

# DEPO PLANLAMASI VE ÜRÜNLERİN RAFLARA ATANMASI PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

Büşra Ceren Aslan<sup>1</sup>, Sultan Bulut<sup>2</sup>,  
Cennet Rabia Öymez<sup>3</sup>, Talip Kellegöz<sup>4</sup>

## 1. GİRİŞ

Günümüzün rekabetçi ve global iş dünyasında firmaların gerek piyasaya girmeleri gerek tutunmaları gerekse büyümeleri için düşük maliyetle üretim yapmaları kaçınılmaz bir zorunluluk haline gelmiştir. Ürün ve hizmet kalitesini bozmadan maliyetlerin düşürülmesinde en etkili yollardan biri verimli bir depolama ve etkin bir sipariş toplama sistematiğidir.

Depo yönetiminde üretkenlik ve performans değerlendirilmesi yapılırken deponun fiziksel ortamı, kullanılan ekipman ve bu ekipmandan faydalanma dereceleri, fiziksel depolama yöntemlerinin kullanım düzeyi, doğru envanter yöntemlerinin seçilmiş olması ve depo personelinin çalışma verimliliği

dikkate alınmalıdır. Bu kapsamda, kaynakların verimli kullanımı, toplam depolama alanının optimizasyonu, ekipman verimliliğinin maksimize edilmesi, envanter yerleşiminin toplam dolaşım süresini minimize edecek şekilde yapılmış olması gerekir. Ayrıca; doğru envanter yöntemlerinin seçimi konusunda yapılan çalışmalar, envanter tutma maliyetlerini düşürerek depolamada verimliliğin artacağını ortaya koymaktadır. Ek olarak; işçilerin depo içi dolaşım sürelerinin azaltılarak depo süreçlerinin otomasyonunun sağlanması depolamada verimliliği artırıcı unsurlar arasında gösterilmektedir [1].

Depolarda, sipariş toplama, taşıma, ürün yükleme, paletleme ve istifleme gibi farklı işlemler yürütülmektedir. İşlemlerin iyi

<sup>1</sup> Gazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Ankara - [busracerenaslan@gmail.com](mailto:busracerenaslan@gmail.com)

<sup>2</sup> Gazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Ankara - [bulut.sultan@outlook.com](mailto:bulut.sultan@outlook.com)

<sup>3</sup> Gazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Ankara - [oymezrabia@gmail.com](mailto:oymezrabia@gmail.com)

<sup>4</sup> Doç. Dr., Akademik Danışman: Gazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Ankara - [tkellegoz@gazi.edu.tr](mailto:tkellegoz@gazi.edu.tr)

analiz edilmesi durumunda, iyileştirme için analitik yöntemler kolayca önerilebilir. Süreç içerisinde herhangi bir aşamada yapılan küçük iyileştirmeler, genel verimlilik üzerinde kümülatif bir etki yaratarak daha etkili sonuçlar alınmasını sağlayacaktır.

Sarıcan tarafından, bir depolama alanı içerisinde ulaşım mesafesi, kullanım alanı, ürün talebi, son kullanım tarihi, depolama maliyeti ve bunlardan doğacak maliyetin minimize edilmesi gibi birden çok kriter ile en iyi alternatif konumun belirlenmesi üzerine çalışılmıştır. Ürün atama için ulaştırma zamanını veya maliyetini minimize eden matematiksel modelde Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) yöntemleri uygulanmış; optimal için Muppani ve Adil'in önerdiği model referans alınmıştır. Belirlenen ürünlere uzlaşık en iyi çözüm VIKOR yöntemi ile bulunmuştur [2].

Demircan, denim üretimi yapan bir firmanın depolama yönetim sistemi üzerine çalışmıştır. Ürün çeşitliliği sebebi ile stoğa çalışmaya da, depolama üzerine zorunlu olarak çalışması gerekmiştir. Taşıma ve enerji sarfiyatının önlenmesi için müşteri odaklı adresleme sistemi teklif etmiştir. Hacmi yüksek müşteriyi az enerji harcayan lokasyonlara atamış, benzerlik ilişkilerine göre müşteri kümeleri oluşturmuştur. Benzerlik katsayısı yüksek müşterileri aynı koridora atamıştır. Sevkiyatta esnekliği ise benzer ürün gruplarını alan müşterileri birlikte tutarak sağlamıştır. Böylece sevkiyat esnasında bir sorun yaşadığında, aynı ürüne sahip olan komşu müşteriden ikame edilebilecektir. Mevcut sistem ile önerilen sistem yerleşimi, farklı performans ölçütleri ile karşılaştırılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir [3].

Venkitasubramony ve Adil, yaptıkları çalışmada, ciro tabanlı depolama politikasını yatay ve dikey boyutlarda kullanan bir deponun yerleşim tasarımı sorunu ele alınmıştır. Toplama mesafesini minimize edecek model düzenlenerek, dikey hareket mesafesini de minimize edecek bir matematiksel model oluşturulmuştur. Depo boyutlarına ulaşmada stokların kademelendirilmesinin depolama alanı gereksinimi üzerindeki etkisi dikkate alınmıştır. Depo maliyetinin optimize edilmesinde, alan maliyetinin yanı sıra elleçleme maliyetini de içeren bir matematiksel model geliştirilmiş ve bir çözüm algoritması sunulmuştur. Dikey hareket için analitik model ve optimizasyon modeli gerçek hayattaki verilere uygulanarak, modelin, özellikle alan maliyetleri yüksek olduğunda, önemli operasyonel maliyet tasarrufu sağlayacağı sonucuna ulaşılmıştır [4].

Kır ve arkadaşları, yalın üretim felsefesi ile geleneksel üretim tipinden hücresele imalata geçiş yaparak, imalat işletmelerinin en önemli konusu olan siparişi zamanında yetiştirme konusuna çözüm getirmeye çalışmışlardır. Grup teknolojisi

tekniklerinden sıralı kümeleme (ROC) ve tek bağlantılı kümeleme (SLCP) kullanarak farklı imalat hücreleri oluşturup atöle tipine üretimden hücresele imalata geçiş yapılmıştır. Benzetim yöntemiyle farklı üretim sistemleri kıyaslanmış; sonuçlar çoklu karar verme yöntemi olan TOPSIS ile değerlendirilmiştir [5].

Yeniyayla, ürünlerin hangi depoya atanacağı problemi ile ilgilenmiş 89 parçayı 10 aile grubuna ayırmıştır. Hacim, alan, ağırlık, birlikte depolanabilme ve ihtiyaç miktarları dikkate alınarak yapılan sınıflandırmada, 20 depo kullanılarak tam sayılı matematiksel model kurulmuştur. Depolama zamanı, maliyeti, işgücü ve envanter işlemlerini azaltmak için yapılan çalışma sonucu, mümkün değişikliklerle test edilmiş, duyarlılık analizi yapılmıştır [6].

Kosif ve Ekmekçi, bir lojistik firmasının müşteri talebini karşılarken takip etmesi gereken rota üzerine çalışmış, uygun çözümleri çıkartarak maliyeti minimize etmeye çalışmıştır. Çalışmanın etkinliğini görmek için, eski ve yeni rotaları Clarke&Wright (CW) Sezgiseli ile karşılaştırmış ve iyileşmeyi bulmuşlardır [7].

Leung, Quintana ve Chen, tam zamanlı üretim yapan bir firmada grup teknolojileri kullanılarak parça ailelerini ve makine gruplarını tanımlamışlardır. Çalışan üretim hücrelerinin yerleşimini tasarlamak üzerine yapılan çalışmada yaklaşım; parçaların işleme ihtiyacını, talep hacmini ve makine kapasitesini malzeme akış matrisine dönüştürmek ve boşluk doldurma matrisine eldeki verileri girerek alternatif bir yerleşim planı oluşturmaktır [8].

Sobhanallahi ve arkadaşları, grup teknolojileri ile makine hücresi oluşturma üzerine benzerlik katsayısı verilerinin işlenmesinden doğan avantajı göstermeye çalışmışlardır. Bunu yaparken hücre sayısını veya plakt ailesini sınırsız kabul etmişlerdir. Bir fonksiyonun benzerlik katsayısı dahil edilerek nasıl kurulduğunu göstermişlerdir [9].

Tüm bu bilgiler ışığında daha etkili bir depo yerleşimi elde etmek için yürütülen çalışmada kullanılmak üzere Tek Bağlantılı Kümeleme Yöntemi (SLCP), Karesel Atama, Clarke & Wright tasarruf algoritması yöntemleri belirlenmiştir. Tanımlanan problemin çözümü için uygulanan adımlar belirtilmiş ve çözüm yöntemleri ele alınmıştır. Belirtilen yöntemler doğrultusunda bir çalışma ortaya konmuş, son aşamada ise çalışmanın sağladığı iyileştirmeyi görmek amacıyla mevcut ve yeni düzen arasında karşılaştırma yapılmıştır.

## 2. PROBLEMİN TANIMI

ATAK detay montaj deposunda kullanılan AS-RS robot sistemi, asansörlü sistem, mezanin raf sistemi ve kuleler içerisinde insan gücünün en yoğun olarak ihtiyaç duyulduğu raf

sistemi mezanin raf sistemidir. Bu nedenle yapılan çalışmalar, mezanin raf sistemindeki malzemeler toplanırken kat edilen mesafeyi kısaltmak ve dolayısıyla harcanan süreyi azaltmak üzerinedir.

Bu depoda bulunan üç katlı mezanin raf sisteminde Atak, Sikorsky Genel Maksat (GMH), Gökbey ve Bahreyn projelerine ait helikopterlerin montajında kullanılan malzemeler ait oldukları projelere ve projelerin çalışma yoğunluğuna göre katlara dağıtılmıştır. Atak malzemeleri birinci, GMH malzemeleri ikinci ve Gökbey ile Bahreyn malzemeleri üçüncü katta bulunan iki metre uzunluğundaki hücre adı verdiğimiz bölmelere yerleştirilmiştir.

Bu projelerin montaj işlemlerinde kullanılacak parçalar için operasyon listeleri oluşturulmaktadır. Operasyon listesindeki parçalar için etiket basılmakta ve üzerinde yer alan bilgilere göre raflardan toplanmaktadır. Gelen etiketlerin öncelikle kullanılacakları projelere göre gruplandırılarak hangi kattan toplanacakları belirlenir, daha sonra malzemelerin bulunduğu katlardan toplama işlemini kolaylaştırabilmek için etiketlerdeki yer bilgisi ve bu yerlerin birbirlerine yakınlıklarına göre etiketler gruplanır. Her hücrenin bir numarası ve hücrelerde bulunan her çekmece ve avadanlığın bir kodu vardır.

Her kat içerisinde bulunan malzemelerin hücrelere yerleşimi fonksiyonel özelliklerinin benzerliğine göre yapılmıştır. Etiketlerde birlikte istenilen malzemeler özellikle birbirlerine yakın olarak konumlandırılmadığı için malzeme toplarken raflar arası dolaşımın fazla olması ve koridorlar arası geçiş yapılacak bağlantı koridoru sayısının az olması sebebiyle talep edilen parçaların toplanma süresi ve kat edilen mesafe uzayabilmektedir. Bu durum operasyon bazlı yerleşimin önemini artırmaktadır.

Yapılan bu çalışmalarla operasyon listelerinde birlikte istenen parçaların birbirine, en çok istenen parçaların ise paketleme/etiketleme alanına ve dolayısıyla montaj alanına en yakın olacak şekilde yerleştirilmesinin mesafe ve süreyi kısaltması amaçlanmaktadır.

Bahsi geçen yerleşimi yapabilmek için birlikte istenen parçaları birbirine yakın ve yüksek frekansta istenen parça gruplarını etiketleme alanına yakın yerleştirme stratejisi izlenecektir.

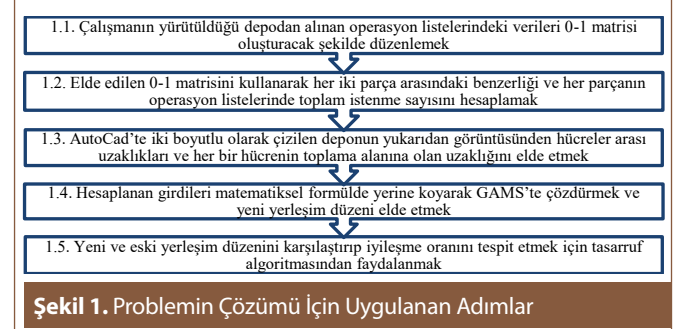
### 3. KULLANILAN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Tanımlanan problemin çözümü için uygulanan adımlar Şekil 1'de gösterilmiştir.

#### 3.1 Tek Bağlantılı Kümeleme Yöntemi (SLCP)

Tek bağlantılı kümeleme yönteminde gruplama, her bir makine çifti için hesaplanan benzerlik katsayılarını kullanan

hiyerarşik bir yapı içerisinde yapılmaktadır. Benzerlik katsayısı her makine çifti için, her bir makineyi ayrı ayrı ve her iki makineyi birden ziyaret eden parça sayısı bakımından söz konusu iki makinenin ne kadar benzer olduğunu belirlemek amacıyla hesaplanmaktadır. İki makine arasındaki benzerlik katsayısı aşağıdaki denklem ile hesaplanır [5]:



Şekil 1. Problemin Çözümü İçin Uygulanan Adımlar

$$S_{XY} = \frac{a}{b + c - a}$$

- $S_{XY}$  : X ve Y makineleri arasındaki benzerlik katsayısı  
a : X ve Y makinelerinin her ikisinde birden işlem gören parça sayısı  
b : Yalnızca X makinesinde işlem gören parça sayısı  
c : Yalnızca Y makinesinde işlem gören parça sayısı

Bu denklem operasyon-parça ilişkisine uyarlandığında;

- $S_{XY}$  : X ve Y parçaları arasındaki benzerlik katsayısı  
a : X ve Y parçalarının birlikte istendiği operasyon listesi sayısı  
b : Yalnızca X parçasının istendiği operasyon listesi sayısı  
c : Yalnızca Y parçasının istendiği operasyon listesi sayısı haline gelmektedir.

Tablo 1'de verilen örnek parçalar arası benzerlik katsayıları listesinin 2. satırında B54 ve B57 parçaları için yazdırılmış veriler mevcuttur. Buna göre 3. kolonda B54 parçasının toplamda kaç operasyonda istendiği saydırılıp yazdırılmış, aynı şekilde 4. kolonda da B57 parçasının toplamda kaç operasyonda istendiği yazdırılmıştır. "Kombinasyon" dediğimiz 5. kolon ise B54 ve B57 parçalarının ortak olarak kaç operasyonda istendiği bilgisini veriyor. Ortak olarak istendikleri operasyon olmadığı için formüle göre benzerlikleri 0 olarak hesaplanmıştır.

Daha sonra benzerlik katsayıları değerleri matris formatında düzenlenerek Tablo 2'de verilmiştir.. Ayrıca amaç fonksiyonunda kullanılması planlanan parça akışları elde edilmiştir.

**Tablo 1.** Parçalar Arası Benzerlik Katsayıları Listesi

		Parça1 Operasyon Sayısı	Parça2 Operasyon Sayısı	Kombinasyon	Benzerlik
B54	B57	12	8	0	0
B54	B58	12	1	1	0,083333
B54	B60	12	6	2	0,125
B54	B78	12	2	0	0
B54	B92	12	7	1	0,055556
B54	B93	12	6	1	0,058824
B54	B101	12	19	1	0,033333
B54	B102	12	29	2	0,051282
B54	B196	12	5	0	0
B54	B198	12	2	0	0
B54	B199	12	9	4	0,235294
B54	B200	12	3	2	0,153846
B54	B258	12	1	0	0
B54	B259	12	1	0	0
B54	B266	12	3	2	0,153846
B54	B271	12	1	0	0
B54	B272	12	7	0	0
B54	B273	12	6	2	0,125
B54	B279	12	1	0	0
B54	B301	12	3	1	0,071429
B54	B302	12	30	11	0,354839
B54	B352	12	9	1	0,05
B54	B370	12	2	1	0,076923
B54	B373	12	11	0	0
B54	B402	12	2	0	0
B54	B407	12	2	0	0
B54	B417	12	21	2	0,064516
B54	B418	12	1	0	0
B54	B429	12	9	0	0
B54	B430	12	1	1	0,083333
B54	B433	12	2	0	0
B54	B451	12	3	0	0
B54	B452	12	8	1	0,052632



**Tablo 2.** Örnek Parçalar Arası Benzerlik Katsayıları Matrisi

	B54	B57	B58	B60	B78	B92	B93	B101	B102	B196	B198
B54	1	0	0,08333	0,125	0	0,05555	0,05882	0,03333	0,05128	0	0
B57	0	1	0	0	0	0	0	0,03846	0,05714	0	0
B58	0,08333	0	1	0,16666	0	0	0	0	0	0	0
B60	0,125	0	0,16666	1	0	0	0	0	0	0	0,14285
B78	0	0	0	0	1	0	0,14285	0,10526	0	0,16666	0
B92	0,05555	0	0	0	0	1	0,08333	0,13043	0,16129	0	0
B93	0,05882	0	0	0	0,14285	0,08333	1	0,04166	0,09375	0,1	0
B101	0,03333	0,03846	0	0	0,10526	0,13043	0,04166	1	0,17073	0,04347	0
B102	0,05128	0,05714	0	0	0	0,16129	0,09375	0,17073	1	0	0
B196	0	0	0	0	0,16666	0	0,1	0,04347	0	1	0
B198	0	0	0	0,14285	0	0	0	0	0	0	1

**Tablo 3.** Örnek Parça Akışları Listesi

Parça No	Parça Akışı
B54	12
B57	8
B58	1
B60	6
B78	2
B92	7
B93	6
B101	19
B102	29
B196	5
B198	2

Tablo 3'te görülen parça akışı bir parçanın toplamda kaç operasyonda geçtiği yani istenme sıklığıdır.

Şekil 2'de görülen depo çizimi gerçek ölçülere uygunluk göstermektedir. Bu çizim üzerinden hücreler arası uzaklıklar ve hücrelerin toplama alanına olan uzaklıkları hesaplanmış Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Örnek Hücrelerin Kapıya (Toplama Alanına) Olan Uzaklıkları Listesi

Hücre No	Masaya uzaklık (m)	17	7
1	6	18	9
2	8	19	11
3	10	20	14
4	12	21	16
5	14	22	3
6	17	23	5
7	19	24	7
8	5	25	9
9	7	26	11
10	9	27	14
11	11	28	16
12	13	29	3
13	16	30	5
14	18	31	7
15	3	32	9
16	5	33	11
		34	14
		35	16

Tablo 5. Hücreler Arası Uzaklık Matrisi

Hücre No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0	2	4	6	8	11	13	0	2	4	6	8	11	13	4	6	8	10	12	13	15
2	2	0	2	4	6	9	11	2	0	2	4	6	9	11	6	8	10	12	10	11	13
3	4	2	0	2	4	7	9	4	2	0	2	4	7	9	8	10	12	10	8	11	13
4	6	4	2	0	2	5	7	6	4	2	0	2	5	7	10	12	10	8	6	7	9
5	8	6	4	2	0	3	5	8	6	4	2	0	3	5	12	10	8	6	4	5	7
6	11	9	7	5	3	0	2	11	9	7	5	3	0	2	13	11	9	7	5	4	6
7	13	11	9	7	5	2	0	13	11	9	7	5	2	0	15	13	11	9	7	6	8
8	0	2	4	6	8	11	13	0	2	4	6	8	11	13	4	6	8	10	12	13	15
9	2	0	2	4	6	9	11	2	0	2	4	6	9	11	6	8	10	12	10	11	13
10	4	2	0	2	4	7	9	4	2	0	2	4	7	9	8	10	12	10	8	9	11
11	6	4	2	0	2	5	7	6	4	2	0	2	5	7	10	12	10	8	6	7	9
12	8	6	4	2	0	3	5	8	6	4	2	0	3	5	12	10	8	6	4	5	7
13	11	9	7	5	3	0	2	11	9	7	5	3	0	2	13	11	9	7	5	6	8
14	13	11	9	7	5	2	0	13	11	9	7	5	2	0	15	13	11	9	7	8	10
15	4	6	8	10	12	13	15	4	6	8	10	12	13	15	0	2	4	6	8	11	13
16	6	8	10	12	10	11	13	6	8	10	12	10	11	13	2	0	2	4	6	9	11
17	8	10	12	10	8	9	11	8	10	12	10	8	9	11	4	2	0	2	4	7	9
18	10	12	10	8	6	7	9	10	12	10	8	6	7	9	6	4	2	0	2	5	7
19	12	10	8	6	4	5	7	12	10	8	6	4	5	7	8	6	4	2	0	3	5
20	13	11	11	7	5	4	6	13	11	9	7	5	6	8	11	9	7	5	3	0	2
21	15	13	13	9	7	6	8	15	13	11	9	7	8	10	13	11	9	7	5	2	0

### 3.2 Karesel Atama Modeli

Matematiksel model için gerekli olan girdiler böylece elde edilmiş olmaktadır. Kullanılacak olan matematiksel model için Karesel atama matematiksel modeli temel alınmıştır. Karesel Atama Problemleri (KAP) NP-Zor problem sınıfına giren en zor problemlerden biridir. Karesel atama problemlerinde lokasyon ve tesisler bulunmaktadır. Problem, her bir tesisin bir lokasyona ve her lokasyonun bir tesise atanması üzerine kurulmaktadır. Lokasyonlar arasında mesafe matrisleri ve tesisler arasında akış matrisleri bulunmaktadır. Amaç maliyetin enküçüklenmesidir [10].

Karesel atama problemimize ilişkin çalışmamızı yürüttüğümüz depoya uyarlanmış matematiksel model aşağıdaki gibidir:

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K \sum_{f=1}^N \sum_{p=1}^K B_{if} \cdot \max(a_i, a_f) \cdot U_{jp} \cdot X_{ij} \cdot X_{fp} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K a_i \cdot u_j \cdot x_{ij}$$

**Kısıtlar:**

$$\sum_{i=1}^N X_{ij} \cdot m_i \leq M_j \quad \text{Kapasite kısıtı}$$

$$\sum_{j,k_j \in R_i} X_{ij} = 1 \quad \text{Her parçanın yalnız 1 hücreye atanmasını sağlar}$$

#### R={1, 2, 3} depolama birim tipleri

$r_i \in R$   $i$  parçasının atanabileceği depolama birim tipi

$k_j \in R$   $j$  depolama biriminin tipi

1, 2, ve 3 olarak kodlanmış üç tip depolama birimi vardır. Bunlar sırasıyla çekmece içeren, avadanlık içeren ve ikisini de içermeyen boş hücrelerdir. Çekmece içeren hücrelerin kapasitesi 108 birim, avadanlık içeren hücrelerin kapasitesi 72 birim ve boş hücrelerin kapasitesi ise 30 birimdir.

**Parametreler:**

$U_{jp}$  :  $j$  ve  $p$  hücreleri arasındaki mesafe

- $X_{fp}$  :  $f$  parçasının  $p$  hücresine atanması  
 $m_i$  :  $i$  parçasının hacmi  
 $B_{if}$  :  $i$  ve  $f$  parçaları arasındaki benzerlik  
 $X_{ij}$  :  $i$  parçasının  $j$  hücresine atanması  
 $M_j$  :  $j$  hücresinin kapasitesi  
 $a_i$  :  $i$  parçasının akış miktarı  
 $U_j$  :  $j$  hücresinin masaya uzaklığı  
 $k_j$  :  $j$  hücresinin depolama tipi  
 $r_i$  :  $i$  parçasının depolama tipi

Bu matematiksel model, GAMS programı üzerinde kodlanmış ve yeni yerleşim düzeni için parçaların atanacağı hücreler elde edilmiştir.

Firmadan alınan operasyon listesi verileri ve dolayısıyla yerleşimi yapılan parçalar üretimde olan projelerden yalnızca bir tanesine aittir. Bu parçalar Şekil 2'de görülen depo çizimine göre ilk 73 hücreye yerleştirilmiş bulunmaktadır. Ancak bu 73 hücre içerisinde başka projelere ait parçalar da bulunmaktadır. Yeniden yerleşimi yapılan parçalar deponun yalnızca bir kısmını dolduracağından ve matematiksel model parçaları toplama alanına yakın hücreden başlayarak atayacağından yerleşim için deponun toplama alanına yakın olan bir kısmı ele alınmıştır (Şekil 3). Bu kısımda 35 hücre bulunmaktadır ve masanın yanında bulunan ilk 2 hücreye parça yerleştirilmediği için bu hücreler numaralandırılmamıştır.

### 3.3 Clarke & Wright Tasarruf Algoritması

Tasarruf algoritması her bir adımda turlar setinin daha iyi bir set elde etmek üzere değiştirilmesine dayanmaktadır. Yöntemde başlangıç olarak her bir araç için ayrı bir rota oluşturulmakta yani her bir talep noktasına ayrı bir araç ile hizmet verilmektedir. Sonra oluşabilecek en büyük tasarrufa ve uygunluk şartlarına göre iki rota birleştirilmektedir. Burada ifade edilen tasarruflar  $i$  ve  $j$  düğümlerine iki ayrı araç yerine bir tek araç ile hizmet verilmesi durumunda elde edilecek maliyet azalmasıdır. Bütün araçların yola çıkıp geri döneceği basit bir depo bulunmaktadır. Müşteri talepleri ve konumları bilinmektedir. Deponun konumu 0 ve müşteri konumları

$1,2,3,..n$  olarak tanımlanmaktadır. Depodan, her müşteri konumuna gitmenin maliyeti şu şekilde kabul edilir [7].

$$S(i,j)=C(0,i)+C(0,j)-C(i,j)$$

Algoritmada araç olarak tanımlanan varlıklar, bizim uygulamamızda sipariş toplayan kişileri, müşteri ise hücreleri temsil etmektedir.

#### Parametreler:

- $S(i,j)$  :  $i$  ve  $j$  çiftleri için tasarruf değerleri  
 $C(i,j)$  :  $i$  hücresi ile  $j$  hücresi arasındaki mesafe  
 $C(0,i)$  : Başlangıçtan  $i$  noktasına giderken alınan yol  
 $C(0,j)$  : Başlangıçtan  $j$  noktasına giderken alınan yol

#### Algoritma adımları:

**Adım 1:** Öncelikle  $i \neq j$  olan tüm  $(i, j)$  çiftleri için tasarruf değerleri  $(s(i,j))$  hesaplanmıştır.

**Adım 2:** Hesaplanan tasarruf değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır.

**Adım 3:** CW sezgiseli uygulaması için en büyük tasarruf değeri dikkate alınarak işleme başlanmıştır.

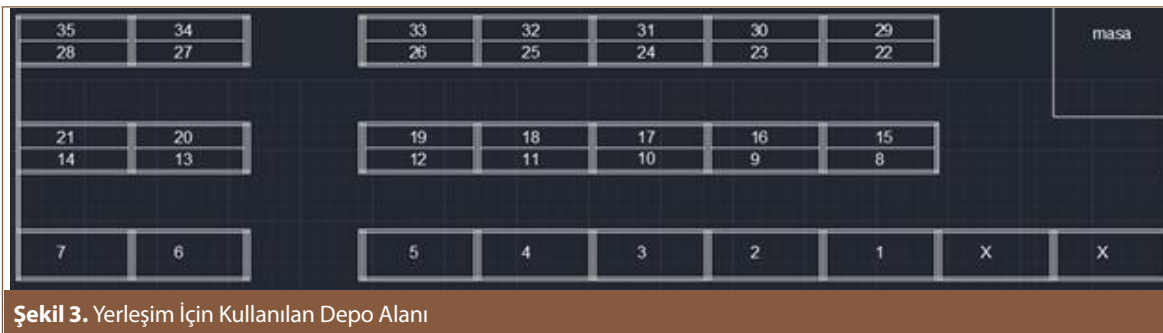
**Adım 4:** Sırasıyla tüm rota çiftleri irdelenerek, işlemlere devam edilmiştir.

## 4. ULAŞILAN SONUÇLAR

GAMS kodunun çalıştırılması sonucu parçanın 35 hücreden hangisine atandığı bilgisini veren bir çıktı alınmıştır (Şekil 4). 1386 parçanın her biri için 35 satırlık olan bu çıktı listesi elde edilmiştir.

Parçanın atandığı hücrede değişken 1 değerini almaktadır. Değişkenin yalnızca 1 değerini aldığı ayrı bir sonuç dosyası yazdırılarak her parçanın atandığı hücre listesi Şekil 5'te gösterilmiştir.

Bu listenin bir kısmı Tablo 6'da verilmiştir. Örneğin B54 kodlu 1. parça 22 numaralı hücreye atanmıştır.



Şekil 3. Yerleşim İçin Kullanılan Depo Alanı

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1	.1	.	1.000	72.000
1	.2	.	1.000	96.000
1	.3	.	1.000	120.000
1	.4	.	1.000	144.000
1	.5	.	1.000	168.000
1	.6	.	1.000	204.000
1	.7	.	1.000	228.000
1	.8	.	1.000	60.000
1	.9	.	1.000	84.000
1	.10	.	1.000	108.000
1	.11	.	1.000	132.000
1	.12	.	1.000	156.000
1	.13	.	1.000	192.000
1	.14	.	1.000	216.000
1	.15	.	1.000	36.000
1	.16	.	1.000	60.000
1	.17	.	1.000	84.000
1	.18	.	1.000	108.000
1	.19	.	1.000	132.000
1	.20	.	1.000	168.000
1	.21	.	1.000	192.000
1	.22	1.000	1.000	36.000
1	.23	.	1.000	60.000
1	.24	.	1.000	84.000
1	.25	.	1.000	108.000
1	.26	.	1.000	132.000
1	.27	.	1.000	168.000
1	.28	.	1.000	192.000
1	.29	.	1.000	36.000
1	.30	.	1.000	60.000
1	.31	.	1.000	84.000
1	.32	.	1.000	108.000
1	.33	.	1.000	132.000
1	.34	.	1.000	168.000
1	.35	.	1.000	192.000

Şekil 4. 1 Numaralı Parça için Elde Edilen GAMS Çıktısı

```

C:\Users\ASLAN\Documents\gamsdir\projdir\deneme.gms
07/23/20
14:24:39
*****
z= 20585.00
*****
x(i,j)
22
22
31
34
1
22
34
29
29
34
23
22
34
28
28
34
28
29
29
28
29
34
29
1

```

Şekil 5. Yazdırılan Sonuç Dosyasının Örneği

## 5. YAPILAN İYİLEŞTİRME VE SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Bölüm 4'te bahsedilen problem çözümü aşamalarının sonucunu olan karşılaştırma adımı için Clarke&Wright Tasarruf

Tablo 6. 50 Parçalık GAMS Çıktısı Listesi

Parça No	Parça Kodu	Hücre No	26	B402	1
1	B54	22	27	B407	23
2	B57	22	28	B417	29
3	B58	31	29	B418	31
4	B60	34	30	B429	22
5	B78	1	31	B430	31
6	B92	22	32	B433	1
7	B93	34	33	B451	29
8	B101	29	34	B452	29
9	B102	29	35	B454	16
10	B196	34	36	B456	28
11	B198	23	37	B457	7
12	B199	22	38	B477	14
13	B200	34	39	B478	1
14	B258	28	40	B505	23
15	B259	28	41	B514	34
16	B266	34	42	B517	31
17	B271	28	43	B522	16
18	B272	29	44	B546	28
19	B273	29	45	B554	7
20	B279	28	46	B559	35
21	B301	29	47	B561	22
22	B302	34	48	B563	34
23	B352	29	49	B565	21
24	B370	1	50	B577	34
25	B373	22			

Algoritması ile oluşturulan rotalar üzerinden mevcut ve yeni yerleşim düzeninin karşılaştırması yapılmıştır. Karşılaştırmada esas alınan yeni düzen GAMS'tan elde edilen çıktıya göre oluşturulmuştur.

Yapılan karşılaştırmanın daha tutarlı sonuç vermesi için öncelikle mevcut depo düzeninde ilk 73 hücrede yer alan parçalar, toplama alanına olan mesafeleri yaklaşık olarak  $\frac{1}{2}$  oranında azaltılarak ilk 35 hücre içerisine çekilmiştir. Tablo 7'de T11031 kodlu operasyon listesinde istenen parçaların buldukları hücre numaraları ve bu hücrelerin birbirlerine ve masaya yani toplama alanına olan uzaklıkları matris halinde verilmiştir. CW sezgiselinin ilk adımına göre  $i \neq j$  olan tüm  $(i, j)$  çiftleri için tasarruf değerleri  $(S_{ij})$  hesaplanmıştır (Tablo 8). İkinci adımda ise hesaplanan tasarruf değerleri büyükten küçüğe sıralanmıştır (Tablo 9).



**Tablo 7.** T11031 Operasyon Listesi için Mevcut Depo Yerleşimine Göre Uzaklık Matrisi Tablo 9: Sıralanmış Tasarruf Değerleri

T11031		Masa	16	21	22	23	24	25	29	30	32
Hücre	no	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Masa	0	0	5	17	3	5	7	9	3	5	9
16	1	5	0	12	2	0	2	4	6	8	12
21	2	17	12	0	14	12	10	8	16	14	10
22	3	3	2	14	0	10	8	6	3	5	9
23	4	5	0	12	10	0	8	4	5	7	11
24	5	7	2	10	8	8	0	2	7	9	13
25	6	9	4	8	6	4	2	0	9	11	15
29	7	3	6	16	3	5	7	9	0	2	6
30	8	5	8	14	5	7	9	11	2	0	2
32	9	9	12	10	9	11	13	15	6	2	0

**Tablo 8.** Hesaplanan Tasarruf Değerleri

(i,j) Çiftleri	Tasarruf Değerleri	S (3,6)	6
S (1,2)	10	S (3,7)	3
S (1,3)	6	S (3,8)	3
S (1,4)	10	S (3,9)	3
S (1,5)	10	S (4,5)	4
S (1,6)	10	S (4,6)	10
S (1,7)	2	S (4,7)	3
S (1,8)	2	S (4,8)	3
S (1,9)	2	S (4,9)	3
S (2,3)	6	S (5,6)	14
S (2,4)	10	S (5,7)	3
S (2,5)	14	S (5,8)	3
S (2,6)	18	S (5,9)	3
S (2,7)	4	S (6,7)	3
S (2,8)	8	S (6,8)	3
S (2,9)	16	S (6,9)	3
S (3,4)	-2	S (7,8)	6
S (3,5)	2	S (7,9)	6
		S (8,9)	12

**Tablo 9.** Sıralanmış Tasarruf Değerleri

Sıralı (i,j) Çiftleri	Sıralı Tasarruf Değerleri	S (2,7)	4
S (2,6)	18	S (4,5)	4
S (2,9)	16	S (3,7)	3
S (2,5)	14	S (3,8)	3
S (5,6)	14	S (3,9)	3
S (8,9)	12	S (4,7)	3
S (1,2)	10	S (4,8)	3
S (1,4)	10	S (4,9)	3
S (1,5)	10	S (5,7)	3
S (1,6)	10	S (5,8)	3
S (2,4)	10	S (5,9)	3
S (4,6)	10	S (6,7)	3
S (2,8)	8	S (6,8)	3
S (1,3)	6	S (6,9)	3
S (2,3)	6	S (1,7)	2
S (3,6)	6	S (1,8)	2
S (7,8)	6	S (1,9)	2
S (7,9)	6	S (3,5)	2
		S (3,4)	-2

**Tablo 10.** T11031 Operasyon Listesi için Yeni Depo Yerleşimine Göre Uzaklık Matrisi

YENİ MESAFE MATRİSİ							
T11031		Masa	22	27	29	31	34
hücre	no	0	1	2	3	4	5
Masa	0	0	3	14	3	11	14
22	1	3	0	11	4	8	13
27	2	14	11	0	13	9	4
29	3	3	4	13	0	4	11
31	4	11	8	9	4	0	7
34	5	14	13	4	11	7	0

Araç kapasite kısıtının olmadığı varsayımı altında sırasıyla bütün çiftler irdelenerek bir rota oluşturulmuştur. Buna göre mevcut düzendeki sipariş toplama rotası: masa, 22, 29, 30, 32, 21, 25, 24, 16, 23, masa şeklindedir. Bu rotada kat edilen toplam mesafe 37 metredir.

Aynı işlemler yeni depo yerleşim düzeni için de tekrarlanmıştır.

Tablo 10'daki uzaklıklara göre tasarruf değerleri hesaplanmıştır (Tablo 11) ve büyükten küçüğe sıralanmıştır (Tablo 12).

Yeni düzendeki sipariş toplama rotası masa, 22, 27, 34, 31, 29, masa şeklindedir. Bu rota için kat edilen toplam mesafe ise 32 metredir.

**Tablo 11.** Yeni Yerleşim Düzenine Göre Hesaplanan Tasarruf Değerleri

(i,j) Çiftleri	Tasarruf Değerleri
S 1,2	6
S 1,3	2
S 1,4	6
S 1,5	4
S 2,3	4
S 2,4	16
S 2,5	24
S 3,4	10
S 3,5	6
S 4,5	18

**Tablo 12.** Yeni Yerleşim Düzenine Göre Sıralı Tasarruf Değerleri

Sıralı (i,j) Çiftleri	Tasarruf Değerleri
S 2,5	24
S 4,5	18
S 2,4	16
S 3,4	10
S 1,2	6
S 1,4	6
S 3,5	6
S 1,5	4
S 2,3	4
S 1,3	2

Bu operasyon listesi için sağlanan iyileşme oranı %13,5'tur. Seçilen belirli sayıda operasyon listesi üzerinde bu işlemler uygulandığında ortalama olarak %12 oranında bir iyileşme sağlandığı görülmüştür.

## 6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Depolama faaliyetlerinin etkin bir şekilde yürütülebilmesi ve hammadde, yarı mamül ve parça tedariği sirkülasyonunun akıcı bir şekilde sağlanması için yerleşim şekli ve sipariş toplama büyük önem arz etmektedir. Bugüne kadar birçok depo yerleşimi ve sipariş toplama stratejisi geliştirilmiştir fakat bunun yanında firmanın koşullarına özgü çözümler üretilmesi gerekliliği de kaçınılmazdır. Bu nedenle firmaya ait verileri işlemek, anlamlı sonuçlar çıkarmak ve bu sonuçlardan yola çıkarak depo yönetimini gerçekleştirmek firmaya önemli katkılar sağlayacaktır.

Çalışmanın uygulama kısmında, TUSAŞ Atak Montaj deposunda bulunan raf sistemi koşulları dikkate alınarak ve aynı kurumdan elde edilen gerçek verilerle, sipariş toplama sürecinin minimize edilmesi amacıyla yeni depo yerleşimi probleminin çözümüne odaklanılmıştır.

Amaca yönelik olarak öncelikle Tek Bağlantılı Kümeleme Yöntemine (SLCP) göre parça benzerlik oranları bulunmuş, Karesel Atama matematiksel modeline göre parça ataması gerçekleştirilmiş ve yeni depo yerleşimi elde edilmiştir. Aynı operasyon listeleri için, mevcut ve yeni yerleşimdeki sipariş toplama sürelerinin karşılaştırılması için Clarke ve Wright sezgisel temel alınmıştır. Bu sezgisel göre mevcut ve yeni yerleşim düzeni için sipariş toplama rotaları belirlenmiş ve elde edilen rota uzunluklarının karşılaştırması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yeni depo yerleşiminin verimliliği değerlendirilmiştir.

## TEŞEKKÜR

Çalışmamız süresince bizden destek ve yardımlarını esirgemeyen akademik danışmanımız Doç. Dr. Talip KELLEĞÖZ'e, ayrıca gösterdikleri ilgi ve samimiyet ile bize güzel bir çalışma ortamı sunan sanayi danışmanlarımız Sayın Tulga GÖKSUN ve Duygu GÖÇÜK'e ve tüm depo çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

## KAYNAKÇA

1. Tuna, T. 2014. "Depo Planlaması ve Ürünlerin Depolama Atanması Probleminin Sezgisel Algoritmalar ile Çözümü.",

Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

2. **Sarıcan, B.** 2019. "Depolama alanı ürün atama problemi için en iyi alternatif konumun çok kriterli karar verme yöntemleri ile belirlenmesi"; Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Konya
3. **Demircan, Ö.** 2018. "Depo Raf Yerleşim Problemi Ve Kümeleme Temelli Bir Yaklaşım."; Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kayseri
4. **Venkatasubramony, R., ve G. K Adil.** 2017. "Design of an order-picking warehouse factoring vertical travel and space sharing." International Journal Adv Manuf Technol, sayı 91, s 1921-1934.
5. **Kır, S., Yazgan, H.R., Erolan, Erbaş, B.G., Altunbaş, B.** 2015. "Kümeleme yöntemi ile oluşturulan imalat hücrelerinin performanslarının benzetim ve topsis ile değerlendirilmesi." Sakarya Üniversitesi Fen Bil Dergisi, s 267-282.
6. **Yeniyayla, T.** 2014. "Malzeme Atama Yöntemleri ve Çoklu Depoya Sınıflandırılmış Aile Grubu Malzeme Atama Modeli."; Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kırıkkale
7. **Kosif, B., Ekmekçi, İ.** 2012. "Araç Rotalama Sistemleri ve Tasarruf Algoritması Uygulaması." İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, cilt 11, sayı 21, s 41-51
8. **Leung, Mark T., Quintana R., AnChen, A.S.** 2008. "A Paradigm for Group Technology Cellular Layout Planning in JIT Facility." IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, s 1174-1178.
9. **Sobhanallahi, Jahanshahloo, G.R., Amin, G.R., Shayan, E.** 2002. "Threshold value for the number of cells in group technology." Computers and Industrial Engineering, volume 42, s 2-4
10. **Yener, F., Yazgan, H.R.** 2019. "Optimal Warehouse Design: Literature Review and Case Study Application." Computers & Industrial Engineering, cilt 129, sayı Mart, s 1-13