



**COGRAFI OLARAK DAĞITIK SİSTEMLERİN  
BAKIM PLANLAMASI: İSKİ TERFİ MERKEZLERİ  
UYGULAMASI**

**Merve ÇELİK**

**2021  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Fuat ŞİMŞİR  
Doç. Dr. Özer UYGUN**

**COGRAFI OLARAK DAĞITIK SİSTEMLERİN BAKIM PLANLAMASI:  
İSKİ TERFİ MERKEZLERİ UYGULAMASI**

**Merve ÇELİK**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Fuat ŞİMŞİR  
Doç. Dr. Özer UYGUN**

**KARABÜK  
Mayıs 2021**

Merve ÇELİK tarafından hazırlanan “COGRAFI OLARAK DAĞITIK SİSTEMLERİN BAKIM PLANLAMASI: İSKİ TERFİ MERKEZLERİ UYGULAMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Fuat ŞİMŞİR .....

Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç. Dr. Özer Uygun .....

Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 06/05/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Caner ERDEN ( SAÜ) .....

Üye : Doç. Dr. Muharrem DÜĞENCİ ( KBÜ) .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Selçuk ÖZCAN ( KBÜ) .....

Üye : Doç. Dr. Özer UYGUN ( SAÜ) .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fuat ŞİMŞİR ( KBÜ) .....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ .....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Merve ÇELİK

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **COGRAFI OLARAK DAĞITIK SİSTEMLERİN BAKIM PLANLAMASI: İSKİ TERFİ MERKEZLERİ UYGULAMASI**

**Merve ÇELİK**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Dr. Öğr. Üyesi Fuat ŞİMŞİR**

**Doç. Dr. Özer UYGUN**

**Mayıs 2021, 87 sayfa**

Bakım planlama hayatımızın birçok alanında sürdürülebilirliği sağlamak adına önemli yer kaplamaktadır. Gerek üretim gerek hizmet sektöründe akışın sürekli devam edebilmesi için en doğru bakım planlama sisteminin oluşturulması gerekir. Bakım planlama alanında günümüze kadar süregelen birçok çalışma vardır. Bakım planlama çalışmalarında problemi daha karmaşık hale getiren noktalardan biri; işin içine rotalamanın da dahil olduğu durumdur. Böyle durumlarda bakım yapılacak sistemler birbirinden farklı lokasyonlardadır, bakım planlama çizelgesine ek olarak doğru rotalama işlemini de gerçekleştirmemiz gerekir. Bu çalışma da entegre bakım planlama ve rotalama problemini ele almıştır. Çalışma uygulaması için birbirinden farklı lokasyonlarda bulunan İstanbul Su ve Kanalizasyon idaresine bağlı şehre temiz su pompalayan terfi merkezleri (pompa istasyonları) seçilmiştir.

Problemin çözümünde Python programı yardımı ile kodlanan Yapay Arı Kolonisi Algoritması kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bakım planlama, araç rotalama, terfi merkezleri, yapay arı kolonisi algoritması.

**Bilim Kodu :** 90610

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **MAINTENANCE PLANNING OF GEOGRAPHICAL DISTRIBUTED SYSTEMS: APPLICATION IN İSKİ PUMP STATIONS**

**Merve ÇELİK**

**Karabük University  
Institute of Graduate Programs  
Department of Industrial Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Dr. Öğr. Üyesi Fuat ŞİMŞİR**

**Doç. Dr. Özer UYGUN**

**May 2021, 87 pages**

Maintenance planning has an important place in many areas of our lives to ensure sustainability. In order for the flow to continue both in the production and service sectors, the most accurate maintenance planning system should be established. There are many studies in the field of maintenance planning. One of the points that make the problem more complicated in maintenance planning studies; It is the situation where routing is involved. In such cases, the systems to be maintained are in different locations, and we need to perform the correct routing process in addition to the maintenance planning schedule. This study also addressed the problem of integrated maintenance planning and routing. Pumping stations, which are located in different locations from each other, pump clean water to the city, affiliated with the Istanbul Water and Sewerage Administration, were selected for the study application.

Artificial Bee Colony Algorithm encoded with the help of Python program was used to solve the problem.

**Key Word** : Maintenance planning, vehicle routing, pumping stations, artificial bee colony algorithm.

**Science Code** : 90610



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Fuat ŞİMŞİR'e Doç. Dr. Özer UYGUN'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Tez çalıőmasının uygulama kısmı verilerinin sağlanmasında Sayın Fazlı Kuru ve Muhammet Raőit Uçar'a desteklerinden dolayı teőekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımını esirgemeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|  | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| KABUL.....   | iv           |
| ÖZET .....   | iv           |
| ABSTRACT .....   | vi           |
| TEŞEKKÜR .....   | viii         |
| İÇİNDEKİLER.....   | ix           |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....  | xii          |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                      | xiii         |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....                          | xiv          |
| <br>   |              |
| BÖLÜM 1 .....  | 1            |
| GİRİŞ .....  | 1            |
| ARAÇ ROTALAMA VE BAKIM PLANLAMA.....                         | 2            |
| 2.1. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ .....                            | 2            |
| 2.1.1. Araç Rotalama Probleminin Tanımı .....                | 2            |
| 2.1.2. Araç Rotalama Probleminin Çeşitleri .....             | 3            |
| 2.1.2.1. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi .....       | 3            |
| 2.1.2.2. Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi .....         | 4            |
| 2.1.2.3. Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi .....          | 4            |
| 2.1.2.4. Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi ..... | 5            |
| 2.1.2.5. Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi ..... | 5            |
| 2.1.2.6. Geri Toplamalı Araç Rotalama Problemi .....         | 6            |
| 2.1.2.7. Çok Depolu Araç Rotalama Problemi .....             | 6            |
| 2.1.2.8. Bölünmüş Talebe Sahip Araç Rotalama Problemi .....  | 6            |
| 2.1.2.9. Belirsiz Talebe Sahip Araç Rotalama Problemi .....  | 6            |
| 2.1.2.10. Periyodik Araç Rotalama Problemi .....             | 6            |
| 2.1.3. Araç Rotalama Problemi İçin Çözüm Yöntemleri.....     | 7            |
| 2.1.3.1. Kesin Çözüm Yöntemleri.....                         | 8            |
| 2.1.3.2. Sezgisel Çözüm Yöntemleri.....                      | 10           |
| 2.2. BAKIM YÖNETİMİ VE PLANLAMA.....                         | 16           |

## Sayfa

|  |    |
|--|----|
| 2.2.1. Bakım Kavramı .....   | 16 |
| 2.2.2. Bakımın Tarihsel Gelişimi.....  | 16 |
| 2.2.3. Bakım Stratejileri .....  | 18 |
| 2.2.3.1. Arızı Bakım .....   | 19 |
| 2.2.3.2. Önleyici Bakım.....   | 19 |
| 2.2.3.3. Periyodik Bakım .....   | 19 |
| 2.2.3.4. Kestirimci Bakım.....   | 20 |
| 2.2.3.5. Güvenilirlik Merkezli Bakım .....   | 20 |
| 2.2.3.6. Düzeltici Bakım.....  | 21 |
| 2.3. COGRAFI OLARAK DAĞITIK SİSTEMLERİN BAKIM PLANLAMASI<br>.....  | 22 |
| <br>   |    |
| BÖLÜM 3 .....  | 46 |
| YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI .....   | 46 |
| 3.1. YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI.....   | 47 |
| 3.2. TAGUCHI DENEY TASARIMI .....  | 51 |
| 3.2.1. Sistem Tasarımı .....   | 51 |
| 3.2.2. Parametre Tasarımı .....  | 52 |
| 3.2.3. Tolerans Tasarımı .....   | 52 |
| 3.2.4. Sinyal / Gürültü Oranı .....  | 52 |
| 3.2.5. Taguchi Metodu Akış Diyagramı .....   | 53 |
| 3.2.6. Taguchi Ortogonal Dizi Seçimi Tablosu .....   | 53 |
| <br>   |    |
| BÖLÜM 4 .....  | 55 |
| COGRAFI OLARAK DAĞITIK SİSTEMLERİN BAKIMI VE ROTALANMASI:<br>İSKİ TERFİ MERKEZLERİ (POMPA İSTASYONLARI) UYGULAMASI ..... | 55 |
| 4.1. İSTANBUL SU VE KANALİZASYON İDARESİ (İSKİ).....   | 55 |
| 4.1.1. Terfi Merkezleri (Pompa İstasyonları) .....   | 56 |
| 4.1.2. Terfi Merkezlerinin Bakımı .....  | 58 |
| 4.1.2.1. Bakım Personelleri ve Araç Bilgileri.....   | 58 |
| 4.1.2.2. Periyodik Bakım Kapsamında Yapılacak İş Listesi .....   | 59 |
| 4.1.2.3. Çalışmanın Kapsadığı Bölge .....  | 63 |

|   | <b><u>Sayfa</u></b> |
|---|---------------------|
| 4.1.2.4. Terfi Merkezleri Arası Mesafe .....                                      | 64                  |
| 4.2. PROBLEMİN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ VE VARSAYIMLARI<br>.....                 | 65                  |
| 4.3. PROBLEMİN TANIMI .....   | 65                  |
| 4.4. TERFİ MERKEZLERİNİN BAKIMLARININ ABC ALGORİTMASI İLE<br>ÇİZELGELENMESİ ..... | 69                  |
| 4.5. ABC ALGORİTMASININ PARAMETRE DEĞERLERİNİN<br>BELİRLENMESİ .....              | 72                  |
| <br>  |                     |
| BÖLÜM 5 .....   | 74                  |
| DENEYSEL BULGULAR .....   | 74                  |
| BÖLÜM 6 .....   | 77                  |
| SONUÇ VE ÖNERİLER .....   | 77                  |
| KAYNAKLAR.....  | 78                  |
| ÖZGEÇMİŞ.....   | 87                  |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

|  |    |
|--|----|
| Şekil 2.1. Araç rotalama problem çeşitleri.....  | 3  |
| Şekil 2.2. ARP için çözüm yöntemleri.....  | 7  |
| Şekil 2.3. Bakımın tarihsel gelişimi.....  | 16 |
| Şekil 2.4. Bakım stratejileri.....   | 18 |
| Şekil 2.5. Coğrafi olarak dağılmış sistemlerin bakım planlaması problem çeşitleri..... | 23 |
| Şekil 3.1. Taguchi metodu akış diyagramı .....   | 53 |
| Şekil 4.1. İstanbul Avrupa yakası terfi istasyonları .....                             | 56 |
| Şekil 4.2. Terfi istasyonu yakından görünüm 1 .....                                    | 57 |
| Şekil 4.3. Terfi istasyonu yakından görünüm 2.....                                     | 58 |
| Şekil 4.4. Avrupa I. bölge terfi istasyonları .....                                    | 62 |
| Şekil 4.5. Terfi merkezleri problem görseli .....                                      | 66 |
| Şekil 4.6. ABC algoritması akış şeması .....   | 71 |
| Şekil 4.7. Parametrelerin faktör seviye eğrileri.....                                  | 73 |
| Şekil 5.1. Algoritmadan elde edilen sonuçlar.....                                      | 74 |
| Şekil 5.2. ABC algoritması en iyi koşulun gelişim grafiği .....                        | 75 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

|  |    |
|--|----|
| Çizelge 2.1. Rüzgar turbinleri bakım planlama problemi literatür taraması.....                       | 26 |
| Çizelge 2.2. Demiryolu hattı bakım planlama problemi literatür taraması.....                         | 28 |
| Çizelge 2.3. Uçak bakım planlama problemi literatür taraması .....                                   | 30 |
| Çizelge 2.4. Yol bakım planlama problemi literatür taraması .....                                    | 33 |
| Çizelge 2.5. Elektrik dağıtım tesisi bakım planlama problemi literatür taraması .....                | 36 |
| Çizelge 2.6. Petrol kuyu kulesi bakım planlama problemi literatür taraması .....                     | 38 |
| Çizelge 2.7. Bakım teknisyeni planlama problemi literatür taraması .....                             | 41 |
| Çizelge 2.8. Coğrafi olarak dağıtık varlıkların bakım planlaması problemi<br>literatür taraması..... | 45 |
| Çizelge 3.1. Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu.....   | 54 |
| Çizelge 4.1. Periyodik bakım tablosu 1 .....   | 60 |
| Çizelge 4.2. Periyodik bakım tablosu 2 .....   | 60 |
| Çizelge 4.3. Periyodik bakım tablosu 3 .....   | 61 |
| Çizelge 4.4. Avrupa I. bölge terfi merkezleri ve mevcut pompa adetleri .....                         | 63 |
| Çizelge 4.5. Terfi istasyonları arası mesafe matrisi.....  | 64 |
| Çizelge 4.6. Parametreler ve faktör seviye eğrileri.....   | 72 |
| Çizelge 4.7. Deneylelerin parametreleri ve sonuçları .....   | 73 |
| Çizelge 5.1. Çalıştırma sonuçlarının analizi.....  | 73 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|         |   |
|---------|---|
| ARP     | : Araç Rotalama Problemi  |
| KKARP   | : Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi   |
| MKARP   | : Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi   |
| ZPARP   | : Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi  |
| EZPARP  | : Esnek Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi  |
| SZPARP  | : Sıkı Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi   |
| EZTDARP | : Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi   |
| ÇDARP   | : Çok Depolu Araç Rotalama Problemi   |
| PARP    | : Periyodik Araç Rotalama Problemi  |
| DP      | : Dinamik Programlama   |
| TA      | : Tabu Arama  |
| GA      | : Genetik Algoritma   |
| YSA     | : Yapay Sinir Ağları  |
| TPM     | : Toplam Üretken Bakım  |
| PSA     | : Parçacık Sürü Algoritması   |
| KKA     | : Karınca Koloni Algoritması  |
| ALNS    | : Adaptive Large Neighborhood Search (Uyarlanabilir Komşuluk Arama Algoritması )                    |
| HÇÇP    | : Hiyerarşik Çinli Postacı Problemi   |
| IEEE    | : Institute Of Electrical And Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü) |
| CBS     | : Cografî Bilgi Sistemi   |
| GMB     | : Güvenilirlik Merkezli Bakım   |
| PSO     | : Parçacık Sürü Optimizasyonu   |
| ABC     | : Yapay Arı Kolonisi  |
| ISKI    | : İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi   |

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Sürdürülebilirliği sağlamanın gitgide zorlaştığı günümüz dünya şartlarında işletmeler sürekli birbirleri ile rekabet ortamı içerisinde birçok zorlu durumla karşı karşıya kalmaktadırlar. Bu rekabet ortamında ayakta kalabilmeleri ve faaliyetlerine devam edebilmeleri için; hem üretim hem hizmet alanında yaşanan aksaklıklara, gereksiz, plansız duruşlara mahal vermemeleri, karşılaştıkları problemlere hızlı ve etkin bir şekilde çözüm bulabilmeleri, kayıpları minimize edebilmek için sürekli iyileştirme faaliyetlerine önem vermelidirler. Bunları yapabilmek için işletmeler ellerindeki sistemi, makine ve teçhizatı etkin bir şekilde kullanabilmelerine bağlıdır. Bakım planlama çalışmaları da bu konuda çok büyük önem arz eder. Bakım çalışmalarının bu hedefler doğrultusunda etkin ve planlı olarak yürütülmesi gerekmektedir. Bakım planlama faaliyetleri kendi içerisinde; arıza bakım, periyodik bakım, koruyucu bakım...vb. gibi dallara ayrılır. Bakım uygulanacak sistem veya teçhizat ile ilgili gerekli çalışmalar yapılarak en uygun bakım politikası belirlenmelidir. Bazı durumlarda bakım yapılacak sistemler farklı lokasyonlarda bulunabilir; bu sistemlere atmleri, hava ve deniz rüzgar türbinlerini, petrol kuyusu kulelerini örnek verebiliriz. Bu problem çeşidi genel olarak; Coğrafi Olarak Farklı Bölgelerde Bulunan Sistemlerin Bakım Planlaması olarak adlandırılır. Coğrafi olarak dağılmış sistemlerin bakım planlamasına ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Bu durum hizmet kalitesinin artırılarak maliyetlerin düşürülmesi ihtiyacını da beraberinde getirmektedir. Bu problem türünde temel amaç personel çizelgeleme ve araç rotalama içeren operasyonel planlamayı düşük maliyet ve yüksek hizmet kalitesi ile gerçekleştirmektir.

Bu çalışmada; Python yazılımı ile kodlanmış Yapay Arı Kolonisi Algoritması kullanılarak İSKİ bünyesinde bulunan Terfi Merkezleri üzerinde periyodik bakım çizelgeleme problemi ele alınmıştır.



## BÖLÜM 2

### ARAÇ ROTALAMA VE BAKIM PLANLAMA

#### 2.1. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Araç Rotalama Problemi bir veya daha fazla depodan müşterilere hizmet verecek araçların optimum rotasının belirlenmesini ele alan problem türüdür.

##### 2.1.1. Araç Rotalama Probleminin Tanımı

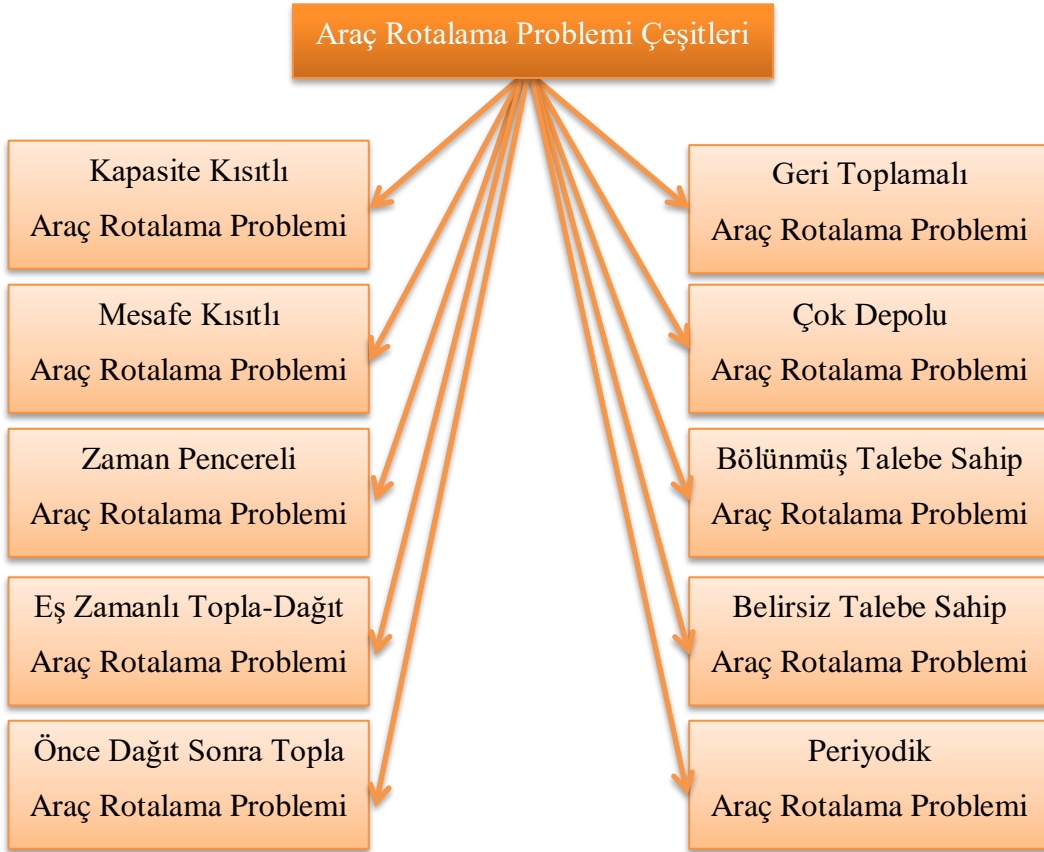
Araç Rotalama Problemi (ARP) ilk olarak 1959 yılında Dantzig ve Ramser tarafından çalışılmıştır. Daha sonra farklı durumlar için birçok ARP çeşidi ortaya çıkmış ve çözüm için araştırmacılar tarafından yüzlerce farklı model ve algoritma önerilmiştir (Demircioğlu, 2009).

Araç rotalama probleminde genel amaç depolardan araçlar ile coğrafi olarak dağıtık noktalarda bulunan müşterilerin taleplerini karşılamak ve bunu yaparken de mümkün olan en kısa sürede, en kısa yoldan ve en düşük maliyetle karşılayan rotayı belirlemektir.

Günümüzde ARP para dağıtımı, internetten alışveriş teslimatları, benzin-mazot dağıtımı, atık toplama, uçak rotalama problemleri, okul taşıt güzergahının belirlenmesi, yemek şirketlerinin firmalara yemek dağıtımı, servis araçlarının rotalanması, fabrikalar arası mamul, yarı mamul ve hammaddenin taşınması, posta hizmetleri ve bunun gibi bir çok alanda kullanılır.

## 2.1.2. Araç Rotalama Probleminin Çeşitleri

Sürekli değişen çevre şartları ve artan rekabet ile ARP için işletmenin filo büyüklüğü ve amacı gibi birçok faktöre bağlı olarak kısıtlar değişiklik ya da artış gösterebilmektedir. Bu değişikliklerden kaynaklı zamanla ARP' nin birçok çeşidi ortaya çıkmıştır. ARP çeşitleri Şekil 2.1. 'de gösterilmiştir.



Şekil 0.1. Araç rotalama problemi çeşitleri.

### 2.1.2.1. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KKARP) seyahat maliyetini en aza indirmek amacıyla bir ya da daha fazla birime (depo) sahip bir işletmenin belirli kapasitelere sahip araçlar ile talepleri önceden belirli (n) sayıda müşteriye ulaştırması problemidir (Kuşcu, 2009).

KKARP' nin temelleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

- Her araç eşit yükleme kapasitesine sahiptir ve merkez işletme ya da depodan başlar ve ardından müşteriler arasında geçiş yapar.
- Tüm müşterilerin talepleri ve müşteriye hizmet süreleri önceden belirlidir.
- Her müşteri yalnızca bir araç tarafından ziyaret edilebilir ve her araç depoya geri dönmelidir.
- Servis zaman birimi mesafe birime dönüştürülebilir.
- Her aracın yükleme ve sürüş mesafesi, yükleme kapasitesini ve aracın maksimum sürüş mesafesini aşamaz (Shahıran, 2009)(Lin vd, 2009).

### **2.1.2.2. Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi**

Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Probleminde (MKARP), belirli rotaları ziyaret edecek araçların gidebileceği bir maksimum mesafe kısıtı vardır. Bu durum araç veya sürücü ile ilgili kısıtlardan ya da taşınan ürünün cinsi ile alakalı olabilir. Taşınacak rn ömrü taşıma sresinden kaynaklı tehlikeye girebilecek durumlarda, araç sürücüsünün belirli bir sreden fazla araç kullanmaması veya herhangi bir aksaklıktan dolayı gecikmemesi gereken durumlarda bu kısıt probleme eklenmez (Dursun, 2009).

### **2.1.2.3. Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi**

Zaman Pencereli Araç Rotalama Probleminde (ZPARP) depodan harekete başlayan dağıtım aracı her bir müşteriye belirli bir zaman aralığı içerisinde hizmet vermek zorundadır. ZPARP' nin amacı belirlenen zaman pencerelerine uyarak minimum maliyet ile en uygun rotayı belirlemektir.

Gerçek hayat problemlerine uygun yapısı nedeniyle; kargo taşımacılığı, benzin ve mazot dağıtımı, okul servis aracı rotalama, atık toplama, gazete ve posta dağıtımı, süt dağıtımı ve toplanması, kan merkezlerinden hastanelere kan dağıtımı, dayanıksız tüketim mallarının evlere dağıtımı, zincir mağaza dağıtım lojistiği, güvenlik araçlarının devriye kontrolleri gibi birçok durumda kullanılmaktadır.

ZPARP kendi içerisinde esnek ve sıkı zaman pencereli araç rotalama problemi olarak iki durum da incelenir;

Esnek zaman pencereli araç rotalama probleminde (EZPARP) müşterilere belirlenmiş olan zaman aralıklarının dışında da hizmet verilebilir fakat böyle bir durumda işletmenin katlanması gereken bir ceza maliyeti bulunur. Sıkı zaman pencereli araç rotalama probleminde (SZPARP) ise hizmet veren araç belirlenmiş olan zaman zaman aralığından önce müşteri noktasına varmış ise en erken hizmete başlama süresine kadar orada beklemek zorundadır. Eğer belirli zaman aralığından sonra müşteri noktasına varmış ise hizmet verememektedir (Ercan Cömert vd, 2017).

#### **2.1.2.4. Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi**

Eş zamanlı topla dağıt araç rotalama probleminde (EZTDARP); dağıtım ve toplama işlemleri aynı anda gerçekleşmektedir; hizmet verecek araç dağıtım merkezinden hareket ederek müşteri noktalarına talep edilen miktardaki ürünleri bırakır ve eş zamanlı olarak müşteriden toplanacak ürünü teslim alır. Her bir müşteriye yapılacak ziyaret belirli bir zaman dilimi içinde tek araçla ve sadece bir kez gerçekleştirilmelidir. Bu problem çeşidi; boş meşrubat şişeleri, elektronik aletler, otomobil, bilgisayar parçaları gibi geri dönüşümü sağlanabilecek ürünlerde ürünlerin tekrardan işlenebilmesi için dağıtımından sonra kullanılmış ürünlerin geri toplanması için kullanılır (Yazgan ve Büyükyılmaz, 2017).

#### **2.1.2.5. Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi**

Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemünde ürün dağıtımını yapılacak müşteriler (linehaul) ve ürün toplama yapılacak müşteriler (backhaul) olarak iki farklı müşteri grubu vardır. Her bir müşteri grubu ya sadece dağıtım ya da sadece toplama olmalıdır ve önce dağıtım yapılacak müşteriler daha sonra toplama yapılacak müşteriler ziyaret edilmelidir (Keçeci, 2008).

### **2.1.2.6. Geri Toplamalı Araç Rotalama Problemi**

Geri Toplamalı Araç Rotalama Problemi (GTARP) iadesi olabilecek depozito, ambalaj, palet, otomotiv yedek parçalarının geri dönüşüm için iadesi gibi durumlarda kullanılır. Araçların kapasitesi hesaplanırken geri toplanacak ürünler de hesaba katılmalıdır (Demircioğlu, 2009).

### **2.1.2.7. Çok Depolu Araç Rotalama Problemi**

Çok Depolu Araç Rotalama Probleminde (ÇDARP) Müşterilerine hizmet verecek firmanın birden fazla depoya sahip olması söz konusudur. Her bir depo müşteri taleplerini karşılayacak yeterliliğe sahiptir ve müşteri ile depo konumları önceden belirlidir. Araç müşteriye hizmet verir ve sonra hareket ettiği depoya geri döner. (Vidal vd, 2012)

### **2.1.2.8. Bölünmüş Talebe Sahip Araç Rotalama Problemi**

Bölünmüş Talebe Sahip Araç Rotalama Probleminde bir müşteriye birden fazla aracın hizmet verebildiği ARP türüdür. Bölünmüş talebe sahip araç rotalama problemini (BTSARP) ilk olarak Dror ve Trudeau çalışmıştır. Burada aracın kapasitesi müşterinin talebinden daha düşük olduğu için müşteri birden fazla kez ziyaret edilebilmektedir (Bayrak ve Özyörük, 2017).

### **2.1.2.9. Belirsiz Talebe Sahip Araç Rotalama Problemi**

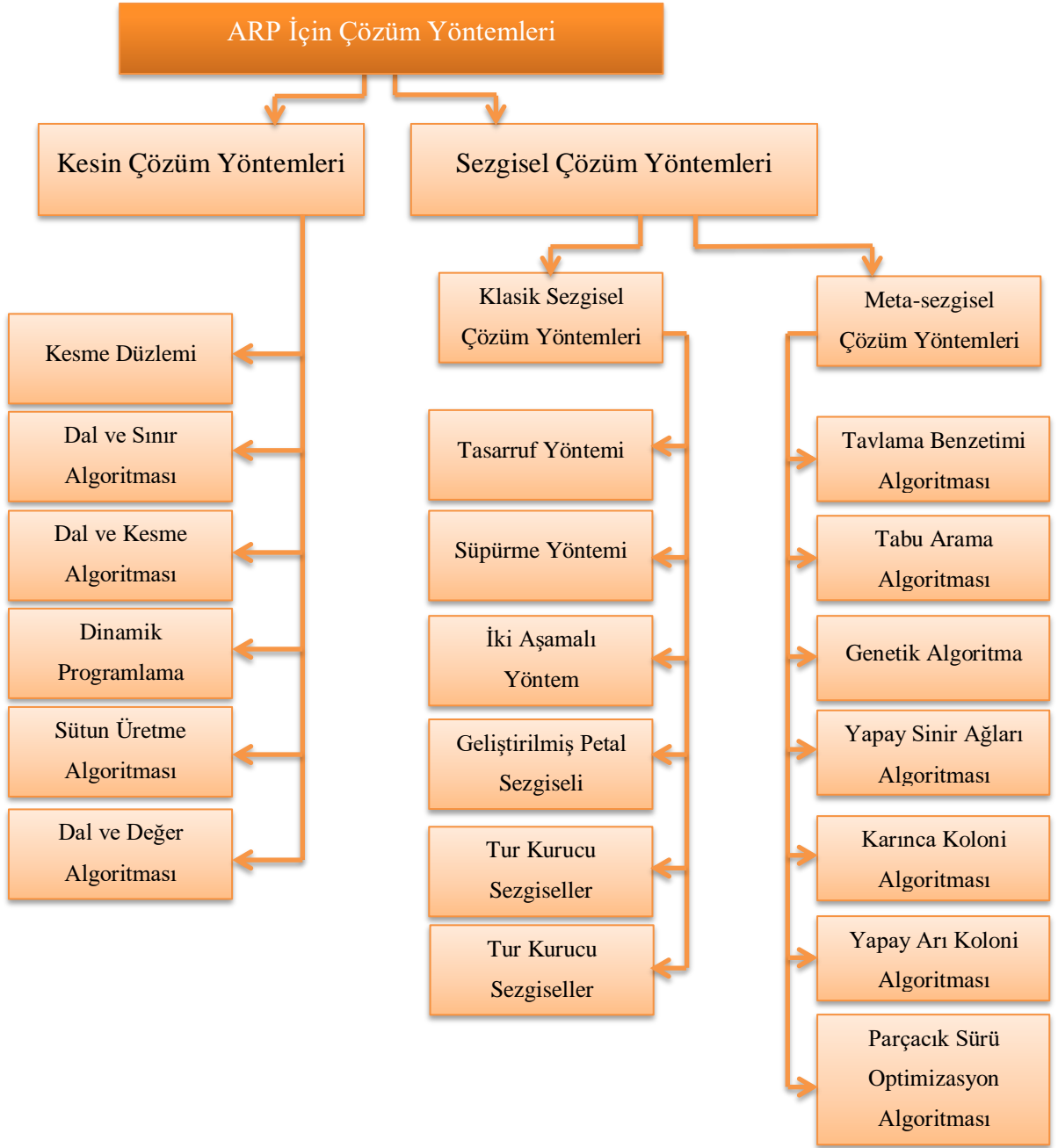
Belirsiz Talebe Sahip Araç Rotalama Probleminde müşterinin talebi önceden belirli değildir. Dağıtım aracının müşteriye ziyareti esnasında müşteri talebini bildirir.

### **2.1.2.10. Periyodik Araç Rotalama Problemi**

Periyodik Araç Rotalama Probleminde Dursun (2009) tarafından bildirildiğine göre amaç müşterilere diğer rakiplerinde önce ulaşarak satış miktarını maksimum seviyeye çıkarmak ve bunu yaparken kat edilen toplam mesafeyi minimumda tutmaktır.

PARP' de müşteriye yapılacak olan servis sayısı müşterinin stok alanı ve talep miktarına göre belirlenir. Bu problem çeşidi genellikle meşrubat endüstrisi, bakkallara ürün dağıtımı, atık toplama, kısa raf ömrüne sahip ürünlerin dağıtımı gibi alanlarda ortaya çıkmaktadır (Dursun, 2009).

### 2.1.3. Araç Rotalama Problemi İçin Çözüm Yöntemleri



Şekil 0.2. Araç rotalama problemi için çözüm yöntemleri.

### 2.1.3.1. Kesin Çözüm Yöntemleri

Kesin çözüm yöntemleri ile problem için en iyi çözüm bulunabilir fakat problem büyüklüğü arttıkça çözüme ulaşma süresi de artar. Bu sebeple kesin çözüm yöntemleri ile çoğunlukla orta ve küçük boyutlu problem örneklerine uygulanır (Ropke, 2005).

**Kesme Düzlemi:** Kesme düzlemi yönteminde tam sayılı bir problemde bulunan kısıtlar aynen alınırken değişkenlerin tam sayılı olma kısıtı kaldırılır. Böylelikle herhangi bir doğrusal programlama metodu kullanılarak sonuca varılır. Elde edilen sonuç tamsayı ise bir problem yoktur ama tam sayılı değil ise tam sayılı çözümleri koruyacak olmayanları dahil etmeyecek yeni bir kısıt(kesme) eklenir. Bu işlemler optimal çözüm elde edilinceye kadar sürer (Güler, 2008).

**Dal ve Sınır Algoritması:** Optimal çözüme ulaşabilmek için tüm olurlu çözümleri saymaktan ziyade belirli sayıda olurlu çözümü inceleyerek sonuca ulaşmaya dayanır. Yani optimal çözüme götürmeyen seçenekler sayma esnasında elenir. Algoritma böl ve ele geçir stratejisini kullanır, çözüm uzayını alt problemlere ayırarak her bir alt problemi ayrı ayrı optimize eder.

Dal Sınır Algoritması yöntemin içine başka tam sayılı metotların da dahil edilmesine izin verir ve problem örneği büyüdükçe çözüme ulaşma süresi artar (Güler, 2008).

**Dal Kesme Yöntemi:** Dal-sınır yöntemi ve kesme düzlemi yöntemlerinin birleşimidir. Tamsayı programlama problemlerinin çözümünde etkili bir yöntemdir. Araç Rotalama Probleminin çözümünde öncelikle problem doğrusal programlama ile çözülür. Kısıtlar ve amaç fonksiyonu yazılır ve bir model oluşturulur. Modelin çözümü esnasında oluşan alt turlar sıfıra eşitlenir ve problem dallara ayrılır. Bundan sonraki dallarda taşıt adeti gibi kısıtları sağlayabilmek için modele alt tur engelleme kısıtlayıcısı eklenir ve problem için optimum sonuca ulaşmaya çalışılır (Başkaya ve Öztürk, 2005).

Dal kesme yöntemi, kombinasyonel optimizasyonda birçok alana dayanmaktadır. Bu nedenle, bir dizi alanda ve farklı problemlerde meydana gelen herhangi bir gelişme,

bağıntısız bir problem için de çözüm sürelerinde önemli düşüşler sağlayabilir. Özellikle, doğrusal programlama çözüm süreleri, sezgisel teknikler, sorunların ön işleme ve yeniden düzenlenmesi, arama ağacının büyüklüğünü azaltma yöntemleri, kesin geliştirme gibi alanlarda çözüm sürelerinde azalma ve iyileştirme sağlayabilir (Caccetta ve Hill, 2001).

**Dinamik Programlama:** Dinamik Programlamanın (DP) arkasındaki temel fikir, bir problemi art arda alt problemlere ayırmaktır, problemin optimal çözümü bu alt problemlere en uygun çözümleri kullanarak kolayca bulunabilir. Bu alt problemlerin optimal çözümleri, alt problemleri tekrar daha küçük problemlere bölerek, her alt problemin çözümü önemsiz olana kadar devam ederek bulunur. Bir alt problemin optimal çözümü yalnızca alt problemlerinin optimal çözümlerine dayanarak bulunabildiğinde, DP algoritması asıl problem için optimal bir çözüm sunar. Buna İyimserlik İlkesi denir. Tüm alt problemler ile her sorunun nasıl bölündüğü arasındaki ilişkiyi tanımlayan yineleme ilişkisine Bellman denklemi denir. Sonunda, en küçük önemsiz alt sorunları çözmek için bir DP algoritması ilk olarak, çözümlerini tümüyle problem çözülene kadar giderek daha büyük alt problemleri çözmek için kullanır.

**Sütun Üretme Algoritması:** Sütun üretimi, büyük ölçekli doğrusal programlama problemlerinin çözümü için kullanılan bir tekniktir. Bu teknik kullanılırken çözülen modelde bulunan tüm değişkenler dahil edilmeden sadece bir alt kümeyle ait değişkenler kullanılır. Değişkenler, gerektiği zaman simpleks algoritmasının özellikleri kullanılarak dinamik olarak üretilir. Simpleks algoritma doğrusal programlamaya optimal olmayan çözüm anlamına gelen temel bir fizibil çözüm sürdürür. Simpleks algoritmanın her iterasyonunda temel giriş için yeni bir sütun seçilir. Tipik yaklaşım en az indirimli maliyet olan sütunu seçmektir. Eğer böyle bir sütun bulunamazsa simpleks algoritması çözüme erişmiştir (Ropke, 2005).

**Dal ve Değer Algoritması:** Bu algoritma temelinde iki kavram üzerine kuruludur. Birinci kavram orijinal veya yoğun formülasyon çok sütun ama tipik olarak orijinal formülasyondan daha az satır içeren bir modele dönüştüren ayrışmadır. İkinci kavram ise sütun üretmedir. Dal ve sınır çerçevesi içinde daha alt sınır dinamik sütun üretme ile çözüldüğünde sonuç veren dal ve sınır algoritması dal ve değer algoritması olarak



adlandırılır. Sütun üretme tabanlı lineer programlama reaksiyonunun en üstüne dal ve sınır araştırması eklemek çok açık görünür ama bu yaklaşımın bazı gizli tehlikeleri mevcuttur. Bu tehlikelere bir örnek dallanırken değer probleminin yapısı değiştirilmeden nasıl alt problemler oluşturulacağıdır (Ropke, 2005).

### 2.1.3.2. Sezgisel Çözüm Yöntemleri

Sezgisel çözüm yöntemleri kendi arasında Klasik Sezgisel ve Meta-sezgisel çözüm yöntemleri olmak üzere iki genel başlık halinde incelenir.

#### Klasik Sezgisel Çözüm Yöntemleri

Bu kısımda kısaca ARP için üretilen klasik sezgisel yöntemlerden bahsedilecektir.

**Tasarruf Yöntemi:** 1964 yılında bir araç rotalama probleminin çözümü için, Clarke ve Wright tarafından geliştirilen tasarruf kavramını temel alan bir yöntemdir.

Ele alınan ARP' de ürünler müşterilere talep ettikleri miktar kadar teslim edilmelidir. Müşterilere ürün taşınması için her biri belirli bir kapasiteye sahip bir dizi araç bulunmaktadır. Çalışmanın amacı toplam nakliye maliyetlerini minimuma indirmek için teslimat sırasında izlenecek rotayı belirlemek, hangi güzergâha hangi aracın atanacağını belirlemek ve araç kapasitelerini de dikkate alarak ürün yüklemesini tam yapmaktır. Yapılan işlem şu şekildedir; ilk olarak başlangıç noktası bir depo olarak ele alınır. Araçların depodan müşteri noktalarını ziyaret edip bir sonraki müşteriye gitmeden tekrar depoyu ziyaret ettiği varsayılır. Daha sonra sağlanabilecek maksimum tasarruf ve uygun şartlara göre iki rota birleştirilir yani iki farklı araç çıkarmak yerine tek araç ile iki müşteri noktasına hizmet verilir ve bu sayede maliyette düşüş sağlanır (Lysgaard, 1997).

**Süpürme (Sweep) Yöntemi:** 1971 yılında Gillett ve Miller tarafından geliştirilmiş iki aşamalı bir algoritmadır. İlk olarak şebeke içindeki araçlara hizmet verilecek müşteriler atanır daha sonra araçlar gezgin satıcı metodu ile rotalanır. Süpürme yönteminde dağınık müşteri noktalarını içeren ve depoyu orijin noktası kabul eden bir koordinat düzlemi çizilir. Daha sonra depodan başlayarak dağınık haldeki müşteri

noktalarına rassal olarak ulaşılmaya çalışılır. Hizmet verecek araç ilk olarak bir  $i$  noktasına ya da müşterisine gider ve araç kapasitesini dolduruncaya kadar  $i+1$ ,  $i+2$ ,  $i+3$ , ... noktalarına gider, kapasite tamamlanınca araç depoya geri döner. Bütün müşteriler bir rotaya atanana veya tüm araçlar kullanılana kadar bu işlem sürer ve son olarak rotalar gezgin satıcı metoduyla optimize edilir (Khan ve Siddiqui, 1998).

**İki Aşamalı Metodlar:** Bu yöntemin birinci aşamasında müşteri noktaları müşterilerin birbirlerine olan açıları en az olacak ve müşterileri talepleri araç kapasitelerini geçmeyecek şekilde kümelenir. İkinci aşamada ise her bir araç için GSP sezgiselleri kullanılarak rota oluşturulur. Bu metod için Gillet ve Miller'in geliştirdikleri Süpürme (Sweep) algoritmasını örnek verebiliriz (Gillett ve Miller, 1974).

**Geliştirilmiş Petal Sezgiseli:** ARP için petal yöntemi ilk olarak 1976 yılında Ryan ve Foster tarafından önerilmiştir (Ryan ve Foster, 1981). Daha sonra 1996 yılında Renaud ve arkadaşları tarafından Geliştirilmiş Petal Sezgiseli önerilmiştir. Geliştirilen bu sezgisel yöntemde 1-petal sezgiseli ve 2-petal sezgiseli olarak adlandırılan yapılar tur oluşturmak için kullanılır. 1-Petal Sezgiselinde  $S$  olarak ifade edilen müşteri noktaları için Hamilton turu oluşturulur. Bu ilk tur oluşturulduktan sonra kalan müşteri noktaları kısmi tura ilave edilir. Daha sonra 4-opt olarak adlandırılan sınırlı 4 seçenekli bir kenar değiştirme mekanizması aracılığıyla tur iyileştirilir. 2-Petal Sezgiselinde birbirine uzaklıkları en çok olan iki nokta seçilir ve daha sonra başlangıç noktası oluşturulur. Kalan noktalar daha sonra fizibilitiyi koruyacak ve en düşük maliyeti sağlayacak şekilde bu iki yola dâhil edilir. Turlar 4-opt mekanizması ile tekrardan optimize edilir. Geliştirilmiş Petal Sezgiseli kısa işlem sürelerinde optimale yakın sonuçlar verebilmektedir (Renaud vd, 2019).

**Tur Kurucu Sezgiseller:** Mümkün olmayan (infeasible) atamalar ile çözüme başlanır. Çözüme ulaşmak için her defasında iki düğüm arasına bir kenar eklenir. Kenar eklenmesi yapılırken araç kapasitesi kısıtı göz önünde bulundurulmalıdır. Eklenecek dalı belirlemede maliyet tasarrufu esastır (Eryavuz ve Gencer, 2001).

**Tur Geliştirici Sezgiseller:** Başlangıç çözümü olarak mümkün bir çözüm alınır ve bu çözüm geliştirilir. Her bir iterasyon için dal kombinasyonları değiştirilerek işlemin mümkün olan çözüme ulaştırıp ulaştırmadığı ve maliyette azalma sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir (Eryavuz ve Gencer, 2001). Tur geliştirici sezgiseller 1965 yılında Lin tarafından kullanılmıştır (S. Lin, 1965).

### **Meta-Sezgisel Çözüm Yöntemleri**

Meta-sezgisel çözüm yöntemleri kesin formülasyonu ve çözüm yöntemi bulunmayan ve zaman kısıtı olan problem türleri için tercih edilirler genellikle. Metasezgisel çözüm yöntemlerin stokastik bileşenleri ve problem türlerinin karmaşık yapıları nedeni ile kesin çözümlere ulaşılamasa bile en yakın çözümlerin elde edilmesine olanak sağlar.

**Tavlama Benzetimi Algoritması (TB):** Katıların ısıtılması ve sonra belirli bir sıcaklıktan sonra yavaş yavaş soğutulması işlemi olarak adlandırılan tavlama işleminin benzetimi olan bir arama algoritmasıdır. Algoritma iyi çözümü feda edilerek bunun yerine kötü çözümü seçme olasılığı anlamına gelen  $p$  değerinin iterasyonlar ilerledikçe düşürülmesi prensibine dayanır. Problem çözümünde ilk başlarda çözüm bölgeleri arasındaki sıçrama bir hayli fazla iken iterasyon sayısı arttıkça ve optimum çözüme doğru ilerledikçe  $p$  değeri 0'a yaklaşır böylelikle arama bölgesi gittikçe daralır. Algoritma istenen sonuca ulaştığı zaman işlem sonlandırılır (Şahin ve Eroğlu, 2014).

**Tabu Arama Algoritması (TA):** Glover ve Hansen tarafından 1986 yılında geliştirilen bir optimizasyon meta sezgiselidir. TA çok çeşitli problemlerin, özellikle zor çizelgeleme problemlerinin çözümünde başarılı bir şekilde kullanılmıştır. TA aramaya rastgele bir başlangıç çözümüyle başlar ve genel olarak ilk çözüm ne kadar iyi olursa, yöntem o kadar hızlı sonuç vermektedir. Tek bir yinelemedeki çözümden, arama işlemi, güncel olandan basit bir dönüşümle ulaşılabilecek “komşu çözümler” değerlendirir. Komşu çözümler kümesine mevcut çözümün komşusu adı verilir ve mevcut çözüm için bir dönüşüm uygulanarak oluşturulabilir. Bizi yeni bir komşu çözüme götüren mevcut bir çözümün dönüşümüne hamle denir. Dönüşüm, çizelgeleme probleminde iki iş değişimi veya işlerden birinin silinmesi veya başka bir

işin eklenmesi gibi iyi tanımlanmış bir kural ile karakterize edilir. TA, bölgedeki çözümlerin her birini analiz eder ve mevcut çözümü çözüm alanındaki başka bir noktaya taşımak için elinden gelenin en iyisini yapar. Yeni çözümün nesnel işlev değeri iyileşebilir veya bozulabilir. Tepe tırmanma yönteminden farklı olarak TA, öncekinden daha kötü olsa bile yeni çözümü kabul eder; Yerel bir optimumda sıkışıp kalmaktan kaçınmaya çalışır ve küresel bir optimum bulmaya çalışır. TA arama işlemi sırasında döngüden kaçınmak için işlemi önceki son çözümlere götüren dönüşümleri yasaklar. Aramayı önceki bir duruma yönlendiren bir hamle, geriye doğru bir hareket olarak adlandırılır ve belirli bir yineleme için tabu olarak kabul edilir. Tersine hareketleri kontrol etmek için TA, aramanın son yörüngesini hatırlamak için bir tabu listesi kullanır. Arama işlemini ne zaman durdurulacağına karar vermek için, birkaç farklı durma ölçütünden birini kullanılabilir. Bunlardan bazıları olabilir: belirli sayıda yineleme, önceden belirlenmiş bir miktar CPU zamanı, iyi bir sınır (alt veya üst) veya objektif fonksiyon değerinde herhangi bir iyileşme olmadan belirli sayıda yineleme. Bu kriterlerden bir veya daha fazlası karşılandığında, işlem durdurulur ve şimdiye kadar bulunan en iyi çözüm bildirilir (Lopez vd, 1998).

**Genetik Algoritma:** Darwin'in evrim ve doğal seleksiyon ilkelerinden esinlenilerek oluşturulmuş bir arama ve optimizasyon yöntemidir. GA yapay zekâya ait önemli bir araştırma dalıdır ve kullanım alanı çok geniştir. ilk kez Holland tarafından 1975 yılında önerilmiştir. Holland genetik algoritmalar içinde evrim ilkelerini en iyileme problemlerinde kullanmıştır. GA daha sonra da Holland'ın bir öğrencisi tarafından gaz boru hattının kontrolü problemini konu alan tez çalışmasında kullanılmıştır (Şeker, 2007).

GA' da problem için tek bir çözüm yerine farklı çözümleri içinde barındıran bir çözüm kümesi üretir. Arama uzayında bu sayede birçok nokta aynı anda değerlendirilebilir ve bütünsel çözüme ulaşma olasılığı artar. Çözüm kümesinde bulunan çözümler birbirlerinden bağımsız ve her biri çok boyutlu uzay üzerinde bir vektördür (Şeker, 2007).

Michalewicz GA' yı beş temel unsur olarak aşağıdaki gibi sıralamıştır;

1. Çözümlerin genetik gösterimi
2. Çözümler için bir başlangıç popülasyonunun oluşturulması.
3. Kromozomların uygunluklarının belirlenebilmesi için bir evrimsel değerlendirme fonksiyonuna karar verilmesi.
4. Genetik operatörler kullanılarak yavru genlerin oluşturularak genetik çeşitliliğin sağlanması.
5. Genetik algoritmaya ait parametre değerlerinin tespit edilmesi (Michalewicz, 1996).

**Yapay Sinir Ağları:** İnsanlar tarafından gerçekleştirilen, öğrenme yolu ile yeni bilgiler üretebilme, keşfetme, çevresel olaylara karşı verilen tepkiler gibi yetenekleri otomatik olarak gerçekleştirmek için geliştirilen bilgisayar sistemleridir. İnsan beyninin gerçekleştirdiği işlevlere benzer şekilde, sınıflandırma, genelleme, öğrenme, özellik belirleme, ilişkilendirme, optimizasyon gibi alanlarda uygulanmaktadırlar. YSA, mevcut örnekleri analiz ederek elde ettiği veriler ile kendi deneyimlerini oluşturarak, karşılaşılan benzer durumlar için benzer kararlar verebilir (Altaş ve Gülpınar, 2012).

Yapay sinir hücreleri bir toplama fonksiyonu ile dışarıdan gelen verileri toplayarak aktivasyon fonksiyonundan geçirerek çıktı üretir. Çıktı ağın bağlantıları ile proses elemanlarına gönderilir ve proses elemanları bir ağ oluşturabilmek için 3 katman halinde birbirlerine paralel olacak şekilde bir araya gelirler. Bu katmanlar;

- ❖ Girdi katmanı
- ❖ Ara katmanlar
- ❖ Çıktı katmanı, şeklindedir.

Veriler ağa girişi girdi katmanından ile yapılır. Ara katmanlara gelen veriler işlenerek buradan da çıktı katmanına gönderilirler. Çıktı katmanındaki proses elemanları girdi katmanından gelen verilerden örnek bir girdi seti oluşturabilmesi için gerekli olan çıktıyı üretirler ve bu çıktı dışarı ile paylaşılır (Öztemel, 2006).

**Karınca Koloni Algoritması (KKA) :** Karınca Koloni Algoritmasının temelleri ilk kez Marco Dorico tarafından 1992 yılında tez çalışmasında önerilmiştir. KKA

karıncaların yiyecek ile yuvaları arasındaki en kısa yolu feromon salgılayarak bulmalarından esinlenmiş bir tekniktir. Bu teknik ilk kez bir Gezgin Satıcı Problemi üzerinde denenmiş ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Karıncalar yiyecek bulabilmek için ilk olarak yuvalarında en yakın bölgelerden rastgele olarak aramaya başlarlar sonrasında bulunan kaynaklar yiyecek kalitesi ve miktarı açısından değerlendirilir, yiyecek yavaya taşınma esnasında kaynak ile yuva arasındaki yola feromon adı verilen bir madde bırakılarak işaretleme yapılır. Feromon miktarı kaynağın kalitesi ve mesafesi ile orantılıdır. Bu işaretlemenin amacı diğer karıncalara bilgi aktarımında bulunmaktır. Karıncalar bu izler ile en kısa yolu bulmaya çalışırlar. Bu davranış biçimi optimizasyon problemlerinde yapay karınca kolonilerinde kullanılmıştır (Demircioğlu, 2009).

**Yapay Arı Kolonisi Algoritması :** Yapay Arı Kolonisi Algoritması Derviş Karaboğa tarafından 2005 yılında arıların yiyecek ararken ki hareketlerinden yola çıkılarak tasarlanan bir optimizasyon algoritmasıdır (Karaboğa ve Baştürk, 2007).

Bu tez çalışması için kullanılan optimizasyon algoritmasıdır. Detaylı bilgi Bölüm 3 'te mevcuttur.

**Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması :** 1995 yılında Dr. Kennedy ve Dr. Eberhard tarafından geliştirilmiş bir optimizasyon algoritmasıdır. Sürü halinde hareket eden hayvanların sosyal etkileşimlerinden esinlenmiştir. Parçacık; arama uzayındaki bir kuşu ifade eden her tekil çözümdür, hareket ettiği zaman koordinatlarını bir fonksiyona göndererek uygunluk değerinin ölçülmesi sağlanır. Çözüm uzayında hem kendi koordinatlarını hafızada tutarak hem de komşularının koordinatlarını değerlendirerek en iyiyi bulmaya çalışır (Özsağlam ve Çunkaş, 2008).

## 2.2. BAKIM YÖNETİMİ VE PLANLAMA

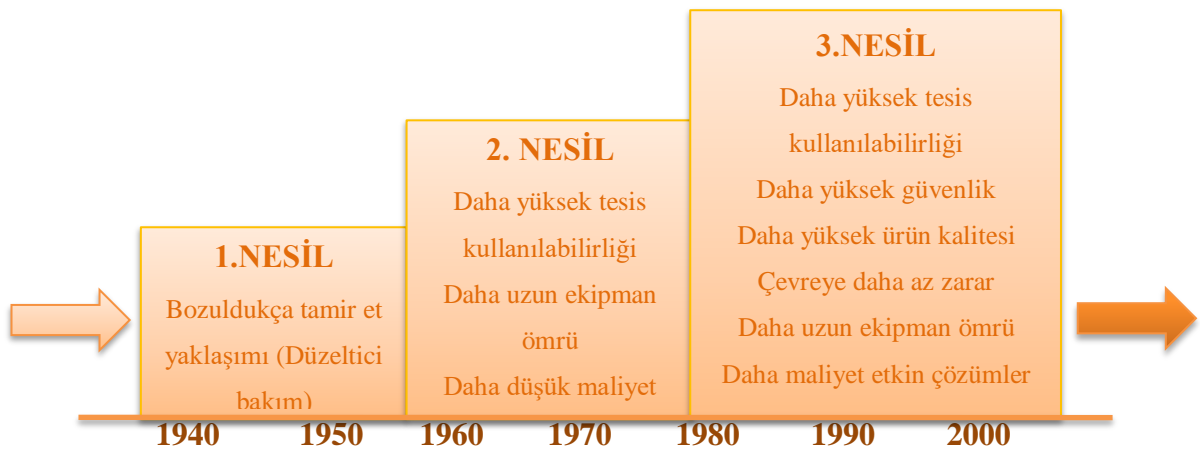
Bakım yönetimi ve planlama; uygulanacak olan bakım politikasının, faaliyetlerinin planlanması, uygulamaya alınması devamında denetimi ve sürekli iyileştirilmesi amacı ile oluşturulan yapıdır. Geliştirme kontrolü ve geliştirilmesi amacı ile oluşturulan idari, finansal ve teknik yapıdır.

### 2.2.1. Bakım Kavramı

İşletmelerde üretimde sürekliliğin sağlanabilmesi kullanılan ekipmanların sorunsuz çalışmasına bağlıdır. Ekipmanlar zamanla kullanıldıkça yıpranır ve verimlerinde düşüş görülebilir ya da tamamen işlevlerini kaybedebilirler. Bu gibi durumların önlenmesi, oluştuysa da düzeltilmesi için yapılan çalışmaların tümü bakım olarak adlandırılır (Ünal, 2009).

### 2.2.2. Bakımın Tarihsel Gelişimi

1930'lu yıllardan bu zamana kadar olan bakım evrimini üç kuşak olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 2.3. Bakımın tarihsel gelişimi.

I. Nesil kapsadığı dönem 1930'lu yıllardan II. Dünya Savaşına kadar olan zaman dilimidir. Bu dönemde endüstride makineleşme henüz çok görülmemektedir. Kullanılan ekipmanlar genel olarak tasarlanmış ve basit yapıdadırlar. Güvenilirlik yüksek, onarım da kolaydır. Bu sebeple ekipman arızasının önlenmesi yöneticiler için yüksek önceliğe sahip değildir. Ekipmanlar; basit temizlik, servis ve yağlama rutinlerinin haricinde herhangi bir sistematik bakım gerektirmemektedir. II. Nesil, II. Dünya Savaşı esnasındaki baskılar mal talebini büyük ölçüde arttırmış ama buna karşın insan gücü arzında keskin bir düşüş olmuştur. Bu da endüstrinin makineye bağımlı hale gelmesine yol açmıştır. Bağımlılık arttıkça üretimde aksama süresinin önemi ön plana çıkmış ve ekipman arızalarının önlenebilir olabileceği ve önlenmesi gerektiği düşüncesi yaygınlaşmıştır. 1960'lı yıllarda belirli aralıklarla ekipmanların revizyonları yapılmaya başlanmıştır. Yapılan bakım çalışmaları ile doğru orantılı olarak bakım maliyetleri de artmış ve böylelikle bakım planlama ve kontrol sistemleri de gelişmiştir. Bu durum bakımın kontrol altına alınmasına büyük ölçüde yardımcı olmuştur. Varlıkların ömrünü en üst düzeye çıkarabilmek için çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

III. Nesil, Bakımda ve ekipmanda güvenilirlik kavramının öneminin artması 1960'lı yılların ortalarına doğru verimli bakım olgusunun yaygınlaşmasını sağlamıştır. Bu yaygınlaşma 1970'li yıllarda verimli bakıma bütünlük bir sistem olarak ulaşabilmeyi çalışanların bireysel ve toplu olarak sürece katkıları ile sağlama düşüncesini temel alan TPM (Toplam Üretken Bakım) kavramını ortaya çıkarmıştır (Er, 2004).

1970'li yılların ortalarından bu yana olan süreçte sanayideki değişim süreci büyük bir hız kazanmıştır. Üretim sürecinde meydana gelen kesintiler gerek üretimi azaltarak, gerek işletme maliyetlerini arttırarak ve müşteri hizmetlerine müdahale ederek fiziksel varlıkların üretkenliğini her zaman kötü yönde etkilemiştir. Tam zamanında üretim sisteminin yaygınlaşp, tutulan stok seviyesinin azalmasıyla sistemde meydana gelebilecek en ufak bir arızanın bile bazı durumlarda tesisi durma noktasına getirebileceği gözlenmiştir (Moubray, J., 1999).

Teknolojik alanda ve bakım tekniklerinde meydana gelen gelişmeler ile 1980'li yıllarda kestirimci bakım ve durum izleme olarak adlandırılan yeni bir sistem ortaya



çıkmiştir. Bu yaklaşım arıza belirtilerinin ileri teknoloji kullanarak ölçülmesi ve analiz edilmesi sağlanarak henüz arıza ortaya çıkmadan müdahale edilmesi temeline dayanır (Er, 2004).

III. Nesil bakımda meydana gelen gelişmelerin genel içeriği;

- Hata türü etkileri analizi ve uzman sistemler,
- Tehlike analizi çalışmaları
- Durum İzleme gibi yeni bakım teknikleri
- Takım çalışması, örgütsel düşünmede katılım ve esneklik artırımı,
- Sürdürülebilirlik ve güvenliğin ön planda olduğu ekipman tasarımları (Moubray, J., 1999).

### 2.2.3. Bakım Stratejileri

Bakım stratejilerini Şekil 2.4 'de gösterildiği gibi 6 başlık üzerinden inceleyebiliriz;



Şekil 2.4. Bakım stratejileri.

### **2.2.3.1. Arızı Bakım**

Herhangi bir sebepten ötürü zamansız olarak tamamen ya da bir kısmı arızalanan ekipmanlara yönelik onları çalışır duruma getirmek için yapılan bakım türüdür.

Bu bakım türünde ekipman bozulana kadar beklendiği için parçaların kullanım ömürleri sonuna kadar kullanılmış olur bu sayede en az miktarda parça kullanılarak bakım gerçekleştirilmiş olur. Bu bakımdan avantajlıdır. Fakat bozulan parçanın tedariki için zaman kaybını engelleyebilmek için yedek parça bulundurmalıdır (Köksal, 2007).

### **2.2.3.2. Önleyici Bakım**

Önleyici bakım türünde amaç ekipmanda herhangi bir arıza oluşmadan arızayı önleyici çalışmalar yapmaktır. Bakımlar belirli zaman aralıkları ile düzenli olarak ya da durum bazlı gerçekleştirilebilir. Önleyici bakım faaliyetleri genel olarak yıpranmış alt bileşenlerin incelenmesi, temizlenmesi, yağlanması, ayarlanması veya değiştirilmesini kapsar. Böylelikle önleyici bakım, bakım/ değiştirme faaliyetlerini işletme maliyetleri ile sistem arızalarının genel oluşum oranını azaltarak elde edilen maliyet tasarrufları arasında bir denge kurmak amaçlanır (Moghaddam, 2008).

Önleyici bakımlar ile arızalar sebebi ile üretimde oluşacak kayıplar büyük ölçüde engellenmiş olur. Bu bakım politikasını seçerken kullanılacak en büyük kıstas bu bakım ile bize yansıyan maliyet ile sağlayacağı faydanın kıyaslanmasıdır (Er, 2004).

### **2.2.3.3. Periyodik Bakım**

Bu bakım türünde makine ve ekipmanlara belirli periyotlara bakım ve onarım işlemleri yapılır. Bakımların hangi aralıklarla yapılacağı makinelerin geçmişteki performansları, teçhizatın üretici firmasından alınan bilgiler, bakım ekibinin deneyimleri göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.

Makine ve ekipmanların düzenli olarak kontrolü ile tüm donanımlar gözden geçirilerek gerekli müdahalelerin yapılması ile birçok arıza ve arıza kaynaklı

kayıpların önüne geçilmiş olur. Makine duruş sürelerinin en aza indirilmesi ile üretim miktarında artış sağlanır. Meydana gelebilecek arızaların önceden tespit edilir ve bu sayede daha büyük arızaların önüne geçilebilir (Ercelebi ve Ergin, 1997).

#### **2.2.3.4. Kestirimci Bakım**

Kestirimci Bakım; makine ve ekipmanlarda arıza durumu oluşmadan önce periyodik ölçüm ve kontroller ile sürekli olarak takip edilmesi, elde edilen verilerin analizi ile arıza oluşma olasılığının belirlenerek gerekli önlemlerin alınmasıdır (Gürsoy vd.,2019). Bu yöntemde makine ve ekipmanlar çalışır durumda iken takibi yapıldığı için, bakım çalışmaları için doğru zamanlarda müdahale ile gereksiz duruşların, yanlış parça değişimlerinin önüne geçilerek üretim kayıplarında ve bakım maliyetlerinde azalma sağlanır.

Kestirimci bakımın amacı oluşması muhtemel bir arızayı önceden fark ederek müdahale edip müdahale ederek, büyümesini engelleyerek kayıpların önüne geçebilmektir. Takibi yapılacak sisteme bağlı olarak gerektiği durumda sisteme entegre edilecek cihazlar ile yapılacak gözlem, muayene, kayıt izleme sistemi ile makine ve ekipmanlara yapılacak müdahale için gerekli malzemeler belirlenerek, zamandan tasarruf, duruşlarda azalma, doğru parçaya müdahale ile işçilik ve malzeme maliyetlerinde azalma sağlanır (Baraçlı vd., 2001).

#### **2.2.3.5. Güvenilirlik Merkezli Bakım**

Güvenilirlik Merkezli Bakım ilk olarak 1950’li yıllarda Uçak Endüstrisinde kullanılan karmaşık ekipmanların güvenliği ile ilgili çalışmalarda ortaya çıkmıştır. Özellikle 1960 FAA Havayolu Endüstrisi Güvenilirlik Program Çalışması; hızla artan bakım maliyetlerine, düşük kullanılabilirliğe ve geleneksel zaman bazlı önleyici bakımın etkinliği hususundaki endişeleri yanıtlamaya yönelik yapılmış bir çalışmadır (Kennedy, 2006).

GMB yönteminde sistem gözden geçirilerek gereksiz bakım faaliyetlerini elenir buna bağlı olarak da bakım maliyetlerini düşer ve kontrol sıklığı azaltılır. Beklenmedik arıza

durumları azdır, çünkü sistem sürekli kontrol altında tutulur. Süreçte yer alan tüm araçlar aynı öneme sahip değildir ilkesine dayandığı için de kritik donanımlar üzerindeki yoğunlaşma daha fazladır. Kullanılan donanımların güvenilirliğini arttırmak kök sebep analizi yapılmasına daha fazla imkân sağlar (Çebi vd., 2008).

#### **2.2.3.6. Düzeltici Bakım**

Düzeltici Bakım meydana gelen bir arıza sebebiyle bozulan ekipmanı tekrardan ilk duruma getirmek için yapılan çalışmalardır. Düzeltici bakım bünyesinde yapılan çalışmalar ile aynı arızanın yeniden oluşma olasılığını azaltmak hedeflenir (Ünal, 2009).

#### **2.2.3.7. Toplam Üretken Bakım**

Toplam Üretken Bakım (TPM) ekipman bakımına bütünsel yaklaşımı ile mükemmel yakın üretim süreçlerine ulaşmaya çalışır. TPM süreçlerin sürekli iyileştirilmesi ve geliştirilmesi esasına dayanır. Arıza sayı ve sürelerini düşürerek ekipman çalışma koşullarını iyileştirmeyi, ekipmanı optimum performans ve güvenilirlik düzeyinde tutmayı amaçlar. Etkili iletişim teknikleri ve üst yönetim desteği TPM' in işlevselliğine yardımcı olur. TPM yöneticiler, operatörler, mühendisler ve bakım personelleri de dâhil olmak üzere tüm personeli birlikte koordine ederek ekip tabanlı çalışmaya teşvik eder (Agustiady ve Cudney, 2018).

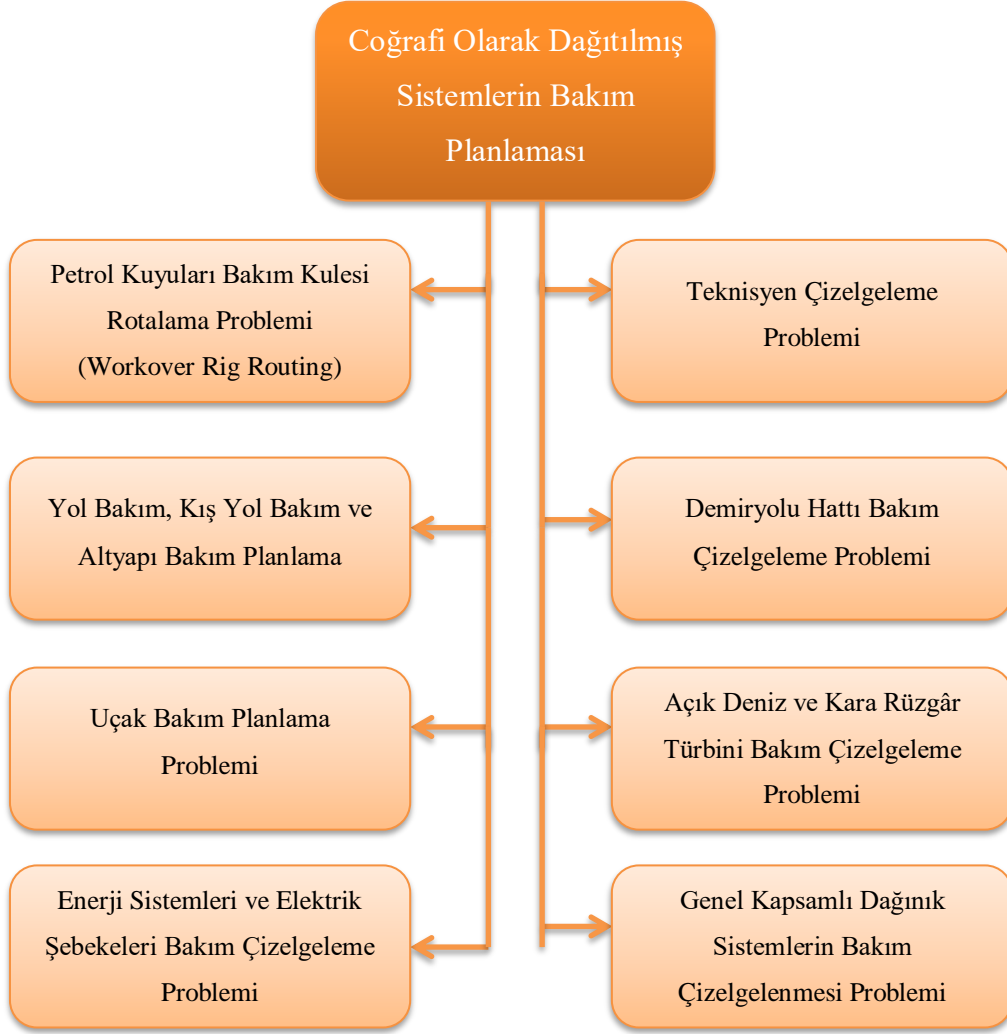
### 2.3. COĞRAFI OLARAK DAĞITIK SİSTEMLERİN BAKIM PLANLAMASI

Coğrafi olarak dağılmış sistemler, çeşitli yönlendirme kısıtlamaları ve bu sistemlere ulaşmak için gerekli seyahat sürelerini göz önüne alındığında bakım çizelgeleme sorununu daha karmaşık bir hale getirir (Rashidnejad vd, 2018). Bu tür optimizasyon problemlerini ele almak için Bakım Çizelgeleme ve Araç Yönlendirme Probleminin entegrasyonunu aynı anda araştırmamız gerekir (Ghoseiri ve Ghannadpour, 2010).

Entegre bakım ve rotalama problemleri, açık deniz rüzgar türbinleri, petrol ve gaz endüstrisi, telekomünikasyon sistemleri, kamu hizmetleri, sağlık hizmetleri ve finans sektörü gibi çeşitli alanlarda kullanılabilir (López-Santana vd, 2016).

Coğrafi olarak dağılmış sistemlerin bakım planlamasına ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Bu durum hizmet kalitesinin artırılarak maliyetlerin düşürülmesi ihtiyacını da beraberinde getirmektedir. Bu problem türünde temel amaç personel çizelgeleme ve araç rotalama içeren operasyonel planlamayı düşük maliyet ve yüksek hizmet kalitesi ile gerçekleştirmektir (Bilgin, G.K., vd, 2018).

İncelenen literatür sonucunda coğrafi olarak dağılmış sistemler için yapılan çalışmalar Şekil 2.5. 'teki gibi tablolaştırılabilir.



Şekil 2.5. Coğrafi olarak dağıtık sistemlerin bakım planlaması problem çeşitleri.

Literatürde bulunan Açık Deniz ve Kara Rüzgâr Türbini Bakım Çizelgeleme Problemi için yapılmış çalışmaları aşağıdaki gibi özetleyebiliriz;

Açık deniz rüzgâr türbinlerinden elde edilen enerji kapasitesinde büyümeyi sağlamak için, açık deniz rüzgâr çiftlikleri kıyılardan ziyade suyun daha derin olduğu kısımlarda bulunmalıdır. Böylelikle artan seyahat mesafesi, daha zorlu hava koşulları ve daha büyük lojistik zorluklar nedeniyle işletme ve bakım maliyeti artış gösterecektir.

Enerjinin maliyetini düşürmek için gemi filosu optimal veya optimale yakın seviyede tutulmalıdır. Bu hedefler doğrultusunda yapılan çalışmada deterministik bir gemi filosu optimizasyon modeli geliştirilmiştir. 1-3 kadar rüzgar çiftliği ve toplam 20–600 kadar rüzgar türbini ile 15 problem örneğini içeren çalışmada önerilen optimizasyon modelinin, makul hesaplama süresi içinde ilgili problemlere optimal veya optimal seviyeye yakın çözümler sağlayabileceğini göstermektedir (Halvorsen-Weare vd, 2013).

Gemilerin rüzgâr türbinlerine erişilebilirliğini modellemede çoğu çalışmada tek parametre olarak kullanılan bir dalga yüksekliğinin yerine tepe dalga periyodu ve dalga yönü gibi başka parametreler de kullanıldığında nasıl etkilendiğini görebilmek amacıyla yapılan çalışmada iki stratejik karar destek modeli kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Optimizasyon ve simülasyon modelleri oluşturularak yapılan karşılaştırmada nispeten benzer sonuçlar elde edilmesine ek olarak daha iyi sonuç belirlemede dalga yüksekliği değerinin önemi vurgulanmıştır (Sperstad vd, 2014).

Bir deniz rüzgâr çiftliğinde bakım işlerini yapacak gemi filosu için en uygun rotaları ve programları bulmak amacıyla biri ark-akışına diğeri yol akışına dayalı iki matematiksel model sunulmuştur. Ark akış modeli, ticari yazılımlar kullanılarak çözülmüştür. Yol akış modeli ise olası yol ve programların bir alt kümesini üreterek sezgisel olarak çözülmüştür, yapılan hesaplamalar sonucunda yol akış modelinin ark akış modelinden çok daha az hesaplama süresi kullanarak optimale en yakın çözümü ürettiği görülmüştür (Stalhane vd, 2015).

Bir deniz rüzgâr çiftliğinde mevcut simülasyon modellerinin doğrulanması için Monte Carlo simülasyon deneyleri ile birlikte zaman-sıralı modelleme sunulmuş ve dört model için doğrulama işlemi açıklamalar ile gösterilmiştir. Referans bir açık deniz rüzgâr çiftliği belirlenerek modeller test edilmiş; dört model de, bakım kaynaklarının çok kısıtlandığı durumlar dışında iyi bir uyum göstermiştir (Dinwoodie vd, 2015).

Gemilerdeki filo büyüklüğünü belirleme ve açık deniz rüzgâr santrallerinde bakım işlemleri problemlerini birlikte ele alan çalışmada stokastik bir üç aşamalı programlama modeli önerilmiştir. Model, gerçekçi boyuttaki problem örnekleri

üzerinde test edilmiştir. Sonuçlar; belirsizliğin dikkate alınmasının önemli olduğunu ve modelin gerçekçi boyuttaki örnekleri çözmek için kullanılabileceğini göstermiştir (Gundegjerde vd, 2015).

Bir rüzgâr çiftliğinde birim başına enerji üretim hızını maksimize etmek ve rüzgâr çiftliği bakım maliyetlerini minimize etmek amacı ile iki yönlü bir fırsatçı bakım optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Bakım faaliyetlerinin toplam maliyetini ve rüzgar çiftliği tarafından üretilen toplam enerjiyi hesaplamak için üç aşamalı bir simülasyon yaklaşımı, optimizasyonu gerçekleştirmek ve farklı güvenilirlik eşliğinin optimum değerini elde etmek için de çok amaçlı bir Parçacık Sürüsü Algoritması (PSA) kullanılmıştır. Literatürde bulunan başka bir fırsatçı politika referans alınarak karşılaştırmalı analiz yapılmış ve geliştirilen modelin fırsatçı bakım politikasının hem bakım maliyetleri hem de enerji üretim oranı açısından daha iyi performansa sahip olduğu görülmüştür (Abdollahzadeh vd, 2016).

Bir açık deniz rüzgar çiftliğinde etkin bakım politikası belirlemek amacıyla fırsatçı çok düzeyli koruyucu bir bakım stratejisi tanımlanmış ve matematiksel bir model oluşturulmuştur. Önerilen yaklaşım 50 türbinli bir rüzgar santrali üzerinden test edilerek bakım maliyetlerinde azalma sağlanmıştır (Sarker ve Faiz, 2016).

Açık deniz rüzgâr çiftliklerinde işletme ve bakım faaliyetlerini birlikte ele alan, uzun planlama geleceğine sahip uygun maliyetli gemi ve helikopter filo boyutunu belirlemek amacıyla talep ve hava koşullarındaki belirsizliğin dikkate alındığı problem için iki aşamalı bir stokastik programlama modeli önerilmiştir. Modelin problem örnekleri üzerinden denenmesi ile bazı durumlarda talep ve hava koşullarındaki belirsizliği dikkate almanın önemli olduğu görülmüştür (Stalhane vd, 2016).

Açık deniz rüzgâr santrallerinde toplam bakım maliyeti en aza indirmek, en uygun rota güzergâhını ve her bir gemi için gereken teknisyen sayısını belirlemek amacıyla karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli içeren bir algoritma önerilmiştir. İki tip veri seti üzerinde yapılan testler sonucunda çözüm yönteminin makul hesaplama sürelerinde soruna en uygun çözümleri bulduğu görülmüştür (Irawan vd, 2017).



Deniz rüzgâr türbinlerinde bakım işlemlerini gerçekleştirecek gemilerin rotalanması ve programlanması için bir sezgisel yardımcı ile çözülen matematiksel bir model ve modeli değerlendirmek için de bir simülasyon modeli sunulmuştur. Problem örnekleri üzerinden yapılan denemeler ile simülasyonla birleştirilmiş matematiksel modelin, bakım görevlerini yerine getirmek için kullanılan bir gemi filosunun bileşimi ile ilgili stratejik kararları değerlendirmek için etkili bir şekilde kullanılabileceği gözlenmiştir (Raknes vd, 2017).

Çizelge 2.1. Rüzgar türbinleri bakım planlama problemi literatür taraması.

| Yazar Adı ve Yılı               | Çalışma Konusu   | Uygulanan Yöntem   |
|---------------------------------|--|--|
| <b>Halvorsen-Weare vd, 2013</b> | Açık Deniz Rüzgar Türbini Bakım Çizelgelme Problemi  | Matematiksel Model   |
| <b>Sperstad vd, 2014</b>        | Gemilerin Türbinlere erişebilirliğini modellemede tek ve çok parametrelili dalga kriterlerinin karşılaştırılması | Simülasyon Modeli Ve Matematiksel Model                    |
| <b>Stalhane vd, 2015</b>        | Açık Deniz Rüzgar Türbini Bakımı İçin Gemi Filosu Rotalama Problemi  | İki Matematiksel Model Sunularak Karşılaştırma Yapılmıştır |
| <b>Dinwoodie vd, 2015</b>       | Açık Deniz Rüzgar Türbini Bakım Çizelgelme Problemi  | Matematiksel Model   |
| <b>Gundegjerde, 2015</b>        | Açık Deniz Rüzgar Türbini Bakım Çizelgelme ve Gemi Filosu Büyüklüğü Belirleme                                    | Matematiksel Model   |
| <b>Abdollahzadeh vd, 2016</b>   | Rüzgar Çiftliği Bakım Çizelgelme Problemi  | Sezgisel Model   |
| <b>Sarker ve Faiz, 2016</b>     | Açık Deniz Rüzgar Türbini Bakım Çizelgelme Problemi  | Matematiksel Model   |
| <b>Stalhane vd, 2016</b>        | Açık Deniz Rüzgar Türbini Bakımı İçin Gemi ve Helikopter Filosu Büyüklüğü Belirleme                              | Matematiksel Model   |
| <b>Irawan vd, 2017</b>          | Açık Deniz Rüzgar Santrali Bakım Güzergahı Programlanması Problemi   | Matematiksel Model   |

|                        |  |   |
|------------------------|--|---|
| <b>Raknes vd, 2017</b> | Açık Deniz Rüzgar Santrali<br>Bakım Güzergahı<br>Programlanması Problemi | Matematiksel ve Sezgisel<br>Entegre bir Model |
|------------------------|--|---|

Literatürde bulunan Demiryolu Hattı Bakım Faaliyetlerinin Planlaması Problemine yönelik yapılmış çalışmaları aşağıdaki gibi özetleyebiliriz;

Bir demiryolu sisteminde önleyici bir bakım çizelgeleme problemi ele alınmış ve matematiksel bir model geliştirilmiştir. Literatürdeki bazı sezgisel yaklaşımlar da incelenerek, bu sezgisellerin performansı rastgele oluşturulmuş bazı örnekler kullanılarak geliştirilen model ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Kullanılan örnek set büyüklüğü arttıkça problemin optimal çözümü zorlaşmış ve çözüm süresi uzamıştır. Sezgisel yöntemler daha kısa sürelerde optimale daha yakın sonuçlar vermiştir (Budai vd, 2006).

Yüksek hızlı demiryolu hatlarında güvenli ve konforlu bir şekilde seyahat imkanı sağlayabilmek amacıyla demiryolu hattı sıkıştırma müdahalelerinin programlanması probleminin çözümü için sezgisel bir yöntem sunulmuştur. Yöntem, bir Fransız yüksek hızlı tren hattının 240 km'lik hattında gerçek verilerine dayanan bir örnek olay incelemesi ile doğrulanmış ve sezgisel makul hesaplama süresi ile çok optimal bir performans göstermiştir (Quiroga ve Schnieder, 2010).

Demiryolu hattı bakım planlama probleminde güvenliği sağlamak ve operasyonel verimliliği arttırmak amacıyla birçok zorlu yan kısıta sahip bir zaman-yer ağı modeli oluşturulmuştur. Çözümünde karışık tam sayılı programlama algoritmaları ile birlikte iki tür yerel arama içeren çoklu komşuluk arama sezgiseli ile yinelemeli olarak geliştirilmiştir. Yaklaşım büyük ölçekli bir gerçek hayat problemine uygulanmış ve üstün hesaplama performansları elde edilmiştir (Peng ve Ouyang, 2012).

Demiryolu ağlarında rayların durumunu periyodik olarak incelemek amacıyla yapılan çalışmada bir araç yönlendirme problemi formülasyonu önerilmiş ve çözüm için yerel arama yöntemini içeren yinelemeli özelleştirilmiş bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Gerçek veriler kullanılarak test edilen yaklaşım son teknoloji ticari

çözücülerden ve manuel çözüm yaklaşımından daha iyi performans göstermiştir (Peng vd, 2013).

Bakım işlerinin projelere bölünmesi; böylece projelerin üretim ekiplerine daha kolay atanması ve planlanan sürede gerçekleştirilebilmesi amacıyla ele alınan demiryolu bakım işi kümeleme problemi için limit ve proje süresi kısıtlarına sahip bir araç rotalama problemi şeklinde karma tam sayılı bir matematiksel programlama modeli geliştirilmiştir. Çözümü için; açgözlü arama, yerel arama ve fizibilite sezgiselini içeren bir dizi entegre algoritma önerilmiştir. Model gerçek hayat problemlerine uygulanmış ve hem çözüm kalitesi hem de çözüm hızı bakımından manuel çözüm yaklaşımından daha iyi performans göstermiştir (Peng ve Ouyang, 2014).

Çizelge 2.2. Demiryolu hattı bakım planlama problemi literatür taraması.

| Yazar Adı ve Yılı          | Çalışma Konusu                                      | Uygulanan Yöntem                       |
|----------------------------|---|--|
| Budai vd, 2006             | Demiryolu Hattı Önleyici Bakım Çizelgeleme Problemi | Matematiksel Model                     |
| Quiroga ve Schnieder, 2010 | Demiryolu Hattı Bakım Planlama Problemi             | Sezgisel Model                         |
| Peng ve Ouyang, 2012       | Demiryolu Hattı Bakım Planlama Problemi             | Sezgisel Model                         |
| Peng vd, 2013              | Demiryolu Hattı Bakım Planlama Problemi             | Sezgisel Model                         |
| Peng vd, 2014              | Demiryolu Bakım İşleri Kümeleme Problemi            | Matematiksel ve Sezgisel Entegre Model |

Literatürde bulunan Uçak Bakım Planlaması Problemine yönelik yapılmış çalışmaları aşağıdaki gibi özetleyebiliriz;

Uçak rotalarının belirlenmesi probleminin bakım gereksinimleri ile birlikte ele alındığı çalışmada uçakların bakıma girmeden önceki kalan yasal uçuş sürelerini minimize eden bir tam sayılı doğrusal hedef programlama yaklaşımı önerilmiştir. Bir havayolu işletmesinin gerçek verilerinden yararlanılarak oluşturulan problem, bir tam sayılı doğrusal program çözücü yazılımı kullanılarak çözülmüştür. Önerilen yöntem ile ele

alınan problemlerde uçakların yasal uçuş sürelerinin kullanım oranlarının %95,4 ile %100 olarak gerçekleşmesi sağlanabilmiştir (Orhan vd, 2012).

Operasyonel Uçak Bakımı Yönlendirme Problemi için bir tam sayılı doğrusal programlama modeli oluşturulmuştur. Önerilen model, ilk olarak farklı öncelik kısıtları altında dal-sınır yaklaşımı kullanılarak çözülmüştür. Daha sonra sıkıştırılmış tavlama benzetimi temelli bir sezgisel yöntem ile çözümlenerek karşılaştırıldığında Sıkıştırılmış Tavlama Benzetiminin Dal-Sınır yaklaşımına göre hızlı bir şekilde kaliteli çözümler bulmada daha etkili olduğu görülmüştür (Başdere ve Bilge, 2014).

Tek bir bakım filosuna sahip havayolları için Uçak Bakımı Yönlendirme Problemi ve Teknisyen Çizelgeleme Problemini çözmek için yapılan çalışmada; ilk olarak geliri en üst düzeye çıkaracak şekilde bir matematiksel model formüle edilmiştir. Daha sonra teknisyen çizelgeleme aşaması için etiketleme algoritmasından uyarlanan bir sezgisel çözüm dahil edilerek entegre bir model formüle edilmiş ve çözülmüştür. Her iki yaklaşım da, üç önemli Latin Amerika havayolunun gerçek uçuş tarifeleri üzerinde test edilmiştir ve kısa hesaplama sürelerinde verimli sonuçlar elde edilmiştir (Diaz-Ramirez vd, 2014).

Entegre bir Uçak Bakım Yönlendirme ve Teknisyen Çizelgeleme Probleminin uyumlu ve düzenli bir şekilde yapılandırılması için Stackelberg Oyunu 'nu kullanan ortak bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Çözüm için ise iç içe bir Karınca Koloni Algoritması (KKA) kullanılmıştır. Önerilen modelin uygulanabilirliği ve potansiyeli, Orta Doğu merkezli bir havayolu şirketi ve bir bakım şirketi kullanılarak test edilmiş ve her iki şirket için de maliyetten tasarruf sağlanmıştır (Eltoukhy vd, 2018a).

Operasyonel Uçak Bakımı Yönlendirme Problemi için yapılan iki aşamalı çalışmada; ilk olarak bir Karışık Tamsayı Doğrusal Programlama modeli oluşturularak küçük boyutlu problemler için ticari yazılım kullanılarak çözülmüştür. İkinci olarak; orta ve büyük ölçekli problemler için daha verimli ve hızlı bir şekilde çözüm alabilmek için yeni bir algoritma geliştirilmiş ve performansı bir Mısır havayolu şirketinden 'den elde edilen verilere dayanarak değerlendirilmiş ve daha kısa hesaplama sürelerinde yüksek kaliteli çözümler elde edilmiştir (Eltoukhy vd, 2018b).

Çizelge 2.3. Uçak bakım planlama problemi literatür taraması.

| YAZAR ADI VE YILI             | ÇALIŞMA KONUSU   | UYGULANAN YÖNTEM   |
|-------------------------------|--|--|
| <b>Orhan vd, 2012</b>         | Uçak Rotalama Ve Bakım Çizelgeleme   | Matematiksel Model   |
| <b>Başdere ve Bilge, 2014</b> | Operasyonel Uçak Bakımı Yönlendirme Problemi   | Bir Matematiksel ve Bir Sezgisel modelin uygulanarak karşılaştırılması   |
| <b>Diaz-Ramirez vd, 2014</b>  | Entegre Uçak Bakımı Yönlendirme Problemi ve Teknisyen Çizelgeleme Problemi   | Entegre Uçak Bakımı Yönlendirme Problemi için matematiksel model, Teknisyen Çizelgeleme Problemi için sezgisel model kullanılmıştır. |
| <b>Eltoukhy vd, 2018a</b>     | Entegre Stokastik Uçuş Gecikmesi Bazlı Operasyonel Uçak Bakım Yönlendirme Problemi ve Teknisyen Çizelgeleme Problemi | Sezgisel Model   |
| <b>Eltoukhy vd, 2018b</b>     | Operasyonel Uçak Bakımı Yönlendirme Problemi   | Matematiksel Model   |

Literatürde bulunan Yol Bakım, Kış Yol Bakım ve Altyapı Bakım problemlerine yönelik yapılmış çalışmaları aşağıdaki gibi özetleyebiliriz;

Yol bakım faaliyetlerinde yolların kullanım oranlarına göre bazı yollara daha yüksek öncelik verilerek en uygun servis rotasını belirlemek amacıyla yapılan çalışmada özgün, yeni bir arama yöntemi ve yazılım geliştirilmiştir. Yöntemin olanaklarının bir örnek üzerinden test edilmesi sonucunda, özel durumlar ortaya çıkmış ve yollar farklı önceliklere sahip olduğunda hem yöntem hem de geliştirilen yazılım ile başarıyla çözülmüştür (Marasoviç ve Marasoviç, 2007).

Kış yol bakım planlaması için dört bölümlük optimizasyon modelleri ve çözüm algoritmaları araştırmasının 3. Bölümü olan çalışmada; kimyasal ve aşındırıcı madde yayma işlemleri için araçların yönlendirilmesine yönelik optimizasyon modelleri ve çözüm algoritmaları, araç ve malzeme depolarının yeri ve personelin araç depolarına atanması için oluşturulmuş mevcut modeller incelenmiştir (Perrier vd, 2007a).

Kış yol bakım planlaması için dört bölümlük optimizasyon modelleri ve çözüm algoritmaları araştırmasının 4. Bölümünde; kar küreme ve bertaraf işlemleri için araçların yönlendirilmesinde optimizasyon modelleri ve çözüm yöntemlerinin kapsamlı bir araştırmasını sağlamak ve filo boyutlandırma ve filo değiştirme problemleri için modeller incelenmiştir (Perrier vd, 2007b).

Kentsel alanlarda kar küreme operasyonları için araçların yönlendirilmesinde matematiksel optimizasyona dayalı bir model ve iki sezgisel çözüm yaklaşımı sunulmuştur. İki çözüm yaklaşımı da Kanada'da bir şehre ait veriler üzerinde test edilmiştir. Modelin performansı her kış sezonunda sadece bir kez çözülmesi gerektiği gerçeği göz önüne alındığında tatmin edici olabileceği fakat yine de daha hızlı bir çözüm yaklaşımı gerekli olduğu sonucuna varılmıştır (Perrier vd, 2008).

Kış yol bakımı planlama kararlarını entegre etmek, probleme; basit, kolay ve uygulanabilir bir çözüm yöntemi getirmek amacıyla sistematik, sezgisel tabanlı bir optimizasyon yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yaklaşım Missouri Ulaştırma Bakanlığına bağlı bir eyalete ait karayolu ağı örneğinde kullanılmıştır. Sonuçlar, önerilen çözüm yöntemi sayesinde Missouri Ulaştırma Bakanlığının mevcut olan yüksek hizmet seviyesini önemli ölçüde daha az kaynakla sürdürebileceğini göstermiştir (Jang vd, 2010).

Hasarlı altyapı onarım probleminin, zaman pencereli bir dizi çok uçlu araç rotalama problemi olarak ele alındığı çalışmada 13 hipotetik test örneği sunulmuştur. On üç örnek literatürde bulunan Chen ve arkadaşlarına ait çalışmada bulunan sezgisel yaklaşım ile test edildi. Karşılaştırma için, Hsueh ve arkadaşlarına ait 2008 yılındaki çalışma kullanılmıştır. Sonuçlar Chen ve arkadaşlarının yaklaşımının objektif değer bakımından daha büyük boyutlu ağlar için biraz daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir (H.K. Chen vd, 2011).

Yol bakım maliyetini en aza indirmek için geliştirilen çok amaçlı Markov tabanlı modelde yol bozulma süreci ayrık zamanlı bir Markov süreci olarak modellenmiştir. Önerilen yol bakım optimizasyon modeli bir örnek üzerinde uygulanmış değerlendirme sonucunda; modelden elde edilen optimal yol bakım planının

uygulanmasının pratik olduğunu ve periyodik yol bakım planına kıyasla düşük maliyetli olduğu görülmüştür (Gao ve Zhang, 2013).

Hindistan'da bulunan bir eyaletin kırsal karayolu ağı bakım maliyetinin en aza indirilmesi ve yol ağı performansının en üst düzeye çıkarılması için iki amaçlı bir deterministik optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Modelin çözümünde Genetik Algoritma sezgiseli kullanılmıştır. Yapılan vaka çalışması sonucunda; modelin, optimal bir bakım programına ulaşmak için etkili bir şekilde kullanılabileceği ve makul bir performans seviyesi sağladığı gözlenmiştir (Mathew ve Isaac, 2014).

Kapasiteli Ark Yönlendirme Probleminin bir varyasyonu olarak formüle edilmiştir. Şans kısıtlı bir programlama modeli ilk önce bir dal ve kesim algoritması ile geliştirilmiş ve çözülmüştür. Güzergâh başarısızlığı durumunda geri kazanım maliyetlerini hesaba katmak için geri göndermeli stokastik bir programlama modeli önerilmiştir. Sorun, uyarlanabilir büyük komşuluk arama algoritması ile çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar Uyarlanabilir Büyük Komşuluk Arama Algoritmasının (ALNS) etkinliğini ve verimliliğini göstermektedir ve bu çalışma Ark Yönlendirme Problemlerine stokastik hizmet ve seyahat süresi dâhil etmenin potansiyel faydalarını gösteren ilk çalışmadır (Chen vd, 2014).

Çin'de kış yol bakım optimizasyonunun araştırma ve geliştirilmesine teşvik etmek amacıyla yapılan çalışmada; kentsel yolların mevcut çalışmalardan kış yol bakımının sistem bileşenleri ve bakım işlemlerinin karar verme seviyeleri tanıtılmış, daha sonra sistem tasarımı, kar bertaraf ve araç rotalarının optimizasyon modellerini tartışılmış ve bir bakım karar destek sistemi çerçevesi verilmiştir (Tang vd, 2016).

Karayollarının günlük bakım işlemlerinde; hizmet süresi belirsizliği dikkate alınarak araçların yönlendirilmesi amacı ile Robust Optimizasyon Modeli önerilmiştir. Model Dal ve kesim yöntemi ile çözülmüştür ve performansı Monte Carlo simülasyonu kullanılarak analiz edilmiştir. Robust Optimizasyon Modeli, klasik bir şans kısıtlı programlama modeliyle de karşılaştırılmıştır (Chen vd, 2016).

Kış yol bakım operasyonlarında bakım işlemleri mümkün olduğunca hızlı bir şekilde tamamlayabilmek için yapılan çalışmada yola kum, tuz veya kimyasal aşındırıcı

dökülen yayma ve kar küreme işlemleri arasındaki ilişkiyi dikkate alan bir uyarlanabilir bir büyük komşuluk arama sezgiseli geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım kuzeyde bulunan bir Quebec şehrinde gerçek kış yol bakımı verileri ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçların analizi hem araç yönlendirmesi için iyi bir temel sağlayabileceği hem de yöneticilerin uzun vadeli politikalar ve yatırımlar planlamasına yardımcı olabileceği yönündedir (Quirion-Blais vd, 2017).

Hiyerarşik Çinli Postacı Problemi (HÇPP) yaklaşımı ile Karayolları 12. Bölge Müdürlüğüne bağlı yollarda yapılan bakım çalışmalarının en az maliyetle gerçekleştirilmesi için en iyi/ en iyiye yakın rotaların bulunması amaçlanmıştır. Ele alınan problem büyük boyutlu olup çözümü için en yakın komşu arama tabanlı bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma, ele alınan tüm karayolu şebekesi için çalıştırılmış ve etkin bir sonuç elde edilmiştir (Yılmaz, 2018).

Çizelge 2.4. Yol Bakım planlama problemi literatür taraması.

| Yazar Adı ve Yılı            | Çalışma Konusu                       | Uygulanan Yöntem    |
|------------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| Marasoviç ve Marasoviç, 2007 | Yol Bakım Planlaması                 | Sezgisel Model      |
| Perrier vd, 2007a            | Kış Yol Bakım Planlaması             | Literatür Çalışması |
| Perrier vd, 2007b            | Kış Yol Bakım Planlaması             | Literatür Çalışması |
| Perrier vd, 2008             | Kış Yol Bakım Planlaması             | Sezgisel Model      |
| Jang vd, 2010                | Kış Yol Bakım Planlaması             | Sezgisel Model      |
| H.-K. Chen vd, 2011          | Hasarlı Altyapı Onarım Problemi      | Sezgisel Model      |
| Gao ve Zhang, 2013           | Yol Bakım Planlaması                 | Matematiksel Model  |
| Mathew ve Isaac, 2014        | Kırsal Karayolu Ağı Bakım Planlaması | Sezgisel Model      |
| Chen vd, 2014                | Ark Yönlendirme Problemi             | Sezgisel Model      |
| Tang vd,2015                 | Kış Yol Bakım Planlaması             | Literatür Çalışması |
| Chen vd, 2016                | Yol Bakım Planlaması                 | Matematiksel Model  |
| Quirion-Blais vd, 2017       | Kış Yol Bakım Planlaması             | Sezgisel Model      |
| Yılmaz, 2018                 | Yol Bakım Planlaması                 | Sezgisel Model      |

Literatürde bulunan Enerji Sistemlerinin ve Elektrik Şebekelerinin Bakım Çizelgelemesi Problemine yönelik yapılmış çalışmalarını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz;



Çok birimli bir sistemde, toplam bakım süresini ve maliyetini azaltmak amacıyla yapılan çalışmada bakım çizelgelemesi için stokastik bir Petri-ağı tabanlı simülasyon optimizasyon modeli geliştirilerek genetik algoritma ile çözülmüştür. Geliştirilen yaklaşımın, belirsizlikleri dikkate alarak bu tür karmaşık bakım karar problemlerini büyük ölçüde iyileştirmek için kullanılabilmesi, planlamacıların çözüm fizibilitesi, toplam bakım süresi ve sistem kullanılabilirliği ile ilgili kararlar almalarına yardımcı olabileceği kanaatine varılmıştır (Zhang vd, 2012).

Acil servis talebi problemine bakım ekibi atama problemini ele almak için bir karar destek sistemi yapısı oluşturulmuştur. Amaç acil servis talebi problemine bakım ekibi atama sorununa, milisaniye veya hatta mikro saniye gibi bir yanıt veren bir sistem oluşturabilmektir (Vinicius Jaques Garcia ve diğerleri, 2012).

Elektrik enerjisi dağıtım tesislerinde acil servis taleplerini yerine getirmek amacı ile yapılan çalışmada; bakım ekibi atama ve dinamik araç yönlendirme problemini çözmek için karma tam sayılı doğrusal programlamaya dayalı matematiksel bir model geliştirilmiştir. Model Google Earth platformu kullanılarak değerlendirilmiş ve bazı öncelik seviyelerini dikkate almanın en uygun rotaları belirlemede karar vericiye alternatif senaryolar vermede etkili olduğu gözlenmiştir (Garcia vd, 2013).

Olası arıza durumlarında elektrik hatlarının duruş süreleri ve yolda geçen sürenin minimuma indirileceği bir program belirlemek amacı ile büyük komşuluk arama meta-sezgiseli, matematiksel programlama teknikleriyle birleştirilmiştir. Yöntem, bir Alman elektrik sağlayıcı şirketin ağ verilerinden türetilmiş çok sayıda test örneği üzerinde değerlendirilmiştir. Yapılan deneylerden, sezgisel fizibilite kontrolü ile birlikte doğrusal programlama tabanlı programlama yöntemi kullanıldığında iyi sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir (Goel ve Meisel, 2013).

Elektrik dağıtım tesislerinde acil durum taleplerine bakım ekiplerini çizelgelemek için üç farklı çok kriterli senaryonun değerlendirmesi amacıyla bir matematiksel model oluşturulmuştur. Tanımlanan kriterlere göre üç farklı senaryoyu grafiksel olarak değerlendirdikten sonra ticari bir programda, uygulanarak tüm kriterlerin eşzamanlı olarak kabul edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır (Garcia vd, 2014).

İletim sistemlerinin onarımı ve yenilenmesi için ortak geliştirilen optimizasyon modelinde jeneratörleri koordine etmek ve hasarlardan sonra toplanan yükleri en üst düzeye çıkarmak amacıyla teknisyenlerin yönlendirilmesi için bir Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli geliştirilmiştir. Önerilen yöntem, IEEE 57-bus iletim sistemi üzerinde test edilmiş ve bağımsız bir optimizasyon yaklaşımı kullanılarak karşılaştırılma yapılmıştır. Sonuçlar, tüm yüklerin bağımsız bir yaklaşım için 12 saate kıyasla 8 saat sonra servis edildiği ortak optimizasyonlu yöntemin avantajlarını göstermektedir (Arif vd, 2016).

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılarak bir elektrik dağıtım şirketindeki Güvenilirlik Merkezli Bakım (GMB) programının uygulanabilirliği için bir vaka çalışması yapılmıştır. Sistem; elektrik hizmetleri için coğrafi veri tabanının güncel tutulması, denetim ve bakım çalışmaları için rotanın analizi, GMB ve CBS arasında bilgi alışverişi yapılarak şebeke operasyonlarının ve varlık yönetiminin optimizasyonu gibi imkânlar sağlayabilmesi sebebiyle işletme ve bakım etkinliğini arttırmıştır (Costinas ve Nemes, 2017).

Olumsuz hava koşullarından sonra oluşabilecek arızalar için dağıtım sisteminin çalışmasını optimize etmek ve tamir ekibinin güzergâhını oluşturmak için İki aşamalı bir stokastik karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Küçük vakalar için önerilen yöntem, kapsamlı formu çözerek bulduğu ile benzer kalitede çözümler sunarken hesaplama yükü önemli ölçüde azaltılmıştır (Arif vd, 2018).

Afet sonrası güç sistemi onarımı ve esneklik artırımı için yeni bir karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli önermektedir. Model, kısıtlı yükü geri yüklemek ve felaketlerin tahrip olması nedeniyle hatalı bileşenleri onarmak için araç rotalama problemi ve güç sistemi çalışma problemi sorununu koordine ediyor; Önerilen model, IEEE RTS 79 test sistemi tarafından onaylanmıştır ve sonuçlar, önerilen modelin, afet sonrası güç sistemlerinin esnekliğinin ve etkin restorasyonunun geliştirilebileceğini göstermektedir (H. Zhang vd, 2018).

Çizelge 2.5. Elektrik dağıtım tesisleri bakım planlama problemi literatür taraması.

| Yazar Adı ve Yılı              | Çalışma Konusu  | Uygulanan Yöntem                           |
|--------------------------------|---|--|
| <b>Zhang vd, 2012</b>          | Çok Birimli Bir Sistemde Bakım Çizelgeleme  | Sezgisel Model                             |
| <b>Garcia vd, 2012</b>         | Acil Servis Talebi Problemine Bakım Ekibi Atama Problemini                          | Karar Destek Sistemi Modeli                |
| <b>Garcia vd, 2013</b>         | Elektrik Enerjisi Dağıtım Tesislerinde Acil Servis Taleplerinin Çizelgenmesi        | Matematiksel Model                         |
| <b>Goel ve Meisel, 2013</b>    | Elektrik Şebekesinin Bakımı ve İşgücü Çizelgeleme                                   | Entegre Bir Matematiksel ve Sezgisel Model |
| <b>Garcia vd, 2014</b>         | Elektrik Dağıtım Tesislerinde Acil Durum Taleplerine Bakım Ekiplerinin Çizelgenmesi | Matematiksel Model                         |
| <b>Arif vd, 2016</b>           | İletim sistemlerinin onarımı ve yenilenmesi için teknisyenlerin yönlendirilmesi     | Matematiksel Model                         |
| <b>Costinas ve Nemes, 2017</b> | Coğrafi Bilgi Sistemi(CBS) Kullanılarak Bakım Planlama                              | Yazılım Uygulaması                         |
| <b>Arif vd, 2018</b>           | Elektrik Dağıtım Tesislerinde Arıza Durumlarında Bakım Ekiplerinin Çizelgenmesi     | Matematiksel Model                         |
| <b>H. Zhang vd, 2018</b>       | Afet sonrası güç sistemi onarımı ve esneklik artırımı                               | Matematiksel Model                         |

Literatürde bulunan Petrol Kuyuları Bakım Kulesi Rotalama Problemi için yapılmış çalışmaları aşağıdaki gibi özetleyebiliriz;

Bakım için bekleyen petrol kuyularının üretim kaybını en aza indirecek rotayı bulmak amacı ile yol bağlantılı bir Randomize Uyarlamalı Açgözlü Arama Algoritması kullanılarak bir model geliştirilmiştir. Modelin çözümünde Brezilya'daki bir petrol sahasından alınan gerçek veriler kullanılmış ve çalışma sonucunda önerilen yaklaşımın literatürde bildirilen diğer yaklaşımlardan daha iyi çözümler ürettiği gözlemlenmiştir (Pacheco vd, 2010).

Petrol kuyuları bakım kulesi rotalama problemi için üç meta-sezgiselin karşılaştırıldığı çalışmada örneklem büyüklüğü arttıkça, yinelenmiş yerel arama sezgiselinin üç sezgisel arasında en kötü sonuçları verdiği ve Uyarlamalı Büyük Komşuluk Arama sezgiselinin uyarlanabilir katmanı sayesinde, üstün performans gösterdiği görülmüştür (Ribeiro vd, 2012a).

Bakım kulelerinin kuyulara tahsis edilmesi ve planlanan taleplerin yerine getirilmesi amacıyla üç karışık tam sayılı doğrusal modelin önerildiği çalışmada ilk olarak; mevcut bir zamanlamaya dayalı formülasyon geliştirilerek bakım hizmetinin yapılacağı mutlak sıra belirlenmiştir. İkinci olarak; Araç Rotalama Problemini(ARP) ve Teknisyen Çizelgeleme Probleminin özelliklerini birleştiren bir formülasyon geliştirilmiş ve üçüncü olarak alt-optimal çözümleri hesaplamak için bazı sezgisellerle birlikte bir model geliştirilmiştir (Duhamel vd, 2012).

Petrol Kuyuları Bakım Kulesi Rotalama Probleminin çözümü için bir dal fiyat ve kesme algoritmasının sunulduğu çalışmada; modelin çözümü için yapılan denemelerde algoritmanın pratik büyüklükteki örnekleri (200 kuyucuğa ve 10 kuleye kadar) makul hesaplama zamanlarında (1 saatten daha az) çözebileceği gözlenmiştir (Mattos Ribeiro vd, 2012).

Hizmet süresinin belirsiz olduğu varsayılan bir açık deniz petrol kulesi filosunun planlanması ve programlanması problemi için stokastik bir simülasyon-optimizasyon yaklaşımı sunulmuştur. Çözümü için biri açgözlü arama algoritmasına diğeri daha karmaşık ve daha uzun işlem süresi gerektiren Açgözlü Randomize Adaptif Arama algoritmasına dayanan iki farklı strateji kullanılmıştır. Optimizasyon yönteminden bağımsız olarak, tek bir çözüm elde etmek mümkün olmamış, ancak bir dizi beklenen çözüm elde edilmiştir (Bassi vd, 2012).

Petrol Kuyuları Bakım Kulesi Rotalama Probleminin çözümü için yapılan çalışmada dört sezgisel çözüm algoritması sunulmuş ve literatürden elde edilen mevcut örnekler üzerinden yapılan karşılaştırmalar sonucunda hibrit genetik algoritmanın diğer algoritmalarından daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir (Ribeiro vd, 2014).

Petrol Kuyuları Bakım Kulesi Rotalama Problemi için geliştirilen yaklaşımların ve problemi çözmeye yönelik yeni yaklaşımları teşvik etmek için diğer yönlendirme problemleri ile benzerliklerini ve farklılıklarını belirlemek üzere ilişkin literatür taraması yapılmıştır (Bissoli vd, 2016).

Petrol Kuyuları Bakım Kulesi Rotalama Probleminin deterministik ve stokastik durumları için iki matematiksel programlama modeli önerilmiştir. Gerçek hayat verileri kullanılarak yapılan çalışmalar sonucunda önerilen yöntemin büyük örnekleri çözmek için kullanılabilirliğini ve makul zamanlarda kaliteli çözümler ürettiğini gözlenmiştir (Fernandez Perez vd, 2018).

Çizelge 2.6. Petrol kuyu kulesi bakım planlama problemi literatür taraması.

| Yazar Adı ve Yılı                | Çalışma Konusu  | Uygulanan Yöntem   |
|----------------------------------|---|--|
| <b>Pacheco vd, 2010</b>          | Petrol Kuyuları Bakım Kulesi Rotalama Problemi                            | Sezgisel Model   |
| <b>Riberio vd, 2012(a)</b>       | Petrol Kuyuları Bakım Kulesi Rotalama Problemi                            | Üç Metasezgisel Model Kullanılarak Karşılaştırılmıştır               |
| <b>Duhamel vd, 2012</b>          | Petrol Kuyuları Bakım Kulesi Rotalama Problemi                            | Biri Sezgisel Destekli Toplamda Üç Matematiksel Model Kullanılmıştır |
| <b>Riberio vd, 2012(b)</b>       | Petrol Kuyuları Bakım Kulesi Rotalama Problemi                            | Matematiksel Model   |
| <b>Bassi vd, 2012</b>            | Açık Deniz Petrol Kulesi Filosunun Planlanması Ve Programlanması Problemi | Sezgisel Model   |
| <b>Riberio vd, 2014</b>          | Petrol Kuyuları Bakım Kulesi Rotalama Problemi                            | Dört Sezgisel Model Sunulmuş ve Karşılaştırılmıştır                  |
| <b>Bissoli vd, 2016</b>          | Petrol Kuyuları Bakım Kulesi Rotalama Problemi                            | Literatür Çalışması  |
| <b>Fernández Pérez vd, 2018)</b> | Petrol Kuyuları Bakım Kulesi Rotalama Problemi                            | Matematiksel Model   |

Literatürde bulunan Teknisyen Çizelgeleme Problemi için yapılmış çalışmalarını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz;

Bir İngiliz Telekom iş gücü çizelgeleme problemi için geliştirilmiş yerel arama algoritması ve hızlı yerel arama algoritmasının sunulduğu çalışmada gerçek verilerle test edilmesiyle her iki algoritmanın da etkinliği, benzetilmiş tavlama, genetik algoritmalar ve kısıt mantık programlaması dahil olmak üzere, şimdiye kadar bu soruna uygulanan tüm metotlardan daha iyi performans gösterdiği gözlenmiştir (Tsang, 1997).

Telekomünikasyon endüstrisinde saha teknisyeni planlama problemine yönelik yapılan çalışmada Açgözlü arama algoritması, yerel arama algoritması ve açgözlü randomize uyarlamalı arama algoritması bir problem örneği üzerinde uygulanmış ve karşılaştırılmıştır. Açgözlü Randomize Adaptif Arama algoritmasının aralarında en etkili olduğunu ancak daha fazla işlem zamanı gerektirdiğini göstermiştir (Xu ve Chiu, 2001).

Bir yürüyen merdiven ve asansör şirketinin koruyucu bakım işlemlerini optimize etmek için operasyon araştırma tekniklerini kullanan coğrafi bilgi sistemi ile entegre bir uygulama öneren çalışmada sezgisel bir algoritma kullanılmıştır (Blakeley vd, 2003).

Evde bakım çalışanlarını etkin ve verimli bir şekilde programlamak için kat edilen mesafeyi en aza indirecek optimizasyon yollarını belirlemek amacıyla yapılan çalışmada çözüm için Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) algoritması kullanılmıştır. Önerilen çözüm literatürden alınan örnek bir çalışma ile karşılaştırılarak test edilmiştir. PSO tabanlı algoritma tüm test problemlerinde anlamlı ve tutarlı bir şekilde daha iyi sonuçlar üretmiştir (Akjiratıkarl vd, 2007).

Büyük bir telekomünikasyon firmasında ortaya çıkan teknisyen ve görev çizelgeleme probleminin çözümü için Uyarlanabilir Büyük Komşuluk Arama sezgiselinin önerildiği çalışma Fransa Operasyonel Araştırmalar Derneği tarafından 2007 yılında yapılan yarışmada ikincilik derecesine sahiptir (Cordeau vd, 2010).

Görevlerin çeşidine göre farklı becerilere sahip teknisyenlerin atandığı İngiliz Telekom işgücü çizelgeleme probleminin işlendiği çalışmada problemi bağımsız alt problemlere bölmenin olası faydaları incelenmiştir (Borenstein vd, 2010).

Altyapı bakım ve onarım servis teknisyeninin yönlendirme ve zamanlama probleminin çözümü için büyük mahalle arama algoritmasının önerildiği çalışmada hem yapay hem de gerçek dünya örnekleri üzerinde yapılan denemelerde kısa hesaplama sürelerinde yüksek kaliteli çözümler elde edildiği gözlenmiştir (Kovacs vd, 2012).

Teknisyen Yönlendirme ve Çizelgeleme probleminin Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi ile ilişkisinin incelendiği ve ilgili araştırmaların gözden geçirildiği çalışmada üç bileşenden oluşan paralel bir metasezgisel önerilmiştir. ZPARP örnekleri üzerindeki metasezgisel denenmiş ve bir dizi Gezgin Satıcı Problemi örneğini başarıyla çözdüğü gözlemlenmiştir (Pillac vd, 2013).

Bir teknisyen yönlendirme ve çizelgeleme probleminde teknisyenlerin ekiplere, ekiplerin görevlere ve ekiplerin günlük rotalara atamalarını, işletme maliyetlerini en aza indirecek şekilde belirlemek amacıyla karma bir tamsayı programı ve bir dal ve fiyat algoritması önerilmiştir. Bu çözüm yaklaşımları, harici bir bakım sağlayıcısından gelen verilerle test edilerek önerilen yaklaşımın, problem örneklerinin çoğunluğunu kabul edilebilir bir süre içinde çözebildiğini görülmüştür (Zamorano ve Stolletz, 2017).

Saha servis teknisyeni planlamasında karmaşıklığı ve belirsizliği doğru yönetmek amacıyla gerçek hayatta karşılaşılan çizelgeleme ve rotalama problemlerinin karmaşık, dinamik ve deterministik yapısının, yayınlanan araç rotalama çözümlerinin gerçek dünya araç rotalama problemlerine uygulanabilirliğini neden kısıtladığının araştırıldığı çalışmada simülasyon modellemenin, yeni sezgisel taramaların ve öngörücü analitiklerin tanımlanmış araştırma boşluklarını nasıl aşabileceğini gösteren bir araştırma gündemi önerilmiştir (Vossing, 2017).

Coğrafi olarak dağıtık bir müşteri ağının önleyici bakımından sorumlu olan bir şirketin Çok Depolu Araç Yönlendirme Sorunu olarak formüle edilen problemin çözümü için sezgisel bir algoritma sunulmuştur (Hadjiconstantinou ve Baldacci, 2018).

Çift yönlü rota senkronizasyonu olarak adlandırılan İki teknisyenin veya evde bakım çalışanın aynı yeri aynı anda ziyaret etmesini gerektiren problemin çözümü için metasezgisel bir yaklaşım önerilmiştir. Yaklaşım literatürdeki problem örnekleri üzerinde test edildiğinde, algoritmanın neredeyse tüm mevcut optimum değerlerle eşleştiği ve birkaç tanesinden daha iyi sonuç ürettiği gözlenmiştir (Parragh ve Doerner, 2018).

Çizelge 2.7. Bakım teknisyeni planlama problemi literatür taraması.

| Yazar Adı ve Yılı                          | Çalışma Konusu                                      | Uygulanan Yöntem    |
|--|---|---------------------|
| <b>Tsang, 1997</b>                         | İş Gücü Çizelgeleme Problemi                        | Sezgisel Model      |
| <b>Xu ve Chiu, 2001</b>                    | Saha Teknisyeni Yönlendirme ve Çizelgeleme Problemi | Sezgisel Model      |
| <b>Blakeley vd, 2003</b>                   | Saha Teknisyeni Yönlendirme ve Çizelgeleme Problemi | Sezgisel Model      |
| <b>Akjiratikarlı vd, 2007</b>              | Evde Bakım Yönlendirme ve Çizelgeleme Problemi      | Sezgisel Model      |
| <b>Cordeau vd, 2010</b>                    | Saha Teknisyeni Yönlendirme ve Çizelgeleme Problemi | Sezgisel Model      |
| <b>Borenstein vd, 2010</b>                 | Saha Teknisyeni Yönlendirme ve Çizelgeleme Problemi | Matematiksel Model  |
| <b>Kovacs vd, 2012</b>                     | Saha Teknisyeni Yönlendirme ve Çizelgeleme Problemi | Sezgisel Model      |
| <b>Pillac vd, 2013</b>                     | Saha Teknisyeni Yönlendirme ve Çizelgeleme Problemi | Sezgisel Model      |
| <b>Zamorano ve Stolletz, 2017</b>          | Saha Teknisyeni Yönlendirme ve Çizelgeleme Problemi | Matematiksel Model  |
| <b>Vossing, 2017</b>                       | Saha Teknisyeni Yönlendirme ve Çizelgeleme Problemi | Literatür Çalışması |
| <b>Hadjiconstantinou ve Baldacci, 2018</b> | Saha Teknisyeni Yönlendirme ve Çizelgeleme Problemi | Sezgisel Model      |
| <b>Parragh ve Doerner, 2018</b>            | Saha Teknisyeni Yönlendirme ve Çizelgeleme Problemi | Metasezgisel Model  |



Literatürde bulunan Coğrafi Olarak Dağıtık Sistemlerin Bakım Planlaması Problemini genel olarak inceleyen makaleleri aşağıdaki gibi özetleyebiliriz;

Binlerce teknisyeni bakım ve onarım hizmeti sağlayabilmek için yollarda olan Schindler Asansör şirketi otomatik olarak bir rota planlama sistemi geliştirebilmek için Çevresel Sistemler Araştırma Enstitüsü'ne (ESRI) başvurmuştur. ESRI, koruyucu bakım işlemlerini optimize etmek için operasyon araştırma tekniklerini kullanan entegre bir coğrafi bilgi sistemi uygulaması hazırlamıştır. Sezgisel tabanlı bir çözüm tekniği kullanarak Schindler'in servis alanlarını yeniden yapılandırmasını ve düzenlemesini sağlamıştır. Bu optimizasyon sistemi yılda 1 milyon dolardan fazla tasarruf sağlamış ve Schindler'in yöneticilerinin işletme geliri konusundaki farkındalığını arttırmıştır (Tang vd, 2007).

Bakım planlama problemi için çeşitli ikili parçacık sürüsü optimizasyon yöntemlerinin analiz edildiği, birbiriyle karşılaştırıldığı çalışmada prognostik bilgileri kullanan durum temelli bakım sistemleri için bir genetik algoritma kullanılmıştır (Camci, 2009).

Bakım maliyetini en aza indirirken üretim sahalarındaki tesislerin kullanılabilirliğini artırmak amacıyla çok sahalı bir yapının modellenmesi için modüler bir yaklaşım önerilen çalışmada durum akışına göre simülasyon, bu çalışmanın ana teması olan dağıtılmış bakım sürecini daha iyi anlaşılabilir olarak depolama bölümünün iyi boyutlandırılmasını bulmayı ve bakım politikasının uygulama maliyetini çok alanlı bağlamda değerlendirmeyi mümkün kılmıştır (Simeu-Abazi ve Ahmad, 2011).

Seyehat edilen şehirlere toplam mesafeden ziyade gecikme fonksiyonlarının toplamını en aza indirmeyi amaçlayan çalışmada gezgin bakımcı problemi yani duruma dayalı bakımın gezgin satıcı problemi ile entegrasyonu ele alınmıştır. Genetik algoritma ve Parçacık Sürüsü Optimizasyonu tabanlı bir çözüm sunulmuştur (Camci, 2014).

Otobüs durakları, transit bir sistemin ayrılmaz unsurlarıdır ve bu nedenle, uygun ve çekici transit işlemleri için verimli kontrol ve bakımları gerekir. Bunu sağlayabilmek için iki aşamalı bir optimizasyon yaklaşımı ile transit durak, muayene ve bakım programlanması sorunu formüle edilmiştir. Çözüm için iki sezgisel algoritma

kullanılmış ve her iki algoritma da gerçek veriler ile test edilerek optimal çözümler elde edilmiştir (Kallioras vd, 2015).

Coğrafi olarak dağıtılmış varlıkların prognostik bilgilerini kullanarak bakımını programlamak için yapılan çalışmada bakım ekibinin günlük çalışma süresini içeren Genetik Algoritma tabanlı bir çözüm sunulmuştur (Camci, 2015).

Önleyici bakım çalışmaları için zaman pencereci araç rotalama probleminin ele alındığı çalışmada değişken komşuluk arama sezgiseli tabanlı matematiksel bir formülasyon önerilmiştir. Yapılan vaka çalışmaları sonucunda değişken komşuluk arama algoritmasının sürekli olarak yüksek performans ürettiğini gözlenmiştir (Dhahri vd, 2015).

Evde bakım, güvenlik ve bakım personelinin programlanması ve yönlendirilmesi problemlerinin çözümü hiper-sezgisel tarama kullanılan çalışmada; deneysel sonuçlar, problemlerin birkaç ortak özelliğe sahip olmasına rağmen, en iyi sonuçtaki çözüme en fazla katkıda bulunan sezgisellerin farklı olduğunu göstermiştir (Misir vd, 2015).

Gizli arızalara maruz kalan coğrafi olarak dağılmış altyapı sistemlerinin periyodik muayene aralıklarını belirlemek için çok aşamalı bir optimizasyon çerçevesi geliştirmek amacıyla yapılan çalışmada öncelikle, sistemin birimleri kümelenme algoritması ile önceden belirlenmiş özelliklere göre gruplara ayrılmış ve çözümü için sezgisel destekli bir doğrusal olmayan bir programlama modeli kullanılmıştır. Önerilen yaklaşım, büyük bir ABD kentinde büyük miktarlarda hidrantların periyodik olarak kontrol edilmesine yönelik olarak uygulanmış ve araştırma sonuçları sürdürülebilir kaynak yönetimi için önemli bir temel oluşturmuştur (Phan ve Zhu, 2015).

Deterministik olmayan hatalara maruz kalan bir dizi coğrafi dağılmış makine için kombine bir bakım ve yönlendirme problemi için iki modeli bir araya getiren Birleşik Bakım ve Yönlendirme Modeli olarak adlandırılan matematiksel bir çözüm yöntemi önerilmiştir. Sonuçlar, önerilen yöntemin, bakım ve yönlendirme modelleri arasındaki

etkileşimi içermeyen çalışma sonuçlarına göre daha iyi bir performans gösterebileceğini göstermektedir (Lopez-Santana vd, 2016).

Spesifik olmayan hatalara maruz kalan coğrafi olarak dağılmış bir dizi bölgede tortu ile ilgili kanalizasyon tıkanıklıklarının önleyici bakımının planlanması ve programlanması problemi için, kombine bakım ve yönlendirme optimizasyon yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yaklaşım bölge başına 100 bakım operasyonunun haftalık olarak planlanması gereken Kolombiya kentindeki operasyon bölgesine uygulanmış önerilen model mevcut bakım planıyla karşılaştırarak, sahaların %90'ında %50'den fazla maliyet tasarrufu elde edilmiştir (Fontecha vd, 2016).

Toplam maliyetin en aza indirgenmesi ve varlıkların kullanılabilirliğinin en üst seviyeye çıkarılması amacıyla coğrafi olarak dağıtılmış varlıkların bakım planlaması probleminin çözümü için Baskın Olmayan Sınıflandırma Genetik Algoritması II olarak adlandırılan çok amaçlı bir metasezgisel yöntem önerilmiştir. Önerilen algoritma bir bakım servis şirketindeki vaka çalışmasını çözmek için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile şirketin optimum bakım planlamasına ulaşmasına yardımcı olan önerilen model ve algoritmanın uygulanabilirliğini ve verimliliğini kanıtlamıştır (Rashidnejad vd, 2018).

Gidilmesi gereken yere geç varma durumunda ceza sisteminin uygulandığı, zaman birimi başına beklenen toplam maliyeti en aza indirmek, önleyici bakım eylemlerinin optimal sıralamasını ve önleyici bakım yapılacak müşteri sırasını belirlemek amacı ile matematiksel bir model geliştirilmiş ve çözümü için genetik bir algoritma sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre öngörülen maliyet oranını en aza indirmenin ekonomik hedefine ulaşmak için optimal yolun güvenilirlik ve bakım hususları nedeniyle değişeceği gösterilmiştir (Jbili vd, 2018).

Saha hizmet operasyonlarında gözlemlenen, çoklu yetenek gereksinimi içeren işgücü rotalama ve çizelgeleme problemi için iki öncelikli amaç fonksiyonu bulunan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Problem boyutu büyüdükçe modelin kabul edilebilir sürede ve kalitede çözüm vermemesi nedeniyle, üç aşamalı bir sezgisel

yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemin etkinliği hem rastgele türetilmiş, hem de gerçekçi veri kümeleri üzerinde gösterilmiştir (Çokay ve Öztamer, 2018).

Çizelge 2.8. Coğrafi olarak dağılmış varlıkların bakım planlaması problemi literatür taraması.

| <b>Yazar Adı ve Yılı</b>           | <b>Çalışma Konusu</b>  | <b>Uygulanan Yöntem</b>                               |
|------------------------------------|--|---|
| <b>Tang vd, 2007</b>               | Bakım Çizelgeleme  | Sezgisel Model  |
| <b>Simeu-Abazi ve Ahmad, 2011)</b> | Bakım Faaliyetlerinin Dağıtılmış Bir Bağlamda Modellenmesi Ve Maliyet Değerlendirmesi  | Simülasyon Modeli                                     |
| <b>Camci, 2014</b>                 | Duruma Dayalı Bakımın, Gezgin Satıcı Problemi ile Entegrasyonu                         | Sezgisel Model  |
| <b>Kallioras vd, 2015</b>          | Transit durak inceleme ve bakım çizelgeleme problemi                                   | Sezgisel Model  |
| <b>Camci, 2015</b>                 | Coğrafi Olarak Dağılmış Varlıkların Bakım Planlaması                                   | Sezgisel Model  |
| <b>Dhahri vd, 2015</b>             | Önleyici Bakım Planlama ile Zaman Pencere Araç Rotalama Probleminin Entegrasyonu       | Sezgisel Model  |
| <b>Misir vd, 2015</b>              | Coğrafi Olarak Dağılmış Varlıkların Bakım Planlaması                                   | Sezgisel Model  |
| <b>Phan ve Zhu, 2015</b>           | Coğrafi Olarak Dağılmış Altyapı Sistemlerinin Periyodik Muayene Aralıklarını Belirleme | Sezgisel Destekli Doğrusal Olmayan Programlama Modeli |
| <b>López-Santana vd, 2016</b>      | Coğrafi Olarak Dağılmış Varlıkların Bakım Planlaması                                   | Matematiksel Model                                    |
| <b>Fontecha vd, 2016)</b>          | Coğrafi Olarak Dağılmış Varlıkların Bakım Planlaması                                   | Matematiksel Model                                    |
| <b>Rashidnejad vd, 2018</b>        | Coğrafi Olarak Dağılmış Varlıkların Bakım Planlaması                                   | Sezgisel Model  |
| <b>Jbili vd, 2018</b>              | Coğrafi Olarak Dağılmış Varlıkların Bakım Planlaması                                   | Sezgisel Model  |
| <b>Çokay Ve Öztamer, 2018</b>      | Ekip Oluşturma, Çizelgeleme ve Rotalama Problemi                                       | Matematiksel Model ve Sezgisel Model                  |

## BÖLÜM 3

### YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI

Yapay Arı Kolonisi Algoritması Derviş Karaboğa tarafından 2005 yılında arıların yiyecek ararken ki hareketlerinden yola çıkılarak tasarlanan bir optimizasyon algoritmasıdır (Karaboğa ve Baştürk, 2007).

Arılar yaşam süreleri boyunca en iyi bal ile en kısa sürede kovanlarını doldurmaya çalışırlar; bunu yaparken en az enerjiyi harcamaları; en verimli çiçekleri en kısa sürede tespit etmeleri gerekir. Dışarıda gördüğümüz arıların bal toplama esnasında; besin kaynakları, görevli işçi arılar ve görevsiz işçi arılar olmak üzere üç temel bileşeni vardır;

Besin Kaynakları; Arıların bal üretmek için özleri topladığı kaynaklardır. Kaynağın değeri; kaynakların kovana yakınlığı, kaynaktaki özün kalitesi, kaynaktaki özü çıkarmanın kolaylığı gibi değişkenlerle ölçülür (Karaboğa ve Baştürk, 2007).

Görevli Arılar: Yiyecek kaynaklarını bulmuş ve buldukları kaynaktan memnun olan arılar kovanlarına gelip ballarını bıraktıktan sonra kovanlarındaki; kendi kaynaklarından memnun olmayan diğer arılara belirli hareket ve davranışlar kullanarak bilgi verip kaynağa yönelmesini sağlarlar. Verilen bilgide; yiyecek kaynağının konumu (istikamet, mesafe) ve aroma bilgisi yer alır.

Görevsiz Arılar: Hangi yiyecek kaynağına gidecekleri belli olmayan arılardır. Bu arıları da Gözcü Arılar ve Kâşif Arılar olmak üzere kendi içinde iki gruba ayırabiliriz. Kâşif Arılar; henüz hiç ziyaret edilmemiş yeni kaynaklar arayan arılardır. Gözcü arılar ise kovanda bekleyerek görevli arılardan aldıkları bilgiler doğrultusunda besin kaynaklarına yönelen arılardır.

Arı kovanlarının bilgi paylaşımı açısından en önemli kısmı dans alanlarıdır. Bu alanda davranış ve hareketler ile gerçekleştirdiği dans aracılığı ile diğer arılara bilgi aktarırlar. Bir arı kovandaki dansları izleyerek içlerinden kendisi için hangisinin kendisi için daha karlı olacağını seçimini yapabilir. Arı besin kaynağını bulduktan sonra kendi yeteneğini kullanarak kaynağın yerini ezberler. Kaynaktan aldığı özü kovana getirerek buraya boşaltır. Eğer bulduğu besin kaynağından memnunsu kovan ve besin kaynağı arasında gidip gelir. Besin kaynağının bilgilerini kovandaki diğer arılar ile paylaşır. Bulduğu besin kaynağından memnun değilse daha zengin besin kaynağı arayışına devam eder. Arılar bu işlemleri yaparken dengeyi sağlayabilmek için dayandıkları dört temel özellik aşağıdaki gibidir;

**Pozitif Geri Besleme:** Besin kaynağındaki özün kalitesi arttıkça kaynağı ziyaret eden arı sayısı da artar.

**Negatif Geri Besleme:** Besin kaynağı tükenmeye başlayınca kaynağı ziyaret eden arı sayısı da giderek azalır.

**Dalgalanmalar:** Kâşif arılar yeni besin kaynaklarını keşfetmek için rastgele bir arama süreci yürütürler.

**Çoklu Etkileşimler:** Arılar besin kaynakları hakkındaki bilgilerini dans alanındaki yuva arkadaşlarıyla paylaşırlar (Karaboğa, 2014).

### **3.1. YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI**

Yapay arı kolonisi algoritmasında bazı kabuller vardır; kâşif arı, gözcü arı ve işçi arı olmak üzere 3 grup arı bulunmaktadır. Her bir besin kaynağındaki özü almak için sadece bir işçi arı görevlidir. Yani besin kaynağı sayısı işçi arı sayısına eşittir. Bir diğer kabul işçi arıların sayısının gözcü arıların sayısına eşit olduğudur (Karaboğa ve Akay, 2007).

İşçi arılar besin kaynaklarındaki besin tükenene kadar kovanlarına besin taşıma işlemini sürdürürler. İşçi arılar kovandaki gözcü arılara buldukları besin kaynağı ile ilgili bilgileri aktarırlar. Kaynaktaki besin tükendiğinde işçi arılar yeniden gözcü arıya dönüşerek besin kaynağı aramaya devam ederler (Karaboğa ve Baştürk, 2007).

- İşçi arılar, hafızalarında besin kaynağının bulunduğu mahallede bir besin kaynağı belirler.
- İşçi arılar, kovadaki izleyenlerle bilgilerini paylaşırlar ve ardından izleyiciler besin kaynaklarından birini seçerler.
- Gözcü arılar kendi seçtikleri yiyecek kaynaklarının etrafından bir yiyecek kaynağı seçerler.
- Kaynağı terk edilmiş işçi arı kaşif arı olur ve rastgele yeni bir besin kaynağı aramaya başlar. Algoritmanın ana adımları aşağıda verilmiştir:

1. Başlangıç besin kaynağı bölgelerinin rastgele bir şekilde oluşturulması, Tekrarla
2. İşçi arılan besin kaynaklarına gönderilmesi ve buradaki nektar miktarının hesaplanması,
3. Gözcü Arıların Olasılık Değerleri İçinden Seçim Yapması
4. Kâşif arıların yeni kaynaklar bulabilmesi için rastgele gönderilmesi, Gezilen kaynaklar arasında en verimli, zengin olanın hafızada tutulması, diğerinin terk edilmesi,

Devam et, (durma kriteri sağlanana kadar)

*Başlangıç Besin Kaynağı Bölgelerinin Rastgele Bir Şekilde Oluşturulması;* Besin kaynaklarının konumları ABC Algoritması için arama uzayını ifade eder, algoritma aşağıdaki formülasyonu kullanarak besin kaynakları ve bu besin kaynaklarına uygun pozisyonların üretilmesi ile işleme başlar.

$$x_{ij} = x_j^{min} + \text{rand}(0,1)(x_j^{max} - x_j^{min}) \quad (3.1)$$

$X_{ij}$ : i. kaynağın j. pozisyonunu ifade eder,  $i = \{1, 2, \dots, SN\}$  ve  $j = \{1, 2, \dots, D\}$ ;

SN: popülasyon büyüklüğünü, D toplam pozisyon sayısını temsil eder.

$x_j^{max}$  ve  $x_j^{min}$  pozisyonların alt ve üst sınırlarını ifade eder,

rand(0,1): 0 ile 1 arasında rasgele üretilmiş bir sayıdır (Karaboğa, 2014).

*İşçi arılan besin kaynaklarına gönderilmesi ve buradaki nektar miktarının hesaplanması;* Başlangıç besin kaynakları belirlendikten sonra işçi arılar tarafından

belirlenen besin kaynaklarının araştırılması aşaması başlar. İşçi arılar belirlenen besin kaynakları ile ilgili pozisyon ve kalite bilgisini hafızalarında tutarlar. Sonrasında ise ilk denklem ile belirlenmiş olan besin kaynaklarına komşu besin kaynaklarını belirlerler. Komşu besin kaynağının kalitesi kendi hafızasındaki belirlenen ilk kaynağı ile karşılaştırarak hangisi kendisi için daha karlı ise ona yönelerek diğerini hafızasında siler. Bu işlem denklem 3.2 kullanarak gerçekleştirilir (Karaboğa, 2014).

$$v_{ij} = x_{ij} + \emptyset_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (3.2)$$

$v_{ij}$ : yeni besin kaynağını temsil eder,

$\emptyset_{ij}$ : -1 ile 1 arasında rastgele üretilmiş rastgele bir sayıdır,

$x_k$ : bulunan komşu kaynağın çözüm değerini ifade eder,

Var olan besin kaynağı ile komşu besin kaynağı çözüm değerinin j. değişkenleri arasındaki fark  $\emptyset_{ij}$  sayısı ile çarpıldıktan sonra mevcut kaynağın çözümüne eklenerek  $v_{ij}$  değeri bulunur (Karaboğa, 2014).

$v_{ij}$  değeri; tanımlanan limitleri aştığı durumda denklem 3.3 gösterilen alt veya üst sınıra eşitlenir;

$$v_{ij} = \begin{cases} x_j^{min}, & v_{ij} < x_j^{min} \\ v_{ij}, & x_{ij}^{min} \leq v_{ij} \leq x_j^{max} \\ x_j^{max}, & v_{ij} > x_j^{max} \end{cases} \quad (3.3)$$

Bulunan besin kaynağının kalitesi hesaplanarak denklem 3.4' e göre bir uygunluk değeri atanır;

$$fitness_i = \begin{cases} 1/(1+f_i), & f \geq 0 \\ 1 + abs(f_i), & f < 0 \end{cases} \quad (3.4)$$

$f_i$  değeri bulunan komşu besin kaynağının yani  $v_i$  çözümünün maliyet değeridir. Mevcut besin kaynağı ( $x_i$ ) ile bulunan komşu besin kaynağı ( $v_i$ ) arasında açgözlü (greedy) seçim işlemi uygulanır.



$v_i$  değeri  $x_i$  değerinden daha iyi ise işçi arı  $x_i$  kaynağını hafızasından silerek yeni bulmuş olduğu  $v_i$  kaynağını hafızaya alır. Bu durumda geliştirememeye sayacı (failure  $i$ ) sıfırlanır. Tam tersi olduğu durumda ise arı  $x_i$  besin kaynağına gitme işlemini sürdürür ve geliştirememeye sayacını bir arttırır.

Gözcü Arıların Olasılık Değerleri İçinden Seçim Yapması; Gözcü arılar kovana dönen işçi arıların ortak dans alanlarında çeşitli danslar aracılığı ile yaptığı bilgi aktarımı sayesinde kendileri için en verimli buldukları kaynak doğrultusunda seçim işlemi yapmaktadırlar. Bu seçme işlemi algoritmada besin kaynağındaki nektar miktarına karşılık gelen uygunluk değeri baz alınarak; rulet çarkı (tekerleği) prensibi kullanılarak yapılır. Formülasyonu denkle 3.5 gibidir;

$$P_i = \text{fitness}_i / \sum_j^{SN} \text{fitness}_j = 1 \quad (3.5)$$

Bu durumda besin kaynağının uygunluk değeri arttıkça gözcü arıların da bu bölgeyi seçme oranı artacaktır.

SN: popülasyon büyüklüğünü simgelemektedir (Akay, 2009).

Gözcü Arıların Gidecekleri Yiyecek Kaynaklarının Belirlenmesi; Gözcü Arı Rulet çarkı kullanılarak belirlenen besin kaynaklarına giderek yeni besin kaynakları bulmaya çalışır. Bu aşamada denklem 3.2 ile gösterdiğimiz işçi arıların kullandığı denklemden yararlanır. Yeni bulunan çözüm değerlendirilir (kalite açısından) eski çözüm ile karşılaştırılarak en iyi olan seçilir (açgözlü seleksiyon). Bulunan en iyi çözüm yeni çözüm ise eski değer hafızadan silinerek yeni değer hafızaya alınır geliştirememeye sayacı sıfırlanır. Eski değer yeni değerden daha iyi ise hafızada tutularak sayaç değeri bir artırılır (Karaboğa, 2014).

*Kaşif arıların yeni kaynaklar bulabilmesi için rastgele gönderilmesi, Gezilen kaynaklar arasında en verimli, zengin olanın hafızada tutulması, diğerinin terk edilmesi, çözüm geliştirememeye sayacının gösterdiği değer besin kaynağının bitip bitmediğini anlamak için kullanılır. Sayaç belirli bir değer üstünü gösteriyorsa; besin kaynağı artık bitmiş anlamına gelir ve buradaki işçi arı tarafından bırakılarak yeni*

kaynaklar aramaya başlanır. Bu durumda işçi arı yeniden kâşif arı durumuna dönüşmüştür. Limit olarak adlandırılan; arının kaynağı terk edip etmediğini belirlemek için kullanılan eşik değeri algoritmada önemli bir kontrol parametresidir.

Genel olarak ABC algoritması esnek bir algoritmadır. İçeriden veya dışarıdan gelebilecek herhangi bir olumsuzluğa karşı cevap üretebilir. Parametre sayısı az ve daha pratik bir yöntem olduğundan dolayı bu çalışmada ABC algoritması kullanılmıştır.

### **3.2. TAGUCHI DENEY TASARIMI**

Taguchi 'nin teknikleri mühendislik tasarımında yaygın olarak kullanılmaktadır (Ross 1996 & Phadke 1989). Taguchi'nin deney tasarımına yönelik yaklaşımı, sınırlı istatistik bilgisine sahip kullanıcılar için benimsenmesi ve uygulanması kolaydır; bu nedenle mühendislik ve bilimsel çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Taguchi, varyasyonu ortadan kaldırmak için en iyi fırsatın bir ürünün tasarımı ve üretim süreci sırasında olduğunu tespit ederek her iki bağlamda da kullanılabilen kaliteli mühendislik için bir strateji geliştirmiştir.

Taguchi tasarım yönteminde sonuçlar Sinyal / Gürültü (S/N) oranı sonucuna göre değerlendirilmektedir. Sinyal / Gürültü oranı değeri; nominal değer iyi, büyük değer iyi ve küçük değer iyi olmak üzere kalite değerinde hedeflenen değere göre üç farklı şekilde bulunarak analiz edilebilir. Sonuçlar arasından en yüksek S/N değerine sahip değer en iyi deney sonucu olarak kabul edilir (Savaşkan vd, 2004).

Taguchi Sistem Tasarımı, Parametre Tasarımı ve Tolerans Tasarımı olmak üzere üç durum belirlemiştir: (Karna ve Sahai, 2012).

#### **3.2.1. Sistem Tasarımı**

Sistem tasarımı, bir başlangıç nominal koşullar kümesi altında çalışacak bir sistemin geliştirilmesini içerir. Sistem tasarımı, bilim ve mühendisliğin teknik bilgisini

gerektirir. Elde bulunan tüm materyaller değerlendirilerek ve teknolojik yenilikler araştırılarak kullanılabilirliği üzerine çalışmalar yapılır. Tasarımın ilk adımındır.

### **3.2.2. Parametre Tasarımı**

Sistem mimarisi seçildikten sonra, bir sonraki adım parametre tasarımıdır. Buradaki amaç, kontrol edilebilir sistem parametreleri için optimum seviyelerin seçilmesidir, öyle ki ürün işlevseldir, çok çeşitli koşullar altında yüksek seviyede performans sergiler ve değişkenliğe neden olan gürültü faktörlerine karşı dayanıklıdır. Gürültü faktörleri, kontrol edilemeyen veya kontrol edilmesi çok pahalı olan faktörlerdir. Kontrol faktörleri, ayarlanabilen ve korunabilen parametrelerdir (tasarım özellikleri). İlk uygulanabilir tasarım bulunana kadar tasarım parametrelerini birer birer veya deneme yanılma yoluyla incelemek, tasarım optimizasyonuna yönelik yaygın bir yaklaşımdır (Phadke, 1989).

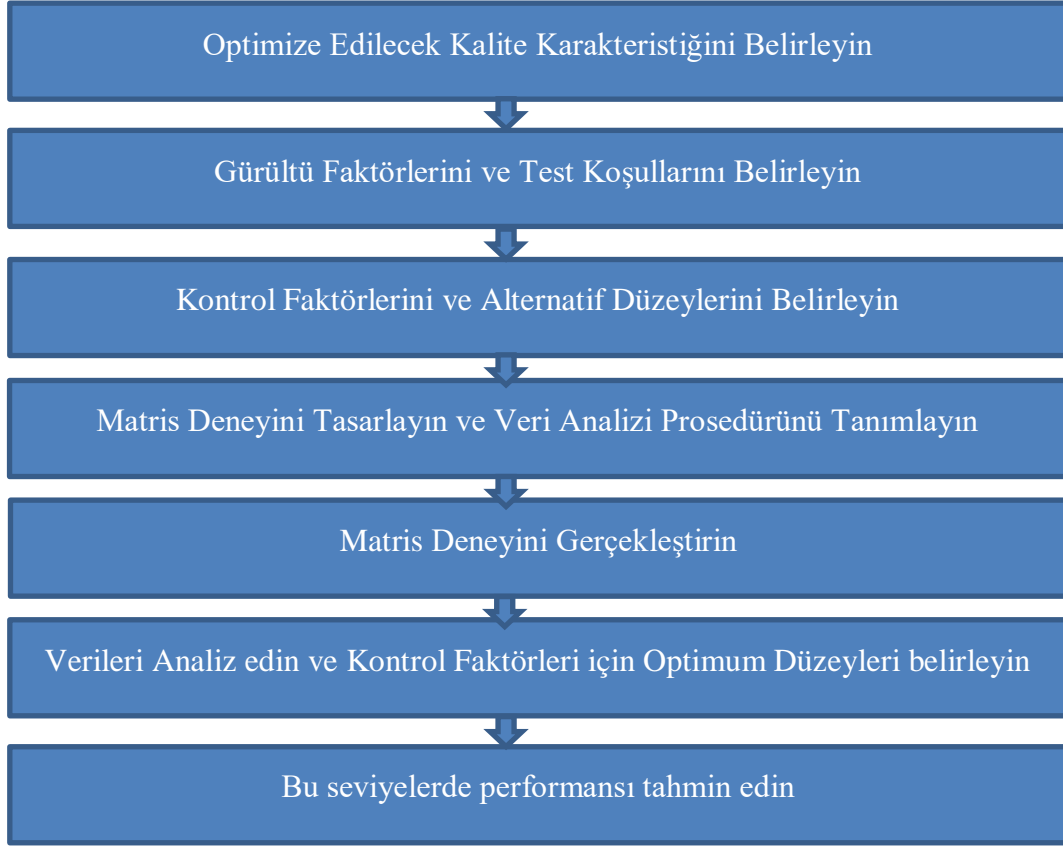
### **3.2.3. Tolerans Tasarımı**

Çıktı değişimini azaltmak için parametre tasarımı yeterli olmadığında, son aşama tolerans tasarımıdır. Varyasyonları çıktı varyasyonu üzerinde büyük bir olumsuz etki yaratan tasarım faktörleri için daha dar tolerans aralıkları belirtilmelidir. Bu daha sıkı spesifikasyonları karşılamak için genellikle daha iyi ve daha pahalı bileşenlere ve işlemlere ihtiyaç vardır. Bu nedenle tolerans tasarımı, üretim ve işletme maliyetlerini artırır (Phadke, 1989).

### **3.2.4. Sinyal / Gürültü Oranı**

Deney tasarımında performans kriteri olarak kullanılmak üzere “sinyal / gürültü oranı” olarak adlandırılan kriter tanımlanmıştır.

### 3.2.5. Taguchi Metodu Akış Diyagramı



Şekil 3.1. Taguchi metodu akış diyagramı.

Ortogonal dizide “P” harfi parametre sayısını, “S” harfi seviye sayısını, “L” harfi ortogonal dizini, “L” harfinin yanındaki rakam ise öngörülen deney sayısını göstermektedir.

Çizelge 3.1. Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu.

|                  |  | SEVİYE SAYISI |     |           |     |           |     |           |     |
|------------------|--|---------------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|
|                  |  | 2             |     | 3         |     | 4         |     | 5         |     |
| PARAMETRE SAYISI |  | P=2, S=2      | L4  | P=2, S=3  |     | P=2, S=4  |     | P=2, S=5  |     |
|                  |  | P=3, S=2      |     | P=3, S=3  | L9  | P=3, S=4  |     | P=3, S=5  |     |
|                  |  | P=4, S=2      |     | P=4, S=3  |     | P=4, S=4  | L16 | P=4, S=5  | L25 |
|                  |  | P=5, S=2      |     | P=5, S=3  |     | P=5, S=4  |     | P=5, S=5  |     |
|                  |  | P=6, S=2      | L8  | P=6, S=3  |     | P=6, S=4  |     | P=6, S=5  |     |
|                  |  | P=7, S=2      |     | P=7, S=3  | L18 | P=7, S=4  |     | P=7, S=5  |     |
|                  |  | P=8, S=2      |     | P=8, S=3  |     | P=8, S=4  | L32 | P=8, S=5  |     |
|                  |  | P=9, S=2      |     | P=9, S=3  |     | P=9, S=4  |     | P=9, S=5  |     |
|                  |  | P=10, S=2     |     | P=10, S=3 |     | P=10, S=4 |     | P=10, S=5 | L50 |
|                  |  | P=11, S=2     | L11 | P=11, S=3 |     |           |     | P=11, S=5 |     |
|                  |  | P=12, S=2     |     | P=12, S=3 | L27 |           |     | P=12, S=5 |     |
|                  |  | P=13, S=2     |     | P=13, S=3 |     |           |     |           |     |
|                  |  | P=14, S=2     |     | P=14, S=3 |     |           |     |           |     |
|                  |  | P=15, S=2     | L16 | P=15, S=3 |     |           |     |           |     |
|                  |  | P=16, S=2     |     | P=16, S=3 |     |           |     |           |     |
|                  |  | P=17, S=2     |     | P=17, S=3 |     |           |     |           |     |
|                  |  | P=18, S=2     |     | P=18, S=3 |     |           |     |           |     |
|                  |  | P=19, S=2     |     | P=19, S=3 | L36 |           |     |           |     |
|                  |  | P=20, S=2     |     | P=20, S=3 |     |           |     |           |     |
|                  |  | P=21, S=2     |     | P=21, S=3 |     |           |     |           |     |
|                  |  | P=22, S=2     |     | P=22, S=3 |     |           |     |           |     |
|                  |  | P=23, S=2     |     | P=23, S=3 |     |           |     |           |     |
|                  |  | P=24, S=2     | L32 |           |     |           |     |           |     |
|                  |  | P=25, S=2     |     |           |     |           |     |           |     |
|                  |  | P=26, S=2     |     |           |     |           |     |           |     |
|                  |  | P=27, S=2     |     |           |     |           |     |           |     |
|                  |  | P=28, S=2     |     |           |     |           |     |           |     |
|                  |  | P=29, S=2     |     |           |     |           |     |           |     |
|                  |  | P=30, S=2     |     |           |     |           |     |           |     |
|                  |  | P=31, S=2     |     |           |     |           |     |           |     |

Bu çalışmaya ait olan değerlere göre; dört parametre (P=3) ve dört seviye (S=3) içeren bir çalışma (P=3, S=3), “L9” ortogonal dizine denk geldiği için 9 adet deney gerçekleştirmenin yeterli olacağı ortaya çıkmaktadır.

## BÖLÜM 4

### COGRAFI OLARAK DAĞITIK SİSTEMLERİN BAKIMI VE ROTALANMASI: İSKİ TERFİ MERKEZLERİ (POMPA İSTASYONLARI) UYGULAMASI

Entegre bakım planlama ve rotalama problemi için şehre su pompalayan terfi istasyonları; birçok farklı noktada bulunması sebebi ile iyi bir örnek oluşturur.

Terfi istasyonların bakım süreleri birbirinden farklılık gösterir, çünkü istasyonlardaki bakım yapılacak ekipman sayısı birbirinden farklıdır. En kısa sürede en iyi hizmeti verebilmek için terfi istasyonları için en optimum rota dahilinde hareket edilmelidir.

Bu çalışmada Python yazılımı ile kodlanmış Yapay Arı Kolonisi Algoritması kullanılarak periyodik bakım çizelgeleme çalışması yapılmıştır.

#### 4.1. İSTANBUL SU VE KANALİZASYON İDARESİ (İSKİ)

İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ), 1981 yılında kurularak 1984 yılında İstanbul Büyükşehir Belediyesi' nin himayesi altına alınmıştır. İçme suyu temini, atık suların toplanarak arıtılması ve uzaklaştırılması, derelerin ıslah edilmesi, su havzalarının korunması İSKİ bünyesinde yapılan işlerdir.

İstanbul'daki su kaynaklarının %98'i yüzeysel su kaynağıdır. Baraj ve doğal göl alanlarında yağışlardan gelen sular birikerek içme suyu arıtma tesislerine regülatörler aracılığı ile ulaştırılır.

İstanbul'un su ihtiyacını karşılayan;

- 1 doğal göl,
- 8 adet baraj,
- 8 regülatör ve bentler olmak üzere



İçme suyu terfi sistemlerinin toplam kurulu gücü 308.805 kVA ve yıllık tüketilen enerji miktarı ortalama 757 milyon 805 bin 995 kWh'dır.

Kaynaklardan gelen su; arıtma tesisinden terfi merkezlerine sonrasında su depolarına ve son olarak da şebekeler üzerinden musluklarımıza iletilir. Kaynaktan musluğa kadar olan bu süreçte ana unsur elektrik ile çalışan motorlar ve pompa sistemleridir. Terfi istasyonu suyu veya atık suyu pompalamak için gerekli olan pompa, vana, çekvalf ve elektrik yönetim panosundan oluşur.



Şekil 4.2. Terfi istasyonu yakından görünüm 1.





Şekil 4.3. Terfi istasyonu yakından görünüm 2.

Şehrin su ihtiyacını kesintisiz bir şekilde karşılama noktasında ilgili sistemlerin bakımı çok önemlidir. Bakımların en ideal biçimde planlanması ile olası büyük arızaların önüne geçilebilir ve buna bağlı olarak mali kayıpların en az düzeyde gerçekleşmesi sağlanabilir.

#### **4.1.2. Terfi Merkezlerinin Bakımı**

Terfi merkezlerinin bakım işlemleri mevcut durumda arızaya göre şekillenmektedir. Arıza bildirimini terfi merkezlerinde bulunan makinistler tarafından terfi merkezi şeflerine onlardan da Avrupa Terfi Merkezi Şube Müdürü Teknik İşler Bakım Şefi'ne telefon, ya da e-mail aracılığı ile bildirilir. Arızaya müdahale için de aciliyet ve arızanın büyüklüğü göz önünde bulundurularak bir bakım planı oluşturulur.

##### **4.1.2.1. Bakım Personelleri ve Araç Bilgileri**

Mevcut durumda; bakım ekibi yapılacak bakımın türüne göre elektrik ve mekanik olmak üzere iki ayrı gruptan oluşmaktadır. Bakım ekibinin dağılımı aşağıdaki gibidir;

- Mekanik ekibi: 8 kişi

- Elektrik ekibi: 8 kişi

Bakım ekibi çalışma saatleri;

- 08:00-17:00 arasındadır.

Bakım ekibi dışında terfi merkezlerinde makinistler bulunmaktadır. Terfi Merkezlerindeki makinistlerin çalışma saatleri;

- 08:00-16:00
- 16:00-24:00
- 24:00-08:00 olmak üzere üç vardiya şeklindedir.

Periyodik bakım kapsamında yapılacak işlemlerin türü gereği hem mekanik ekibinden hem de elektrik ekibinden kişiler bulunmalıdır.

Araç sayısı;

- 1 adet Jeneratör aracı
- 4 adet Kango
- 2 adet 4\*4
- 3 adet Kamyonet
- 1 adet Kablo tamir ve test aracı

Olmak üzere toplamda 11'dir ve 8 kişilik bir şoför kadrosu mevcuttur.

#### **4.1.2.2. Periyodik Bakım Kapsamında Yapılacak İş Listesi**

Yapılması gereken işler 7 ana başlık halinde toplanmış 54 kalemden oluşmaktadır. Mevcut durumda periyodik bakımların süreleri ve hangi ekip ya da ekipler tarafından yapılması gerektiği izelge 4.1-4.3'te detaylı olarak verilmiştir. Bilgiler bakım şeflerinden ortalama süre olarak alınmıştır.

Çizelge 4.1. Periyodik bakım tablosu 1.

| PERİYODİK BAKIM TABLOSU        |   |                  |                         |         |          |
|--------------------------------|---|------------------|-------------------------|---------|----------|
| MOTOR VE POMPA GENEL BAKIMLARI |   |                  |                         |         |          |
| Sıra No                        | Yapılacak İşler   | Dönemi/P eriyodu | Bakım Yapılacak Ekipman | EKIP1   | EKIP2    |
| 1                              | Elektrik motoru ve pompanın genel temizliğinin yapılması.   | Ay               | Pompa                   | Mekanik | Elektrik |
| 2                              | Elektrik motorunun soğutma sistemi kontrolü.  | Ay               | Pompa motoru            | Mekanik |          |
| 3                              | Elektrik motorunun varsa fırça kaldırma sisteminin kontrolü (fırça bileziklerinin durumu, kısa devre bilezik ve kontakların tetkik edilmesi ve sistemin fonksiyonel kontrolü) | Ay               | Pompa motoru            | Mekanik | Elektrik |
| 4                              | Elektrik motorlarının yol verme sisteminin kontrolü   | Ay               | Pompa motoru            |         | Elektrik |
| 5                              | Elektrik motoru ve pompanın yatak(rulman) yağlarının kontrolü ve tamamlanması   | Ay               | Pompa motoru            | Mekanik |          |
| 6                              | Pompa salmastralarının kontrolü   | Ay               | Pompa                   | Mekanik |          |
| 7                              | Pompa üzerindeki ekipmanın kontrolü (hava alma tesisatı, sargı sıcaklık bağlantıları vb.)   | Ay               | Pompa                   | Mekanik | Elektrik |
| 8                              | Elektrik motorunun enerji ve kumanda kablolarının kontrolü (yaşlanması, sıcaklığı, bağlantı gevşemesi vb)   | 3 Ay             | Pompa motoru            |         | Elektrik |
| 9                              | Motor ve pompa titreşimlerinin kontrolü   | 3 Ay             | Pompa                   | Mekanik |          |
| 10                             | Sargı ısıtıcılarının fonksiyon testi  | 6 Ay             | Pompa                   |         | Elektrik |
| 11                             | Motopomp şase bağlantılarının kontrolü  | 6 Ay             | Pompa                   | Mekanik |          |
| 12                             | Motopomp ses seviyesi (db)  | 6 Ay             | Pompa                   | Mekanik |          |
| 13                             | Motor sargı dirençlerinin ve sargı yalıtımının ölçülmesi  | 1 Yıl            | Pompa                   |         | Elektrik |

Çizelge 4.2. Periyodik bakım tablosu 2.

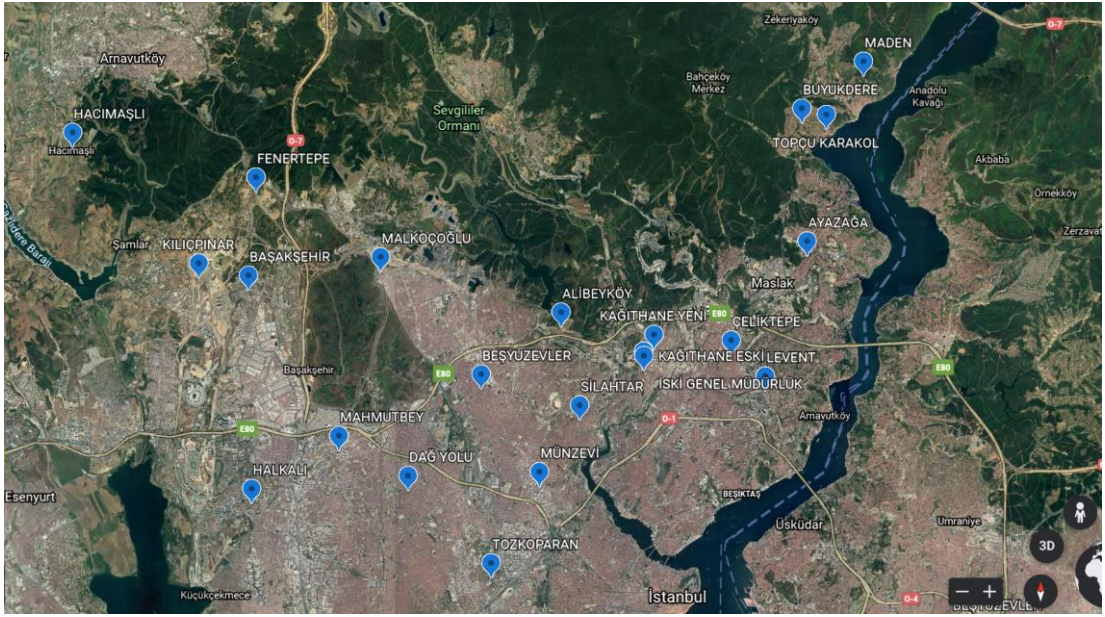
| PERİYODİK BAKIM TABLOSU                   |   |       |       |         |          |
|---|---|-------|-------|---------|----------|
| MOTOR VE POMPA TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİ         |   |       |       |         |          |
| 14  | Motor ve pompa titreşim ölçümleri                                 | 3 Ay  | Pompa | Mekanik |          |
| VANA VE ÇEKVALF GENEL BAKIMLAR            |   |       |       |         |          |
| 15  | Vana ve çekvalflerin durum tespitinin yapılması                   | Ay    | Pompa | Mekanik |          |
| 16  | Vana ve çekvalflerin mil ve bağlantılarının sızdırmazlık kontrolü | Ay    | Pompa | Mekanik |          |
| 17  | Vana aktüatörlerinin durumu                                       | Ay    | Pompa | Mekanik | Elektrik |
| 18  | Vana kontrol bağlantılarının kontrolü                             | 3 Ay  | Pompa | Mekanik |          |
| 19  | Vanalarının dişli kutusunun durumu                                | 3 Ay  | Pompa | Mekanik | Elektrik |
| TRAFO TOPRAK ÖLÇÜMLERİ VE GENEL BAKIMLARI |   |       |       |         |          |
| 20  | Trafoaların çevre temizliğinin yapılması                          | Ay    | Trafo |         | Elektrik |
| 21  | Yağ seviyelerinin kontrolü, eksik yağın tamamlanması              | Ay    | Trafo |         | Elektrik |
| 22  | Varsa otomatik kademe şalterinin durumu (soğutma yağının durumu)  | Ay    | Trafo |         | Elektrik |
| 23  | Trafo üzerindeki ölçü, koruma ve kontrol teçhizatının kontrolü    | Ay    | Trafo |         | Elektrik |
| 24  | Trafo odası havalandırma sistemi kontrolü (kapalı saha)           | Ay    | Trafo |         | Elektrik |
| 25  | ISG levhalarının kontrolü   | Ay    |       |         | Elektrik |
| 26  | Trafo üzerindeki bağlantıların termal kontrolü                    | 6 Ay  | Trafo |         | Elektrik |
| 27  | Trafo yağ testlerinin yaptırılması                                | 1 Yıl | Trafo |         | Elektrik |
| 28  | Trafo üzerindeki rölelerin fonksiyon testi                        | 1 Yıl | Trafo |         | Elektrik |

Çizelge 4.3. Periyodik bakım tablosu 3.

| PERİYODİK BAKIM TABLOSU  |  |      |                 |         |          |
|--|--|------|-----------------|---------|----------|
| AG VE YG PANOLARIN GENEL BAKIMLARI VE TOPRAK ÖLÇÜMLERİ             |  |      |                 |         |          |
| 29   | Pano üzerindeki ölçü aletlerinin çalışma durumu  | Ay   | Elektrik panosu |         | Elektrik |
| 30   | Pano içi kablo bağlantılarının çalışma durumu  | Ay   | Elektrik panosu |         | Elektrik |
| 31   | AG ve YG kesicilerin genel durumları   | Ay   | Elektrik panosu |         | Elektrik |
| 32   | Pano odaları İSG levhalarının kontrolü   | Ay   | Elektrik panosu |         | Elektrik |
| 33   | Pano üzerindeki kumanda ve kontrol elemanlarının genel durumu ve çalışma kontrolü          | 3 Ay | Elektrik panosu |         | Elektrik |
| 34   | Kesici ve şalter bağlantılarının ısı kontrolü (termal kamera)                              | 6 Ay | Elektrik panosu |         | Elektrik |
| 35   | AG ve YG bütün kabloların bağlantı noktalarının ısı durumlarının ölçülmesi (termal kamera) | 6 Ay | Elektrik panosu |         | Elektrik |
| 36   | Pano ısıtıcılarının fonksiyon testinin yapılması   | 6 Ay | Elektrik panosu |         | Elektrik |
| KONDANSATÖR, AKÜ, REDRESÖR, KOMPRESÖR VE KABLOLARI GENEL BAKIMLARI |  |      |                 |         |          |
| 37   | Kondansatörlerin genel durumunun tespiti   | Ay   | Kondansatör     |         | Elektrik |
| 38   | Kondansatörlerin kabloların bağlantı kontrolünün yapılması                                 | 3 Ay | Kondansatör     |         | Elektrik |
| 39   | DC sistemler kablo bağlantılarının kontrol edilmesi  | Ay   | Kablo           |         | Elektrik |
| 40   | Redresör üzerindeki ekipmanın fonksiyon kontrolü   | 3 Ay | Redresör        |         | Elektrik |
| 41   | Kompresörün test çalışması   | Ay   | Kompresör       |         | Elektrik |
| 42   | Hava tankı üzerindeki teçhizatın (seviye göstergesi, manometre vb. kontrolü )              | Ay   | Hava tankı      | Mekanik |          |
| 43   | Kompresör kontrol panosu ve üzerindeki teçhizatın çalışma testleri                         | 3 Ay | Kompresör       |         | Elektrik |
| İÇ VE DIŞ AYDINLATMA SİSTEMLERİ KONTROLÜ VE GENEL BAKIMLARI        |  |      |                 |         |          |
| 44   | İç aydınlatma lambaların fonksiyon testleri  | Ay   | Genel           |         | Elektrik |
| 45   | İç aydınlatma arızalı lambaların değiştirilmesi  |      | Genel           |         | Elektrik |
| 46   | İç aydınlatma arızalı armatürlerin değişimi  |      | Genel           |         | Elektrik |
| 47   | İç aydınlatma panolarının kontrolü   |      | Genel           |         | Elektrik |
| 48   | İç aydınlatma besleme kablolarının kontrolü  |      | Genel           |         | Elektrik |
| 49   | Dış aydınlatma lambaların fonksiyon testleri   | Ay   | Genel           |         | Elektrik |
| 50   | Dış aydınlatma arızalı lambaların değiştirilmesi   |      | Genel           |         | Elektrik |
| 51   | Dış aydınlatma panolarının kontrolü  |      | Genel           |         | Elektrik |
| 52   | Dış aydınlatma direklerinin kontrolü   |      | Genel           |         | Elektrik |
| 53   | Dış aydınlatma besleme kablolarının kontrolü   |      | Genel           |         | Elektrik |
| 54   | Terfi merkezi tüm topraklama sisteminin kontrolü   | 6 Ay | Genel           |         | Elektrik |

### 4.1.2.3. Çalışmanın Kapsadığı Bölge

Avrupa yakasında bulunan 61 terfi merkezi İSKİ tarafından Avrupa I. Ve Avrupa II. olmak üzere 2 bölge halinde ayrılmıştır. Avrupa I. Bölgede 21, Avrupa II. Bölgede ise 40 terfi merkezi bulunmaktadır. Çalışma Avrupa I. Bölge kapsamında bulunan terfi merkezlerini kapsayacaktır. Bu 21 merkezin harita üzerindeki konumları Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. Avrupa I. bölge terfi istasyonları.

Terfi merkezlerindeki pompa sayıları sabit değildir. Terfi merkezinin kapasitesine göre pompa adetleri değişkenlik göstermektedir. Terfi merkezinde bulunan pompa sayısı; bakım süresi uzunluğu pompa sayısının artması ile doğru orantılı olarak artacağından bizim için önemli bir husustur. Çizelge 4.4.'te terfi merkezi ismi ve mevcut pompa sayısı bilgisi verilmiştir.

Çizelge 4.4. Avrupa I. bölge terfi merkezleri ve mevcut pompa adetleri.

| TERFİ MERKEZİ    | POMPA SAYISI | TERFİ MERKEZİ  | POMPA SAYISI |
|------------------|--------------|----------------|--------------|
| ALİBEYKÖY BARAJI | 6            | KAĞITHANE ESKİ | 6            |
| AYAZAĞA          | 5            | KILIÇPINAR     | 5            |
| BAŞAKŞEHİR       | 4            | LEVENT         | 8            |
| BEŞYÜZEVLER      | 5            | MADEN          | 5            |
| BÜYÜKDERE        | 9            | MAHMUTBEY      | 7            |
| ÇELİKTEPE        | 3            | MALKOÇOĞLU     | 5            |
| DAĞ YOLU         | 3            | MÜNZEVİ        | 7            |
| FENERTEPE        | 3            | SİLAHTAR       | 6            |
| HACIMAŞLI        | 2            | TOPÇU KARAKOL  | 2            |
| HALKALI          | 4            | TOZKOPARAN     | 2            |
| KAĞITHANE YENİ   | 9            |                |              |

#### 4.1.2.4. Terfi Merkezleri Arası Mesafe

Terfi merkezlerinin birbirine olan uzaklıkları Google Maps üzerinden kuş uçuşu olarak değil, mevcut ulaşım yolları arasından en kısa mesafe olanı seçilerek 21 merkezin birbirine ve bakım ekiplerinin bulunduğu İski Genel Merkezi'ne olan uzaklıkları için aşağıda verilen mesafe matrisi oluşturulmuştur

Çizelge 4.5. Terfi istasyonları arası mesafe matrisi.

| KM                | ALİBEY KÖY BARAJI | AYAZ AĞA | BAŞAK ŞEHİR | BEŞYÜ ZEVLER | BÜYÜK DERE | ÇELİKTEPE | DAĞ YOLU | FENER TEPE | HACIM AŞLI | HALK ALI | KAĞITH ANE YENİ | KAĞITH ANE ESKİ | KILIÇPI NAR | LEVENT | MAD EN | MAHMUTBEY | MALKOÇ OĞLU | MÜNZEVİ | SİLAH TAR | TOPÇU KARAKOL | TOZKOP ARAN | İSKİ GENEL MERKEZ |
|-------------------|-------------------|----------|-------------|--------------|------------|-----------|----------|------------|------------|----------|-----------------|-----------------|-------------|--------|--------|-----------|-------------|---------|-----------|---------------|-------------|-------------------|
| ALİBEYKÖ Y BARAJI | 0                 | 13,5     | 20,7        | 6,9          | 20         | 12        | 14       | 18         | 30         | 18       | 5,6             | 5,5             | 23,4        | 14     | 23,3   | 14,8      | 11          | 11,3    | 5,4       | 19            | 16          | 4                 |
| AYAZAĞA           | 13,5              | 0        | 27,4        | 15           | 7,7        | 4,6       | 24       | 27         | 35         | 25,6     | 8,4             | 9,5             | 30,2        | 6,5    | 10,4   | 21,6      | 19,3        | 16,9    | 14        | 7,5           | 20,4        | 10,4              |
| BAŞAKŞEHİR        | 20,7              | 27,4     | 0           | 15,4         | 35,4       | 27,1      | 12,4     | 5,2        | 18,2       | 8,8      | 22,8            | 24,2            | 4,1         | 28,7   | 38,1   | 8,7       | 13          | 18      | 20,3      | 34,7          | 18,1        | 24,2              |
| BEŞYÜZEVLER       | 6,9               | 15       | 15,4        | 0            | 23,4       | 15,4      | 8,2      | 14,2       | 24,6       | 13,9     | 9,3             | 10,7            | 16,3        | 17,2   | 26,6   | 10        | 6,5         | 4,8     | 5,3       | 23,2          | 9,4         | 9,5               |
| BÜYÜKDERE         | 20                | 7,7      | 35,4        | 23,4         | 0          | 11,2      | 30       | 37,7       | 52,1       | 32,1     | 14,9            | 16,3            | 36,7        | 13     | 5,7    | 28,2      | 32,1        | 23,4    | 24        | 1,7           | 26,2        | 17,9              |
| ÇELİKTEPE         | 12                | 4,6      | 27,1        | 15,4         | 11,2       | 0         | 21,5     | 25,8       | 36,6       | 24,7     | 8,2             | 12              | 29,3        | 2,5    | 19,3   | 20,7      | 18,5        | 13,6    | 12,1      | 11            | 16,4        | 4,3               |
| DAĞ YOLU          | 14                | 24       | 12,4        | 8,2          | 30         | 21,5      | 0        | 15,9       | 28,4       | 7,8      | 13,7            | 16,1            | 15          | 19     | 30,5   | 4         | 10,4        | 7,4     | 9,7       | 27,2          | 6,1         | 19,8              |
| FENERTEPE         | 18                | 27       | 5,2         | 14,2         | 37,7       | 25,8      | 15,9     | 0          | 12,8       | 12,7     | 20,4            | 22,8            | 3,3         | 29,8   | 12,2   | 19,9      | 8,8         | 19,9    | 19,5      | 33,8          | 20,5        | 23,3              |
| HACIMAŞLI         | 30                | 35       | 18,2        | 24,6         | 52,1       | 36,6      | 28,4     | 12,8       | 0          | 22,2     | 32,2            | 34,6            | 12,8        | 41,6   | 46,6   | 23,3      | 20,6        | 33,1    | 29,6      | 43            | 29,4        | 35,5              |
| HALKALI           | 18                | 25,6     | 8,8         | 13,9         | 32,1       | 24,7      | 7,8      | 12,7       | 22,2       | 0        | 18,9            | 19              | 11,8        | 26,7   | 35,2   | 5,7       | 12,7        | 15,1    | 19        | 32,3          | 15,9        | 21,7              |
| KAĞITHAN E YENİ   | 5,6               | 8,4      | 22,8        | 9,3          | 14,9       | 8,2       | 13,7     | 20,4       | 32,2       | 18,9     | 0               | 3,6             | 24,7        | 9,7    | 19     | 17,5      | 14,9        | 8,6     | 4,6       | 15,6          | 12,8        | 1,6               |
| KAĞITHAN E ESKİ   | 5,5               | 9,5      | 24,2        | 10,7         | 16,3       | 12        | 16,1     | 22,8       | 34,6       | 19       | 3,6             | 0               | 22,4        | 14     | 23,3   | 15,3      | 10,1        | 10,2    | 6,1       | 19,9          | 15,5        | 0,15              |
| KILIÇPINAR        | 23,4              | 30,2     | 4,1         | 16,3         | 36,7       | 29,3      | 15       | 3,3        | 12,8       | 11,8     | 24,7            | 22,4            | 0           | 32     | 38,6   | 12,4      | 11,1        | 20,4    | 23,3      | 37,6          | 21,2        | 27,7              |
| LEVENT            | 14                | 6,5      | 28,7        | 17,2         | 13         | 2,5       | 19       | 29,8       | 41,6       | 26,7     | 9,7             | 14              | 32          | 0      | 15,8   | 22,5      | 19,9        | 12,7    | 14,5      | 12,4          | 15,4        | 13,8              |
| MADEN             | 23,3              | 10,4     | 38,1        | 26,6         | 5,7        | 19,3      | 30,5     | 12,2       | 46,6       | 35,2     | 19              | 23,3            | 38,6        | 15,8   | 0      | 31,9      | 29,3        | 26,8    | 23,9      | 3,8           | 29,5        | 21,1              |
| MAHMUTBEY         | 14,8              | 21,6     | 8,7         | 10           | 28,2       | 20,7      | 4        | 19,9       | 23,3       | 5,7      | 17,5            | 15,3            | 12,4        | 22,5   | 31,9   | 0         | 8,2         | 10,8    | 13,7      | 28,1          | 11,6        | 17,9              |
| MALKOÇOĞLU        | 11                | 19,3     | 13          | 6,5          | 32,1       | 18,5      | 10,4     | 8,8        | 20,6       | 12,7     | 14,9            | 10,1            | 11,1        | 19,9   | 29,3   | 8,2       | 0           | 12,2    | 12,8      | 27,1          | 13,9        | 15,7              |
| MÜNZEVİ           | 11,3              | 16,9     | 18          | 4,8          | 23,4       | 13,6      | 7,4      | 19,9       | 33,1       | 15,1     | 8,6             | 10,2            | 20,4        | 12,7   | 26,8   | 10,8      | 12,2        | 0       | 3,8       | 25,3          | 6           | 12,4              |
| SİLAHTAR          | 5,4               | 14       | 20,3        | 5,3          | 24         | 12,1      | 9,7      | 19,5       | 29,6       | 19       | 4,6             | 6,1             | 23,3        | 14,5   | 23,9   | 13,7      | 12,8        | 3,8     | 0         | 19,9          | 9,1         | 4,1               |
| TOPÇU KARAKOL     | 19                | 7,5      | 34,7        | 23,2         | 1,7        | 11        | 27,2     | 33,8       | 43         | 32,3     | 15,6            | 19,9            | 37,6        | 12,4   | 3,8    | 28,1      | 27,1        | 25,3    | 19,9      | 0             | 25,6        | 17,7              |
| TOZKOPARAN        | 16                | 20,4     | 18,1        | 9,4          | 26,2       | 16,4      | 6,1      | 20,5       | 29,4       | 15,9     | 12,8            | 15,5            | 21,2        | 15,4   | 29,5   | 11,6      | 13,9        | 6       | 9,1       | 25,6          | 0           | 15,1              |
| İSKİ GENEL MERKEZ | 4                 | 10,4     | 24,2        | 9,5          | 17,9       | 4,3       | 19,8     | 23,3       | 35,5       | 21,7     | 1,6             | 0,15            | 27,7        | 13,8   | 21,1   | 17,9      | 15,7        | 12,4    | 4,1       | 17,7          | 15,1        | 0                 |

## 4.2. PROBLEMİN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ VE VARSAYIMLARI

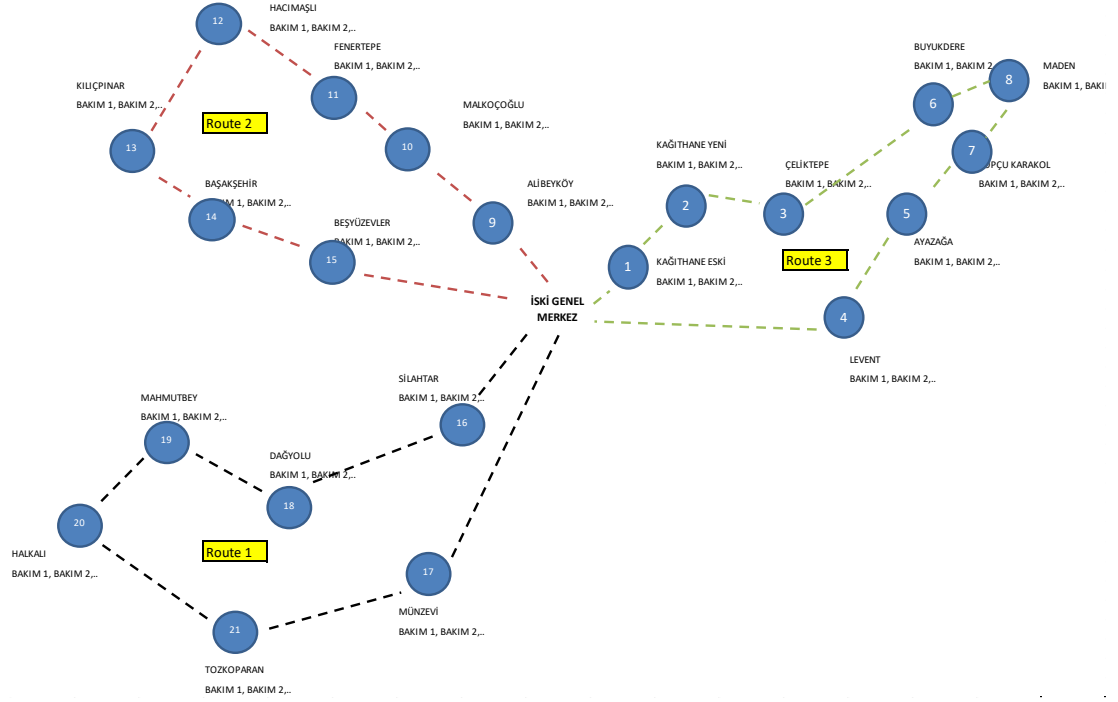
- Çalışma kapsamında kullanılan verilere İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Başkanlığı / Avrupa Su İsale Merkezi aracılığı ile ulaşılmıştır. Çalışma kapsamında İski Genel Merkezi'ne iki kez ziyaret gerçekleştirilmiş ve ek olarak 1 tane de pompa istasyonuna gidilerek gözlem yapılmıştır.
- Problem Avrupa I. Bölge kapsamında bulunan terfi merkezleri için kurgulanacaktır.
- Periyodik bakım listesinde bulunan işler hem mekanik hem elektrik yetkinlik gerektirdiğinden; terfi merkezine gidecek bakım ekibinde muhakkak hem mekanik hem de elektrik ekibinden personel bulunmalıdır.
- Periyodik bakım planlama kapsamında 8 şoför, 8 mekanik ve 8 elektrik bakım personeli üzerinden planlama yapılacaktır.
- Çalışmada terfi merkezinde bulunan makinistler bu çalışmanın dışında tutulmuştur. ,
- Elektrik ve mekanik bakım personelleri kendi aralarında yetkinlik olarak homojendirler.
- Çalışmada bakım personelleri için resmi mesai saatleri dikkate alınmıştır.
- Terfi merkezlerinin birbirine olan uzaklıkları Google Maps üzerinden kuş uçuşu olarak değil, mevcut ulaşım yolları arasından en kısa mesafe olanı seçilerek belirlenmiştir.
- İki konum arası gidiş ve dönüşlerin eşit mesafe olduğu varsayılmıştır.
- Personelin rotası önemli değildir. Tüm personeller için rota İski Genel Merkezi'nde başlayıp yine İski Genel Merkezi'nde bitmektedir.

## 4.3. PROBLEMİN TANIMI

Bu çalışmada İski bünyesinde; coğrafi olarak farklı bölgelerde bulunan şehrin temiz su ihtiyacını karşılayan terfi merkezlerinin (pompa istasyonlarının) bakım işleminin operasyonel ve stratejik seviyede planlanmasında önemli olan personel atama ve rotalama problemi ele alınmıştır. Mevcut durumda çalışmalar arızeli bakım olarak devam etmektedir. Çalışmanın amacı periyodik bakım sistemine geçerek, uzun planlama periyodunda toplam mesafenin minimize edilip mümkün olduğunca fazla



terfi merkezinin periyodik bakımlarını gerçekleştirebilmek ve bakım personellerinin iş yükünün dengeli olarak dağılmasını sağlamaktır. Çalışma Avrupa 1 Bölgesi olarak adlandırılan 21 Terfi Merkezini kapsamaktadır. Problem görseli Şekil 4.5'te verilmiştir;



Şekil 4.5. Terfi merkezleri problem görseli.

Birimde görevli 8 şoför 8 mekanik, 8 elektrik arıza personelinin hangi araçla hangi terfi merkezine ne zaman gideceği belirlenmiştir.

## Kümeler

N ; farklı coğrafi bölgelerde bulunan terfi merkezlerinin kümesi , {1,...,21}

P: Teknisyen kümesi

E; Ekip kümesi

Q; Yetenek kümesi

## Parametreler

|   |                      |
|---|----------------------|
| <b><math>\dot{I}</math></b> ; terk edilen adres indeksi   | $i = 1,2, \dots, 21$ |
| <b><math>j</math></b> ; ulaşılan adres indeksi  | $j = 1,2, \dots, 21$ |
| <b><math>r</math></b> ; konum indeksi   | $r = 1,2, \dots, 21$ |
| <b><math>k</math></b> ; ekip indeksi  | $k = 1,2, \dots, 8$  |
| <b><math>d_{ij}</math></b> ; i. konum ile j. konum uzaklık  |                      |
| <b><math>t_{ij}</math></b> ; i. konumdan j. konuma ulaşma süresi  |                      |
| <b><math>s_i</math></b> ; i. konumdaki pompa sayısı   |                      |
| <b><math>z_i</math></b> ; i. konumdaki bakım sürelerinin toplamı  |                      |
| <b><math>y_{mq}</math></b> ; p teknisyeni q yeteneğine sahip ise 1 diğer durumda 0 değerini alır.                               |                      |
| <b><math>f_{iq}</math></b> ; i işini q yeteneğine sahip bir teknisyenin yapması gerekiyorsa 1 diğer durumlarda 0 değerini alır. |                      |
| <b><math>C_{ij}</math></b> ; i işinden j işine seyahat maliyetidir.   |                      |
| <b><math>C_i^I</math></b> ; i işinin tanımlan günde yapılmamasının ceza maliyetini ifade eder,                                  |                      |

## Karar Değişkenleri

$X_{ijk} = \{ 1, i.adresten j.adrese k.ekip atanırsa, \}$   
0, aksi halde

**$g_{ik}$**  : i işinin k ekibi tarafından tamamlanma zamanı,  $\forall i \in N, k \in E$

**$h_{mk}$**  : m teknisyeni k ekibine atanmışsa 1, diğer durumlarda 0 değerini alır.

**$L_{ik}$**  :  **$i$**  işi  **$k$**  ekibine atanmışsa 1, diğer durumlarda 0 değerini alır,  $\forall i \in N, k \in E$

**$U_i$**  : i.adresten alt tur oluşturmasını engelleyen değişken

## Kısıtlar

1. Bir terfi merkezi gün içerisinde yalnızca bir bakım ekibi tarafından ziyaret edilmesini sağlayan kısıttır.

$$\sum_{i=1, i \neq j}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} = 1 \quad \forall_{j \neq 1}$$

2. Her aracın yolculuğa terfi merkezinden başlamasını sağlayan kısıttır.

$$\sum_{j=1}^n x_{0jk} = 1, \forall j \in E$$

3. Terfi merkezinden ayrılan her aracın terfi merkezine dönmesini sağlayan kısıttır.

$$\sum_{i=1}^n x_{i0k} \forall k = 1 \quad \forall k \in E$$

4. Her aracın ulaştığı düğümden ayrılmasını sağlayan kısıttır.

$$\sum_{j=1, j \neq i}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} = 1 \quad \forall_{i,j \neq 1}$$

5. Bir iş bir ekibe atanmışsa, ekibin rotasında bu işin bulunmasını sağlayan kısıttır.

$$\sum_{j \in N} x_{ijk} = h_{ik}, \forall i \in N, k \in E$$

6. Bir teknisyenin en fazla bir ekibe atanmasını sağlayan kısıttır.

$$\sum_{k \in K} h_{mk} \leq 1, \forall m \in M$$

7. Teknisyenlerin sahip olduğu yetenek ile yapılması gereken işin uyumlu olmasını sağlayan kısıttır.

$$f_{iq} * l_{ik} \leq \sum_{m \in M} (y_{mq} * h_{mk}), \forall i \in N, k \in E, q \in Q$$

8. Modelde oluşacak olan alt turların engellenmesi sağlayan kısıttır.

$$u_i - u_j + N \sum_{m=1} \sum_{k=1} x_{ijkm} \leq N - 1 \quad i, j \in N$$

## Amaç Fonksiyonu

Çalışmadaki amaç; bakım ekiplerinin toplam olarak kat edeceği mesafenin, yapılacak bakımlardaki tamamlanma süresi toplamının ve bakımların tanımlı günlerinde yapılmamasının ceza maliyetleri toplamının minimizasyonudur.

$$\text{Min } Z = (( \sum_{i=1}^n, \sum_{j=1}^n, \sum_{k=1}^m, d_{ij} * x_{ijk} ) + ( \sum c_i^I ))$$

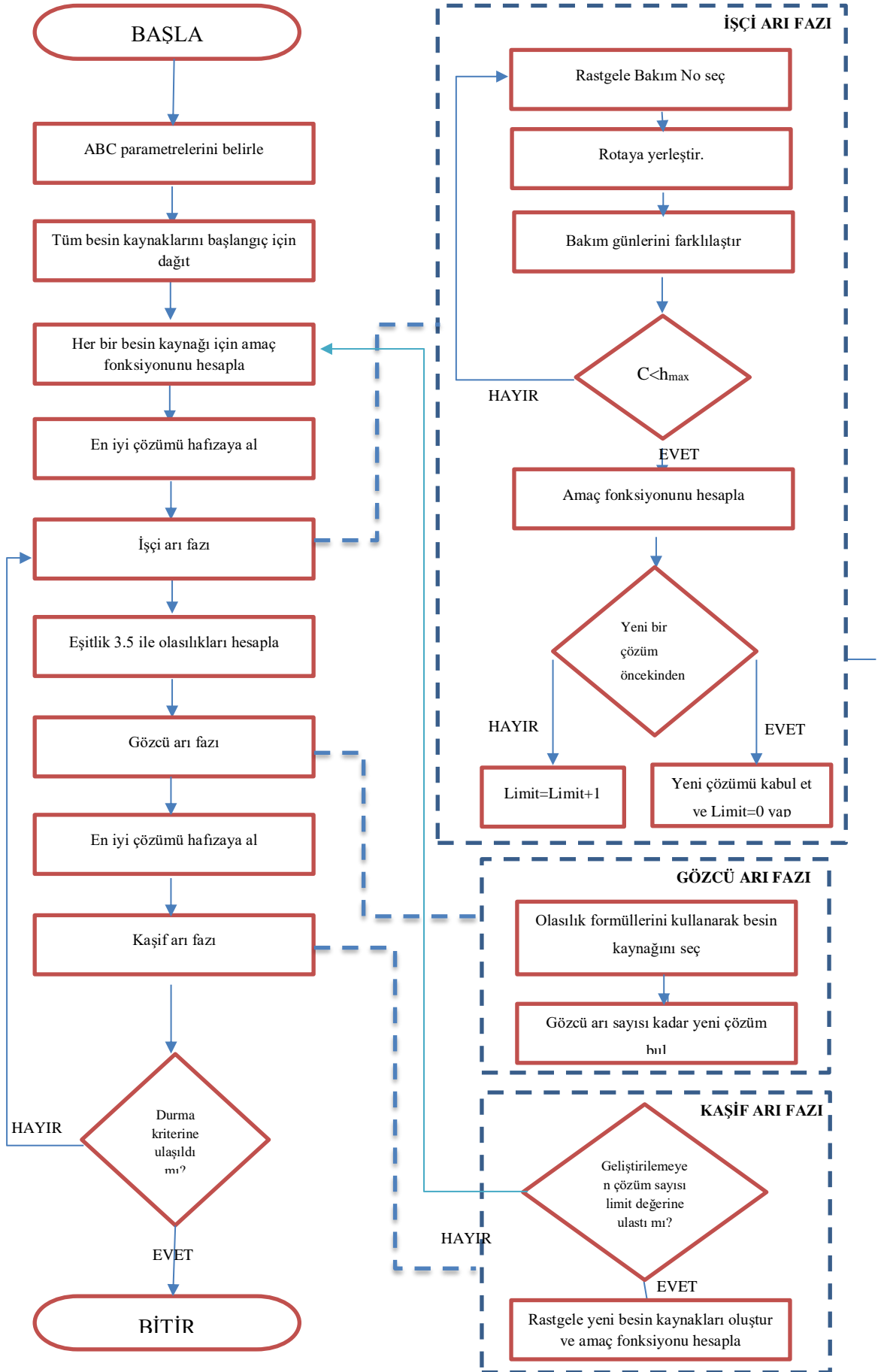
## 4.4. TERFI MERKEZLERİNİN BAKIMLARININ ABC ALGORİTMASI İLE ÇİZELGELENMESİ

ABC algoritmasının Terfi Merkezlerinin çizelgelenmesi probleminin çözümü için işlem adımları aşağıdaki gibidir.

- Adım 1. Parametrelerin belirlenmesi: Popülasyon büyüklüğü (PS), Limit (LM), İterasyon sayısı (IT) değerleri belirlenir.
- Adım 2. Başlangıç besin kaynaklarının belirlenmesi ve uygunluk fonksiyonunun hesaplanması: Bakımların ilk tarihleri rastgele dağıtılır.
- Adım 3. Amaç fonksiyonunun hesaplanması: Her bir besin kaynağı için eşitlik 5.6 kullanılarak amaç fonksiyonu hesaplanır.
- Adım 4. En iyi besin kaynağı hafızaya alınması: Başlangıç çözümleri içerisinde en iyisi hafızaya atılır.
- Adım 5. İşçi arı fazı: Bu aşamada rastgele bir tefi merkezi/bakım seçilir ve rastgele bir yer değiştirme işlemi uygulanır. İşler, ekiplere eşit yük dağılımı olacak şekilde atanır. Çözüm uygun ise amaç fonksiyonu hesaplanır. Bulunan yeni çözüm bir önceki çözümden daha iyiyse kabul edilir, değilse LM değeri 1 artırılır.

- Adım 6. Olasılıkların hesaplanması: Gözcü arı adımında kullanılacak olasılık değerleri tüm besin kaynakları için hesaplanır. Hesaplama rulet tekerleği tekniği ile yapılır.
- Adım 7. Gözcü arı fazı: Olasılık değerleri kullanılarak besin kaynağı sayısınınca gözcü arı tarafından, işçi arı fazındaki yöntem kullanılarak yeni çözüm aranır.
- Adım 8. En iyi çözümü hafızada sakla: İşçi arı ve gözcü arı fazlarında elde edilen değerler neticesinde en iyi besin kaynağına sahip arının değeri bulunur ve hafızaya alınır.
- Adım 9. Kâşif arı fazı: Besin kaynaklarında limit sayısı kadar iyileştirme olmamış ise rastgele yeni bir besin kaynağı oluşturulur ve limit değeri sıfırlanır.
- Adım 10. Durdurma kriterini kontrol et: Girilen İterasyon değerine ulaşılan kadar 4–8 adımları tekrarlanır.

Adımları anlatılan bu algoritmanın akış şeması Şekil 4.6 'daki gibidir.



Şekil 4.6. ABC algoritması akış şeması

#### 4.5. ABC ALGORİTMASININ PARAMETRE DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ

Bakım çizelgeleme problemi için geliştirilen ABC algoritması Python 3.6 sürümü ile yazılmıştır. Kodlamada; Numpy, Deap, Progressbar, Deepcopy ve ABC paketleri kullanılmıştır. Deneysel tüm çalışmalar ise, Windows 10 işletim sistemi kullanan, 4 GB RAM ve Intel Core i3 2.10 GHZ işlemcili bilgisayarda yapılmıştır. ABC algoritmasında kullanılacak parametrelerin belirlenmesinde, az sayıda deney ile başarılı sonuçlar ortaya koyan literatürde de birçok çalışmada kullanılmış olan Taguchi Deney Tasarımı metodu kullanılmıştır.

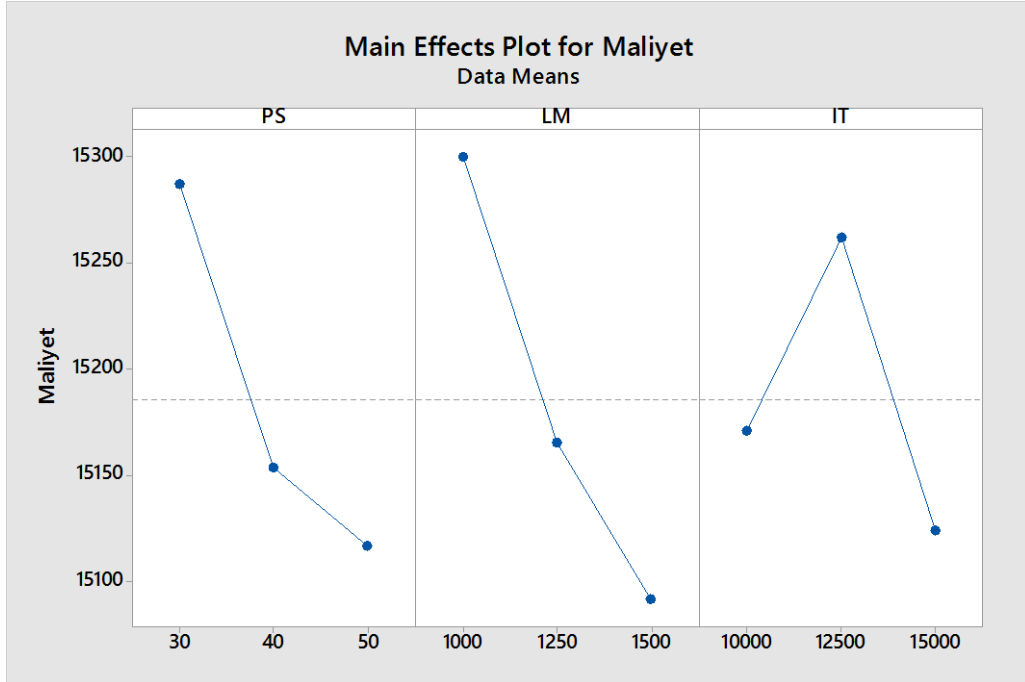
ABC algoritmasında üç parametre vardır. Bunlar popülasyon büyüklüğü (PS), bir çözümün iyileştiremediği maksimum ardışık yineleme sayısı olan limit (LM) ve iterasyon (IT) sayısıdır. Bu üç parametre ve seviyeleri çizelge 4.8'de gösterilmiştir. Bu değerler Minitab 17 programına girilerek program tarafından L9 ortogonal bir dizi seçilmiştir. İstenen kombinasyona göre deneyler çalıştırılmış ve sonuçlar çizelge 4.9'da gösterilmiştir. Yapılan analize göre uygun parametre değerleri PS=50, LM=1500 ve IT=12500 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.6. Parametreler ve faktör seviyeleri.

| Faktör Seviyesi | Parametreler |      |        |
|-----------------|--------------|------|--------|
|                 | PS           | LM   | IT     |
| 1               | 30           | 1000 | 10 000 |
| 2               | 40           | 1250 | 12 500 |
| 3               | 50           | 1500 | 15 000 |

Çizelge 4.7. Deneylerin parametreleri ve sonuçlar.

| Deney No | PS | LM   | IT    | Rota Maliyeti |
|----------|----|------|-------|---------------|
| 1        | 30 | 1000 | 10000 | 15267         |
| 2        | 30 | 1250 | 12500 | 15366         |
| 3        | 30 | 1500 | 15000 | 15229         |
| 4        | 40 | 1000 | 12500 | 15442         |
| 5        | 40 | 1250 | 15000 | 14951         |
| 6        | 40 | 1500 | 10000 | 15067         |
| 7        | 50 | 1000 | 15000 | 15192         |
| 8        | 50 | 1250 | 10000 | 15179         |
| 9        | 50 | 1500 | 12500 | 14979         |



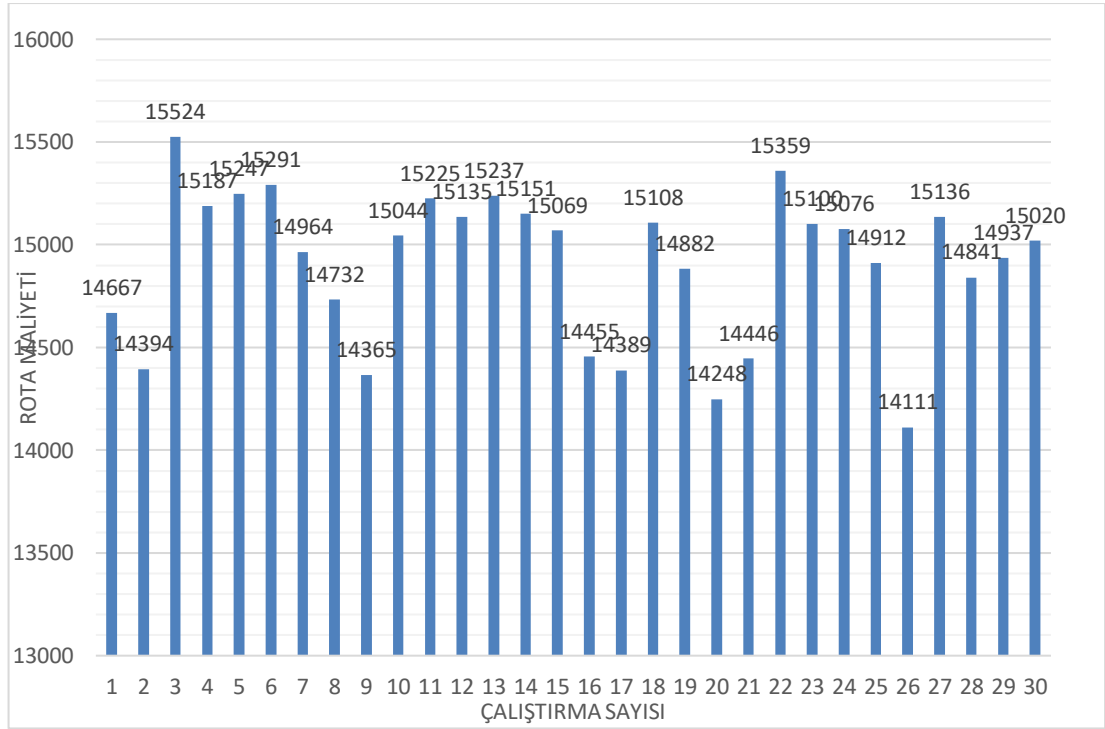
Şekil 4.7. Parametrelerin faktör seviye eğrileri.



## BÖLÜM 5

### DENEYSEL BULGULAR

Bölüm 4 'te optimal parametre değerlerinin Taguchi Deney Tasarımı metodu ile belirlenmesinden sonra algoritma bu parametre değerleri ile 30 kez çalıştırılmıştır. 30 çalıştırmadan elde edilen sonuçlar Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Algoritmadan elde edilen sonuçlar.

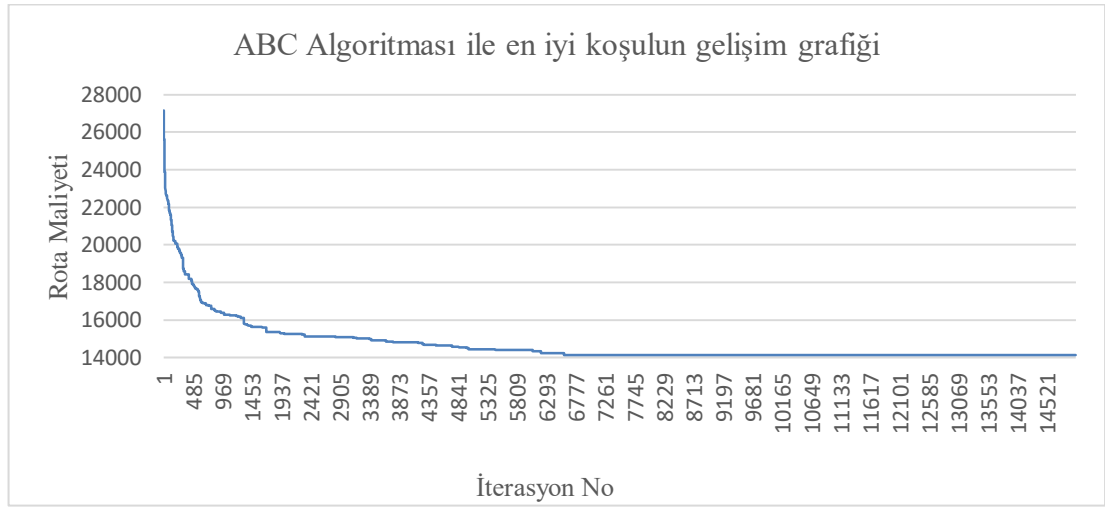
İncelenen sonuçlara göre algoritmanın elde ettiği en düşük rota maliyeti 14111 en yüksek rota maliyeti ise 15524 değeridir.

Çalıştırma sonunda elde edilen değerler ile ilgili bilgiler Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Çalıştırma sonuçlarının analizi.

| Çalıştırma Sayısı | En küçük | En büyük | Ortalama | Standart Sapma |
|-------------------|----------|----------|----------|----------------|
| 30                | 14.111   | 15.524   | 14.908   | 365,38         |

Algoritmanın, Taguchi yöntemi ile belirlenen en iyi parametre değerleri ile gerçekleştirilen 30 çalıştırmada, en düşük maliyet olarak bulunan 14111 değerli koşuma ait Rota Maliyetinin gelişim grafiği Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. ABC Algoritması en iyi koşulun gelişim grafiği.

Algoritmanın çalıştırılması neticesinde, çizelge 4.7’deki şekilde gün bazında her ekibin gidecekleri terfi merkezleri ve gerçekleştirecekleri bakımların listesi oluşmaktadır.

Çizelge 5.2. Oluşan bakım rotaları ve bakım çizelgeleme sonuçları.

| <b>Gün</b> | <b>Ekip No.</b> | <b>Bakım No.</b> | <b>Terfi Merk. No.</b> | <b>Bakım Süresi</b> |
|------------|-----------------|------------------|------------------------|---------------------|
| 0          | 0               | 53               | 1                      | 30                  |
| 0          | 1               | 15               | 19                     | 20                  |
| 0          | 2               | 47               | 11                     | 30                  |
| 0          | 3               | 26               | 15                     | 30                  |
| 0          | 4               | 25               | 16                     | 10                  |
| 0          | 5               | 19               | 0                      | 20                  |
| 0          | 6               | 0                | 6                      | 180                 |
| 0          | 7               | 21               | 4                      | 35                  |
| 0          | 5               | 35               | 0                      | 5                   |
| 0          | 2               | 0                | 12                     | 300                 |
| 0          | 5               | 52               | 0                      | 30                  |
| 0          | 1               | 20               | 18                     | 35                  |
| :          | :               | :                | :                      | :                   |
| 0          | 5               | 51               | 0                      | 30                  |
| 0          | 6               | 16               | 6                      | 30                  |
| 0          | 2               | 50               | 12                     | 30                  |
| 1          | 0               | 6                | 0                      | 180                 |
| 1          | 1               | 14               | 2                      | 40                  |
| 1          | 0               | 16               | 0                      | 60                  |
| 1          | 2               | 3                | 20                     | 30                  |
| 1          | 3               | 7                | 5                      | 90                  |
| 1          | 4               | 18               | 6                      | 30                  |
| 1          | 1               | 20               | 2                      | 35                  |
| 1          | 5               | 33               | 15                     | 10                  |
| 1          | 6               | 16               | 11                     | 60                  |
| 1          | 0               | 13               | 0                      | 120                 |
| 1          | 5               | 36               | 15                     | 5                   |
| :          | :               | :                | :                      | :                   |

## BÖLÜM 6

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada literatürde entegre bakım planlama ve rotalama olarak adlandırılan Coğrafi Olarak Dağıtık Merkezlerde Bulunan Sistemlerin Bakım Planlaması Problemi ele alınmıştır. Bakım yapılması gereken sistemler, makine ekipmanlar ya da teçhizatlar birbirinden farklı noktalarda ise sadece bakım politikası belirlemek yeterli gelmeyebilir, amacımız en verimli şekilde ve en kısa sürede gerçekleştirmek olduğundan lokasyonlara gerçekleştireceği ziyaret sırasını da belirlenmelidir.

Çalışma İSKİ bünyesinde şehrin farklı bölgelerinde bulunan, şehrin temiz su ihtiyacını sağlamak için su kaynaklarından su pompalayan terfi merkezleri örneği üzerinden yapılmıştır. Avrupa yakasında bulunan 61 terfi merkezi İSKİ tarafından Avrupa I. Ve Avrupa II. olmak üzere 2 bölge halinde ayrılmıştır. Avrupa I. Bölgede 21, Avrupa II. Bölgede ise 40 terfi merkezi bulunmaktadır. Çalışma Avrupa I. Bölge kapsamında bulunan terfi merkezlerinin verileri kullanarak yapılmıştır. Mevcut durumda terfi merkezlerine düzenli bir bakım politikası uygulanmamaktadır. Arıza bildirimleri kendi içlerinde aciliyet olarak sıralanıp bu şekilde rota optimizasyonu yapılmadan müdahaleler yapılmaktadır. Bu durum verim kaybına ve yüksek lojistik ve bakım maliyetlerine sebebiyet vermektedir. Bu kayıplarının önüne geçebilmek için önerilen modelde arıza bakım politikasından periyodik bakım politikasına geçilmesinin kuruma önemli faydaları olacağı belirlenmiştir.

Bu çalışmanın devamında problem farklı açılardan da ele alınabilir. Düzenli olarak tutulmamış olan arıza kayıtları ve bunlara müdahalelerin günlük çizelgeleri oluşturularak, önerilen algoritmanın sonuçları ile kıyaslanabilir. Ayrıca modele eklenecek kümeleme algoritmaları gibi yaklaşımlarla, aynı terfi merkezindeki yakın tarihli bakımların birleştirilmesi ile; ulaşım, bakım ve işçilik maliyetlerinin daha da azaltılabileceği öngörülmektedir.

## KAYNAKLAR

Abdollahzadeh, H., Atashgar, K. ve Abbasi, “ Multi-objective opportunistic maintenance optimization of a wind farm considering limited number of maintenance groups.” *Renewable Energy*, 88, 247–261 (2016).

Agustiady, T. K. ve Cudney, E. A., "Total productive maintenance." *Total Quality Management and Business Excellence*, 1–8 (2018).

Akay, B., “Nümerik Optimizasyon Problemlerinde Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony) Algoritmasının Performans Analizi,” *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, s.61(2009).

Altaş, D., Gülpınar, V., “Karar Ağaçları Ve Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırma Performanslarının Karşılaştırılması: Avrupa Birliği Örneği”, *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(1): 1-22(2012) .

Arif, A., Ma, S. ve Wang, Z., “Optimization of transmission system repair and restoration with crew routing.” *NAPS 2016 - 48th North American Power Symposium, Proceedings*, 1–6(2016).

Başdere, M. ve Bilge, Ü., “ Operational aircraft maintenance routing problem with remaining time consideration.” *European Journal of Operational Research*, 235(1), 315–328(2014).

Başkaya, Z., Avcı Öztürk, E., “Tamsayılı Programlamada Dal Kesme Yöntemi Ve Bir Ekmek Fabrikasında Oluşturulan Araç Rotalama Problemine Uygulanması”, *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 24(1):101-114(2005).

Bassi, H. V., Ferreira Filho, V. J. M. ve Bahiense, L., “Planning and scheduling a fleet of rigs using simulation-optimization.” *Computers and Industrial Engineering*, 63(4), 1074–1088 (2012).

Baraçlı, H., Coskun, S., ve Eser, A., “Toplam Kalite Programlarının Başarılı Olarak Uygulanabilmesinde Toplam Üretken Bakım Tekniği”, *I. Demir-Çelik Sempozyumu*, Zonguldak, 340-341(2001).

Bayrak, A. ve Özyörük, “Bölünmüş Talepli Eş Zamanlı Toplam Dağıtım Araç Rotalama Problemi İçin Karşılaştırmalı Matematiksel Modeller.” *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(2), 469–479 (2017).

- Bilgin, G.K., Yücel, E., Kuyzu, G., “Öncelik Seviyelerine Sahip Çoklu Yetenek Gerektiren İşler için Ekip Oluşturma, Çizelgeleme ve Rotalama”, *Journal of Science and Engineering*, 20(60); 930-945(2018).
- Bissoli, D. de C., Chaves, G. de L. D. ve Ribeiro, G. M. “Drivers to the workover rig problem.” *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 139, 13–22(2016).
- Borenstein, Y., Shah, N., Tsang, E., Dorne, R., Alsheddy, A. ve Voudouris, C. “On the partitioning of dynamic workforce scheduling problems.” *Journal of Scheduling*, 13(4), 411–425(2010).
- Budai, G., Huisman, D. ve Dekker, R. (2006). “Scheduling preventive railway maintenance activities.” *Journal of the Operational Research Society*, 57(9), 1035–1044(2006).
- Caccetta, L. ve Hill, S. P., “Branch and cut methods for network optimization.” *Mathematical and Computer Modelling*, 33(4–5), 517–532 (2001).
- Chen, H.-K., Chou, H.-W., Ho, P.-S. ve Wang, H., “Real-Time Vehicle Routing for Repairing Damaged Infrastructures Due to Natural Disasters.” *Mathematical Problems in Engineering*, 1–25(2011).
- Chen, L., Gendreau, M., Hà, M. H. ve Langevin, A. “A robust optimization approach for the road network daily maintenance routing problem with uncertain service time.” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 85, 40–51(2016).
- Chen, L., Hà, M. H., Langevin, A. ve Gendreau, M. “Optimizing road network daily maintenance operations with stochastic service and travel times.” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 64, 88–102 (2014).
- Cordeau, J. F., Laporte, G., Pasin, F. ve Ropke, S. “Scheduling technicians and tasks in a telecommunications company.” *Journal of Scheduling*, 13(4), 393–409(2010).
- Costinas, S. ve Nemes, C. “Current Maintenance using Geographical Information System , Part of the Global Smart- Grid Technology Solution” *Current Maintenance Using Geographical Information System , Part Of The Global Smart-, (January 2014)*. (2017).
- Çebi, S., Çelik, M., Kahraman, C., “Gemi Sistemleri İçin Entegre Bakım-Onarım Yönetimi Gereksiniminin Analizi” *Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 3(4);17-24(2008).

Çokay, E. ve Öztamer, M. “Degradation of Triclosan by Photo-Fenton Oxidation.” *Dokuz Eylül University-Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering*, 20(59), 569–582(2018).

Demircioğlu, M., “Araç Rotalama Probleminin Sezgisel Bir Yaklaşım İle Çözümlemesi Üzerine Bir Uygulama”, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı*, Adana, 48-60 (2009) .

Díaz-Ramírez, J., Huertas, J. I. ve Trigos, F., “Aircraft maintenance, routing, and crew scheduling planning for airlines with a single fleet and a single maintenance and crew base.” *Computers and Industrial Engineering*, 75(1), 68–78(2014).

Dinwoodie, I., Endrerud, O.-E. V., Hofmann, M., Martin, R. ve Sperstad, I. B., “Reference Cases for Verification of Operation and Maintenance Simulation Models for Offshore Wind Farms.” *Wind Engineering*, 39(1), 1–14 (2015).

Duhamel, C., Cynthia Santos, A. ve Moreira Guedes, L., “Models and hybrid methods for the onshore wells maintenance problem.” *Computers and Operations Research*, 39(12), 2944–2953(2012).

Dursun, P., “Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi’nin Genetik Algoritma İle Modellenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 5-10(2009)

Eltoukhy, A. E. E., Chan, F. T. S., Chung, S. H. ve Niu, B., “A model with a solution algorithm for the operational aircraft maintenance routing problem.” *Computers and Industrial Engineering*, 120(September 2017), 346–359(2018).

Eltoukhy, A. E. E., Wang, Z. X., Chan, F. T. S. ve Chung, S. H., “Joint optimization using a leader–follower Stackelberg game for coordinated configuration of stochastic operational aircraft maintenance routing and maintenance staffing.” *Computers and Industrial Engineering*, 125(February), 46–68(2018).

Er, E., “Bakım Yönetimi ve Bilgisayarlı Bakım Yönetimi Sistemlerinin Türkiye’de Uygulanma Düzeyi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-12(2004).

Ercan Cömert, S., Yazgan, H. R., Sertvuran, İ. ve Şengül, H. “Sıkı Zaman Pencereli Araç Rotalama Probleminin Çözümü için Yeni Bir Yöntem Önerisi ve Bir Süpermarket Zincirinde Uygulanması.” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 685(2017).

Eryavuz, M., Gencer, C., “Araç Rotalama Problemlerine Ait Bir Uygulama” *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi* ,6(1):139-155(2001).

Fernández Pérez, M. A., Oliveira, F. ve Hamacher, S., “Optimizing Workover Rig Fleet Sizing and Scheduling Using Deterministic and Stochastic Programming Models.” *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 57(22), 7544–7554(2018).

Gao, H. ve Zhang, X., “A markov-based road maintenance optimization model considering user costs.” *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 28(6), 451–464(2013).

Garcia, Vinicius Jacques, Bernardon, D. P., Abaide, A. ve Fonini, J., “Evaluating multicriteria scenarios to schedule emergency orders in electric distribution utilities.” *Proceedings of the Universities Power Engineering Conference* (2014).

Garcia, Vinicius Jacques, Bernardon, D. P., Dhein, G., De Araujo Bassi, O., Abaide, A., Neto, A. F. K., Daza, E. F. B., “Multitasked maintenance crews to serve emergency scenarios in electric distribution utilities.” *Proceedings of the Universities Power Engineering Conference* (2013).

Garcia, Vinicius Jaques, Bernardon, D. P., De Araujo Bassi, O., Abaide, A., De Melo Reck, W., Gundel, M. ve Fernandes, J., “Emergency work orders in electric distribution utilities: From business process definition to quantitative improvements.” *Proceedings of the Universities Power Engineering Conference* (2012).

Ghoseiri, K. ve Ghannadpour, S. F., “Multi-objective vehicle routing problem with time windows using goal programming and genetic algorithm.” *Applied Soft Computing Journal*, 10(4), 1096–1107(2010).

Gillett, B.E., Miller L.R., “A Heuristic Algorithm For The Vehicle-Dispatch Problem” *Operations Research*, 22(2): 340-349(1974 ).

Goel, A. ve Meisel, F., “Workforce routing and scheduling for electricity network maintenance with downtime minimization.” *European Journal of Operational Research*, 231(1), 210–228(2013).

Gundegjerde, C., Halvorsen, I. B., Halvorsen-Weare, E. E., Hvattum, L. M. ve Nonås, L. M., “A stochastic fleet size and mix model for maintenance operations at offshore wind farms.” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 52(0314), 74–92 (2015).

Güler, A., “Tamsayılı Programlama Problemleri İçin Garanti Değerli Algoritmalar”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 16-24(2008).



Gürsoy, G.,Ü., Çolak, U., Ç., Gökçe, M.,H., Akkulak, C., Ötleş, S., “Endüstri İçin Kestirimci Bakım” *International Journal Of 3d Printing Technologies And Digital Industry*, 3(1):56-66(2019).

Halvorsen-Weare, E. E., Gundegjerde, C., Halvorsen, I. B., Hvattum, L. M. ve Nonås, L. M. “Vessel fleet analysis for maintenance operations at offshore wind farms”. *Energy Procedia*, 35, 167–176 (2013).

Irawan, C. A., Ouelhadj, D., Jones, D., Stålhane, M. ve Sperstad, I. B., “Optimisation of maintenance routing and scheduling for offshore wind farms.” *European Journal of Operational Research*, 256(1), 76–89(2017).

Jang, W., Noble, J. S. ve Hutsel, T., “An integrated model to solve the winter asset and road maintenance problem.” *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 42(9), 675–689(2010).

Kallioras, N. A., Kepaptsoglou, K. ve Lagaros, N. D., “Transit stop inspection and maintenance scheduling: A GPU accelerated metaheuristics approach.” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 55, 246–260(2015).

Karaboğa, D., Baştürk, B., “On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm.” *Applied Soft Computing* 8 (2008) 687–697(2007).

Karaboğa, D. “Yapay zeka optimizasyon algoritmaları. vol 3”, Ankara: Nobel. (2014).

Karaboga, D., Akay, B., “Artificial Bee Colony Algorithm on Training Artificial Neural Networks.” *Signal Processing and Communications Applications*, SIU 2007 IEEE 15th, 1–42007.

Keçeci, B., “Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi İçin Tamsayılı Karar Modelleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Baskent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*, Ankara, 10(2008) .

Kennedy, R., “Examining the Processes of RCM and TPM: *Group*”, (January), 1–15(2006).

Khan, M. S. ve Siddiqui, A. S., “The Radius Method : A modified heuristic for the vehicle routing problem”(1998).

Köksal, M., “*Bakım Planlaması.*” İstanbul : Seçkin Yayıncılık (2007).

Kuşcu, Ö., “Araç Rotalama Sistemlerinde Sezgisel Yöntemler”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 3-10(2009) .

Lin, S., “Computer Solutions of the Traveling Salesman Problem.” *Bell System*

*Technical Journal*, 44(10), 2245–2269(1965).

Lin, S. W., Lee, Z. J., Ying, K. C. ve Lee, C. Y., “Applying hybrid meta-heuristics for capacitated vehicle routing problem.” *Expert Systems with Applications*, 36(2 PART 1), 1505–1512(2009).

López-Santana, E., Akhavan-Tabatabaei, R., Dieulle, L., Labadie, N. ve Medaglia, A. L., “On the combined maintenance and routing optimization problem.” *Reliability Engineering and System Safety*, 145, 199–214(2016).

Lopez, L., Carter, M. W. ve Gendreau, M., “The hot strip mill production scheduling problem: A tabu search approach.” *European Journal of Operational Research*, 106(2–3), 317–335(1998).

Lysgaard, J.,” Clarke & Wright ’s Savings Algorithm”, (September), 1–7(1997).

Marasović, T. ve Marasović, R., “Road maintenance optimal route planning with more than one base location.” *2007 15th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks, SoftCOM 2007*, 426–430(2007).

Mathew, B. S. ve Isaac, K. P. “Optimisation of maintenance strategy for rural road network using genetic algorithm.” *International Journal of Pavement Engineering*. Taylor & Francis(2014).

Mattos Ribeiro, G., Desaulniers, G. ve Desrosiers, J., “A branch-price-and-cut algorithm for the workover rig routing problem.” *Computers and Operations Research*, 39(12), 3305–3315(2012).

Michalewicz, Z., “Genetic Algorithm+Data structure =Evaluation Programs”, 3 rd edition, Springer-Verlag, Newyork.17-19 (1996).

Moghaddam, K. S., “Preventive Maintenance and Replacement Scheduling : Models and Algorithms.” *Computers and Industrial Engineering*, (November), 1–85(2008).

Moubray, J., “Reliability-centred Maintenance”, *Butterworth-Heinemann*, Great Britain, (1999)

Orhan, İ., Lu, M. K. Ğ. ve Karakoç, T. H. “Hedef Programlama İle Bütünleşik Uçak Rotalama ve Bakım Çizelgeleme”, 27(1), 11–26(2012).

Özsağlam, M. Y., Çunkaş, M., “Optimizasyon Problemlerinin Çözümü için Parçaçık Sürü Optimizasyonu Algoritması” *Journal of Polytechnic*, 11(4), 299-305(2008).

Öztemel, E., “Yapay Sinir Ağları”, *Papatya Yayıncılık*, İstanbul, 4-8(2012).

Pacheco, A. V. F., Ribeiro, G. M. ve Mauri, G. R. “A Grasp with Path-Relinking for the Workover Rig Scheduling Problem.” *International Journal of Natural Computing Research*, 1(2), 1–14(2010).

Parragh, S. N. ve Doerner, K. F., “Solving routing problems with pairwise synchronization constraints.” *Central European Journal of Operations Research*, 26(2), 443–464(2018).

Peng, F. ve Ouyang, Y., “Track maintenance production team scheduling in railroad networks.” *Transportation Research Part B: Methodological*, 46(10), 1474–1488(2012).

Peng, F. ve Ouyang, Y., “Optimal clustering of railroad track maintenance jobs.” *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 29(4), 235–247(2014).

Peng, F., Ouyang, Y. ve Somani, K., “Optimal routing and scheduling of periodic inspections in large-scale railroad networks.” *Journal of Rail Transport Planning and Management*, 3(4), 163–171(2013).

Perrier, N., Langevin, A. ve Amaya, C.-A., “Vehicle Routing for Urban Snow Plowing Operations.” *Transportation Science*, 42(1), 44–56(2008).

Perrier, N., Langevin, A. ve Campbell, J. F., “A survey of models and algorithms for winter road maintenance. Part III: Vehicle routing and depot location for spreading.” *Computers and Operations Research*, 34(1), 211–257(2007a).

Perrier, N., Langevin, A. ve Campbell, J. F., “A survey of models and algorithms for winter road maintenance. Part IV: Vehicle routing and fleet sizing for plowing and snow disposal.” *Computers and Operations Research*, 34(1), 258–294(2007b).

Phan, D. T. ve Zhu, Y., “Multi-stage optimization for periodic inspection planning of geo-distributed infrastructure systems.” *European Journal of Operational Research*, 245(3), 797–804 (2015).

Quirion-Blais, O., Langevin, A. ve Trépanier, M., “A case study of combined winter road snow plowing and de-icer spreading.” *Canadian Journal of Civil Engineering*, 44(12), 1005–1013(2017).

Quiroga, L. M. ve Schnieder, E., “A heuristic approach to railway track maintenance scheduling.” *WIT Transactions on the Built Environment*, 114, 687–699(2010).

Raknes, N., Ødeskaug, K., Stålhane, M. ve Hvattum, L., “Scheduling of

Maintenance Tasks and Routing of a Joint Vessel Fleet for Multiple Offshore Wind Farms.” *Journal of Marine Science and Engineering*, 5(1), 11(2017).

Rashidnejad, M., Ebrahimnejad, S. ve Safari, J., “A Bi-Objective Model Of Preventive Maintenance Planning In Distributed Systems Considering Vehicle Routing Problem.” *Computers and Industrial Engineering*, 120(May), 360–381(2018).

Renaud, J., Boctor, F. F., Laporte, G., Renaud-, J., Boctor, F. F. ve Laporte, G., “An Improved Petal Heuristic for the Vehicle Routing Problem” *Published by: Palgrave Macmillan Journals on behalf of the Operational Research Society* Stable URL : <https://www.jstor.org/stable/2584352> Linked references are available on JSTOR for this artic, 47(2), 329–336(2019).

Ribeiro, G. M., Desaulniers, G., Desrosiers, J., Vidal, T. ve Vieira, B. S., “Efficient heuristics for the workover rig routing problem with a heterogeneous fleet and a finite horizon.” *Journal of Heuristics* (C. 20) (2014).

Ribeiro, G. M., Laporte, G. ve Mauri, G. R., “A comparison of three metaheuristics for the workover rig routing problem.” *European Journal of Operational Research*, 220(1), 28–36(2012).

Ropke, S., “Heuristic And Exact Algorithms For Vehicle Routing Problems”, Doktora Tezi, *Department of Computer Science at the University of Copenhagen*, Copenhagen, 146-155(2005) .

Ryan, D. M. ve Foster, B. A., “An integer programming approach to scheduling.” *Computer scheduling of public transport urban passenger vehicle and crew scheduling* (1981).

Sarker, B. R. ve Faiz, T. I., “Minimizing maintenance cost for offshore wind turbines following multi-level opportunistic preventive strategy.” *Renewable Energy*, 85, 104–113(2016).

Simeu-Abazi, Z. ve Ahmad, A. A., “Optimisation of distributed maintenance: Modelling and application to the multi-factory production.” *Reliability Engineering and System Safety*, 96(11), 1564–1575(2011).

Sperstad, I. B., Halvorsen-Weare, E. E., Hofmann, M., Nonås, L. M., Stålhane, M. ve Wu, M., “A comparison of single- and multi-parameter wave criteria for accessing wind turbines in strategic maintenance and logistics models for offshore wind farms.” *Energy Procedia*, 53(C), 221–230(2014).

Stalhane, M., Hvattum, L. M. ve Skaar, V., “Optimization of routing and scheduling of vessels to perform maintenance at offshore wind farms.” *Energy Procedia*, 80(1876), 92–99(2015).

Stalhane, M., Vefsnmo, H., Halvorsen-Weare, E. E., Hvattum, L. M. ve Nonås,

L. M., “Vessel Fleet Optimization for Maintenance Operations at Offshore Wind Farms under Uncertainty.” *Energy Procedia*, 94(1876), 357–366(2016).

Şahin, Y., Eroğlu, A., “Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi İçin Metasezgisel Yöntemler: Bilimsel Yazın Taraması.”, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(4):337-355(2014).

Şeker, Ş., “Araç Rotalama Problemleri ve Zaman Pencereli Stokastik Araç Rotalama Problemine Genetik Algoritma Yaklaşımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi*, İstanbul, 78-80(2007).

Tang, W. J., Zhang, G. H. ve Liao, M. J., “A framework of winter road maintenance optimization.” *Proceedings - International Conference on Natural Computation*, 2016-Janua, 1057–1061(2016).

Ünal, G., “Güvenilirlik Merkezli Bakım ve Bir Endüstriyel Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2-10 (72-76) (2009)

Vidal, T., Crainic, T. G., Gendreau, M., Lahrichi, N. ve Rei, W., “A Hybrid Genetic Algorithm for Multidepot and Periodic Vehicle Routing Problems.” *Operations Research*, 60(3), 611–624(2012).

Yazgan, H. R. ve Büyükyılmaz, R. G., “Eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemine sezgisel bir çözüm yaklaşımı.” *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 436–449(2017).

Zhang, H., Bie, Z., Yan, C. ve Li, G. “Post-disaster power system resilience enhancement considering repair process.” *China International Conference on Electricity Distribution, CIGED*, (201804270001249), 1550–1554(2018).

Zhang, T., Cheng, Z., Liu, Y. ve Guo, B., “Maintenance scheduling for multi-unit system: a stochastic Petri-net and genetic algorithm based approach.” *Eksplatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 14(3), 256–264(2012).

## ÖZGEÇMİŞ

Merve ÇELİK ilk, orta ve lise eğitimini İstanbul şehrinde tamamladı. 2012 yılında Karabük Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2017 yılında mezun oldu. 2017 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2018 yılında 5 ay kadar bir süre ile İstanbul'da bir tekstil firmasında çalıştıktan sonra buradan ayrılıp, 2019 itibariyle Okyanus Çorap Sanayi Ve Ticaret Limited Şirketi'nde Numune Departman Sorumlusu olarak çalışmaktadır.