

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
DOKTORA TEZİ

DOĞAL GAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLARINDA PERSONEL  
ÇİZELGELEME PROBLEMİ İÇİN KARAR DESTEK MODELİ ÖNERİSİ

Emir Hüseyin ÖZDER

**KIRIKKALE - 2020**

## ONAY SAYFASI

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda** Emir Hüseyin ÖZDER tarafından hazırlanan **DOĞAL GAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLARINDA PERSONEL ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ İÇİN KARAR DESTEK MODELİ ÖNERİSİ** adlı Doktora Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof./Dr. Süleyman ERSOZ  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Doktora Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Prof./Dr. Tamer EREN  
Danışman

### Jüri Üyeleri

Başkan: Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN \_\_\_\_\_

Danışman: Prof. Dr. Tamer EREN \_\_\_\_\_

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Suna ÇETİN \_\_\_\_\_

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Serkan KAYA \_\_\_\_\_

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Evrencan ÖZCAN \_\_\_\_\_

13/01/2020

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Recep ÇALIN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

### DOĞAL GAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLARINDA PERSONEL ÇİZELGELEME PROBLEMİ İÇİN KARAR DESTEK MODELİ ÖNERİSİ

ÖZDER, Emir Hüseyin

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Tamer EREN

OCAK 2020, 185 Sayfa

Doğal gaz kombine çevrim santralleri, doğal gaz kullanarak elektrik üreten santrallerdir. Bu santraller; verimli, düşük sermaye ile kısa sürede kurulabilen, ekonomik, çevre dostu, güvenilir ve sürekli üretim yapan santraller olması sebebiyle Türkiye'nin elektrik ihtiyacının karşılanmasında hayati öneme sahiptir. 2019 yılı eylül ayı sonu verilerine göre Türkiye'nin elektrik ihtiyacının %28,78'i doğal gaz kombine çevrim santrallerinden karşılanmaktadır.

Elektrik üretiminde rol oynayan santral personelinin; süreç izleme, bakım, onarım, acil durum müdahale vb. şeklinde görevleri bulunmaktadır. Bu görevler karmaşık bir yapıya sahiptir. Personelin uzmanlığının, yeteneğinin ve işgücünün yoğun olarak üretim sürecine katkı sağlaması beklenmektedir. Doğal gaz kombine çevrim santrallerinde personel çizelgeleme çalışması yaparken personelin yeteneğini dikkate alan çalışma sayısı da oldukça kısıtlıdır. Sürdürülebilir enerji arzı konusu (kesintisiz, ekonomik, çevre dostu ve verimli) ön plana çıktığında; elektrik üretiminin, işçiliğin, malzemelerin ve bakım işlemlerinin kontrol edilmesi, enerji santrallerinde vazgeçilmez bir gerekliliktir. Santrallerin işletme kurallarına uygun olarak işletilmesi, iş dağılımının dengelenmesi, çalışan performansının en üst düzeye çıkarılması, uygun personelin uygun işe atanması gibi işler, yönetilmesi gereken zor süreçlerdir. Personel çizelgelerinin yanlış oluşturulması nedeniyle üretimin durması, doğal gaz kombine çevrim santralleri için büyük bir sorundur. Bu durum sürdürülebilir enerji arzını sektöre uğratmaktadır. Türkiye'nin elektrik ihtiyacının büyük bölümünü karşılayan bu

santrallerin verimli ve kesintisiz çalışması için personel kaynağının etkin kullanılması önemli bir konudur. Bununla birlikte, doğal gaz kombine çevrim santrallerinde üretim miktarları mevsimlere göre değişiklik göstermektedir. Atmosferik sıcaklık, doğal gaz kombine çevrim santrallerinin termal verimliliğini etkileyen önemli bir parametredir. Başka bir deyişle, doğal gaz kombine çevrim santrallerin ısı verimi, atmosferik sıcaklık arttıkça düşer. Bu nedenle, santraller özellikle kış ve sonbaharda en yoğun ve verimli çalışırlar. Türkiye'deki doğal gaz kombine çevrim santrallerinin on yıllık elektrik üretim yüzdelerine bakıldığında ortalama oranların yaz aylarında %14,59, sonbahar aylarında %21,41, kış aylarında %28,89 ve ilkbahar aylarında %24,82 olduğu görülmektedir. Elektrik üretimi dönemlere göre değişiklik gösterdiğinden personel ihtiyacı da dönemlere göre farklılık göstermektedir. Personel ihtiyacının az olduğu dönemlerde fazladan personel görevlendirmek maliyetler açısından olumsuz etki yaratmaktadır. Bu durumda mevsimlere göre farklı personel çizelgeleri hazırlanması gerekmektedir. Literatürde hem personel maliyetini hem de mevsimlere göre personel değişimini dikkate alan personel çizelgeleme çalışmasına rastlanmamıştır.

Bu tezde, personel yeteneğini, maliyetini ve mevsimlere göre personel değişimini dikkate alan personel çizelgeleme çalışması yapılmıştır. Altı farklı durum için personel çizelgeleme modeli önerilmiştir. Her bir mevsim için maliyet minimizasyonu ve personel yetenek kriter değerleri modele dâhil edilerek uygun personel çizelgesi oluşturulmuştur. Personel yetenek kriterlerinin ağırlıklarını belirlemek için çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden analitik ağ süreci kullanılmıştır. Yetenek ağırlığının farklı olduğu tespit edilen personellerin aylık toplam atanma sayısında değişimler gözlemlenmiştir. Maliyet minimizasyonu dikkate alındığında ise toplam personel atama sayısında azalma gözlemlenmiştir. Yapay sinir ağları ile dönemlere göre elektrik üretim tahminleri yapılmış ve mevsimsel personel ihtiyacı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Personel Çizelgeleme, Analitik Ağ Süreci, Hedef Programlama, Yapay Sinir Ağları, Yetenek Temeli, Mevsimsel Değişim

## **ABSTRACT**

### **A NOVEL MODEL SUGGESTION FOR PERSONNEL SCHEDULING PROBLEM IN NATURAL GAS COMBINED CYCLE POWER PLANTS**

ÖZDER, Emir Hüseyin

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering, Doctoral Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Tamer EREN

JANUARY 2020, 185 Pages

Natural gas combined cycle power plants are those that generate electricity using natural gas. These power plants; efficient, which can be installed in a short time with low capital, economical, environmentally friendly, because it is reliable and continuous production plants which are vital in meeting Turkey's electricity needs. According to data from the end of September 2019, 28.78% of Turkey's electricity needs are met by natural gas combined cycle power plant.

The personnel of the power plant playing a role in electricity generation; process monitoring, maintenance, repair, emergency response etc. in the form of tasks. These tasks have a complex structure. The expertise, talent and workforce of the personnel are expected to contribute intensively to the production process. The number of studies that take into account the personnel's ability to perform personnel scheduling in natural gas combined cycle power plants is also very limited. When the issue of sustainable energy supply (uninterrupted, economic, environmentally friendly and efficient) comes to the fore; Controlling electricity production, labor, materials and maintenance processes is an indispensable requirement in power plants. Operation such as operating the plants in accordance with the operating rules, balancing the distribution of work, maximizing employee performance, and assigning the appropriate personnel to the appropriate job are the difficult processes to be managed. Stopping production due to incorrect scheduling of personnel is a major problem for natural gas combined cycle power plants. This disrupts sustainable energy supply. effective use of staff resources

for the efficient and uninterrupted operation of these plants meet the majority of Turkey's electricity needs is an important issue. However, production amounts of natural gas combined cycle power plants vary according to the seasons. Atmospheric temperature is an important parameter affecting the thermal efficiency of natural gas combined cycle power plants. In other words, the thermal efficiency of natural gas combined cycle power plants decreases as the atmospheric temperature increases. Therefore, power plants operate most intensively and efficiently, especially in winter and autumn. Referring to ten percent of the annual electricity production of natural gas combined cycle power plant in Turkey in the summer, the average rate of 14.59%, 21.41% in the autumn, it is seen that during the winter months was 28.89% and 24.82% in the spring. Since electricity generation varies according to periods, the personnel requirement also varies according to periods. Assigning extra personnel during periods of low personnel needs has a negative impact on costs. In this case, different personnel schedules should be prepared according to the seasons. In the literature, no personnel scheduling study that considers both the personnel cost and the seasonal change of personnel has been found.

In this thesis, a personnel scheduling study has been carried out considering the personnel ability, cost and seasonal changes. Personnel scheduling model has been proposed for six different situations. Cost minimization and personnel talent criterion values for each season were included in the model and an appropriate personnel schedule was formed. The analytical network process, one of the multi-criteria decision-making methods, was used to determine the weights of the personnel talent criteria. Changes were observed in the total number of monthly appointments of the personnel whose talent weight was found to be high. When the cost minimization is taken into consideration, a decrease in the total number of personnel is observed. Estimates of electricity generation by artificial neural networks have been made and seasonal personnel needs have been determined.

**Keywords:** Personnel Scheduling, Analytical Network Process, Goal Programming, Artificial Neural Networks, Skill-based, Seasonal Change

## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımını esirgemeyen, her soruma büyük bir sabırla ve titizlikle yanıt veren, tez yöneticisi çok değerli hocam, Sayın Prof. Dr. Tamer EREN'e; çalışmalarım esnasında engin tecrübelerinden yararlandığım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Evrencan ÖZCAN, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hacı Mehmet ALAKAŞ, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Serkan KAYA ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Suna ÇETİN'e, bana her konuda destek veren, tüm imkânlarını sonuna kadar seferber eden, değerli eşime, canım oğluma, ve büyük fedakârlıklarla her koşulda yanımda olan, beni bugünlere getiren değerli annem ve babama teşekkür ederim.



# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	vi
KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	x
ÇİZELGELER LİSTESİ .....	xi
1. GİRİŞ	12
2. DOĞAL GAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLARI	16
2.1. Doğal Gaz Kombine Çevrim Santralı Elemanları.....	21
2.2. Doğal Gaz Kombine Çevrim Santrallarının Çalışma Prensibi .....	24
2.3. Doğal Gaz Kombine Çevrim Santrallarının Avantajları .....	26
2.4. Doğal Gaz Kombine Çevrim Santrallarında Personelin Yeri ve Önemi.....	28
3. İŞGÜCÜ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ	30
3.1. İşgücü Çizelgeleme Problemlerinin Çeşitleri .....	31
3.1.1. Vardiya Çizelgeleme .....	31
3.1.2. Personel Çizelgeleme .....	31
3.1.2.1. İzin Çizelgeleme.....	33
3.1.2.2. Döngüsel Personel Çizelgeleme.....	33
3.1.2.3. Mürettebat Çizelgeleme .....	34
3.1.2.4. Operatör Çizelgeleme .....	34
3.2. Personel Çizelgeleme Problemlerindeki Model Yapıları.....	34
4. LİTERATÜR ÖZETİ	38
4.1. Literatürde Yapılan Çalışmalar.....	38
4.2. Literatürden Yapılan Çıkarımlar.....	51
4.3. Tezin Literatüre Katkısı.....	58
5. YARARLANILAN YÖNTEMLER	61
5.1. Analitik Ağ Süreci.....	61
5.1.1. Analitik Ağ Sürecinin Adımları.....	63
5.2. Hedef Programlama.....	67
5.2.1. Hedef Programlamanın Avantajları .....	68
5.2.2. Hedef Programlamanın Dezavantajları .....	68



5.3.	Yapay Sinir Ağları .....	70
5.3.1.	YSA'nın Avantajları .....	71
5.3.2.	YSA'nın Dezavantajları .....	72
5.3.3.	Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması.....	72
5.3.4.	Yapay Sinir Ağlarının Yapısı .....	73
6.	UYGULAMA .....	76
6.1.	Problem 1: Mevcut Problemin Çözümü .....	78
6.1.1.	Problem Tanımı: .....	78
6.1.2.	Hedef Programlama Modelinin Kurulması .....	79
6.2.	Problem 2: Personelin 9 Yeteneğinin Dikkate Alındığı Durumda Problemin Çözümü .....	84
6.2.1.	Problem Tanımı: .....	84
6.2.2.	Personel Yetenek Kriterlerinin Belirlenmesi ve Ağırlıklandırılması: 85	
6.2.3.	Hedef Programlama Modelinin Kurulması .....	88
6.3.	Problem 3: Personelin 20 Yeteneğinin Dikkate Alındığı Durumda Problemin Çözümü .....	91
6.3.1.	Problem Tanımı: .....	91
6.3.2.	Personel Yetenek Kriterlerinin Belirlenmesi ve Ağırlıklandırılması	92
6.3.3.	Hedef Programlama Modeli Kurulması .....	94
6.4.	Problem 4: Personelin 9 Yeteneğinin ve Maliyet Minimizasyonunun Dikkate Alındığı Durumda Problemin Çözümü.....	96
6.4.1.	Problem Tanımı .....	96
6.4.2.	Personel Yeteneklerinin Kriterlerin Belirlenmesi ve Ağırlıklandırılması .....	97
6.4.3.	Personel Maliyetlerinin Hesaplanması .....	97
6.4.4.	Hedef Programlama Modelinin Kurulması .....	98
6.5.	Problem 5: Personelin 20 Yeteneğinin ve Maliyet Minimizasyonunun Dikkate Alındığı Durumda Problemin Çözümü.....	101
6.5.1.	Problem Tanımı .....	101
6.5.2.	Personel Yeteneklerinin Kriterlerin Belirlenmesi ve Ağırlıklandırılması .....	101
6.5.3.	Hedef Programlama Modeli Kurulması .....	101
6.6.	Problem 6: Personelin 20 Yeteneğinin, Maliyet Minimizasyonunun ve Mevsimlik Değişimin Dikkate Alındığı Durumda Problemin Çözümü .....	103
6.6.1.	Problem Tanımı: .....	103

6.6.2. Personel Yeteneklerinin Kriterlerin Belirlenmesi ve Ağırlıklandırılması .....	103
6.6.3. Mevsimlere Göre Elektrik Üretiminin Tahmin Edilmesi .....	104
6.6.4. Hedef Programlama Modelinin Kurulması .....	108
7. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ .....	121
8. KAYNAKÇA .....	125
EKLER .....	174
EK 1. Kış sezonu için aylık çizelgeleme önerisi .....	174
EK 2. Sonbahar sezonu için aylık çizelgeleme önerisi .....	175
EK 3. İlkbahar sezonu için aylık çizelgeleme önerisi .....	176
EK 4. Yaz sezonu için aylık çizelgeleme önerisi .....	177
ÖZGEÇMİŞ .....	178

## KISALTMALAR LİSTESİ

AAS	: Analitik Ağ Süreci
AGA	: American Gas Association (Amerikan Gaz Birliği)
AHS	: Analitik Hiyerarşı Süreci
BPN	: Back Propagation Network (Geri Yayılma Ağı)
CH <sub>4</sub>	: Metan
DGKÇS	: Doğal Gaz Kombine Çevrim Santrali
DP	: Doğrusal Programlama
GWh	: Gigavat
HP	: Hedef Programlama
kPa	: Kilo Pascal
kW	: Kilovat
MSE	: Mean Squared Error (Hata Kareleri Ortalaması)
MWh	: Megavat Saat
P	: Personel
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition (Denetleyici Kontrol ve Veri Toplama)
T	: Toplam
TEK	: Türkiye Elektrik Kurumu
K	: Kriter
V	: Vardiya
YSA	: Yapay Sinir Ağı

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### ŞEKİL

### Sayfa

Şekil 2.1. Üretim içeriklerine göre enerji kaynakları [7] .....	16
Şekil 2.2. 2008 - 2018 yılları arası son 10 yıllık Türkiye elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre ortalama yüzde dağılımı [5].....	19
Şekil 2.3. Gaz türbini, kompresör ve yanma odası .....	21
Şekil 2.4. Yanma odası, ekonomizör, evaporatör ve kızdııcı.....	22
Şekil 2.5. Soğutma kuleleri .....	22
Şekil 2.6. Generatör, transformatör, şalt tesisi ve panolar .....	23
Şekil 2.7. Borular ve bağlantıları.....	23
Şekil 2.8. DGKÇS çalışma prensibi.....	24
Şekil 3.1. Hizmet sektöründe çizelgeleme gruplandırması .....	30
Şekil 4.1. Çizelgeleme çalışmalarının yıllara göre kümülatif dağılımı .....	51
Şekil 4.2. Personel çizelgeleme çözüm yöntemleri .....	52
Şekil 4.3. Personel çizelgeleme uygulama alanları .....	53
Şekil 4.4. Personel çizelgeleme çalışmalarının dergilere göre dağılımı .....	54
Şekil 4.5. Çizelgeleme çalışmalarının amaç fonksiyonları .....	55
Şekil 4.6. Çizelgeleme çalışmalarının uygulama sonuçlarının elde edilme durumu ..	55
Şekil 5.1. Ağ yapısı.....	66
Şekil 5.2. Biyolojik sinir ağı yapısı.....	73
Şekil 5.3. Genel YSA yapısı.....	74
Şekil 6.1. AAS uygulama basamakları .....	86
Şekil 6.2. 9 kriterli ağ yapısı.....	86
Şekil 6.3. 20 kriterli ağ yapısı.....	93
Şekil 6.4. Problem 6'nın uygulama adımları.....	103
Şekil 6.5. Ağ tasarımı.....	105
Şekil 6.6. YSA regresyon grafikleri.....	106
Şekil 6.7. Tüm problemlerin şeması .....	117

## ÇİZELGELER LİSTESİ

### ÇİZELGE

Sayfa

Çizelge 2.1. 2019 yılı eylül sonu Türkiye brüt elektrik üretiminin (GWh) birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı [6].....	20
Çizelge 4.1. Personel çizelgeleme çalışmaları .....	56
Çizelge 4.1. (devamı...) Personel çizelgeleme çalışmaları.....	57
Çizelge 5.1. Karşılaştırma ölçeği.....	67
Çizelge 6.1. Uygulama özeti .....	78
Çizelge 6.2. Mevcut durumda her personelin aylık gün bazlı toplam iş yükü dağılımı .....	79
Çizelge 6.3. Problem 1 için her bir personelin aylık vardiya bazlı toplam çalışma günü sayısı.....	83
Çizelge 6.4. Çalışanların yetenekleri ile ilgili belirlenen kriterler .....	85
Çizelge 6.5. Her bir personelin AAS ile elde edilen yetenek ağırlıkları değeri .....	87
Çizelge 6.6. İşçilerin kıdem seviyelerine göre yetenek temelli ağırlıkları ( <b>ti</b> ) .....	88
Çizelge 6.7. Problem 2 için her bir personelin aylık vardiya bazlı toplam çalışma günü sayısı.....	90
Çizelge 6.8. 20 yetenek kriteri.....	92
Çizelge 6.9. Her bir personelin AAS ile elde edilen yetenek ağırlıkları değeri .....	93
Çizelge 6.10. İşçilerin kıdem seviyelerine göre yetenek temelli ağırlıkları ( <b>ti</b> ) .....	94
Çizelge 6.11. Problem 3 için her bir personelin aylık vardiya bazlı toplam çalışma günü sayısı.....	96
Çizelge 6.12. Personellerin çalıştıkları günlere göre aldıkları ücret detayları .....	97
Çizelge 6.13. Problem 4 için her bir personelin aylık vardiya bazlı toplam çalışma günü sayısı.....	100
Çizelge 6.14. Problem 5 için her bir personelin aylık vardiya bazlı toplam çalışma günü sayısı.....	102
Çizelge 6.15. Mevsimlik elektrik üretimi için ortalama tahmini değerler .....	107
Çizelge 6.16. Personel sayılarının detayları .....	108
Çizelge 6.17. Sonbahar mevsiminde her bir personelin vardiya bazlı aylık toplam çalışma günü sayısı .....	114
Çizelge 6.18. İlkbahar mevsiminde her bir personelin vardiya bazlı aylık toplam çalışma günü sayısı .....	115
Çizelge 6.19. Yaz mevsiminde her bir personelin vardiya bazlı aylık toplam çalışma günü sayısı.....	116
Çizelge 6.20. Çizelge kıyaslaması .....	118
Çizelge 6.21. Çizelgeleme uygulamalarının yardımı ile sağlanan maliyet kazanımları .....	119
Çizelge 6.22. Kıdem seviyesine göre farklı mevsimlerde aylık toplam çalışma günü sayısı .....	120

## 1. GİRİŞ

Globalleşen dünyada, ülkelerin rekabet edebilme gücünü artıran en temel unsurlardan biri enerjidir [1]. Enerji, insanların yaşam kalitesini yükseltirken ülkelerin ekonomik ve sosyal alanda ilerlemesinde de önemli bir rol oynamaktadır [1]. Nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme olguları, artan ticaret olanakları ve sürekli gelişen teknolojinin insan hayatında vazgeçilmez bir unsur haline gelişi ise, enerjiye olan talebi her geçen gün biraz daha artırmaktadır [2]. Artan bu talebin karşılanması için ülkeler yeni tedbirler almaktadır. Ülkeler, enerji sektörüne yapacakları büyük altyapı yatırımlarını hem mevcut sistemlerini güçlendirmek hem de çağın gereklerini yerine getirmek üzere kesintisiz, çevreye duyarlı ve düşük maliyetli enerji üretimini sağlamak doğrultusunda yapılandırmaktadırlar [3].

Dünya genelinde enerjinin en yaygın formu elektrik enerjisidir ve bu enerji türü elektrik üretim santrallerinde üretilmektedir [4]. Elektrik üretim santralleri, kullandıkları enerji kaynağına göre isimlendirilmekte (doğal gaz kombine çevrim santrali, hidroelektrik santral, nükleer santral, vb.) olup sürdürülebilirlik açısından kaynak çeşitliliği büyük önem arz etmektedir. Dünyada elektrik üretiminde kullanılan kaynakların dağılımları incelendiğinde, elektrik üretimi için en yaygın olarak kullanılan kaynağın kömür olduğu görülmektedir [1]. Kömürden sonra en fazla kullanılan kaynak ise doğal gazdır [1]. ABD, Çin, Hindistan ve Almanya'da kömür, Rusya'da doğal gaz, Fransa'da nükleer enerji ve Kanada'da yenilenebilir enerji kaynakları, elektrik enerjisi üretiminde en fazla paya sahip olan kaynaklardır [5].

Türkiye'nin enerji talep artışı gün geçtikçe artmaktadır. Bu sebeple Türkiye sürdürülebilir enerji politikalarına yönelmektedir [5]. Enerji politikalarının odaklandığı temel noktalardan birisi de maliyet minimizasyonu ve verim maksimizasyonudur. Bu amaçlar doğrultusunda mevcut elektrik üretim tesislerinin verimli bir şekilde işletilmesi istenmektedir. Bu sayede, ekonomiklik kriteri çerçevesinde enerji arz güvenliğine hizmet edilmesine olanak sağlanması amaçlanmaktadır [6]. Tesislerin ekonomik ve verimli işletilmesi için mevcut işgücü, malzeme, ekipman vb. girdilerini verimli kullanmaları gerekmektedir. Özellikle

işgücünün yani personelin verimli kullanımı, elektrik üretim tesislerinde dikkat edilmesi gereken önemli bir konudur. Bu sebeple, mevcut elektrik üretim tesislerinin ekonomik ve verimli bir şekilde üretim yapmasına olanak sağlayan yöntemlere olan ilgi de artmıştır.

Doğal gaz kombine çevrim santralleri (DGKÇS) sürdürülebilir enerji arzını gerçekleştirmek için sürekli çalışan tesislerdir. Sürdürülebilir bir enerji arzı belirli özelliklere sahiptir. Yani; enerji arzı kesintisiz, güvenilir, verimli, ekonomik ve çevre dostu olmalıdır [1]. Bu nedenle insan gücünü, malzeme ve bakım süreçlerini yönetmek elektrik üretimi için vazgeçilmez bir gerekliliktir. Tesislerin işletme kurallarına uygun olarak işletilmesi için gereken koşullar sağlanmalıdır. Bu koşullar, dengeli iş dağılımını sağlayan personel çizelgeleme çalışmaları vasıtasıyla karşılanır. İlgili personel performansının artırılması, uygun personelin uygun işlere atanması vb. personel çizelgelemenin gereksinimlerini oluşturur. Santrallerin kesintisiz olarak üretim yapabilmesi ve planlanan zamanlarda bakımı, ilk önce santralde çalışan personelin doğru ve verimli bir şekilde çizelgelemesine bağlıdır. Bu nedenle, DGKÇS personelinin çizelgelemesi problemi çok önemlidir.

Günümüzün gelişen teknolojisi sayesinde, bazı santraller SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) (Denetleyici Kontrol ve Veri Toplama) adlı bir sistem yardımıyla merkezi kontrol odalarından otomatik olarak yönetilebilmektedir. Ancak, bu sistemin kurulması ve uygulanması oldukça pahalıdır. Bu nedenle çoğu tesis SCADA sistemi olmadan çalışmaya devam eder. Bu sistemin var olduğu ve çalıştığu tesislerle diğer tesisler karşılaştırıldığında, personel hatasının sebep olduğu maliyet kayıpları göze çarpmaktadır. Personel çizelgelemesinde yapılan hatalar bu kayıpların başında gelmektedir. Personel hataları genellikle personel tarafından yapılan yanlış işlemler, dikkat eksikliği, birikmiş yorgunluk ve en önemlisi adaletsiz iş planlamasından kaynaklanır. Personel hatalarından kaynaklı olarak uzun vadeli arızalar veya duruşlar ortaya çıkabilir, bu da enerji ve gelir kaybına neden olur. Ayrıca, sürdürülebilir enerji arzının kesintiye uğraması nedeniyle güvensiz bir ortam oluşabilir. Bu bağlamda, elektrik üretim tesislerinde kullanılan personel çizelgeleme modelleri adil ve uygun iş dağılımı için kritik öneme sahiptir [4].

Bu tezde personel çizelgeleme problemlerinin enerji santralleri üzerinde etkin çözümler üretebildiği altı problem çözümü ile gösterilmiştir. Bu problemlerde personel yetenekleri, maliyet minimizasyonu gibi farklı kombinasyonlarla çözüm yapılmış ve çözümler birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Problem 1’de mevcut durumda el ile yapılan personel çizelgelemenin hedef programlama modeli ile çözümü yapılmıştır ve iyileşmeler gözlemlenmiştir. Problem 2’de ise santralda çalışan personellerin sahip olduğu yeteneklerin çalışma performansına ne ölçüde etki ettiği gözlemlenmek istenmiştir. Bu sebeple personelin sahip olduğu 9 farklı yeteneğin hedef programlama modeline dâhil olduğu problem çözülmüştür. Problem 3’te personellerin sahip olduğu yetenek sayısı 20’ye çıkarıldığı durumda hedef programlama modeli çözümü yapılmıştır. Maliyet faktörü DGKÇS’lerde önemli ve göz ardı edilmemesi gereken bir faktördür. Bu sebeple Problem 4’te, personelin sahip olduğu yetenek sayısı 9 iken modele maliyet minimizasyonu kısmı eklenmiş ve hedef programlama çözümü yapılmıştır. Problem 5’te personelin sahip olduğu yetenek sayısı 9’dan 20’ye çıkarılmış ve modele maliyet minimizasyonu kısmı eklenip hedef programlama çözümü yapılmıştır. Son problem olan 6’da farklı mevsimlere göre farklı üretim kapasiteleri olduğu için yapay sinir ağları tekniği ile üretim tahmini yapılmış ve edinilen bilgilerle personel çizelgelemesi yapılmıştır. Problem 6’da personelin sahip olduğu yetenek sayısı 20 iken, maliyet minimizasyonlu ve mevsimlik elektrik üretim tahminli durumda hedef programlama modelinin çözümü yapılmıştır. Araştırma sonuçları literatürdeki çözümler ile karşılaştırılarak geliştirilen modellerin eksik ve güçlü yönleri ortaya konulmuştur.

Tez yedi bölümden oluşmaktadır: Birinci bölümde; tez çalışmasının konusu, önemi, amaçları ve içeriğine ilişkin genel bilgiler verilmiştir. Türkiye’deki elektrik üretim kaynaklarından ve bunların öneminden bahsedilmiştir.

İkinci bölümde DGKÇS’ler ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir. DGKÇS’lerin çalışma prensipleri ve Türkiye’deki önemi ile ilgili bilgiler verilmiştir. Bu bölümde ayrıca, DGKÇS’lerdeki personelin yeri ve önemi ile ilgili detaylar anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, işgücü çizelgeleme ile ilgili bilgiler verilmiştir. İşgücü çizelgeleme ikiye ayrılmaktadır. Bunlar: Personel çizelgeleme ve vardiya çizelgelemedir. Bu tezde



aslen incelenen alan personel çizelgeme olduğu için bölümün devamında bu kısım detaylandırılmıştır. Personel çizelgelemedeki model yapıları, sınıflandırmalar ve özelliklerinden bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde ise personel çizelgeme konusu ile ilgili literatür incelemesi yer almaktadır. Toplamda üç farklı literatür taramasının bahsettiği yaklaşık 360 çalışma incelenmiştir. Enerji ile ilgili dergilerde personel çizelgeme çalışmaları mevcuttur, ancak bu konudaki çalışmalar oldukça nadirdir. Enerji sektöründe personel çizelgemesi bâkir bir alandır ve keşfedilmeyi beklemektedir. Bununla birlikte, elektrik üretim santrallerinin temel amacı sürdürülebilir enerji arzı sağlamaktır. Sürdürülebilir elektrik üretimi kesintisiz, ekonomik, verimli ve çevre dostu olmalıdır. Bu kapsamlı amaç için çalışan personelin önemi ve etkisi yüksektir. Bu bağlamda, bu tez personel çizelgeme probleminde çözüm getirmek için büyük ölçekli bir DGKÇS'ye odaklanmıştır.

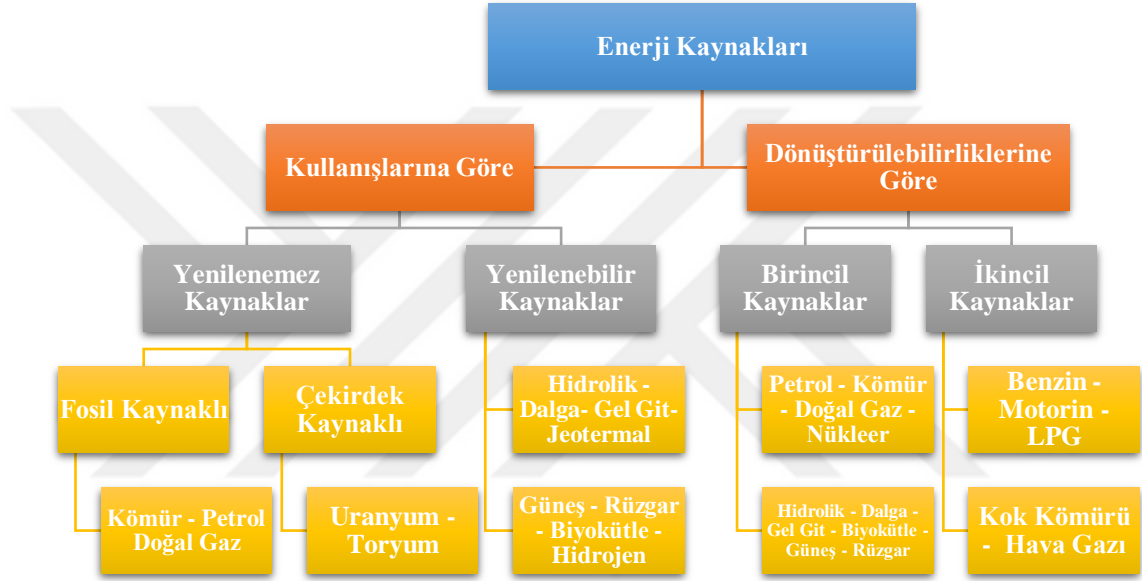
Çalışmanın beşinci bölümünde kullanılan yöntemlerle ilgili bilgiler verilmiştir. Tezde analitik ağ süreci, hedef programlama ve yapay sinir ağları yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerin avantajları, dezavantajları ve tezde neden kullanıldıkları ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın altıncı bölümü olan uygulama bölümünde ise hâlihazırda faaliyet gösteren bir elektrik üretim santralında elde edilen gerçek verilere personel çizelgeme problemi çözüme kavuşturulmuştur. Bu bölümde altı problem çözümü gerçekleştirilmiştir. Her bir problem çözümü birbirinden farklıdır ve sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar detaylıca incelenmiştir.

Çalışmanın nihai sonuçlarının açıklandığı yedinci ve son bölümde elde edilen bulgular ortaya konulmuştur. Çalışmanın literatüre sağladığı katkılardan bahsedilmiştir. Ayrıca gelecek çalışmalarda diğer araştırmacılara ışık tutacak önerilerde bulunulmuştur.

## 2. DOĞAL GAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLARI

Enerji üreten santrallar kaynak türlerine göre değişiklik göstermektedir. Bu santrallar harcadıkları kaynakları ve dönüştürülebilirliklerine göre temelde iki gruba ayrılmaktadır. Yenilenebilir ve yenilenemez kaynaklar ise kullanımına göre birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak iki gruba ayrılmaktadır. [7]. Şekil 2.1.'de üretim içeriklerine göre enerji kaynakları verilmiştir [7].



Şekil 2.1. Üretim içeriklerine göre enerji kaynakları [7]

Elektriğin üretim ve dağıtımının yapıldığı yerlere elektrik santrali denmektedir. Santrallar kuruluş amacına göre, hizmet ettikleri alana göre ve mekanik enerji üreten makinenin cinsine göre birçok şekilde sınıflandırılırlar [4]. Genellikle mekanik enerji üreten makinenin cinsine göre santrallar isim alır. Santrallar temelde termik, hidroelektrik ve rüzgâr santralları olmak üzere üçe ayrılır. Santrallar çalışma şekillerine göre; temel yük, normal, puant ve biriktirmeli santrallar olarak dörde ayrılır [4]. Ucuz yakıt kullanan ve üretilen enerjinin birim maliyetinin ucuz olduğu hidrolik santrallar, temel yük santralları olarak görev yapar. Bu tür santralların işletme süreleri çok uzundur [4]. Şehir, kasaba ve köyler gibi yerleşim birimlerinin elektrik ihtiyacını

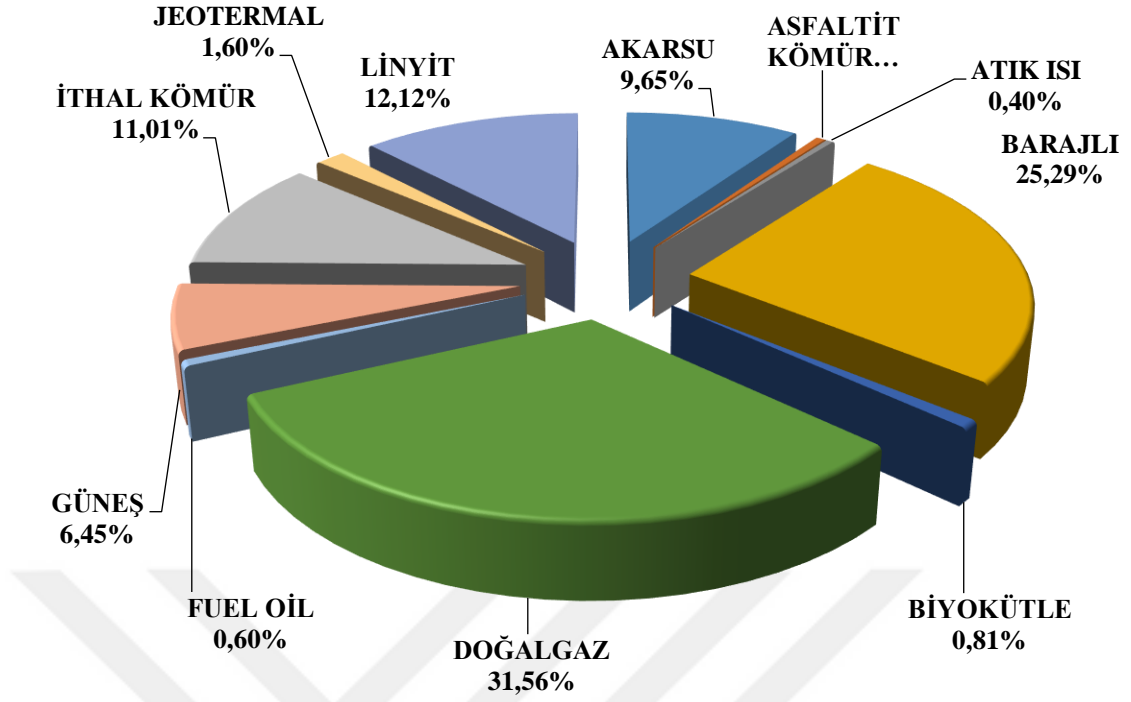
karşılaman santraller ise normal santraller olarak adlandırılır [4]. Şebeke yükünün yükseldiği zamanlarda hızlı şekilde talebi karşılayabilmek için devreye alınan santrallara de puant santralleri denir. Puant santrallerinin işletme süreleri kısa olup kuruluş maliyetleri düşüktür [4]. Biriktirmeli santraller ise enerji tüketiminin az olduğu zamanlarda devre dışı bırakılıp suyu depolar ve enerji tüketiminin fazla olduğu zamanlarda da bu suyu kullanarak elektrik enerjisi üreten santrallerdir [4].

Elektrik üretimi ve kullanımı 1870'te gelişmiş Batı ülkelerinde başlamıştır [4]. İlk elektrik santrali 1882'de Londra'da hizmete girmiştir [4]. Yurdumuzda ilk elektrik santrali 1902 yılında Tarsus'ta yabancı ülke menşeli şirketler tarafından kurulmuştur. Bu santral, su değirmenine bağlanmış 2 kW gücündeki bir dinamo ile elektrik üretmiştir [4]. Türkiye'nin ilk taş kömürü Santrali, İstanbul'da kurulan Silahtarğa santralidir [4]. 1950'li yıllarda, devlet ve özel sektör eliyle santraller yapılmaya ve işletmeye başlanmıştır [4]. Bu dönemde ülkenin elektrifikasyonunda termik santrallerin yanı sıra hidroelektrik santrallara yönelinmiştir [4]. 1970 yılında elektriğin üretim, iletim, dağıtım ve ticaretini yapacak bir tekel olmak üzere, kamu iktisadi teşebbüsü olan Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) kurulmuştur. 1984 yılında, enerji sektöründeki TEK'in tekeli kaldırılmış, gerekli izinler alınarak kurulacak özel sektör şirketlerine de enerji üretimi, iletimi ve dağıtımını konusunda olanaklar sağlanmıştır [4]. 1993 yılından 2003 yılına kadar hidroelektrik santrallerinin yapımı ve kullanımı artmıştır. Bu tarihten sonra farklı özelleştirmeler ve teşviklerin devreye girmesiyle doğal gaz kombine çevrim santrallerinin önemi artmaya başlamıştır. Türkiye'nin artan elektrik ihtiyacına hızlı cevap verebilmek adına doğal gaz kombine çevrim santrallerine verilen önem ve harcanan sermaye gün geçtikçe artmaktadır.

Doğal gaz, dünyanın en temiz fosil yakıtıdır ve doğal haliyle renksiz ve kokusuzdur. Dört hidrokarbon atomundan ve bir karbon atomundan ( $CH_4$  veya metan) oluşur [8]. Doğal gaz yandığında, çoğunlukla karbondioksit, su buharı ve az miktarda azot oksit üretir [8]. Kullanılan doğal gazın büyük kısmı, milyonlarca yıl önce sığ denizel ortamlarda yaşayan mikroskopik bitki ve hayvanlar temellidir [8]. Canlı organizmalar vücutlarında depolanan karbon molekülünü güneş enerjisinden emmişlerdir. Bu canlılar öldüklerinde, denizin dibine batıp, tortu tabakası ile kaplanmışlardır [8]. Bu organik hammadde yeryüzünde derinleşip, ısının yarattığı sıkıştırma baskısı ile

birleştğinde, biyomaddelerin bir kısmını doğal gaz haline dönüştürmüştür. [8]. Teknolojik gelişmeler, erişilebilirlik, kaynak bolluğu ve gelişmiş dağıtım altyapısı sayesinde doğal gaz, enerji piyasasında köklü bir değişim yaratmıştır. Devamlılığı ve gelecekteki talebi uygun fiyatlarla karşılama durumu, doğal gazın enerji piyasasındaki öneminin artırmasında fayda sağlamıştır [8]. 2017'de, Amerikan Gaz Birliği (AGA - American Gas Association) ile koordineli olarak çalışmalarını sürdüren Potansiyel Gaz Komitesi (Colorado Maden Okulu - Colorado School of Mines) iki yıllık bir rapor yayımlamışlardır. Raporda, Amerika Birleşik Devletleri'nde daha önce kaynağı keşfedilmemiş, 2.817 trilyon fit küplük doğal gaz rezervi belirlenmiştir. Bu rezerv, komitenin 52 yıllık tarihindeki en yüksek kaynak değerlendirmesi olmuştur ve doğal gaz altın çağını yaşamaya başlamıştır [8]. Fizibilite çalışmaları sonrasında 2016 yılında yapılan son değerlendirmeye göre dünyadaki doğal gaz kaynak rezervlerinin toplamda %12 artış sağlayacağı belirtilmiştir [8]. Bu artış tahmini sonrası DGKÇS'lerin önemi de artmıştır.

Dünyada elektrik üretiminde kullanılan kaynakların dağılımları incelendiğinde, elektrik üretimi için en yaygın olarak kullanılan kaynağın kömür olduğu görülmektedir. Kömürden sonra en fazla kullanılan kaynak ise doğal gazdır. ABD, Çin, Hindistan ve Almanya'da kömür, Rusya'da doğal gaz, Fransa'da nükleer enerji ve Kanada'da yenilenebilir enerji kaynakları, elektrik enerjisi üretiminde en fazla paya sahip olan kaynaklardır [5]. Türkiye'de ise doğal gazın elektrik üretiminde kullanılan kaynaklar arasında son on yıldır birinci sıradaki yeri değişmemiştir [1]. Türkiye elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre ortalama son on yıllık yüzde dağılımı Şekil 2.2'de detaylı olarak verilmiştir [5]. Bu bağlamda, ülkeler elektrik üretimiyle ilgili ihtiyaçlarını karşılamak için yeni enerji santralleri inşa etmek ve mevcut enerji santrallerinin kapasitesini veya performansını artırmak için gerekli önlemleri almaktadır. Enerji üretiminin sürdürülebilirliği, elektrik kesintisi olmaksızın düşük maliyetle sağlanmalıdır.



**Şekil 2.2.** 2008 - 2018 yılları arası son 10 yıllık Türkiye elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre ortalama yüzde dağılımı [5]

Türkiye’de özellikle 70’li yıllardan bu yana ivmeli olarak artan elektrik enerjisi talebi 90’lı yılların sonuna kadar genel olarak hidrolik, linyit, taş kömürü, ithal kömür ve fuel-oil kullanan santrallardan karşılanmıştır [4]. Türkiye’de son on yıldır doğal gazın elektrik üretiminde kullanılan kaynaklar arasında birinci sıradaki yeri değişmemiştir [6]. Türkiye’de kaynak mevcudiyeti olmamasına rağmen doğal gazın elektrik üretiminde en çok kullanılan kaynak olmasının birçok nedeni vardır. Bunlar: DGKÇS’lerin yüksek kapasiteye sahip kömürlü, hidroelektrik ve nükleer santrallara göre kurulum süresi ve kurulum maliyetlerinin düşük olması, yenilenebilir enerji santrallarına göre kapasitelerinin ve kurulum maliyetlerinin düşük olması, diğer fosil yakıtlara (kömür, petrol ve petrol türevi) göre doğal gazın temininin kolay olması ve çevresel etkilerinin düşük olması, özellikle kömürlü santrallara göre işletmeye alma süresinin kısa olması, verimlerinin yüksek olması, işletme ve bakım kolaylığı ile ekonomik ömürlerinin uzun olması olarak sayılabilir [4]. Türkiye’de son on yılda gerçekleştirilen elektrik üretiminde doğal gazın payı ortalama olarak %31,56 iken,

2018 yılı sonu itibariyle ortalama pay %32,2'dir [5]. 2019 Eylül ayı sonu itibarıyla doğal gazın elektrik üretimindeki payı ise %28,78'dir. Elektrik üretiminde kaynaklara göre dağılımın detayı Çizelge 2.1'de detaylı olarak verilmiştir [6].

**Çizelge 2.1.** 2019 yılı eylül sonu Türkiye brüt elektrik üretiminin (GWh) birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı [6]

KAYNAK	ÜRETİM (GWh)	KATKISI (%)
Akarsu	7.839,10	8,80%
Asfaltit Kömür	405	0,45%
Atık Isı	323	0,36%
Barajlar	20.538,00	23,06%
Biyokütle	659	0,74%
Doğal Gaz	25.623,80	28,78%
Fuel-Oil	487,2	0,55%
Güneş Enerjisi	5.238,80	5,88%
İthal Kömür	8.938,90	10,04%
Jeotermal	1.302,50	1,46%
Linyit	9.842,00	11,05%
Lng	2	0,00%
Motorin	1	0,00%
Nafta	4,7	0,01%
Rüzgâr	7.031,10	7,90%
Taşkömür	810,8	0,91%
<b>TOPLAM</b>	<b>89.046,90</b>	<b>100%</b>

Enerji santralleri, enerji üretmek için kullandıkları yakıta göre çeşitli isimlerle nitelendirirler. Örneğin; doğal gaz santrali, kömür santrali, fuel-oil santrali ya da hidroelektrik santrali bunlardan bazılarıdır. Doğal gaz yakıtlı kombine çevrim santralleri diğer fosil kaynaklı yakıt kullanan termik, nükleer ve hidroelektrik santrallara göre daha düşük kurulum maliyeti ile daha kısa sürede işletmeye alınabilmektedirler.

## 2.1. Doğal Gaz Kombine Çevrim Santrali Elemanları

DGKÇS'lerde bulunan başlıca üniteler; gaz ve buhar türbinleri, atık ısı kazanı, generatör, soğutma kulesi, kondenser, transformatör olarak sıralanabilir [9].

Gaz türbinleri generatörlerin başlatıcı mekanizması olarak kullanılır. Kurulum maliyetleri ve devreye alma süreleri düşüktür. Sisteme hızlı uyum sağlamaları avantaj sağlamaktadır. Gaz türbinleri üç ana bölümden oluşur. Bunlar: Türbin, yanma odası ve kompresördür. Kompresör; havanın hacmini azaltırken basıncını artıran bir yapıya sahip elemandır. Yanma odası ise püskürtülen yakıtla kompresör tarafından sağlanan havanın karıştırılıp yakıldığı kısımdır. Türbin ise sıcaklık ve basıncın kinetik enerjiye dönüştürülmesini sağlayan kanatlı bir yapıdır [10].



Şekil 2.3. Gaz türbini, kompresör ve yanma odası

Atık ısı kazanı; gaz türbinlerinin bittiği yerlere monte edilen ve çıkış gazlarının enerjisini, gönderilen suyla karıştırıp bünyesinde buhar elde edilen yapıdır. Atık ısı kazanlarının birden fazla çeşidi vardır. Yapısı üç bölümden oluşur. Bunlar: Ekonomizör, evaporatör ve kızdırıcıdır. Ekonomizör; atık ısı kazanında buhar elde etmek için içeri gönderilen suyun ilk geldiği kısımdır. Evaporatör ise ekonomizör yardımıyla gelen suyun su ve buhar olarak ikiye ayrıştırıldığı yerdir. Kızdırıcı, buharın sıcaklığının üst seviyelere çıkarıldığı bölümdür [11].



Yanma Odası



Ekonomizör



Evaporatör



Kızdırıcı

**Şekil 2.4.** Yanma odası, ekonomizör, evaporatör ve kızdırıcı

Buhar türbini, kazanlarda oluşan sıcaklık ve basıncın önce kinetik, sonra da mekanik enerjiye dönüştürülmesini sağlayan kısımdır. Soğutma kuleleri ve kondenserler ise sistem geri kazanımını sağlamak için su ve buhar karışımını yeniden su haline getirir ve santralin kullanımına sunar. Diğer ekipman sınıfından pompalar, vanalar ve borular ise santralin genelinde bulunan elemanlardır [12].



**Şekil 2.5.** Soğutma kuleleri

Generatörler yüksek hızda çalışan en önemli elektrik ekipmanıdır. Soğutulmaları önem arz etmektedir. Birden fazla çeşidi vardır. Genellikle orta gerilim seviyesinde elektrik enerjisi üretirler. Transformatörler, generatör tarafında üretilen elektrik



enerjisinin gerilim sınıfını değiştirerek şebekeye kullanımı için aktarılmasını sağlayan ekipmandır. şalt tesisi ise, DGKÇS’lerde üretilen elektriğin şebekeye gönderilmeden önce uygun koşullara getirilerek düzenlendiği alandır. Panolar ise alçak gerilim ve orta gerilim panoları olarak ikiye ayrılır. Bu panolar alçak ve orta gerilim sistemini yönetmek ve kontrol etmek üzere kullanılır.



**şekil 2.6.** Generatör, transformatör, şalt tesisi ve panolar

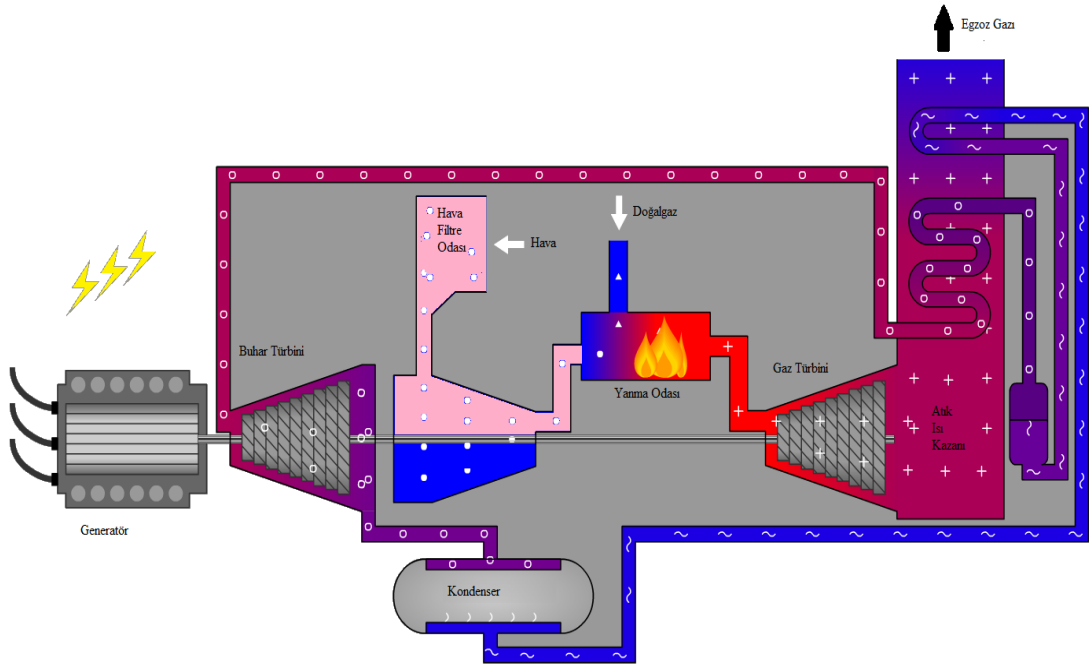
Diğer ekipman sınıfından yardımcı servis transformatörleri ise alçak gerilim ile ilgili yüklerin ayarlanması için kullanılır. Acil durum sistemleri DGKÇS’lerde meydana gelebilecek bir kesintiye anında müdahale edebilmek için kullanılan sistemlerdir. Bunların dışında kablolar, kablo tavlardı ve montaj elemanları da DGKÇS’lerde her aşamada kullanılan ekipmanlardır.



**şekil 2.7.** Borular ve bağlantıları

## 2.2. Doğal Gaz Kombine Çevrim Santrallerinin Çalışma Prensibi

DGKÇS'ler üretim bloklarından oluşur ve her bir kombine çevrim üretim bloğu; 2 gaz türbini, 2 kompresör, 2 gaz türbini generatörü, 2 atık ısı kazanı, 2 kondenser (yoğuşturucu) birimi, 1 buhar türbini ve 1 buhar türbini generatörü içerir. Bunların yanı sıra, kuru tip veya deniz suyu soğutmalı ıslak tip soğutma kuleleri, su arıtma tesisi, şalt tesisi ile kumanda ve kontrol sistemleri de santralda yer almaktadır [1]. DGKÇS'lerde üretim blokları birbirinden bağımsız çalışır [1]. Ancak, bazı tesislerde bloklar ortak kullanılır. Kombine çevrim santrallerindeki elektrik üretimi iki farklı aşamada gerçekleştirilir. Bu santrallarda amaç, atık ısı gazlarından yararlanarak buhar eldesiyle elektrik üretmek ve verimi artırmaktır [12]. Kombine çevrim santrallerinde diğer gaz santrallerinden farklı olarak atık ısı ve buhar da değerlendirilerek elektrik enerjisi üretmek için kullanılır [9]. Gaz santrallerinin tek başına verimleri düşüktür ama kombine çevrim olduğunda verimleri daha da artmaktadır ve milli ekonomiye katkı sağlanmaktadır.



Şekil 2.8. DGKÇS çalışma prensibi

DGKÇS’de elektrik iki aşamada üretilir. DGKÇS’nin çalışmasında izlediği yol şu şekilde açıklanabilir: Atmosferden alınan hava, filtrelerden geçtikten sonra gaz türbininin kompresörüne girer. Kompresör sayesinde hava 15,5 – 16,5 bar basınç aralığında sıkıştırılır ve 470 – 490 santigrat derece arası sıcaklıkta yanma odasına gönderilir. Yanmanın gerçekleştiği bu odada hava ile doğal gaz karıştırılır ve tepkime gerçekleşir. Gaz türbinlerinde yakılarak gaz türbiniyle aynı shaft üzerinde bulunan bir jeneratörü çevirir ve birinci aşama elektrik üretilir. Aynı anda, bu yanmadan oluşan 1000 ile 1250 santigrat derece arası sıcaklıktaki gazlar atık ısı kazanına gönderilir ve bu ısı ile buhar üretilir. Atık ısı kazanlarının yapısından genel olarak üç farklı ısı değiştirici vardır. Gerekli basınç ve sıcaklığa ulaşan buhar ise, buhar türbinine gönderilir ve türbini döndürerek buhar türbini ile aynı shaft üzerinde bulunan jeneratör vasıtası ile ikinci aşama elektrik üretilir. Buhar türbininden çıkan buhar, soğutma kulelerinden gelen soğutma suyu ile kondenserlerde yoğunlaştırılarak suya dönüştürülür. Kondenserlerin alt bölümünde biriken yoğunlaşma suyu tekrar ısıtılmak üzere atık ısı kazanlarına gönderilir. Kazandaki buharlaştırıcı devreye girer ve suyu ısıtma başlar. Belirli bir doyma sıcaklığına ulaşan su, buhar haline gelmeye başlar. Yüksek sıcaklıktaki buhar, türbinlere verilmek üzere ilerletilir. Kazanlarda üretilen bu buhar, buhar türbinine gönderilerek çevrim tamamlanır. Verimliliği maksimum düzeyde tutabilmek için, kazanlarda buhar üç farklı basınç düzeyinde (yüksek, orta, alçak basınç) üretilir. Böylece kazanlardaki sıcak gazlardan mümkün olduğunca yararlanılmış olur [10].

Türbinlerin içinde genişlemeye başlayan buhar, termik enerjinin mekanik enerjiye dönüştürülmesinin kanıtı niteliğindedir. Türbine bağlı generatörler elektrik üretmeye başlar ve sistem işlemeye devam eder [11]. Türbinlerden atılan buharın basıncı düşüktür ve sıcaklığı azalmıştır. Bu sayede buhar sıvılaştırılır. Ancak sıvılaştırılan bu buharın içinde yoğunlaşmayan gazlar da bulunmaktadır. Bu gazların ayrıştırılması için pompaların yardımıyla su besleme tanklarına gönderilir. Kapalı su çevrimini sağlamak amacıyla su mevcut konumunda atık ısı kazanına yönlendirilir. Böylelikle su türbinler ve yoğunlaştırucular arasında gezmiş olur [12].

DGKÇS'lerde bahsedilen sistemlerden en önemlisi türbinlerdir. Bunun temel nedeni, elektriğin gaz ya da buhar türbinlerinde üretilmesidir. Türbinlerin devre dışı olması ilgili bloğu ya da üniteyi (her bir gaz türbini bir ünite olarak adlandırılmaktadır) devre dışı bırakır ve sistem durur. Oysaki bazı DGKÇS'lerde by-pass hatları mevcuttur ve buhar türbini ya da atık ısı kazanlarında oluşan bir arızada gaz türbinlerinden çıkan sıcak gaz, by-pass bacası vasıtasıyla direkt olarak atmosfere atılabilir ve sadece gaz türbinlerinde elektrik üretimine devam edilebilir (single çalışma). Ayrıca bu sistemler, yapısal olarak santraldaki diğer sistemlere nazaran daha karmaşıktır [1].

DGKÇS'lerde elektrik üretiminin kesintisiz bir şekilde devam ettirilebilmesindeki en önemli parametrelerden bir tanesi, türbinlerin çalışma sürelerine (8.000 saat-minör, 16.000 saat, 24.000 saat-majör, vb.) göre revizyon bakımlarının gerçekleştirilmesidir. Santralin planlı olarak devre dışı kaldığı revizyon dönemleri bu nedenle gaz ve buhar türbinlerinin çalışma saatlerine göre belirlenmektedir. Bu durum ise, santraldaki diğer sistemlerin revizyon bakımlarını tarih olarak türbinlere bağımlı kılmaktadır. Çünkü, santral kesintisiz olarak ancak revizyon dönemlerinde (30 ila 60 gün arası) kesintisiz olarak devre dışı kalmaktadır ve santralin diğer sistemlerindeki ekipmanlara ait genellikle uzun süreli olan bakımların bu revizyon dönemlerinde yapılması daha mantıklı bir tercih olarak santral işletmecileri tarafından dünya genelinde uygulanmaktadır. Ayrıca, atık ısı kazanında yer alan ekipmanlar ile elektriksel ve ölçmeye dayalı ekipmanların önemli bir kısmı da türbin ekipmanları ile bağlantılıdır. Bu durum da santralin hem periyodik bakımlarını hem de revizyon bakımlarını türbinlere bağımlı kılmaktadır [1].

### **2.3. Doğal Gaz Kombine Çevrim Santrallarının Avantajları**

Kombine çevrim santrallarının en büyük avantajı fosil yakıt kullanan diğer santral tiplerine göre verim düzeylerinin yüksek olmasıdır [1]. Ayrıca bu santrallar sadece gaz değil, başka yakıt türlerini de kullanabilir şekilde modifiye edilebilir. Örneğin Türkiye'de hem doğal gaz hem de fuel-oil'i aynı anda kullanarak elektrik üreten kombine çevrim santralları mevcuttur. Kombine çevrim santralları, birim kW üretim maliyetinin diğer santrallara göre düşük olması ve yatırımın kendini amorti etme

süresinin kısa olması sebebiyle daha ekonomik verimli ve tercih edilebilirdir. Kombine çevrim santrallarının verimleri yaklaşık %60 civarındadır, teknolojik ekipman takviyeleriyle bu verim %65 civarına kadar çıkarılabilir [1]. Kombine çevrim santrallarının bir diğer sağladığı avantaj ise elektrik üretiminin yanı sıra ısıtma sağlama imkânı da sunmasıdır. Kojenerasyon adı verilen işlem yardımıyla buhar türbinleri ya da kazanlardan elde edilen ara kısımdaki buharın, yakın coğrafik konumdaki yerleşkelerin ısınma ihtiyacının karşılanmasında rol oynaması sağlanabilir. Eğer bu işlem gerçekleşirse santralin verim seviyeleri %85'lere kadar çıkmaktadır. Santralların verimliliği üzerindeki diğer önemli bir faktör de çevre koşullarıdır.

Santralların oda sıcaklığının 10 santigrat derece altında, (yani 15 santigrat derecede) bağıl nem oranının %59 ile %61 arasında ve atmosfer basıncının 101.3 kPa olduğu koşullarda tam kapasite çalışabilmesi için müsait koşullar olduğu kabul edilmektedir. Santralin çalıştırılmasındaki ortam şartlarının farklılığı, santralin performansını da olumlu ya da olumsuz yönde etkilemektedir [1].

DGKÇS'lerin avantajlarından birisi de diğer termik santrallara göre çevreyi kirletme oranlarının daha düşük olmasıdır. Son yıllarda küresel çapta yapılan anlaşmalar gereği ülkelerin atmosfere bıraktıkları zararlı gazların seviyelerinin belirli bir limitin altına düşürülmesi ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. DGKÇS'ler bu salınım oranını düşürmeye katkı sağlar. Bu sebeple DGKÇS'lere olan ilgi de gün geçtikçe artmaktadır.

DGKÇS'lerin esnek çalışma koşullarına uygunluğu, hızlı devreye girebilmeleri, değişen yük ihtiyaçlarına hızlı adapte olabilmeleri, farklı yüklerde dahi verimlerinin düşmemeleri sebebiyle diğer santrallardan daha avantajlı durumda oldukları söylenebilir.

DGKÇS'lerin fiziki kurulma süreçlerinde ihtiyaç duydukları alanların diğer termik santrallardan daha az olması da avantajlarından biridir. Örneğin bir termik santralin bir DGKÇS ile kapladıkları alanı kıyaslanırsa aradaki farkın 5 katından fazla olduğu görülebilir (Afşin Elbistan 120 hektarlık alan - Ambarlı DGKÇS 23 hektarlık alan). Tüm sayılan bu özellikler sebebiyle DGKÇS'lere verilen önem artmakta, hatta çeşitli

uygulamalarla mevcuttaki termik santrallar DGKÇS'ye dönüştürülmeye çalışılmaktadır [2].

#### **2.4. Doğal Gaz Kombine Çevrim Santrallarında Personelin Yeri ve Önemi**

Santrallarda elektrik üretilirken bu sürece dâhil olan personellerin üstlendiği çeşitli görevler vardır. Süreç takibi, bakım ve onarım işleri vb. işler bunlara örnektir. Bu görevler karmaşık bir yapıya sahiptir ve uzmanlık ve işgücünün yoğun kullanımını gerektirir. Sürdürülebilir bir enerji arzı söz konusu olduğunda, DGKÇS'ler akla gelmektedirler. Çünkü DGKÇS'ler; verimli, ekonomik, çevre dostu, güvenilir ve sürdürülebilir yapıdadır. Bu nedenle elektrik üretiminin, işçiliğin, malzemelerin ve bakım işlemlerinin kontrol edilmesi, enerji santrallarında vazgeçilmez bir gerekliliktir. Tesislerin işletme kurallarına uygun olarak ve iş dağılımının dengelenmesi, çalışan performansının en üst düzeye çıkarılması, uygun çalışanların uygun işlere atanması vb. amaçlara uygun olarak işletilmesi zor bir süreçtir.

Teknolojik gelişmeler sayesinde santrallar eskiye oranla daha kolay kontrol edilebilmekte ve işletilebilmektedir. Santrallar, personel tarafından uzaktan kontrol merkezlerine dağıtılan SCADA sistemleri yardımıyla kontrol edilmektedir. SCADA sistemi veri toplama ve telemetri birleşimi ile oluşan bir sistemdir. Merkezden veri toplama ve gönderme, analiz yapma ve ardından verileri operatör ekranında görüntüleme işlevlerini yerine getirir. SCADA sistemi aynı anda saha ekipmanını izler ve kontrol eder [1].

Sistem operatörleri, merkezi bir kontrol noktasından geniş bir coğrafi alana kadar boru sistemlerini, su şebekelerini, vanaları, kesicileri, ayırıcıları, elektrik makinelerini, motorları ve elektronikleri izler; elektro hidrolik ve elektro-pnömatik valfleri uzaktan açıp kapatmak; ayar noktalarını değiştirmek ve alarmları ve sıcaklığı görüntülemek gibi işlemleri yapmaya izin vermektedir [1]. Sistem; bilgi ölçme (nem, frekans, ağırlık, sayı ve elemanlar hakkında) ve toplama konusunda güvenilir, ekonomik ve performansı yüksektir. SCADA, yapısında bulunan çekirdek yazılımını kullanarak operatörlerin dikkatini çeken hareketleri tespit etme, boyutlandırma, yanıp sönme,

doldurma, boşaltma gibi kullanım kolaylığı olan özellikleri içerir [1]. SCADA'nın personel tarafından izlenip kontrol edilmesi hayati derecede önemlidir.

SCADA sistemleri şu anda Türkiye, Kanada, Rusya, Çin, Hindistan'da ve elektrik ihtiyacı her gün artan ülkelerdeki elektrik santrallerinde kullanılmaktadır. Bu sistemin bulunmadığı santrallerde personel, sistemin gereklerini yerine getirmek için kendileri çalışmaktadır. Santrallerde SCADA sistemi bulunmamasına rağmen, teknolojik olarak eski elektrik santralleri Türkiye'de kullanılmaya devam etmektedir. Bu sistemin kurulumu pahalıdır ve belirli sayıda personel çalıştırmayı gerektirmektedir. Bunun yerine, sistemi kurmadan personelin santral içinde dağıtımını bir alternatiftir. Bu şekilde işletilen santral sayısı, SCADA ile işletilen santral sayısından daha fazladır. Vardiyalı çalışanların (yorgunluk, konsantrasyon eksikliği, deneyimsizlik, dürüst iş dağılımı eksikliği vb.) operatör hatalarının, SCADA kontrolü olmayan santrallerde oluşması olasılığı daha fazladır. Bu nedenle, santrallerde motivasyon eksikliği nedeniyle yanlış uygulamalar yapılabilir. Bu problem uzun süreli üretim duruşlarına, enerji ve gelir kaybına neden olur. Sürdürülebilir enerji arzının kesilmesi, büyük elektrik kesintilerine neden olabilir. Sürdürülebilir bir enerji arzı sağlamak için, DGKÇS'lerde uygulanan adil ve verimli personel çizelgeleme modelleri çok önemlidir.

### 3. İŞGÜCÜ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ

Çizelgeleme, yapılması gereken işlerin hangi kaynaklar tarafından hangi zaman aralıklarında yapılacağını belirlenmesi olarak tanımlanabilir [13-15]. Çizelgeleme sınıflandırması çalışmalarında belirtildiği üzere [16] tüm çizelgeleme problemleri aslen statik ve dinamik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Statik çizelgelemenin zamanla değişmeyen bir yapısının olduğundan bahsedilmektedir. Buna örnek olarak, havaalanında yapılan üç aylık uçuş planı çizelgesi verilebilir. Dinamik çizelgelemenin ise sıklıkla değişebilen bir çizelgeleme yapısının olduğundan bahsedilmektedir. Bir danışmanlık firmasının yaptığı kaynak kısıtlı proje çizelgesi, buna örnek verilebilir. Personel çizelgeleme problemleri, dinamik çizelgeleme yapısı altında bulunan çizelgeleme çeşidinin önemli bir konusudur [16-18]. Genel çizelgeleme problemleri ile ilgili bir diğer sınıflandırmada da çizelgeleme çalışmalarının hizmet sektöründe ve üretim sistemlerinde çizelgeleme olarak ikiye ayrılmasından bahsedilmektedir [19-22]. Hizmet sistemlerinde çizelgeleme başlığı beş ana başlık altında sıralanabilir [23-25]. Bunlar proje çizelgeleme, işgücü çizelgeleme, tarife-rezervasyon çizelgeleme, ulaştırma çizelgeleme ve profesyonel spor-eğlence çizelgelemedir. Şekil 3.1.'de hizmet sektöründe çizelgelemenin gruplandırılması görülebilir [13-15]. Personel çizelgeleme problemleri işgücü çizelgeleme problemlerinin altında yer alan bir konudur. İlerleyen bölümde öncelikle işgücü çizelgeleme çeşitlerinden bahsedilecek ve detaylandırılacaktır.



Şekil 3.1. Hizmet sektöründe çizelgeleme gruplandırması



### **3.1. İşgücü Çizelgeleme Problemlerinin Çeşitleri**

İşgücü çizelgeleme problemleri birçok alanda kullanılan bir çizelgeleme türüdür [23]. Dalgalı ve rastgele talep ile ilişkili olan çizelgeleme türlerinin varlığı ile ortaya çıkmıştır. Hastanelerde hemşire çizelgeleme, çağrı merkezlerinde operatör çizelgeleme, üretimde ve hizmet sektöründe personellerin çizelgelenmesi vb. örnekler uygulama alanlarıdır. İşgücü çizelgeleme iki alt başlıkta incelenebilir. Bunlar: Vardiya çizelgeleme ve personel çizelgeleme olarak ikiye ayrılmaktadır.

#### **3.1.1. Vardiya Çizelgeleme**

Vardiya çizelgeleme probleminde, atama modelleri vardır. Bu modeller, halihazırda çalışan bir sistem üzerinden daha iyi vardiya ataması yapmak için kurulan modellerdir. Her bir atama model kalıbının mali bir değeri olması, maliyetin daha kolay hesaplanması sağlar. Ancak bu işlem yapılmadan önce, bir atama döngü yapısının önceden belirlenmesi gerekmektedir. Eklemeli çizelgeleme ayarlamaları ile bu vardiya döngüsü, tek bir gün, bir hafta veya birkaç hafta olabilir. Vardiya çizelgeleme türünde önceden tanımlanan kurallar dahilinde sabit bir döngü düşünülür. Bu döngü günlük, haftalık ya da aylık olabilir. Her iş atama döngüsünün kendine has maliyeti ve bunu minimize etme amacı vardır.

#### **3.1.2. Personel Çizelgeleme**

İşgücü çizelgelemenin başka bir türü olan personel çizelgeleme; sağlık, güvenlik, havacılık, ulaştırma ve taşımacılık endüstrilerinde verimliliği artırdığı ve maliyetleri azalttığı için çok önemlidir [11]. Personel çizelgeleme, vardiya çizelgelemesinden daha genel matematiksel bir bakış açısıyla yapılmaktadır. Personel çizelgeleme çalışmalarına ilişkin gözlemlere göre, çalışmaların çoğu, deterministik bir iş yükünü hesaba katarak işçiler için uygun vardiya programları veya çalışma programları oluşturmaya odaklanmıştır. Personel çizelgeleme türleri çok nadiren makine

çizelgeleme ve ameliyathane çizelgeleme gibi diğer çizelgeleme problemleri ile entegre edilmiştir. Personel çizelgeleme problemlerini farklı çizelgeleme problemlerine entegre etmek yerine genelde, iş yükü dağılımı, işe yerleştirme, işe alma / işten çıkarma, becerileri dâhil etme, tatil / izin tercihlerini dikkate almak gibi kararlar modellere entegre edilir. Bu durum, gelecekteki çalışmaların ana alanlarından biridir. Tüm bu kararları tek bir personel çizelgeleme problemine dâhil etmek asıl amaçtır.

Son yıllarda, personel çizelgeleme problemleri oldukça fazla incelenen problem türlerinden biridir [23]. Bu probleme olan ilginin ve dikkatin artması, işletmelerin de ilgisini çekmiş ve maliyet faktörlerinin iyileştirilebilir bir hal alıp almayacağını sorgulatmaya sevk etmiştir. Şirketlerde emek maliyeti, doğrudan doğruya maliyet bileşenidir. Yeni bir personel çizelgesinin uygulanması bu maliyeti belli bir oranda düşürmek açısından çok yararlı olacaktır. İşletmelerde çalışan personelin verim ve kalitesinin artırılmasına yönelik çalışmaların yapılması gereklidir. Ayrıca personel memnuniyetinin artırılmasında personel çizelgelemenin önemi oldukça fazladır. Çünkü personel çizelgeleme, çalışan personelin ihtiyaç ve tercihlerini göz önünde bulunduran bir model oluşturur. Hem çalışan personelin hem de ilgili işletmenin planlı ve sistemli bir şekilde hareket etmesini sağlar.

Personel çizelgeleme, üzerinde uzun uğraşlar ve vakit harcanması gereken bir iştir. Çizelgeleme işi yapılırken, personelin ve hizmet alanların tamamında kişisel isteklerin karşılanmasının istenmesi, birçok kısıtın modele dâhil olması ile problemi daha da çözümü zor bir hale getirmektedir.

Personel çizelgelemedeki ana hedef; kaynakların verimli kullanılmasını sağlayarak, dengeli iş yükü dağılımı yapmak ve mümkün olduğunca bireysel istekleri karşılamaktır. İyi bir çizelgenin bünyesinde; adaletli görev dağılımı, karşılanmış personel istekleri ve verimli kaynak kullanımını barındırması beklenmektedir. Bergh vd.'nin [19] çalışmalarında bahsedildiği üzere, 1950'lerdeki çizelgeleme problemlerinin bakış açısında genellikle personel isteklerinin ikinci plana itildiği görülmektedir [20]. Fakat bu durum gitgide değişmiştir ve personel isteklerinin çizelgeleme problemlerinde önemli bir yer edindiği gözlemlenmiştir [21-146]. Personel çizelgeleme probleminin çözümü için genellikle matematiksel modellerden,

sezgisel algoritmalarından veya her ikisinden yararlanan modeller geliştirilmiştir [147-294]. Matematiksel modellerden: lineer programlama, tam sayılı programlama, hedef programlama, dinamik programlama kullanılırken sezgisel algoritmalarından: tabu arama yöntemi, genetik algoritmalar, stokastik programlama gibi yöntemler kullanılmıştır. Literatürde [295-394] bunların dışında da başka teknikler kullanılmaktadır.

Hizmet sistemlerinde çizelgeleme konusu, kendi içinde 5 alt başlığa ayrılmıştır. Bunlar: Proje çizelgeleme, işgücü çizelgeleme, tarife rezervasyon ve buluşma çizelgeleme ve son olarak profesyonel spor ve eğlence çizelgelemedir. Bu alt başlıklar kendi arasında başka çizelgeleme türlerinin doğmasına neden olmuştur. Personel çizelgeleme türü ise işgücü çizelgeleme problemlerinin alt başlığında bulunur. Bundan sonraki kısımda personel çizelgeleme türlerinin yapısına ve çeşitlerine yer verilmiştir [11].

### **3.1.2.1. İzin Çizelgeleme**

İzin çizelgeleme oldukça basit bir atama problemidir. Haftanın her günü, o günlere bir dizi çalışanın atandığı anlamına gelir. Atama sayısı, günden güne makul olabilir, ancak koşullar dizisi haftadan haftaya değişebilir. Problem yapısında toplam çalışan sayısı vardır ve her çalışan bir güne atanmalıdır. Bir çalışanın iş gününe tayin edilmesi bir haftadan diğerine değişebilir. Bir hafta, yedi günün pazar günü başlayıp cumartesi günü sona ereceği anlamına gelir. Bu çizelgeleme türünün amacı, bu yedi günü asgari maliyetle karşılamaktır.

### **3.1.2.2. Döngüsel Personel Çizelgeleme**

Klasik personel çizelgeleme problemi, döngüsel personel çizelgeleme problemidir. Amaç, periyodik döngüsel çizelgelemenin maliyetini azaltmaktır. Gereksinimi karşılayacak yeterli sayıda işçi ve her bireyin çalışıp izin yaptığı bir model oluşturma eğilimi ve çabası vardır.

### 3.1.2.3. Mürettebat Çizelgeleme

Havacılık endüstrisinde ve ulaşım sektöründe, mürettebat çizelgeleme problemleri özellikle önemlidir. Temel mürettebat çizelgeleme modeli, diğer personel çizelgeleme modellerinden ve çözüm tekniklerinden farklıdır.

### 3.1.2.4. Operatör Çizelgeleme

Operatör çizelgeleme problemlerinde amaç, vardiyalar içinde bir dizi vardiya ve görev belirlemektir; böylece çalışma eğrileri operatörün kullanılabilirliğine mümkün olduğunca yakın bir şekilde eşleştirilir. Operatör çizelgeleme özel bir yapıdadır. Bu yapılar genellikle tur şablonları olarak anılır ve başlangıç zamanları, bitiş zamanları ve çalışmayan dönemlerin sayısı, uzunluğu ve zamanlaması ile karakterize edilir. Zaman birimi 15 dakikadır (bu durumda bir kahve molası zaman birimidir ve öğle yemeği arası iki ila dört birim arasındadır).

## 3.2. Personel Çizelgeleme Problemlerindeki Model Yapıları

Günümüzdeki personel çizelgeleme problemleri 1950'lerde Dantzig [127] ve Edie [370]'nin ortaya attığı problem yapısına göre farklılıklar barındırmaktadır. Bu dönemlerdeki çizelgeleme çalışmaları sadece personel ihtiyacının karşılanmasından ya da gerekli işçi sayısı kadar atama yapılmasından ibaret olan çalışmalardır. Ancak günümüzde; personel isteklerinin karşılanması ve tatmin edici bir çizelgeleme kararının verilmesi gereği hâsıl olmuştur. Çizelgeleneler oluşturulurken firmalar, işçilerin istek ve tercihlerini karşılayabilmek adına, (belirli vardiyada çalışma, belirli kişi ile çalışma, belirli izin günü vs.) yarı zamanlı işe alma ya da esnek çalışma saatleri gibi birtakım yöntemleri önermektedirler. Personel çizelgeleme çalışmalarını tanımlamak adına kullanılan bazı sınıflandırmalar şunlardır:

- ✓ Personel karakteristiklerine göre: Tam zamanlı çalışan – Yarı zamanlı çalışan – Gündelik çalışan – Yeteneklere göre çalışan
- ✓ Karar türüne göre: Görev kararı bazlı – Grup kararı bazlı – Vardiya dizisi kararı bazlı – Zaman kararı bazlı
- ✓ Esneklik türüne göre: Vardiya kararına göre – Kısıt kapsamlarına göre

Literatürde rastlanan son sınıflandırma yapısı, Brucker vd.'nin [18] sınıflandırmasıdır. Bu sınıflandırmaya göre 4 temel personel çizelgeleme sınıflandırma başlığı vardır:

- ✓ Kalıcı merkezli çizelgeleme: Polis merkezi, hastane çizelgeleri vb.
- ✓ Dalgalı merkezli planlama: Çağrı merkezi, fast food merkezi, postane, depo veya dağıtım merkezi çizelgeleri.
- ✓ Hareketlilik merkezli çizelgeleme: Taşımacılık-havayolu ve demiryolu çizelgeleme.
- ✓ Proje merkezli çizelgeleme: Belirli işin projelere bölünüp çizelgelendiği çalışmalar.

Bunların yanı sıra, literatürde özel personel çizelgeleme modelleri mevcuttur. Örneğin: Esnek talebe göre, çalışılan yerin değiştirildiği durumlara göre, kısıtlanmış görev değişikliğine göre oluşturulmuş modeller bunlara örnektir.

Özel oluşturulan bir diğer örnek model hemşire çizelgeleme ise yıllardır üzerinde çalışılan, hem sezgisel algoritmalarla hem de optimal metotlarla çözülen bir çizelgeleme problemidir. Zamana ve değişen kaynaklara göre olan talebi karşılamak için iş çizelgelemesinin düzenlenmesi ve personel çizelgelemenin yapılması gerekmektedir. Bu sorunlar çağrı merkezi operatörleri, hemşireler, polis memurları, ulaşım personeli (uçak ekipleri, otobüs şoförleri) gibi hizmet sektörlerinde çalışanlarda meydana gelir. Personel çizelgeleme, iş verimliliği için çok önemli bir konudur. Bu

çizelgelemenin yapıldığı ortamlar genellikle stabil olmayan, dengesiz ve personel gereksinimlerinin zamanla dalgalandığı ortamlardır. Problem yapılarında tarifeler olarak adlandırılan kurallar bütünü vardır. Tarifeler tipik olarak; ekipman gereksinimlerini, sendika kurallarını, dikkate alınması gereken çeşitli kısıtlamaların konusunu vb. içerir. Ortaya çıkan sorunlar, fazla türde kombinasyon barındırdığı için bu sorunların çözümü zor olma eğilimindedir.

Personel çizelgeleme problemlerinin yapısı birkaç kategoriye ayrılabilir. Genel çözüm yöntemi olarak tamsayı programlama kullanılmaktadır. Bu yöntem, personel çizelgeleme problemi çözümlerinin büyük bir sınıfını içerir. Ayrıca, özel bir tamsayı programlama problemi sınıfı olan çevrimsel personel problemleri sınıfı vardır. Bu problem sınıfı kombinatoryal bakış açısı olarak adlandırılır. Bunların dışında, personel ve operatör çizelgeleme problemleri farklı bir model yapısına sahiptir [18].

Personel çizelgeleme literatüründe son yıllarda birkaç literatür incelemesi bulunmaktadır. Bu incelemeler 2004, 2013 ve 2015 yıllarında yayımlanmıştır. Bu üç çalışma aşağıda kısaca incelenmiştir:

- i. Ernst vd. [11] küresel bir ortamda gün geçtikçe önem kazanan personel çizelgeleme ve sıralama problemlerinin sürecini incelemektedir. Optimize edilmiş personel çizelgeleri; işletme hizmet kalitesini artırmayı hedefleyip, maliyeti en aza indirme sorununa odaklandıkça çok büyük faydalar sağlayabilmektedir. Ancak, bir şirket personel isteklerini karşılamak, esnek işyeri sözleşmeleri yapabilmek, vardiya dengeleme ve yarı zamanlı çalışma gibi gereksinimleri karşılayabilmek için personel çizelgeleri oluşturmada zorlanmaktadır. Bir kuruluşun, müşteri taleplerini uygun maliyetli bir şekilde karşılamak için dikkatli bir şekilde kullanılan karar destek sistemlerine ihtiyacı vardır. Ayrıca her sektörün kendine özgü sorunları vardır ve bu sorunlar başka sektörlerle karşılaştırılmadan kendi başına incelenmesi gerekmektedir. Çizelgelerin otomatik olarak ayarlanması için pek çok yazılım paketi vardır ancak bu uygulamaların verimi tartışmalıdır. Ernst vd. [11] çizelgelemede yazılım paketlerini incelememişlerdir. Bunun yerine, belirli uygulama alanlarındaki çizelgeleme problemlerinin çözümleri için literatürde

anlatılan model ve algoritmaları gözden geçirmişlerdir. Ayrıca çizelgeleme problemlerini çözmek için en çok kullanılan teknikleri araştırmışlardır.

- ii. Van den Bergh vd. [19] gerçekleştirdikleri literatür incelemesinde ilk olarak eski literatür inceleme makalelerindeki sınıflandırma yöntemlerini tartışmışlardır. İkinci olarak personel çizelgeleme literatürünü, problemini ve problemin teknik özelliklerini ilgili birçok alanda değerlendirmişlerdir. Her bir bakış açısı sınıflandırma tablosu olarak tanıtılmakta ve gösterilmektedir. Yazarların bu çalışması, araştırmacıların özel ilgi alanlarıyla ilgili çizelgeleme çalışmalarının anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır. Yazarlar literatür taramasının her bir bölümünde, işe alma ve çizelgeleme konusundaki araştırma eğilimlerini ve gelecek çalışmalar için hangi alanların seçilmesi gerektiğini belirlemişlerdir.
- iii. De Bruecker vd. [375]'nin literatür çalışması, çalışan yeteneklerini içeren personel çizelgeleme problemleri hakkında kısa bir sınıflandırma vermektedir. Birçok çalışmada gözlemlendiği üzere; işgücü planlaması araştırmasının teknik kısmı matematiksel model üzerinde çok fazla durmaktadır. Yazarlara göre, çizelgeleme modellerinin iyi performans göstermesi için model üzerinde yapılan basitleştirmeler, problemlerin gerçek dünyadaki etkilerinin göz ardı edilmesine sebep olmuştur. De Bruecker vd.'nin çalışması, bu konuda çalışan araştırmacılara bireysel yetenekleri içeren personel çizelgeleme problemleri hakkında yararlı bilgiler keşfetmeleri için rehberlik etmektedir. De Bruecker vd. çeşitli makaleler arasındaki benzerlik ve farklılıkların sadece değerlendirmesini sunmamakta, aynı zamanda yönetim yaklaşımına da genel bir bakış sunmaktadır. Yazarların asıl amacı, daha gerçek ve yardımcı çözüm tekniklerinin üretimini teşvik etmek için karma teknik ve yönetsel bilginin harmanlanmasını sağlamaktır.

Bu tezde ele alınan DGKÇS'nin hem tam zamanlı hem de yeteneklere göre çalışan bir personel karakteristiği vardır. Tezde, hizmet sektöründe çizelgeleme sınıfında yer alan işgücü çizelgelemenin alt başlığı olan personel çizelgeleme problemi ele alınmıştır.

## 4. LİTERATÜR ÖZETİ

### 4.1. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Personel çizelgeleme problemleri, imalat ve hizmet endüstrilerinde önemli rol oynayan bir alandır. Personel çizelgeleme çalışmaları zamanla evrilmiştir. İlk çalışmalar sadece bir işin bir çalışana atanması ile ilgilidir. Sonrasında ise çalışanların isteklerine göre atamalar yapılmaya başlanmıştır. Ardından, personellerin yeteneklerine göre atamalar yapılırken, birbirleriyle çelişen isteklerin var olduğu anlaşılmıştır ve model yapıları gittikçe karmaşıklaşmıştır [11]. Son yıllarda, personel çizelgeleme problemleri en çok çalışılan problem türlerinden biri olmuştur. Bu alana artan ilgi, işletmelerin ekonomik faktörler tarafından motive edilmesine olanak sağlamaktadır. Şirketlerde işgücü maliyetinin arttırılması doğrudan toplam maliyeti arttırmaktadır. Bu maliyetin belirli bir şekilde düşürülmesi, yeni ve verimli personel çizelgelemesi uygulaması ile yapılabilir. Bu durum maliyetlerin düşürülmesinde önemli rol oynar. İşletmelerde çalışan personelin etkinliğini ve kalitesini arttırmak için çalışmalar yapılması gerekmektedir. Ek olarak personel çizelgeleme; personelin memnuniyetini arttırmak için son derece önemlidir, çünkü çalışanların ihtiyaçlarını ve tercihlerini göz ardı etmeden bir model oluşturur. Ayrıca hem çalışanın hem de ilgili yöneticinin planlı ve sistematik bir şekilde çalışmasını sağlar.

Personel çizelgeleri oluşturmak çok çaba ve zaman gerektirir. Personelin istek ve taleplerinin çizelgeleme sürecine dahil edilmesi, sorunun çözümünü daha da zorlaştırmaktadır. Personel çizelgelemenin ana amacı; kaynakların etkin kullanımını sağlamak, iş yükü dağılımını dengelemek ve bireysel ihtiyaçları mümkün olduğunca karşılamaktır. İyi bir çizelgenin; adil bir görev dağılımı, memnun personel topluluğu ve verimli kaynak kullanımını içermesi beklenir [386-387].

Personelin çizelgenmesindeki ana zorluklardan biri, mevcut personelin gereksinimleri ve kısıtları ile ilgilidir. Birden fazla vardiya ve molada, çok sayıda kalifiye eleman bulundurma ve değişken vardiya zamanlarını modele dâhil etme gibi durumlar söz konusu olduğunda çizelgeleme yapmak daha da zorlaşmaktadır.



Özellikle yüksek vasıflı çalışanların aynı vardiyada birçok farklı aktiviteyi yapması beklendiğinde sorun daha da zorlaşmaktadır.

Personel çizelgeleme probleminin matematiksel modelleri, tek vardiya, günlük izin sayısı, vardiya sırası, vardiyalar arasındaki boşluk, gündüz ve gece vardiyası, ardışık günler ve ardışık gece çalışma gibi çeşitli kısıtlamalara tâbi olmak üzere formüle edilmiştir. (Vardiyalar için sabit saatler, kısıtlı çalışma saatleri, beceri ya da beceriye dayalı işçi sayısı, talep üzerine değişim veya vardiya değişimleri arasındaki minimum dinlenme süreleri vb.) Bu nedenle, uygulanan kısıtlamalara bağlı olarak çeşitli personel çizelgeleme problemi varyasyonları bulunabilir.

Bu tezin araştırma süreci literatür taraması makalelerinin incelemesiyle başlamıştır. Bu noktadan sonra, literatür taramasında referans verilen makaleler incelenmiştir [13-409]. Tüm referans listesi kontrol edilmiş ve ilgili makaleler araştırılmıştır. Literatür taraması araştırmanın kapsamının ardından anahtar kelime ve terimlerin belirlenmesiyle başlamıştır. Enerji konusunda çizelgeleme çalışmalarını aramak için anahtar kelimeler belirlenmiştir. Bunlar: Enerjide işgücü çizelgeleme, enerjide personel çizelgeleme ve enerjide personel atama kelimeleridir. Anahtar kelime kümesi ve bunların kombinasyonları Google'daki alakalı çalışmaları aramak için kullanılmıştır. Google arama sonuçları tamamen bilimsel olmamakla birlikte, yaygın olarak anahtar kelimeler hakkında iyi bir fikir vermek için faydalıdır.

Anahtar kelimeler, aşağıdaki ana çevrimiçi bilimsel veri tabanlarında ve arama motorlarında aratılmıştır: Jstor, Web of Science, Academic Search Premier, IEEE Xplore, Crossref, Scopus, Proquest, ACM Digital Library, Business Source Premier ve EconLit. Bu tezin araştırma süreci literatür taraması makalelerinin incelenmesi ile başlamıştır [11,19,375]. Bu noktadan sonra, bu makalelerde verilen referans makaleleri incelenmiştir. Günümüzün çizelgeleme çalışmaları [12], doğru iş ve işçi eşleşmesini bulmaktan başka bir yapıdadır. Günümüz personel çizelgeleme modellerinde personel ihtiyaçlarını yerine getirmek, isteklere doğru cevap vermek ve belirli kısıtları uygulamak gibi amaçlar vardır. Atama problemlerinin tanımı, personel çizelgeleme tanımıyla tam olarak eşleşmez. Bu nedenle, literatür incelemesinde bu

gerçek göz önüne alınarak davranılmıştır. Tezdeki literatür tarama seçim süreci üç aşamadan geçmektedir:

- i. Seçilen arama kelimeleri kullanılarak on veri tabanı araştırılmıştır. İlk arama sonucu 13648 çalışma ile sonuçlanmıştır.
- ii. Bu araştırma havuzundan özet ve anahtar kelime seçimi sonunda 784 çalışma kalmıştır. Çalışmalar, seçim sürecini kolaylaştırmak için her arama motorunun alaka düzeyine göre sıralanmıştır.
- iii. Tekrarlayan kaynakların kaldırılması, anahtar kelimelerin dahil etme ve hariç tutma kriterleri uygulandığında 360'a yakın çalışma kalmıştır.

Literatürde personel çizelgeleme problemleri ile ilgili birçok sınıflandırma çalışması vardır [386]. Personel çizelgeleme literatürü, bir çözüm veya değerlendirme tekniğini analitik bir yaklaşımla birleştiren çeşitli araştırma yöntemlerinin tamamını göstermektedir [387]. Tamsayı programlama, hedef programlama, doğrusal programlama veya dinamik programlama gibi matematiksel programlama optimizasyon kategorileri birçok çalışmada çözüm yöntemi olarak kullanılmıştır. Kuyruk teorisi, kısıt programlama ve simülasyon ise diğer kullanılan çözüm teknikleridir [387].

Personel çizelgeleme problemleri; çözülmesi uzun zaman alan problem türüdür. Literatürde büyük ölçekli çizelgeleme problemleri için bazı örnek çözümler bulunmaktadır [386]. Şimdiye kadarki yapılan literatür taramaları, enerji sektöründe çok az sayıda personel çizelgeleme çalışması olduğunu göstermektedir [386]. Personel çizelgeleme problemleri, özellikle karmaşık kısıtlar ve çözüm alternatifleri, çoklu vardiya, çok sayıda çalışan ve kullanılan personel yeteneklerinin kısıtları nedeniyle karmaşık olabilir [387].

Personel çizelgeleme literatüründe sağlık, eğitim, güvenlik ve üretim alanlarında yapılan çalışmalar sayıca fazladır ve öne çıkmaktadır. Bu çalışmaların çözüm yöntemleri ve uygulama alanları bakımından tez konusu ile ilgili olanları Çizelge

4.1.'de gösterilmektedir. Genel olarak, hedef programlama, sezgisel yöntemler ve tamsayı programlama personel çizelgeleme problemleri çözümü için en çok kullanılan tekniklerdir [386]. Tezin matematiksel model yapısına benzeyen ve öne çıkan çalışmalar seçilip aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

Bard vd. [63] çalışmalarında Birleşik Devletlerin posta servisinde tur çizelgeleme problemini ele almışlardır. Bu problemi tamsayı bir doğrusal model yardımı ile dile getirmişlerdir. Corominas vd. [119], çalışmalarında karışık tam sayılı programlama modeli kullanarak, işgücü dengeleme ve düzenleme gibi problemler üzerinde çalışmışlardır. Ernst vd. [11] çalışmalarında personel çizelgeleme problemleri ile ilgili literatüre büyük katkı sağlayan bibliyografik bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında çözüm yöntemlerinden bahsetmişlerdir. Azaiez ve Al Sharif [57] çalışmalarında 0-1 hedef programlama yöntemi kullanarak hemşire çizelgeleme problemini çözüme kavuşturmuşlardır. Yazarlar, çalışma sonunda daha önce el ile yapılan çizelgeleme sonuçlarından daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Yunes vd. [323] çalışmalarında hibrit bir algoritma ile tam sayılı programlama yöntemlerini kullanarak bir firma için personel planlanması konusunu ele almışlardır. Topaloğlu [296] çalışmasında hedef programlama yöntemi ile sağlık personeli çizelgeleme problemini ele almıştır. Trilling vd. [300] çalışmalarında hastanede hemşire çizelgeleme sorunu üzerine çalışmışlardır. Lezaun vd. [208] çalışmalarında metro hattında çalışan işçilerin işgücü çizelgelerini yapmışlardır. Chu [116] çalışmasında hedef programlama tekniği kullanarak bir havaalanındaki personelin çizelgeleme problemini çözüme kavuşturmuştur. Lezaun vd. [209] bir diğer çalışmasında, demiryolu sürücülerinin işgücü çizelgemesi çalışmışlardır. Corominas vd. [120], çalışmalarında üretim işçilerinin vardiya çizelgemesini yaparak ve üretim planlama sorununu ortadan kaldırmayı amaçlamışlardır. Thompson ve Pullman [293] çalışmalarında personel vardiya çizelgeleme problemini çözüme kavuşturmuşlardır. Sinreich ve Jabali [283] çalışmalarında vardiya çizelgeleme problemini çözüme kavuştururken, doğrusal programlama modelini ve simülasyon araçlarını kullanmışlardır.

Horn vd. [183] çalışmalarında mürettebat çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Çalışmayı Avustralya ülkesinin kraliyet güçlerinin ellerinde bulundurdukları savunma mürettebatının üzerinde yapmışlardır ve başarılı sonuçlar elde ettikleri görülmüştür.

Sungur [331] çalışmasında karma tamsayılı programlama ile tur çizelgeleme problemini çözüme kavuşturmuştur. De Matta ve Peters [132], şehirlerarası taşımada iş çizelgeleme konusunda çalışma yapmışlardır. Tsai ve Li [301] çalışmalarında hemşire çizelgeleme problemini ele almışlardır. Lezaun vd. [210] çalışmalarında demiryolu çalışanları için bir vardiya çizelgeleme problemi üzerine çalışmışlardır. Rönnberg ve Larsson [273] İsveç sağlık sektöründe çalışan hemşirelerin atama problemi hakkında çalışmışlardır. Zolfaghari vd. [325] çalışmalarında personel çizelgeleme problemini ele almışlardır. Fırat ve Hurkens [152] karışık tamsayılı programlama ile personel çizelgelemesi yapmışlardır. Hung-Tso vd. [184] çalışmalarında hedef programlama tekniği ile personel çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Li vd. [211] hedef programlama yöntemi ile sezgisel yöntemleri birlikte kullanarak personel çizelgelemesi yapmışlardır. Bergh vd. [19] çalışmalarında personel çizelgeleme problemleri ile ilgili bibliyografik bir çalışma yapmışlardır. Yazarlar çalışmada, öncesinde yapılan araştırma makalelerini inceleyerek sınıflandırma oluşturmuşlardır ve kendi inceledikleri makaleleri bu sınıflandırmaya göre yeniden düzenlemişlerdir. Kassa ve Tizazu [195] personel ataması üzerine çalışma yapmışlardır. Louly [222] çalışmasında bir telekomünikasyon merkezinde vardiya çizelgeleme problemini hedef programlama yöntemi ile çözmüştür. Labadi vd. [221] çalışmalarında personel çizelgeleme problemini gidermek için çok amaçlı hedef programlama kullanmışlardır. Todovic vd. [298] çalışmalarında hedef programlama yöntemi ile polis memurları için bir çizelgeleme yapmışlardır. Eitzen vd. [140], bir elektrik üretim santralında birçok alanda beceriye sahip olan personellerin uzmanlaştıkları iş kollarına atanması için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Lilly vd. [219] çalışmalarında, Nijerya'da hizmet veren bir elektrik üretim şirketinde bakım işlemlerinin yapılabilmesi için bakım iş gücü giderlerinin minimum seviyeye indirilmesi amacıyla bir model önermişlerdir. Yaoyuenyong ve Nanthavani [321], gerekli iş gücünü karşılamak için en az işçiyle çalışmak adına bir çizelge oluşturmuşlardır.

Abbink vd. [34], çalışmalarında, karmaşık bir yöneylem araştırması modelinin başarılı bir şekilde çizelgeleme uygulanmasını yapmışlardır. Yazarlar, Hollandalı demiryolu operatörlerinin 6.500'ün üzerindeki sürücü ve kondüktörlerini çizelgelemek için karşılık gelen çözüm tekniklerini anlatmışlardır. 2001'de sürücüler ve kondüktörler,

görevlerinin yapısından çok memnun kalmadıklarından dolayı ülke çapında grevler yaşanmıştır. Bu sebeple, yazarların önerdikleri modelde hem sürücüleri hem de kondüktörleri memnun eden ve aynı zamanda zamanın etkin kullanılmasını ve verimliliğin artmasını destekleyen alternatif bir üretim modelinin ('Paylaşım Tatlı ve Ekşi Modeli') geliştirilmesini sağlamışlardır. Demiryolu hizmetlerinde, alternatif üretim modeline göre üretilen yeni çizelgeler, personel maliyetlerini yılda yaklaşık 4,8 milyon dolar (yani toplamda %1,2) azaltmıştır.

Aickelin vd. [35], çalışmalarında sürücü çizelgeleme problemleri için Geliştirilmiş Gıcirtılı Tekerlek Optimizasyonu adı verilen bir teknik üzerine çalışmışlardır. Bu yöntem, özgün Gıcirtılı Tekerlek Optimizasyonu yöntemini geliştirerek, tek bir çözüm içerisinde evrimi uygulamak için “Seçim” ve “Mutasyon” olmak üzere iki ek adım eklemiştir. Bu sayede tekniğin etkinliğini ve yürütme hızını geliştirmiştir. Geliştirilmiş gıcirtılı tekerlek optimizasyonunda, duruş koşullarına ulaşılan kadar bir “Analiz-Seçim-Mutasyon-Önceliklendirme-Yapım” döngüsü devam etmiştir. Analiz adımı, önce zahmetli bileşenleri tanımlamak için geçerli bir çözümün uygunluğunu hesaplamaktadır. Seçim basamağı bu zahmetli bileşenleri, uygunluk ölçütlerini kullanarak olasılıklı olarak atar ve az sayıda bileşeni rasgele atmaya devam etmek için Mutasyon adımı izler. Bu adımlardan sonra, bir girdi çözümü kısmi olur ve sonuç olarak ortaya çıkan kısmi çözümün onarılması gerekir. Onarım, öncelikle aşağıdaki Yapım adımının kalan bileşenleri planladığı bir düzeni belirleyen önceliklerin üretilmesi için Önceliklendirme adımını kullanarak gerçekleştirilir. Bu nedenle, geliştirilmiş gıcirtılı tekerlek tekniğindeki optimizasyon, çözüm kesintisi, tekrar eden iyileştirme ve gerçekleştirilen tekrar eden bir yapıcı tamir işlemi ile sağlanmaktadır. Tekniğin daha da geliştirebilmesi için umut vadeden deneysel sonuçlar elde edilmiştir.

Aickelin vd. [36], çalışmalarında Evrimsel Gıcirtılı Tekerlek Optimizasyonu adı verilen tekniği tartışıp analiz ederek iki farklı personel çizelgeleme problemine çözüm geliştirilmiştir. Evrimsel gıcirtılı tekerlek optimizasyonu, gıcirtılı tekerlek optimizasyonu tekniğine iki ilave adım (Seçim ve Mutasyon) ekleyerek orijinal gıcirtılı tekerlek optimizasyonunun etkililiğini ve yürütme hızını geliştirir. Evrimsel gıcirtılı tekerlek optimizasyonunda, duruş koşullarına ulaşıncaya kadar bir “Analiz – Seçim – Mutasyon – Önceliklendirme – Yapım” döngüsü devam eder. Analiz adımının

amacı, tüm bileşenler için uygunluk değerini hesaplayarak bazı ortalama çözüm bileşenlerini tanımlamaktır. Seçme adımı daha sonra bu uygunluk değerinin arasından yapılır ve bazılarını olasılıklı olarak uygunluğa göre atar. Mutasyon adımı, birkaç bileşeni rasgele atar. Çözümler eksik olabilir ve bu nedenle düzeltmeler gerekli olabilir. Onarım, öncelikle yapım adımının kalan bileşenleri planladığı bir düzeni belirleyen önceliklerin üretilmesi için Önceliklendirme adımını kullanarak gerçekleştirilir. Bu nedenle, evrimsel gıcırtılı tekerlek optimizasyonunda iyileştirmeler, tekrarlayıcı iyileştirme ve yapıcı tamir ile karışık seçici çözüm parçalanmasıyla sağlanmaktadır. Sonuçlar, personel çizelgelemenin iki farklı alanı üzerinde sunulmuştur. Bunlar: Otobüs-tren sürücüsü çizelgelemesi ve hemşire çizelgelemesidir.

Aickelin ve Dowsland [37], çalışmalarında İngiltere'nin büyük bir devlet hastanesinde ortaya çıkan işgücü çizelgeleme problemine genetik algoritma yaklaşımı ile çözüm üretmişlerdir. Her ne kadar geçmişte benzer sorunlar için genetik algoritmalar başarıyla kullanılmış olsalar da klasik genetik algoritma paradigmasının, hedefler ve kısıtlar arasındaki anlaşmayı ele almanın getirdiği sınırlamaların üstesinden gelmek zorunda kalmışlardır. Yazarların çalışmasında diğer çalışmalardan farklı olarak ele alınan yaklaşım, hemşirelerin permütasyonlarına dayalı bir kodlama içermesi ve bu permütasyonlardan zaman çizelgeleri oluşturan sezgisel bir çözücü kullanmasıdır. 52 haftalık canlı veriler operatörleri değerlendirmek için kullanılmıştır. Yazarlar sonuçları, bir hibrit çapraz operatörü getirerek ve çözüm alanının boyutunu küçültmek için basit sınırlardan faydalanarak daha da geliştirmişlerdir. Sonuçlar, önerilen algoritmanın daha iyi çözümler bulabildiğini ve yakın zamanda yayınlanmış bir tabu arama yaklaşımından daha hızlı ve daha uygun olduğunu ortaya koymaktadır.

Aickelin ve White [38]'in çalışmalarının amacı iki yönlüdür. Amaçlardan birincisi, karmaşık bir hemşire çizelgeleme problemini tamsayılı programlama formülasyonu ve evrimsel algoritmalarla modellemek ve çözmek. İkincisi, başarılı bir algoritma değişikliğini tanımlayarak daha iyi zamanlama algoritmaları ile kıyaslamak ve istatistiksel yöntemlerle ayrıntılandırmaktır. Karşılaştırma yöntemi, algoritmaların sonuçlarını, daha sonra geleneksel istatistiksel teknikler kullanılarak karşılaştırılabilen tek bir şekilde yakalar. Dolayısıyla, önerilen algoritma karşılaştırma yöntemi, bir

algoritmayı geliştirme sürecine yardımcı olmak için tasarlanmış objektif bir prosedürdür. Bu yöntem, bazı nümerik olmayan sonuçlar veya eksiksizlik olduğunda bile gerçekleştirilir. Nihai algoritma, önceki uzmanlaşmayı modifikasyona dayandıran önceki tüm evrimsel algoritmalarından daha iyi performans gösterir.

Akbari vd. [39]'nin çalışmasında yarı zamanlı ve karışık vasıflı işçilerin çizelgeleme problemi, bir gün boyunca işçilerin verimliliğinin değişken olduğu koşulu altında modellenmiştir. Yazarların çalışması personel çizelgeleme probleminde personelin yorulması sorununu önemli bir insani boyut olarak görmektedir. Personel çizelgeleme probleminde çeşitli vardiyalarda görevleri yerine getirmekte olan personelin yorulmasının etkisi, yorgunluğa karşı tecrübeli operatörler tarafından telafi edilir. Ancak bu durum istenilen bir sonuç değildir. Önerilen modelde amaç; çalışanların hazır bulunma durumu, verimliliği, öncelik tercihi, kıdem düzeyi ve gerekli işçi sayısı bakımından işçilerin memnuniyetini en üst düzeye çıkarmaya çalışmaktadır. Problemi çözmek için benzetim tavlama ve değişken komşu arama yöntemleri kullanılmıştır. Algoritmaların geçerliliğini değerlendirmek için, etkin bir alt sınır, sezgisel algoritma kullanılarak sağlanmıştır. Karşılaştırma deneyleri, algoritmaların optimum çözüm bulma yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. Önerilen algoritmaların rekabet gücü, matematiksel tamsayı programlama çözümleri aracılığıyla değerlendirilmiştir. Karşılaştırma sonuçları, değişken komşu arama yönteminin performans kalitesinin ve hesaplama süresi açısından benzetim tavlama yöntemi performansından daha iyi olduğunu göstermektedir.

Akçiratikarlı vd. [40]'nin çalışmasında, evde bakım görevlilerinin çizelgenmesi problemi, nüfusa ilişkin meta sezgisel teknik olan parçacık sürüsü optimizasyonu ile çözüme kavuşturulmuştur. Çalışma, toplumsal evde bakım hizmetinin sağlanmasının yerel makamların sorumluluğunun bulunduğu İngiltere'de ortaya çıkan gerçek bir durumu ele almaktadır. Bu hüküm dâhilinde, kapasite ve servis süresi penceresinin kısıtlamalarını ihlal etmemek kaydıyla, seyahat edilen mesafeyi en aza indirmek için her bir bakım görevlisinin optimizasyon rotaları belirlenmiştir. Çalışmanın iki hedefi vardır; ev bakımı çalışanlarının mevcut çizelgelemesini iyileştirmek için sistematik bir yaklaşımdan yararlanmak ve ikinci olarak sürekli parçacık sürüsü optimizasyonu algoritmasının bu tür bir probleme ve benzer sorunların tüm sınıflarına etkin bir şekilde

uygulanmasını sağlamak için yöntem geliştirmektir. Bu problem için, bir parçacık uzayda, ilgili bakım aktivitelerini ve atama önceliğini temsil eden çok boyutlu bir nokta olarak tanımlanır. Sezgisel atama şeması, sürekli parçacık sürüsü optimizasyonu algoritmasını ayrı iş programına dönüştürmek için özel olarak tasarlanmıştır. En erken başlangıç zamanı öncelikli minimum uzaklık atama tekniği, parçacığın arama yönünü yönlendiren bir başlangıç çözümü oluşturmak için geliştirilmiştir. Yerel iyileştirme prosedürleri yani yerleştirme ve değiştirme, çözüm kalitesini daha da artırmak için parçacık sürüsü optimizasyonu algoritmasına entegre edilir. Önerilen metodoloji, çeşitli gerçek problem örnekleri üzerinde mevcut çözümlerle uygulanır, test edilir ve karşılaştırılır. Çalışma bu yönleri ile diğerlerinden farkını ortaya koymuştur.

Al-Yakoob ve Sherali [41]'nin çalışmaları, Kuveyt'ün dört bir yanına dağılmış Kuveyt Ulusal Petrol Şirketi'ne ait 86 benzin istasyonundaki çalışanları atama sorunuyla ilgilidir. Literatürde benzer çalışmalarda çizelgeleme problemleri ele alınmış olsa da sorunun belirli özellikleri, bu sorunun spesifik doğası ve boyutunu ele almak için yeni matematiksel modeller ve algoritmalar gerektirdiğini ortaya koymuştur. Problemin; gerçek verilere dayanan karışık tam sayılı yapısı ve boyutu sebebiyle doğrudan çözülmesinin çok karmaşık olduğu ortaya konulmuştur. Bu nedenle, iki aşamalı bir yaklaşım önerilmiştir. Birinci aşama, çalışanları istasyonlara atamaktadır ve ikinci aşama her çalışanın vardiya ve çıkış günlerini belirlemektir. Hesaplama, CPLEX ve uzmanlaşmış sezgisele dayalı, iki aşamalı modeli doğrudan çözmeye yöneliktir. İki aşamalı yaklaşım, çalışanların belirttikleri tercihleri göz önüne alarak, belirli bir zaman diliminde, istenilen zamanda, günlük çalışanlara yönelik zaman çizelgeleri sağlamıştır. Bu önerilen modelleme yaklaşımı, çoğunlukla kaotik olan ve çalışanlar arasında önyargı duygusu ve iş memnuniyetsizliği yaratan mevcut elle çizelgeleme uygulamasının yerini alacak bir karar destek sistemine dâhil edilebilir bir yapı ortaya koymuştur.

Al-Yakoob ve Sherali [42]'nin çalışmaları, işçilerin aşağı doğru yer değiştirebilen bir hiyerarşiye ait olduğu birden çok vardiyanın ve çalışma merkezinin bulunduğu bir işgücü çizelgeleme problemiyle ilgilidir. Problemin yapısı şu şekildedir: Çalışanlar arasında kategori vardır. Yüksek kategorideki bir çalışan, kendinden daha düşük bir kategoride çalışan başka birinin görevlerini yerine getirebilir, ancak bunun tersi



yapılamaz. Bununla birlikte, daha yüksek bir kategoride çalışan, daha düşük kategorili bir çalışandan daha fazla bir tazminata sahiptir. Belli bir çalışma istasyonu ve vardiya süresince her bir kategori için talep, hafta içi günlerde sabittir ve hafta sonları için olanlardan farklı olabilir. Çalışmada iki hedefe ulaşılmaya çalışılmıştır. Birincisi, belirtilen talep gereksinimlerini karşılamak için ihtiyaç duyulan çalışanların kategorisinden asgari maliyetli bir iş gücü çizelgelemesi yaratmaktır. İkincisi ise seçilen personelin tercihlerini göz önüne alarak vardiya ve çalışma merkezlerine; vardiyalar, iş merkezleri ve tatil günleri için atamaktır. Karışık-tamsayı bir programlama modeli başlangıçta sorun için geliştirilmiş olup, daha sonra buna dayalı olarak özel bir zamanlama sezgisel sorunun çözümü için geliştirilmiştir. Bildirilen hesaplama sonuçları, önerilen sezgisel yöntemin %92 - 99 optimumluk arasında sonuçları olduğunu ortaya koymuştur.

Al-Yakoob ve Sherali [43]'nin çalışmaları, çalışanları belirli vardiyalar, günler ve iş merkezleri için ifade ettikleri tercihleri göz önüne alarak bir dizi çalışma merkezine atama sorunu ile ilgilidir. Karma tamsayı programlama modellerinde bu problem için formüle edilen değişkenlerin sayısı çok fazladır ve bu nedenle nispeten büyük ölçekli örnekler için modellerin sürekli gevşemesine doğrudan bir çözüm düşünülemez. Fakat yazarlar modellerin özel yapılarını, kullanan bir sütun oluşturma yöntemiyle modelin sürekli gevşemesini kolayca çözülebildiğini göstermişlerdir. Bu sütun üretme yapısına dayanarak sorunu çözmek için etkili bir sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Hesaplamalı sonuçlar, önerilen yaklaşımın makul bir zamanda büyük ölçekli sorunlu örnekler için bile iyi kalitede çizelgeleme oluşturulmasını kolaylaştırabileceğini göstermişlerdir.

Alfares [44]'in çalışması da genel tur çizelgeleme problemi yapısı içermektedir. Çalışan tur çizelgeleme problemi, her çalışanın hem günün çalışma saatlerini hem de haftanın çalışma günlerini belirlemeyi içerir. Bu problemin büyük boyut ve saf tamsayı doğasından dolayı en iyi çözüme ulaşması zordur. Son on yılda, bu problemi modellemek ve çözmek için çok sayıda yaklaşım önerilmiştir. Yazarın çalışmasında, 1990 yılından beri yayınlanan çalışanların tur çizelgeleme literatürü gözden geçirilmiş ve sınıflandırılmıştır. Çözüm teknikleri on kategoriye ayrılmıştır: (1) manuel çözüm, (2) tamsayı programlama, (3) örtük modelleme, (4) ayrışma, (5) hedef programlama, (6) çalışma seti üretimi, (7) doğrusal programlama tabanı (8) kurulma ve iyileştirme,

(9) meta sezgiseller ve (10) diğerk yöntemler. Yazarın çalışmasındaki amaç, geniş sınıflandırmaları tanımlamak, çözümler için kullanılan tipik matematiksel modelleri sunmak, farklı yöntemleri karşılaştırmak ve gelecekteki araştırma yönlerini tanımlamaktır.

Alfares [45]'in çalışmasında planlama kısıtlamaları ile dört gün izin ve haftanın üç günü için bir çalışma haftası çizelgeleme problemi çözümlenmiştir. Kısıtlar: (1) haftanın dört günü her çalışana verilen iznin en az ikisi ardışık olmalı, (2) çalışanların hafta sonlarını yeterli bir oranda almalarını sağlamak için iki alternatif kısıtlama türü uygulanmalı, (3) maksimum çalışma süresi, her çalışan için dört ardışık iş gününde olmalı ve (4) hafta sonu çalışmasıyla art arda geçen haftaların azami sayısı belirtilmelidir. Bu sorunun matematiksel bir modeli formüle edilmiş ve işgücü boyutu üzerinde bir sınır getirilerek verimli bir şekilde çözülmüştür. İlk olarak, problem yapısı asgari işgücü boyutunu belirlemek için kullanılmıştır. Daha sonra, çözümü kolaylaştırmak için tamsayı programlama modeline bir işgücü boyutu sınırlaması eklenmiştir. Son olarak, tüm kısıtlamaları karşılamak ve hafta sonu çalışmasıyla art arda geçen hafta sayısını sınırlamak veya en aza indirmek için çok haftalık rotasyonlarla çizelgeler üretilmiştir.

Alfares [46]'in çalışmasında bilgi teknolojileri yardım masası operatörlerinin büyük bir petrokimya şirketi için personel çizelgeleri anlatılmaktadır. Yazarın amacı, 24 saatlik çalışma süresince değişen iş yükünü karşılamak için gereken en iyi personel seviyesi ve çalışan haftalık tur çizelgelerini belirleyerek emek maliyetini azaltmaktır. İlk olarak, saatlik iş gücü gereksinimlerini tahmin etmek için görüşme sayısına ilişkin veriler kullanılmıştır. Daha sonra, bu gereksinimleri daha iyi eşleştirmek için yeni çizelgeleme seçenekleri önerilmiştir. Tur çizelgeleme atamalarını belirlemek için bir tamsayılı programlama modeli formüle edilmiş ve çözülmüştür. Son olarak; alternatif programlar, işgücü boyutu ve maliyet, hizmet düzeyi ve çalışanların kullanımını arasındaki dengeler açısından değerlendirilmiştir. Seçilen tur çizelgeleme daha düşük bir maliyetle ve daha az sayıda çalışanla daha iyi hizmet sunmaktadır.

Alfieri vd. [47], taşımacılık sistemleri gibi karmaşık lojistik sistemlerde, personel çizelgelemesi ile uğraşmanın önemine değinmişlerdir. Yazarlara göre görevler, objektif olarak belirli bir işlevi optimize edecek şekilde düzenlenmeli ve personele verilmelidir. Yazarların çalışmasında, bir demiryolu alt ağında görev yapan tren kondüktörleri için çizelgeleme yapılmıştır. Tren kondüktör çizelgelemesi, tren kondüktörleri tarafından gerçekleştirilecek gezilerden mümkün olan görevlerin yapılmasını içerir. Her görev, tek bir tren kondüktörü tarafından tek bir günde yapılacak bir dizi turdan oluşmaktadır. Görevler şöyle olmalıdır: Her gezi en az bir görev kapsamına girer, her görev fizibilite kısıtlamalarını yerine getirir. Komple çizelgeyi içeren ilave kısıtlamalar, bir veya birkaç hedef yerine getirilir. Yazarların çalışmasında, görev sayısını en aza indirmeye ve elde edilen çizelgelemenin sağlamlığının maksimize edilmesine odaklanılmıştır. Yazarlar, örtük bir sütun üretme çözüm yaklaşımı sunmuşlardır. Yazarlar fiyatlandırma için uygun bir çözüm bulmak adına, dinamik programlama algoritmasına dayanan sezgisel bir dal-fiyat algoritması ile birlikte sezgisel bir prosedürü tanımlamışlardır. Sonuçları, Hollanda'nın en büyük yolcu trenleri operatörü NS Reizigers'ın 500, 700, 1600 ve 1700 şehirlerarası tren serilerinin zaman çizelgesinde test etmişlerdir.

Alsheddy ve Tsang [48]'ın çalışmasında bahsedildiği üzere, çalışanların yetkilendirilmesi esnek bir yönetim kavramıdır. Geleneksel çizelgelemede olduğu gibi, işveren hâlâ personele iş atamakla yükümlüdür. Ancak çalışanlar, yapmak istedikleri işler için tercihlerini belirtebilir. İsteklere göre atama, işçinin moralini artıracak ve bu da verimliliği artıracaktır. İstenmeyen sonuçlara yol açmadan böyle bir çizelgeleme sistemi tasarlamak çizelgeleme problemlerinin çözümünde istenen sonuçlardan biridir. Yazarların önerdiği modelde çalışanlar tercihlerini, "iş planları" olarak sunarlar. Örgütsel hedef ve çalışanların çalışma planları çelişmeyebilir. Bu gibi durumlarda, kazan-kazan programları, kuruluşa maliyet ödemediği üretilir. Bir çatışma olduğunda ise organizasyon, çalışanların çalışma planlarını göz önüne almak için belirli bir miktar hedeften sapmaya (ki bu miktar yine örgüt tarafından belirlenir) hazırdır. İşveren bundan sorumludur ve bu nedenle herhangi bir çalışan için istenmeyen işlerin yapımı devam edecektir. Yetkilendirmede temel husus, çalışanların sistemin adil olduğunu hissettirmektir. Yazarların önerdiği modelde, her çalışanın talebinin karşılanamama maliyetini kontrol eden otomatik bir mekanizma vardır.

Model, çok yetenekli bir iş gücünün coğrafi olarak dağıtık görevlere göre planlanmasını içeren bir işgücü planlaması sorununu çözmek için uygulanmıştır. Bu modelin bir organizasyonun çalışanların güçlendirilmesini etkin bir şekilde sağladığını gösteren sonuçlara ulaşılmıştır.

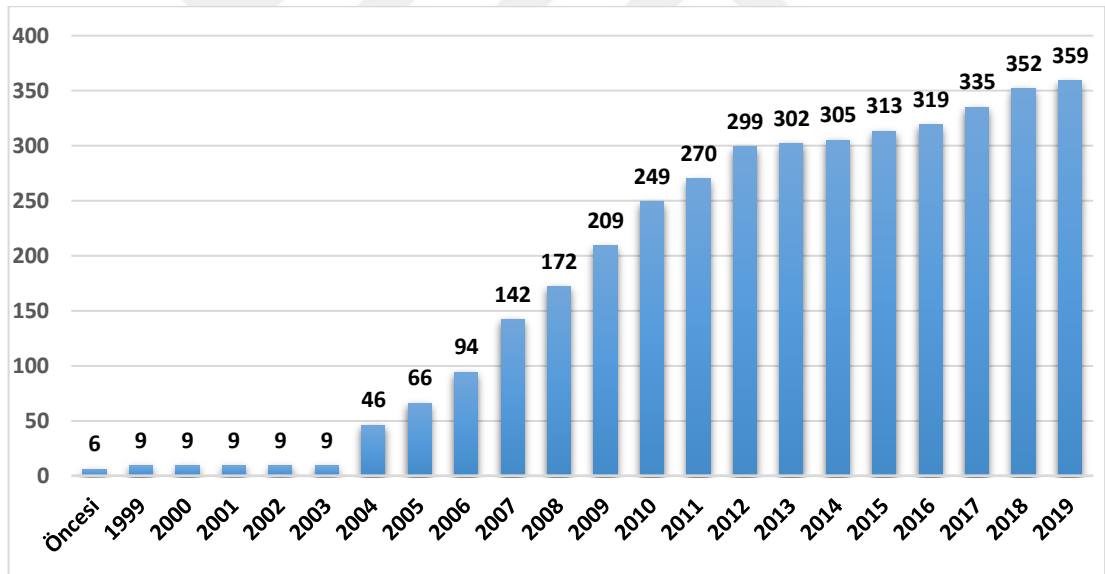
Asensio-Cuesta vd. [49]'nin çalışmalarında belirttikleri iş rotasyonu, üretim sistemlerinde gittikçe artan bir şekilde kullanılan bir organizasyon stratejisidir. Çünkü bu strateji, bir kuruluştaki hem işçilere hem de yöneticilere fayda sağlar. İş rotasyonu, kas-iskelet bozukluklarını önler, sıkıntıyı ortadan kaldırır, iş tatmini ve moralini artırır. Sonuç olarak şirket; üretkenlik kazanır, çalışan bağlılığı artar ve çalışanların işten ayrılma oranları azalır. Bu ayrılmalara yol açan etmenler ortadan kalkar, nitelikli ve motivasyonlu bir işgücü kazanılır. Yazarlar yorulma birikiminin neden olduğu kas-iskelet bozukluklarını önlemek için, en uygun personel görevini göz önüne alarak, iş rotasyon çizelgelerini oluşturmak için çok kriterli bir genetik algoritma modeli kullanmışlardır. Algoritma, işçiler arasında görevleri yerine getirmek için gereken yeterlilikleri göz önünde bulundurmaktadır. Rotasyon programlarının tasarımı yalnızca ergonomik ölçütlere değil, aynı zamanda ürün kalitesine ve çalışanların memnuniyetine ilişkin konulara da dayanmaktadır. Model, çözümlerin iyileştirilmesini sağlamak için bir ölçüt olarak işçilerin yetkinliklerini içerir.

Ásgeirsson [50]'un çalışmasında bahsettiği üzere, çalışanlarını düzenli olmayan çizelgelerle çalıştıran her şirket, uygun zaman çizelgesi oluşturmada zor ve zaman alıcı bir sorunla uğraşmak zorunda kalmışlardır. Yazar; çalışanlardan gelen isteklerin oluşturduğu kısmi bir çizelgelemeyi alıp, çalışanın isteklerinin çoğunun sağlandığı, kuralların ve yönetmeliklerin ihlâl edilmediğinden emin oldukları bir zaman çizelgesi oluşturan algoritma üzerine çalışmıştır. Algoritma, herhangi bir sırada yürütülebilen bağımsız modüllere dayalıdır ve her modül, bir personel müdürü tarafından alınan bazı işlemleri taklit etmeye çalışır. Yazarın amacı, yüksek kalitede uygun zaman çizelgeleri oluşturan şeffaf ve adil bir sistem yaratmaktır. Aynı zamanda bu algoritma, çalışanların taleplere yaptığı her değişiklik için bir açıklama ve gerekçe elde edebildiği bir sistemdir. Algoritma, personel yöneticilerinin eylemlerini taklit eder. Bu sayede personel yöneticileri tarafından kolaylıkla anlaşılır ve herhangi bir eylemin ayrıntılı günlüklerini kullanarak herhangi bir kararın çalışanlara açıklanması kolaylaşır.

Yazarlar algoritmayı sunduktan sonra dört gerçek dünya şirketi ve kuruluşunun üzerinde uygulayıp sonuçları göstermişlerdir. Sonuçlar, basit bir modül tabanlı sezgisel yöntemle iyi sonuçlar alınabileceğini ve çalışanları kendi zamanlama sürecine katılmaya teşvik eden adil ve uygulanabilir programlar oluşturabileceğini göstermektedir.

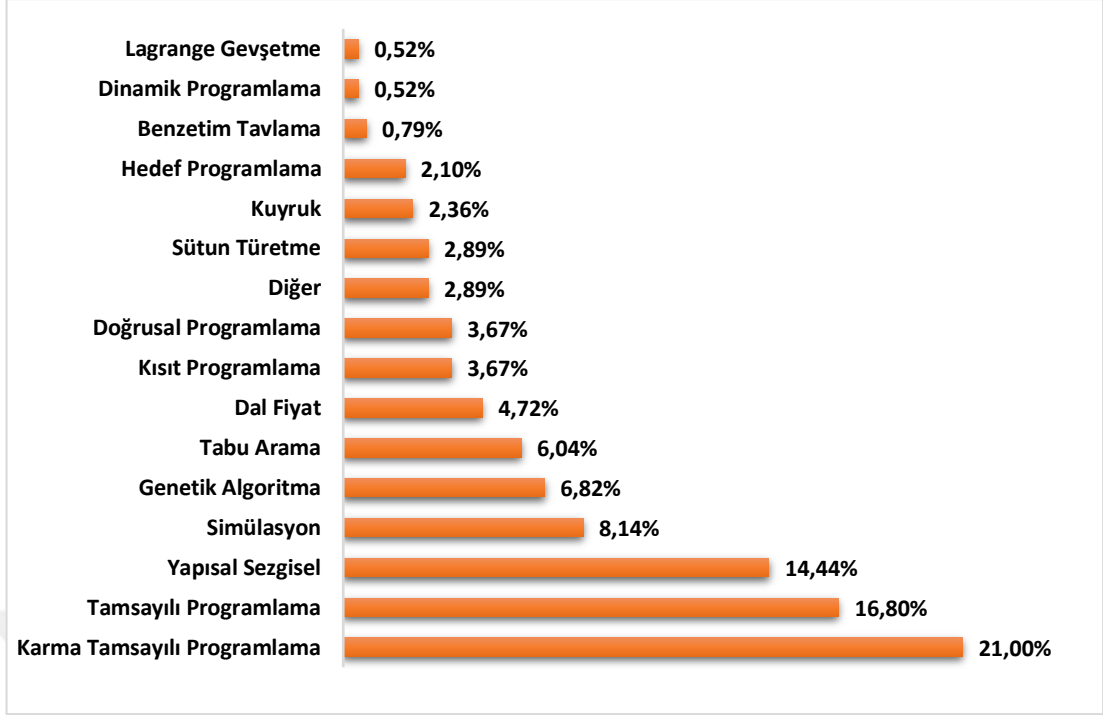
#### 4.2. Literatürden Yapılan Çıkarımlar

Bu tezin enerji sektöründe ilk olması, çalışmayı diğer çalışmalardan üstün kılmaktadır. Hedef programlama, çok ölçütlü karar verme teknikleri ve yapay sinir ağlarının çalışmada kullanımı da yine çalışmayı başka çalışmalardan ayıran bir unsur olarak düşünülmektedir. Literatürde incelenen çalışmaların yıllara göre dağılımı Şekil 4.1.'de verilmiştir.



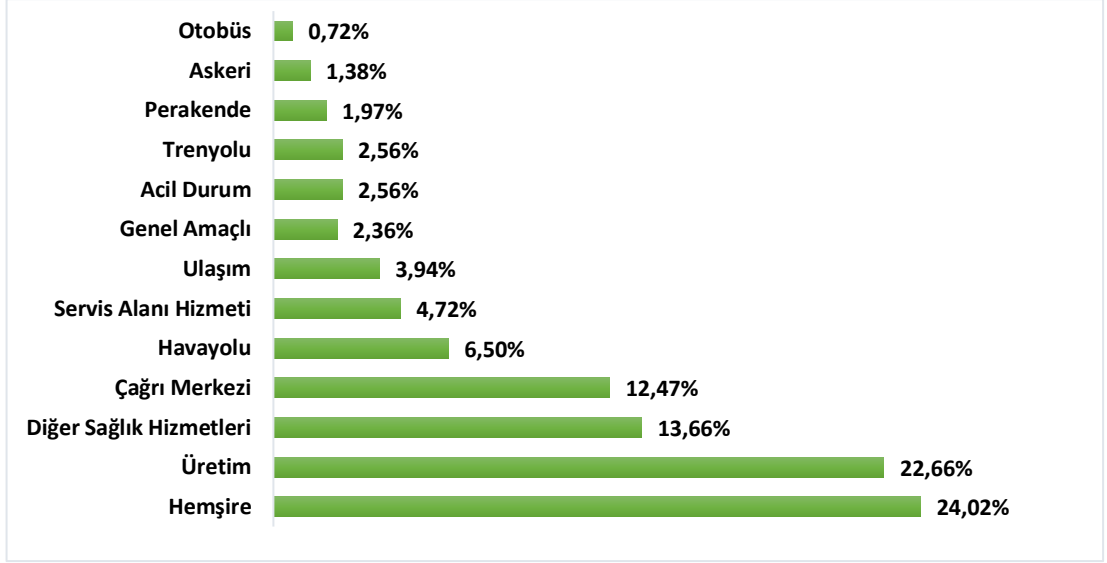
Şekil 4.1. Çizelgeleme çalışmalarının yıllara göre kümülatif dağılımı

Şekil 4.1'de kümülatif dağılımda, personel çizelgeleme çalışmalarının yıllara göre dağılımı görülebilir. Bildiriler ve ders notları bu sıralamaya dâhil edilmemiştir.



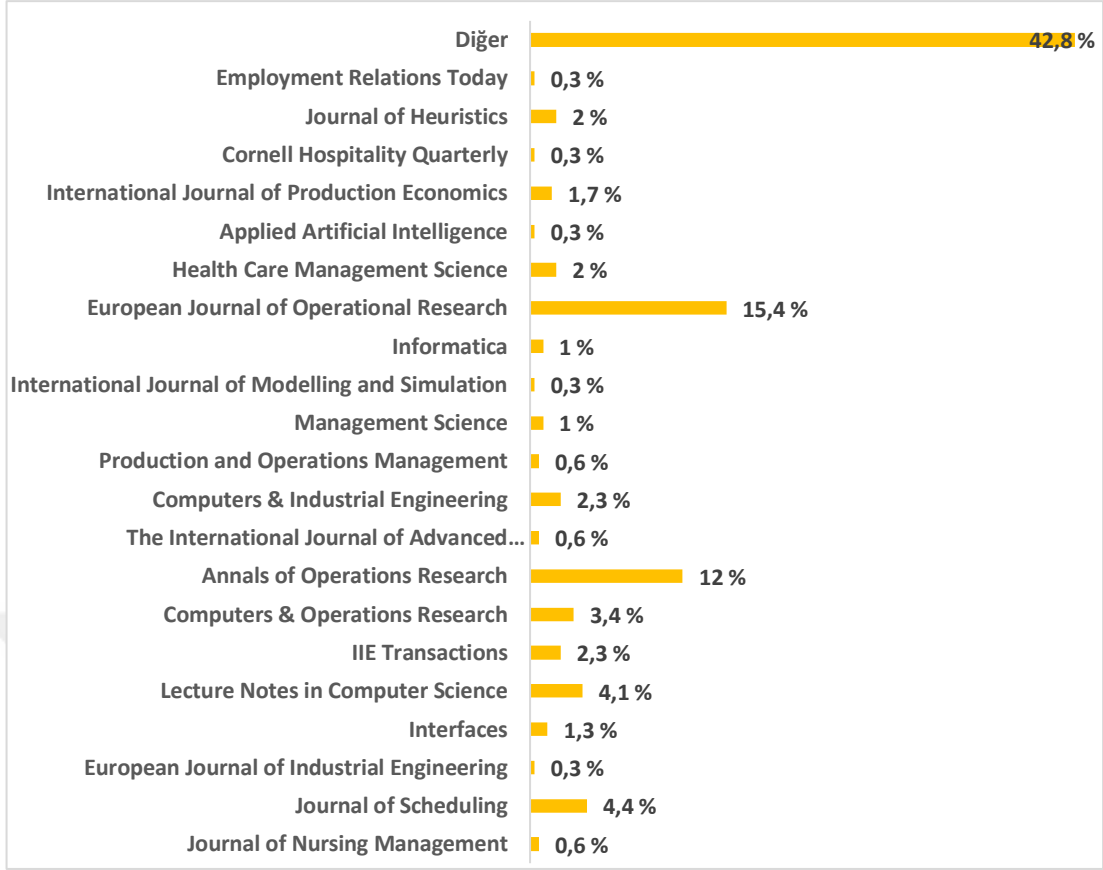
**Şekil 4.2.** Personel çizelgeleme çözüm yöntemleri

Personel çizelgelemesi ile ilgili literatür, belirli bir analitik yaklaşımı bir çözüm veya değerlendirme tekniği ile birleştiren çeşitli araştırma metodolojileri sergilemektedir. Çalışmalar, tamsayılı programlama, doğrusal programlama, dinamik programlama ve hedef programlama veya iyileştirme sezgisel tarama gibi matematiksel programlama kategorileri olarak sınıflandırılmıştır. Diğer kategoriler simülasyon, kısıt programlama ve kuyruk teorisidir. Çalışmaların çoğu karma tamsayılı programlama [41, 51-54, 58, 65, 66, 81, 86, 104, 113, 119, 120, 121, 124, 125, 126, 131, 145, 152, 159, 160, 177, 178, 187, 189, 190, 194, 195, 196, 198, 211, 216, 229, 241, 255, 260, 271, 273-275, 277, 287, 288, 289, 291, 298, 301, 310, 315, 318-320, 323], tamsayılı programlama [44, 45, 63, 64, 67, 70, 71, 102, 105, 115, 123, 132, 139, 140, 143, 144, 151, 183, 191-193, 208-210, 218, 219, 234, 235, 237, 248, 252, 254, 263, 272, 274, 281, 292, 294, 304, 306, 322, 324-326] ve yapıcı sezgisel [42, 50, 59, 60, 65, 66, 70, 85, 88, 89, 97, 100, 103, 107, 108, 118, 134, 135, 141, 146, 147, 159, 160, 161, 166, 181, 182, 184, 191, 205, 214, 220, 233, 238, 248, 256, 270, 271, 278, 316] teknikleri kullanılarak çözülmüştür.



**Şekil 4.3.** Personel çizelgeleme uygulama alanları

Personel çizelgeleme problemleri çeşitli uygulama alanlarından oluşur. Bu sınıflandırma yöntemi, personel çizelgeleme problemlerinde yapılan çalışmalara genel bir bakış açısı sunmaktadır. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi, personel çizelgeleme problemlerinde üretim çizelgeleme [38, 41-43, 49, 50, 58-60, 64, 70, 71, 73, 75, 77, 80, 84, 95, 103, 105, 108, 120, 121, 133, 137, 140, 142, 152, 153, 156, 161, 166, 167, 170, 173, 177, 179, 186, 191, 192, 202, 234, 241, 242, 293, 299, 310, 311, 332, 345], hemşire çizelgeleme [11, 36, 37, 56, 57, 61-63, 67-69, 72, 76, 78, 79, 82, 85, 93, 94, 96-102, 113, 129, 131, 148, 159, 162, 169, 171, 175, 176, 197, 214, 220, 224-226, 228, 229, 232, 237, 238, 253, 256, 257, 262, 264, 274, 285, 295, 296, 301, 302, 304, 306, 316, 323, 335, 341, 351, 359, 366, 377, 378] ve diğer sağlık hizmetleri çizelgeleme [28, 29, 63, 83, 88, 90, 131, 149, 191, 230, 249, 250, 266, 274, 284, 298, 305, 312, 313, 364, 369] çalışmaları en popüler olanlardır.



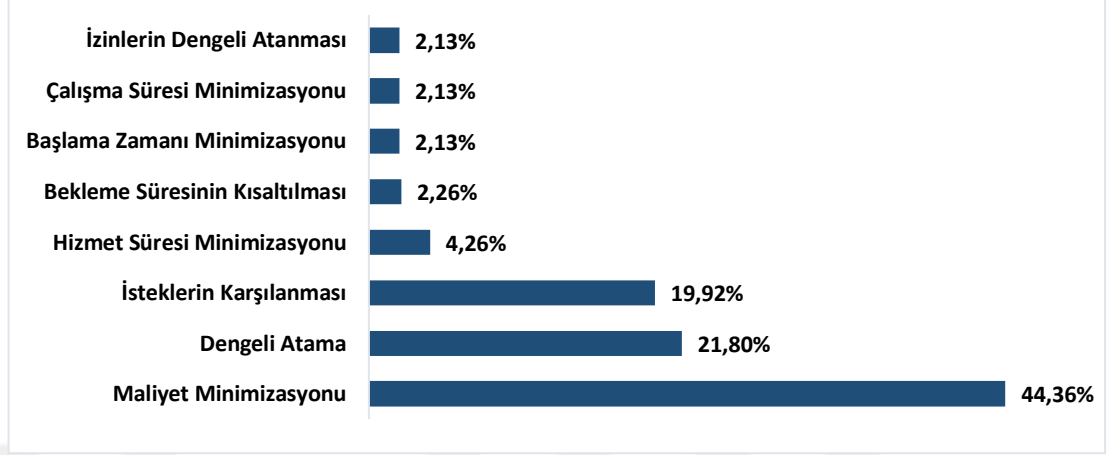
**Şekil 4.4.** Personel çizelgeleme çalışmalarının dergilere göre dağılımı

Şekil 4.4'ten de görüldüğü üzere, personel çizelgeleme alanına en çok katkıda bulunan dergiler sıralanmıştır. European Journal of Operational Research ve Annals of Operations Research dergileri personel çizelgeleme konusunda literatürün çoğunu barındırmaktadır.

Bir model veya bir formülasyon geliştirmenin yanı sıra, araştırmacılar genellikle araştırmalarının fizibilitesini göstermek için bir test aşaması sağlarlar. Makalelerin çoğu teorik veriler üzerinde gerçek dünya tabanlı verileri desteklemektedir. Modelin gerçekten uygulanıp uygulanmadığı belli değilse, bu belgeleri gerçek dünya verilerine sahip kümeler halinde sınıflandırmak mümkündür. Araştırma sonuçlarına göre, yazarlar uygulama süreciyle ilgili herhangi bir ayrıntıya ya da gözlemlenen sonuçlara neredeyse hiç sahip olmamışlardır, ancak okuyucunun dikkatini bu yönde çekebilmişlerdir. Personel çizelgeleme problemlerine dâhil olan farklı paydaşların

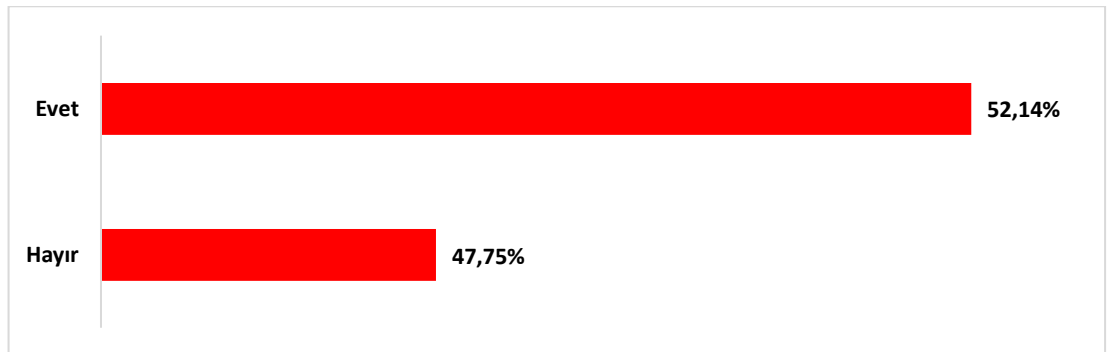


uygulama sürecinde tatmin edilmesi gerekmektedir. Uygulamalardan sonra ortaya çıkan sorunlar, diğer yazarların çalışmalarında karşılaştıkları sorunlara benzerdir.



**Şekil 4.5.** Çizelgeleme çalışmalarının amaç fonksiyonları

Personel çizelgeleme problemi için çok amaçlı modeller geliştirildiği dikkat çekici bir ayrıntıdır. Bir personel çizelgesi geliştirilirken, birtakım isteklerin karşılanması gerekmektedir. Örneğin, kuruluşun iş yükünü minimum maliyetle karşılamak gibi. Yöneticiler, düşük maliyetle personel sürekliliği ve kullanılabilirliğini sağlamak için sıradan işçilerin sayısını sınırlamakta ısrar edebilir. Şekil 4.5'te her çalışma için amaç fonksiyon değerleri gösterilmiştir. Çalışmaların çoğu personel çizelgeleme problemlerinde maliyet minimizasyonunu ele almaktadır.



**Şekil 4.6.** Çizelgeleme çalışmalarının uygulama sonuçlarının elde edilme durumu

Yazarların çoğu çalışmalarında gerçek hayat verileri ile çalışmışlardır ancak çözüm algoritmaları bunu uygulamaya koymayı zorlaştırmıştır. Daha önce tartışıldığı gibi; personel ya da problem özellikleri, entegrasyon eksikliği, hatalı makine planlama kararları, vb. nedenlerden dolayı çözüm algoritmasının düzgün uygulanması engellenir. Şirket için mevcut olmayan ticari yazılımlarda çizelgeleme yapılmışsa veya şirketin yazılım sistemi uygun değişikliklere izin vermiyorsa, personel çizelgeleme algoritmasını uygulamak da zor olabilir.

Çizelge 4.1'de gösterildiği gibi, çözüm yöntemleri ve amaçları / kriterleri incelenmiştir ve tezde çalışılan model yapısına en çok benzeyen çalışmalar listelenmiştir. Genel olarak; sezgisel yöntemler, tamsayılı programlama ve hedef programlama personel çizelgeleme problemini çözmek için en çok kullanılan tekniklerdir [386].

**Çizelge 4.1.** Personel çizelgeleme çalışmaları

Yazarlar	Çözüm Metotları	Kriterler / Hedefler
Aickelin vd. [35]	Sezgisel Metot	Adil Çizelgeleme
Aickelin vd. [36]	Sezgisel Metot	Dengeli Atama
Aickelin ve Dowsland [37]	Genetik Algoritma	Hızlı Atama Yapma
Yunes vd. [323]	Hibrit Algoritma ve Tamsayılı Programlama	Hızlı Atama Yapma
Akçiratikarlı vd. [40]	Parçacık Sürüsü Optimizasyonu	Sistematiik Çizelgeleme
Asgeirsson [50]	Hibrit Algoritma	Hızlı Çizelgeleme
Pinedo vd. [326]	Sezgisel Metot	Personel Çizelgeleme
Smet vd. [284]	Hibrit Algoritma	Vardiya Çizelgeleme
Smet vd. [329]	Sezgisel Metot	Vardiya Çizelgeleme
Abbink vd. [34]	Sezgisel Metot	Dengeli Atama
Aickelin ve White [38]	Tamsayılı Programlama	Adil Çizelgeleme
Alfares [44]	Tamsayılı Programlama	Verimli Atama
Alfares [45]	Tamsayılı Programlama	İşgücü Dağılımı
Trilling vd. [300]	Kısıt ve Tamsayılı Programlama	Adil Çizelgeleme
Lezaun vd. [208]	Tamsayılı Programlama	İşgücü Çizelgeleme
Al-Yakoob ve Sherali [41]	Karışık Tamsayılı Programlama	İşçi İsteklerini Karşılama
Al-Yakoob ve Sherali [42]	Karışık Tamsayılı Programlama	Maliyet Minimizasyonu
Alfares [46]	Tamsayılı Programlama	Maliyet Minimizasyonu
Lezaun vd. [209]	Karışık Tamsayılı Programlama	Üretim Çizelgeleme
Corominas vd. [119]	Karışık Tamsayılı Programlama	Adil Çizelgeleme
Bard vd. [63]	Tamsayılı Lineer Programlama	Adil Çizelgeleme
Corominas vd. [120]	Karışık Tamsayılı Programlama	Dengeli Atama
Henao vd. [327]	Karışık Tamsayılı Programlama	Maliyet Minimizasyonu ve Adil Çizelgeleme
Van Veldhoven vd. [330]	Tamsayılı Programlama	Verimli Atama
Hung-Tso vd. [184]	Hedef Programlama	Adil Çizelgeleme
Li vd. [211]	Hedef Programlama	Adil Çizelgeleme
Kassa ve Tizazu [195]	Hedef Programlama	Adil Çizelgeleme
Louly [222]	Hedef Programlama	Adil Çizelgeleme

**Çizelge 4.1. (devamı...) Personel çizelgeleme çalışmaları**

<b>Yazarlar</b>	<b>Çözüm Metotları</b>	<b>Kriterler / Hedefler</b>
Labadi vd. [221]	Hedef Programlama	Adil Çizelgeleme
Todovic vd. [298]	Hedef Programlama	Adil Çizelgeleme
Ernst vd. [328]	Bibliyografik Çalışma	Maliyet Minimizasyonu
Azaies ve Al-Sharif [57]	0-1 Hedef Programlama	Kesintisiz Hizmet Sağlama
Topaloğlu [297]	Hedef Programlama	Dengeli Atama
Alfares [395]	Simülasyon	Maliyet Minimizasyonu
Alfieri vd. [47]	Dal-Fiyat Algoritması	Görev Azaltma
Chu [116]	Hedef Programlama	Görev Çizelgeleme
Thompson ve Pullman [293]	Tamsayılı Programlama	Adil İşyükü Dağılımı
Sinreich ve Jabali [283]	Lineer Programlama	Bekleme Zamanı Minimizasyonu
Al-Yakoob ve Sherali [43]	Karışık Tamsayılı Programlama	İşgücü Atama
De Matta ve Peters [132]	Dal-Fiyat Algoritması	Vardiya Çizelgeleme
Tsai ve Li [301]	Genetik Algoritma	İşgücü Çizelgeleme
Lezaun vd. [210]	0-1 Programlama	Vardiya Çizelgeleme
Rönnberg and Larsson [273]	Lineer Programlama	Vardiya Çizelgeleme
Zolfaghari vd. [325]	Genetik Algoritma	Verimli Çizelgeleme
Alsheddy ve Tsang [48]	Lineer Programlama	İşgücü Çizelgeleme
Firat ve Hurkens [152]	Karışık Tamsayılı Programlama	Adil Çizelgeleme
Asensio-Cuesta vd. [49]	Genetik Algoritma	İş Tatmini
Veen ve Veltman [304]	Dal-Fiyat Algoritması	Vardiya Çizelgeleme
Özder vd. [385]	Hedef Programlama	Adil Çizelgeleme
Özder vd. [386]	Hedef Programlama	Verimli Çizelgeleme
Özder vd. [387]	Hedef Programlama	Verimli Çizelgeleme
Liu vd. [388]	Hibrit Yaklaşım	Literatür Taraması
Koltsaklis vd. [389]	Karışık Tamsayılı Programlama	Operasyonel Çizelgeleme
Hemmati vd. [390]	Hibrit Yaklaşım	Kapasite Çizelgeleme
Amiri vd. [391]	Stokastik Programlama	Kapasite Çizelgeleme
Ma vd. [392]	Karışık Tamsayılı Programlama	Enerji Çizelgeleme
Deshmukh ve Deshmukh [393]	Hibrit Yaklaşım	Enerji Çizelgeleme
Jinturkar ve Deshmukh [394]	Karışık Tamsayılı Programlama	Enerji Çizelgeleme

Personel çizelgeleme ile ilgili 359 çalışma incelendiğinde, hemşire çizelgeleme çalışmaları ilk sırada yer almaktadır. Literatürde makine çizelgeleme ve personel çizelgeleme entegrasyonu gibi bazı çizelgeleme problemleri vardır. Genel personel çizelgeleme çalışmaları da popülerdir. Literatürde, personel çizelgeleme problemleri ile ilgili birçok sınıflandırma çalışması vardır. Personel çizelgeleme literatürü, bir çözüm veya değerlendirme tekniğini analitik bir yaklaşımla birleştiren çeşitli araştırma yöntemleri barındırır. Tamsayılı, hedef, doğrusal veya dinamik programlama gibi matematiksel programlama optimizasyon kategorileri birçok çalışmada sınıflandırılmıştır. Kuyruk teorisi, kısıt programlama ve simülasyon diğer çözüm tekniklerinin kategorileridir.

Personel çizelgeleme problemleri çözülmesi uzun zaman alan bir problem türüdür. Literatürde büyük ölçekli çizelgeleme problemleri için örnek çözümler bulunmaktadır. Yapılan literatür taramasında, elektrik üretim santrallerinde daha önce personel

izelgeleme alışması olmadığı görülmüştür. Personel izelgeleme problemleri özellikle karmaşık kısıtlar ve üzüm alternatifleri nedeniyle; çoklu vardiya, çoklu çalışan ve çalışanların yeteneklerinin de göz ardı edilmeden matematiksel model yapısına dâhil edilmesiyle karmaşıklaşabilir.

### 4.3. Tezin Literatüre Katkısı

Personel izelgeleme literatüründe, uygulama sonuçları verilmeyen çalışmaların sayısının oldukça fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca, literatürde hem talep tahminini yapan hem de izelgelenecek personelin yeteneklerine göre hareket eden ve aynı zamanda maliyeti en aza indiren personel çizelgeleme çalışması yoktur. Tüm bunlar göz önüne alındığında, santrallarda çalışan personelin çizelgelenmesi, araştırılmayı bekleyen yeni bir alandır.

Bu tezin literatüre katkıları şu şekildedir:

- ✓ Bu tez ile literatürde ilk kez DGKÇS'de personel çizelgeleme problemi; personel yeteneği, maliyet ve mevsimlik değişim kavramları incelenerek ele alınmıştır.
- ✓ Tez kapsamında personel çizelgeleme ile ilgili 359 çalışma incelenmiştir. Bu alışmalar yayımlandıkları dergi, uygulama alanı, zm yöntemi, amaçları vb. şekilde sınıflandırılmıştır. Literatür çalışmasından yapılan çıkarımlara göre bu haliyle tez şimdiye kadarki en kapsamlı şekilde personel çizelgeleme problemini ele almıştır. Enerji ile ilgili yapılan çalışmaların listesi daraltılmış ve öncelikli çalışmaların model yapıları incelenmiştir.
- ✓ Personel izelgeleme çalışmalarında personellerin sahip olduğu yeteneklerin, personelin işleri için sonuçları etkileyecek ve değiştirecek şekilde önemli olduğu tespit edilmiştir [386]. Bu sebeple tezdaki matematiksel modelde yetenek temeli, Analitik Ağ Süreci (AAS) yöntemi kullanılarak dikkate alınmıştır. Yetenek temelli matematiksel modeller geliştirilip modele dahil edilen çalışmalar literatürde az da olsa mevcuttur [387]. Fakat uzmanlar

tarafından belirlenen genel olarak dokuz ve ayrıntılı olarak yirmi yetenek kapsamında yapılan ilk personel çizelgeleme çalışmasıdır.

- ✓ Personel çizelgeleme problemini çözüme kavuştururken maliyet açısından değerlendirme yapan çalışmalar mevcuttur. Personelleri eğitime maliyeti [327], gereksiz yere fazla personel atamasından kaynaklı maliyet [386,387], işe alma maliyeti [47], çalışma yerini yeniden düzenleme maliyeti [229] gibi maliyet türleri minimize edilmeye çalışılmıştır. Ancak, bu çalışmalar sadece maliyeti dikkate alan çalışmalardır. Bu tez hem maliyet hem de personel yeteneklerini bir araya getiren ilk çalışmadır.
- ✓ Atmosferik sıcaklık, DGKÇS'lerin termal verimliliğini etkileyen önemli bir parametredir. Başka bir deyişle, atmosferik sıcaklık arttıkça, DGKÇS'lerin ısı verimi düşer. Bu nedenle, özellikle kış ve sonbahar mevsimleri DGKÇS'lerin en yoğun çalıştıkları mevsimlerdir. DGKÇS'lerin mevsimlere göre üretimi de değişmekte buna göre mevsimsel olarak personel ihtiyacı da farklılık göstermektedir. Bu tez personel çizelgeleme çalışmaları içinde mevsimlik değişimin dikkate alındığı ilk çalışmadır.
- ✓ Bu tez ile personelin yanlış atanmasından ve arıza duruşlardan kaynaklı tasarruf sağlanmıştır. Bununla birlikte ihtiyaç kadar personel atanması sağlanarak aylık 6.000 \$ tasarruf sağlanmıştır. İşletmede elde edilen bu kazançların maliyete katkısı büyüktür.
- ✓ Bu tez çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden AAS, hedef programlama ve yapay sinir ağları teknikleri entegre edilerek yapılan ilk personel çizelgeleme çalışmasıdır.
- ✓ Mevsimlere göre üretimin değişmesi ve çalışan sayısının bu durumdan etkilenmesi, elektrik üretiminde çalışan personel yeteneklerinin önemi ve personel maliyetinin dikkate alınması gibi kavramlar bu tezde ilk defa aynı anda dikkate alınarak çözülmüş, sonuçlar uygulanmış ve doğrulanmıştır.

✓ Bu tezde yapılan personel çizelgeleme çalışmasından sonra, çizelgelenen personel ile yüz yüze görüşmeler yapılmıştır ve yıllık faaliyet raporunun sonuçları incelenmiştir. Bu analizlerde, önceki yılın çizelgesine göre memnuniyet %42 iken bu çizelgelemenin uygulanmasıyla memnuniyet düzeyi %89'a çıkarılmıştır. Bu aşamada fark edilir derecede iyileşme olduğu tespit edilmiştir. Tüm personel, görevlendirmelerin adil bir şekilde tahsis edilmesinden memnundur. Yeteneklerine göre her vardiyada görevlendirme, tüm personel için bir güven ortamı sağlamıştır. Personel yeteneklerinin dikkate alınması sonucunda personel motivasyonunda önemli bir iyileşme olduğu görülmüştür.

✓ İşlerin 80 personel arasındaki adil dağılımı personel motivasyonunu olumlu yönde etkilemiştir. Bu beyanlar, elde edilen sürdürülebilir enerji arzının sağlandığını da teyit etmektedir.

✓ Ayrıca tezde önerilen çizelgenin bir yıl süreyle santralda uygulanması ile vardiya atamalarında adalet ve maliyetin en aza indirgenmesi sağlanmıştır.

Bu tez, alanında yeni olan araştırmacılar için özellikle avantaj sağlayabilir ve onlara yol haritası oluşturabilir.

## 5. YARARLANILAN YÖNTEMLER

Personel çizelgeleme problemleri, doğrusal programlama, hedef programlama, tamsayı programlama, karma tamsayı programlama, dinamik programlama ve genetik algoritmalar gibi farklı yöntemlerle çözülebilir. Bu çalışmada üç farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlardan biri analitik ağ süreci, birisi hedef programlama, diğeri ise yapay sinir ağlarıdır. AAS, karar verme problemindeki faktörler arasındaki ilişkileri ve bağları dikkate alan bir yöntemdir. AAS'nin kilit noktasını oluşturan faktörler etkileşim, bağ ve geri bildirimdir. AAS ve diğer yöntemler arasındaki en büyük fark, geri bildirim alması ve aralarındaki bağlantıları dikkate alarak faktörleri uygulamasıdır.

Hedef programlama modeli bir tür çok amaçlı programlama modelidir. Optimizasyon düşüncesine dayanan çok amaçlı programlama modellerinde, çelişkili hedefleri eşzamanlı olarak kısıtlayıcı kümeye göre dolduran bir çözüm vektörünün belirlenmesi amaçlanmaktadır. Hedef programlama modeli karar vericinin tatmin edici bulunduğu bir çözüm bulmaya çalışılır. Bu nedenle, hedef programlamanın bir optimizasyon fikrinden ziyade bir memnuniyet anlayışına dayandığı söylenebilir.

Yapay sinir ağı, beyin gibi biyolojik sinir sistemlerinin süreç bilgisinden ilham alan bir bilgi işleme modelidir. Daha basit bir ifadeyle, beynin her saniye yaptığı gibi girişler ve çıkışlar arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri işlemek için kullanılan basit bir matematiksel modeldir. Yapay sinir ağı, deneyime dayalı depolanan bilgileri uygulamaya koyma eğiliminde olan bir işlemcidir. Yapay sinir ağı, insan beynine iki açıdan benzer: bilgi bir öğrenme süreci vasıtasıyla ağ tarafından elde edilmesi. İkincisi nöronlar arasındaki sinaptik ağırlıkların, bilgi depolamak için kullanılmasıdır.

### 5.1. Analitik Ağ Süreci

AAS, bileşik öncelik oranı ölçeklerini türetmek için kullanılan ve ölçütlere göre etkileşimde bulunan elementlerin etkisinin göreceli ölçümlerini temsil eden bireysel

oran ölçeklerinden elde edilen genel göreceli ölçüm teorisidir [397]. AAS; elementleri, kendileri sütun önceliklerinin matrisi olan süpermatris ile, elementlerin kümeleri arasındaki bağımlılık ve geribildirim sonuçlarını tespit etmeye çalışan bir yöntemdir. AAS, küme ve unsurlara bağımlılık varsayımlarıyla Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)'nin [396] özel bir halidir. AAS karar vermede yeni ve önemli bir aşama sunmaktadır. Geleneksel yaklaşımlar alternatifleri seçmek için lineer yapılar kullanmalarından dolayı hem olumlu hem de olumsuz sonuçlarına göre geri bildirimde bulunamamaktadırlar. Bundan dolayı sadece niteliklere ve kriterlere göre değil, aynı zamanda iyi ve kötü yanları da hesaba katarak karar verme süreci yapıma hususu ihmal edilmektedir. Bu durum karar verme sürecinde eksik bir durum oluşmasına neden olmaktadır. İşte AAS tam da bu noktada devreye girmektedir. AAS, AHS'nin daha genel bir yaklaşımıdır. Thomas L. Saaty [397] tarafından geliştirilen bu yöntem, en sık kullanılan karar verme yöntemlerinden biridir. AAS'nin kullanımı kolaydır ve her alanda kullanılabilir çünkü yaygın bir Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemidir. Birtakım karar verme problemlerinin çözümü için yapılandırılmasında hiyerarşik bir yapı gösterilerek açıklanamaz. Sorunun nedeni, sorunun üst seviye oluşumlar ile alt seviye fenomenler arasında bir bağlantı olmasıdır. Bu sebeple, alternatiflere göre kriterleri hiyerarşik düzende belirlemek yerine, kritere göre alternatif tespit daha da cazip hale getirilmektedir [397].

AAS, faktörler arasındaki ilişkiyi ve karar problemindeki faktörlerin kendi içerisindeki ilişkileri dikkate alan bir yöntemdir. AAS'nin kilit noktasını oluşturan birkaç faktör vardır. Bunlar; etkileşim, bağlanma ve geri bildirimdir. AAS'nin diğer yöntemlerden en büyük farkı, geri bildirim alması ve faktörlerin birbirleri arasındaki bağları dikkate almasıdır. Bu yöntem, alternatifleri değerlendirirken alternatiflerin olumlu ve olumsuz yönlerini dikkate alır. İlk ortaya çıkışından bu yana, AAS çok kriterli karar verme problemlerinde önemli bir yöntem olarak yerini korumuştur.

AHS'nin yedi ayağı, AAS için bir başlangıç noktasıdır. AAS, düşük seviyeli elementlerden yüksek seviyeli elementlerin bağımsızlığı ve bir seviyedeki elementlerin bağımsızlığı hakkında varsayımlarda bulunmadan kararlarla baş etmek için genel bir çerçeve sunmaktadır. Aslında AAS, bir hiyerarşideki gibi seviyeleri belirtmeye gerek kalmadan bir ağ kullanır. Etki AAS'deki merkezi kavramdır. AAS



tahmin edilmesi ve çeşitli rakiplerin tahmin edilen etkileşimleri ve karar almadaki etkilerini kullanmadaki göreceli güçleriyle temsil etmesi için yararlı bir araçtır.

AAS iki parçanın bir birleşimidir. Birincisi, etkileşimleri kontrol eden bir kontrol hiyerarşisi veya kriterler ağı ve alt kriterlerinden oluşur. İkincisi, kümeler ve faktörler arasındaki etkinin durumunu gösteren ağ yapısı temsilidir. Ağ kriterden kritere göre değişmekte ve her kontrol kriteri için farklı bir sınırlama etkisi süpermatrisi hesaplanmaktadır. Son olarak, bu süpermatrislerin her biri, kontrol kriterinin önceliği ile ağırlıklandırılır ve sonuçlar, tüm kontrol kriterleri için ilave edilerek sentezlenir.

AAS ile bir problem genellikle bir kontrol hiyerarşisi veya kontrolün faydaları sistemi, maliyetler için bir saniye, fırsatlar için bir üçüncüsü ve her biri kontrol sisteminde temsil edilen riskler için dörtte biriyle incelenir. Dört kontrol sisteminin sentezlenmiş sonuçları, faydalar katsayısı fırsatlarını her maliyet için maliyet katları çarpı çarpımları olarak, ardından en iyi sonucu belirlemek için tüm alternatifler üzerinde sonuçları normalleştirilerek birleştirilir [397].

### **5.1.1. Analitik Ağ Sürecinin Adımları**

AAS yönteminin uygulanmasında izlenen yol şu şekilde ifade edilebilir [397]:

- ✓ Sistemin tüm bileşenlerini karşılaştırmak için kriterleri, alt kriterleri ve sistem elemanlarını içeren kontrol hiyerarşileri belirlenir. Faydalar için birinci, maliyetler için ikinci, fırsatlar için üçüncü ve riskler için dördüncü olmak üzere hiyerarşiler belirlenir. Bazı durumlarda, kriter önemsiz olduğu için bir hiyerarşi uygulanmazsa, bu dışarıda bırakılır. Avantaj ve fırsatların ne olduğunu öğrenebilmek için, bu kontrol kriterinin yerine getirilmesini etkileyen faktörlerden neyin en fazla fayda sağladığı veya fırsat sunduğu sorgulanır. Maliyet ve riskler için, en çok neyin sebep olduğu veya en büyük riskle karşı karşıya olduğu sorgulanır. Bazen, karşılaştırmalar kriterler ve alt kriterler kullanmadan toplu olarak faydalar, fırsatlar, maliyetler ve riskler açısından basit bir şekilde yapılır.

- ✓ Her bir kontrol kriteri veya alt kriteri için, sistemin kümeleri elementleriyle birlikte belirlenir.
- ✓ Modeli daha iyi geliştirebilmek için her kontrol kriterinin kümeleri ve öğeleri uygun bir şekilde (sütunda) numaralandırılır ve düzenlenir. Tüm kontrol kriterleri için aynı kümeyi ve aynı elemanları temsil etmek üzere aynı etiketler kullanılır.
- ✓ Kriterler açısından diğer kümeler ve unsurları etkileyen her küme veya öğenin analizinde takip edilmek istenilen yaklaşım belirlenir. Etkileşimler dört kontrol hiyerarşisine ilişkin tüm kriterler için geçerli olmalıdır.
- ✓ Her kontrol kriteri için, her küme etiketini orta sütuna yerleştiren üç sütunlu bir tablo oluşturulur. Bir kümeyi etkileyen tüm kümeler bir sol satır ve bir sağ sütunda listelenir.
- ✓ Oluşturulan tablodaki her bir girişin ardından, bu kritere göre etkiledikleri kümeler üzerinden karşılaştırmalar yapılır. Elde edilen ağırlıklar daha sonra kontrol kriterine karşılık gelen süpermatrisin sütun kümelerinin elemanlarını ağırlıklandırmak için kullanılır. Herhangi bir etkisi olmadığında sıfır atanır.
- ✓ Bağlandıkları başka bir kümedeki (veya kendi kümelerindeki) her bir öğe için eşleştirilmiş karşılaştırmalar yapılır. Karşılaştırmalar, kontrol hiyerarşisinin bir kriteri veya alt kriterine göre yapılır.
- ✓ Her kontrol kriteri için, her bir kümedeki tüm öğeler hem dikey hem de yatay olarak düzenlenir. Uygun pozisyonda eşleştirilmiş karşılaştırmalardan elde edilen öncelik değerleri, süpermatrisin karşılık gelen sütunlarına girilir.
- ✓ Her bir matrisin limit öncelikleri karşılaştırılır.
- ✓ Limit süpermatris hesaplanır.

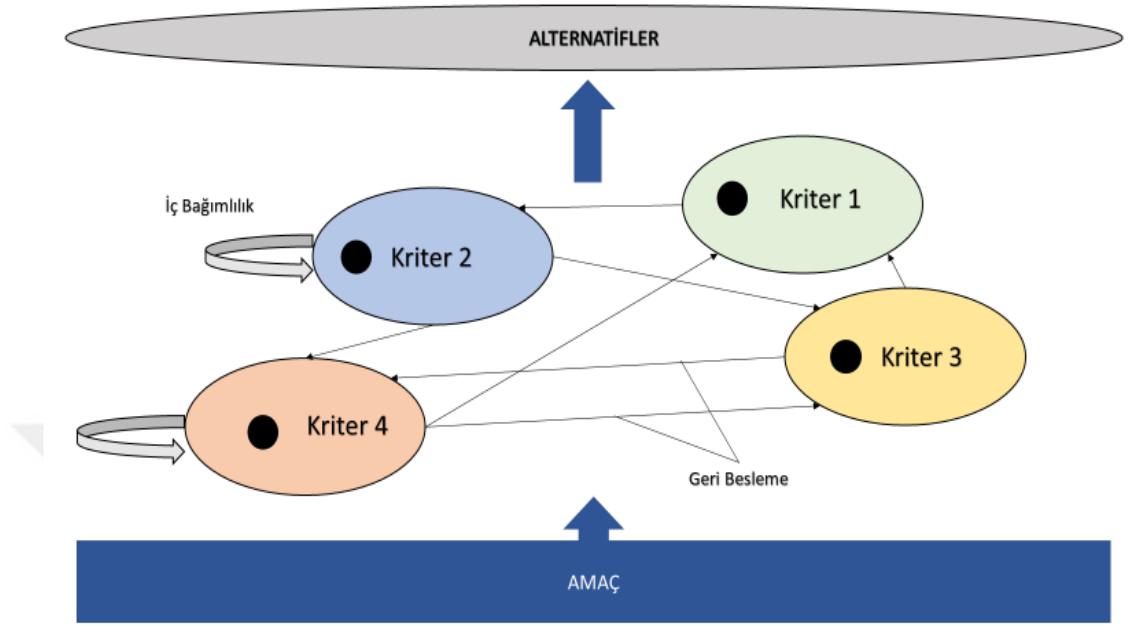
- ✓ Sonuçlar karşılaştırılarak en yüksek değere sahip olan belirlenir.

AAS'nin bazı temel özellikleri şöyle sıralanabilir:

- ✓ AAS, AHS üzerine kuruludur;
- ✓ AAS bağımlılıklara izin verir ve AHS'nin özel bir hali olarak kabul edilir. Bu durum AHS'nin ötesine geçmesine olanak sağlar.
- ✓ AAS, bir elemanlar kümesi (iç bağımlılık) ile diğer elemanlar kümesi (dış bağımlılık) arasındaki bağımlılıkla ilgilenir;
- ✓ AAS'nin daha gevşek ağ yapısı sahip olması, herhangi bir karar sorununun neyin önce geldiğine ve hiyerarşideki gibi neyin geldiğine endişe etmeden temsil edilmesini mümkün kılar. Çünkü hiyerarşik bir yapı yoktur;
- ✓ AAS doğrusal değildir. Oysaki AHS doğrusal olduğu için daha kısıtlı inceleme yapar;
- ✓ AAS sadece elementleri değil, aynı zamanda gerçek dünyada gerekli olan element gruplarını veya kümelerini önceliklendirir;
- ✓ AAS, farklı kriterlerle başa çıkmak için bir kontrol hiyerarşisi veya kontrol ağı fikrini kullanır ve sonuçta faydaların, fırsatların, maliyetlerin ve risklerin analizine imkân sağlar. AAS, kontrol elemanlarına dayanarak, insan beyninin, talamusta olduğu gibi, farklı duyu verilerini birleştirmede yaptığı şeyi paralelleştirir.

AAS'nin genel olarak ağ yapısı gösterimi Şekil 5.1'de verilmiştir. AAS'de kriterlerin kendi arasındaki etkileşimler dikkate alınır. Oysaki AHS'de aynı seviye kriterlerin birbirleri arasındaki etkileşim dikkate alınmaz. Kriterlerin etki yönleri AHS'de olduğu

gibi sadece yukardan aşağıya doğru değildir. AAS'de, AHS'de olduğu gibi ikili karşılaştırma matrisi kullanılırken genellikle 1-9 ölçeği kullanılır [397].



Şekil 5.1. Ağ yapısı

AAS'de üç farklı matris (Ağırlıklandırılmamış Süpermatris, Ağırlıklandırılmış Süpermatris ve Limit Süpermatris) kullanılır.

- ✓ Ağırlıklandırılmamış süpermatris, kriterlerin birbiri arasında yapılan karşılaştırmalardan elde edilen sonuca göre oluşturulan matristir.
- ✓ Ağırlıklandırılmış süpermatris ise ağırlıklandırılmamış süpermatristen elde edilen değerlerin, ilgili kümelerin ağırlık değerleriyle çarpılması sonucu elde edilen matristir.
- ✓ Limit süpermatris ise ağırlıklandırılmış süpermatrisin benzer satıra karşılık gelen sütun değerinin yakınsadıkları değere ulaşana kadar kuvvetinin alınmasıyla oluşturulur [397].

**Çizelge 5.1.** Karşılaştırma ölçeği

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Öneme Sahip	Her iki kriter de eşit derecede öneme sahiptir.
3	Biraz Öneme Sahip	Bir kriter diğerine karşı biraz önemlidir.
5	Fazla Öneme Sahip	Bir kriter diğerine karşı fazlaca önemlidir.
7	Çok Fazla Öneme Sahip	Bir kriter diğerine karşı çok fazla önemlidir.
9	Son Derece Öneme Sahip	Bir kriter diğerine karşı çok büyük oranda önemlidir.
2,4,6,8	Ara Öneme Sahip Olma Dereceleri	Ara derecede önemi belirtir, Gerekli olduğunda kullanılır.

AAS'deki en önemli husus, kriterlerin konusu tarafından uzman kişilerce belirlenmiş ve puanlandırılmış olmasıdır. Kriterlerin birbirlerine göre sergiledikleri önem dereceleri puanlandıktan sonra tutarlılık analizlerinin yapılması gerekmektedir. Tutarlılık analizi sonuçlarına göre problemi oluşturan bileşenlerin ilişkileri doğru ifade edilmelidir. Literatürde birçok çalışmada [385-387] AAS tekniğinden yararlanılarak personel çizelgeleme problemine çözüm aranmıştır.

## 5.2. Hedef Programlama

Hedef Programlama (HP) bir çeşit çok amaçlı programlama modelidir. Optimizasyon düşüncesine dayanan çok amaçlı programlama modellerinde, çelişkili hedefleri eşzamanlı olarak kısıtlayıcı kümeye göre dolduran bir çözüm vektörünün belirlenmesi amaçlanmaktadır. HP, çok amaçlı optimizasyonun en eski dalıdır. Birçok sorunu çözmek için kullanılmıştır. HP'nin genel amacı; değerleri kesin olarak belirlenen iki veya daha fazla hedefin hedef değerlerinden sapmaları en aza indirmektir. Orijinal hedefler, hedef değerleri ve iki yardımcı değişken olan lineer denklemlerde ifade edilir [398].

Matematiksel bir model olarak Doğrusal Programlamaya (DP) benzese de aynı anda birden fazla hedefin sağlanmasını içerir. Karar vericinin hedefleri öncelikli yapıya göre veya ağırlıklandırma ile optimize edilmeye çalışılmaktadır. HP modelinde, karar vericinin tatmin edici bulduğu bir çözüm bulmaya çalışılır. Bu nedenle, HP'nin bir optimizasyon fikrinden ziyade bir memnuniyet anlayışına dayandığı söylenebilir. HP,

hedef değerlerden sapmaların en aza indirilmesine dayanmaktadır [398]. Bunu yaparken, hedefler, ağırlıkları ve öncelikleri de göz önünde bulundurulur. Hedef programın en önemli yararlarından biri, farklı değerlendirme ilkeleri ve farklı birimlerle çalışmaya izin vermesidir.

HP yönteminin birtakım avantajları ve dezavantajları vardır:

### **5.2.1. Hedef Programlamanın Avantajları**

- ✓ Karar verme problemlerinde HP kullanılarak birden fazla amaç için çözüm yapılabilir.
- ✓ Birbirine zıt ve benzer amaçların tamamının modelde yer almasına olanak sağlar.
- ✓ Kısıtları belirlerken kesin çizgiler kullanılmayabilir, bu durum esneklik sağlar.
- ✓ HP'de simpleks yöntemi kullanıldığı için sonuçlar çabuk hesaplanabilir ve güvenilirdir.

### **5.2.2. Hedef Programlamanın Dezavantajları**

- ✓ Birden fazla amaç içerebildiği için amaç fonksiyonu uzun ve karmaşık olabilir.
- ✓ Amaç değerleri öznel, nesnel olmadığı için doğru olmayabilir.
- ✓ Çözüm sonunda ulaşılan sonuç tam doğru olmayabilir, yaklaşık bir değer elde edilebilir.

HP modelinin genel yapısı sekiz ayrı bölüm olarak ifade edilebilir. Bunlar; amaçlar, hedefler, karar değişkenleri, sapma değişkenleri, sistem kısıtları, hedef kısıtları, başarı fonksiyonları ve amaç fonksiyonudur.

Amaçlar, kriterlerin karar vericilerin istekleri yönünde şekillendirilmiş hali olarak tanımlanabilir. Hedefler, ulaşılmak istenilen seviyenin sayısal olarak nitelendirilmiş biçimidir. Karar değişkenleri, değeri belirlenmek istenen bilinmeyen değişkenlere verilen addır. Hedeflerin ne kadar altında veya üstünde olduğunun miktarını belirleyen değişkenlerdir. Her bir hedef için negatif sapma ve pozitif sapma olarak isimlendirilen iki adet sapma değişkeni belirtilir.

Sistem kısıtları, hedef programlama modellerinde de tam olarak sağlanması gereken ve hiçbir sapmaya izin verilmeyen kısıtlayıcılarıdır. Söz konusu bu kısıtlar, eldeki kısıt kaynakları tanımlar. Hedef Kısıtları, ulaşılmak istenen veya modelde bulunması gerekli görülen kısıtlardır. Başarı Fonksiyonları, her bir amaç için belirlenen hedeften olabilecek sapmaları en aza indirgeyen fonksiyonlardır. Son olarak ise Amaç Fonksiyonu, modelde oluşturulan tüm başarı fonksiyonlarının belirli bir öncelik seviyesi ve ağırlığa göre toplam şeklinde yazılması vasıtasıyla elde edilir.

Genel bir HP modeli aşağıdaki biçimde verilebilir:

$$\text{Minimize } Z = \sum_{g=1}^e (d_g^+ + d_g^-) \quad (5.1)$$

$$\sum_{s=1}^y a_{gs}x_s - d_g^+ + d_g^- = b_g \quad (5.2)$$

$$d_g^+, d_g^-, x_s \geq 0 \quad g=1 \dots e \quad s=1 \dots y$$

$g$ : Hedef sayısı       $s$ : Karar değişkeni sayısı      (5.3)

$$x_s \quad s \text{ inci karar değişkeni} \quad s=1 \dots y \quad (5.4)$$

$$a_{gs} \quad g. \text{ hedef ve } s. \text{ karar değişkeninin katsayısı} \quad g=1 \dots e \quad s=1 \dots y \quad (5.5)$$

$$b_g \quad g. \text{ hedefin beklenen değeri} \quad g=1...e \quad (5.6)$$

$$d_g^+ \quad g. \text{ hedefin pozitif sapma değişkeni} \quad g=1...e \quad (5.7)$$

$$d_g^- \quad g. \text{ hedefin negatif sapma değişkeni} \quad g=1...e \quad (5.8)$$

Hedef programlamada üç farklı hesaplama yöntemi vardır Bunlar: Eşit önemde çoklu hedef yöntemi, öncelik yöntemi ve ağırlıklandırma yöntemidir. Eşit önemde çoklu hedef yönteminde belirlenen hedeflere önem düzeylerine dikkat edilmemektedir. Bütün hedefler eşit önemdedir. Öncelik yönteminde ulaşılmak istenen her bir hedef, bir önem sıralamasına konulur. Önem derecelerinin farklı olduğu hedeflerde şu mantık işlemektedir: Daha düşük önem derecesine sahip hedefler, ancak daha yüksek önem derecesine sahip hedeflere ulaşıldığında gerçekleştirilebilir. Önemi düşük olan hedefin, önceliği de düşüktür denilebilir. Önem derecesi bir katsayı yardımıyla modele dahil edilir. Ağırlıklandırma yönteminde ulaşılmak istenen hedeflere önem derecelerine göre ağırlık puanları atanarak hedefler tek bir amaç fonksiyonu üzerinde ifade edilir. Literatürdeki çalışmalarda [385-387] HP tekniğinden yararlanılarak personel çizelgeleme problemine çözüm aranmıştır.

### 5.3. Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağları (YSA) insan beynindeki sinirlerin işleyişine benzer olarak öğrenme esasına dayalı yeni bilgiler üretme, oluşturma ve keşfetme yaklaşımına dayanan bilgisayar sistemleridir. YSA'daki öğrenme süreci insan beyninin öğrenme yapısına benzemektedir. Biyolojik sinir ağlarının işleyişle aynı yapıda işlemektedir. İnsan beyninin matematiksel olarak modellenmesi için uzun uğraşlar verilmiştir ve bu sayede YSA ortaya çıkmıştır. Beynin işleme kuralları göz önüne alınarak YSA'nın geliştirilmesi sağlanmıştır. İlk olarak beyindeki nöronların modellenmesi ve bilgisayar sistemlerinde uygulanması ile başlayan bu süreç, sonrasında bilgisayar sistemlerinin gelişmesiyle birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Ancak, YSA her ne kadar gelişmiş olsa da canlıların beyinsel yapısı incelendiğinde hâlâ onlarla kıyaslanması çok güçtür. Bu YSA onların çok gerisindedir.



YSA, deneyime dayalı depolanan bilgileri uygulamaya koyma eğiliminde olan bir işlemcidir. YSA, insan beynine iki açıdan benzer: bilgi bir öğrenme süreci vasıtasıyla ağ tarafından elde edilir ve nöronlar arasındaki sinaptik ağırlık, bilgi depolamak için kullanılır [376]. Bu yöntemin ortaya çıkışı ve gelişimi aşağıdaki gibidir: McCulloch ve Pitts [377], küçük bir elektrik devresine sahip basit bir sinir ağı kurarak YSA için ilk adımları attı. Bu ağ, insan beyninin hesaplama yeteneğini taklit ederek ortaya çıkmıştır. 1949'da Hebb [378] kitabında temel davranış teorisini Davranış Organizasyonu olarak tanımlamıştır. Rosenblatt [379] 1958'de algı algısının YSA için önemli bir gelişme olduğunu keşfetmiştir. 1969'da Minsky ve Papert [380], algılayıcı sensörlerin XOR problemini çözemediğini kanıtlamış ve iki katmanlı ileri besleme ağlarının kullanılabilirliğini önermiştir. Rumelhart vd. [381] 1986 yılında çok katmanlı sinir ağları için geri yayılma algoritmasını geliştirmiştir. Bu çalışmadan sonra, şu ana kadar da ilerleme kaydedilmiştir [382].

Günümüzdeki YSA, mühendislik, tıp, savunma bilimleri vb. birçok alandan kendine uygulama alanı bulmuştur.

### **5.3.1. YSA'nın Avantajları**

YSA'lar kullanıldıkları problemin yapısına göre değişiklik gösterse de genel olarak sağladığı avantajlar şunlardır:

- ✓ İşlevini kaybeden ağ olsa da geriye kalanlarla ağ çalışmaya devam eder.
- ✓ Eğer ağ iyi bir öğrenme yapısına kavuşursa, girilmeyen veriler için de iyi tahmin sonuçları elde edilir.
- ✓ Belirli doğrusal olmayan problemlerin de çözümü gerçekleştirilebilir.
- ✓ Geleneksel programlama türlerinden farklı olduğu için onların dezavantajından da kurtulmuştur.

- ✓ Kendilerine has öğrenme kabiliyetleriyle eksik bilgi dahi olsa çalışır bu sayede ilişkilendirme ve çözümleme olanaklarına sahiptir.

### 5.3.2. YSA'nın Dezavantajları

- ✓ Bilgisayar donanımlarının gücüne bağlıdır.
- ✓ Ağ yapısının en uygununun belirlenmesi için belli bir kural bütünü yoktur.
- ✓ Her türlü parametre değerinin (katman, hücre sayısı, öğrenme katsayısı vb.) belirlenmesi için belli bir kural bütünü yoktur.
- ✓ Çözüme kavuşturulacak problemin ağa öğretilmesi için gerekli düzenlemelerin yapılması kullanıcının yeteneklerine bağlıdır. İyi öğretilmeyen ağdan düzgün sonuç almak zorlaşır.
- ✓ Ağ eğitiminin ne zaman bitirilmesi gerektiği ile ilgili bir kural bütünü yoktur.
- ✓ Ağın genel davranış yapısını açıklayacak genel bir kural bütünü yoktur.

### 5.3.3. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması

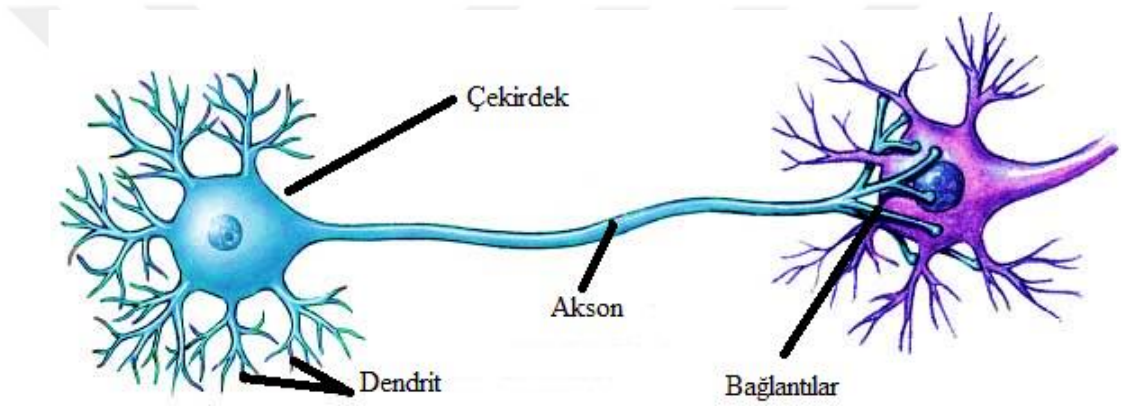
YSA'lar; ağ yapılarına göre, öğrenme algoritmalarına göre ve öğrenme zamanına göre üç farklı sınıflandırma ile tanımlanabilir.

- ✓ YSA'lar; ağ yapılarına göre ileri beslemeli ve geri beslemeli olarak kendi arasında sınıflandırılabilir.
- ✓ Öğrenme algoritmalarına göre danışmalı, danışmasız ve destekleyici olarak üçe ayrılmaktadır.

- ✓ Öğrenme zamanına göre ağlar statik ve dinamik olarak ikiye ayrılır.

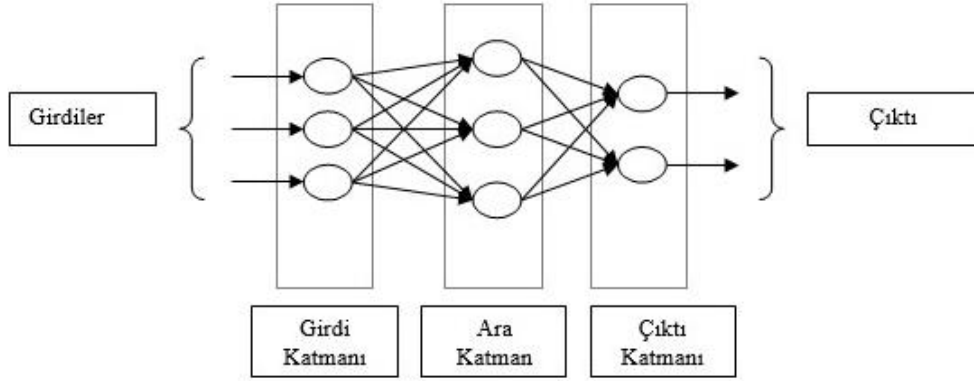
#### 5.3.4. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

Yapay sinir ağının yapısını anlamak için öncelikle bu sinir ağının aslı olan biyolojik sinir ağının yapısını tanımak gereklidir. Yapay sinir ağları da biyolojik sinir ağlarının yapısına benzemektedir. Biyolojik sinir sisteminin temel yapı taşı olan nöronların yapısı dört ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar: Dendrit, akson, çekirdek ve bağlantılardır.



Şekil 5.2. Biyolojik sinir ağı yapısı

Basit bir sinir ağı yapısı, girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktı elemanından oluşur (Şekil 5.3.). Girişler, sistemin dışından veya nöronlardan gelen sayısal değerlerden oluşur. Girişin hücreye ağ üzerindeki etkisi ağırlıkları ifade eder. Toplama işlevi, hücreye net girişi hesaplayarak nöronun girdilerinin doğrusal bir kombinasyonunu gerçekleştirir. Bu iki vektörün sayısal toplamı net girişi verir ve aktivasyon fonksiyonuna gönderilir [377]. Etkinleştirme işlevi, ağın veri yapısını gösteren doğrusal olmayan bir işlevdir [382]. Sigmoid, hiperbolik tanjant, logaritmik sigmoid ve purelin gibi birçok aktivasyon fonksiyonu vardır.



**Şekil 5.3.** Genel YSA yapısı

YSA mimarisi, tek katmanlı ve çok katmanlı yapay sinir ağlarına bölünmüştür. Çok katmanlı yapı, daha karmaşık problemlerde, tek katmanlı yapılar ise daha basit problemlerde kullanılmaktadır. Karmaşık enerji problemlerinde çok katmanlı ağların kullanılması nedeniyle [407-409], bu çalışmada çok katmanlı yapı kullanılmıştır.

Son zamanlarda, tahmin çalışmaları YSA'ya odaklanmıştır [399,400]. Bu yöntem etkili sonuçlar elde etmek için kullanılan yöntemlerden biridir. Bilhassa, önceki yıllarda yapılan tahmin çalışmaları, uzun vadeli doğrusal problemleri çözmek istedikleri için geleneksel tahmin yöntemleri yeterli olmuştur [401,402]. Günümüzde, problemlerin gerçek hayat problemleri olması, dinamik ve değişken yapısı nedeniyle doğrusal olduğunu varsaymak mantıklı değildir [403]. Bu nedenle, bu yöntemler bazı açılardan doğrusal olmayan problemlerde eksiktir.

Geleneksel tahmin modellerinin aksine, YSA modelleri sorunun yapısını geçmiş verilerden öğrenir ve problem zor olsa bile parametreler arasında iyi bir fonksiyonel ilişki yakalar. Bu, doğrusal olmayan problemlerle, geleneksel olanların kıyası sonrası YSA'nın üstün olması yöntemin en önemli özelliğidir. Bu nedenle, YSA modellerinin kullanılması, yeterli veri veya gözlemin elde edilebildiği yerlerde çözülmesi özellikle zor olan problemler için daha etkilidir [404-406]. Enerji ile ilgili sorunlar genellikle karmaşıktır ve bu nedenle, YSA yöntemi, enerjiyle ilgili sorunları tahmin etmede etkili bir şekilde kullanılır. Suganthi ve Samuel [407] tarafından elektrik talebi, Weron

[408]'un çalışması elektrik fiyatları üzerine YSA kullanmıştır. Wang ve Srinivasan [409] tarafından yapılan literatür incelemeleri de YSA'nın enerji ile ilgili çalışmalarda sıkça kullanıldığı gerçeğinin kanıtıdır.



## 6. UYGULAMA

Türkiye'de halihazırda 275 adet DGKÇS bulunmaktadır [6]. Bu santralların toplam kurulu gücü 22.162,93 MWh'dır [6]. 2018 yılında Türkiye'de doğal gaz santralları ile 88.522.088.797 kilovatsaat elektrik üretimi yapılmıştır [6]. Santrallarda çalışan personelin önemi büyüktür. Vardiyalı çalışanların operatör hataları yaşaması muhtemeldir (Örneğin: yorgunluk, konsantrasyon eksikliği, deneyimsizlik, adil iş dağılımı eksikliği vb.). Bu nedenle santraldaki personel, motivasyon eksikliği nedeniyle hata yapabilir. Sonuç olarak, uzun süreli duruşlar enerji ve gelir kaybına neden olmaktadır. Sürdürülebilir enerji arzının sekteye uğraması büyük elektrik kesintilerine neden olabilir. Bu nedenle, sürdürülebilir bir enerji arzı sağlamak için, DGKÇS'lerde uygulanan adil ve verimli personel çizelgeleme modelleri çok önemlidir.

Bu tezde saatte 1589 MWh kurulu güce sahip, yani Türkiye'nin elektrik üretiminin %7.22'sine [4] denk gelen bir DGKÇS'de 30 günlük personel çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Santralda 4 ünite bulunmaktadır. Her bir ünite saatte ortalama 390 MWh üretim gücüne sahiptir. Santral 1967 yılında kurulmuştur. Santral üretim kapasitesiyle yılda ortalama 1.703.154 kişinin tüm elektrik enerjisi ihtiyacını (konut, sanayi, metro ulaşımı, resmi daire, çevre aydınlatması gibi) karşılamaktadır. Sadece konut elektrik tüketimi dikkate alındığında ise 1.789.664 konutun elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilecek elektrik üretimi yapmaktadır.

Santralda Vardiya Amiri (1. Kıdem), Ustabaşı (2. Kıdem), Usta (3. Kıdem) ve Yardımcı (4. Kıdem) olmak üzere dört çeşit personel bulunmaktadır. Bu santralda toplam 80 personel (P1, ..., P80) çalışmaktadır. Bu personelin görev tanımları şu şekildedir:

Vardiya amiri (P1, ..., P4): Santralda toplamda 4 vardiya amiri bulunmaktadır. Vardiya amirleri her bir vardiyada çevrim santralının tamamından sorumlu olarak görev yapmaktadır.

Ustabaşı (P5, ..., P16): Santralda toplamda 12 ustabaşı bulunmaktadır. Ustabaşılar çalışan grubuna ait personelin kendi içerisinde, türbin, kazan ve elektrik personeli olmak üzere üç farklı ayrımı bulunmaktadır. Buradaki her bir çalışma yerine her vardiyada bir personel atanmaktadır. Ustabaşılar buradaki türbin, kazan ve elektrik ekipmanların kontrol ve takibinden sorumludur.

Usta (P17, ..., P40): Santralda toplamda 24 usta bulunmaktadır. Ustalar her bir vardiyada ustabaşılarının yanında, onların verdiği görevleri yapmakla yükümlüdür.

Yardımcı (P41, ..., P80): Santralda toplamda 40 yardımcı bulunmaktadır. Yardımcı personeller, ustalar ve ustabaşılarının yanlarında görev almaktadır. İş yükünün büyük çoğunluğunu yapan grup, bu eleman grubunu oluşturur.

Santral, vardiya 1 (V1) (00:00 – 08:00), vardiya 2 (V2) (08:00 – 16:00) ve vardiya 3 (V3) (16:00 – 00:00) olmak üzere üç vardiya çalışmaktadır. Her vardiyada bir vardiya amiri ve üç ustabaşı çalışmak zorundadır. Mevcut durumda aylık personel çizelgeleme vardiya amirleri tarafından her ayın sonunda manuel olarak yapılıp ilan edilmektedir. Özel istekler olması durumunda vardiya amirlerine bilgi verilerek çizelge oluşturulmaktadır.

Bu tez çalışmasında 6 problemin çözümü yapılmıştır. Bu problemlerin özellikleri ve çözümde kullanılan yöntemler Çizelge 6.1.'de gösterilmiştir. Problemlerin tamamının çözümünde “Intel (R) Core (TM) i7-6700HQ CPU@2.60 GHz” işlemcisi, 24 GB belleği ve Windows 10 işletim sistemine sahip bilgisayar kullanılmıştır. İlgili verilerin girilmesiyle model ILOG CPLEX 12.8.0. [384] paket program ile çözülmüştür ve sonuçlar alınmıştır. Hesaplama süresi 3600 saniye olarak ayarlanmıştır.

**Çizelge 6.1.** Uygulama özeti

Uygulama Bilgileri		Kullanılan Yöntemler			Hedef Programlama Özellikleri		
Adı	Problemin Özellikleri	HP	AAS	YSA	Kısıt Sayısı	Karar Değişkeni Sayısı	Hedef Kısıtı Sayısı
Problem 1	Mevcut problemin çözümü	✓	✗	✗	$[2 * l * (m-1)] + [l] + [l * m] + [l * (m-8)] + [8 * l]$	$(l * m * n) + (l * m)$	$4 * m * n$
Problem 2	Personelin 9 yeteneğinin dikkate alındığı durumda problemin çözümü	✓	✓	✗	$[2 * l * (m-1)] + [l] + [l * m] + [l * (m-8)] + [8 * l]$	$(l * m * n) + (l * m)$	$4 * m * n$
Problem 3	Personelin 20 yeteneğinin dikkate alındığı durumda problemin çözümü	✓	✓	✗	$[2 * l * (m-1)] + [l] + [l * m] + [l * (m-8)] + [8 * l]$	$(l * m * n) + (l * m)$	$4 * m * n$
Problem 4	Personelin 9 yeteneğinin ve maliyet minimizasyonunun dikkate alındığı durumda problemin çözümü	✓	✓	✗	$[2 * l * (m-1)] + [l] + [l * m] + [l * (m-8)] + [8 * l] + [4 * m * n]$	$(l * m * n) + (l * m)$	$8 * m * n$
Problem 5	Personelin 20 yeteneğinin ve maliyet minimizasyonunun dikkate alındığı durumda problemin çözümü	✓	✓	✗	$[2 * l * (m-1)] + [l] + [l * m] + [l * (m-8)] + [8 * l] + [4 * m * n]$	$(l * m * n) + (l * m)$	$8 * m * n$
Problem 6	Personelin 20 yeteneğinin, maliyet minimizasyonunun ve mevsimlik değişimin dikkate alındığı durumda problemin çözümü	✓	✓	✓	$[2 * l * (m-1)] + [l] + [l * m] + [l * (m-8)] + [8 * l] + [4 * m * n]$	$(l * m * n) + (l * m)$	$8 * m * n$

## 6.1. Problem 1: Mevcut Problemin Çözümü

### 6.1.1. Problem Tanımı:

Bu problemde geliştirilen modelin öncelikle halihazırda faaliyet gösteren bir DGKÇS'den elde edilen gerçek veriler üzerindeki davranışları incelenmiştir. Daha sonra problem büyüklüğüne göre oluşturulan model ve sonuçlar ortaya konulmuştur. Geliştirilen modellerin davranışlarını incelemek ve personel çizelgeleme problemlerine yönelik çözümler üretebildiğini göstermek için santraldan elde edilen gerçek veriler kullanılmıştır. Bu aşamada öncelikle problem detayları verilecek olup daha sonra uygulama ve hesaplama sonuçlarına değinilecektir. Verilerin alındığı santraldan vardiya bilgileri ve yakın bir geçmişe ait gün başına gerekli minimum personel sayısı bilgileri alınmıştır. Mevcut durumda çizelgeleme aylık olarak vardiya



amirleri tarafından el ile yapılmaktadır. Bu problemde, el ile yapılan personel çizelgeleme çalışması, hedef programlama ile modellenmesi amaçlanmıştır. Mevcut durumda her bir personelin bir aydaki toplam iş yükü (bir ayda toplam çalıştığı gün sayısı) dağılımı Çizelge 6.2.'de verilmiştir. P ifadeleri personelleri temsil etmektedir.

**Çizelge 6.2.** Mevcut durumda her personelin aylık gün bazlı toplam iş yükü dağılımı

P1 - P10	P11 - P20	P21 - P30	P31 - P40	P41 - P50	P51 - P60	P61 - P70	P71 - P80
25	19	27	25	25	24	16	25
13	25	11	10	12	17	25	22
11	26	25	25	21	30	13	22
25	20	21	14	27	12	26	25
25	19	25	11	11	30	25	25
25	22	25	21	25	24	20	19
25	26	27	23	21	19	17	12
25	25	26	22	22	27	15	16
19	24	28	16	25	27	19	23
19	25	11	24	16	21	11	22

Mevcut iş yüklerinden de görüldüğü gibi iş yüklerinin dağılımında sorun olduğu anlaşılmaktadır. Çizelgeleme standart olmadığı için farklılıklar yaşanmaktadır. Örneğin, vardiya amirleri arasında (P1 ayda 25 gün, P2 ayda 13 gün, P3 ayda 11 gün ve P4 ayda 25 gün) toplam iş yükleri açısından iki kattan fazla farklı atamalar göze çarpmaktadır. Atamalardaki bu farklılıklar; ustabaşılar (P10 ayda 19 gün iken P12 ayda 25 gün), ustalar (P22 ayda 11 gün iken P23 ayda 25 gün) ve yardımcılarda da (P70 ayda 11 gün iken P71 ayda 25 gün) görülmektedir.

### 6.1.2. Hedef Programlama Modelinin Kurulması

Bu uygulamada tüm işçilerin eşit iş gücüne sahip olduğu, izin kullanmadıkları ve işleri yapabilme yeteneklerinin aynı olduğu varsayımı yapılmıştır. Maliyetin etkisi dikkate alınmamıştır. Çizelgelemede uyulması amaçlanan sınırlamalar ve kısıtlar işletme gerekliliklerini nitelemektedir. Elektrik üretim santralının enerji arz güvenliğini sağlayacak şekilde işletilmesi şarttır. Daha önce belirtilen dört bacaklı sürdürülebilir enerji arzını yerine getirmek için oluşturulan bu kısıtlamalar, alanında uzman 12

mühendis tarafından uzun gözlemlerle teyit edilmiştir. Bunlar, DGKÇS'nin düzgün çalışması için gözlemlenmesi gereken asgari kısıtları içerir (örneğin, kısıt 1). Bazı kısıtlara uyma yükümlülüğü iş yasalarından kaynaklanmaktadır (örneğin, kısıt 6).

Parametreler:

$i$  Personel indeksi,  $i=1,2,\dots,l$

$j$  Gün indeksi,  $j=1,2,\dots,m$

$k$  Vardiya indeksi,  $k=1,2,\dots,n$

$g$  Hedef indeksi  $g=1,2,\dots,z$

$l$  Personel sayısı,  $l=80$

$m$  Gün sayısı,  $m=30$

$n$  Vardiya sayısı,  $n=3$

$d_{gjk}^+$   $g$ . hedefin  $j$ . gün  $k$ . vardiyadaki pozitif sapma değişkeni

$g=1,2,\dots,z$   $j=1,2,\dots,m$   $k=1,2,\dots,n$

$d_{gjk}^-$   $g$ . hedefin  $j$ . gün  $k$ . vardiyadaki negatif sapma değişkeni

$g=1,2,\dots,z$   $j=1,2,\dots,m$   $k=1,2,\dots,n$

Karar değişkenleri:

$X_{ijk}$   $i$ . personelin  $j$ . gününün  $k$ . vardiyasına atanıp atanmaması (atanırsa 1, atanmazsa 0)  $i=1,2,\dots,l$   $j=1,2,\dots,m$   $k=1,2,\dots,n$

$h_{ij}$   $i$ . personelin  $j$ . günde izinli olup olmama durumu (izinliyse 1, değilse 0)

$i=1,2,\dots,l$   $j=1,2,\dots,m$

Kısıtlar:

Kısıt 1: V3 vardiyasında çalışan bir personel, ertesi gün V1 ve V2 vardiyalarında çalışmamalıdır.

$$X_{ij3} + X_{i(j+1)1} + X_{i(j+1)2} \leq 1 \quad i=1,2,3,\dots,l \quad j=1,2,\dots,m-1 \quad (6.1.)$$

Kısıt 2: Herhangi bir günün V2 vardiyasında çalışan bir personel, ertesi gün V1 vardiyasında çalışmamalıdır.

$$X_{ij2} + X_{i(j+1)1} \leq 1 \quad i=1,2,3,\dots,l \quad j=1,2,\dots,m-1 \quad (6.2.)$$

Kısıt 3: Her personel art arda 6 günden fazla çalışmamalıdır.

$$\sum_{i=1}^{24} h_{ij} + h_{i(j+1)} + h_{i(j+2)} + h_{i(j+3)} + h_{i(j+4)} + h_{i(j+5)} + h_{i(j+6)} \geq 1 \quad i=1,2,\dots,l \quad (6.3.)$$

Kısıt 4: Hiçbir personel, izin gününde çalışmamalıdır.

$$\sum_{k=1}^3 X_{ijk} + h_{ij} = 1 \quad i=1,2,3,\dots,l \quad j=1,2,\dots,m \quad (6.4.)$$

Kısıt 5: Toplamda dengeli atama koşulunu sağlamak için yazılmış kısıt:

$$\sum_{j=1}^{30} \sum_{k=1}^3 X_{ijk} \geq 22 \quad i=1,2,3,\dots,l \quad (6.5.)$$

$$\sum_{j=1}^{30} \sum_{k=1}^3 X_{ijk} \leq 23 \quad i=1,2,3,\dots,l \quad (6.6.)$$

$$\sum_{j=1}^{30} X_{ij1} \geq 7 \quad i=1,2,3,\dots,l \quad (6.7.)$$

$$\sum_{j=1}^{30} X_{ij2} \geq 7 \quad i=1,2,3,\dots,l \quad (6.8.)$$

$$\sum_{j=1}^{30} X_{ij3} \geq 7 \quad i=1,2,3,\dots,l \quad (6.9.)$$

$$\sum_{j=1}^{30} X_{ij1} \leq 8 \quad i=1,2,3,\dots,l \quad (6.10.)$$

$$\sum_{j=1}^{30} X_{ij2} \leq 8 \quad i=1,2,3,\dots,l \quad (6.11.)$$

$$\sum_{j=1}^{30} X_{ij3} \leq 8 \quad i=1,2,3,\dots,l \quad (6.12.)$$

Hedef Kısıtları: Her personelin kıdemine göre yazılan hedef kısıtları aşağıda verilmiştir:

Hedef 1: Her vardiyaya en az gereken sayıda vardiya amirlerinin atanması ve toplam atanma sayısının mümkün olduğu kadar eşit olması için yazılan kısıt:

$$\sum_{i=1}^4 X_{ijk} - d_{1jk}^+ + d_{1jk}^- = 1 \quad j=1,2,3,\dots,m \quad k=1,2,\dots,n \quad (6.13.)$$

Hedef 2: Her vardiyaya en az gereken sayıda ustabaşlarının atanması ve toplam atanma sayısının mümkün olduğu kadar eşit olması için yazılan kısıt:

$$\sum_{i=5}^{16} X_{ijk} - d_{2jk}^+ + d_{2jk}^- = 3 \quad j=1,2,3,\dots,m \quad k=1,2,\dots,n \quad (6.14.)$$

Hedef 3: Her vardiyaya en az gereken sayıda ustaların atanması ve toplam atanma sayısının mümkün olduğu kadar eşit olması için yazılan kısıt:

$$\sum_{i=17}^{40} X_{ijk} - d_{3jk}^+ + d_{3jk}^- = 6 \quad j=1,2,3,\dots,m \quad k=1,2,\dots,n \quad (6.15.)$$

Hedef 4: Her vardiyaya en az gereken sayıda yardımcılarının atanması ve toplam atanma sayısının mümkün olduğu kadar eşit olması için yazılan kısıt:

$$\sum_{i=41}^{80} X_{ijk} - d_{4jk}^+ + d_{4jk}^- = 10 \quad j=1,2,3,\dots,m \quad k=1,2,\dots,n \quad (6.16.)$$

Amaç fonksiyonu:

$$\begin{aligned} \min Z = & \sum_{j=1}^{30} \sum_{k=1}^3 d_{1jk}^- + d_{1jk}^+ + d_{2jk}^- + d_{2jk}^+ + d_{3jk}^- + d_{3jk}^+ \\ & + d_{4jk}^- + d_{4jk}^+ \end{aligned} \quad (6.17.)$$

Toplam 9520 kısıt sayısı, 9600 karar değişkeni sayısı ve 360 hedef kısıtı sayısı altında problem IBM ILOG Optimizer paket program yardımıyla çözülmüştür. Çözüm 4,86 saniye sürmüştür. Her bir personelin vardiya bazlı çalışma gün sayıları ve toplam iş yükleri Çizelge 6.3'te verilmiştir.

**Çizelge 6.3.** Problem 1 için her bir personelin aylık vardiya bazlı toplam çalışma günü sayısı

P	Vardiya			T	P	Vardiya			T	P	Vardiya			T	P	Vardiya			T
	V1	V2	V3			V1	V2	V3			V1	V2	V3			V1	V2	V3	
1	7	8	8	23	21	7	8	8	23	41	7	8	8	23	61	7	8	8	23
2	8	8	7	23	22	8	8	7	23	42	8	8	7	23	62	8	8	7	23
3	7	8	8	23	23	7	8	8	23	43	7	8	8	23	63	8	7	8	23
4	8	8	7	23	24	8	8	7	23	44	8	8	7	23	64	8	7	8	23
5	7	8	8	23	25	7	8	8	23	45	7	8	8	23	65	7	8	8	23
6	8	8	7	23	26	8	8	7	23	46	8	8	7	23	66	8	8	7	23
7	7	8	8	23	27	7	8	8	23	47	7	8	8	23	67	7	8	8	23
8	8	8	7	23	28	8	7	7	22	48	8	8	7	23	68	8	7	8	23
9	7	8	8	23	29	7	8	8	23	49	7	8	8	23	69	7	8	8	23
10	8	8	7	23	30	8	8	7	23	50	8	8	7	23	70	8	8	7	23
11	7	7	8	22	31	7	8	8	23	51	7	7	8	22	71	7	8	8	23
12	8	7	8	23	32	8	7	7	22	52	8	7	7	22	72	8	8	7	23
13	7	8	8	23	33	7	8	8	23	53	7	8	8	23	73	7	8	8	23
14	8	8	7	23	34	8	8	7	23	54	8	8	7	23	74	8	8	7	23
15	8	7	8	23	35	7	7	8	22	55	7	7	8	22	75	7	8	8	23
16	8	8	7	23	36	8	7	8	23	56	8	7	7	22	76	8	7	8	23
17	7	8	8	23	37	7	8	8	23	57	7	8	8	23	77	7	8	8	23
18	8	8	7	23	38	8	8	7	23	58	8	8	7	23	78	8	8	7	23
19	7	8	8	23	39	7	7	8	22	59	7	8	8	23	79	7	8	8	23
20	8	7	7	22	40	8	7	8	23	60	8	7	8	23	80	8	7	8	23

P = Personel No, V1 = Vardiya 1, V2 = Vardiya 2, V3 = Vardiya 3, T = Toplam

Sonuçlar ile ilgili ilk göze çarpan detay iş yükü dağılımının daha âdil olmaya başlamasıdır. Detaylı olarak incelemek gerekirse; vardiya amirleri (P1, ..., P4) arasında son derece dengesiz olan önceki sonuçlara kıyasla iş yükleri üzerinden (her biri için 23'er gün) makul sonuçlar elde edilmeye başlanmıştır. Önceki sonuçlarda P2 ve P3 personelinin iş yükleri emsallerinin yaklaşık yarısı iken, hedef programlama modeli sonrası sonuçlara göre iş yükleri eşitlenmiştir. Ustabaşılar için (P5, ..., P16) P11 hariç diğerlerinin 23'er gün olarak adil iş dağılımına sahip olduğu görülmektedir. Önceki çizelgede personellerin iş yükleri aylık 19 ile 26 gün arasında değişmekteydi. Ustalar için (P17, ..., P40) P20, P28, P32 P35 ve P39 personelleri hariç iş yükleri 23'er gün olarak atanmıştır. Yardımcılar için (P41, ..., P80) P51, P52, P55 ve P56 personelleri hariç iş yükleri 23'er gün olarak atanmıştır. Mevcut durumda yardımcıların aylık toplam iş yükleri 12 ile 30 gün arasında değişmekteydi. Bazı personeller ayın yarısından bile daha az çalışırken bazı personeller ayın tüm günleri çalışmak zorundaydı. Birinci hedeften %1,33, ikinci hedeften %2,02, üçüncü hedeften %1,11, ve dördüncü hedeften de %2,2'lik bir sapma meydana gelmiştir. Yeni atamalar sonrası toplam maliyet değeri aylık 58.125 \$ seviyesinden 55.408 \$ seviyesine gerilemiştir.

## **6.2. Problem 2: Personelin 9 Yeteneğinin Dikkate Alındığı Durumda Problemin Çözümü**

### **6.2.1. Problem Tanımı:**

Dört farklı çalışan grubuna ait ayrımda çalışanların birimlerine göre uzmanlık gerektirecek işleri yapmaları gerekmektedir. Dolayısıyla, her vardiya amiri, ustabaşı, usta ve yardımcıların da kendi aralarında iş paylaşımı yapmaları gerekmektedir. Santralda elektrik üretiminin kontrol edilmesi ve gerekli zamanlarda müdahale edilmesi gereken durumlar vardır. Bu takip yapılmazsa elektrik üretimini durduran ve enerji arz güvenliğini tehdit eden sorunlar yaşanabilir. DGKÇS'de çalışan her işçinin süreç kontrol ve müdahale edebilme yeteneği farklıdır. Bu sebeple her bir personelin yeteneğinin modele dahil edilmesi kritik bir öneme sahiptir [391]. Bu önem göz önüne

alınırsa, personel çizelgeleme problemi çalışması için personel yetenek değerleri, çözümün seyrini etkiler. Bu sebeple bu değerlerin modele hesaplanıp dâhil edilmesi daha gerçekçi sonuçlar doğurur. Bu uygulamada personelde bulunan 9 yetenek kriteri uzmanlar tarafından belirlenmiş, bu kriterlerin ağırlık değerleri AAS yöntemi ile hesaplanmıştır ve hedef programlama modeline entegre edilmiştir [386].

### 6.2.2. Personel Yetenek Kriterlerinin Belirlenmesi ve Ağırlıklandırılması:

DGKÇS’de personellerin yaptıkları işe göre kullandıkları yetenekleri vardır. Hedef programlama modeli için önemli olan kriterler, alanında uzman 12 mühendis tarafından ve santral müdürünün görüşü alınarak belirlenmiştir. Bu mühendislerin uzmanlık alanları: Elektrik/elektronik, makine, kimya ve endüstri mühendisliğidir. Kriterlerin önemi uzun gözlemlerle teyit edilmiştir. Çalışanların yetenekleri ile ilgili belirlenen kriterler Çizelge 6.4.’te verilmiştir.

**Çizelge 6.4.** Çalışanların yetenekleri ile ilgili belirlenen kriterler

KRİTERLER
<b>K1:</b> Yüksek Gerilim Belge Yeterliliği
<b>K2:</b> SCADA Sistemine Müdahale
<b>K3:</b> Üniteyi Devreye Alma ve Çıkarma
<b>K4:</b> Arıza Sinyallerine SCADA üzerinden müdahale
<b>K5:</b> Ana Güç Trafosu ve Ekipmanlarına Müdahale
<b>K6:</b> Şalt Sahası Ekipmanlarına Müdahale
<b>K7:</b> Hidrolik Yağlama Sistemine Müdahale
<b>K8:</b> Santral İç İhtiyaç Sistemine Müdahale
<b>K9:</b> Su Alma Yapısı Donanımlarına Müdahale

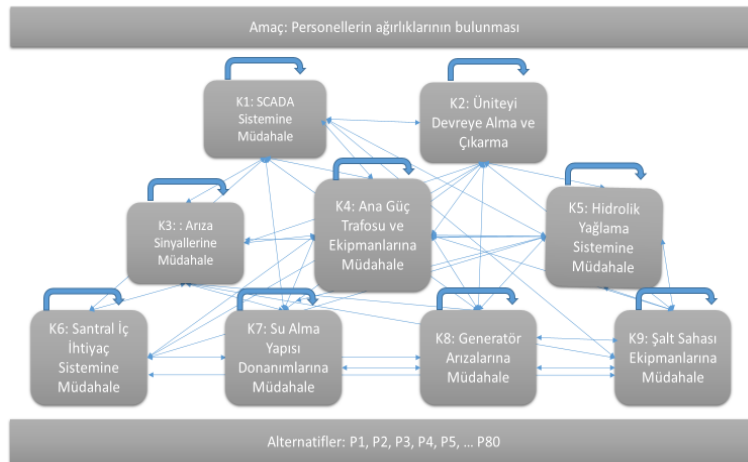
Model, işçilerin bazı yeteneklerine göre pilot bir uygulama ile çözülmüştür. İşçilerin yetenekleri hakkındaki 9 kriterin ağırlıklarını bulmak için AAS yönteminin basamakları uygulanmıştır.

AAS, karar vericinin kararlarının değerini içerir. Ayrıca, modele dâhil edilmiş bir karar verme süreci sağlayabilir. Doğru olan; somut veya maddi olmayan faktörlerin yanı sıra, kararın da incelenmesidir. AAS, karmaşık yapıya uyum sağlayabilen bir çözüm sunar ve bu yöntem kolay hesaplanabilir. Şekil 6.1.'de görüldüğü gibi, AAS adımları sırayla uygulanır. Ağ yapısının şematik gösterimi Şekil 6.2.'de görülebilir. Uygulamada alternatifler arasından seçim yapılmayacağı için yöntemin ilk 3 basamağı kullanılmıştır.



Şekil 6.1. AAS uygulama basamakları

Santral uzmanlarının uzun vadeli gözlemleri, santralin düzgün çalışmasını sağlayacak kısıtları belirlemek için kullanılmıştır. Bu kısıtların karşılanması santralin düzgün çalışması için gereklidir.



Şekil 6.2. 9 kriterli ağ yapısı



Verilerin Super Decision 3.0 paket programına aktarılmasından sonra ağırlık sırasına ulaşılmıştır. Tüm hesaplamalardan sonra, her bir çalışanın puanı dokuz kriter yardımıyla belirlenmiştir. Çizelge 6.5.'de her bir işçinin yetenek ağırlıkları verilmiştir.

**Çizelge 6.5.** Her bir personelin AAS ile elde edilen yetenek ağırlıkları değeri

P1 - P10	P11 - P20	P21 - P30	P31 - P40	P41 - P50	P51 - P60	P61 - P70	P71 - P80
0,023865001	0,008950701	0,042845077	0,001569497	0,007560001	0,000660011	0,000269897	0,000069897
0,165540014	0,007965001	0,003868014	0,010121554	0,000725011	0,005565526	0,020021557	0,050021552
0,035660017	0,053868014	0,003167603	0,001321454	0,000545072	0,008460010	0,012021554	0,004021554
0,046045074	0,066111070	0,003240011	0,000212156	0,012845071	0,03097522	0,023002157	0,000302158
0,035845075	0,056845060	0,030841035	0,001900454	0,051145075	0,040645070	0,000000454	0,000500454
0,017960301	0,00800122	0,000842043	0,040075033	0,011250700	0,030663069	0,000045007	0,020845077
0,000119910	0,003265501	0,004686805	0,135040011	0,025865001	0,008968010	0,005586804	0,025686807
0,023745078	0,002160015	0,019235604	0,030040015	0,055228010	0,002647600	0,008235608	0,026235609
0,045645079	0,044845073	0,034655005	0,033045074	0,040245070	0,005540010	0,003655009	0,025555003
0,041440073	0,021845072	0,000400458	0,050845070	0,031445070	0,034545070	0,000500451	0,024500453

Bu modelde, yetenek temellerini modele dahil etmek için kıdem bazlı bir hesaplama yapılmış ve her kıdem seviyesi için ayrı bir ortalama değer hesaplanmıştır. Bu ortalama değerlerin hesaplanmasında kıdem sayısı (4 farklı seviye için) ve bireysel ağırlık değerleri (AAS hesaplamalarında elde edilmiştir) kullanılmıştır. Vardiya amirleri için örnek hesaplama denklem 6.18'de verilmiştir. Hesaplamalarda denklem 6.18.'den yararlanılmıştır.

$$\frac{\text{İlgili kıdeme sahip personellerin ağırlıkları toplamı (P1 + \dots + P4)}}{\text{İlgili kıdemde çalışan personel sayısı (4)}} \quad (6.18.)$$

Bu nedenle, ağırlıklar modele dâhil edilmiştir. Buna göre vardiya amiri, ustabaşı, usta ve yardımcı ortalama değerleri sırasıyla Çizelge 6.6'da verilmiştir.

**Çizelge 6.6.** İşçilerin kıdem seviyelerine göre yetenek temelli ağırlıkları ( $t_i$ )

Vardiya Amiri (i=1,..,4)	Ustabaşı (i=5,..,16)	Usta (i=17,..,40)	Yardımcı (i=41,..,80)
0,067777527	0,030541382	0,021669485	0,016415018

Verilen bilgiler ışığında 80 personelin 30 günlük süre zarfında personel ataması yapılması planlanmakta olup, bu atamalarda uyulması zorunlu kısıtlar bulunmaktadır. AAS yöntemi ile elde edilen personel yetenek ağırlıkları, hedef kısıtlarının sağ tarafına çarpım olarak dâhil edilip modele entegre edilmiştir. Bu modelin çözümüyle sonuca ulaşılmıştır.

### 6.2.3. Hedef Programlama Modelinin Kurulması

Bu problemde, problem 1'den farklı olarak personellerin yetenekleri birbirinden farklıdır. Bu yetenek değerleri (9 farklı kriter) modele dâhil edilmiştir. Varsayım olarak tüm vardiyaların eşit ücrete tabii olduğu ve hafta sonu-hafta içi-dini ve resmî tatillerde personele ödenen ücretin sabit olduğu kabul edilerek model oluşturulmuştur.

Parametreler: Problem 1'de kullanılan parametrelerin tamamına ek olarak parametre  $t_i$  eklenmiştir.

$t_i$  Her bir personelin yetenek ağırlığı,  $i=1,2,\dots,l$

Karar değişkenleri: Problem 1'de kullanılan karar değişkenlerinin tamamı geçerlidir.

Kısıtlar: Problem 1'de kullanılan denklemlerin (6.1. – 6.13.) tamamına ek olarak denklem (6.19. – 6.22.) gelmektedir:

Hedef Kısıtları: Her personelin kıdemine göre toplam atandığı vardiyalar, kıdemlerine göre hesaplanan ve Çizelge 6.6.'da verilen yetenek ağırlıklarını göz ardı etmeden mümkün olduğu kadarıyla eşit olmalıdır.

Hedef 1: Vardiya amirleri için kısıt:

$$\sum_{i=1}^4 t_i * X_{ijk} - d_{1jk}^+ + d_{1jk}^- = 1 * 0,067777527$$

$$j=1,2,3,\dots,m \quad k=1,2,\dots,n \quad (6.19.)$$

Hedef 2: Ustabaşları için kısıt:

$$\sum_{i=5}^{16} t_i * X_{ijk} - d_{2jk}^+ + d_{2jk}^- = 3 * 0,030541382$$

$$j=1,2,3,\dots,m \quad k=1,2,\dots,n \quad (6.20.)$$

Hedef 3: Ustalar için kısıt:

$$\sum_{i=17}^{40} t_i * X_{ijk} - d_{3jk}^+ + d_{3jk}^- = 6 * 0,021669485$$

$$j=1,2,3,\dots,m \quad k=1,2,\dots,n \quad (6.21.)$$

Hedef 4: Yardımcılar için kısıt:

$$\sum_{i=41}^{80} t_i * X_{ijk} - d_{4jk}^+ + d_{4jk}^- = 10 * 0,016415018$$

$$j=1,2,3,\dots,m \quad k=1,2,\dots,n \quad (6.22.)$$

Amaç fonksiyonu: Problem 1’de bulunan amaç fonksiyonu denklemi (6.17.) problem 2’de de geçerlidir.

9520 kısıt, 9600 karar değişkeni ve 360 hedef kısıtı sayısı altında problem paket program yardımıyla çözülmüştür. Çözüm 5,02 saniyede elde edilmiştir. Hedef 2’den %1,23 ve hedef 3’ten %2,06 sapma meydana gelmiştir. Diğer hedeflerden sapma olmamıştır. Bu değerler ışığında bulunan ağırlıkların modele eklenmesiyle model tekrar çözülmüştür.

Personel yetenek ağırlıklarının etkisiyle yeniden şekillenen modelin sonuçları Çizelge 6.7.'de verilmiştir. Sonuçlara göre personel başına düşen iş yükünün problem 1 sonuçlarına göre daha dengeli olduğu ve fazla atamaları ortadan kaldıran bir yapıya kavuştuğu görülmektedir. Örneğin P3 ve P4 personellerinin iş yükleri aylık toplam 23 günden 22 güne düşmüştür. Bu farklılıkları diğer personellerde de görmek mümkündür.

**Çizelge 6.7.** Problem 2 için her bir personelin aylık vardiya bazlı toplam çalışma günü sayısı

P	Vardiya			T	P	Vardiya			T	P	Vardiya			T	P	Vardiya			T
	V1	V2	V2			V1	V2	V2			V1	V2	V2			V1	V2	V2	
1	7	8	8	23	21	7	8	8	23	41	7	8	8	23	61	7	8	8	23
2	8	8	7	23	22	8	8	7	23	42	8	8	7	23	62	8	8	7	23
3	7	7	8	22	23	7	7	8	22	43	7	7	8	22	63	7	7	8	22
4	8	7	7	22	24	8	7	8	23	44	8	7	7	22	64	8	7	7	22
5	7	8	8	23	25	7	8	8	23	45	7	8	8	23	65	7	8	8	23
6	8	8	7	23	26	8	8	7	23	46	8	8	7	23	66	8	8	7	23
7	7	8	8	23	27	7	8	8	23	47	7	7	8	22	67	7	7	8	22
8	8	8	7	23	28	8	7	8	23	48	8	7	7	22	68	8	7	7	22
9	7	8	8	23	29	7	8	8	23	49	7	8	8	23	69	7	8	8	23
10	8	8	7	23	30	8	8	7	23	50	8	8	7	23	70	8	8	7	23
11	8	7	8	23	31	7	8	8	23	51	7	7	8	22	71	7	7	8	22
12	8	8	7	23	32	8	7	8	23	52	8	7	7	22	72	8	7	7	22
13	7	8	8	23	33	7	8	8	23	53	7	8	8	23	73	7	8	8	23
14	8	8	7	23	34	8	8	7	23	54	8	8	7	23	74	8	8	7	23
15	7	8	8	23	35	7	7	8	22	55	7	7	8	22	75	7	7	8	22
16	8	8	7	23	36	8	7	7	22	56	8	7	7	22	76	8	8	7	23
17	7	8	8	23	37	7	8	8	23	57	7	8	8	23	77	7	8	8	23
18	8	8	7	23	38	8	8	7	23	58	8	8	7	23	78	8	8	7	23
19	7	7	8	22	39	7	7	8	22	59	7	7	8	22	79	7	8	8	23
20	8	7	7	22	40	8	7	7	22	60	8	7	8	23	80	8	7	7	22

**P = Personel No, V1 = Vardiya 1, V2 = Vardiya 2, V3 = Vardiya 3, T = Toplam**

Bu problemde ağırlıkları bulunan 9 kriterin özelliği, DGKÇS'de meydana gelebilecek bir acil durum anında müdahale etmek için gerekli koşulları sağlaması gereken personel yeteneklerini ölçmesidir. Bu 9 kriterin ilk müdahale anında hayati önemi

vardır. Personellerin bu yetenekleri yönünden değerlendirilmesi aslında acil durum senaryosunun çözümü olarak da düşünülebilir.

Yetenek puanlarının modele dâhil edilmesiyle sonuçta değişiklikler olmaya başladığı gözlemlenmiştir. Yeteneklere göre dengeli atanmaya başlandığı görülmektedir. Örneğin P9 ve P12; P41 ve P53 gibi personellerin yeteneklerinin ağırlıklarının birinin yüksek ötekinin düşük olması sebebiyle birlikte atandıkları görülmüştür. Bu atamalar çizelgeleme sonuçlarına da yansımıştır. Diğerlerinden daha yetenekli olan bu personelin, daha az yetenekli olan çalışanlara birlikte atandığı gözlemlenmektedir. Böylelikle atamalarda denge sağlanmaya çalışılmıştır. Yeni atamalar sonrası toplam maliyet değeri aylık 58.125 \$ seviyesinden 53.703 \$ seviyesine gerilemiştir.

### **6.3. Problem 3: Personelin 20 Yeteneğinin Dikkate Alındığı Durumda Problemin Çözümü**

#### **6.3.1. Problem Tanımı:**

Bu problemde personelde bulunan 20 yetenek üzerinden hesaplama yapılmıştır. Yetenek kriteri sayısının 9'dan 20'ye çıkarılmasının sebebi personelin acil durum müdahale yeteneklerinin yanı sıra, teknik bilgi ve fiziksel yeterliliklerinin de modele dahil edilmesi gerekliliğidir. Bu problemde ağırlıkları bulunan 20 kriterin özelliği şöyle açıklanabilir: DGKÇS'de meydana gelebilecek acil bir duruma anında müdahale etmek için gerekli koşulları sağlayan personelin yeteneklerini ölçmekle beraber, personelin teknik bilgi ve fiziksel yeterliliklerini de ölçerek modele dâhil edilmesini sağlayan bir sistem geliştirmektir. Bu 20 kriterin ilk müdahale anı ve sonrasındaki santral işletmeciliği kuralları için hayati önemi vardır. Sonradan eklenen 11 farklı yetenek kriterinde özellikle tecrübe yılı, aldığı teknik eğitim sayısı gibi kavramların etkisi büyüktür. Bu kriterlerin de eklenmesiyle santraldaki personelin yeteneklerinin tüm boyutlarının inceleneceği düşünülmüştür.

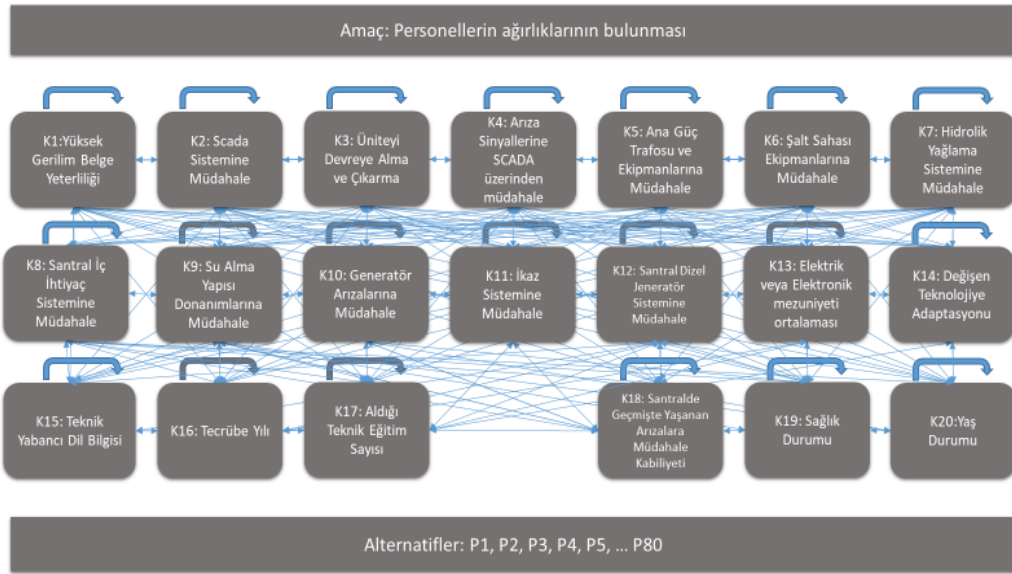
### 6.3.2. Personel Yetenek Kriterlerinin Belirlenmesi ve Ağırlıklandırılması

Problem 2’de kullanılan (çizelge 6.4.’te verilen) tüm kriterlere ek olarak 11 kriter daha belirlenmiştir. 6.2.2. bölümünde de belirtildiği gibi tüm kriterlerin belirlenmesinde santraldaki 12 uzman mühendisin ve santral müdürünün görüşlerine başvurulmuştur. Uzmanlar tarafından belirlenen toplamda 20 kriter, Çizelge 6.8.’de görülebilir.

**Çizelge 6.8.** 20 yetenek kriteri

KRİTERLER	
<b>K1:</b> Yüksek Gerilim Belge Yeterliliği	<b>K11:</b> İkaz Sistemine Müdahale
<b>K2:</b> SCADA Sistemine Müdahale	<b>K12:</b> Santral Dizel Jeneratör Sistemine Müdahale
<b>K3:</b> Üniteyi Devreye Alma ve Çıkarma	<b>K13:</b> Elektrik veya Elektronik mezuniyeti ortalaması
<b>K4:</b> Arıza Sinyallerine SCADA üzerinden müdahale	<b>K14:</b> Değişen Teknolojiye Adaptasyonu
<b>K5:</b> Ana Güç Trafosu ve Ekipmanlarına Müdahale	<b>K15:</b> Teknik Yabancı Dil Bilgisi
<b>K6:</b> Şalt Sahası Ekipmanlarına Müdahale	<b>K16:</b> Tecrübe Yılı
<b>K7:</b> Hidrolik Yağlama Sistemine Müdahale	<b>K17:</b> Aldığı Teknik Eğitimler
<b>K8:</b> Santral İç İhtiyaç Sistemine Müdahale	<b>K18:</b> Geçmişte Yaşanan Arızalara Müdahale Kabiliyeti
<b>K9:</b> Su Alma Yapısı Donanımlarına Müdahale	<b>K19:</b> Çalışabilir Sağlık Durumu
<b>K10:</b> Generatör Arızalarına Müdahale	<b>K20:</b> Çalışabilir Yaş Durumu

Çalışmada bu 20 kritere istinaden AAS yönteminin basamakları uygulanmıştır. Şekil 6.3.’te çalışanların her birinin değerlendirildiği 20 kriter bulunmaktadır. Bu 20 kriter üzerinden her bir 80 çalışanın ağırlık değeri hesaplanmıştır. AAS hesaplamalarında kullanılması planlanan kriter skorlarındaki veriler her bir çalışan için santralin mühendislik biriminden elde edilmiştir.



**Şekil 6.3.** 20 kriterli ağ yapısı

20 kriter Çizelge 6.8.'de gösterilmiştir. AAS basamakları uygulandıktan sonra her bir personel için bir ağırlık değeri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler Çizelge 6.9.'da verilmiştir.

**Çizelge 6.9.** Her bir personelin AAS ile elde edilen yetenek ağırlıkları değeri

P1 - P10	P11 - P20	P21 - P30	P31 - P40	P41 - P50	P51 - P60	P61 - P70	P71 - P80
0,020865001	0,007950701	0,041845077	0,001069497	0,007060001	0,003660011	0,000169897	0,001069897
0,175540014	0,006965001	0,002868014	0,010021554	0,000125011	0,004565526	0,010021557	0,040021552
0,030660017	0,063868014	0,002167603	0,001021454	0,030545072	0,009460010	0,022021554	0,003021554
0,044045074	0,065111070	0,001240011	0,000112156	0,022845071	0,03097522	0,033002157	0,000402158
0,034845075	0,055845060	0,032841035	0,001100454	0,041145075	0,043645070	0,003000454	0,000400454
0,016960301	0,00900122	0,040842043	0,040775033	0,001250700	0,036663069	0,000845007	0,030845077
0,000019910	0,002265501	0,005686805	0,135440011	0,035865001	0,009968010	0,006586804	0,045686807
0,022745078	0,001160015	0,011235604	0,030240015	0,065228010	0,003647600	0,007235608	0,006235609
0,045645079	0,043845073	0,033655005	0,033045074	0,030245070	0,004540010	0,004655009	0,035555003
0,041440073	0,020845072	0,000100458	0,040845070	0,041445070	0,044545070	0,000400451	0,004500453

Buna göre vardiya amiri, ustabaşı, usta ve yardımcı ortalama değerleri sırasıyla Çizelge 6.10.'da verilmiştir. Değerler, denklem 6.18.'de belirtilen şekilde hesaplanmıştır.

**Çizelge 6.10.** İşçilerin kıdem seviyelerine göre yetenek temelli ağırlıkları ( $t_i$ )

Vardiya Amiri (i=1,...,4)	Ustabaşı (i=5,...,16)	Usta (i=17,...,40)	Yardımcı (i=41,...,80)
0,064322540	0,026957512	0,022802299	0,016094762

Verilen bilgiler ışığında 80 personelin 30 günlük süre zarfında personel çizelgelemesi yapılmıştır. Bu çizelgede birtakım kısıtlar bulunmaktadır.

### 6.3.3. Hedef Programlama Modeli Kurulması

Bu problemde, problem 2'den farklı olarak personellerin yeteneklerinin değerleri 9 farklı kriter yerine, 20 farklı kriter üzerinden modele dâhil edilmiştir. Varsayım olarak tüm vardiyaların eşit ücrete tabii olduğu ve hafta sonu–hafta içi–dini, resmî tatillerde personele ödenen ücretin sabit olduğu kabul edilerek model oluşturulmuştur.

Parametreler: Problem 2'de kullanılan tüm parametreler geçerlidir.

Karar değişkenleri: Problem 2'de kullanılan tüm karar değişkenleri geçerlidir.

Kısıtlar: Problem 2'de kullanılan tüm kısıtlar aynı kalmak koşulu ile denklem (6.1. – 6.19.)'e ilaveten denklem (6.23.) – (6.26.) eklenmiştir:

Hedef 1: Vardiya Amirleri için kısıt:

$$\sum_{i=1}^4 t_i * X_{ijk} - d_{1jk}^+ + d_{1jk}^- = 1 * 0,064322540 \quad (6.23.)$$



$$j=1,2,3,\dots,m \quad k=1,2,\dots,n$$

Hedef 2: Ustabaşlıları için kısıt:

$$\sum_{i=5}^{16} t_i * X_{ijk} - d_{2jk}^+ + d_{2jk}^- = 3 * 0,026957512$$

$$j=1,2,3,\dots,m \quad k=1,2,\dots,n \quad (6.24.)$$

Hedef 3: Ustalar için kısıt:

$$\sum_{i=17}^{40} t_i * X_{ijk} - d_{3jk}^+ + d_{3jk}^- = 6 * 0,022802299$$

$$j=1,2,3,\dots,m \quad k=1,2,\dots,n \quad (6.25.)$$

Hedef 4: Yardımcılar için kısıt:

$$\sum_{i=41}^{80} t_i * X_{ijk} - d_{4jk}^+ + d_{4jk}^- = 10 * 0,016094762$$

$$j=1,2,3,\dots,m \quad k=1,2,\dots,n \quad (6.26.)$$

Amaç fonksiyonu: Problem 1 ve 2’de kullanılan amaç fonksiyonu (6.17) problem 3’te de geçerlidir.

9520 kısıt, 9600 karar değişkeni ve 360 hedef kısıtı sayısı altında problem paket program yardımıyla çözülmüştür. Çözüm 5,23 saniyede elde edilmiştir. Hedef 1'den %0,59 ve hedef 4'ten %1,17 sapma meydana gelmiştir. Diğer hedeflerden sapma olmamıştır. Bu değerler ışığında bulunan ağırlıkların modele eklenmesiyle model tekrar çözülmüştür. Personel yetenek ağırlıklarının etkisiyle yeniden şekillenen modelin sonuçları Çizelge 6.11’de verilmiştir.

**Çizelge 6.11.** Problem 3 için her bir personelin aylık vardiya bazlı toplam çalışma günü sayısı

P	Vardiya			T	P	Vardiya			T	P	Vardiya			T	P	Vardiya			T
	V1	V2	V2			V1	V2	V2			V1	V2	V2			V1	V2	V2	
1	7	8	8	23	21	7	8	8	23	41	7	8	8	23	61	7	8	8	23
2	8	8	7	23	22	8	8	7	23	42	8	8	7	23	62	8	8	7	23
3	7	7	8	22	23	7	7	8	22	43	7	7	8	22	63	7	7	8	22
4	8	7	7	22	24	8	7	8	23	44	8	7	7	22	64	8	7	8	22
5	7	8	8	23	25	7	8	8	23	45	7	8	8	23	65	7	8	8	23
6	8	8	7	23	26	8	8	7	23	46	8	8	7	23	66	8	8	7	23
7	7	8	8	23	27	7	8	8	23	47	7	7	8	22	67	7	7	8	22
8	8	8	7	23	28	8	7	8	23	48	8	7	7	22	68	8	7	7	22
9	7	8	8	23	29	7	8	8	23	49	7	8	8	23	69	7	8	8	23
10	8	8	7	22	30	8	8	7	23	50	8	8	7	23	70	8	8	7	23
11	8	7	8	23	31	7	8	8	23	51	7	7	8	22	71	7	7	8	22
12	8	8	7	23	32	8	7	8	23	52	8	7	7	22	72	8	7	7	22
13	7	8	8	23	33	7	8	8	23	53	7	8	8	23	73	7	8	8	23
14	8	8	7	23	34	8	8	7	23	54	8	8	7	23	74	8	8	7	23
15	7	8	8	23	35	7	7	8	22	55	7	7	8	22	75	7	7	8	22
16	8	8	7	23	36	8	7	7	22	56	8	7	7	22	76	8	8	7	23
17	7	8	8	23	37	7	8	8	23	57	7	8	8	23	77	7	8	8	23
18	8	8	7	23	38	8	8	7	23	58	8	8	7	23	78	8	8	7	23
19	7	7	8	22	39	7	7	8	22	59	7	7	8	22	79	7	8	8	23
20	8	7	7	22	40	8	7	8	23	60	8	7	8	23	80	8	7	7	22

P = Personel No, V1 = Vardiya 1, V2 = Vardiya 2, V3 = Vardiya 3, T = Toplam

Personel yetenek kriter sayısının 9'dan 20'ye çıkarılması sonrasında sonuçlardaki değişim özetlenirse yetenek değerleri üzerinden bir dengeleme yapıldığı görülebilir. Yeni atamalar sonrası toplam maliyet değeri aylık 58.125 \$ seviyesinden 54.711 \$ seviyesine gerilemiştir.

#### 6.4. Problem 4: Personelin 9 Yeteneğinin ve Maliyet Minimizasyonunun Dikkate Alındığı Durumda Problemin Çözümü

##### 6.4.1. Problem Tanımı

Bu problemde, problem 2'de elde edilen modelin üzerine ek olarak maliyet minimizasyonu kısıtları eklenmiştir. Hafta sonları, bayram ve resmî tatillerde tüm

personel ücretleri, normal günlük ücretler (hafta içi) dışında kıdemlere göre artmaktadır. Bu sebeple daha gerçekçi bir modele ulaşabilmek adına bu maliyetlerin de modele dahil edilmesi gerekmektedir. Problem 4'te bu maliyetler belirlenip, personel çizelgeleri bu maliyetlere göre yapılmıştır. Santralın bu zamana kadarki işletme kurallarında maliyet kaleminin azaltılması yönünde bir girişimde bulunulmamıştır. Problem 4 ile bu durum ilk kez ele alınmaktadır.

#### 6.4.2. Personel Yeteneklerinin Kriterlerin Belirlenmesi ve Ağırlıklandırılması

Problem 2'de kullanılan tüm personel yetenek kriterleri (Çizelge 6.4) ve yetenek kriter ağırlıkları (Çizelge 6.5) geçerlidir.

#### 6.4.3. Personel Maliyetlerinin Hesaplanması

Modelin, bir vardiyada atanması gereken maksimum personel sayısının kıdem seviyesini geçmeyeceği şekilde belirlenmiş bazı maliyet limitleri vardır.  $C_1$  ile  $C_4$  arasındaki maliyet limitleri kıdem seviyesini gösterir. Bu sayılar bir vardiyada atanacak personel sayısına ve Çizelge 6.12.'de verilen mevcut maliyet değerlerine göre hesaplanır. (Örneğin,  $C_1$  şöyle hesaplanır: 22 hafta içi günü, 4 cumartesi ve 4 pazar günü için vardiya amirinin aylık hesabı;  $22 \times 23 \$ + 4 \times 34,5 \$ + 4 \times 46 \$ = 827 \$$ .) Ücret detayları Çizelge 6.12.'de verilmiştir.

**Çizelge 6.12.** Personellerin çalıştıkları günlere göre aldıkları ücret detayları

Günler	Vardiya Amiri	Ustabaşı	Usta	Yardımcı
Hafta içi (Pazartesi - Cuma)	23 \$	20 \$	19 \$	18 \$
Cumartesi	34,5 \$	32 \$	30 \$	29 \$
Pazar	46 \$	40 \$	38,5 \$	36,5 \$
Bayram ve Resmî Tatil	46 \$	40 \$	38,5 \$	36,5 \$

#### 6.4.4. Hedef Programlama Modelinin Kurulması

Bu problemde, problem 2’de olduğu gibi personellerin yeteneklerinin aynı olmadığı bilinmektedir. Bu yetenek değerleri (9 farklı kriter) modele eklenmiştir. Diğer problemlerden farklı olarak ise tüm vardiyaların eşit ücrete tabii olmadığı ve hafta sonu – hafta içi – dini ve resmî tatillerde personele ödenen ücretin sabit olmadığı bilinmektedir.

Parametreler: Problem 2’de kullanılan tüm parametre ek olarak, aşağıda verilen parametreler de modele eklenmiştir:

$c_j$	Vardiya amirinin maliyet değişkeni,	$j=1,2,\dots,m$
$d_j$	Ustabaşının maliyet değişkeni,	$j=1,2,\dots,m$
$e_j$	Ustanın maliyet değişkeni,	$j=1,2,\dots,m$
$f_j$	Yardımcının maliyet değişkeni,	$j=1,2,\dots,m$
$C_1$	Vardiya amirinin maliyet limit alt değeri,	$C_1= 827 \$$
$C_2$	Ustabaşının maliyet limit alt değeri,	$C_2= 725 \$$
$C_3$	Ustanın maliyet limit alt değeri,	$C_3= 705,5 \$$
$C_4$	Yardımcının maliyet limit alt değeri,	$C_4= 668 \$$

Karar değişkenleri: Problem 2’de kullanılan tüm karar değişkenleri geçerlidir.

Kısıtlar: Problem 2’de kullanılan tüm kısıtlar geçerlidir. Problem 2’deki tüm denklemler (6.1. – 6.22.) sabit kalmak koşulu ile maliyet hedefleri için denklem (6.27. – 6.30.) modele eklenmiştir.

Hedef 5: Vardiya amirleri için kısıt:

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^{30} \sum_{k=1}^3 c_j * X_{ijk} - d_5^+ + d_5^- = C_1 * 1 \quad (6.27.)$$

Hedef 6: Ustabaşları için kısıt:

$$\sum_{i=5}^{16} \sum_{j=1}^{30} \sum_{k=1}^3 d_j * X_{ijk} - d_6^+ + d_6^- = C_2 * 3 \quad (6.28.)$$

Hedef 7: Ustalar için kısıt:

$$\sum_{i=17}^{40} \sum_{j=1}^{30} \sum_{k=1}^3 e_j * X_{ijk} - d_7^+ + d_7^- = C_3 * 6 \quad (6.29.)$$

Hedef 8: Yardımcılar için kısıt:

$$\sum_{i=41}^{80} \sum_{j=1}^{30} \sum_{k=1}^3 f_j * X_{ijk} - d_8^+ + d_8^- = C_4 * 10 \quad (6.30.)$$

Amaç fonksiyonu:

$$\begin{aligned} \min Z = & \sum_{j=1}^{30} \sum_{k=1}^3 d_{1jk}^- + d_{1jk}^+ + d_{2jk}^- + d_{2jk}^+ + d_{3jk}^- + d_{3jk}^+ \\ & + d_{4jk}^- + d_{4jk}^+ + d_5^+ + d_6^+ + d_7^+ + d_8^+ \end{aligned} \quad (6.31.)$$

9880 kısıt, 9600 karar değişkeni ve 720 hedef kısıtı sayısı altında problem paket program yardımıyla çözülmüştür. Çözüm 6,19 saniyede elde edilmiştir. Hedef 1'den %1,11 ve hedef 4'ten %0,42 sapma meydana gelmiştir. Hedef 2 ve hedef 3'ten sapma olmamıştır. Bu değerler ışığında bulunan 9 kriter ağırlığının ve maliyet hedeflerini sağlayan kısıtların modele eklenmesiyle problem 4 modeli çözülmüştür.

**Çizelge 6.13.** Problem 4 için her bir personelin aylık vardiya bazlı toplam çalışma günü sayısı

P	Vardiya			T	P	Vardiya			T	P	Vardiya			T	P	Vardiya			T
	V1	V2	V2			V1	V2	V2			V1	V2	V2			V1	V2	V2	
1	7	8	7	22	21	7	8	7	22	41	7	8	7	22	61	7	8	8	23
2	8	7	7	22	22	8	8	7	23	42	8	8	7	23	62	8	8	7	23
3	7	7	8	22	23	7	7	8	22	43	7	7	8	22	63	7	7	8	22
4	8	7	7	22	24	8	7	8	23	44	8	7	7	22	64	8	7	7	22
5	7	8	8	23	25	7	8	8	23	45	7	8	8	23	65	7	8	8	23
6	8	8	7	23	26	8	8	7	23	46	8	8	7	23	66	8	8	7	23
7	7	8	8	23	27	7	8	8	23	47	7	7	8	22	67	7	7	8	22
8	8	8	7	23	28	8	7	8	23	48	8	7	7	22	68	8	7	7	22
9	7	8	8	23	29	7	8	8	23	49	7	8	7	22	69	7	8	8	23
10	8	8	7	23	30	8	8	7	23	50	8	8	7	23	70	8	8	7	23
11	8	7	8	23	31	7	8	8	23	51	7	7	8	22	71	7	7	8	22
12	8	8	7	23	32	8	7	8	23	52	8	7	7	22	72	8	7	7	22
13	7	8	8	23	33	7	8	8	23	53	7	8	8	23	73	7	8	8	23
14	8	8	7	23	34	8	8	7	23	54	8	8	7	23	74	8	8	7	23
15	7	8	8	23	35	7	7	8	22	55	7	7	8	22	75	7	7	8	22
16	8	8	7	23	36	8	7	7	22	56	8	7	7	22	76	8	8	7	23
17	7	8	8	23	37	7	8	8	23	57	7	8	8	23	77	7	8	8	23
18	8	8	7	23	38	8	8	7	23	58	8	8	7	23	78	8	8	7	23
19	7	7	8	22	39	7	7	8	22	59	7	7	8	22	79	7	8	8	23
20	8	7	7	22	40	8	7	7	22	60	8	7	8	23	80	8	7	7	22

P = Personel No, V1 = Vardiya 1, V2 = Vardiya 2, V3 = Vardiya 3, T = Toplam

Maliyet minimizasyonu kısmının modele eklenmesiyle atama sayısında azalma olduğu tespit edilmiştir. Örneğin P1 ve P2 personellerinin problem 3'e göre ayda 22 gün yerine 23'er gün çalıştırılarak birer gün fazla çalıştırıldığı tespit edilmiştir. Maliyet kaleminin çizelge üzerindeki etkileri diğer kıdem seviyesindeki personel gruplarında da görülmüştür. Örneğin vardiya amirlerinin (P1,...,P4) mesai ücretleri en yüksek olduğu için bu personel grubu atamalarında minimum düzey olan 22 gün atama gerçekleşmiştir. Yeni atamalar sonrası toplam maliyet değeri aylık 58.125 \$ seviyesinden 45.442 \$ seviyesine gerilemiştir.

## **6.5. Problem 5: Personelin 20 Yeteneğinin ve Maliyet Minimizasyonunun Dikkate Alındığı Durumda Problemin Çözümü**

### **6.5.1. Problem Tanımı**

Bu problemde, problem 3'te kurulan modelin denklemlerinin (6.1. – 6.22.) üzerine ek olarak problem 4'te kullanılan maliyet minimizasyonu denklemleri (6.27. – 6.31.) eklenmiştir.

### **6.5.2. Personel Yeteneklerinin Kriterlerin Belirlenmesi ve Ağırlıklandırılması**

Problem 3'te kullanılan tüm personel yetenek kriterleri (Çizelge 6.8.) ve yetenek kriter ağırlıkları (Çizelge 6.9.) geçerlidir.

### **6.5.3. Hedef Programlama Modeli Kurulması**

Bu problemde, problem 3'te olduğu gibi personellerin yeteneklerinin aynı olmadığı bilinmektedir. Bu yetenek değerleri 20 farklı kriter ile modele eklenmiştir. Diğer problemlerden farklı olarak ise tüm vardiyaların eşit ücrete tabii olmadığı ve hafta sonu – hafta içi – dini ve resmî tatillerde personele ödenen ücretin sabit olmadığı bilinmektedir.

Parametreler: Problem 4'te kullanılan tüm parametreler geçerlidir.

Karar değişkenleri: Problem 4'te kullanılan tüm karar değişkenleri geçerlidir.

Kısıtlar: Problem 4'te kullanılan tüm kısıtlar geçerlidir.

Amaç fonksiyonu: Problem 4'te kullanılan amaç fonksiyonu denklemi (denklem 6.35.) geçerlidir.

9880 kısıt, 9600 karar değişkeni ve 720 hedef kısıtı sayısı altında problem paket program yardımıyla çözülmüştür. Çözüm 9,14 saniyede elde edilmiştir. Hedef 5'ten %1,21 ve hedef 4'ten %2,02 sapma meydana gelmiştir. Diğer hedeflerden sapma olmamıştır. Bu değerler ışığında bulunan 20 kriter ağırlığının ve maliyet minimizasyonu sağlayan kısıtların modele eklenmesiyle problem 4 modeli çözülmüştür. Problem 4'e göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

**Çizelge 6.14.** Problem 5 için her bir personelin aylık vardiya bazlı toplam çalışma günü sayısı

P	Vardiya			T	P	Vardiya			T	P	Vardiya			T	P	Vardiya			T
	S	Ö	A			S	Ö	A			S	Ö	A			S	Ö	A	
1	7	8	7	22	21	7	8	7	22	41	7	8	7	22	61	7	8	8	23
2	8	7	7	22	22	8	8	7	23	42	8	8	7	23	62	8	8	7	23
3	7	7	8	22	23	7	7	8	22	43	7	7	8	22	63	7	7	8	22
4	8	7	7	22	24	8	7	8	23	44	8	7	7	22	64	8	7	7	22
5	7	8	8	23	25	7	8	8	23	45	7	8	8	23	65	7	8	8	23
6	8	8	7	23	26	8	8	7	23	46	8	8	7	23	66	8	8	7	23
7	7	8	8	23	27	7	8	8	23	47	7	7	8	22	67	7	7	8	22
8	8	8	7	23	28	8	7	8	23	48	8	7	7	22	68	8	7	7	22
9	7	8	8	23	29	7	8	8	23	49	7	8	7	22	69	7	8	8	23
10	8	8	7	23	30	8	8	7	23	50	8	8	7	23	70	8	8	7	23
11	8	7	8	23	31	7	8	8	23	51	7	7	8	22	71	7	8	8	23
12	8	8	7	23	32	8	7	8	23	52	8	7	7	22	72	8	8	7	23
13	7	8	8	23	33	7	8	8	23	53	7	8	8	23	73	7	8	8	23
14	8	8	7	23	34	8	8	7	23	54	8	8	7	23	74	8	8	7	23
15	7	8	8	23	35	7	7	8	22	55	7	7	8	22	75	7	8	8	23
16	8	8	7	23	36	8	7	7	22	56	8	7	7	22	76	8	8	7	23
17	7	8	8	23	37	7	8	8	23	57	7	8	8	23	77	7	8	8	23
18	8	8	7	23	38	8	8	7	23	58	8	8	7	23	78	8	8	7	23
19	7	7	8	22	39	7	7	8	22	59	7	7	8	22	79	7	8	8	23
20	8	7	7	22	40	8	7	7	22	60	8	7	8	23	80	8	7	7	22

P = Personel No, V1 = Vardiya 1, V2 = Vardiya 2, V3 = Vardiya 3, T = Toplam

Çizelge 6.14'ten de görüleceği gibi problem 2'ye göre fazla maliyet oluşturan atamalar ortadan kalkmıştır. Elde edilen çizelgeler, gerekli minimum personel ihtiyacını karşılayarak santralin zarar etmesini önlemektedir. Yetenek kriter sayısının 9'dan 20'ye çıkarılması sonrası P71, P72 ve P75'nin çalışma gün sayısı artmıştır. Personel

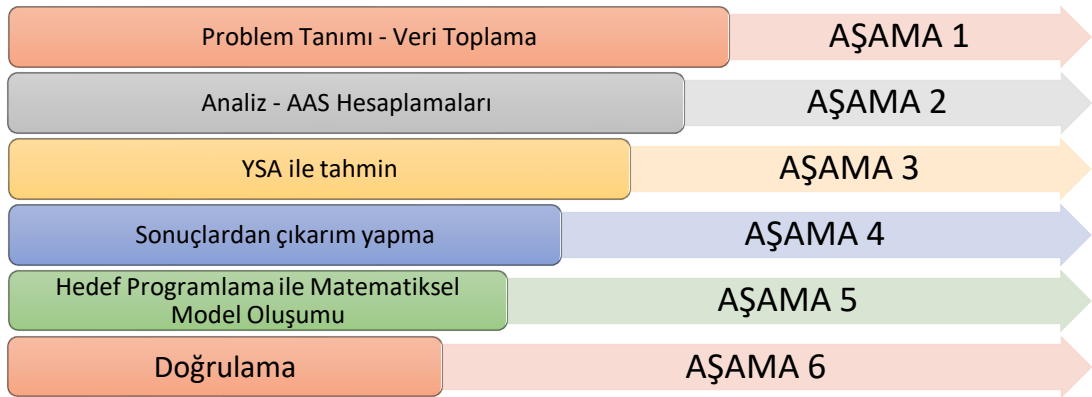


yeteneğine göre atamalarda denge sağlanmıştır. Yeni atamalar sonrası toplam maliyet değeri aylık 58.125 \$ seviyesinden 40.390 \$ seviyesine gerilemiştir.

## 6.6. Problem 6: Personelin 20 Yeteneğinin, Maliyet Minimizasyonunun ve Mevsimlik Değişimin Dikkate Alındığı Durumda Problemin Çözümü

### 6.6.1. Problem Tanımı:

Çalışmanın son probleminin adımları Şekil 6.4.'te verilmiştir. Bu problem altı aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşama, problem tanımı, veri toplama aşamasıdır. İkinci aşama AAS hesaplamaları ve sonucun analizi olarak adlandırılmıştır. Üçüncü aşamada YSA yöntemi kullanılarak üretim tahmini yapılmış ve sonuçlar gözlemlenmiştir. Dördüncü aşamada sonuçlardan çıkarımlar yapılmış ve oluşturulacak hedef programlama modeli için altyapı oluşturulmuştur. Beşinci aşama model oluşturma ve geliştirme adımı olarak tanımlanmaktadır. Altıncı aşama sonuç doğrulama ve analiz adımları olarak adlandırılmaktadır. Santraldan alınan tüm veriler santralin uzman kişileri ve santral müdüründen temin edilmiştir.



Şekil 6.4. Problem 6'nın uygulama adımları

### 6.6.2. Personel Yeteneklerinin Kriterlerin Belirlenmesi ve Ağırlıklandırılması

Problem 5'te kullanılan tüm kriterler (Çizelge 6.8) ve yetenek kriter ağırlıkları (Çizelge 6.8) geçerlidir.

### 6.6.3. Mevsimlere Göre Elektrik Üretimini Tahmin Edilmesi

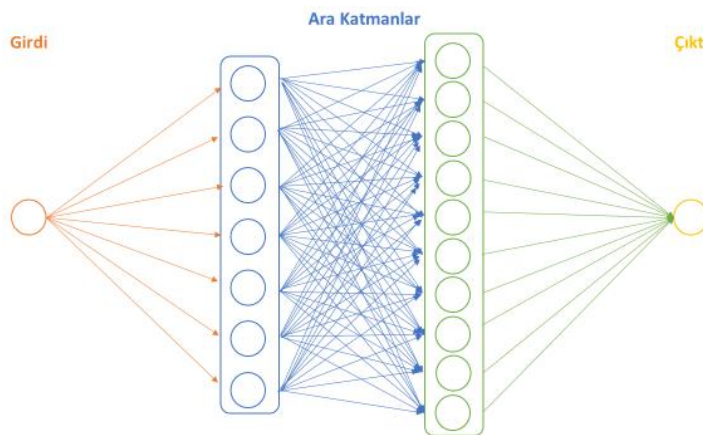
Bu çalışmada MATLAB Neural Network Toolbox yazılımı kullanılmıştır. Elektrik üretim tahmini konusunda MATLAB sıklıkla yararlanılan bir uygulama yazılımıdır. Literatürde MATLAB yazılımı kullanılarak tahmin yapan çok sayıda çalışma mevcuttur [389]. Üretim tahmini yapmak için izlenen adımlar şu şekildedir:

- ✓ İlgili verilerin toplanması: Önceki yılların elektrik üretim rakamları (2000 – 2019). Bu çalışmada, elektrik enerjisi üretimi için belirtilen tüm değerler (gerçek değerler ve tahmini değerler) Megavat saat (MWh) birimlerinde ifade edilmiştir.
- ✓ Verilerin eğitim, doğrulama ve test setlerine ayrılması: YSA için 2005 – 2019 verileri eğitim amaçlı, 2003 – 2005 veri doğrulama ve 2000 – 2003 verileri test seti olarak kullanılmıştır.
- ✓ Uygun modellerin belirlenmesi, model çıktılarının oluşturulması.
- ✓ Geleneksel yöntemler ile tahmin sonuçlarına bakılması, YSA'lar için belirlenen test setinin gerçek değerlerle karşılaştırılması, hangi yöntemin daha az hata ile tahmin edeceğini belirleme.
- ✓ 2020 sezonunun her ayı için tahmin değerleri (Kış, Sonbahar, İlkbahar, Yaz).

YSA modellerinde verilerin sayısal kullanımı ağın eğitimi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğundan, elde edilen veriler sayısal forma dönüştürülür. Verileri ayırt etme süreci, ağın eğitimi etkileyen faktörlerden biridir. Zira, farklı eğitim ve test verileri gruplarının uygulanmasıyla, ağın yapısı değişirse de test sonuçlarının değiştiği gözlenmiştir. Ağ modelinde uygun sonuçları bulmak için birden çok girişimde bulunulmalıdır. Bu denemeler üç aşamada gerçekleştirilir. İlk olarak, öğrenme sağlanana kadar süreç devam eder. Başka bir deyişle, hedef değerlerden sapmalar belli

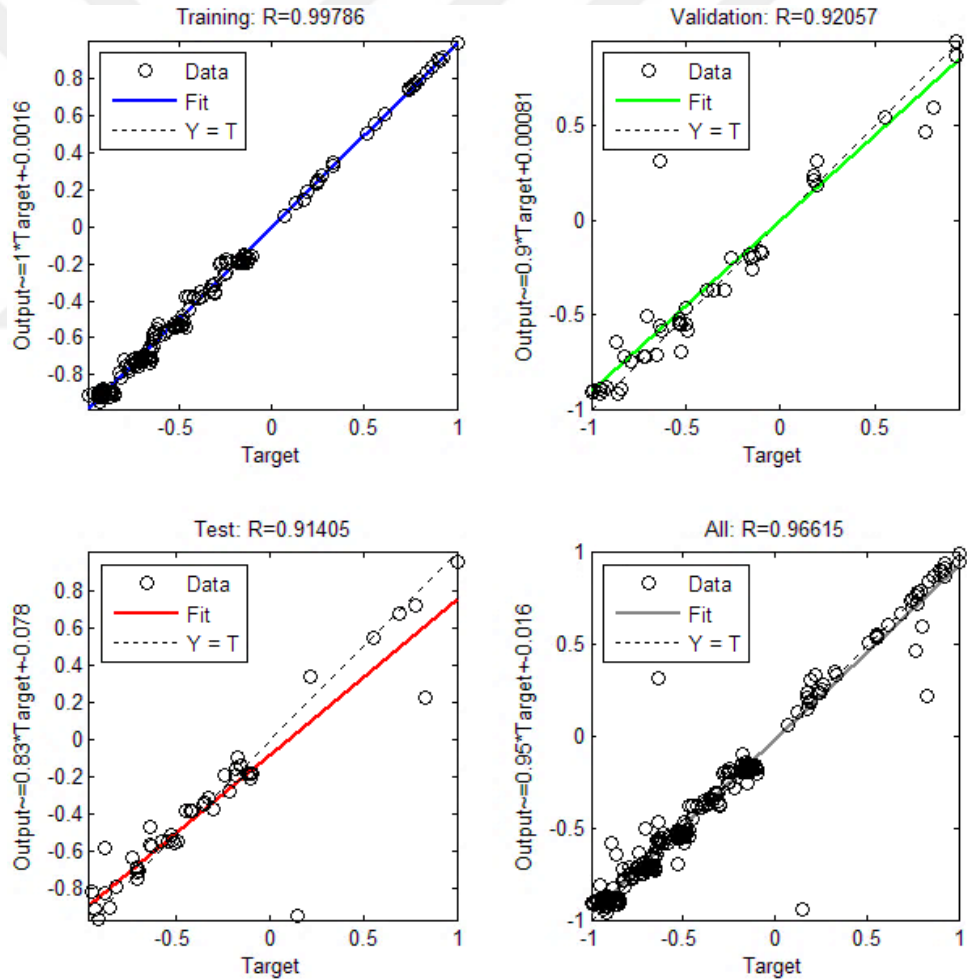
bir oranın altına düşene kadar denemeler sürdürülmektedir. Hedef değerlere yakınlık sağlanırsa, ağ için öğrenme durdurulur ve öğrenme aşamasında gösterilmeyen örnekler ağa sunulur ve böylece test aşaması başlatılır. Test sonuçları ve hedeflenen değerler arasındaki sapma kabul edilebilir değilse, ağın öğrenme aşamasına geri dönülerek iyileştirmeler yapılır ve bu süreç hem öğrenme hem de test hedeflerine yakın olana kadar devam eder. Bu nedenle, çalışmayla ilgili verilerin tamamlanmasından sonraki süreç YSA modelleri incelenerek devam eder.

Öngörü sorunları için tasarlanmış bir YSA eğitilebilir ve kuruluşun yapısına bağlı olarak doğrusal olmayan bir regresyon modeli veya doğrusal olmayan otoregresif bir model olarak sonuçlar üretebilir. Mevcut sorun için kurulan YSA, doğrusal olmayan bir regresyon modeli olarak oluşturulmuştur. Modele göre; giriş vektörü yıl ve çıkış vektörü üretim miktarıdır. Kurulan Geri Yayılma Ağı (Back Propagation Network - BPN) şu şekilde tasarlanmıştır: Giriş ve çıkış katmanlarda bir nöron vardır. Giriş ve çıkış katmanları arasında iki gizli katman kullanılmıştır ve bu gizli katmanlarda yedi ve on nöron vardır. Gizli katman aktivasyon fonksiyonu, hiperbolik teğet fonksiyonudur. Çıkış katmanı aktivasyon fonksiyonu doğrusal bir fonksiyondur. Öğrenme hızı ve momentum katsayısı için 0.5 kullanılmıştır. Öğrenme yöntemi olarak Bayesian algoritması kullanılmıştır. Problem MATLAB Neural Network Toolbox'ındaki farklı öğrenme yöntemleriyle çözülmüştür, ancak Bayesian algoritması daha iyi sonuçlar vermiştir. Ağ tasarımı Şekil 6.5'te görülmektedir.



Şekil 6.5. Ağ tasarımı

Ağın eğitimi için 2005 – 2019 verileri eğitim seti, 2000 – 2003 verileri doğrulama seti olarak kullanılmıştır. En uygun ağ yapısını bulmak için doğrulama kümesi 85 kez çalıştırılmıştır. En iyi ağ yapısı kullanılarak test kümesi tahmin değerleri üretilmiştir. Eğitim seti için, algoritmanın her bir çalıştırmada bulduğu hata kareleri ortalaması (MSE - Mean Squared Error) değerleri, 0,0022 ile 0,0034 arasında değişmektedir. Algoritmanın sonlanması her bir çalıştırmada 149 ila 481 devir (epoch) arasında değişmektedir. Şekil 6.6. kurulan ağlar arasında en iyi regresyon grafiği sonuçlarına sahip ağı göstermektedir. Ağın performansı, ağın eğitiminde kullanılmamış verilerle test edilmiştir. Değerler, literatürde incelenen çalışmaların performans değerleri ile tutarlıdır.



Şekil 6.6. YSA regresyon grafikleri

Atmosferik sıcaklık, DGKÇS'lerin termal verimliliğini etkileyen önemli bir parametredir. Başka bir deyişle, DGKÇS'lerin ısı veriminin düşmesi, atmosferik sıcaklığın artmasına bağlıdır. Bundan dolayı, DGKÇS'ler özellikle kış ve sonbahar mevsimlerinde en yoğun ve verimli çalışırlar. Çizelge 6.14.'te ulaşılan sonuçlar, gerçek hayat teorisinin yansımasıdır. Mevsimsel olarak değişen DGKÇS'lerin çalışma yoğunluğu, megavat saat başına çalışmak için gereken insan sayısına ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymuştur. Elektrik üretim tahminlerinin mevsimsel YSA sonuçları, MWh bazında Çizelge 6.15'te verilmiştir. DGKÇS'nin yıllık toplam üretimi 30.050.910 MWh'dir. (4 mevsim için 9.660.252 + 8.103.911 + 7.150.503 + 5.720.440 = 30.635.16 MWh) Buna göre aylık ortalama üretim 2.552.926 MWh'dir. DGKÇS'de aktif olarak 2 blokta elektrik üretilmektedir ve bu blokların kapasiteleri eşittir. Blok başına aylık ortalama üretim 1.276.462 MWh'dir. DGKÇS'de günlük ortalama üretim 42.548 MWh'dir. Bir günde toplamda en fazla 60 personel DGKÇS'de çalışmaktadır. Bu durumda ise günlük 709 MWh; saatlik 29 MWh ortalama elektrik üretimi başına bir personel çalışmalıdır.

**Çizelge 6.15.** Mevsimlik elektrik üretimi için ortalama tahmini değerler

<b>Kış</b>	<b>Sonbahar</b>	<b>İlkbahar</b>	<b>Yaz</b>
9.660.252 MWh	8.103.911 MWh	7.150.503 MWh	5.720.440 MWh

Santralin yoğun olduğu kış ve sonbahar aylarında, tüm personel kendi görev yerlerinde çalışırken, santralin daha az yoğun olduğu ilkbahar ve yaz aylarında personelin elektrik ve elektronik eğitim geçmişi olduğu için bakım ve onarım işlerinin olduğu yerlerde çalıştırılır. Bu personel ağırlıklı olarak elektrikli cihazların enstrümantasyonu, kontrolü ve bakımı için kullanılır. Bu nedenle, DGKÇS'de daha az emek gereksinimi olan mevsimlerde personelin, bakım gerektiren işlerde kullanılması maliyete etki eder. Bu bakım işleri için gerekli olan fazla emek, ekstra maliyete tabi tutulmadan karşılanır. Bu sonuçlara göre, her sezonun ortalama üretim tahminine bakıldığında, tesiste MWh başına kullanılması beklenen personel sayısı belirlenmiştir. Çizelge 6.16. mevsime göre çalışması gereken personel sayısını göstermektedir.

**Çizelge 6.16.** Personel sayılarının detayları

	Her Gün Her Vardiya için	Vardiya Amirleri	Ustabaşlar	Ustalar	Yardımcılar	Toplam
Mevsimler	Sonbahar	1	3	5	8	17
	Kış	1	3	6	10	20
	İlkbahar	1	3	4	7	15
	Yaz	1	3	3	6	12

Elde edilen sonuçlara göre, hedef programlama modelinin yapısı şekillendirilecektir.

#### 6.6.4. Hedef Programlama Modelinin Kurulması

Problem 5'te kullanılan tüm varsayımlar geçerlidir.

Parametreler: Problem 5'te kullanılan tüm parametreler geçerlidir.

Karar değişkenleri: Problem 5'te kullanılan tüm karar değişkenleri geçerlidir.

Kısıtlar: Daha önce kurulan hedef programlama modellerinde, sadece kış sezonu için geçerli olan model kısıtları (6.1. – 6.31.) sunulmuştur. Diğer mevsimler için sunulacak olan modeller, bu modele bağlı kalınarak, model üzerinde modifikasyonlar yapmak vasıtasıyla açıklanacaktır. Diğer mevsimler için kurulacak modellerde denklem numaralarından faydalanılacaktır.

Yaz için: Problem 5'te kullanılan tüm denklemler (6.1 – 6.28) sabit kalmak koşulu ile denklem (6.32) – (6.39) ilave edilmiştir:

Kısıt 6: Toplamda dengeli atama koşulunu sağlamak için yazılmış kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^{30} \sum_{k=1}^3 X_{ijk} \geq 14 \quad i=1,2,3,\dots,l \quad (6.32.)$$

$$\sum_{j=1}^{30} \sum_{k=1}^3 X_{ijk} \leq 13 \quad i=1,2,3, \dots, l \quad (6.33.)$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ij1} \geq 5 \quad i=1,2,3, \dots, l \quad (6.34.)$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ij2} \geq 5 \quad i=1,2,3, \dots, l \quad (6.35.)$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ij3} \geq 5 \quad i=1,2,3, \dots, l \quad (6.36.)$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ij1} \leq 4 \quad i=1,2,3, \dots, l \quad (6.37.)$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ij2} \leq 4 \quad i=1,2,3, \dots, l \quad (6.38.)$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ij3} \leq 4 \quad i=1,2,3, \dots, l \quad (6.39.)$$

Problem 5'te kullanılan tüm denklemler (6.1 – 6.24) sabit kalmak koşulu ile denklem (6.40) – (6.43) ilave edilmiştir:

Hedef 3: Ustalar için kısıt:

$$\sum_{i=17}^{40} t_i * X_{ijk} - d_{3jk}^+ + d_{3jk}^- = 3 * 0,022802299$$

$$j=1,2,3, \dots, m \quad k=1,2, \dots, n \quad (6.40.)$$

Hedef 4: Yardımcılar için kısıt:

$$\sum_{i=41}^{80} t_i * X_{ijk} - d_{4jk}^+ + d_{4jk}^- = 6 * 0,016094762$$

$$j=1,2,3, \dots, m \quad k=1,2, \dots, n \quad (6.41.)$$

Hedef 7: Ustalar için kısıt:

$$\sum_{i=17}^{40} \sum_{j=1}^{30} \sum_{k=1}^3 e_j * X_{ijk} - d_7^+ + d_7^- = C_3 * 3 \quad (6.42.)$$

Hedef 8: Yardımcılar için kısıt:

$$\sum_{i=41}^{80} \sum_{j=1}^{30} \sum_{k=1}^3 f_j * X_{ijk} - d_8^+ + d_8^- = C_4 * 6 \quad (6.43.)$$

Sonbahar için: Problem 5'te kullanılan tüm denklemler (6.1 – 6.24) sabit kalmak koşulu ile denklem (6.44) – (6.51) ilave edilmiştir:

Kısıt 6: Toplamda dengeli atama koşulunu sağlamak için yazılmış kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^{30} \sum_{k=1}^3 X_{ijk} \geq 17 \quad i=1,2,3, \dots, l \quad (6.44.)$$

$$\sum_{j=1}^{30} \sum_{k=1}^3 X_{ijk} \leq 16 \quad i=1,2,3, \dots, l \quad (6.45.)$$

$$\sum_{j=1}^{30} X_{ij1} \geq 6 \quad i=1,2,3, \dots, l \quad (6.46.)$$

$$\sum_{j=1}^{30} X_{ij2} \geq 6 \quad i=1,2,3, \dots, l \quad (6.47.)$$

$$\sum_{j=1}^{30} X_{ij3} \geq 6 \quad i=1,2,3, \dots, l \quad (6.48.)$$

$$\sum_{j=1}^{30} X_{ij1} \leq 5 \quad i=1,2,3, \dots, l \quad (6.49.)$$

$$\sum_{j=1}^{30} X_{ij2} \leq 5 \quad i=1,2,3, \dots, l \quad (6.50.)$$



$$\sum_{j=1}^{30} X_{ij3} \leq 5 \quad i=1,2,3,\dots,l \quad (6.51.)$$

Problem 5'te kullanılan tüm denklemler (6.1 – 6.28) sabit kalmak koşulu ile denklem (6.52.) – (6.55.) ilave edilmiştir:

Hedef 3: Ustalar için kısıt:

$$\sum_{i=17}^{40} t_i * X_{ijk} - d_{3jk}^+ + d_{3jk}^- = 5 * 0,022802299$$

$$j=1,2,3,\dots,m \quad k=1,2,\dots,n \quad (6.52.)$$

Hedef 4: Yardımcılar için kısıt:

$$\sum_{i=41}^{80} t_i * X_{ijk} - d_{4jk}^+ + d_{4jk}^- = 8 * 0,016094762$$

$$j=1,2,3,\dots,m \quad k=1,2,\dots,n \quad (6.53.)$$

Hedef 7: Ustalar için kısıt:

$$\sum_{i=17}^{40} \sum_{j=1}^{30} \sum_{k=1}^3 e_j * X_{ijk} - d_7^+ + d_7^- = C_3 * 5 \quad (6.54.)$$

Hedef 8: Yardımcılar için kısıt:

$$\sum_{i=41}^{80} \sum_{j=1}^{30} \sum_{k=1}^3 f_j * X_{ijk} - d_8^+ + d_8^- = C_4 * 8 \quad (6.55.)$$

İlkbahar için: Problem 5'te kullanılan tüm denklemler (6.1 – 6.24) sabit kalmak koşulu ile denklem (6.56.) – (6.63.) ilave edilmiştir:

Kısıt 6: Toplamda dengeli atama koşulunu sağlamak için yazılmış kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^{30} \sum_{k=1}^3 X_{ijk} \geq 20 \quad i=1,2,3, \dots, l \quad (6.56.)$$

$$\sum_{j=1}^{30} \sum_{k=1}^3 X_{ijk} \leq 19 \quad i=1,2,3, \dots, l \quad (6.57.)$$

$$\sum_{j=1}^{30} X_{ij1} \geq 7 \quad i=1,2,3, \dots, l \quad (6.58.)$$

$$\sum_{j=1}^{30} X_{ij2} \geq 7 \quad i=1,2,3, \dots, l \quad (6.59.)$$

$$\sum_{j=1}^{30} X_{ij3} \geq 7 \quad i=1,2,3, \dots, l \quad (6.60.)$$

$$\sum_{j=1}^{30} X_{ij1} \leq 6 \quad i=1,2,3, \dots, l \quad (6.61.)$$

$$\sum_{j=1}^{30} X_{ij2} \leq 6 \quad i=1,2,3, \dots, l \quad (6.62.)$$

$$\sum_{j=1}^{30} X_{ij3} \leq 6 \quad i=1,2,3, \dots, l \quad (6.63.)$$

Problem 5'te kullanılan tüm denklemler (6.1 – 6.24) sabit kalmak koşulu ile denklem (6.64) – (6.67) ilave edilmiştir:

Hedef 3: Ustalar için kısıt:

$$\sum_{i=17}^{40} t_i * X_{ijk} - d_{3jk}^+ + d_{3jk}^- = 6 * 0,022802299 \quad j=1,2,3, \dots, m \quad k=1,2, \dots, n \quad (6.64.)$$

Hedef 4: Yardımcılar için kısıt:

$$\sum_{i=41}^{80} t_i * X_{ijk} - d_{4jk}^+ + d_{4jk}^- = 10 * 0,016094762$$

$$j=1,2,3,\dots,m \quad k=1,2,\dots,n \quad (6.65.)$$

Hedef 7: Ustalar için kısıt:

$$\sum_{i=17}^{40} \sum_{j=1}^{30} \sum_{k=1}^3 e_j * X_{ijk} - d_7^+ + d_7^- = C_3 * 4 \quad (6.66.)$$

Hedef 8: Yardımcılar için kısıt:

$$\sum_{i=41}^{80} \sum_{j=1}^{30} \sum_{k=1}^3 f_j * X_{ijk} - d_8^+ + d_8^- = C_4 * 7 \quad (6.67.)$$

Amaç fonksiyonu: Her bir mevsim için, problem 4'te kullanılan amaç fonksiyonu (6.31) geçerlidir.

Problem 6 için 3 farklı sonuç elde edilmiştir. Bu sonuçlar dört mevsim için elde edilmiştir fakat problem 5'te halihazırda kış sezonu için sonuçlar verilmiştir. Problem 6'nın kış sezonu için verilen sonuçlar aynıdır. Geriye sonbahar, yaz ve ilkbahar mevsiminin sonuçları incelenmiştir. Bu koşullar altında matematiksel model yeniden her bir mevsim için ayrı ayrı çözdürülmüş ve sonuç elde edilmiştir. Bu sebeple üç farklı mevsim için verilen bilgiler şu şekilde açıklanabilir: 9880 kısıt, 9600 karar değişkeni ve 720 hedef kısıtı sayısı altında problem paket program yardımıyla çözülmüştür. Çözüm yaz mevsimi için 8,06 saniye, ilkbahar mevsimi için 5,11 saniye ve sonbahar mevsimi için 6,38 saniye sürmüştür. Yaz mevsimi için hedef 3'ten %0,37, ilkbahar mevsimi için hedef 4'ten %0,23 ve sonbahar mevsimi içinse hedef 5'ten %0,14 sapma meydana gelmiştir. Tüm mevsimler için diğer hedeflerden sapma olmamıştır.

Elde edilen sonucun anlamlı halde özeti şu şekilde verilebilir. Bu çalışma yapılmadan önce personelin iş yükünde dengesizlikler ve dalgalanmalar mevcuttur. Bu problemde hem maliyetler minimize edilmiş hem personel yeteneklerine göre atama yapılmış hem de YSA modeliyle tahmin yapılarak elde edilen sonuçlar verimli bir şekilde kullanılmıştır. Maliyetleri en aza indirmek adına fazla personel çalıştırılmamıştır. Önerilen model sonrası iş yükleri dağılımında yetenek ağırlıklarına ve kısıtlara göre yeni ve dengeli bir dağılım elde edilmiştir. Matematiksel model yardımı ile çizelgeleme yapılırken, her bir mevsimde farklı iş yüklerine göre çalışan personellerin bir ay içerisindeki toplam iş yükleri Çizelge 6.17, 6.18. ve 6.19.'da verilmiştir.

Sonbahar - Vardiya başına 17 kişi ve günde 51 kişi (Her vardiya için 1 Vardiya Şefi - 3 Ustabaşı - 5 Usta - 8 Yardımcı)

**Çizelge 6.17.** Sonbahar mevsiminde her bir personelin vardiya bazlı aylık toplam çalışma günü sayısı

P	Vardiya			T	P	Vardiya			T	P	Vardiya			T	P	Vardiya			T
	V1	V2	V3			V1	V2	V3			V1	V2	V3			V1	V2	V3	
1	5	6	6	17	21	5	6	5	16	41	6	5	5	16	61	6	6	5	17
2	6	5	6	17	22	6	5	6	17	42	6	6	5	17	62	5	6	5	16
3	5	5	6	16	23	5	5	6	16	43	5	6	6	17	63	5	5	6	16
4	5	6	5	16	24	6	5	6	17	44	5	6	5	16	64	5	6	5	16
5	6	5	6	17	25	6	5	5	16	45	6	5	6	17	65	6	5	6	17
6	6	5	6	17	26	5	6	6	17	46	5	6	5	16	66	6	5	6	17
7	5	6	6	17	27	6	5	6	17	47	6	5	6	17	67	5	6	6	17
8	6	5	6	17	28	5	5	6	16	48	6	5	5	16	68	6	5	6	17
9	5	5	6	16	29	5	6	6	17	49	6	5	5	16	69	5	5	6	16
10	6	5	5	16	30	6	5	6	17	50	5	6	6	17	70	6	5	5	16
11	6	5	5	16	31	5	5	6	16	51	6	5	6	17	71	5	6	6	17
12	5	6	6	17	32	6	5	5	16	52	5	5	6	16	72	6	5	6	17
13	6	5	6	17	33	6	5	5	16	53	6	5	5	16	73	5	5	6	16
14	5	5	6	16	34	6	5	5	16	54	5	6	6	17	74	6	5	5	16
15	5	6	5	16	35	5	6	5	16	55	6	5	6	17	75	5	6	6	17
16	6	5	6	17	36	6	5	6	17	56	5	5	6	16	76	6	5	6	17
17	6	5	5	16	37	6	5	6	17	57	6	5	6	17	77	5	5	6	16
18	5	6	5	16	38	6	5	5	16	58	6	5	5	16	78	6	5	5	16
19	6	5	6	17	39	6	5	5	16	59	5	6	5	16	79	5	6	5	16
20	6	5	6	17	40	6	5	5	16	60	6	5	6	17	80	6	5	6	17

P = Personel No, V1 = Vardiya 1, V2 = Vardiya 2, V3 = Vardiya 3, T = Toplam

Sonbahar mevsiminde kış mevsimine kıyasla belirgin ölçüde maliyet azalması yaşanmıştır. Yeni atamalar sonrası toplam maliyet değeri aylık 58.125 \$ seviyesinden 34.090 \$ seviyesine gerilemiştir. Sonbahar mevsiminin aylarında, santralın en çok personele ihtiyaç duyduğu kış mevsimine oranla vardiya başına 3 kişi gün başına toplamda 9 kişi daha az kişi çalışmaktadır. Bu 9 kişinin santralın bakım işlerine yönlendirilmesi daha uygun görülmektedir.

İlkbahar - Vardiya başına 15 kişi ve günde 45 kişi (Her vardiya için 1 Vardiya Şefi - 3 Ustabaşı - 4 Usta - 7 Yardımcı

**Çizelge 6.18.** İlkbahar mevsiminde her bir personelin vardiya bazlı aylık toplam çalışma günü sayısı

P	Vardiya			T	P	Vardiya			T	P	Vardiya			T	P	Vardiya			T
	V1	V2	V3			V1	V2	V3			V1	V2	V3			V1	V2	V3	
1	7	7	6	20	21	7	6	6	19	41	6	6	7	19	61	7	7	6	20
2	6	7	7	20	22	7	7	6	20	42	7	7	6	20	62	6	6	7	19
3	6	6	7	19	23	6	7	6	19	43	6	7	7	20	63	6	6	7	19
4	7	6	6	19	24	7	7	6	20	44	6	6	7	19	64	6	6	7	19
5	7	6	7	20	25	6	7	6	19	45	7	7	6	20	65	7	7	6	20
6	7	7	6	20	26	7	7	6	20	46	6	6	7	19	66	6	7	7	20
7	6	7	7	20	27	6	7	7	20	47	7	7	6	20	67	7	7	6	20
8	7	7	6	20	28	6	6	7	19	48	6	6	7	19	68	6	7	7	20
9	6	7	6	19	29	7	7	6	20	49	6	6	7	19	69	6	7	6	19
10	6	7	6	19	30	7	7	6	20	50	7	7	6	20	70	6	6	7	19
11	6	6	7	19	31	6	6	7	19	51	7	7	6	20	71	7	7	6	20
12	7	7	6	20	32	7	7	6	20	52	6	7	6	19	72	7	7	6	20
13	7	7	6	20	33	6	7	6	19	53	6	6	7	19	73	7	7	6	20
14	6	7	6	19	34	6	7	6	19	54	7	7	6	20	74	6	6	7	19
15	6	7	6	19	35	6	7	6	19	55	7	7	6	20	75	7	7	6	20
16	6	6	7	19	36	6	6	7	19	56	6	6	7	19	76	7	7	6	20
17	7	7	6	20	37	7	7	6	20	57	7	7	6	20	77	6	7	6	19
18	6	7	6	19	38	7	7	6	20	58	6	7	6	19	78	6	7	6	19
19	6	6	7	19	39	6	7	6	19	59	6	6	7	19	79	6	6	7	19
20	7	7	6	20	40	6	7	6	19	60	7	7	6	20	80	7	7	6	20

P = Personel No, V1 = Vardiya 1, V2 = Vardiya 2, V3 = Vardiya 3, T = Toplam

İlkbahar mevsiminde kış mevsimine kıyasla belirgin ölçüde maliyet azalması yaşanmıştır. Yeni atamalar sonrası toplam maliyet değeri aylık 58.125 \$ seviyesinden 43.330 \$ seviyesine gerilemiştir. İlkbahar mevsiminin aylarında, santralın en çok personele ihtiyaç duyduğu kış mevsimine oranla vardiya başına 5 kişi gün başına toplamda 15 kişi daha az kişi çalışmaktadır. Bu 15 kişinin santralın bakım işlerine yönlendirilmesi daha uygun görülmektedir.

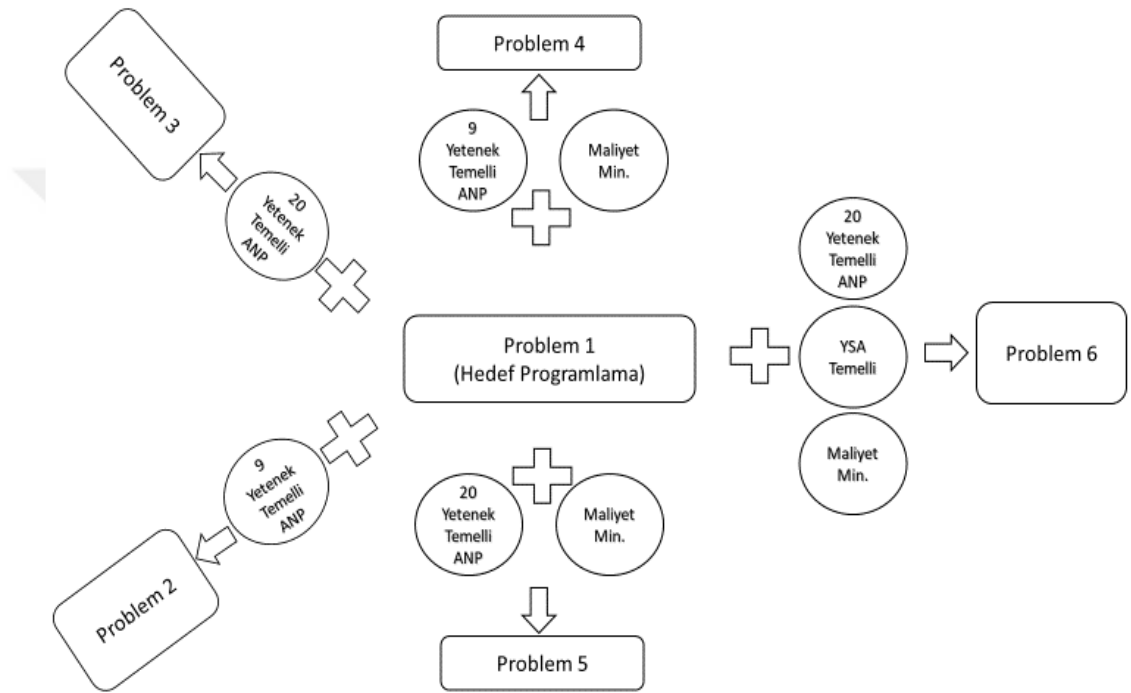
Yaz - Vardiya başına 12 kişi ve günde 36 kişi (Her vardiya için 1 Vardiya Şefi - 3 Ustabaşı - 3 Usta - 6 Asistan)

**Çizelge 6.19.** Yaz mevsiminde her bir personelin vardiya bazlı aylık toplam çalışma günü sayısı

P	Vardiya			T	P	Vardiya			T	P	Vardiya			T	P	Vardiya			T
	V1	V2	V3			V1	V2	V3			V1	V2	V3						
1	5	5	4	14	21	4	5	4	13	41	4	4	5	13	61	5	4	5	14
2	5	4	5	14	22	4	5	5	14	42	5	5	4	14	62	4	4	5	13
3	4	4	5	13	23	4	5	4	13	43	5	4	5	14	63	4	4	5	13
4	4	5	4	13	24	4	5	5	14	44	4	5	4	13	64	4	5	4	13
5	4	5	5	14	25	4	5	4	13	45	4	5	5	14	65	5	5	4	14
6	5	5	4	14	26	4	5	5	14	46	4	5	4	13	66	5	4	5	14
7	5	4	5	14	27	5	4	5	14	47	4	5	5	14	67	5	5	4	14
8	5	4	5	14	28	4	5	4	13	48	4	4	5	13	68	5	4	5	14
9	4	4	5	13	29	4	5	5	14	49	4	5	4	13	69	4	4	5	13
10	4	5	4	13	30	5	4	5	14	50	5	4	5	14	70	4	5	4	13
11	4	5	4	13	31	4	5	4	13	51	5	4	5	14	71	5	5	4	14
12	4	5	5	14	32	4	5	5	14	52	4	4	5	13	72	5	4	5	14
13	5	4	5	14	33	4	4	5	13	53	4	4	5	13	73	4	4	5	13
14	4	5	4	13	34	4	5	4	13	54	4	5	5	14	74	4	5	4	13
15	4	5	4	13	35	4	5	4	13	55	4	5	5	14	75	4	5	5	14
16	4	5	4	13	36	4	5	4	13	56	4	5	4	13	76	4	5	5	14
17	4	5	5	14	37	4	5	5	14	57	4	5	5	14	77	4	5	4	13
18	4	5	4	13	38	4	5	5	14	58	4	5	4	13	78	4	5	4	13
19	4	5	4	13	39	4	5	4	13	59	4	5	4	13	79	4	5	4	13
20	4	5	5	14	40	4	5	4	13	60	4	5	5	14	80	4	5	5	14

P = Personel No, V1 = Vardiya 1, V2 = Vardiya 2, V3 = Vardiya 3, T = Toplam

Yaz mevsiminde kış mevsimine kıyasla belirgin ölçüde maliyet azalması yaşanmıştır. Yeni atamalar sonrası toplam maliyet değeri aylık 58.125 \$ seviyesinden 30.412 \$ seviyesine gerilemiştir. Tüm problemlerin şema halinde bir bütün olarak gösterimi Şekil 6.7.'de verilmiştir. Yaz mevsiminin aylarında, santralin en çok personele ihtiyaç duyduğu kış mevsimine oranla vardiya başına 8 kişi gün başına toplamda 24 kişi daha az kişi çalışmaktadır. Bu 24 kişinin santralin bakım işlerine yönlendirilmesi daha uygun görülmektedir.



**Şekil 6.7.** Tüm problemlerin şeması

Karşılaştırmalı sonuçlar Çizelge 6.20.'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, çizelgeleme yapılmadan önce karşılanan taleplerin oranı ve çizelgeleme yapıldıktan sonraki oranlar birbirinden farklıdır. Toplanan sonuçlara göre, adil çizelgeleme talepleri yerine getirilmiş ve vardiya çizelgelerinde adalet sağlanmıştır. Ayrıca, personel ücretleri hafta sonları çok daha yüksektir. Bu nedenle, bu model ile hafta sonlarında fazla mesai atamaları önlenmiştir.

Çalışmada belirtilen tercihler tüm sert ve yumuşak kısıtları oluşturmaktadır. Önceki el ile yapılan çizelgelemede, bazıları yumuşak, bazıları sert olan 17 kısıttan 4'ü sağlanmamıştır. Önerilen matematiksel modelin çözümünden sonra, tüm sert ve yumuşak kısıtlar sağlanmıştır. Toplam 80 çalışanın 40'i 22 gün, 40'i ayda 23 gün çalışmakta ve önerilen çizelgelemenin matematiksel modelini oluşturmaktadır. Her iki sonucun kıyaslaması yapıldığında toplamda %23,53'lük bir iyileşme sağlandığı görülmüştür.

**Çizelge 6.20.** Çizelge kıyaslaması

<b>Kriterler</b>	<b>Mevcut Çizelge</b>	<b>Önerilen Çizelge</b>
<b>Sağlanmayan Tercihler</b>	4	0
<b>Sağlanan Tercihler</b>	13	17
<b>Toplam Tercihlerin Sayısı</b>	17	17
<b>Sağlama Yüzdesi</b>	<b>%76,47</b>	<b>%100,00</b>

Bu tez çalışması, personel çizelgeleme sorunlarını gidermede ve maliyetleri düşürmede çok büyük katkılar sağlamıştır. Bu çalışmanın maliyetleri düşürmedeki katkılarını ifade etmek için öncelikle tesisin kapasitesine ilişkin hesaplamayı açıklamak daha uygundur. Santralın %100 kapasiteye sahip olması durumunda, santralın kurulu gücü 1589 MWh'tır. Buna göre, aylık kapasite 720 saat (24 saat x 30 gün) olarak hesaplanabilir. Santralın aylık %100 toplam üretim kapasitesi 1.144.000 MWh olarak (1589 MWh x 24 Saat x 30 Gün) bulunur.

Santraldaki personelin bir sistematığe bağlı olmadan el ile çizelgenmesinden kaynaklanan bazı üretim durma sorunları da vardır. Personel çizelgelemesi el ile yapıldığında, verimsiz atamalardan kaynaklı üretim duruşları nedeniyle ortalama 47 saatlik bir kayıp meydana gelmiştir. Önerilen çizelge santralda bir ay süresince uygulandıktan sonra, bazı sonuçlar elde edilip incelenmiştir. Buna göre, önerilen personel çizelgeleme modeli kullanıldıktan sonra 47 saat kayıp 4 saate düşürülmüştür. Yeni çizelgenin uygulanmasından sonra, santralda personel çizelgeleme hatalarından kaynaklanan hatalar nedeniyle sadece 4 saat duraklama görülür. Bu sebeple, bu



çalışma, uygulama sonuçlarının verilmesi bağlamında literatürdeki diğer çalışmalardan farklıdır.

Bu tez, santralde personel çizelgeleme kaynaklı fazla maliyetlerin düşürülmesine büyük katkı sağlamıştır. Bu konuda santral kapasitesinin hesaplanarak açıklanması daha uygundur. Önceki mevcut personel çizelgelemede günlük dengesiz iş yükü ataması nedeniyle, çok sayıda personel daha yüksek ücret maliyetlerine neden olmaktadır. Çizelge 6.21’de çizelgeleme çalışmaları sonrasında her bir problemin sonuçlarından elde edilen kazanımlar özetlenmiştir.

**Çizelge 6.21.** Çizelgeleme uygulamalarının yardımı ile sağlanan maliyet kazanımları

<b>Problem Numarası</b>	<b>Maliyet</b>	<b>Kazanım (\$)</b>	<b>Kazanım (Yüzde)</b>	
<b>El ile yapılan</b>	58.125 \$	-	-	
<b>Problem 1</b>	55.408 \$	2.717 \$	4,67 %	
<b>Problem 2</b>	53.703 \$	4.422 \$	7,61 %	
<b>Problem 3</b>	54.711 \$	3.414 \$	5,87 %	
<b>Problem 4</b>	45.442 \$	12.683 \$	21,82 %	
<b>Problem 5</b>	40.390 \$	17.735 \$	30,51 %	
<b>Problem 6</b>	<b>İlkbahar</b>	43.330 \$	14.795 \$	25,45 %
	<b>Yaz</b>	30.412 \$	27.713 \$	47,67 %
	<b>Sonbahar</b>	34.090 \$	24.035 \$	41,35 %

Çizelge 6.21’den de anlaşılacağı üzere personel ataması kaynaklı maliyet kazanımları olmuştur. Özellikle mevsimler değişimleri sonucunda azalan personel ihtiyacının belirlenmesi sayesinde %48’lere varan maliyet kazanımları sağlanmıştır. Tespit edilen personel fazlalığının periyodik bakım işlerine yönlendirilmesi sayesinde de hem bakım işi için ihtiyaç duyulan personel sağlanmış hem de maliyetten tasarruf sağlanmıştır. Her personelin kıdem seviyesine göre farklı mevsimlerde çalıştıkları aylık gün sayısının toplamı Çizelge 6.22’de verilmiştir. Çizelge 6.22’den de anlaşılacağı üzere farklı mevsimlerde farklı iş yüklerinin personele dengeli bir şekilde atanması sağlanmıştır.

**Çizelge 6.22.** Kıdem seviyesine göre farklı mevsimlerde aylık toplam çalışma günü sayısı

<b>Kıdem Seviyesi</b>	<b>Önceki Çizelge</b>	<b>İlkbahar</b>	<b>Yaz</b>	<b>Sonbahar</b>	<b>Kış</b>
<b>Vardiya Amiri</b>	11-25 Gün	19-20 Gün	13-14 Gün	16-17 Gün	22 Gün
<b>Ustabaşı</b>	19-26 Gün	19-20 Gün	13-14 Gün	16-17 Gün	23 Gün
<b>Usta</b>	11-28 Gün	19-20 Gün	13-14 Gün	16-17 Gün	22-23 Gün
<b>Yardımcı</b>	11-27 Gün	19-20 Gün	13-14 Gün	16-17 Gün	22-23 Gün

Önceki çizelgeye göre adil iş dağılımında %100 iyileşme yaşanmıştır. Örneğin; ustabaşı eskiden çizelgede yaz mevsiminde ayda toplam maksimum 26 gün çalışırken önerilen çizelgede yaz mevsiminde ayda toplam maksimum 13 gün çalışmaya başlamıştır.

Karar verme süreçlerinde yöneticilere ve iş profesyonellerine inter-aktif bilgi desteği sağlayan bilgisayar tabanlı modellerden yardım alınmaktadır [410]. Karar vericiler; iş kararlarını desteklemek için analitik modeller, özel veritabanları, kendi içgörülerini ve kararları ile etkileşimli bilgisayar tabanlı modelleme sürecini kullanır [410]. Bu modeller, çeşitli alanlardaki uzmanların bilgilerini karar verme sürecine dâhil etmeye ve olası alternatifler önermeye çalışır. Bu modellerin birçoğunun doğal boyutu ve karmaşıklığı, etkili karar verme için matematiksel modelleri gerekli kılmaktadır. Bu tezde de önerilen modelde personel çizelgeleme problemi için alınacak kararlarda sistem bütününe yardımcı olan bir karar destek modeli önerilmiştir. Son zamanlarda karar desteği sağlamak için geliştirilen modeller, sundukları fırsatlar nedeniyle şirketler üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu modeller daha iyi karar verme mekanizması ve bilginin daha iyi temsil edilmesi için veri madenciliği, istatistiksel analiz ve verilerin analitik işlenmesini gerçekleştirebilir. Nitekim, yenilikçi şirketlerin çoğu bu konuyu önemsemektedir ve yatırım yapmayı düşünmektedir [410].

## 7. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu tezde, Türkiye'nin elektrik üretiminin %7.22'sini karşılayan [6] bir DGKÇS'de personel çizelgeleme uygulaması gerçekleştirilmiştir. Tezde personel çizelgelemesi yapılan santral, elektrik üretimi açısından Türkiye'nin en büyük santrallardan biridir. Bu santralda görev alan personelin çalışma verimliliğinin artırılması, elektrik üretim miktarının azaldığı durumlarda personelin bakım planlamasına yönlendirilmesi, elektrik üretim maliyetlerinin azaltılması ve kesintisiz enerji arzına katkı sağlaması temelinde önemlidir. DGKÇS'ler; Türkiye'deki elektrik üretiminde yıllık ortalama %32,20'lik [5] pay ile enerji arz güvenliğinin sağlanmasındaki en önemli alt yapı yatırımlarındandır. Sürdürülebilir bir enerji politikasının temel gereği olarak bu santrallarda düşük maliyetli, verimli ve kesintisiz enerji üretiminin gerçekleştirilebilmesi ve bakım yapılabilmesi vazgeçilmez bir gereksinimdir.

DGKÇS'lerin yüksek kapasiteye sahip olmaları, düşük kurulum süreleri ve maliyetleri, düşük çevresel etkileri, kısa çalışma süreleri, yüksek verimleri, işletme ve bakım kolaylıkları ve diğer enerji santrallarına kıyasla uzun bir ekonomik ömre sahip olmaları gibi önemli avantajları vardır. Özellikle fosil yakıtlar gibi elektrik üretiminde temel yük ihtiyacını karşılarlar. Ülkemizde kaynak mevcudiyeti olmamasına rağmen avantajları nedeniyle bu santrallar, 2019 yılının son çeyreği itibariyle Türkiye'nin enerji karışımının üçte biriyle ilk sırada yer almaktadır [2].

DGKÇS'lerin temel amacı, diğer elektrik santrallarında da olduğu gibi, sürdürülebilir bir enerji arzı sağlamaktır. Bu kapsamlı hedefin en önemli ve sorunlu dayanaklarından biri de kesintisizliktir. Çünkü, DGKÇS'ler işletme ve bakım direktifleri dikkate alınmadan işletildiğinde, düşük yakıt kalitesi, şebeke arızası, atmosferik koşullar ve su eksikliği gibi birçok faktör sebebiyle üretimini durdurabilir. Buna ek olarak, SCADA sistemi bulunmayan veya bir ana kontrol odasından yönetilmeyen DGKÇS'lerde, elektrik santrali üzerine yayılmış ekipmana elle müdahale ederek yerinde çalışmalar yapılması gerekir. Bu bağlamda, üretimin devamlılığı doğrudan personelle ya da bir başka deyişle onların dikkatleriyle ilgilidir. Çünkü yorgunluk, isteksizlik ve

motivasyon eksikliği personellerin gerekli müdahaleleri zamanında yapmamasına neden olabilir. Bu durum, santralda daha uzun süreli kapanmalara neden olabilir.

DGKÇS'ler işgücünün yoğun olarak kullanıldığı santrallardır. DGKÇS'lerdeki temel amaç, asgari işletme koşullarını sağlarken, işçilik maliyetlerini en alt seviyede tutup çalışan memnuniyetini en üst düzeye çıkarmaktır [386]. Bu hedefe ulaşmak için çeşitli teknikler kullanılmalıdır. Personel çizelgeleme modelleri bu açıdan yararlı araçlar olarak kabul edilir [387]. Santrallarda personel motivasyonunu arttırmanın önemli bir yolu adil iş dağılımı oluşturmaktır. Bu dağılım oluşturulurken personelin yetenek ve yetkinlik bazlı görevlere atanması da göz önüne alınmalıdır. Bu nedenle tezde, Türkiye'deki büyük ölçekli DGKÇS'lerden birinde yetenek temelli personel çizelgeleme problemi ele alınmış ve personellerin yetenek etkilerinin hesaplanmasında AAS kullanılmıştır. Bu kavramlarla desteklenen çok amaçlı hedef programlama modelinin çözülmesiyle personel çizelgesi elde edilmiştir. Personel hataları nedeniyle üretim duruşlarında azalma sağlanmıştır.

Çalışmada birbirinden farklı altı problem çözümü yapılmıştır. Bu problemlerin sonuçları birbirleriyle kıyaslanmış, iyi-kötü yönleri ortaya konulmuştur. Son problemde 4 farklı mevsim için farklı sonuçlar hesaplanmış ve sonuçlar birbirleriyle kıyaslanmıştır.

Santral, öncesinde belli bir sistematik olmaksızın ve personel nitelikleri gözetilmeksizin işletilmiştir. Bu sebeple, personellerin motivasyon ve iş taleplerinde kaybolma, dikkat seviyelerinde önemli ölçüde azalma meydana gelmiştir. Ayrıca santralda, personel hataları nedeniyle 53 saat boyunca üretim duruşu yaşanmıştır. Bu kayıp, milyonlarca megavat enerji anlamına gelmektedir ve önemli bir parasal büyüklüktür. Bu tez kapsamında önerilen hedef programlama modeli ile oluşturulan çizelge; personel iş motivasyonunu, adil iş dağıtımını ve personel kabiliyetleri temelinde sağlanan faydayı maksimize etmiştir. Üretim duruşu 4 saate düşmüştür. Böylece personel merkezli üretim duruş sürelerinde %92,5'lik bir iyileşme sağlanmıştır.

Personellerin motivasyon kaybının en önemli sebeplerinden ikisi, operatörlerin kıdemlerine bakılmaksızın adil, dengeli bir dağıtım yapmadan atanması ve uzmanlık

seviyelerine bakılmaksızın vardiyalara atanmasıdır. Bu gerçeğe, bu tezin yapıldığı santraldaki tüm yöneticiler ve mühendisler tarafından onay verilmiştir. Uzmanlık seviyelerinin motivasyon üzerindeki etkisi, her personelin kendini güvende hissetmesi ile ilgilidir. Yukarıda belirtildiği gibi, enerji santrallerinde üretilen elektriğin sürdürülebilirlikten uzaklaştırılması, maddi kayıplara ve sosyal sorunlara neden olabilir. Ek olarak, her vardiya dört kıdem düzeyinde bir ekip oluşturmak ve ekip üyelerini dengeli bir uzmanlık düzey dağılımına göre atamak sürdürülebilir enerji arzının kesintiye uğramayacağı anlamı taşımaktadır. Bu durum, önerilen modelin duruş sürelerinde %92,5'lik iyileşme sağlaması ile tutarlıdır. Bu açıdan, DGKÇS'lerde önerilen personel çizelgeleme modelinde, personel yetkinliklerinin dikkate alınması, personel motivasyonunun arttırmıştır.

Model, IBM ILOG Optimization Tool kullanılarak makul bir sürede çözülmüştür. Tezdeki model, mevcutta el ile yapılan çizelgelemeye göre aylık bir çizelge hazırlama süresini önemli ölçüde azaltmıştır. Bu modelle elde edilen çizelge temelinde, çalışanların izinli olma tercihlerinden memnun olmaları mevcut çizelgeye göre önemli ölçüde artmıştır. Formüle edilen hedef programlama modelini kullanarak, iş tatminini en üst düzeye çıkararak optimum sonuçların elde edilebileceği gösterilmiştir.

Önerilen hedef programlama modeli, tatil günleri, personel grupları, vardiya sayısı vb. gibi bazı olası kısıtlar değiştirilerek diğer santrallara adapte edilme potansiyeline sahiptir. Ayrıca önerilen model, kendi kapalı sistem teknolojisiyle çalışan, belirli kısıtlamaları olan ve bir merkezi kontrol sistemi olmadan işletilen DGKÇS'lere doğrudan uygulanabilir. Önerilen modelin gerçek hayat enerji santrali yönetimi ile tutarlı olan hesaplama sonuçları; bu çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalardan öne çıktığını göstermektedir.

Çalışmanın sonuçlarının detaylı olarak incelenmesi ve çizelgenin uzun vadeli olarak uygulanması, literatüre sağlanan katkı için önemlidir. Uygulamadaki, personel çizelgeleme problemleri diğer çizelgeleme problemleriyle entegre edilebilir. Örneğin, makine çizelgeleme ve personel çizelgelemenin entegrasyonu vb. Literatürde bu konuya henüz değinilmemiştir. Bununla birlikte, şu anda piyasada çok sayıda çizelgeleme paket programı bulunmaktadır. Çözüm yöntemiyle ilgili olarak,

literatürün matematiksel programlama ve metasezgisel yaklaşımlarını çoğalttığını görmek mümkündür.

Son yıllarda, tamsayı programlama problemlerini çözmek için kullanılan algoritmaların verimliliğinde artış olmasına rağmen, uzun süren çalışma süreleri ve bellek gereklilikleri nedeniyle orta ve büyük boyuttaki pratik problemleri çözmek için sıklıkla uygulanamazlar [386]. Hedef programlama modelleri ile kısa hesaplama süreleri sebebiyle tam veya yaklaşık bir çözüm elde edilebilir.

Personel çizelgeleme problemini geliştirmek veya araştırmak üzere gelecekteki çalışmalara ilişkin diğer öneriler şu şekilde sıralanabilir: Fazla mesai kısıtını, uygulama alanında daha pratik hale getirmek için karar değişkenleri ve kısıtlamalarının sayısı stratejik olarak azaltılıp gruplandırılabilir. Model üzerinde yapılacak değişikliklerle bu tezde kullanılan model başka santrallara da uygulanabilir ve o santrallardaki personel çizelgeleme problemleri çözülebilir. Farklı bir bakış açısına göre araştırmacılar, personel çizelgeleme problemlerini hızlı bir şekilde çözmek için (kullanıcıların elde ettiği çözümlere dayalı matematiksel modeli ve bilgiyi kullanmak için) kullanıcı dostu bir arayüz oluşturabilir.

## 8. KAYNAKÇA

- [1] Özcan, E.C., Eren, T., “Bakım Planlamasında TOPSIS Yöntemi Uygulaması: Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali Örneği”, International Journal of Engineering Research and Development, 5 (2), 2013.
- [2] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2010 - 2014 Stratejik Planı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 25- 30, 2009.
- [3] Özcan, E.C., “Elektrik üretim planlamasında çok amaçlı optimizasyon yaklaşımı: Türkiye örneği”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 1, 2013.
- [4] <https://hbogm.meb.gov.tr/MTAO/2ElektrikTesisatBilgisi/unite4.pdf>  
Erişim Tarihi: 15.10.2019.
- [5] Yıldız, T., “2018 yılı bütçe sunumu”, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 1, 2018.
- [6] Elektrik Üretim Anonim Şirketi; Yıllık Faaliyet Raporu; EÜAŞ, Türkiye, 2019.
- [7] Koç, E., Kaplan, E., “Dünyada ve Türkiye’de Genel Enerji Durumu-II Türkiye Değerlendirmesi”, Termodinamik Dergisi, Sayı: 188, 106-118, 2008.
- [8] <https://www.aga.org/natural-gas/energy-education/> Erişim Tarihi: 15.10.2019.
- [9] Şen, G., "Doğal Gaz Kombine Çevrim Santralinde Performans Analizi" Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2018.

- [10] Bayrakçeken, H. B., "Doğal Gazlı Kombine Çevrimli Bir Santralin Ekserji Analizi ile İncelenmesi", Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, 2019.
- [11] Çiloğlu, S., "EÜAŞ Ambarlı Doğalgaz Kombine Çevrim Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi", İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, 2019.
- [12] Gümüş, B. S., "Bir Doğalgaz Kombine Çevrim Güç Santralinde Enerji ve Ekserji Analizi" Yalova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, 2019.
- [13] Alfares, H.K. Survey, categorization, and comparison of recent tour scheduling literature, *Annals of Operations Research* 127: 145–175, 2004.
- [14] Ernst, A.T.; Jiang H.; Krishnamoorthy M.; Owens B.; Sier D. An annotated bibliography of personnel scheduling and rostering, *Annals of Operations Research* 127: 21–144, 2004..
- [15] Ernst, A.T.; Jiang H.; Krishnamoorthy M.; Sier D. Staff scheduling and rostering: a review of applications, methods and models, *European Journal of Operational Research* 153: 3–27, 2004.
- [16] Tien, J. M.; Kamiyama, A. On mAASower scheduling algorithms. *SIAM Review*, 24: 275–287, 1982.
- [17] Burke, E.; De Causmaecker P.; Vanden Berghe G.; Van Landeghem H. The state of the art of nurse rostering. *Journal of Scheduling*, 7: 441–499, 2004.
- [18] Brucker, P.; Qu R.; Burke E. Personnel scheduling: models and complexity, *European Journal of Operational Research*, 210: 467–473, 2011.



- [19] Bergh, J.V.; Beliën, J.; Bruecker, P.; Demeulemeester, E.; Boeck, L. Personnel scheduling: A literature review, *European Journal of Operational Research*, 226, 367–385, 2013.
- [20] Demeulemeester, E. L.; Herroelen, W. S. *Project Scheduling: A Research Handbook*, Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 2002.
- [21] Patterson, J.H. A comparison of exact approaches for solving the multiple constrained resources Project scheduling problem. *Management Science*, 30, 854–867, 1984.
- [22] Blazewicz, J.; Cellary W., Slowinski R. & Weglarz J., Scheduling under resource constraints - deterministic models. *Annals of Operations Research*, 7, 1986.
- [23] Kolish, R., *Project Scheduling under Resource Constraints*. Physica-Verlag (Springer Verlag), Heidelberg 1995.
- [24] Brucker, P., Drexl A., Möhring R., Neumann K. & Pesch E., Resource constrained project scheduling: notation, classification, models, and methods. *European Journal of Operational Research*, 112, 3–41, 1999.
- [25] Neumann, K., Schwindt C., Zimmermann J., *Project Scheduling with Time Windows and Scarce Resources*. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems No. 508, Springer Verlag, Berlin, 2001.
- [26] Burgess, W. J., & Busby R. E., *Personnel Scheduling*. In: G. Salvendy (ed.), *Handbook of Industrial Engineering* chapter 81, pp. 2155–2169. J. Wiley, New York (1992).
- [27] Nanda R., & Browne J., *Introduction to Employee Scheduling*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.

- [28] Bodin, L., Golden B., Assad A., Ball M., Routing and Scheduling of Vehicles and Crews: The State of the Art. *Computers and Operations Research*, 10, 63–211 1983.
- [29] Marsten, R. E.; Shepardson, F. Exact solution of crew scheduling problems using the set partitioning model: recent successful applications. *Networks*, 1981, 11, pp. 165–177.
- [30] Stojkovic, M.; Soumis F.; Desrosiers, J. The operational airline crew scheduling problem. *Transportation Science*, 1998, 32, pp. 232–245.
- [31] Çayırılı, T.; Veral, E. Outpatient scheduling in health care: a review of literature. *Production and Operations Management*, 2003, 12(4), pp. 519–549.
- [32] Gupta, D.; Denton, B., Appointment scheduling in health care: challenges and opportunities. *IIE Transactions*, 40(9): 800–819 (2008).
- [33] De Werra D., Some models of graphs for scheduling sports competitions. *Discrete Applied Mathematics*, 21: 47–65 (1988).
- [34] Abbink E., Fischetti M., Kroon L., Timmer G., Vromans M., Reinventing crew scheduling at Netherlands railways, *Interfaces* 35 (2005) 393–401.
- [35] Aickelin U., Burke E.K., Li J.P., Improved squeaky wheel optimisation for driver scheduling, *Parallel Problem Solving from Nature – Ppsn Ix*, Lecture Notes in Computer Science, vol. 4193, 2006, pp. 182–191.
- [36] Aickelin U., Burke E.K., Li J.P., An evolutionary squeaky wheel optimization approach to personnel scheduling, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 13 (2009) 433–443.

- [37] Aickelin U., Dowsland K.A., An indirect genetic algorithm for a nurse scheduling problem, *Computers & Operations Research* 31 (2004) 761–778.
- [38] Aickelin U., White P., Building better nurse scheduling algorithms, *Annals of Operations Research* 128 (2004) 159–177.
- [39] Akbari M., Zandieh M., Dorri B., Scheduling part-time and mixed-skilled workers to maximize employee satisfaction, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 64 (2012) 1017–1027.
- [40] Akjiratikarl C., Yenradee P., Drake P.R., PSO-based algorithm for home care worker scheduling in the UK, *Computers & Industrial Engineering* 53 (2007) 559–583.
- [41] Al-Yakoob S.M., Sherali H.D., Mixed-integer programming models for an employee scheduling problem with multiple shifts and work locations, *Annals of Operations Research* 155 (2007) 119–142.
- [42] Al-Yakoob S.M., Sherali H.D., Multiple shift scheduling of hierarchical workforce with multiple work centers, *Informatica* 18 (2007) 325–342.
- [43] Al-Yakoob S.M., Sherali H.D., A column generation approach for an employee scheduling problem with multiple shifts and work locations, *Journal of the Operational Research Society* 59 (2008) 34–43.
- [44] Alfares H.K., Compressed workweek scheduling with days-off consecutivity weekend-off frequency and work stretch constraints, *Informatica* 44 (2006) 175–189.
- [45] Alfares H.K., Operator staffing and scheduling for an IT-help call centre, *European Journal of Industrial Engineering* 1 (2007) 414–430.

- [46] Alfares H.K., A simulation approach for stochastic employee days-off scheduling, *International Journal of Modelling and Simulation* 27 (2007) 9–15.
- [47] Alfieri A., Kroon L., Van De Velde S., Personnel scheduling in a complex logistic system: a railway application case, *Journal of Intelligent Manufacturing* 18 (2007) 223–232.
- [48] Alsheddy A., Tsang E.P.K., Empowerment scheduling for a field workforce, *Journal of Scheduling* 14 (2011) 639–654.
- [49] Asensio-Cuesta S., Diego-Mas J.A., Canos-Daros L., Andres-Romano C., A genetic algorithm for the design of job rotation schedules considering ergonomic and competence criteria, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 60 (2012) 1161–1174.
- [50] Ásgeirsson E., Bridging the gap between self-schedules and feasible schedules in staff scheduling, *Annals of Operations Research*, 218 (2014) 51–69.
- [51] Atlason J., Epelman M.A., Henderson S.G., Call center staffing with simulation and cutting plane methods, *Annals of Operations Research* 127 (2004) 333– 358.
- [52] Atlason J., Epelman M.A., Henderson S.G., Optimizing call center staffing using simulation and analytic center cutting-plane methods, *Management Science* 54 (2008) 295–309.
- [53] Avramidis A.N., Chan W., Gendreau M., L’Ecuyer P., Pisacane O., Optimizing daily agent scheduling in a multiskill call center, *European Journal of Operational Research* 200 (2010) 822–832.

- [54] Avramidis A.N., Chan W., L'Ecuyer P., Staffing multi-skill call centers via search methods and a performance approximation, *IIE Transactions* 41 (2009) 483–497.
- [55] Avramidis A.N., Gendreau M., L'Ecuyer P., Pisacane O., Simulation-based optimization of agent scheduling in multiskill call centers, in: *5th Industrial Simulation Conference 2007*, 2007, pp. 255–263.
- [56] Awadallah M., Khader A., Al-Betar M., Bolaji A., Nurse rostering using modified harmony search algorithm, in: *Second International Conference on Swarm, Evolutionary, and Memetic Computing, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 7077, Springer, Berlin, Heidelberg, 2011, pp. 27–37.
- [57] Azaiez M.N., Al Sharif S.S., A 0-1 goal programming model for nurse scheduling, *Computers & Operations Research* 32 (2005) 491–507.
- [58] Azmat C.S., Hurlimann T., Widmer M., Mixed integer programming to schedule a single-shift workforce under annualized hours, *Annals of Operations Research* 128 (2004) 199–215.
- [59] Azmat C.S., Widmer M., A case study of single shift planning and scheduling under annualized hours: a simple three-step approach, *European Journal of Operational Research* 153 (2004) 148–175.
- [60] Bagatourova O., Mallya S.K., Coupled heuristic and simulation scheduling in a highly variable environment, in: *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference*, vols. 1 and 2, 2004, pp. 1856–1860.
- [61] Bai R., Burke E.K., Kendall G., Li J., McCollum B., A hybrid evolutionary approach to the nurse rostering problem, *Transactions on Evolutionary Computation* 14 (2010) 580–590.

- [62] Bailyn L., Collins R., Song Y., Self-scheduling for hospital nurses: an attempt and its difficulties, *Journal of Nursing Management* 15 (2007) 72–77.
- [63] Bard, J.F., Binici, C. ve De Silva, A.H., Staff scheduling at the United States Postal Service, *Comput. Oper. Res.*, 30, 745–771, 2003.
- [64] Bard J.F., Selecting the appropriate input data set when configuring a permanent workforce, *Computers & Industrial Engineering* 47 (2004) 371–389.
- [65] Bard J.F., Staff scheduling in high volume service facilities with downgrading, *IIE Transactions* 36 (2004) 985–997.
- [66] Bard J.F., Morton D.P., Wang Y.M., Workforce planning at USPS mail processing and distribution centers using stochastic optimization, *Annals of Operations Research* 155 (2007) 51–78.
- [67] Bard J.F., Purnomo H.W., Hospital-wide reactive scheduling of nurses with preference considerations, *IIE Transactions* 37 (2005) 589–608.
- [68] Bard J.F., Purnomo H.W., Preference scheduling for nurses using column generation, *European Journal of Operational Research* 164 (2005) 510–534.
- [69] Bard J.F., Purnomo H.W., Cyclic preference scheduling of nurses using a Lagrangian-based heuristic, *Journal of Scheduling* 10 (2007) 5–23.
- [70] Bard J.F., Wan L., The task assignment problem for unrestricted movement between workstation groups, *Journal of Scheduling* 9 (2006) 315–341.

- [71] Bard J.F., Wan L., Workforce design with movement restrictions between workstation groups, *Manufacturing & Service Operations Management* 10 (2008) 24–42.
- [72] Beddoe G., Petrovic S., J. Li, A hybrid metaheuristic case-based reasoning system for nurse rostering, *Journal of Scheduling* 12 (2009) 99–119.
- [73] Beddoe G.R., S. Petrovic, Selecting and weighting features using a genetic algorithm in a case-based reasoning approach to personnel rostering, *European Journal of Operational Research* 175 (2006) 649–671.
- [74] Beliën J., Demeulemeester E., Scheduling trainees at a hospital department using a branch-and-price approach, *European Journal of Operational Research* 175 (2006) 258–278.
- [75] Beliën J., Demeulemeester E., On the trade-off between staff-decomposed and activity-decomposed column generation for a staff scheduling problem, *Annals of Operations Research* 155 (2007) 143–166.
- [76] Beliën J., Demeulemeester E., A branch-and-price approach for integrating nurse and surgery scheduling, *European Journal of Operational Research* 189 (2008) 652–668.
- [77] Beliën J., Forcé H., Supply chain management of blood products: a literature review, *European Journal of Operational Research* 217 (2012) 1–16.
- [78] Bellanti F., Carello G., Della Croce F., Tadei R., A greedy-based neighborhood search approach to a nurse rostering problem, *European Journal of Operational Research* 153, 28–40, 2004.
- [79] Bester M.J., Nieuwoudt I., Van Vuuren J.H., Finding good nurse duty schedules: a case study, *Journal of Scheduling* 10, 387–405, 2007.

- [80] Bhatnagar R., Saddikutti V., Rajgopalan A., Contingent mAASower planning in a high clock speed industry, *International Journal of Production Research* 45 (2007) 2051–2072.
- [81] Bhulai S., Koole G., Pot A., Simple methods for shift scheduling in Multiskill call centers, *Manufacturing & Service Operations Management* 10 (2008) 411–420.
- [82] Bilgin B., De Causmaecker P., Rossie B., Van den Berghe G., Local search neighbourhoods for dealing with a novel nurse rostering model, *Annals of Operations Research* 194 (2012) 33–57.
- [83] Bilgin B., Demeester P., Misir M., Vancroonenburg W., Van den Berghe G., Wauters T., A hyper-heuristic combined with a greedy shuffle approach to the nurse rostering competition, in: *International Conference on Practice and Theory of Automated Timetabling VIII*, (2010).
- [84] Blochliger I., Modeling staff scheduling problems: a tutorial, *European Journal of Operational Research* 158 (2004) 533–542.
- [85] Brucker P., Burke E.K., Curtois T., Qu R., Van den Berghe G., A shift sequence-based approach for nurse scheduling and a new benchmark dataset, *Journal of Heuristics* 16 (2010) 559–573.
- [86] Brunner J., Bard J., Flexible weekly tour scheduling for postal service workers using a branch and price, *Journal of Scheduling*, 16 (2013) 129–149.
- [87] Brunner J.O., *Flexible Shift Planning in the Service Industry: The Case of Physicians in Hospitals*, *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Springer, Berlin Heidelberg, 2010.



- [88] Brunner J.O., Bard J.F., Kolisch R., Flexible shift scheduling of physicians, *Health Care Management Science* 12 (2009) 285–305.
- [89] Brunner J.O., J.F. Bard, R. Kolisch, Midterm scheduling of physicians with flexible shifts using branch and price, *IIE Transactions* 43 (2011) 84–109.
- [90] Brunner J.O., Edenharter G.M., Long term staff scheduling of physicians with different experience levels in hospitals using column generation, *Health Care Management Science* 14 (2011) 189–202.
- [91] Brusco M.J., An exact algorithm for a workforce allocation problem with application to an analysis of cross-training policies, *IIE Transactions* 40 (2008) 495–508.
- [92] Brusco M.J., Johns T.R., An integrated approach to shift-starting time selection and tour-schedule construction, *Journal of the Operational Research Society* 62 (2011) 1357–1364.
- [93] Burke E., Curtois T., An ejection chain method and a branch and price algorithm applied to the instances of the first international nurse rostering competition, 2010, in: *International Conference on Practice and Theory of Automated Timetabling VIII*, 2010.
- [94] Burke E., Curtois T., New computational results for nurse benchmark instances, *Lecture Notes in Computer Science book series (LNCS, volume 3906)*, 2006.
- [95] Burke E., Curtois T., Hyde M., Kendall G., Ochoa G., Petrovic S., Vaacutierrez-Rodriacuteguez J.A., Gendreau M., Iterated local search vs hyper-heuristics: towards general-purpose search algorithms. *IEEE Congress on Evolutionary Computation, Barcelona, Spain, 2010*, 1–8.

- [96] Burke E., De Causmaecker P., Van den Berghe G., Novel Meta-heuristic Approaches to Nurse Rostering Problems in Belgian Hospitals, *Handbook of nScheduling: Algorithms, Models and Performance Analysis*, CRC Press, Boca Raton, 2004.
- [97] Burke E.K., Curtois T., Post G., Qu R., Veltman B., A hybrid heuristic ordering and variable neighbourhood search for the nurse rostering problem, *European Journal of Operational Research* 188 (2008) 330–341.
- [98] Burke E.K., Curtois T., Qu R., Van den Berghe G., A scatter search methodology for the nurse rostering problem, *Journal of the Operational Research Society* 61 (2010) 1667–1679.
- [99] Burke E.K., Curtois T., Van Draat L.F., Van Ommeren J.K., Post G., Progress control in iterated local search for nurse rostering, *Journal of the Operational Research Society* 62 (2011) 360–367.
- [100] Burke E.K., De Causmaecker P., Petrovic S., Van den Berghe G., Metaheuristics for handling time interval coverage constraints in nurse scheduling, *Applied Artificial Intelligence* 20 (2006) 743–766.
- [101] Burke E.K., De Causmaecker P., Van den Berghe G., Van Landeghem H., The state of the art of nurse rostering, *Journal of Scheduling* 7 (2004) 441–499.
- [102] Burke E.K., Li J.P., Qu R., A hybrid model of integer programming and variable neighbourhood search for highly-constrained nurse rostering problems, *European Journal of Operational Research* 203, 2010, 484–493.
- [103] Campbell G.M., A two-stage stochastic program for scheduling and allocating cross-trained workers, *Journal of the Operational Research Society* 62 (2011) 1038–1047.

- [104] Canon C., Personnel scheduling in the call center industry, 4or-a, Quarterly Journal of Operations Research 5 (2007) 89–92.
- [105] Cappanera P., Gallo G., A multicommodity flow approach to the crew rostering problem, Operations Research 52 (2004) 583–596.
- [106] Cardoen B., Demeulemeester E., Beliën J., Operating room planning and scheduling: a literature review, European Journal of Operational Research 201 (2010) 921–932.
- [107] Carrasco R.C., Long-term staff scheduling with regular temporal distribution, Computer Methods and Programs in Biomedicine 100 (2010) 191–199.
- [108] Castillo I., Joro T., Li Y.Y., Workforce scheduling with multiple objectives, European Journal of Operational Research 196 (2009) 162–170.
- [109] Cezik M.T., L'Ecuyer P., Staffing multiskill call centers via linear programming and simulation, Management Science 54 (2008) 310–323.
- [110] Cezik T., Gunluk O., Reformulating linear programs with transportation constraints – with applications to workforce scheduling, Naval Research Logistics 51 (2004) 275–296.
- [111] Chakhlevitch K., Cowling P., Choosing the fittest subset of low level heuristics in a hyperheuristic framework, Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization, Lausanne, Switzerland, Lecture Notes in Computer Science, vol. 3448, 2005, pp. 23–33.
- [112] Chapados N., Joliveau M., Rousseau L.-M., in: T. Achterberg, J. Beck (Eds.), Integration of AI and OR Techniques in Constraint Programming for Combinatorial Optimization Problems, 2010.

- [113] Chen C.-H., Yan S., Chen M., Short-term mAAASower planning for MRT carriage maintenance under mixed deterministic and stochastic demands, *Annals of Operations Research* 181 (2010) 67–88.
- [114] Chiaramonte M.V., Chiaramonte L.M., An agent-based nurse rostering system under minimal staffing conditions, *International Journal of Production Economics* 114 (2008) 697–713.
- [115] Choi K., Hwang J., Park M., Scheduling restaurant workers to minimize labor cost and meet service standards, *Cornell Hospitality Quarterly* 50 (2009) 155–167.
- [116] Chu S.C.K., Generating, scheduling and rostering of shift crew-duties: applications at the Hong Kong International Airport, *European Journal of Operational Research* 177 (2007) 1764–1778.
- [117] Cipriano R., Di Gaspero L., Dovier A., Hybrid approaches for rostering: a case study in the integration of constraint programming and local search, *Hybrid Metaheuristics, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 4030, 2006, pp. 110–123.
- [118] Cordeau J.-F., Laporte G., Pasin F., Ropke S., Scheduling technicians and tasks in a telecommunications company, *Journal of Scheduling* 13 (2010) 393–409.
- [119] Corominas A., Lusa A., Olivella J., A detailed workforce planning model including non-linear dependence of capacity on the size of the staff and cash management, *European Journal of Operational Research* 216 (2012) 445–458.
- [120] Corominas A., Lusa A., Pastor R, Planning annualised hours with a finite set of weekly working hours and joint holidays, *Annals of Operations Research* 128 (2004) 217–233.

- [121] Corominas A., Lusa A., Pastor R., Using a MILP model to establish a framework for an annualised hours agreement, *European Journal of Operational Research* 177 (2007) 1495–1506.
- [122] Corominas A., Olivella J., Pastor R., Capacity planning with working time accounts in services, *Journal of the Operational Research Society* 61 (2010) 321–331.
- [123] Costa M.C., Jarray F., Picouveau C., An acyclic days-off scheduling problem, 4or-a, *Quarterly Journal of Operations Research* 4 (2006) 73–85.
- [124] Cote M.C., Gendron B., Rousseau L.-M., Grammar-based integer programming models for multi-activity shift scheduling, *Electronic Notes in Discrete Mathematics* 36 (2010) 727–734.
- [125] Cote M.C., Gendron B., Quimper C.G., Rousseau L.M., Formal languages for integer programming modeling of shift scheduling problems, *Constraints* 16 (2011) 54–76.
- [126] Cote M.C., Gendron B., Rousseau L.M., Integration of AI and OR Techniques in Constraint Programming for Combinatorial Optimization Problems, Brussels, Belgium, *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 4510, 2007, 29–43.
- [127] Dantzig G.B., Letter to the Editor—A Comment on Edie’s ‘‘Traffic Delays at Toll Booths’’, *Operations Research* 2, 1954, 339–341.
- [128] De Causmaecker P., Demeester P., Van den Berghe G., Verbeke B., in: *International Conference on Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT 2004)*, Pittsburgh, USA, Carnegie Mellon University, 2004, 183–197.

- [129] De Causmaecker P., Van den Berghe G., A categorisation of nurse rostering problems, *Journal of Scheduling* 14, 2011, 3–16.
- [130] De Causmaecker P., Van den Berghe G., Towards a reference model for timetabling and rostering, *Annals of Operations Research* 194, 2012, 167–176.
- [131] De Grano M.L., Medeiros D., Eitel D., Accommodating individual preferences in nurse scheduling via auctions and optimization, *Health Care Management Science* 12, 2009, 228–242.
- [132] De Matta R., Peters E., Developing work schedules for an inter-city transit system with multiple driver types and fleet types, *European Journal of Operational Research* 192, 2009, 852–865.
- [133] Demassez S., Pesant G., Rousseau L.M., A cost-regular based hybrid column generation approach, *Constraints* 11, 2006, 315–333.
- [134] Detienne B., Peridy L., Pinson E., Rivreau D., Cut generation for an employee timetabling problem, *European Journal of Operational Research* 197, 2009, 1178–1184.
- [135] Di Gaspero L., Gärtner J., Kortsarz G., Musliu N., Schaerf A., Slany W., The minimum shift design problem, *Annals of Operations Research* 155, 2007, 79–105.
- [136] Dietz D.C., Practical scheduling for call center operations, *Omega* 39, 2011, 550–557.
- [137] Drezet L.E., Billaut J.C., A project scheduling problem with labour constraints and time-dependent activities requirements, *International Journal of Production Economics* 112, 2008, 217–225.

- [138] Dück V., Ionescu L., Kliewer N., Suhl L., Increasing stability of crew and aircraft schedules, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 20, 2012, 47–61.
- [139] Eiselt H.A., Marianov V., Employee positioning and workload allocation, *Computers & Operations Research* 35, 2008, 513–524.
- [140] Eitzen G., Panton D., Mills G., Multi-skilled workforce optimisation, *Annals of Operations Research* 127, 2004, 359–372.
- [141] Elizondo R., Parada V., Pradenas L., Artigues C., An evolutionary and constructive approach to a crew scheduling problem in underground passenger transport, *Journal of Heuristics* 16, 2010, 575–591.
- [142] Elshafei M., Alfares H.K., A dynamic programming algorithm for days-off scheduling with sequence dependent labor costs, *Journal of Scheduling* 11, 2008, 85–93.
- [143] Erdoğan G., Erkut E., Ingolfsson A., Laporte G., Scheduling ambulance crews for maximum coverage, *Journal of the Operational Research Society* 61, 2010, 543–550.
- [144] Ertogral K., Bamuqabel B., Developing staff schedules for a bilingual telecommunication call center with flexible workers, *Computers & Industrial Engineering* 54, 2008, 118–127.
- [145] Esses J., Cohn A., Kymissis C., Root S., Westmoreland N., *Using Mathematical Programming to Schedule Medical Residents*, 2006.
- [146] Eveborn P., Flisberg P., Rönnqvist M., Laps care-an operational system for staff planning of home care, *European Journal of Operational Research* 171, 2006, 962–976.

- [147] Eueborn P., Ronnqvist M., Einarsdottir H., Eklund M., Liden K., Almroth M., Operations research improves quality and efficiency in home care, *Interfaces* 39, 2009, 18–34.
- [148] Fagerström L., Evidence-based human resource management: a study of nurse leaders' resource allocation, *Journal of Nursing Management* 17, 2009, 415–425.
- [149] Fahle T., Bertels S., A hybrid setup for a hybrid scenario: combining heuristics for the home health care problem, *Computers & Operations Research* 33, 2006, 2866–2890.
- [150] Farina R.E., Survey reveals top workforce-management priorities related to labor costs and customer satisfaction, *Employment Relations Today* 33, 2007, 7–13.
- [151] Felici G., Gentile C., A polyhedral approach for the staff rostering problem, *Management Science* 50, 2004, 381–393.
- [152] Firat M., Hurkens C.A.J., An improved MIP-based approach for a multi-skill workforce scheduling problem, *Journal of Scheduling* 15, 2012, 363–380.
- [153] Fowler J.W., Wirojanagud P., Gel E.S., Heuristics for workforce planning with worker differences, *European Journal of Operational Research* 190, 2008, 724–740.
- [154] Freling R., Wagelmans A.P.M., Paixao J.M.P., An overview of models and techniques for integrating vehicle and crew scheduling, *Computer-Aided Transit Scheduling, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, vol. 471, 1999, 441–460.



- [155] Frey L., Hanne T., Dornberger R., Optimizing staff rosters for emergency shifts for doctors, in: 2009 IEEE Congress on Evolutionary Computation, Trondheim, Norway, vols. 1–5, 2009, 2540–2546.
- [156] Gartner J., Mushu N., Slany W., A heuristic based system for generation of shifts with breaks, 24th SGAI International Conference on Innovative Techniques and Applications of Artificial Intelligence, Cambridge, England, 2005, 95–106.
- [157] Gendreau M., Ferland J., Gendron B., Hail N., Jaumard B., Lapierre S., Pesant G., Soriano P., Physician scheduling in emergency rooms. 6th International Conference on Practice and Theory of Automated Timetabling VI, Brno, Czech Republic, Springer-Verlag, 2007, 53–67.
- [158] Gibson S., Oldershaw K., Lockhart J., Baker K., Workforce scheduling, tailored to fit, *Journal of Nursing Administration* 39, 2009, 6–8.
- [159] Glass C.A., Knight R.A., The nurse rostering problem: a critical appraisal of the problem structure, *European Journal of Operational Research* 202, 2010, 379–389.
- [160] Goel A., Archetti C., Savelsbergh M., Truck driver scheduling in Australia, *Computers & Operations Research* 39, 2012, 1122–1132.
- [161] Goodale J.C., Thompson G.M., A comparison of heuristics for assigning individual employees to labor tour schedules, *Annals of Operations Research* 128, 2004, 47–63.
- [162] Goodman M.D., Dowsland K.A., Thompson J.M., A grasp-knapsack hybrid for a nurse-scheduling problem, *Journal of Heuristics* 15, 2009, 351–379.

- [163] Gordon L., Erkut E., Improving volunteer scheduling for the Edmonton folk festival, *Interfaces* 34, 2004, 367–376.
- [164] Green L.V., Kolesar P.J., Whitt W., Coping with time-varying demand when setting staffing requirements for a service system, *Production and Operations Management* 16, 2007, 13–39.
- [165] Green L.V., Soares J., Giglio J.F., Green R.A., Using queueing theory to increase the effectiveness of emergency department provider staffing, *Academic Emergency Medicine* 13, 2006, 61–68.
- [166] Gunther M., Nissen V., Combined working time model generation and personnel scheduling, *Advanced Manufacturing and Sustainable Logistics*, Paderborn, Germany, *Lecture Notes in Business Information Processing*, vol. 46, 2010, 210–221.
- [167] Gunther M., Nissen V., Particle swarm optimization and an agent-based algorithm for a problem of staff scheduling, *Applications of Evolutionary Computation*, Istanbul, Turkey, *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 6025, 2010, 451–461.
- [168] Gunther M., Nissen V., Sub-daily staff scheduling for a logistics service provider, *KI – Künstliche Intelligenz* 24, 2010, 105–113.
- [169] Gutjahr W.J., Rauner M.S., An ACO algorithm for a dynamic regional nurse scheduling problem in Austria, *Computers & Operations Research* 34, 2007, 642–666.
- [170] Guyon O., Lemaire P., Pinson E., Rivreau D., Cut generation for an integrated employee timetabling and production scheduling problem, *European Journal of Operational Research* 201, 2010, 557–567.

- [171] Hadwan M., Ayob M.B., An exploration study of nurse rostering practice at hospital Universiti Kebangsaan Malaysia, in: 2nd Conference on Data Mining and Optimization, Bangi, Malaysia, 2009, 107–114.
- [172] Hanne T., Dornberger R., Frey L., Multiobjective and preference-based decision support for rail crew rostering, in: 2009 IEEE Congress on Evolutionary Computation, Trondheim, Norway, vols. 1–5, 2009 990–996.
- [173] Hao G., Lai K.K., Tan M., A neural network application in personnel scheduling, *Annals of Operations Research* 128, 2004, 65–90.
- [174] Harper P.R., Powell N.H., Williams J.E., Modelling the size and skill-mix of hospital nursing teams, *Journal of the Operational Research Society* 61, 2010, 768–779.
- [175] Haspeslagh S., De Causmaecker P., Schaerf A., Stølevik M., The first international nurse rostering competition 2010, *Annals of Operations Research* 218, 2014, 221–236.
- [176] He F., Qu R., A constraint programming-based column generation approach to nurse rostering problems, *Computers & Operations Research* 39, 2012, 3331–3343.
- [177] Heimerl C., Kolisch R., Scheduling and staffing multiple projects with a multiskilled workforce, *Or Spectrum* 32, 2010, 343–368.
- [178] Helber S., Henken K., Profit-oriented shift scheduling of inbound contact centers with skills-based routing, impatient customers, and retrials, *Or Spectrum* 32, 2010, 109–134.
- [179] Hertz A., Lahrichi N., Widmer M., A flexible MILP model for multiple-shift workforce planning under annualized hours, *European Journal of Operational Research* 200, 2010, 860–873.

- [180] Hochbaum D.S., Levin A., Cyclical scheduling and multi-shift scheduling: complexity and approximation algorithms, *Discrete Optimization* 3, 2006, 327–340.
- [181] Hojati M., Near-optimal solution to an employee assignment problem with seniority, *Annals of Operations Research* 181, 2010, 539–557.
- [182] Hojati M., Patil A.S., An integer linear programming-based heuristic for scheduling heterogeneous, part-time service employees, *European Journal of Operational Research* 209, 2011, 37–50.
- [183] Horn M., Jiang H., Kilby P., Scheduling patrol boats and crews for the Royal Australian Navy, *Journal of the Operational Research Society* 58, 2007, 1284–1293.
- [184] Hung-Tso L., Yen-Ting C., Tsung-Yu C., Yi-Chun L., Crew rostering with multiple goals: an empirical study, *Computers & Industrial Engineering* 63, 2012, 483–493.
- [185] Hung R., An annotated bibliography of compressed workweeks, *International Journal of MAASower* 17, 1996, 43–53.
- [186] Hung R., Using compressed workweeks to save labour cost, *European Journal of Operational Research* 170, 2006, 319–322.
- [187] Hurkens C.A.J., Incorporating the strength of MIP modeling in schedule construction, *RAIRO – Operations Research* 43, 2009, 409–420.
- [188] Ikegami A., Uno A., Bounds for staff size in home help staff scheduling, *Journal of the Operations Research Society of Japan* 50, 2007, 563–575.

- [189] Ingolfsson A., Campello F., Wu X., Cabral E., Combining integer programming and the randomization method to schedule employees, *European Journal of Operational Research* 202, 2010, 153–163.
- [190] Isken M.W., An implicit tour scheduling model with applications in healthcare, *Annals of Operations Research* 128, 2004, 91–109.
- [191] Jarray F., Solving problems of discrete tomography: application in workforce scheduling, *4or-a, Quarterly Journal of Operations Research* 3, 2005, 337–340.
- [192] Jarray F., A 4-day or 3-day workweeks scheduling problem with a given workforce size, *Asia-Pacific Journal of Operational Research* 26, 2009, 685–696.
- [193] Joubert J.W., Conradie D.G., A fixed recourse integer programming approach towards a scheduling problem with random data: a case study, *Orion* 21, 2005, 1–11.
- [194] Judice J., Martins P., Nunes J., Workforce planning in a lotsizing mail processing problem, *Computers & Operations Research* 32, 2005, 3031–3058.
- [195] Kassa, B. A. ve Tizazu, A. E., Personnel scheduling using an integer programming model- an application at Avanti Blue-Nile Hotels, *Springer Plus*, 2:333, 1-7, 2013.
- [196] Kaluzny B.L., Hill A., Scheduling security personnel for the Vancouver 2010 Winter Olympic Games, *Informatika* 49, 2011, 221–231.
- [197] Kellogg D.L., Walczak S., Nurse scheduling: from academia to implementation or not?, *Interfaces* 37, 2007, 355–369.

- [198] Knust S., Schumacher E., Shift scheduling for tank trucks, *Omega – International Journal of Management Science* 39, 2011, 513–521.
- [199] Koeleman P.M., Bhulai S., van Meersbergen M., Optimal patient and personnel scheduling policies for care-at-home service facilities, *European Journal of Operational Research* 219, 2012, 557–563.
- [200] Kohl N., Karisch S.E., Airline crew rostering: problem types, modeling, and optimization, *Annals of Operations Research* 127, 2004, 223–257.
- [201] Kolisch R., Heimerl C., An efficient metaheuristic for integrated scheduling and staffing IT projects based on a generalized minimum cost flow network, *Naval Research Logistics* 59 (2012) 111–127.
- [202] Krishnamoorthy M., Ernst A.T., Baatar D., Algorithms for large scale shift minimisation personnel task scheduling problems, *European Journal of Operational Research* 219, 2012, 34–48.
- [203] Kyngäs N., Goossens D., Nurmi K., Kyngäs J., Optimizing the unlimited shift generation problem, *Applications of Evolutionary Computation, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 7248, Springer, Berlin, Heidelberg, 2012, 508–518.
- [204] Laguna M., Casado S., Pacheco J., Heuristical labour scheduling to optimize airport passenger flows, *Journal of the Operational Research Society* 56, 2005, 649–658.
- [205] Laguna M., Wubbena T., in: Golden B.L., Raghavan S., Wasil E. (Eds.), *Next Wave in Computing, Optimization, and Decision Technologies (Operations Research/Computer Science Interfaces Series, vol. 29, 2005, 149–162)*.

- [206] Laporte G., Pesant G., A general multi-shift scheduling system, *Journal of the Operational Research Society* 55, 2004, 1208–1217.
- [207] Lentink R.M., Freling R., Wagelmans A.P.M., A decision support system for crew planning in passenger transportation using a flexible branch-and-price algorithm, *Annals of Operations Research* 127, 2004, 203–222.
- [208] Lezaun M., Perez G., De La Maza E.S., Crew rostering problem in a public transport company, *Journal of the Operational Research Society* 57, 2006, 1173–1179.
- [209] Lezaun M., Perez G., De La Maza E.S., Rostering in a rail passenger carrier, *Journal of Scheduling* 10, 2007, 245–254.
- [210] Lezaun M., Perez G., De La Maza E.S., Staff rostering for the station personnel of a railway company, *Journal of the Operational Research Society* 61, 2010, 1104–1111.
- [211] Li H.T., Womer K., A decomposition approach for shipboard mAA Sower scheduling, *Military Operations Research* 14, 2009, 67–90.
- [212] Li J., Burke E.K., Curtois T., Petrovic S., Rong Q., The falling tide algorithm: a new multi-objective approach for complex workforce scheduling, *Omega* 40, 2012, 283–293.
- [213] Li J., Burke E.K., Qu R., A pattern recognition based intelligent search method and two assignment problem case studies, *Applied Intelligence* 36, 2012, 442–453.
- [214] Li J.P., Aickelin U., The application of Bayesian optimization and classifier systems in nurse scheduling, *Parallel Problem Solving from Nature – Ppsn Viii*, *Lecture Notes in Computer Science*, vol.3242, 2004, 581–590.

- [215] Li J.P., Aickelin U., Burke E.K., A component-based heuristic search method with evolutionary eliminations for hospital personnel scheduling, *Inform Journal on Computing* 21, 2009, 468–479.
- [216] Li Y., Kozan E., Rostering ambulance services, in: 9th Asia-Pacific Industrial Engineering and Management Society, Kitakyushu, Japan, 2009, 795–801.
- [217] Li Y.J., Chen J., Cai X.Q., An integrated staff-sizing approach considering feasibility of scheduling decision, *Annals of Operations Research* 155, 2007, 361–390.
- [218] Liao S., Van Delft C., Koole G., Dallery Y., Jouini O., Call center capacity allocation with random workload, in: 2009 International Conference on Computers and Industrial Engineering, Troyes, France, vols. 1–3, 2009, 851–856.
- [219] Lilly M.T., Emovon I., Ogaji S.O.T., Probert S.D., Four-day service-staff work-week in order to complete maintenance operations more effectively in a Nigerian power-generating station, *Applied Energy* 84, 2007, 1044–1055.
- [220] Lu Z., Hao J.-K., Adaptive neighborhood search for nurse rostering, *European Journal of Operational Research* 218, 2012, 865–876.
- [221] Labidi, M., Mrad, M., Gharbi, A., ve Louly, M.A., Scheduling IT Staff at a Bank: A Mathematical Programming Approach, *The Scientific World Journal*, Article ID 768374, 2014.
- [222] Louly, M.A., A goal programming model for staff scheduling at a telecommunications center, *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms in Operations Research*, 12, 167-178, 2013.



- [223] Maenhout B., Vanhoucke M., A perturbation matheuristic for the integrated personnel shift and task re-scheduling problem, *European Journal of Operational Research* 269 (2018) 806–823.
- [224] Maenhout B., Vanhoucke M., An electromagnetic meta-heuristic for the nurse scheduling problem, *Journal of Heuristics* 13, 2007, 359–385.
- [225] Maenhout B., Vanhoucke M., Comparison and hybridization of crossover operators for the nurse scheduling problem, *Annals of Operations Research* 159, 2008, 333–353.
- [226] Maenhout B., Vanhoucke M., The impact of incorporating nurse-specific characteristics in a cyclical scheduling approach, *Journal of the Operational Research Society* 60, 2009, 1683–1698.
- [227] Maenhout B., Vanhoucke M., A hybrid scatter search heuristic for personalized crew rostering in the airline industry, *European Journal of Operational Research* 206, 2010, 155–167.
- [228] Maenhout B., Vanhoucke M., An evolutionary approach for the nurse rerostering problem, *Computers & Operations Research* 38, 2011, 1400–1411.
- [229] Maenhout B., Vanhoucke M., An integrated nurse staffing and scheduling analysis for longer-term nursing staff allocation problems, *Omega* 41, 2013, 485–499.
- [230] Mahaney L., Sanborn M., Alexander E., Nontraditional work schedules for pharmacists, *American Journal of Health-System Pharmacy* 65, 2008, 2144–2149.

- [231] Marasco A., Romano A., A mathematical model for the management of a service center, *Mathematical and Computer Modelling* 53, 2011, 2005–2014.
- [232] Metivier J.P., Boizumault P., Loudni S., Solving nurse rostering problems using soft global constraints, in: 15th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming (CP 29), Lisbon, Portugal, *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 5732, 2009, 73–87.
- [233] Mirrazavi S.K., Beringer H., A web-based workforce management system for Sainsburys Supermarkets Ltd., *Annals of Operations Research* 155, 2007, 437–457.
- [234] Mohan S., Scheduling part-time personnel with availability restrictions and preferences to maximize employee satisfaction, *Mathematical and Computer Modelling* 48, 2008, 1806–1813.
- [235] Morton D.P., Popova E., A Bayesian stochastic programming approach to an employee scheduling problem, *IIE Transactions* 36, 2004, 155–167.
- [236] Mörz M., Musliu N., Genetic algorithm for rotating workforce scheduling problem, in: Second IEEE International Conference on Computational Cybernetics, Vienna, Austria, 2004, 121–126.
- [237] Moz M., Pato M.V., Solving the problem of rostering nurse schedules with hard constraints: new multicommodity flow models, *Annals of Operations Research* 128, 2004, 179–197.
- [238] Moz M., Pato M.V., A genetic algorithm approach to a nurse rostering problem, *Computers & Operations Research* 34, 2007, 667–691.

- [239] Musliu N., Combination of local search strategies for rotating workforce scheduling problem, in: 19th International Joint Conference on Artificial Intelligence, Edinburgh, Scotland, 2005, 1529–1530.
- [240] Musliu N., Schaerf A., Slany W., Local search for shift design, *European Journal of Operational Research* 153, 2004, 51–64.
- [241] Naudin E., Chan P.Y.C., Hiroux M., Zemmouri T., Weil G., Analysis of three mathematical models of the staff rostering problem, *Journal of Scheduling* 15, 2012, 23–38.
- [242] Naveh Y., Richter Y., Attshuler Y., Gresh D.L., Connors D.P., Workforce optimization: identification and assignment of professional workers using constraint programming, *IBM Journal of Research and Development* 51, 2007, 263–279.
- [243] Ni H., Abeledo H., A branch-and-price approach for large-scale employee tour scheduling problems, *Annals of Operations Research* 155, 2007, 167–176.
- [244] Nissen V., Gunther M., Staff scheduling with particle swarm optimisation and evolution strategies, *Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization*, Tubingen, Germany, Lecture Notes in Computer Science, vol. 5482, 2009, 228–239.
- [245] Nissen V., Gunther M., Automatic generation of optimised working time models in personnel planning, in: 7th International Conference on Swarm Intelligence, Brussels, Belgium, Lecture Notes in Computer Science, vol. 6234, 2010, 384–391.
- [246] Noack D., Rose O., A simulation-based optimization algorithm for slack reduction and workforce scheduling, in: 2008 Winter Simulation Conference, Miami, FL, vols. 1–5, 2008, 1989–1994.

- [247] Nonobe K., INRC2010: an approach using a general constraint optimization solver, in: International Conference on Practice and Theory of Automated Timetabling Viii, 2010.
- [248] Norman B.A., Tharmmaphornphilas W., A methodology to create robust job rotation schedules, *Annals of Operations Research* 155, 2007, 339–360.
- [249] Odegaard F., Chen L., Quee R., Puterman M.L., Improving the efficiency of hospital porter services, part 1: study objectives and results, *Journal for Healthcare Quality* 29, 2007, 4–11.
- [250] Ogulata S.N., Koyuncu M., Karakas E., Personnel and patient scheduling in the high demanded hospital services: a case study in the physiotherapy service, *Journal of Medical Systems* 32, 2008, 221–228.
- [251] Ovchinnikov A., Milner J., Spreadsheet model helps to assign medical residents at the University of Vermont’s College of Medicine, *Interfaces* 38, 2008, 311–323.
- [252] Ozcan E., Memetic algorithms for nurse rostering, *Computer and Information Sciences – ISCIS 2005, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 3733, 2005, 482–492.
- [253] Pastor R., Corominas A., A bicriteria integer programming model for the hierarchical workforce scheduling problem, *Journal of Modelling in Management* 5, 2010, 54–62.
- [254] Pastor R., Olivella J., Selecting and adapting weekly work schedules with working time accounts: a case of a retail clothing chain, *European Journal of Operational Research* 184, 2008, 1–12.

- [255] Pato M.V., Moz M., Solving a bi-objective nurse rostering problem by using a utopic Pareto genetic heuristic, *Journal of Heuristics* 14, 2008, 359–374.
- [256] Petrovic S., Vanden Berghe G., A comparison of two approaches to nurse rostering problems, *Annals of Operations Research* 194, 2012, 365–384.
- [257] Pinedo M.L., What lies ahead? *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*, Springer, New York, 2012.
- [258] Piskor W.G., Bibliographic survey of quantitative approaches to mAAASower planning, Unpublished work, 1976.
- [259] Pot A., Bhulai S., Koole G., A simple staffing method for Multiskill Call Centers, *Manufacturing & Service Operations Management* 10, 2008, 421–428.
- [260] Puente J., Gomez A., Fernandez I., Priore P., Medical doctor rostering problem in a hospital emergency department by means of genetic algorithms, *Computers & Industrial Engineering* 56, 2009, 1232–1242.
- [261] Purnomo H.W., Bard J.F., Cyclic preference scheduling for nurses using branch and price, *Naval Research Logistics* 54, 2007, 200–220.
- [262] Qi X.T., Bard J.F., Generating labor requirements and rosters for mail handlers using simulation and optimization, *Computers & Operations Research* 33, 2006, 2645–2666.
- [263] Qu R., He F., A hybrid constraint programming approach for nurse rostering problems, in: *SGAI International Conference on Innovative Techniques and Applications of Artificial Intelligence*, Cambridge, England, 2009, 211–224.

- [264] Quimper C.G., Rousseau L.M., A large neighbourhood search approach to the multi-activity shift scheduling problem, *Journal of Heuristics* 16, 2010, 373–392.
- [265] Ramsey-Coleman J., Staff scheduling synchronicity, *Healthcare Financial Management* 33, 2012, 24–25.
- [266] Rasmussen M.S., Justesen T., Dohn A., Larsen J., The home care crew scheduling problem: preference-based visit clustering and temporal dependencies, *European Journal of Operational Research* 219, 2012, 598–610.
- [267] Rekik M., Cordeau J.F., Soumis F., Using Benders decomposition to implicitly model tour scheduling, *Annals of Operations Research* 128, 2004, 111–133.
- [268] Restrepo M.I., Lozano L., Medaglia A.L., Constrained network-based column generation for the multi-activity shift scheduling problem, *International Journal of Production Economics* 140, 2012, 466–472.
- [269] Robbins T.R., Harrison T.P., A simulation-based scheduling model for call centers with uncertain arrival rates, in: *2008 Winter Simulation Conference*, Miami, FL, vols. 1–5, 2008, 2884–2890.
- [270] Robbins T.R., Harrison T.P., A stochastic programming model for scheduling call centers with global service level agreements, *European Journal of Operational Research* 207, 2010, 1608–1619.
- [271] Rong A.Y., Monthly tour scheduling models with mixed skills considering weekend off requirements, *Computers & Industrial Engineering* 59, 2010, 334–343.

- [272] Rong A.Y., Grunow M., Shift designs for freight handling personnel at air cargo terminals, *Transportation Research Part E – Logistics and Transportation Review* 45, 2009, 725–739.
- [273] Rönnberg E., Larsson T., Automating the self-scheduling process of nurses in Swedish healthcare: a pilot study, *Health Care Management Science* 13, 2010, 35–53.
- [274] Rosen S., Web-based staff scheduling, *Nursing Homes: Long Term Care Management* 53, 2004, 42–45.
- [275] Sabar M., Montreuil B., Frayret J.M., A multi-agent-based approach for personnel scheduling in assembly centers, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 22, 2009, 1080–1088.
- [276] Sabar M., Montreuil B., Frayret M., Competency and preference-based personnel scheduling in large assembly lines, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 21, 2008, 468–479.
- [277] Saddoune M., Desaulniers G., Soumis F., A rolling horizon solution approach for the airline crew pairing problem, in: *International Conference on Computers & Industrial Engineering*, 2009, 344–347.
- [278] Sadjadi S.J., Soltani R., Izadkhah M., Saberian F., Darayi M., A new nonlinear stochastic staff scheduling model, *Scientia Iranica* 18, 2011, 699–710.
- [279] Safaei N., Banjevic D., A.K.S. Jardine, Workforce-constrained maintenance scheduling for military aircraft fleet: a case study, *Annals of Operations Research* 186, 2011, 295–316.

- [280] Seçkiner S.U., Gökçen H., Kurt M., An integer programming model for hierarchical workforce scheduling problem, *European Journal of Operational Research* 183, 2007, 694–699.
- [281] SenGupta S., Bringing science to the art of workforce management in service industries, in: *2009 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, Bangalore, India, 2009, pp. 59–64.
- [282] Shahnazari-Shahrezaei P., Tavakkoli-Moghaddam R., Kazemipoor H., Solving a new fuzzy multi-objective model for a multi-skilled mASower scheduling problem by particle swarm optimization and elite tabu search, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 64, 2013, 1517–1540.
- [283] Sinreich D., Jabali O., Staggered work shifts: a way to downsize and restructure an emergency department workforce yet maintain current operational performance, *Health Care Management Science* 10, 2007, 293–308.
- [284] Smet P., Bilgin B., De Causmaecker P., Vanden Berghe G., Modelling and evaluation issues in nurse rostering, *Annals of Operations Research*, 218, 2014, 303–326.
- [285] Stark C., Zimmermann J., An exact branch-and-price algorithm for workforce scheduling, *Operations Research*, Tilburg, Netherlands 2004, 2005, 207–212.
- [286] Stolletz R., Operational workforce planning for check-in counters at airports, *Transportation Research Part E – Logistics and Transportation Review* 46, 2010, 414–425.



- [287] Stolletz R., Brunner J.O., Fair optimization of fortnightly physician schedules with flexible shifts, *European Journal of Operational Research* 219, 2012, 622–629.
- [288] Sukhorukova N., Ugon J., Yearwood J., Workload coverage through nonsmooth optimization, *Optimization Methods & Software* 24, 2009, 285–298.
- [289] Tang H., Miller-Hooks E., Tomastik R., Scheduling technicians for planned maintenance of geographically distributed equipment, *Transportation Research Part E – Logistics and Transportation Review* 43, 2007, 591–609.
- [290] Techawiboonwong A., Yenradee P., Das S.K., A master scheduling model with skilled and unskilled temporary workers, *International Journal of Production Economics* 103, 2006, 798–809.
- [291] Thiel M.P., Team-oriented airline crew rostering for cockpit personnel, *Computer-Aided Systems in Public Transport* 600, 2008, 91–114.
- [292] Thompson G.M., Goodale J.C., Variable employee productivity in workforce scheduling, *European Journal of Operational Research* 170, 2006, 376–390.
- [293] Thompson G.M., Pullman M.E., Scheduling workforce relief breaks in advance versus in real-time, *European Journal of Operational Research* 181, 2007, 139–155.
- [294] Thompson, J.M., Parr D., Solving the multi-objective nurse scheduling problem with a weighted cost function, *Annals of Operations Research* 155, 2007, 279–288.

- [295] Thungjaroenkul P., Cummings G.G., Embleton A., The impact of nurse staffing on hospital costs and patient length of stay: a systematic review, *Nursing Economics* 25, 2007, 255–265.
- [296] Topaloğlu S., A multi-objective programming model for scheduling emergency medicine residents, *Computers & Industrial Engineering* 51, 2006, 375–388.
- [297] Topaloğlu S., A shift scheduling model for employees with different seniority levels and an application in healthcare, *European Journal of Operational Research* 198, 2009, 943–957.
- [298] Todovic, D., Makajic-Nikolic, D., Kostic-Stankovic, M.ve Martic, M., Police officer scheduling using goal programming, *Policing: An International Journal of Police Strategies and Management*, 38, 295-313, 2015.
- [299] Totterdell P., Work schedules, in: J. Barling, E.K. Kelloway, M.R. Frone (Eds.), *Handbook of Work Stress*, SAGE Publications, 2005, pp. 35–62.
- [300] Trilling L., Guinet A., Le Magny D., Nurse scheduling using integer linear programming and constraint programming, *12th IFAC International Symposium*, vol. 3, Elsevier, 2006, 651–656.
- [301] Tsai C.-C., Li S.H.A., A two-stage modeling with genetic algorithms for the nurse scheduling problem, *Expert Systems with Applications* 36, 2009, 9506–9512.
- [302] Valls V., Perez A., Quintanilla S., Skilled workforce scheduling in service centres, *European Journal of Operational Research* 193, 2009, 791–804.

- [303] Valouxis C., Gogos C., Goulas G., Alefragis P., Housos E., A systematic two-phase approach for the nurse rostering problem, *European Journal of Operational Research* 219, 2012, 425–433.
- [304] Van Der Veen E., Veltman B., Rostering from staffing levels: a branch-and-price approach, *International Journal of Health Management and Information* 2, 2011, 41–52.
- [305] Vanhoucke M., Maenhout B., On the characterization and generation of nurse scheduling problem instances, *European Journal of Operational Research* 196, 2009, 457–467.
- [306] Veldman B., Post G., Winkelhuijzen W., Van Draat L.F., Harmonious personnel scheduling, *Medium Econometrische Toepassingen* 14, 2006, 4–7.
- [307] Volgenant A., A note on the assignment problem with seniority and job priority constraints, *European Journal of Operational Research* 154, 2004, 330–335.
- [308] Wallace R.B., Whitt W., A staffing algorithm for call centers with skill-based routing, *Manufacturing & Service Operations Management* 7, 2005, 276–294.
- [309] Walter M., Zimmermann J., in: *International Conference on Operations Research (OR 2011)*, Zürich, Switzerland, *Operations Research Proceedings*, Springer, Berlin Heidelberg, 2012, 489–494.
- [310] Wan L., Bard J.F., Weekly staff scheduling with workstation group restrictions, *Journal of the Operational Research Society* 58, 2007, 1030–1046.

- [311] Warner M., Personnel staffing and scheduling, in: R.W. Hall (Ed.), *Patient Flow: Reducing Delay in Healthcare Delivery*, International Series in Operations Research and Management Science, Springer, New York, 2006, pp. 189–209.
- [312] Weber N., Patten L., Shoring up for efficiency scheduling, *Health Management Technology* 26, 2005, 34–36.
- [313] White C.A., Nano E., Nguyen-Ngoc D.H., White G.M., in: *International Conference on Practice and Theory of Automated Timetabling VI*, Brno, Czech Republic, Lecture Notes in Computer Science, vol. 3867, 2007, pp. 105–115.
- [314] Wright P.D., Bretthauer K.M., Strategies for addressing the nursing shortage: coordinated decision making and workforce flexibility, *Decision Sciences*, 2010, 41(1), 373–401.
- [315] Wright P.D., Bretthauer K.M., Cote M.J., Reexamining the nurse scheduling problem: staffing ratios and nursing shortages, *Decision Sciences*, 2006, 37(1), 39–70.
- [316] Wu M.C., Sun S.H., A project scheduling and staff assignment model considering learning effect, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2006, 28(1) 1190–1195.
- [317] Yan S., Short-term shift setting and mAASower supplying under stochastic demands for air cargo terminals, *Transportation*, 2008, 35(1), 425–444.
- [318] Yan S.Y., Chen C.H., Chen C.K., Long-term mAASower supply planning for air cargo terminals, *Journal of Air Transport Management* 12 (2006) 175–181.

- [319] Yan S.Y., Chen C.H., Chen M.J., Stochastic models for air cargo terminal mAA Sower supply planning in long-term operations, *Applied Stochastic Models in Business and Industry* 24, 2008, 261–275.
- [320] Yang K.-K., Webster S., Ruben R.A., An evaluation of worker cross training and flexible workdays in job shops, *IIE Transactions* 39, 2007, 735–746.
- [321] Yaoyuenyong K., Nanthavanij S., Energy-based workforce scheduling problem: mathematical model and solution algorithms, *Science Asia* 31, 2005, 383–393.
- [322] Yılmaz E., A mathematical programming model for scheduling of nurses' labor shifts, *Journal of Medical Systems* 36 (2012) 491–496.
- [323] Yunes T.H., Moura A.V., De Souza C.C., Hybrid column generation approaches for urban transit crew management problems, *Transportation Science* 39, 2005, 273–288.
- [324] Zhu X., Sherali H.D., Two-stage workforce planning under demand fluctuations and uncertainty, *Journal of the Operational Research Society* 60, 2009, 94–103.
- [325] Zolfaghari S., Vinh Q., El-Bouri A., Khashayardoust M., Application of a genetic algorithm to staff scheduling in retail sector, *International Journal of Industrial and Systems Engineering* 5, 2010, 20–47.
- [326] Pinedo M., Wang S., Qi L., Yang J., Lei L., Personnel scheduling and supplies provisioning in emergency relief operations, *Annals of Operations Research*, 2015, 235 487-515.

- [327] Henao C. A., Muñoz J. C., Ferrer J. C., The impact of multi-skilling on personnel scheduling in the service sector: a retail industry case, *The Journal of the Operational Research Society*, 2015, 66(12) 1949-1959.
- [328] Ernst A. T., Vanden Berghe G., Smet P., The impact of multi-skilling on personnel scheduling in the service sector: a retail industry case, *The Journal of the Operational Research Society*, 2015, 66(12), 1949-1959.
- [329] Smet P., Ernst A. T., Vanden Berghe G., Heuristic decomposition approaches for an integrated task scheduling and personnel rostering problem, *Computers & Operations Research*, 2016, 76, 60-72.
- [330] Van Veldhoven, S., Post, G., Van Der Veen, E., Curtois, T., An assessment of a days off decomposition approach to personnel shift scheduling, *Annals of Operations Research*, 2016, 239(1), 207-223.
- [331] Sungur, B., Özgüven, C., Kariper, Y., Shift scheduling with break windows, ideal break periods, and ideal waiting times, *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 2017, 29, 2, 203–222.
- [332] Pinedo M., *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*, Springer, New York 2005.
- [333] Ingels J., Maenhout B., The impact of overtime as a time-based proactive scheduling and reactive allocation strategy on the robustness of a personnel shift roster, *Journal of scheduling*, 2017, 21(2): 143–165.
- [334] Tassopoulos I.X., Solos I.P., Beligiannis G.N., A two-phase adaptive variable neighborhood approach for nurse rostering, *Computers & Operations Research*, 2015, 60(1):150-169.

- [335] Tassopoulos I.X., Beligiannis G.N., A hybrid particle swarm optimization-based algorithm for high school timetabling problems, *Applied Soft Computing*, 2012, 12(1):3472–3489.
- [336] Defraeye M., Van Nieuwenhuysse I., Staffing and scheduling under nonstationary demand for service: A literature review, *Omega*, 2016, 58(1): 4-25.
- [337] Erhard M., Schoenfelder J., Fügener A., Brunner J. O., State of the art in physician scheduling, *European Journal of Operational Research*, 2018, 265(1): 1–18.
- [338] Denkena B., Dittrich M.A., Winter F., Competence-based personnel scheduling through production data, *The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 2017, 63(1): 265–270.
- [339] Mac-Vicar M., Ferrer J. C., Muñoz J. C., Henao C. A., Real-time recovering strategies on personnel scheduling in the retail industry, *Computers & Industrial Engineering*, 2017, 113(1): 589–601.
- [340] Legrain A., Bouarab H., Lahrichi N., The Nurse Scheduling Problem in Real-Life, *Journal of Medical Systems*, 2015, 39:160.
- [341] Taşkıran G. K., Zhang X., Mathematical models and solution approach for cross-training staff scheduling at call centers, *Computers and Operations Research*, 2017, 87(1): 258–269.
- [342] Mohamed A.A., Operations Research Applications in Audit Planning and Scheduling, *Economics and Management Engineering*, 2015, 9(6): 2056-2064.

- [343] Maenhouta B., Vanhouck M., A perturbation matheuristic for the integrated personnel shift and task re-scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, 2018, 269(3): 806-823.
- [344] Prot D., Lapègue T., Bellenguez-Morineau O., A two-phase method for the shift design and personnel task scheduling problem with equity objective, *International Journal of Production Research*, 2015, 53(24): 7286–7298.
- [345] Braekers K., Hartl R. F., Parragh S. N. Tricoire F., A bi-objective home care scheduling problem: Analyzing the trade-off between costs and client inconvenience, *European Journal of Operational Research*, 2016, 248(2): 428-443.
- [346] De Bruecker P., Beliën J., Van Den Bergh J., Demeulemeester E., A three-stage mixed integer programming approach for optimizing the skill mix and training schedules for aircraft maintenance, *European Journal of Operational Research*, 2018, 267(1): 439–452.
- [347] Vermuyten H., Rosa J. N., Marques I., Beliën J., Barbosa-Póvoa A., Integrated staff scheduling at a medical emergency service: An optimisation approach, *Expert Systems with Applications*, 2018, 112(1): 62–76.
- [348] Castillo-Salazar J.S., Landa-Silva D., Qu R., Workforce scheduling and routing problems: literature survey and computational study, *Annals of Operations Research*, 2016, 239(1):39–67.
- [349] Marynissen J., Demeulemeester E., Literature review on multi-appointment scheduling problems in hospitals, *European Journal of Operational Research*, In Press, 2018, 272(1): 407–419.



- [350] Respicio A., Moz M., Pato M. V., Somensi R., Flores C. D., A computational application for multi-skill nurse staffing in hospital units, *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 2018, 18(53): 1-9.
- [351] Ingels J., Maenhout B., Optimised buffer allocation to construct stable personnel shift rosters, *Omega*, In Press, 2018, 82(1): 102–117.
- [352] Doi T., Nishi T., Voß S., Two-level decomposition-based matheuristic for airline crew rostering problems with fair working time, *European Journal of Operational Research*, 2018, 267(1): 428–438.
- [353] Samavati M., Essam D., Nehring M., Sarker R., A local branching heuristic for the open pit mine production scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, 2017, 257(1): 261–271.
- [354] Van Den Eeckhout M., Maenhout B., Vanhoucke M. A heuristic procedure to solve the project staffing problem with discrete time/resource trade-offs and personnel scheduling constraints, *Computers and Operations Research*, 101(1): 144–161, 2018.
- [355] Dahmen S., Rekik M., Soumis F., An implicit model for multi-activity shift scheduling problems, *Journal of Scheduling*, 2018, 21(1): 285–304.
- [356] Ağralı S., Taşkın Z. C., Ünal A. T., Employee scheduling in service industries with flexible employee availability and demand, *Omega*, 2017, 66(1): 159–169.
- [357] Leggate A., Sucu S., Akartunalı K., Van Der Meer R., Modelling crew scheduling in offshore supply vessels, *Journal of the Operational Research Society*, 2018, 69(6): 959-970.

- [358] Al-Betar M. A., Khader A. T., Bolaji A. L., Alkoffash M., Hybridization of harmony search with hill climbing for highly constrained nurse rostering problem, *Neural Computing and Applications*, 2017, 28(3): 463–482.
- [359] Zamorano E., Stolletz R., Branch-and-price approaches for the Multiperiod Technician Routing and Scheduling Problem, *European Journal of Operational Research*, 2017, 257(1): 55–68.
- [360] Wutthisirisart P., Martinez G., Heaton H.A. Pasupathy K., Thompson M. S., Sir M. Y., Maximizing Patient Coverage Through Optimal Allocation of Residents and Scribes to Shifts in an Emergency Department, *Journal of Medical Systems*, 2018, 42(212): 1-9.
- [361] Rihm T., Baumann P., Staff assignment with lexicographically ordered acceptance levels, *Journal of Scheduling*, 2018, 21(2): 167–189.
- [362] Volland J., Fügener A., Brunner J. O., A column generation approach for the integrated shift and task scheduling problem of logistics assistants in hospitals, *European Journal of Operational Research*, 260(1): 316-334, 2017.
- [363] Thielen C., Duty rostering for physicians at a department of orthopedics and trauma surgery, *Operations Research for Health Care*, 19(1), 80-91, 2018.
- [364] Maenhout, B., Vanhoucke, M., A resource type analysis of the integrated project scheduling and personnel staffing problem, *Annals of Operations Research*, 2017, 252(2): 407–433.
- [365] Rajeswari M., Amudhavel J., Pothula S., Dhavachelvan P., Directed Bee Colony Optimization Algorithm to Solve the Nurse Rostering Problem, *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2017: 1-26.

- [366] Joaquim J., Da Cunha Jr., De Souza M. C., A linearized model for academic staff assignment in a Brazilian university focusing on performance gain in quality indicators, *International Journal of Production Economics*, 2018, 197(1): 43–51.
- [367] Becker T., Steenweg P. M., Werners B., Cyclic shift scheduling with on-call duties for emergency medical services, *Health Care Management Science*, 2018: 1-15.
- [368] Xue N., Landa-Silva D., Triguero I., Figueredo G. P., A Genetic Algorithm with Composite Chromosome for Shift Assignment of Part-time Employees, 2018 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2018.
- [369] Pinedo M., Chao X., *Operations scheduling*. McGraw Hill, 1999.
- [370] Edie, L. C., Traffic delays at toll booths, *Operations Research*, 2, 107–138, 1954.
- [371] Saaty, T.L., *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory With The Analytical Hierarchy Process*, RWS Publications, Pittsburg, 69-84, 1994.
- [372] Walker M. R., Sayer J. S., *Project Planning and Scheduling*. Report 6959, E.I. du Pont de Nemours & Co., Inc., Wilmington, Del., 1959.
- [373] Moder J. G., Philips C.R., *Project Management with CPM and PERT*. Van Nostrand Reinhold, New York (1970).
- [374] Wiest J. D., Levy F. K., *A Management Guide to PERT/CPM*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1977.

- [375] De Bruecker P., Van Den Bergh J., Beliën J., Demeulemeester E., Workforce Planning Incorporating Skills: State of the Art. *European Journal of Operational Research*, 2015, 243 (1): 1–16.
- [376] Haykin S., *Neural networks: a comprehensive foundation*. Prentice Hall PTR; 1994.
- [377] McCulloch W.S., Pitts W., A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bull Math Biophys* 1943;5:115–33.
- [378] Hebb D.G., *The organization of behavior*. Wiley Sons, New York, NY, USA 1949.
- [379] Rosenblatt F., The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychol Rev* 1958;65:386.
- [380] Minsky M., *Paper S. Perceptrons*. MIT Press, Cambridge MA, USA 1969.
- [381] Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J., Learning internal representation by backpropagating errors. DE Rumelhart, & JL McClelland *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*. Vol. 1 1986.
- [382] Hebb D.O., *The Organizations of Behavior: a Neuropsychological Theory*. Lawrence Erlbaum; 1963.
- [383] Fernandez C., Soria E., Martin J.D., Serrano A.J., Neural networks for animal science applications: Two case studies. *Expert Syst Appl* 2006;31:444–50.
- [384] [https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SSSA5P\\_12.6.3/ilog.odms.studio.help/pdf/sched\\_gs.pdf?origURL=SSSA5P\\_12.6.3/ilog.odms.studio](https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SSSA5P_12.6.3/ilog.odms.studio.help/pdf/sched_gs.pdf?origURL=SSSA5P_12.6.3/ilog.odms.studio)

o.help/Optimization\_Studio/topics/PLUGINS\_ROOT/ilog.odms.studio.help/pdf/sched\_gs.pdf, Erişim Tarihi: 15.04.2019.

- [385] Özder, E.H.; Varlı, E.; Eren, T. A Model Suggestion for Cleaning Staff Scheduling Problem with Goal Programming Approach. *Black Sea J. Sci.* 2017, 7, 114–127, doi:10.31466/kfbd.342344.
- [386] Özder, E.H.; Özcan, E.; Eren, T. Staff Task-Based Shift Scheduling Solution with an ANP and Goal Programming Method in a Natural Gas Combined-cycle Power Plant. *Mathematics* 2019, 7, 192.
- [387] Özder, E.H.; Özcan, E.; Eren, T. Sustainable Personnel Scheduling Problem Optimization in a Natural Gas Combined-Cycle Power Plant. *Processes*. 2019, 7(10), 702.
- [388] Liu, Y.; Yu, S.; Zhu, Y.; Wang, D.; Liu, J. Modeling, planning, application and management of energy systems for isolated areas: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, 82, 460–470.
- [389] Koltsaklis, N.E.; Giannakakis, M.; Georgiadis, M.C. Optimal energy planning and scheduling of microgrids. *Chem. Eng. Res. Des.* 2018, 131, 318–332.
- [390] Hemmati, R.; Saboori, H.; Jirdehi, M.A. Stochastic planning and scheduling of energy storage systems for congestion management in electric power systems including renewable energy resources. *Energy* 2017, 133, 380–387.
- [391] Amiri, S.; Honarvar, M.; Sadegheih, A. Providing an integrated Model for Planning and Scheduling Energy Hubs and preventive maintenance. *Energy* 2018, 163, 1093–1114.

- [392] Ma, T.; Wu, J.; Hao, L.; Lee, W.J.; Yan, H.; Li, D. The optimal structure planning and energy management strategies of smart multi energy systems. *Energy* 2018, 160, 122–141.
- [393] Deshmukh, S.S.; Deshmukh, M.K. A new approach to micro-level energy planning—A case of northern parts of Rajasthan, India. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2009, 13, 634–642.
- [394] Jinturkar, A.M.; Deshmukh, S.S. A fuzzy mixed integer goal programming approach for cooking and heating energy planning in rural India. *Expert Syst. Appl.* 2011, 38, 11377–11381.
- [395] Ünver, Ü., Kılıç, M., "Bir Kombine Çevrim Güç Santralinin Termodinamik Analizi". *Mühendislik ve Makina.* 46(545), 47-56, 2005.
- [396] Saaty, T.L., 1977, "The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill Inc., New York, 1980.
- [397] Saaty, T.L., 2001, "Decision Making with Dependence and Feedback The Analytic Network Process", Second Edition, RWS Publications, Pittsburg.
- [398] Ignizio, J. *Introduction to Goal Programming* Sage Publications Inc., Beverley Hills, California, USA, 1985.
- [399] Zhang G, Patuwo BE, Hu MY. Forecasting with artificial neural networks: The state of the art. *Int J Forecast*, 14:35–62, 1998.
- [400] Sharda R. Neural networks for the MS/OR analyst: An application bibliography. *Interfaces (Providence)*, 24:116–30, 1994.
- [401] Box GEP, Jenkins GM, Reinsel GC, Ljung GM. *Time series analysis: forecasting and control.* John Wiley & Sons; 2015.

- [402] Pankratz A. Forecasting with univariate Box-Jenkins models: Concepts and cases. vol. 224. John Wiley & Sons; 2009.
- [403] Granger CWJ, Terasvirta T. Modelling non-linear economic relationships. OUP Cat 1993.
- [404] White H. Learning in artificial neural networks: A statistical perspective. *Neural Comput*, 1:425–64, 1989.
- [405] Ripley BD. Statistical aspects of neural networks. *Networks Chaos—statistical Probabilistic Asp*, 50:40–123, 1993.
- [406] Cheng B, Titterton DM. Neural networks: A review from a statistical perspective. *Stat Sci*, 2–30, 1994.
- [407] Suganthi L, Samuel AA. Energy models for demand forecasting - A review. *Renew Sustain Energy Rev*, 16:1223–40, 2012.
- [408] Weron R. Electricity price forecasting: A review of the state-of-the-art with a look into the future. *Int J Forecast*, 30:1030–81, 2014.
- [409] Wang Z, Srinivasan RS. A review of artificial intelligence based building energy use prediction: Contrasting the capabilities of single and ensemble prediction models. *Renew Sustain Energy Rev*, 75:796–808, 2017.
- [410] O'Brien, J. and Marakas, G., *Management Information Systems*, (2009). p.384.











## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Emir Hüseyin Özder  
Doğum Tarihi : 1988  
Yabancı Dil : İngilizce

### Eğitim Durumu

Lisans : Atılım Üniversitesi – 2012  
Yüksek Lisans : Kırıkkale Üniversitesi – 2015  
Doktora : Kırıkkale Üniversitesi – 2020

Çalıştığı Kurum ve Yıl : Başkent Üniversitesi – 2014

### Yayımları (SCI) :

- Özder EH, Özcan E, Eren T. Staff Task-Based Shift Scheduling Solution with an ANP and Goal Programming Method in a Natural Gas Combined Cycle Power Plant. Mathematics, 2019; 7(2):192.
- Özder EH, Özcan E, Eren T. Sustainable Personnel Scheduling Problem Optimization in a Natural Gas Combined-Cycle Power Plant. Processes, 2019; 7(10):702.

### Yayımları (Diğer) :

- Eren T, Özder EH, Alakaş HM, Özcan E. Kısıt Programlama Yaklaşımıyla Güvenlik Personeli Çizelgeleme Probleminin Çözümü. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 2019; 4(2):16-25.
- Özder EH, Bedir N, Eren T. Yükseköğretimde Araştırmacı Seçiminde Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemlerinin Kullanılması: Bir Örnek Uygulama. Alanya Akademik Bakış, 2019; 3(1):19-33.

- Bedir N, Yalçın H, Özder EH, Eren T. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Taşeron Firma Seçimi: Kırıkkale İlinde Bir Uygulama. Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 2018; 6(2):25-33.
- Özcan E, Özder EH, Eren T. The Security Staff Scheduling Problem with Goal Programming Approach. Journal of Trends in the Development of Machinery and Associated Technology, 2018; 21(1):85-88.
- Özcan E, Özder EH, Eren T. Supplier Selection With AHP- TOPSIS Combination in Natural Gas Combined Cycle Power Plant. Journal of Trends in the Development of Machinery and Associated Technology, 2018; 21(1):57-60.
- Kaçmaz SÖ, Şengül N, Özder EH, Eren T. Hastanelerde Özel Hastalar İçin Hedef Programlama İle Menü Planlamasını Etkileyen Unsurlar. Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi, 2018; 21(3):393-422.
- Özder EH, Özcan E, Eren T. Shift scheduling by 0-1 integer programming model in the natural gas combined cycle power plants. Journal of Turkish Operations Management, 2018; 2:106-109.
- Özder EH, Varlı E, Eren T. A Model Suggestion for Cleaning Staff Scheduling Problem with Goal Programming Approach . The Black Sea Journal of Sciences, 2017; 7(2):114-127.
- Varlı E, Alağaç HM, Eren T, Özder EH. Goal Programming Solution of the Examiner Assignment Problem. Bilge International Journal of Science and Technology Research, 2017; 1(2):105-118.
- Özder EH. Supplier Selection Problem with Using Multi-Criteria Decision Making Methods: A Case Study in a Gas Mask Factory. International Journal of Management and Applied Science (IJMAS), 2017; 3(7):60-64.

- Hamurcu M, Gür Ş, Özder EH, Eren T. A Multicriteria Decision Making For Monorail Projects With Analytic Network Process And 0-1 Goal Programming. International Journal Of Advances In Electronics And Computer Science ( IJA ECS ), 2016; 3(7):8-12.
- Özder EH, Eren T. Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi ve Hedef Programlama Teknikleri İle Tedarikçi Seçimi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2016; 4(3):196-207.
- Özder EH, Kırkbeşoğlu E. Web-Based Customer Relations Ability of Insurance Companies in United Kingdom and Turkey: An Analysis With Multi-Criteria Decision Making. International Journal of Management and Applied Science, 2016; 2(9):75-78.
- Kırkbeşoğlu E, Mcneill J, Özder EH. An Evaluation of the Effectiveness of Insurance Organizations at Providing Information to Policyholders: A Cross-Cultural Comparison between United Kingdom & Turkey. International Business Research, 2015; 8(9):35-46.
- Kırkbeşoğlu E, Özder EH. The Effects of Organizational Performance on the Relationship between Perceived Organizational Support and Career Satisfaction: An Application on Insurance Industry. Journal of Management Research, 2015; 7(3):35-50.
- Özder EH, Eren T, Çetin Özel S. Supplier Selection With TOPSIS and Goal Programming Methods: A Case Study. Journal of Trends in the Development of Machinery and Associated Technology, 2015; 19(1):109-112.
- Eren T, Özder EH, Alakaş HM, Özcan E. Kısıt Programlama Yaklaşımıyla Güvenlik Personeli Çizelgeleme Probleminin Çözümü. 6. Uluslararası Mühendislik Kongresi: Şanlıurfa; 08/11/2018 - 10/11/2018

- Özcan E, Özder EH, Eren T. The Security Staff Scheduling Problem with Goal Programming Approach. 21th International Research/Expert Conference Trends in the Development of Machinery and Associated Technology: Karlovy Vary / Czech Republic; 18/09/2018 - 22/09/2018
- Özcan E, Özder EH, Eren T. Supplier Selection With AHP- TOPSIS Combination in Natural Gas Combined Cycle Power Plant. 21th International Research/Expert Conference Trends in the Development of Machinery and Associated Technology: Karlovy Vary / Czech Republic; 18/09/2018 - 22/09/2018
- Özder EH, Özcan E, Eren T. Shift scheduling by 0-1 integer programming model in the natural gas combined cycle power plants. 12th International Conference on New Challenges in Industrial Engineering and Operations Management: Ankara; 11/09/2018 - 12/09/2018
- Özcan E, Demirelli B, Özder EH, Eren T. Hidroelektrik Santrallarda Ana Sistemlerin Yerlileştirilmesi Problemi İçin Analitik Ağ Süreci İle Öncelik Analizi. II.International Scientific and Vocational Studies Congress, (Bilmes En-Nat 2018) Engineering And Natural Sciences: Nevşehir; 05/07/2018 - 08/07/2018
- Sıgır Ü, Halıcı A, Özder EH. KOBİ'lerin İç Verimlilik Sorunları Üzerine Bir Araştırma. 25.Ulusal Yönetim ve Organizasyon Kongresi: Ankara; 25/05/2017 - 27/05/2017
- Özder EH. Supplier Selection Problem with Using Multi-Criteria Decision Making Methods: A Case Study In A Gas Mask Factory. International Conference on Recent Innovations in Engineering and Technology (ICRIET 2017): Helsinki-Finland; 17/05/2017 - 18/05/2017

- Eren T, Özder EH. Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri İle Bir İçecek Firması İçin Tedarikçi Seçimi. 4<sup>th</sup> International Symposium On Innovative Technologies In Engineering And Science: Alanya; 03/11/2016 - 05/11/2016
- Özder EH, Gür Ş, Eren T. The Using Analytical Hierarchy Method for Selection of Accountants in Business. The 13th International Accounting Conference: İzmir; 20/10/2016 - 21/10/2016
- Özder EH, Gür Ş, Eren T. Accounting Software Selection with ANP and TOPSIS Methods for Increase the Effectiveness of Management in Business. The 13th International Accounting Conference: İzmir; 20/10/2016 - 21/10/2016
- Özder EH, Kırkbeşoğlu E. Web-Based Customer Relations Ability of Insurance Companies in United Kingdom and Turkey: An Analysis With Multi-Criteria Decision Making. 75th The IIER International Conference (International Conference on Advances in Business Management and Information Technology (ICABMIT)): Zurich - Switzerland; 14/07/2016 - 15/07/2016
- Hamurcu M, Gür Ş, Özder EH, Eren T. Multicriteria Decision Making For Monorail Projects with Analytic Hierarchy Process and 0,1 Goal Programming. ISERD, 48th International Conference on Economics, Management and Social Study (ICEMSS): İstanbul; 29/05/2016 - 30/05/2016
- Bedir N, Özder EH, Eren T. ANP, PROMETHEE Yöntemleriyle Gıda Sektörü İçin Üçüncü Parti Lojistik Firma Seçimi. 5. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi - ULTZK: Mersin; 26/05/2016 - 28/05/2016
- Bedir N, Özder EH, Eren T. Course Selection with AHP & PROMETHEE Methods for Post Graduate Students: An Application in Kirikkale University Graduate School of Natural and Applied Sciences. The 3rd International



Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA 2016): Hong Kong; 28/04/2016 - 30/04/2016

- Özder EH, Bedir N, Eren T. Academic Staff Selection with ANP & PROMETHEE Method: A Case Study In Turkey. 32. International Academic Conference on Engineering, Technology and Innovations (IACETI): Dubai - UAE; 05/03/2016
- Bedir N, Özder EH, Eren T. The Third Party Logistics Firm Selection Using AHP-PROMETHEE Methods. 13th International Logistics and Supply Chain Congress: İzmir; 22/10/2015 - 23/10/2015
- Özder EH, Eren T. Tedarikçi Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi Ve Hedef Programlama Yöntemlerinin Entegrasyonu: Örnek Bir Uygulama. 15. Üretim Araştırmaları Sempozyumu: Ege Üniversitesi - İzmir; 14/10/2015 - 16/10/2015
- Özder EH, Eren T, Çetin Özel S. Supplier Selection With TOPSIS and Goal Programming Methods: A Case Study. 19th International Research/Expert Conference - Trends and Development of Machinery and Associated Technology: Barcelona - Spain; 22/07/2015 - 23/07/2015
- Özder EH, Eren T. Integration of Analytic Network Process and Goal Programming Methods in Supplier Selection: A Case Study. XVI<sup>th</sup> International Symposium On Econometrics, Operations Research and Statistics: Edirne; 07/05/2015 - 12/05/2015

Araştırma Alanları : Personel çizelgeleme, çok ölçütlü karar verme