişlikleri sırasıyla; 12,95 (w_{12}), 5,87 (w_3), 7,49 (w_5) ve 4,92 (w_2) metredir. En büyük değer 12,95 olduğundan ilk satırın genişliği 12,95 metredir.

Benzer yaklaşımla ikinci satırın genişliği 15,02 metre, üçüncü satırın genişliği 4,85 metre, dördüncü satırın genişliği 6,21 metre ve beşinci satırın genişliği ise 12,25 metredir. Yerleşim alanının genişliği *W* ve toplam satır sayısı *R* iken yerleşim alanının genişliği Denklem 3.1'de verildiği şekilde hesaplanabilir.

$$W = \sum_{r=1}^{R} h_r + (r-1) * g_r \qquad (3.1)$$

Denklem 3.1'e göre yerleşim alanının genişliği her bir satırın genişliği ve satırlar arası boşlukların toplamıyla elde edilmektedir. Örnek problemde satırlar arası genişlik iki olarak ele alındığından ilgili çözüm için yerleşim alanının genişliği 59,28 olarak hesaplanmıştır (Bkz. Şekil 3.2).

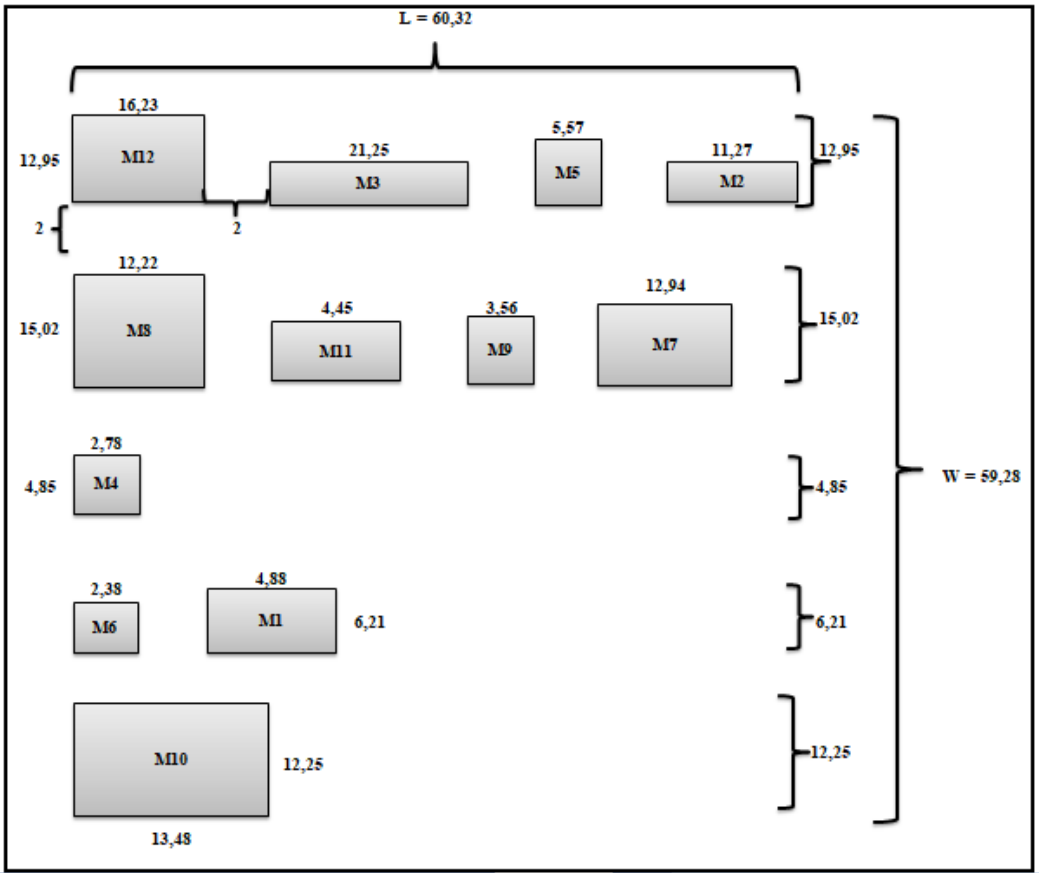
Çok sıralı yerleşim probleminde her satırın uzunluğu, o satıra atanan makine uzunluklarının toplamı ve makineler arası boşlukların toplamına eşittir. Birinci satıra atanan makinelerin uzunlukları sırasıyla 16,23 (l_{12}), 21,25 (l_3), 5,57 (l_5) ve 11,27 (l_2) metredir. Birinci satıra atanan 4 makinenin uzunlukları toplamı 54,32 metredir. 4 makinenin arasında makine sayısının bir eksiği kadar boşluk olmalıdır. Buna göre 4 makine arasında 3 adet boşluk bulunmaktadır. Makineler arası boşluğun 2 metre olduğu varsayımıyla gereken boşluk toplamı 6 metredir. Bu durumda birinci satırın uzunluğu 60,32 metredir. Diğer satırların uzunluğu sırasıyla 39,17; 2,78; 9,26 ve 13,48 metredir. Yerleşim alanının uzunluğu *L*, Denklem3.2'ye göre hesaplanmaktadır.

$$L = \max_r s_r \quad \forall r \qquad (3.2)$$

Denklem 3.2'ye göre yerleşim alanının uzunluğu, en uzun satırın uzunluğuna eşittir. O halde örnek problem için yerleşim alanının uzunluğu 60,32 metredir (Bkz. Şekil 3.2). Yerleşimin alanı ise Denklem 3.3'e göre hesaplanmaktadır.

$$A = W \times L \tag{3.3}$$

Denklem 3.3'e göre amaç fonksiyonlarından ilki olan yerleşim alanı, genişlik ve uzunluk çarpımına eşittir. Bu formüle göre ele alınan örnek problemde alan 3575,76 metredir.



Şekil 3.2**.** Yerleşim alanının genişliği ve uzunluğunun hesaplanması

3.1.2. Ürünlerin rotasına göre makineler arası taşıma maliyetinin hesaplanması

Çizelge 3.2'ye göre birinci ürünün rotası M8-M2-M10-M9-M6'dır. Bu rota ve Şekil 3.1'deki yerleşim dikkate alındığında birinci ürün için taşıma mesafesi Çizelge 3.3'te gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

Çizelge 3.3. Birinci ürün için taşıma mesafesinin hesaplanması

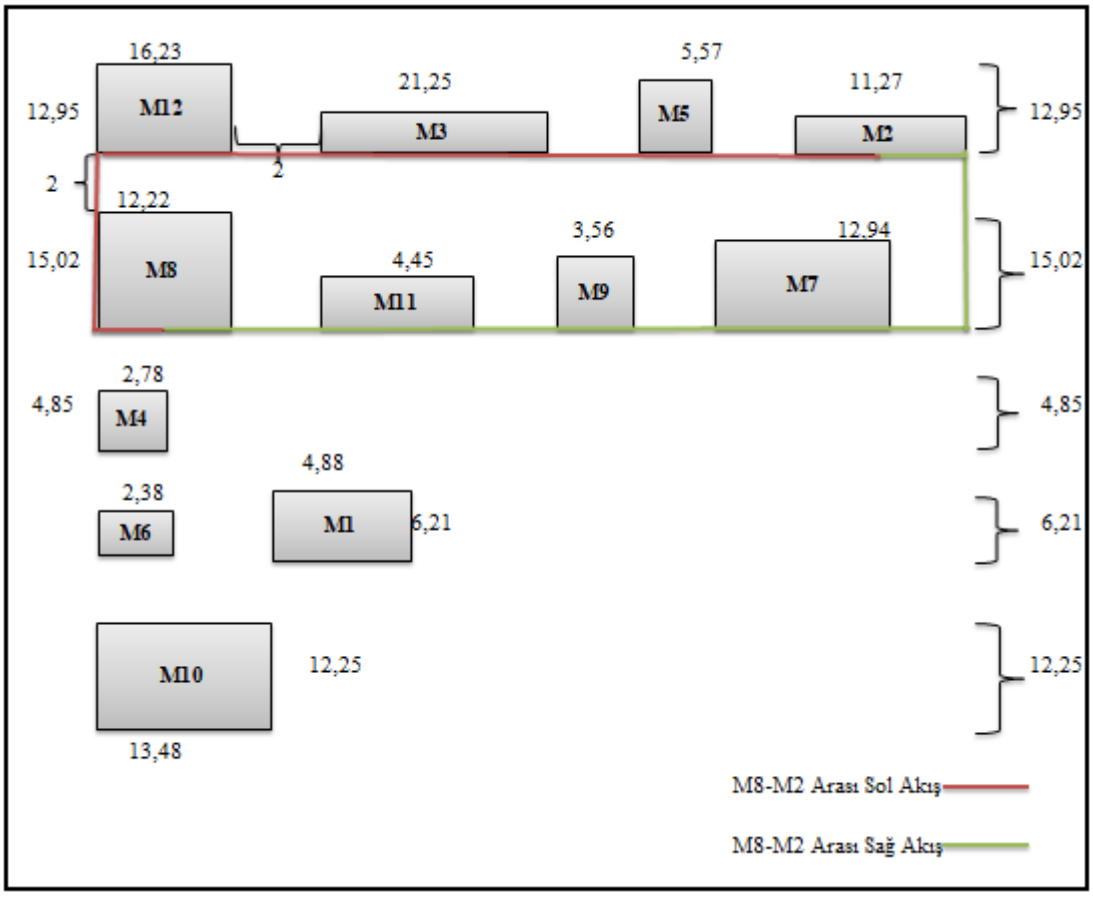
Ürün Rota	*Sol Akış Taşıma Maliyeti (Metre)*	*Sağ Akış Taşıma Maliyeti (Metre)*	*Enküçük Taşıma Maliyeti (Metre)*
M8-M2	77,81	55,71	55,71
M2- M10	107,75	58,70	58,70
M10-M9	58,50	52,76	52,76
M9-M6	38,70	39,85	38,70
	Toplam Taşıma Maliyeti		205,87

$$f_{a(8,2)} = \left(\frac{l_8}{2}\right) + \ h_2 \ + \ g_r \ + \ l_{12} + g_m + l_3 + g_m + l_5 + g_m + \left(\frac{l_2}{2}\right) \qquad (3.4)$$

Denklem 3.4'e göre 8. makine ve 2. makine arasındaki sol akışlı malzeme taşıma mesafesi ($f_{a(8,2)}$) bulunmaktadır. Bu iki makine arasındaki sağ akışlı malzeme taşıma ($f_{b(8,2)}$) mesafesi Denklem 3.5'e göre hesaplanmaktadır.

$$f_{b(8,2)} = \left(\frac{l_8}{2}\right) + \ g_m \ + \ l_{11} \ + \ g_m + l_9 + g_m + l_7 + h_2 + g_r + \left(\frac{l_2}{2}\right) \qquad (3.5)$$

İncelenen çok sıralı yerleşim probleminde ürünlerin sağdan sola, soldan sağa, yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya taşınabilmesi mümkündür. Bu durumda makineler arasındaki taşımalar, sağdan sola ya da soldan sağa olabilmektedir. Bu iki akıştan küçük olanı gerçekleştirilmektedir. Birinci ürün için M8 ve M2 arasındaki taşıma mesafesinin hesaplanması görsel olarak Şekil 3.3' te gösterilmektedir. Burada kırmızı ok, M8 ile M2 arasındaki sol taşıma mesafesini, yeşil ok ise sağ taşıma mesafesini göstermektedir.



Şekil 3.3. M2 ve M8 makineleri arasındaki taşıma mesafesi

Benzer şekilde birinci ürünün rotasındaki tüm makineler arasındaki taşıma mesafeleri hesaplanmış ve ilgili ürün için toplam taşıma mesafesi 205,89 metre olarak bulunmuştur (Çizelge 3.4). Örnek problemdeki 5 ürün için taşıma maliyeti 674,03 metre olarak bulunmuştur. Her ürün için ilgili maliyet değerleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Her bir ürünün akış mesafesi

Ürün No	*Akış Mesafesi (metre)*
1	205,89
2	92,91
3	104,32
4	99,66
5	171,23
Toplam	674,03

3.1.3. Normalleşmiş amaç değerinin hesaplanması

Bu çalışmada ele alınan problem birden fazla amaca sahip olduğundan bunların birleştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. İlgilenilen amaçlar öncelikle normalleştirilmiş sonra da bu normalleştirilmiş amaçlar toplanarak birleştirilmiş amaç fonksiyonu elde edilmiştir. Amaçların normalleştirilmesinde Lenin ve Kumar'ın (2020) çalışmasındaki yaklaşım kullanılmıştır. Bu yaklaşıma göre alan ve taşıma maliyetleri için normalleştirilmiş değerler elde edilmekte ve bu değerler toplanmaktadır. Bu yaklaşım Denklem 3.6'da görülmektedir.

$$N_c = \frac{A_i - A_{min}}{A_{max} - A_{\min}} + \frac{F_i - F_{min}}{F_{max} - F_{min}} \qquad \forall i = 1,2,..,NP \tag{3.6}$$

Ele alınan problemin çözümü için geliştirilen diferansiyel evrim algoritmasının ayrıntıları izleyen bölümde sunulmuştur.

3.2. Diferansiyel Evrim Algoritması

Diferansiyel Evrim Algoritması (DEA), sürekli değişkenler ile doğrusal olmayan programları çözmek için Storn ve Price (1997) tarafından geliştirilmiştir. DEA etkin ve hızlı yakınsama oranına sahip bir çözüm yöntemidir. DEA'da rassal olarak türetilen bir popülasyon ile başlanmaktadır.

Her nesilde daha iyi bireyler elde edebilmek için popülasyona sırasıyla mutasyon, çaprazlama ve seçim operatörleri uygulanmaktadır. Bu işlemler önceden belirlenen bir durma koşuluna ulaşılana kadar devam etmektedir.

3.2.1. Başlangıç popülasyonun türetilmesi

DEA rassal olarak türetilen *NP* adet *D* boyutlu kromozom ile türetilen başlangıç popülasyon ile başlamaktadır. Problemde her bir kromozom ilgili çözümü temsil etmektedir. G neslindeki popülasyonun i.bireyi X_{iG} ile gösterilmektedir.

$$X_{iG} = [X_{1iG}\ X_{2iG}\ X_{3iG} \ldots . X_{DiG}]\ \ i = 1,2, \ldots, NP \tag{3.7}$$

3.2.2. Mutasyon

DEA'da her bir hedef vektör X_{iG} için mutant vektör V_{IG} türetilmektedir. Mutant vektör hesaplaması Denklem 3.8'e göre yapılmaktadır.

$$V_{\text{İG}} = X_{aG} + F \times \left(X_{bG} - X_{cG}\right) \tag{3.8}$$

Denklem 3.8'de *a,b,c* ile gösterilen değerler 1 ile *NP* aralığında rastgele seçilen parametrelerdir. Bu parametreler *i* indisinden farklı olmalıdır. Her bir mutant vektör için ayrı *a,b,c* parametreleri elde edilmektedir. *F* ile gösterilen parametre değeri ölçek faktörü olarak adlandırılmaktadır. Emami ve Nookabadi'ye (2013) göre bu değer [0,2] aralığında olmalıdır (Storn ve Price, 1997).

3.2.3. Çaprazlama

DEA'da aday vektör (U_{iG}) elemanlarını elde edebilmek için ya hedef vektörden (X_{iG}) ya da mutant vektörden (V_{iG}) bileşen alınmaktadır. Aday vektörün elemanlarının hedef vektörden mi yoksa mutant vektörden mi olduğu Denklem 3.9'a göre hesaplanmaktadır.

$$U_{jiG} = \begin{cases} V_{jiG}\ ; & rassal \leq CR\ veya\ j = IntRnd(1, D) \\ X_{jiG}\ ; & diğer\ durumda \end{cases} \tag{3.9}$$

Denklem 3.9'da *CR* çaprazlama oranıdır. Rassal olarak alınan sayı (0,1) ve [1,*D*] aralığında türetilmiş bir tamsayıdır. Rassal sayıya göre alınan durum en az bir bileşenin mutant vektörden alınmasını garantilemektedir.

3.2.4. Seçim

DEA'da seçim yeni neslin elde edilmesidir. Yeni nesil $X_{i,G+1}$ olarak ifade edilmektedir. Yeni nesil aday vektör (U_{iG}) ile hedef vektörün (X_{iG}) amaç fonksiyonu değerine göre türetilmektedir. Bu çalışmada olduğu gibi enküçükleme problemlerinde amaç fonksiyonu değeri küçük olan seçilmektedir. Aday vektörün amaç fonksiyon değeri hedef vektörün amaç fonksiyon değerinden küçük veya eşit ise yeni nesilde hedef vektör önceki neslin aday vektör değeri olarak ele alınmaktadır. Aday vektörün amaç fonksiyon değeri hedef vektörün amaç fonksiyon değerinden büyük ise yeni nesildeki hedef vektör değeri önceki neslin hedef vektör değeri olarak ele alınmaktadır. Seçim işlemi Denklem 3.10'a göre yapılmaktadır.

$$X_{iG+1} = \begin{cases} U_{iG}; & f(U_{iG}) \leq f(X_{iG}) \\ X_{iG}; & diğer\ durumda \end{cases} \tag{3.10}$$

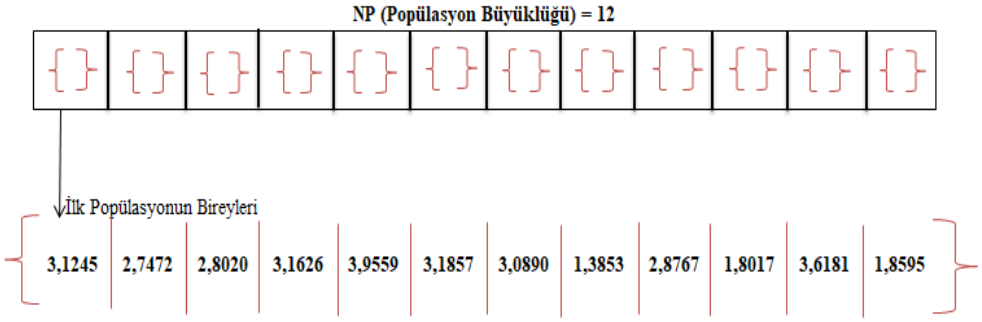
3.3. Çok Sıralı Yerleşim Problemi için Diferansiyel Evrim Algoritması

Bu çalışmada ele alınan çok sıralı makine yerleşim probleminin çözümü için bir Diferansiyel Evrim Algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmanın adımları aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

3.3.1. Başlangıç popülasyonunun oluşturulması ve çözümlerin gösterimi

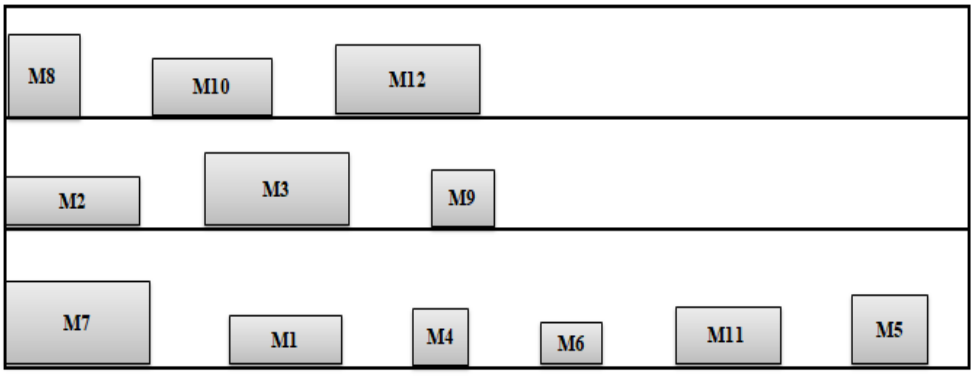
DEA rastgele türetilen bir başlangıç popülasyon ile başlamaktadır. Bu çalışmada popülasyon büyüklüğü (NP) makine sayısına eşit olarak ele alınmıştır. İlk popülasyon rassal olarak türetilmiştir. Popülasyondaki her bir çözüm vektörü, makine sayısı kadar gerçek değerden oluşmaktadır.

Vektörün elemanlarının ondalık ayracından önceki kısmı ilgili makinenin hangi satıra atanacağını, sonraki kısmı ise ilgili makinenin atandığı satırdaki sırasını vermektedir. Örnek bir çözüm Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Çözüm gösterimi

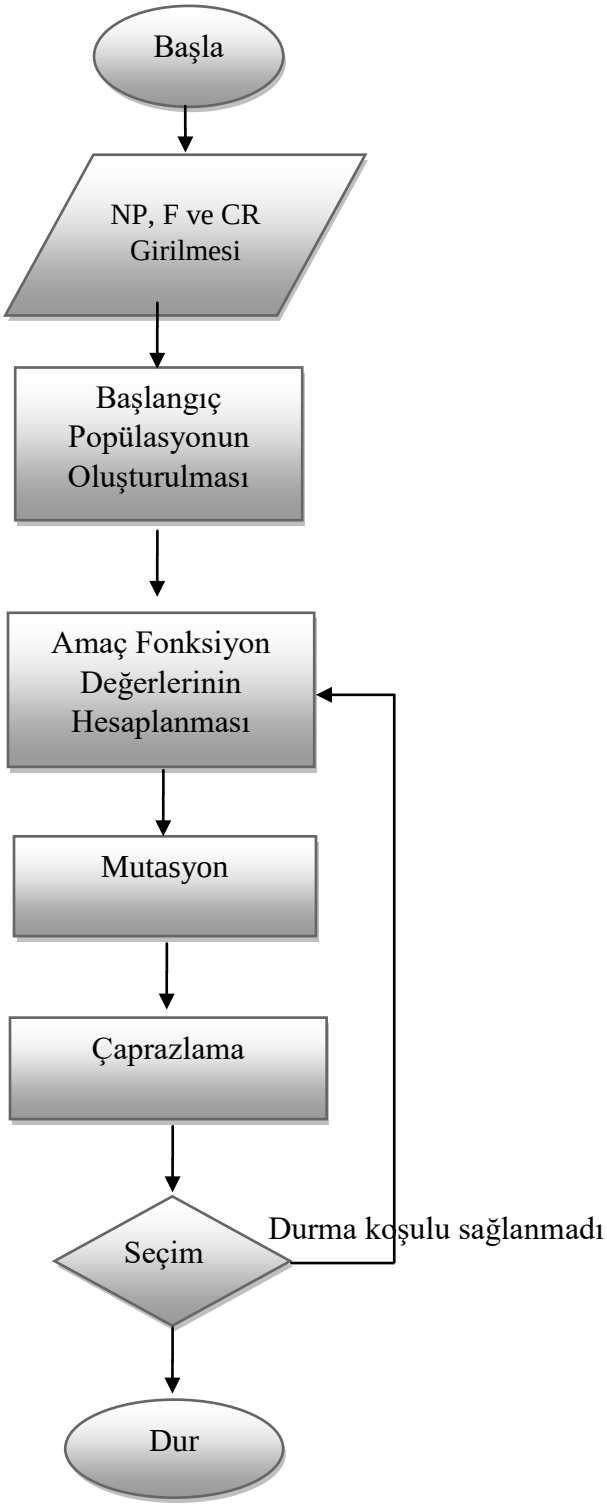
Şekil 3.4'te verilen çözümde 1. makine 3. satıra atanmıştır. 8., 10. ve 12. makineler 1. satıra belirtilen sırayla atanmıştır. İlgili çözüme karşı gelen yerleşim Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Şekil 3.4'teki çözüme karşı gelen yerleşim

3.3.2. Problem çözümü için Diferansiyel Evrim Algoritmasının adımları

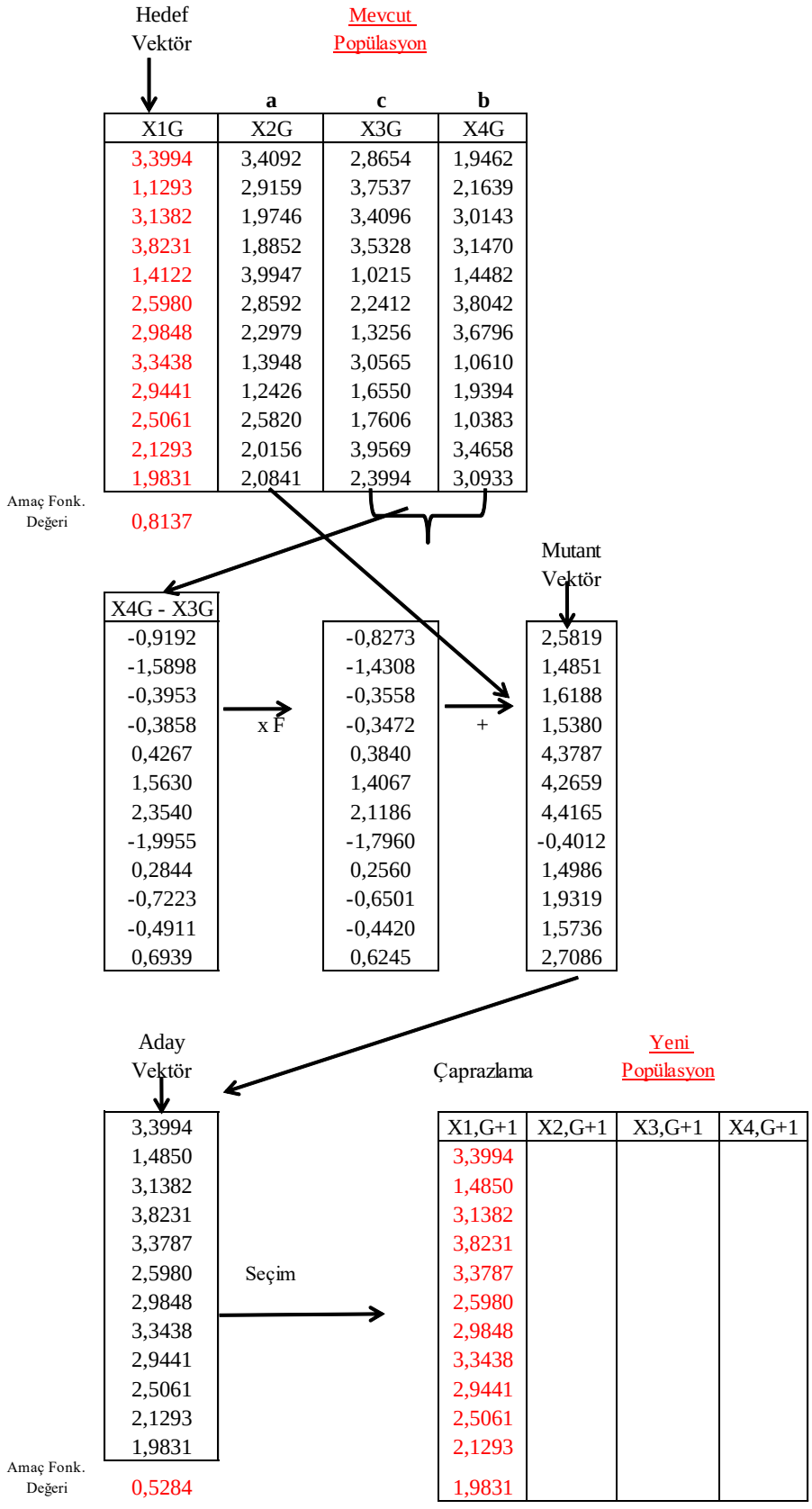
DEA popülasyon büyüklüğü, çaprazlama oranı ve ölçek faktörü parametreleri kullanıcı tarafından girilerek başlamaktadır (Bkz. Şekil 3.6). İlgili parametreler girildikten sonra başlangıç popülasyonu oluşturulmaktadır. Popülasyondaki bireyler, alan ve akış maliyetinden oluşan amaç fonksiyonu hesaplanarak değerlendirilmektedir. Amaç fonksiyonu değerlerinin hesaplanması bölüm 3.1.1, bölüm 3.1.2 ve bölüm 3.1.3'te anlatılmıştır.



Şekil 3.6. DEA Algoritma Adımları

Popülasyona sırasıyla Denklem 3.8'e göre mutasyon ve Denklem 3.9'a göre çaprazlama uygulanmaktadır. Mutasyon ve çaprazlama sonrası elde edilen aday vektörün değerlendirilmesi yapılarak hedef vektör ile kıyaslanmaktadır. Değerlendirmeler sonrası amaç fonksiyon değeri küçük olan vektör seçilerek yeni nesil elde edilmektedir. Bu işlemler önceden tanımlanan bir durma koşulu sağlanıncaya kadar devam etmektedir (Bkz. Şekil 3.6). Çalışmada durma koşulu $makine\ sayısı\ x\ 500$ olarak alınmıştır.

DEA adımları örnek bir problem ile açıklanacaktır. Buna göre ele alınan örnek problemde popülasyon büyüklüğü 4'tür. Hedef vektörün X_{1G} olduğu durumda rastgele seçilen a, b, c indisleri sırasıyla 2, 4 ve 3'tür. Ölçek faktörü 0,9 olarak ele alınarak hedef vektör için mutant vektör türetilmektedir. Çaprazlama oranı 0,4 olarak ele alınarak rassal sayılar ve j indisi ile en az bir çözümün mutant vektörden gelmesini garantileyerek aday vektör türetilmektedir. Hedef vektör ve aday vektörün ilgili amaç fonksiyonu değerlerine göre yeni popülasyonun ilk bireyi $X_{1,G+1}$ elde edilmektedir. Örnek problemde aday vektörün amaç fonksiyon değeri hedef vektörünkinden küçük olduğundan yeni popülasyonun ilk bireyi aday vektörden gelmektedir (Bkz. Şekil 3.7). Mutasyon, çaprazlama ve seçim aşamaları tüm bireyler için yapılmaktadır.



Şekil 3.7. Mutasyon, çaprazlama ve seçim aşamaları

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Geliştirilen algoritmanın performansı Lenin ve Kumar (2020)'dan alınan test problemleri kullanılarak test edilmiştir. 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, dördüncü bölümün alt başlıkları olarak ele alınmıştır.

4.1. Test Problemlerinin Özellikleri

Bu çalışmada geliştirilen DEA ile literatürden alınan 12 adet test problemi çözülmüştür. Her bir test probleminde makine sayısı, ürün sayısı, makinelerin atanacağı sıra sayısı değişkenlik göstermektedir (Bkz. Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1: Test problemlerinde ele alınan makine, ürün ve sıra sayıları

Problem	*Makine Sayısı*	*Ürün Sayısı*	*Sıra Sayısı*
TP 1	12	5	3
TP 2	10	5	3
TP 3	10	10	3
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

Her bir test probleminde ele alınan makinelerin uzunlukları ve genişlikleri Ek açıklamalar A' da verilmektedir. Her bir test problemine ait ürün rotaları Ek Açıklamalar B' de verilmektedir.

4.2. Test Sonuçları

Geliştirilen DEA'da ölçek faktörü (*F*) ve çaprazlama oranı (*CR*) Özçelik (2018) çalışmasında olduğu gibi sırasıyla 0,9 ve 0,1 olarak alınmıştır. Popülasyon büyüklüğü makine sayısına, durma kriteri ise makine sayısının 500 katına eşittir. Tüm test problemleri 10 tekrarlı olarak çözülmüştür.

Her bir test probleminin DEA ile çözülmesi sonucu elde edilen sonuçlar Ek Açıklamalar C'de verilmiştir. Ortalama çözüm süreleri ise Çizelge 4.2'de verilmektedir.

Çizelge 4.2. Her bir test problemin ortalama çözüm süresi

Problem	*Çözüm Süresi (sn)*
TP 1	9,49
TP 2	5,90
TP 3	7,03
TP 4	188,99
TP 5	752,72
TP 6	426,59
TP 7	626,59
TP 8	2256,35
TP 9	5172,74
TP 10	6232,18
TP 11	9937,93
TP 12	15692,25

DEA ile elde edilen sonuçlar Lenin ve Kumar (2020) tarafından önerilen Harmoni Arama Algoritması (HAA) ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. HAA müzik tabanlı bir meta sezgisel algoritmadır. Müzisyen, estetik gibi bir beğeni kriteri ile uyum içinde iyi bir parça bulmayı amaçlamaktadır. HAA, müzisyenin uyum içinde parça bulması için gerçekleştirdiği süreci taklit etmektedir. Müzisyenin ele aldığı estetik beğeni kriteri HAA' da amaç fonksiyonu olarak ele alınmaktadır. HAA yapısı itibariyle GA' ya çok benzemektedir ve GA'dan daha hızlı ve daha basit çalışan bir algoritmadır.

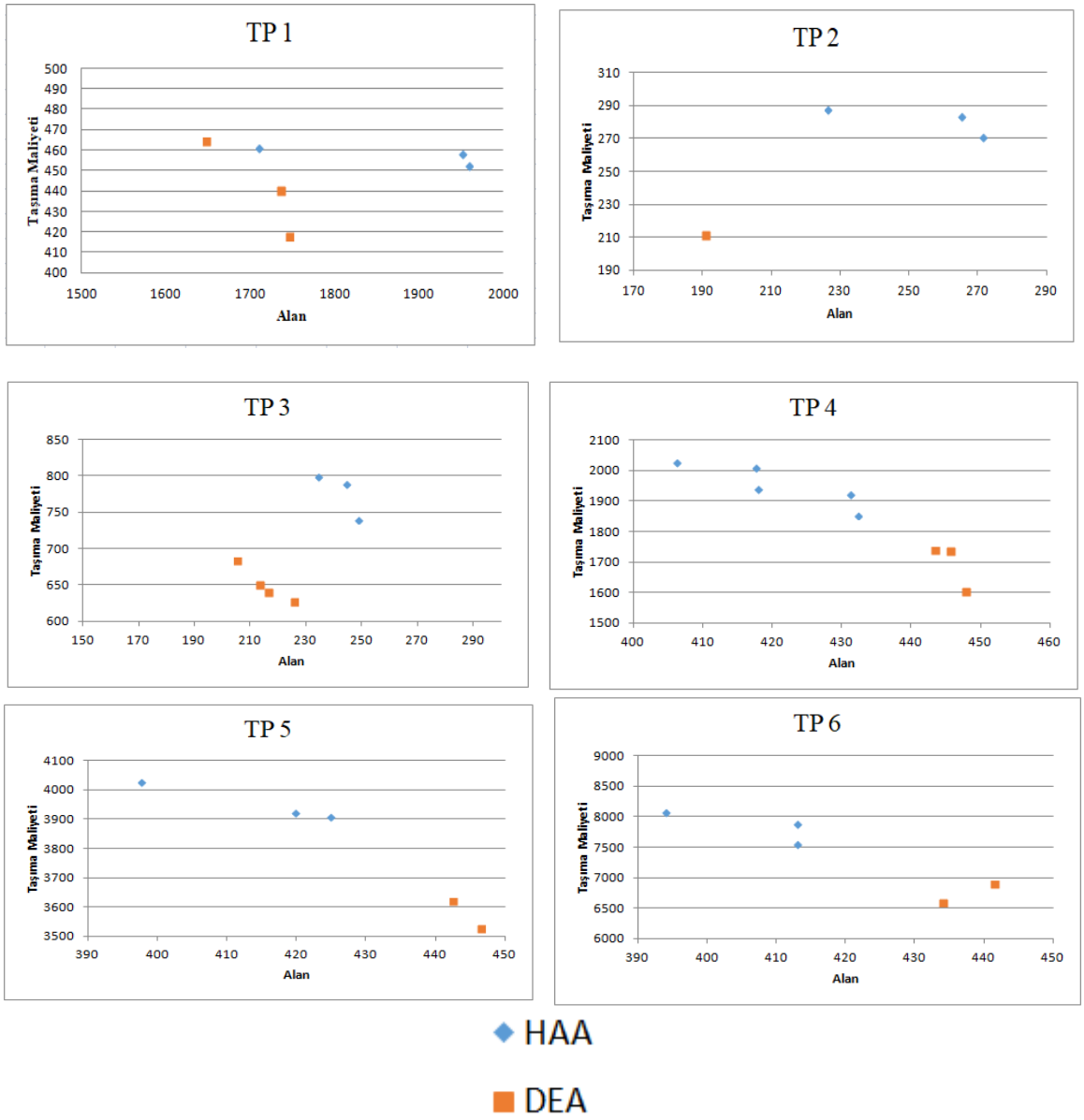
HAA ve DEA ile elde edilen baskın çözümler Çizelge 4.3'te verilmiştir. Her iki çalışmada da ilgili test problemleri geliştirilen algoritmalar ile 10'ar kez çözülmüştür. Tabloda koyu ile işaretlenen sonuçlar iki çalışmanın birbiriyle karşılaştırılmasıyla elde edilen baskın noktaları göstermektedir.

Çizelge 4.3'ten görülebileceği gibi DEA ile tüm test problemlerinde en az bir tane yeni baskın çözüm edilmiştir. Ayrıca DEA özellikle toplam taşıma maliyeti amaç fonksiyonu için daha iyi değerler elde etmiştir. İşletmeler için maliyetin önemi dikkate alındığında DEA'nın başarısı ortaya çıkmaktadır.

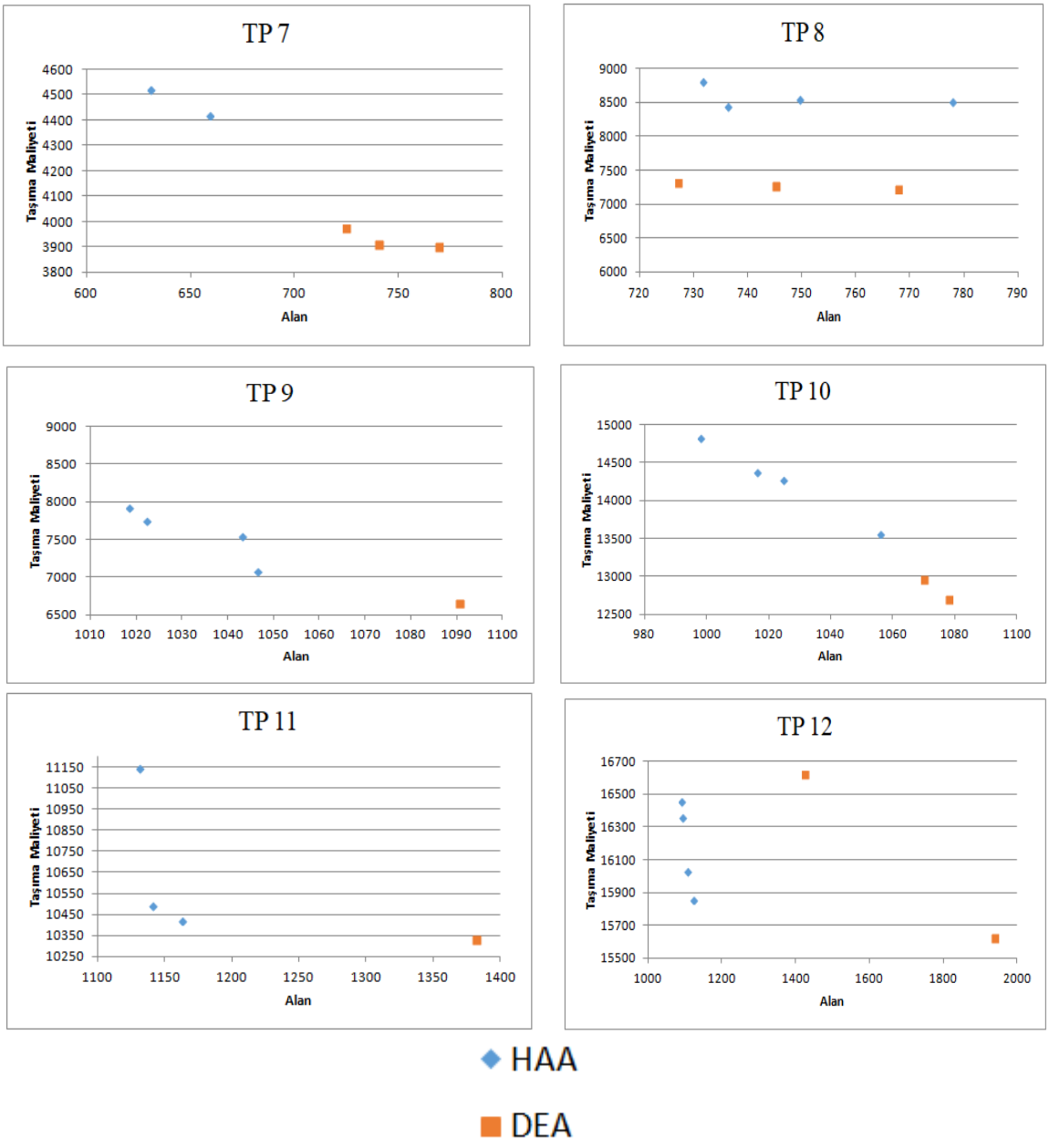
HAA ve DEA'nın pareto çözümleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilen grafiklerde gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Test sonuçları

	HAA		*DEA*	
	Alan	*Taşıma Maliyeti*	*Alan*	*Taşıma Maliyeti*
TP 1	**1710,75**	**460,86**	**1647,51**	**464,56**
	1951,65	457,97	**1735,69**	**440,66**
	1958,95	452,20	**1745,52**	**418,19**
TP2	226,46	287,52	**191,10**	**210,98**
	265,32	283,42		
	271,35	270,77		
TP 3	234,60	797,90	**205,32**	**683,90**
	244,37	789,05	**213,36**	**651,45**
	248,97	739,45	**216,25**	**640,60**
			225,70	**627,45**
TP 4	**406,07**	**2025,45**	**443,37**	**1739,87**
	417,60	**2011,23**	**445,69**	**1739,29**
	417,86	**1938,96**	**447,96**	**1605,04**
	431,11	**1924,03**		
	432,28	**1852,92**		
TP5	**397,68**	**4024,84**	**442,60**	**3620,08**
	419,78	**3921,49**	**446,59**	**3526,88**
	424,92	**3906,40**		
TP6	**413,14**	**7547,90**	**441,55**	**6898,42**
	413,08	**7885,82**	**434,02**	**6593,38**
	393,98	**8067,52**		
TP7	**631,07**	**4519,01**	**725,14**	**3975,33**
	659,29	**4419,40**	**740,92**	**3913,99**
			769,65	**3902,72**
TP8	731,82	8792,94	**727,17**	**7319,89**
	736,30	8432,44	**745,19**	**7279,57**
	749,63	8540,43	**767,85**	**7225,79**
	777,84	8504,90		
TP9	**1018,60**	**7935,66**	**1090,70**	**6653,32**
	1022,35	**7754,13**		
	1043,18	**7553,67**		
	1046,64	**7079,21**		
TP10	**998,07**	**14834,88**	**1070,15**	**12974,14**
	1016,08	**14369,72**	**1077,98**	**12699,20**
	1024,64	**14278,58**		
	1055,88	**13569,29**		
TP11	**1131,87**	**11146,09**	**1382,39**	**10326,53**
	1140,89	**10493,86**		
	1163,27	**10419,68**		
TP12	**1092,89**	**16453,9**	1426,76	16619,54
	1094,07	**16357,87**	**1940,64**	**15624,27**
	1108,22	**16031,3**		
	1125,02	**15857,92**		



Şekil 4.1. HAA ile DEA ile elde edilen pareto çözümler.



Şekil 4.2. HAA ile DEA ile elde edilen pareto çözümler.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

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 probleminde literatüre göre baskın çözümler elde edilmiştir. DEA ile bulunan sonuçlar özellikle malzeme taşıma maliyetinde HAA ile elde edilen sonuçlara göre daha baskındır. Gerçek hayatta da işletmeler için kritik olan malzeme taşıma maliyetleri, daha iyi bir yerleşim ile enküçüklenerek literatüre katkıda bulunmaktadır.

Gelecek çalışmalarda, makineler arası boşluğun gerçek hayatta da olduğu gibi eşit değil de farklı olarak ele alındığı çok sıralı yerleşim problemi ele alınabilir. Ayrıca sıra sayısının belli olmadığı durum da incelenebilir. Bu çalışmada ele alınan probleme literatürde uygulanmayan diğer meta sezgiseller de uygulanabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Anjos, M. F., Fischer, A., Hungerländer, P. (2018). *Improved Exact Approaches for Row Layout*. European Journal of Operational Research, 270(2), 514-529. https://doi.org/10.1007/s12532-019-00162-6

Anjos, M. F., Vieira, M. V. (2021). *Mathematical optimization approach for facility layout on*. Springer, 15(1), 9-23. https://doi.org/10.1007/s11590-020-01621-z

Azevedo, M. M., Crispim, J. A., de Sousa, J. P. (2017). *A dynamic multi-objective approach for the reconfigurable.* Journal of manufacturing systems, 42, 140-152. http://dx.doi.org/10.1016/j.jmsy.2016.12.008

Emami, S., Nookabadi, A. S. (2013). *Managing a new multi-objective model for the dynamic facility layout problem.* The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 68(9), 2215-2228. doi: 10.1007/s00170-013-4820-5

Ficko, M., Brezocnik, M. (2004). *Designing the layout of single- and multiple-rows flexible.* Journal of Materials Processing Technology, 157, 150-158. doi:10.1016/j.jmatprotec.2004.09.012

Fischer, A., Fischer, F., Hungerländer, P. (2019). *New exact approaches to row layout problems*. Springer, 11(4), 703-754. doi:10.1007/s12532-019-00162-6

Herrán, A., Colmenar, J. M., 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. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.03.027

Hu, B., Yang, B. (2019). *A particle swarm optimization algorithm for multi-row facility layout*. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 10(8), 3201-3210. https://doi.org/10.1007/s12652-018-1037-3

Hungerländer, P., Anjos, M. F. (2015). *A semidefinite optimization-based approach for global optimization of multi-row facilitylayout*. European journal of operational Research, 245(1), 46-61. http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2015.02.049

Keller, B. (2019). *Construction heuristics for the single row layout problem with machine-spanning clearances*. INFOR: Information Systems and Operational Research, 57(1), 32-55. https://doi.org/10.1080/03155986.2017.1393729

Lee, G. H. (1999). *Design of components and manufacturing system*. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 12(1), 39-53. https://doi.org/10.1080/095119299130452

Lee, G. H. (2001). *Design of Components and Layout of Machines for Material Handling*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 17(5), 371-382. doi: 10.1007/PL00003946

Lenin, N., Siva Kumar, M. (2021). *Harmony search algorithm for simultaneous minimization*. Evolutionary Intelligence, 14(4), 1495-1522. https://doi.org/10.1007/s12065-020-00419-3

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Mahalingam, S. K., 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. https://doi.org/10.1142/S0219686721500141

MIAO, Z., XU, K.-l. (2009). *Research of Multi-rows Facility Layout Based on Hybrid algorithm.* In 2009 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, 2, 553-556. doi: 10.1109/ICIII.2009.291

Nasab, H. H., Fereidouni, S., Ghomi, S. M., Fakhrzad, M. B. (2018). *Classification of facility layout problems: a review study*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 94(1), 957-977. doi: 10.1007/s00170-017-0895-8

Nearchou, A. C. (2006). Meta-heuristics from nature for the loop layout. International Journal of Production Economics, 101(2), 312-328. doi:10.1016/j.ijpe.2005.02.001

ÖZÇELİK, 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: 10.5505/pajes.2017.47487

Safarzadeha, S., Koosha, H. (2017). *Solving an extended multi-row facility layout problem with fuzzy*. Applied Soft Computing, 61, 819-831. http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2017.09.003

Soimart, P., Pongcharoen, P. (2011). *Multi-row Machine Layout Design using Aritificial Bee Colony*. International Conference on Economics and Business, 9, 103-108. https://www.researchgate.net/publication/316154721_Multirow_Machine_Layout_Design_using_Aritificial_Bee_Colony, Erişim tarihi: 07.01.2023

Sooncharoen, S., Vitayasak, S., Pongcharoen, P., 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, 48, 12-20. doi: 10.2306/scienceasia1513-1874.2022.S002

Storn, R., Price, K. (1997). *Differential evolution a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces*. J Glob Optim, 11, 241-354. doi: 10.1023/A:1008202821328

Tavakkoli Moghaddama, R., Torabi, N., Ghaseminejad, A. (2015). *A Quaternion Firefly Algorithm to Solve a Multi-row Facility Layout Problem*. International Journal of Engineering, 28(11), 1605-1613. doi: 10.5829/idosi.ije.2015.28.11b.08

Tubaileh, A., Siam, J. (2017). *Single and multi-row layout design for flexible*. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 30(12), 1316-1330. https://doi.org/10.1080/0951192X.2017.1314013

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Vitayasak, S., Pongcharoen, P. (2018). *Performance improvement of Teaching-Learning-Based Optimisation for robust machine layout design*. Expert Systems With Applications, 98, 129-152. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.01.005

Vitayasak, S., Pongcharoen, P., 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. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.03.019

Wan, X., Zuo, X., Li, X., 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. https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1847342

Zhang, H., Ge, H., Pan, R.,Wu, Y. (2018). *Multi-objective bi-level programming for the energy-aware integration of flexible job shop scheduling and multi-row layout*. Algorithms, 11(12), 210. doi:10.3390/a11120210

EK AÇIKLAMALAR

Ek Açıklama A: Test Problemleri İçin Makine Genişlik ve Uzunlukları

Ek Açıklama B: Test Problemleri İçin Ürün Rotaları

Ek Açıklama C: DEA İle Elde Edilen Sonuçlar

Ek Açıklama A: Test Problemleri İçin Makine Genişlik ve Uzunlukları

Makine Numarası	*TP 1*		*TP 2 ve TP 3*		*TP 4,TP 5 ve TP 6*	
	Makine Genişliği	*Makine Uzunluğu*	*Makine Genişliği*	*Makine Uzunluğu*	*Makine Genişliği*	*Makine Uzunluğu*
1	6,21	4,88	2,50	3,20	2,77	4,43
2	4,92	11,27	1,30	2,20	2,74	3,29
3	5,87	21,25	0,80	3,00	1,58	3,64
4	4,85	2,78	3,00	1,20	3,31	1,89
5	7,49	5,57	3,50	2,50	1,47	1,33
6	3,25	2,38	4,00	4,00	2,39	4,29
7	10,98	12,94	1,80	2,40	1,15	1,96
8	15,02	12,22	2,90	2,50	0,96	2,68
9	5,78	3,56	1,20	3,25	2,84	2,03
10	12,25	13,48	4,20	3,50	4,82	4,02
11	6,52	4,45			2,20	2,20
12	12,95	16,23			3,40	3,40
13					3,00	3,00
14					2,65	2,65
15					2,00	2,00
6					2,40	2,40
17					1,60	1,60
18					4,00	4,00
19					3,40	3,40
20					2,00	2,00

Ek Açıklama A: Test Problemleri İçin Makine Genişlik ve Uzunlukları (Devam)

Makine Numarası	*TP 7 ve TP 8*		*TP 9 ve TP 10*		*TP 11 ve TP 12*	
	Makine Genişliği	*Makine Uzunluğu*	*Makine Genişliği*	*Makine Uzunluğu*	*Makine Genişliği*	*Makine Uzunluğu*
1	3,34	3,67	3,34	3,67	3,34	3,67
2	2,74	3,29	2,74	3,29	2,74	3,29
3	2,10	2,74	2,10	2,74	2,10	2,74
4	2,11	2,96	2,11	2,96	2,11	2,96
5	0,90	2,17	0,90	2,17	0,90	2,17
6	4,05	2,53	4,05	2,53	4,05	2,53
7	1,96	1,15	1,96	1,15	1,96	1,15
8	2,15	1,19	2,15	1,19	2,15	1,19
9	3,31	1,74	3,31	1,74	3,31	1,74
10	6,53	2,97	6,53	2,97	6,53	2,97
11	1,42	3,41	1,42	3,41	1,42	3,41
12	2,32	3,02	3,24	3,57	3,24	3,57
13	1,69	2,37	2,74	3,29	2,74	3,29
14	2,99	1,93	2,32	3,02	2,32	3,02
15	2,02	1,26	1,69	2,37	1,69	2,37
6	3,80	3,80	2,99	1,93	2,99	1,93
17	2,00	2,00	2,02	1,26	2,02	1,26
18	2,70	2,70	5,22	3,07	5,22	3,07
19	2,50	2,50	4,56	2,53	4,56	2,53
20	2,30	2,30	3,22	1,24	3,22	1,24
21	1,70	1,70	3,80	3,80	3,80	3,80
22	1,90	1,90	2,00	2,00	2,00	2,00
23	3,60	3,60	2,70	2,70	2,70	2,70
24	2,70	2,70	2,50	2,50	2,50	2,50
25	2,20	2,20	2,30	2,30	2,30	2,30
26	4,20	4,20	1,70	1,70	1,70	1,70
27	2,20	2,20	1,90	1,90	1,90	1,90
28	2,50	2,50	3,60	3,60	3,60	3,60
29	3,20	3,20	2,70	2,70	2,70	2,70
30	3,00	3,00	2,20	2,20	2,20	2,20
31			4,20	4,20	4,20	4,20
32			2,20	2,20	2,20	2,20
33			2,50	2,50	2,50	2,50
34			3,20	3,20	3,20	3,20
35			3,00	3,00	3,00	3,00
36			3,50	3,50	3,50	3,50
37			3,80	3,80	3,80	3,80
38			2,40	2,40	2,40	2,40

Ek Açıklama A: Test Problemleri İçin Makine Genişlik ve Uzunlukları (Devam)

Makine Numarası	*TP 7 ve TP 8*		*TP 9 ve TP 10*		*TP 11 ve TP 12*	
	Makine Genişliği	*Makine Uzunluğu*	*Makine Genişliği*	*Makine Uzunluğu*	*Makine Genişliği*	*Makine Uzunluğu*
39			3,30	3,30	3,30	3,30
40			3,90	3,90	3,90	3,90
41					2,77	4,43
42					2,74	3,29
43					1,58	3,64
44					3,31	1,89
45					1,47	1,33
46					2,20	2,20
47					3,40	3,40
48					3,00	3,00
49					2,65	2,65
50					2,00	2,00

Ek Açıklama B: Test Problemleri İçin Ürün Rotaları

Problem	*Ürün Numarası*	*Ürün Rotaları*
TP 1	1	8-2-10-9-6
	2	4-8-6-5
	3	1-11-4-5
	4	12-3-7-1
	5	10-9-5-7-2
TP 2	1	2-1-6-5-8-9-3-4
	2	10-8-7-5-9-6-1
	3	9-2-7-4
	4	8-10-5-9-6
	5	2-4-8-10-7
TP 3	1	2-1-6-5-8-9-3-4
	2	10-8-7-5-9-6-1
	3	9-2-7-4
	4	8-10-5-9-6
	5	2-4-8-10-7
	6	7-1-6-8-9-9-1-10
	7	4-7-1-6-5-3-8-10-6-8
	8	8-4-2-7-5-9-1-10
	9	2-5-1-6-8-4-9-3
	10	3-2-7-10-4-5-6-9
TP 4	1	2-10-6-5-8-19-3-4
	2	10-8-7-5-9-6-1-19
	3	9-2-7-4-17-13
	4	4-2-3-12-1-9-16-18-20-15-14-6-11
	5	10-9-1-3-18-17-6-2-11-4
	6	17-11-6-8-7-15-16-9-1-20
	7	14-17-11-16-5-13-18-20-19-12-10-6-8-15
	8	18-8-4-5-7-5-9-14-19-1-20-10-16-11-15-13-12
	9	2-5-1-6-8-14-9-11-3-15-12
	10	3-2-15-14-11-1-10-4-5-13-6-9

Ek Açıklama B: Test Problemleri İçin Ürün Rotaları

Problem	*Ürün Numarası*	*Ürün Rotaları*
TP 5	1	2-10-6-5-8-19-3-4
	2	10-8-7-5-9-6-1-19
	3	9-2-7-4-17-13
	4	4-2-3-12-1-9-16-18-20-15-14-6-11
	5	10-9-1-3-18-17-6-2-11-4
	6	17-11-6-8-7-15-16-9-1-20
	7	14-17-11-16-5-13-18-20-19-12-10-6-8-15
	8	18-8-4-5-7-5-9-14-19-1-20-10-16-11-15-13-12
	9	2-5-1-6-8-14-9-11-3-15-12
	10	3-2-15-14-11-1-7-10-4-5-13-6-9
	11	5-6-11-15-2-12-3-4
	12	10-9-4-14-2-3-15-8
	13	11-2-4-14-5-3-15
	14	10-12-11-15-13-1-14-4-5-3
	15	5-10-3-7-13-8
	16	7-3-2-8-4-10-15-13-9-1
	17	11-13-20-3-1-12-14-4-8-9-2
	18	6-3-4-18-5-14-12-16-7-11-20-13-17-9-2-8-15
	19	17-9-11-8-10-2-4-3-16-20-6-18-15-12-6-3-7
	20	13-2-6-9-11-3-14-4-12-15-8-17-8-1-16-18-10-7-20-19

Ek Açıklama B: Test Problemleri İçin Ürün Rotaları (Devam)

Problem	*Ürün Numarası*	*Ürün Rotaları*
6	1	2-10-6-5-8-19-3-4
	2	10-8-7-5-9-6-1-19
	3	9-2-7-4-17-13
	4	4-2-3-12-1-9-16-18-20-15-14-6-11
	5	10-9-1-3-18-17-6-2-11-4
	6	17-11-6-8-7-15-16-9-1-20
	7	14-17-11-16-5-13-18-20-19-12-10-6-8-15
	8	18-8-4-5-7-5-9-14-19-1-20-10-16-11-15-13-12
	9	2-5-1-6-8-14-9-11-3-15-12
	10	3-2-15-14-11-1-7-10-4-5-13-6-9
	11	5-6-11-15-2-12-3-4
	12	10-9-4,14-2-3-15-8
	13	11-2-4-14-5-3-15
	14	10-12-11-15-13-1-14-4-5-3
	15	5-10-3-7-13-8
	16	7-3-2-8-4-10-15-13-9-1
	17	11-13-20-3-1-12-14-4-8-9-2
	18	6-3-4-18-5-14-12-16-7-11-20-13-17-9-2-8-15
	19	17-9-11-8-10-2-4-3-16-20-6-18-15-12-6-3-7
	20	13-2-6-9-11-3-14-4-12-15-17-8-1-16-18-10-7-20-19
	21	4-20-14-18-19-2-1-6-5
	22	5-9-6-1-19-18-15-10-8-7
	23	4-3-5-9-2-7-13
	24	9-16-18-5-8-20-15-14-4-2-3-12-1-6-11-17
	25	18-17-6-2-10-9-1-3-11-4
	26	13-1-14-4-5-3-10-12-11-15
	27	10-3-7-13-5-15-8-19
	28	3-2-8-4-10-7-6-15-13-9-1
	29	12-14-4-8-11-13-20-3-1-9-2
	30	20-13-6-3-4-18-5-12-16-7-11-10-14
	31	12-13-10-4-5-14-15
	32	16-7-4-11-20-13-17-9-2-8-15
	33	17-9-11-8-10-2-20-6-18-15-12-6-3-7
	34	13-2-6-9-11-3-14-4-2-12-19-8-1-16-18
	35	2-4-8-9-4-12-16-15
	36	15-19-5-9-6-1-8
	37	20-13-15-19-2-7-10
	38	9-16-18-5-8-10-15-14-4-2-3-1
	39	9-14-6-19-1-20-10-16-11-15-13-12
	40	6-18-8-4-2-1-20-10-16-11-15-13-12

Ek Açıklama B: Test Problemleri İçin Ürün Rotaları (Devam)

Problem	*Ürün Numarası*	*Ürün Rotaları*
TP 7	1	2-1-6-5-18-9-3-4-21-24-28-29
	2	25-10-8-7-5-19-6-1-30-28
	3	9-2-17-30-4-23-25
	4	4-2-3-12-1-22-9-16-18-5-8-20-15-14-6-11-30
	5	10-9-1-3-18-17-30-6-2-27-11-4-24
	6	17-11-6-8-7-15-16-9-1-20-22-25
	7	14-17-11-21-16-5-13-18-20-19-12-30-10-6-8-15-26
	8	6-18-8-4-2-27-5-9-14-26-19-1-20-10-16-11-15-13-12-30-9
	9	4-2-5-1-6-8-14-29-11-3-15-12-28
	10	3-2-26-15-30-14-11-1-7-10-4-5-13-6-9-27-21
	11	5-6-11-22-15-20-12-3-4-19
	12	23-10-9-24-14-21-3-15-8-28
	13	24-11-2-4-23-14-16-5-3-15-29
	14	10-12-11-25-13-1-14-4-5-3-30
	15	5-25-10-3-7-13-8-30-23-17

Ek Açıklama B: Test Problemleri İçin Ürün Rotaları (Devam)

Problem	*Ürün Numarası*	*Ürün Rotaları*
TP 8	1	2-1-6-5-18-9-3-4-21-24-28-29
	2	25-10-8-7-5-19-6-1-30-28
	3	9-2-17-30-4-23-25
	4	4-2-3-12-1-22-9-16-18-5-8-20-15-14-6-11-30
	5	10-9-1-3-18-17-30-6-2-27-11-4-24
	6	17-11-6-8-7-15-16-9-1-20-22-25
	7	14-17-11-21-16-5-13-18-20-19-12-30-10-6-8-15-26
	8	6-18-8-4-2-27-5-9-14-26-19-1-20-10-16-11-15-13-12-30-9
	9	4-2-5-1-6-8-14-29-11-3-15-12-28
	10	3-2-26-15-30-14-11-1-7-10-4-5-13-6-9-2-,21
	11	5-6-11-22-15-20-12-3-4-19
	12	23-10-9-24-14-21-3-15-8-28
	13	24-11-2-4-23-14-16-5-3-15-29
	14	10-12-11-25-13-1-14-4-5-3-30
	15	5-25-10-3-7-13-8-30-23-17
	16	17-30-2-8-4-10-15-13-29
	17	11-13-20-3-1-12-14-24-8-9-21
	18	6-30-24-18-5-14-12-16-7-11-20-13-17-9-2-8-15
	19	17-9-11-8-10-16-4-20-6-18-15-12-3-27
	20	13-22-6-9-11-3-14-4-25-17-8-16-18-10-7-20-29
	21	24-20-14-18-19-2-1-26-5
	22	5-9-6-21-19-28-25-10-8-7-30
	23	24-3-5-19-2-17-13
	24	9-16-18-25-28-15-23-12-21-6-11-17
	25	18-17-6-29-10-9-21-4
	26	13-8-14-5-23-20-12-11-15
	27	10-23-7-13-5-15-8-19
	28	3-24-8-30-10-26-15-13-9-1
	29	22-14-4-8-11-13-30-29-24
	30	20-13-6-23-4-18-5-12-16-27-11-30-14

Ek Açıklama B: Test Problemleri İçin Ürün Rotaları (Devam)

Problem	*Ürün Numarası*	*Ürün Rotaları*
TP 9	1	2-1-6-5-18-9-3-4-21-24-28-29
	2	25-10-8-7-5-19-6-1-30-28
	3	9-2-17-30-4-23-25
	4	4-2-3-12-1-22-9-16-18-5-8-20-15-14-6-11-30
	5	10-9-1-3-18-17-30-6-2-27-11-4-24
	6	17-11-6-8-7-15-16-9-1-20-22-25
	7	14-17-11-21-16-5-13-18-20-19-12-30-10-6-8-15-26
	8	6-18-8-4-2-27-5-9-14-26-19-1-20-10-16-11-15-13-12-30-9
	9	4-2-5-1-6-8-14-29-11-3-15-12-28
	10	3-2-26-15-30-14-11-1-7-10-4-5-13-6-9-27-21
	11	5-6-11-22-15-20-12-3-4-19
	12	23-10-9-24-14-21-3-15-8-28
	13	24-11-2-4-23-14-16-5-3-15-29
	14	10-12-11-25-13-1-14-4-5-3-30
	15	5-25-10-3-7-13-8-30-23-17
	16	7-3-2-8-4-10-36-15-13-9-1
	17	11-13-20-3-1-12-14-14-8-9-2
	18	6-3-4-18-5-30-14-12-18-7-24-11-20-13-17-9-2-8-15
	19	17-9-11-8-10-2-4-3-16-4-20-6-18-15-12-6-3-7
	20	13-2-6-9-11-3-14-4-32-12-15-17-8-1-16-18-10-7-20-28-19

Ek Açıklama B: Test Problemleri İçin Ürün Rotaları (Devam)

Problem	*Ürün Numarası*	*Ürün Rotaları*
	1	2-1-6-5-18-9-3-4-21-24-28-29
	2	25-10-8-7-5-19-6-1-30-28
	3	9-2-17-30-4-23-25
	4	4-2-3-12-1-22-9-16-18-5-8-20-15-14-6-11-30
	5	10-9-1-3-18-17-30-6-2-27-11-4-24
	6	17-11-6-8-7-15-16-9-1-20-22-25
	7	14-17-11-21-16-5-13-18-20-19-12-30-10-6-8-15-26
	8	6-18-8-4-2-27-5-9-14-26-19-1-20-10-16-11-15-13-12-30-9
	9	4-2-5-1-6-8-14-29-11-3-15-12-28
	10	3-2-26-15-30-14-11-1-7-10-4-5-13-6-9-27-21
	11	5-6-11-22-15-20-12-3-4-19
	12	23-10-9-24-14-21-3-15-8-28
	13	24-11-2-4-23-14-16-5-3-15-29
	14	10-12-11-25-13-1-14-4-5-3-30
TP 10	15	5-25-10-3-7-13-8-30-23-17
	16	7-3-2-8-4-10-36-15-13-9-1
	17	11-13-20-3-1-12-14-14-8-9-2
	18	6-3-4-18-5-30-14-12-18-7-24-11-20-13-17-9-2-8-15
	19	17-9-11-8-10-2-4-3-16-4-20-6-18-15-12-6-3-7
	20	13-2-6-9-11-3-14-4-32-12-15-17-8-1-16-18-10-7-20-28-19
	21	4-21-24-28-29-2-1-6-5-8-9-3
	22	5-9-6-1-39-38-25-10-8-7
	23	4-23-25-9-2-7-33
	24	9-16-18-5-8-20-15-14-4-2-3-12-1-32-6-11-37
	25	18-17-6-2-10-9-1-3-11-4
	26	13-1-14-4-5-3-10-12-11-15-35
	27	10-3-7-13-5-25-8-39
	28	3-2-8-4-10-7-36-15-13-9-1
	29	12-14-4-8-11-13-21-3-1-9-2
	30	20-13-6-3-4-18-5-12-16-7-24-11-30-14
	31	32-23-10-24-35-14-15
	32	16-7-24-11-20-13-17-9-2-8-15
	33	17-9-11-8-10-2-20-6-18-15-12-6-3-7
	34	13-2-6-9-11-3-14-4-32-12-28-19-8-1-16-18
	35	21-24-28-29-30-4-2-1-6-5-8
	36	15-19-5-9-6-1-39-38-25
	37	40-33-35-19-2-7-10
	38	29-16-18-5-28-10-15-14-4-2-3-1
	39	9-14-26-19-1-20-10-16-11-15-13-12-30-39
	40	36-18-8-4-2-7-5-1-20-10-16-11-15-13-12

Ek Açıklama B: Test Problemleri İçin Ürün Rotaları (Devam)

Problem	*Ürün Numarası*	*Ürün Rotaları*
TP 11	1	2-1-6-5-18-9-3-4-21-24-28-29
	2	25-10-8-7-5-19-6-1-30-28
	3	9-2-17-30-4-23-25
	4	4-2-3-12-1-22-9-16-18-5-8-20-15-14-6-11-30
	5	10-9-1-3-18-17-30-6-2-27-11-4-24
	6	17-11-6-8-7-15-16-9-1-20-22-25
	7	14-17-11-21-16-5-13-18-20-19-12-30-10-6-8-15-26
	8	6-18-8-4-2-27-5-9-14-26-19-1-20-10-16-11-15-13-12-30-9
	9	4-2-5-1-6-8-14-29-11-3-15-12-28
	10	3-2-26-15-30-14-11-1-7-10-4-5-13-6-9-27-21
	12	23-10-9-24-14-21-3-15-8-28
	13	24-11-2-4-23-14-16-5-3-15-29
	14	10-12-11-25-13-1-14-4-5-3-30
	15	5-25-10-3-7-13-8-30-23-17
	16	7-3-2-8-4-10-36-15-13-9-1
	17	11-13-20-3-1-12-14-14-8-9-2
	18	6-3-4-18-5-30-14-12-18-7-24-11-20-13-17-9-2-8-15
	19	17-9-11-8-10-2-4-3-16-4-20-6-18-15-12-6-3-7
	20	13-2-6-9-11-3-14-4-32-12-15-17-8-1-16-18-10-7-20-28-19
	21	7-2-6-26-15-38-16-20-1
	22	3-17-1-2-20-8-46-19-14-11-15-12-7-23-16-10-18-44-13-9-5-36-50
	23	3-39-2-42-27-41-45
	24	15-9-19-33-12-3-6-35-48-14-7-42-13-4-16-11-10-18
	25	37-19-50-44-9-16-43-14-1-29-2-1-10-17-12-46-9-45-40

Ek Açıklama B: Test Problemleri İçin Ürün Rotaları (Devam)

Problem	*Ürün Numarası*	*Ürün Rotaları*
TP 12	1	2-1-6-5-18-9-3-4-21-24-28-29
	2	25-10-8-7-5-19-6-1-30-28
	3	9-2-17-30-4-23-25
	4	4-2-3-12-1-22-9-16-18-5-8-20-15-14-6-11-30
	5	10-9-1-3-18-17-30-6-2-27-11-4-24
	6	17-11-6-8-7-15-16-9-1-20-22-25
	7	14-17-11-21-16-5-13-18-20-19-12-30-10-6-8-15-26
	8	6-18-8-4-2-27-5-9-14-26-19-1-20-10-16-11-15-13-12-30-9
	9	4-2-5-1-6-8-14-29-11-3-15-12-28
	10	3-2-26-15-30-14-11-1-7-10-4-5-13-6-9-27-21
	11	5-6-11-22-15-20-12-3-4-19
	12	23-10-9-24-14-21-3-15-8-28
	13	24-11-2-4-23-14-16-5-3-15-29
	14	10-12-11-25-13-1-14-4-5-3-30
	15	5-25-10-3-7-13-8-30-23-17
	16	7-3-2-8-4-10-36-15-13-9-1
	17	11-13-20-3-1-12-14-14-8-9-2
	18	6-3-4-18-5-30-14-12-18-7-24-11-20-13-17-9-2-8-15
	19	17-9-11-8-10-2-4-3-16-4-20-6-18-15-12-6-3-7
	20	13-2-6-9-11-3-14-4-32-12-15-17-8-1-16-18-10-7-20-28-19
	22	3-17-1-2-20-8-46-19-14-11-15-12-7-23-16-10-18-44-13-9-5-36-50
	23	3-39-2-42-27-41-45
	24	15-9-19-33-12-3-6-35-48-14-7-42-13-4-16-11-10-18
	25	37-19-50-44-9-16-43-14-1-29-2-1-10-17-12-46-9-45-40
	26	13-1-14-40-45-3-10-12-11-50-35
	27	10-3-7-13-50-25-8-49
	28	3-2-8-42-10-7-36-15-13-9-31
	29	12-14-40-8-11-13-21-38-1-9-2
	30	20-3-6-39-44-18-5-12-16-47-24-11-30-14
	31	32-23-50-24-35-14-15
	32	19-7-24-11-20-13-17-49-42-8-15
	33	17-9-11-8-30-2-20-6-18-50-12-6-43-47
	34	13-2-6-9-11-2-14-41-32-42-28-19-8-16-18
	35	21-24-28-29-30-47-2-1-6-5-8
	36	15-19-5-49-26-1-39-38-25
	37	40-33-35-19-2-7-10
	38	29-16-18-5-28-50-15-14-4-42-3-41
	40	36-18-48-37-25-20-40-16-11-15-13-42

Ek Açıklama C: DEA İle Elde Edilen Sonuçlar

TP 1

Tekrar Sayısı	*Makine Yerleşimi*			*Alan*	*Akış Maliyeti*
	1.Sıra	*2.Sıra*	*3.Sıra*		
1	8,10,12	2,3,9	1,4,5,6,7,11	1647.51	476.26
2	8,10,12	2,3,9	1,4,5,6,7,11	1647.51	464.56
3	2,8,12	5,6,7,9,10	1,3,4,11	1735.69	440.66
4	8,10,12	1,4,5,6,7,9	2,3,11	1677.36	497.81
5	8,10,12	1,2,4,7,11	3,5,6,9	1721.92	471.56
6	2,7,10	5,8,9,12	1,3,4,6,11	1652,93	557,19
7	8,10,12	2,5,7,9	1,3,4,6,11	1677.36	486.65
8	5,6,8,9,10	2,7,12	1,3,4,11	1740.13	443.26
9	1,7,11,12	2,3	4,5,6,8,9,10	1891.62	432.17
10	2,6,8,10	5,7,9,12	1,3,4,11	1745.52	418.19

Ek Açıklama C: DEA İle Elde Edilen Sonuçlar (Devam)

TP 2

Tekrar Sayısı	*Makine Yerleşimi*			*Alan*	*Akış Maliyeti*
	1.Sıra	*2.Sıra*	*3.Sıra*		
1	4,5,8,10	3,7,9	1,2,6	219.79	222.43
2	1,6,10	4,5,7,8	2,3,9	191.10	210.98
3	1,6,10	4,5,7,8	2,3,9	191.10	247.58
4	2,3,4,7	5,8,9	1,6,10	217.56	245.97
5	1,2,6	3,7,9	4,5,8,10	219.79	244.23
6	4,5,8,10	3,7,9	1,2,6	219.79	219.53
7	4,5,8,10	3,7,9	1,2,6	219.79	221.98
8	1,6,7	2,3,9	4,5,8,10	211.95	240.87
9	6,7,10	2,4,5,8	1,3,9	204.48	281.22
10	1,4,6,10	5,7,8	2,3,9	232.70	243.48

Ek Açıklama C: DEA İle Elde Edilen Sonuçlar (Devam)

TP 3

Tekrar Sayısı	*Makine Yerleşimi*				*Alan*	*Akış Maliyeti*
	1.Sıra	*2.Sıra*	*3.Sıra*	*4.Sıra*		
1	6,1	4,5,8	1,2,7	3,9	205,32	683,90
2	5,8,10	1,4,6	2,7	3,9	215,00	657,55
3	6,1	1,5,8	2,4,7	3,9	218,38	690,30
4	4,6,10	1,5,8	7,9	2,3	213,36	651,45
5	4,6,10	1,5,8	2,7,9	3	207,01	698,60
6	5,6,8	1,7,10	2,4	3,9	241,04	689,05
7	7,1	1,5,8	2,4,6	3,9	230,58	710,75
8	4,6,10	1,5,8	2,7,9	3	207,01	693,95
9	5,8,10	1,4,6	7,9	2,3	216,25	640,60
10	6,1	1,5,8	7,9	2,3,4	225,70	627,45

Ek Açıklama C: DEA İle Elde Edilen Sonuçlar (Devam)

TP 4

Tekrar Sayısı	*Makine Yerleşimi*				*Alan*	*Akış Maliyeti*
	1.Sıra	*2.Sıra*	*3.Sıra*	*4.Sıra*		
1	4,7,8,10,18	2,15,16,17,2	1,5,6,9,14	3,11,12,13,19	468,07	1676,73
2	4,5,10,17,18	1,6,9,14,16	2,11,12,13,19	3,7,8,15,2	453,63	1776,92
3	3,4,12,13,19	7,8,10,14,18	1,2,5,9,16	6,11,15,17,2	453,77	1744,07
4	10,13,15,18,20	2,6,9,14,16	3,5,7,8,11	1,4,12,17,19	443,37	1739,87
5	12,14,15,19,2	4,10,13,17,18	1,5,6,9,11	2,3,7,8,16	445,69	1739,29
6	3,10,13,16,18	2,4,5,15,2	6,9,11,14,17	1,7,8,12,19	510,47	1706,6
7	3,6,7,11,14	2,4,5,8,9,16	1,13,15,2	10,12,17,18,19	483,03	1911,02
8	6,8,10,18	7,9,11,15,16,2	1,2,3,5,17	4,12,13,14,19	447,96	1605,04
9	4,10,12,18,19	3,6,7,8,17	2,11,14,15,2	1,5,9,13,16	468,25	1770,72
10	8,10,13,17,18	2,4,5,7,9,14	3,6,11,16	1,12,15,19,2	464,36	1723,18

Ek Açıklama C: DEA İle Elde Edilen Sonuçlar (Devam)

TP 5

Tekrar Sayısı	*Makine Yerleşimi*				*Alan*	*Akış Maliyeti*
	1.Sıra	*2.Sıra*	*3.Sıra*	*4.Sıra*		
1	2,10,16,17,18	3,4,5,7,9,14	1,8,11,15,2	6,12,13,19	477,05	3745,56
2	10,12,18,19	5,7,13,15,16,20	1,6,9,14,17	2,3,4,8,11	459,31	3692,53
3	10,12,17,18,19	7,8,13,16	1,2,5,6,11	3,4,9,14,15,2	485,96	3922,07
4	9,10,16,17,18	1,5,8,12,19	3,6,11,15,2	2,4,7,13,14	462,94	3683,09
5	4,1,12,18	1,5,9,14,16	2,3,6,11,17	7,8,13,15,19,2	446,59	3526,88
6	10,12,18,19	1,4,7,13,14	2,3,6,9,17	5,8,11,15,16,20	442,60	3620,08
7	2,8,9,18	4,6,12,14,19	1,3,5,8,17	7,11,13,15,16,2	472,36	3787,58
8	5,10,12,18,19	8,9,16,17	1,2,3,6,14	4,7,11,13,15,20	519,16	3812,55
9	6,10,12,19	4,9,14,16,18	1,3,13,15,2	2,5,7,8,1117	474,32	3759,28
10	4,10,12,16,19	1,2,9,11,14	3,5,7,8,17	6,13,15,18,2	448,57	3632,82

Ek Açıklama C: DEA İle Elde Edilen Sonuçlar (Devam)

TP 6

Tekrar Sayısı	*Makine Yerleşimi*				*Alan*	*Akış Maliyeti*
	1.Sıra	2.Sıra	3.Sıra	4.Sıra		
1	10,12,18,19	2,6,8,9,14	4,7,11,13,15,2	1,3,5,16,17	455,01	7121,11
2	4,10,12,14,19	2,6,8,9	3,5,7,15,16,2	1,11,13,17,18	468,60	7311,71
3	4,5,8,10,18	2,12,13,17,19	1,9,14,15,2	3,6,7,11,16	441,55	6898,42
4	4,5,8,10,18	3,9,11,15,16,2	2,6,7,14,17	1,12,13,19	434,02	6593,38
5	10,13,16,17,18	3,4,7,12,19	2,5,8,9,14	1,6,11,15,2	456,49	7337,94
6	2,10,13,18	3,5,7,15,16,2	1,4,12,14,19	6,8,9,11,17	462,56	6903,55
7	9,10,13,16,18	1,4,12,17,19	2,3,5,6,14	7,8,11	449,30	7270,6
8	1,3,6,15,20	4,10,12,18,19	5,7,8,11,16	2,9,13,14,17	469,24	7414,46
9	6,10,14,18	8,9,11,15,17,20	2,4,12,13,19	1,3,5,7,16	455,69	7175,41
10	6,10,17,18	4,7,11,15,16,2	1,2,5,8,9	3,12,13,14,19	490,71	7329,34

Ek Açıklama C: DEA İle Elde Edilen Sonuçlar (Devam)

TP 7

Tekrar Sayısı	*Makine Yerleşimi*					*Alan*	*Akış Maliyeti*
	1.Sıra	*2.Sıra*	*3.Sıra*	*4.Sıra*	*5.Sıra*		
1	10,13,20, 25,26,27	6,9,22, 18,23,24	4,11,15, 21,29,30	2,3,8, 12,14,28	1,5,7, 16,17,19	758,34	4379,58
2	4,7,10,14, 16,18,24	5,6,15, 19,28	3,20,23, 26,30	1,9,11, 13,17,21	2,8,12, 22,25,27,29	889,38	4427,96
3	9,10,16, 20,25,27	4,8,11, 15,22,26	1,2,3,5, 7,30	6,12,18, 21,23,24	13,17,19, 14,28,29	769,65	3902,72
4	4,6,10, 11,23	1,8,9,12, 15,16,21	5,18,20, 22,24, 25,27	2,3,7,14, 17,30	13,19,26, 28,29	801,17	4029,69
5	10,19,22, 26,28,29	2,9,16, 21,25,27	6,7,8, 12,20,3	1,3,5,14, 15,17,23	4,11,13, 18,24	842,33	3994,40
6	5,10,13,18, 24,25,27	11,21, 23,26,3	4,9,15, 16,17,2	2,3,7, 12,14	1,6,8,19, 22,28,29	881,75	4213,39
7	1,10,12, 13,14,22	6,7,9,11, 26,3	8,15,19, 20,25, 27,28	3,4,5, 17,18,24	2,16,21, 23,29	725,14	3975,33
8	10,17,19, 23,26,28	5,6,25, 27,29,30	1,7,9, 16,18	4,8,12,13, 14,20,21	2,3,11,15, 22,24	789,78	4390,62
9	6,8,10, 16,23,26	2,9,12,14,15,29	1,3,4,5, 13,30	7,11,17, 20,21,22	18,19,24,25,27,28	740,92	3913,99
10	10,13,18, 21,24,26	11,16,19,25,27,28	3,4,15, 17,20,22	2,5,7, 12,14,29	1,6,8,9, 23,3	745,92	4135,93

Ek Açıklama C: DEA İle Elde Edilen Sonuçlar (Devam)

TP 8

Tekrar Sayısı	*Makine Yerleşimi*						*Alan*	*Akış Maliyeti*
	1.Sıra	*2.Sıra*	*3.Sıra*	*4.Sıra*	*5.Sıra*	*6.Sıra*		
1	10,23,25 26,27	2,11,17 20	1,4,7,13 16	3,5,18 22,24	9,12,14 15,19,28	6,8,21 29,3	767,85	7225,79
2	10,12,13 15,29	3,14,17 20,3	1,4,9 19,28	2,5,11 18,24	8,21,22 25,27	6,7,16 23,26	745,19	7279,57
3	1,2,21,23	6,9,10 12,26	3,5,11 15,22	7,8,13 19,28, 30	4,16,17 ,20,29	14,18 24,25,27	727,17	7319,89
4	7,10,13 15,20,26	6,8,9 14,29	5,17,22 23	4,11 18,28	1,2,12 16,3	3,18,19 21,24 25,27	822,20	7818,65
5	10,12,16 17,23	4,8,9 14,22, 30	3,5,18 25,27	6,11 13,26 29	1,2,15 20,24	7,19 21,28	772,47	8023,82
6	5,10,14 20,26	9,17,18 24,29	1,3,4,6 15,23	2,8 28,3	11,12,13 16,19,21	7,22 25,27	881,45	7869,62
7	6,10,19 26,28	3,11,17 25,27	5,23 29,3	4,9,13 14,16 21	8,18,20 22,24,15	1,2,7,12	788,17	7410,72
8	10,14 26,29	4,16,21 25,27	1,2,9 13,3	3,8,11 12,23	6,7,18 15,22,24	5,17,19 20,28	752,16	7485,51
9	4,10,23,26	7,9,13 19,21	11,14, 15,25 27,3	1,2 3,8,28	5,18,22 24,29	6,12,16 17,2	802,32	8097,69
10	2,10,25 27,28	7,11,19 21,22	4,8,12 16,17	5,13 15,2 29	1,6,18 24,3	3,9,14 23,26	774,73	7878,9

Ek Açıklama C: DEA İle Elde Edilen Sonuçlar (Devam)

TP 9

Tekrar Sayısı	*Makine Yerleşimi*						*Alan*	*Akış Maliyeti*
	1.Sıra	*2.Sıra*	*3.Sıra*	*4.Sıra*	*5.Sıra*	*6.Sıra*		
1	6,8,10 15,18,19 27,4	4,14,16 26 28,35	1,7,11 29,33 36,39	5,9,12 20,23 30,32 34	2,13 17,24	3,21,22 25,31 37,38	1167,50	7826,19
2	1,5,9 10,20,21 24,37	2,6,13 19,31 34	3,8,12 18,27 36	11,14 15,17 26,28	7,23,25 30,32 33,38	4,16,22 29,35 39,4	1310,30	7330,98
3	2,13,22 26,27 31,36	1,8,9 12,17 38	5,6,7 10,18 19,24	3,4,11 16,2 33,35	23,28,30 32,34 25,4	14,15,21 29 37,39	1123,20	7159,57
4	10,16,18 26,29 33,38	1,7,9 12 23,27	3,22,24 25,31 35,37	2,4,11 5,13 15,17	6,14,19 34,36,39	8,20,21 28,3 32,4	1147,70	7202,09
5	2,8,10 13,14 18,31,33	3,15,24 25,28 30,32 35	4,11,12 17,22 26,27 39	6,9,16 1,19 20	5,23 29,34	7,21,31 36,37 38,4	1235,50	7385,42
6	10,12,18 28,33,40	9,15,16 22,24 26,32 36	1,5,6 7,8,17 19,37	2,4,13 20,21 27,38	11,14,25 30,35	3,23,29 31,34,39	1149,60	7382,89
7	6,7,10 18,19 21,34	9,15,20 25,26 30,31 32	1,3,14 16,22 35	2,5,8 13,17 36,38	12,27 28,36 37,4	4,11,23 24,29 33,39	1090,70	6653,32
8	1,11,20 4,34,36	18,22 24,31 33,39	6,14,19 23,4	10,12 15,16 25,26 29,32	2,3,5 7,8,13 30,38	9,17,21 27,28 35,37	1226,50	8616,45
9	1,14,26 27,35,39	18,2 22,23 28,3 31,32	2,3,4 5,7 13,15 29	9,11 21,24 37	8,16,25 33,34 38	6,10,12 17,19 36,4	1226,40	7496,46
10	1,7,10 25,32 35,37	4,12,16 21,23 24,29	2,5,11 13,26 27,36	3,14 15,17 20,38	6,18,19 22,33 40	8,9,28 31,34,39	1172,90	8029,57

Ek Açıklama C: DEA İle Elde Edilen Sonuçlar (Devam)

TP 10

Tekrar Sayısı	*Makine Yerleşimi*						*Alan*	*Akış Maliyeti*
	1.Sıra	*2.Sıra*	*3.Sıra*	*4.Sıra*	*5.Sıra*	*6.Sıra*		
1	17,21,25 26,36, 38,39	5,18 37,4	1,3,6 7,9,12 19,35	2,4,8 13,14 15,22 30,23	10,11, 16,20, 23,27,32	24,28 29,31 33,34	1294,20	13801,70
2	20,3 32,34 36,39,40	1,6,8 9,1 18,19	2,4,13 15,16 33,35	17,23 25,26 28,31 38	5,11,14 22,24 27	3,7,12 21,29,37	1070,20	12974,10
3	5,6,10 11,16,18 19,25	2,3,12 13,17 22,26 27	9,14,20 28,35	7,15, 33,34 39,4	1,8,30 32,36,38	4,21,23 24,29 31,37	1220,80	13584,70
4	6,10,15 18,19 25,26,40	1,5,9 11,21 27,16	3,12,17 28,32 35,37	20,23 31,34 36	2,7,8 13,14,22	4,24,29 30,33 38,39	1215,70	15016,90
5	3,12,16 21,26 37,39	10,15 18,24 25,29 35	1,5,7 14,27 33	4,8,30 32,34 20	9,11,1 23,28 38,2,13	6,17,22 31,36,40 19	1151,00	14224,10
6	4,5,21 25,39,40	10,16 17,18 19,28,6	1,2,11 13,23 29	3,8,12 15,23 36,38	14,20,24 26,27 30,32,33	7,9,22 31,34 35,37	1084,40	13092,80
7	3,7,10 18,23 29,30,32	5,9,14 24,27 33,37	4,15,17 26,28 31,35	1,8,11 22,25	2,12,13 16,39,40	6,19,20 21,34 36,38	1225,40	14496,00
8	1,10,18 20,28,31 8	2,3,13 22,23 27,29	5,9,11 12,15 16,26	4,6,14 19,25 36,39	7,17,24 30,32,38	21,33 34,35 37,4	1077,90	12699,20
9	10,12 15,17 31,33	7,24,28 34,35 37,4	1,14,21 23,29 30,32	2,3,5 11,13 20,36	4,8,9 16,38 22	6,18,19 25,26 27,39	1202,00	13456,10
10	10,12,14 17,27 36,38	15,18 22 28,3 32,35	3,6,13 19,20,2 31,33	5,6,7 8,9,23 29,34 4	16,21 26,37,40	1,11,24 25,39	1338,80	13336,80

Ek Açıklama C: DEA İle Elde Edilen Sonuçlar (Devam)

TP 11

Tekrar Sayısı	*Makine Yerleşimi*								*Alan*	*Akış Maliyeti*
	1.Sıra	*2.Sıra*	*3.Sıra*	*4.Sıra*	*5.Sıra*	*6.Sıra*	*7.Sıra*	*8.Sıra*		
1	4,18 2,4 34,46 28	5,7, 20,35 38,47 10	8,16 27,35 39,43 50,22	14,15 26,32 33,41 48,24 25	9,17 49	3,11 21,3 37,38 45	1,6 19,31 36 40	2,12 13,23 29,42 44	1550,10	12541,40
2	2,8,13 24,27 42,44	1,3 32 35,46 49	16,22 33,34 38,39 40,45	12,36 47,48	4,7 14 17,23 25,43	6,1 18,19 28,31	9,11 15,26 41	3,5 20,21 29,37 50	1534,10	12311,10
3	1,3 30 32,39 44,46	9,1 12 17,19 47,6	7,16 22,49 50,11	2,8 13 25,26 38,42	5,15 18,24 33,35	14,21 28,45 48,23	27,34 36,37 43	4,2 29,31 40,41	1407,90	10832,50
4	7,1 21,25 31,38 45	13,2 29,36 39,5	4,6 18 19,35 48	9,14 17,24 37,4 43	1,2,8 25,42 15	3,5 11,26 27,3 32,46	12,16 22,34 44,49	23,28 33,41 47	1482,90	12156,90
	8,1	2,13	23,29	1,11,	5,9	3,4,6	18,24	7,17		

Ek Açıklama C: DEA İle Elde Edilen Sonuçlar (Devam)

TP 11

Tekrar Sayısı	*Makine Yerleşimi*								*Alan*	*Akış Maliyeti*
	1.Sıra	*2.Sıra*	*3.Sıra*	*4.Sıra*	*5.Sıra*	*6.Sıra*	*7.Sıra*	*8.Sıra*		
5	20,33	15,22	36,37	26,41	14,44	12,19	27,31	25,28	1575,20	12416,40
	38,5	42	40,43	32	21,34	47,39	45,48	30,35		
	16				49			46		
	4,31	3,14	1,22	12,17	11,16	5,6	7,8	2,13		
6	33,36	21,34	26,3	20,24	35,43	9,1	18,28	23,29	1461,90	12295,40
	38,44	40	37,48	32	41,49	15,19	39,45	42,46		
	27		50			25	47			
	5,9	13,27	7,1	1,6	3,4	8,22	11,21	16,31		
7	17,2	42,44	12,26	15,18	25,48	23,2	28,37	34,35	1432,30	11184,70
	32,46	45,33	41,43	19	30	36,47	39,49	38,4		
	50,24					14,29				
	10,15	1,4,5	8,16	2,12	22,23	34,39	3,7,9	6,14		
8	18,3	21,26	17,2	13,44	28,29	40	11,37	19,24	1552,50	12615,40
	31,46	33,41	27,38	45,48	32,36		47	25,35		
	49		50	42				43		
	5,2	6,16	2,4	21,22	3,7,8	5,12	10,17	9,27		
9	23,26	19,38	13,39	31,33	11,5	28,43	18,24	30,32	1382,40	10326,50
	29,37	47,49	42,44	40,48	14,25	1	34,45	36,41		
	15						35	46		
	4,22	2,13	9,17	10,14	7,21	5,2	1,3	6,12		
10	27,4	30,43	34,35	15,16	25,28	42,45	8,11	19,23	1565,20	12798,40
	41,47,		36	24,33	29,37	46,48	18,31	26,39		
	50			44	38	49	32			

Ek Açıklama C: DEA İle Elde Edilen Sonuçlar (Devam)

TP 12

Tekrar Sayısı	*Makine Yerleşimi*									*Alan*	*Akış Maliyeti*
	1.Sıra	*2.Sıra*	*3.Sıra*	*4.Sıra*	*5.Sıra*	*6.Sıra*	*7.Sıra*	*8.Sıra*	*9.Sıra*		
1	14,25 27,39 40,45 50	3,9 15,22 23,29 38	6,1 11,18 19,2 26,28 49	5,8 30,46 48	24,31 33,34 35,36 41,44	2,13 21,37 42,1	7,17	4,12 16,47	32,43	1919,90	16999,20
2	5,7 8,21 31,39 40	4,9 17,18 22,43 44,45 49	3,6 19,25 30,46 50	2,11 13,36 37,42	14,15 16,2 27,34	12,23 29,32	10,24 28,33 47	1,38 41	26,35 48	1940,60	15624,30
3	10,18 22,25 26,37 50	2,3 5,13 39,42	9,14 23,24 45	1,2 46	6,15 34,36 48,49	4,27 30,32 33,38	7,8 17,28 47,11 12	16,21 29,4	19,31 41,43 44,35	1524,50	19924,40
4	5,18 28,39 40	1,3 8,1 47,14	2,13 31,42 35	23,26 30,32 33,48	4,7 9,12 16,21 38	11,22 24,49 50,46	15,19 20,27 29,34	6,17 36,37 41	25,43 44,45	1575,60	20417,60
5	3,6 23,29 43,5 35	12,17 22,27 37,38 40	24,36 39,41 15,18	10,14 30,32 46,47 16	1,7 9,11 33,45	2,8 13,19 26,28 42	5,21 34,48 49	4,2	25,31 44	1716,40	19380,90

Ek Açıklama C: DEA İle Elde Edilen Sonuçlar (Devam)

TP 12

Tekrar Sayısı	*Makine Yerleşimi*									*Alan*	*Akış Maliyeti*
	1.Sıra	*2.Sıra*	*3.Sıra*	*4.Sıra*	*5.Sıra*	*6.Sıra*	*7.Sıra*	*8.Sıra*	*9.Sıra*		
6	27,31	15,21	1,6	2,9	3,16	22,23	4,8	5,1	7,37	1426,80	16619,50
	34,4	29,35	14,19	13,25	17,24	30,32	11,12	18,2	48,49		
	43	47	44,45	36,42	26,33	39,5	38,46	28,41			
	4,9	8,23	2,13	1,25	5,19	7,11	3,6	16,2	33,49		
7	10,12	28,31	30,32	37,38	22,26	24,36	14,15	21,27		1591,30	20095,20
	17,41	50,47	46,45	48	44	39,4	18	29,34			
	43		42					35			
	26,33	8,25	4,6	5,15	2,7	28,32	1,3	11,21	37		
8	34,39	36,4	12,16	17,28	10,13	44,45	9,3	22		1872,70	19185,30
	43,4	48,31	18,19	50,29	14,23		35,41				
	49,47		20	38	24,27		46				
					42						
	21,25	12,16	7,8	3,4	9,11	17,23	5,15	2,13	1,44		
9	28,29	22,26	20,32	6,1	18,27	36,37	24,3	14,31		1641,50	17788,70
	33,4	34,45	39,46	19,35	41,48	43,47		42			
		49		38	50						
10	10,2	9,14	1,4	11,18	5,22	2,13	3,17	6,8	7,12	1533,70	18914,60
	29,44	23,43	28,47	21,26	24,25	34,39	32,36	19,31	15,46		
	45,5	49	48,35	33,37	27	42,3	38,41	40			
	16										