

T.C.  
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

VARDİYA ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN KOMBİNE AHS-PROMETHEE VE HEDEF  
PROGRAMLAMA YÖNTEMLERİ İLE ÇÖZÜMÜ: BİR HİDROELEKTRİK SANTRAL  
ÖRNEĞİ

NEŞET BEDİR

MART 2018

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Neşet BEDİR tarafından hazırlanan VARDİYA ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN KOMBİNE AHS-PROMETHEE VE HEDEF PROGRAMLAMA YÖNTEMLERİ İLE ÇÖZÜMÜ: BİR HİDROELEKTRİK SANTRAL ÖRNEĞİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Burak BİRGÖREN  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin Yüksek Lisans tezi olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Doç. Dr. Tamer EREN  
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Diyar AKAY  
Üye (Danışman) : Doç. Dr. Tamer EREN  
Üye : Yrd. Doç. Dr. Hacı Mehmet ALAĞAŞ

02/03/2018

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

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

### VARDİYA ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN KOMBİNE AHS-PROMETHEE VE HEDEF PROGRAMLAMA YÖNTEMLERİ İLE ÇÖZÜMÜ: BİR HİDROELEKTRİK SANTRAL ÖRNEĞİ

BEDİR, Neşet

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Tamer EREN

Mart 2018, 139 sayfa

Nüfus artışı, sanayileşme, kentleşme olgusu ve teknolojik gelişmelerin en önemli sonuçlarından birisi olarak her geçen gün enerji talebi artmakta ve bu durum ülkeleri yeni ve sürdürülebilir politikalar üretme konusuna yöneltmektedir. Bununla birlikte, fosil yakıtların azalan rezervleri ve çevresel etkileri yenilenebilir enerjinin öneminin günümüzde daha da artırmasına neden olmaktadır. Hidrolik güç, söz konusu yenilenebilir enerji kaynakları arasında üretim kararlılığı ve kaynak mevcudiyeti bağlamında dünya genelinde en dikkat çeken kaynak olarak karşımıza çıkmaktadır. Hidroelektrik santrallerin ülkelerin sürdürülebilir enerji politikalarına beklenen katkıyı sağlanabilmesi için, üretim, bakım, malzeme ve personel yönetiminin bütünleşik olarak ele alınması ve bir sistem dahilinde yönetilmesi ise bir zorunluluktur. Bu kavramların tamamı hidroelektrik santraller için kritik öneme sahip olup, üretimin kesintisiz, güvenilir ve kaliteli bir şekilde gerçekleştirilmesini temin etmesi açısından personel yönetimi ayrı bir kritikliğe sahiptir. Bu kapsamda bu tez çalışmasında, Türkiye toplam elektrik üretiminin yaklaşık beşte birlik kısmını teşkil eden hidroelektrik santrallerden büyük ölçekli bir tanesinde vardiya personelinin çizelgelenmesi ve bu sayede, personelden kaynaklı üretim duruşlarının önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada ilk olarak, personel yetkinliklerini etkileyen faktörler AHS (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemi ile ağırlıklandırılmış ve bu

ağırlıklar kullanılarak personel yetkinlikleri PROMETHEE ile hesaplanmıştır. İşçilerin tecrübe, kapasite ve teknik yeterliliklerine uygun işlere atanması ile adil iş dağılımının gerçekleştirilmesi amaçlarına odaklanılan bu tez çalışmasında, personel kaynaklı üretim kayıpları PROMETHEE ile hesaplanan personel yeteneklerinin yansıtıldığı öncelikli hedef programlama modeli ile minimize edilerek dengeli ve yetenek temelli bir vardiya çizelgesi elde edilmiştir. Bu çizelge, santralin en yoğun çalıştığı Ağustos 2017 için uygulanmış ve personel kaynaklı üretim duruşlarında bu sayede %86 iyileşme sağlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Hidroelektrik Santral, Vardiya Çizelgeleme, Hedef Programlama, Analitik Hiyerarşi Süreci, PROMETHEE



## ABSTRACT

### SHIFT SCHEDULING PROBLEMS SOLUTION WITH COMBINED AHP- PROMETHEE AND GOAL PROGRAMMING METHODS: AN APLICATION IN HYDROELECTRIC POWER PLANT

BEDİR, Neşet

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering, M.Sc. Thesis

Supervisor: Associate Prof. Dr. Tamer EREN

March 2018, 139 Pages

As one of the most important results of population growth, industrialization, urbanization and technological developments, energy demand is increasing day by day, and this situation directs the countries to develop new and sustainable policies. On the other hand, declining reserves and environmental impacts of fossil fuels lead to further increase the importance of renewable energy today. Hydraulic power emerges as the most noteworthy resource in the world in terms of generation stability and resource availability among such renewable energy sources. It is imperative that the management of generation, maintenance, materials and staff is integrated and managed within a system to provide the expected contribution of hydroelectric power plants to countries' sustainable energy policies. All these concepts, together with having a critical importance for hydroelectric power plants, staff management has a major criticality level in terms of ensuring that generation is carried out in an uninterrupted, reliable and quality manner. In this context in this thesis study, it is aimed that avoiding the stoppages due to operator in a one of the big scale hydroelectric power plant, which constitutes approximately one fifth of Turkey's total electricity generation by scheduling the shift personnel. In this thesis first, the factors affecting the personnel competencies are weighted by AHP method, and the personnel competencies are calculated with PROMETHEE by using these weights. A balanced and skill-based shift schedule is achieved by minimizing the generation losses due to

personnel with preemptive goal programming model in which personnel skills calculated with PROMETHEE are reflected in this thesis study, which focuses on the aims of realizing the distribution of the fair work and the assignment of the operators according to their experience, capacity and technical competencies. This schedule was implemented for August 2017 which has the most intensive operation time of the plant, and an 86% improvement in personnel-based generation downtimes was achieved.

**Keywords:** Hydroelectric Power Plant, Shift Scheduling, Goal Programming, Analytic Hierarchy Process, PROMETHEE



## TEŞEKKÜRLER

Tezimin hazırlanmasında mesleki tecrübeleri ile bana rehberlik eden, bu süreçte yardım ve desteğini esirgemeyen, her zaman yanımda olan çok değerli Tez Danıőmanı' m Doç. Dr. Tamer EREN' e, tez aşamasında yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Evren Can ÖZCAN ve Yrd. Doç. Dr. Hacı Mehmet ALAĞAŞ hocalarıma, bugünlere gelmemi sağlayan, eğitim öğretimime her zaman destek olan baőta babam Eyyup BEDİR, annem Meliha BEDİR ve dedem Suat BEDİR olmak üzere bütün aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Bu tez Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2017/048 No'lu Proje ile desteklenmiőtir. Desteklerinden dolayı BAP'a teőekkür ederiz.

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>TEŞEKKÜRLER</b> .....	v
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	vi
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	ix
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	xi
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. PERSONEL ÇİZELGELEME</b> .....	5
2.1. Hizmet Sistemlerinde Faaliyetler ve Kaynaklar .....	7
2.2. Operasyonel Karakteristikler ve Kısıtlar .....	9
2.3. Performans Ölçütleri ve Hedefleri .....	11
2.4. İşgücü Çizelgeleme Problemi.....	12
2.5. Vardiya Çizelgeleme .....	13
<b>3. HİDROELEKTRİK SANTRALINDA VARDİYA ÇİZELGELEME</b> .....	15
<b>4. LİTERATÜRDE YER ALAN ÇALIŞMALAR</b> .....	20
4.1. Üretim Sektöründe Yapılan Çalışmalar .....	20
4.2. Lojistik Sektöründe Yapılan Çalışmalar .....	22
4.3. Genel Amaçlı Yapılan Çalışmalar.....	23
4.4. Sağlık Sektöründe Yapılan Çalışmalar.....	26
4.5. Diğer Sektörlerde Yapılan Çalışmalar.....	29
4.6. Literatürde Yer Alan Çalışmaların Yorumlanması .....	31
<b>5. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME</b> .....	41



5.1.	AHS Yöntemi .....	41
5.1.1.	AHS Yöntemi Adımları .....	41
5.2.	PROMETHEE Yöntemi .....	46
5.2.1.	PROMETHEE İşlem Adımları .....	46
5.2.2.	PROMETHEE Yöntemi ile İlgili Literatürde Yer Alan Çalışmaların İncelenmesi .....	52
<b>6.</b>	<b>HEDEF PROGRAMLAMA</b> .....	<b>57</b>
6.1.	Hedef Programlama Kavramları .....	57
6.2.	Hedef Programlamanın Matematiksel Gösterimi .....	58
6.3.	Hedef Programlama ile İlgili Yapılan Çalışmalar .....	59
<b>7.</b>	<b>BİR HİDROELEKTRİK SANTRALINDA UYGULAMA</b> .....	<b>63</b>
7.1.	Problemin Tanımlanması .....	64
7.2.	Problem Verilerinin Toplanması .....	64
7.3.	AHS Yöntemi ile Personel Önceliklerini Belirlemede Kullanılacak Kriterlerin Ağırlıklandırılması .....	68
7.4.	PROMETHEE ile Yetkinlik kriterlerine göre Personellerin Önceliklerinin Belirlenmesi .....	79
7.5.	Hedef Programlama ile Vardiya Planının Oluşturulması .....	84
7.6.	Senaryo Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	89
<b>8.</b>	<b>SONUÇ</b> .....	<b>96</b>
	<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>98</b>
	<b>EKLER</b> .....	<b>125</b>
EK 1.	S2 İLE ELDE EDİLEN $vd_{ik}$ DEĞERLERİ .....	125
EK 2.	S2 İLE ELDE EDİLEN $b_{jk}$ DEĞERLERİ .....	126
EK 3.	S2 İLE ELDE EDİLEN ÇİZELGE .....	127
EK 4.	S3 İLE ELDE EDİLEN $vd_{ik}$ DEĞERLERİ .....	128
EK 5.	S3 İLE ELDE EDİLEN $b_{jk}$ DEĞERLERİ .....	129

EK 6. S3 İLE ELDE EDİLEN ÇİZELGE.....	130
EK 7. S4 İLE ELDE EDİLEN $vd_{ik}$ DEĞERLERİ .....	131
EK 8. S4 İLE ELDE EDİLEN $b_{jk}$ DEĞERLERİ .....	132
EK 9. S4 İLE ELDE EDİLEN ÇİZELGE.....	133
EK 10. S5 İLE ELDE EDİLEN $vd_{ik}$ DEĞERLERİ .....	134
EK 11. S5 İLE ELDE EDİLEN $b_{jk}$ DEĞERLERİ .....	135
EK 12. S5 İLE ELDE EDİLEN ÇİZELGE.....	136
EK 13. S6 İLE ELDE EDİLEN $vd_{ik}$ DEĞERLERİ .....	137
EK 14. S6 İLE ELDE EDİLEN $b_{jk}$ DEĞERLERİ.....	138
EK 15. S6 İLE ELDE EDİLEN ÇİZELGE.....	139

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Hizmet sistemi ve üretim sistemlerinde işlerin benzerliği .....	8
3.1. Türkiye birincil enerji arzı .....	16
4.1. Vardiya çizelgeleme ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar.....	32
4.2. Literatürdeki çalışmaların yayın yerleri .....	35
4.3. Literatürdeki çalışmalarda kullanılan optimal yöntemler .....	36
4.4. Literatürde yer alan çalışmalarda kullanılan sezgisel yöntemler .....	37
5.1. Önem skalası .....	43
5.2. Rassallık İndeksi .....	45
5.3. PROMETHEE veri matrisi genel gösterimi.....	47
5.4. Tercih fonksiyonları .....	49
5.5. PROMETHEE ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar .....	53
6.1. HP literatürde yer alan çalışmalar .....	61
7.1. Santral personelinin gereksinimleri .....	66
7.2. Ana kriterler için ikili karşılaştırma matrisi .....	69
7.3. Fizyoloji kriteri alt kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisi .....	69
7.4. Donanım kriteri alt kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisi.....	70
7.5. Beceri kriteri alt kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisi .....	70
7.6. Ana kriterler normalize matrisi .....	71
7.7. Ana kriter ağırlıkları.....	71
7.8. Fizyoloji alt kriterleri normalize matrisi .....	72
7.9. Fizyoloji alt kriterleri ağırlıkları.....	72
7.10. Donanım kriteri normalize matrisi .....	73
7.11. Donanım alt kriterleri ağırlıkları .....	73
7.12. Beceri kriteri normalize matrisi .....	74
7.13. Beceri alt kriteri normalize matrisi .....	74
7.14. Ana kriterlerin tutarlılık oranının hesabı.....	75
7.15. Fizyoloji kriteri alt kriterleri tutarlılık oranı hesabı .....	75
7.16. Donanım kriteri alt kriterleri tutarlılık oranının hesabı.....	76
7.17. Beceri kriteri alt kriterleri tutarlılık oranının hesabı .....	77

7.18. AHS yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları.....	78
7.19. PROMETHEE parametreleri .....	80
7.20. Personellerin yetkinlik kriterlerine göre aldıkları değerler .....	81
7.21. PROMETHEE I sonucu elde edilen personel öncelikleri .....	83
7.22. Senaryolar ile elde edilen sonuçların kıyaslanması .....	91
7.23. S1 için personellerin ay boyunca vardiyalarda çalıştıkları gün sayısı .....	93
7.24. S1 için vardiyadaki personellerin yetkinlik toplamı .....	94
7.25. S1 ile elde edilen 1 aylık çizelge.....	95



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Dünya birincil enerji arzı .....	15
4.1. Literatürde yer alan çalışmaların yıllara göre kümülatif toplamı.....	31
4.2. Literatürdeki çalışmalarda kullanılan yöntemler .....	37
4.3. Literatürde yer alan çalışmaların sektöre göre dağılımları .....	38
4.4. Literatürde yer alan çalışmaların uygulanabilirliği .....	39
5.1. AHS hiyerarşik yapı.....	42
5.2. Ortak tercih fonksiyonlarının şematik gösterimi.....	50
5.3. a karar noktası için oluşturulan pozitif ve negatif üstünlük gösterimi .....	51
5.4. PROMETHEE yöntemi ile ilgili yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımı .....	56
6.1. Hedef programlama ile ilgili çalışmaların yıllara göre dağılımı .....	60
7.1. Uygulama akış şeması.....	63
7.2. AHS uygulaması hiyerarşik yapısı.....	68

## KISALTMALAR DİZİNİ

AGTEM	Ana Güç Trafosu ve Ekipmanlarına Müdahale
AHS	Analitik Hiyerarşi Süreci
ASSÜM	Arıza Sinyallerine SCADA Üzerinden Müdahale
ATE	Aldığı Teknik Eğitimler
ÇŞ	Çalışma Şekli
DA	Dengeli Atama
DTA	Değişen Teknolojiye Adaptasyonu
EEMO	Elektrik veya Elektronik Mezuniyeti Olmalı
FSD	Fizyolojik Sağlık Durumu
GAM	Generatör Arızalarına Müdahale
HES	Hidroelektrik Santral
HP	Hedef Programlama
İHSD	İç Hastalıklar Sağlık Durumu
İSM	İkaz Sistemine Müdahale
KDRD	Kalp-Damar Rahatsızlıkları Durumu
kWh	kiloWatt saat
OY	Optimal Yöntem
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluation
PY	Personel Yaşı
Rİ	Rassallık İndeksi
S	Sektör
S/D	Stokastik/Deterministik
SAYDM	Su Alma Yapısı Donanımlarına Müdahale
SDJSM	Santral Dizel Jeneratör Sistemine Müdahale

SGYAM	Santralda Geçmişte Yaşanan Arızalara Müdahale Kabiliyeti
SİİSM	Santral İç İhtiyaç Sistemine Müdahale
SSM	Scada Sistemine Müdahale
SY	Sezgisel Yöntem
ŞSEM	Şalt Sahası Ekipmanlarına Müdahale
T/U	Teorik/Uygulama
tep	Ton Eşdeğeri Petrol
Tİ	Tutarlılık İndeksi
TO	Tutarlılık Oranı
TY	Tecrübe Yılı
TYDB	Teknik Yabancı Dil Bilgisi
ÜDAÇ	Üniteyi Devreye Alma ve Çıkarma
Y	Yetkinlik
YBSD	Yaşa Bağlı Sağlık Durumu
YGBY	Yüksek Gerilim Belge Yeterliliği
YHÜM	Yardımcı Hidrolik Ünite Müdahale
YY	Yayın Yılı

## 1. GİRİŞ

Enerji, ekonomik ve sosyal ilerlemeyi sağlayan, hayat kalitesini iyileştiren en önemli faktördür. Dünya nüfusunun artışı, demografik değişiklikler ve gelir artışları ile birlikte enerjiye duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Birleşmiş Milletler Ekonomik ve Sosyal İşler Departmanı'na göre dünya nüfusunun 2040'da 9,2 milyara yükselmesi beklenmektedir (DESA, 2017). Dünya nüfusundaki bu artış enerji ihtiyacının karşılanması sonucunu ortaya çıkartmaktadır (Albayrak, 2017).

Mevcut senaryolara göre 2014 yılında 13,7 milyar ton eşdeğer petrol (TEP) olan dünya birincil enerji talebinin, 2040 yılında %43 oranında artışla 19,6 milyar TEP'e ulaşacağı Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından öngörülebilmektedir. Bu tahminlere göre 2040 yılına kadar olan dönemde fosil yakıtların (petrol, doğal gaz, kömür) payları nispeten azalmakla birlikte, bu yakıtlar hâkim kaynaklar olmaya devam edecektir (Albayrak, 2017).

Fosil yakıtların çevresel etkileri üzerine duyulan endişeler ve azalan rezervler karşısında ülkeler, enerjiye olan talebi karşılamak için yeni ve sürdürülebilir politikalar geliştirmektedirler. Bu gelişmeler karşısında çevre ve ekonomiye yararları, dünyada bol ve yaygın olması, diğer üretim teknolojileriyle rekabet edebilme konusunda sağladığı hızlı iyileşmeler, gelişen teknolojiler ve buna bağlı olarak düşen maliyetler, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına zemin hazırlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllık ortalama %12,9 büyüme ile 2040 yılındaki payının %16,1 olacağı beklenmektedir (Petroleum, 2017).

2017 yılı sonu itibarıyla Türkiye'de elektrik üretimi için kullanılan temel kaynaklar doğal gaz, kömür ve yenilenebilir enerjidir. Türkiye'de 2017 yılı sonu itibarıyla elektrik enerjisinin %33,56'sı kömürden, %37,46'sı doğal gazdan, %28,66'sı yenilenebilir enerjiden ve kalan %0,32'si diğer kaynaklardan elde edilmektedir. Yenilenebilir enerjinin %69,00'u hidrolik, %21,77'si rüzgar, %6,56'sı jeotermal, %2,69 u biogaz kaynağından elde edilmektedir. Birincil enerji arzının kaynaklara göre



dağılımı incelendiğinde yenilenebilir kaynakların dörtte üçünü hidrolik oluşturmaktadır (Enerji Atlası,2018).

Ülke ekonomisine katkı sağlayan en önemli yerli elektrik üretim kaynağı hidroliktir. 2017 yılı üçüncü çeyreği sonu itibariyle Türkiye’de 616 hidrolik santral, toplam 27.107 MW kurulu gücü ile toplam kurulu gücümüzün %33,2’sini oluşturmaktadır. Hidrolik santrallar bakım ve yönetiminde uzmanlık isteyen yapılardır. Santralin işletiminin doğru bir şekilde yapılmaması santralda aksaklık ve arızalara sebebiyet vermektedir. Santralda oluşacak arızalar işletmeye çok büyük maddi zararlar vermektedir (Albayrak, 2017).

Hidrolik santrallarda çalışan verimliliği oldukça önemlidir. Çalışanların verimli çalışmaları doğru işe atanmalarıyla ve vardiyalarının dengeli bir şekilde planlanmasıyla gerçekleşmektedir. Santral personelinin vardiyaları manuel olarak yapılması bu etkenlerin göz ardı edilmesine sebep olmaktadır.

Bu çalışmada bir hidroelektrik santralında elektriksel ekipmanlardan sorumlu vardiya personelinin çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Problemin çözümünde Öncelikli Hedef Programlama ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden AHS (Analitik Hiyerarşi Süreci) ve PROMETHEE yöntemleri kullanılmıştır. Öncelikle personellerin yetkinlik kriterlerinin ağırlıkları AHS yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. AHS yönteminde personellerin yetkinliklerine etki eden faktörler fizyoloji, donanım ve beceri ana kriterleri altında analiz edilerek ağırlıklandırılmıştır. AHS yöntemi ile elde edilen ağırlıklar kullanılarak PROMETHEE yönteminde personel yetkinlikleri önceliklendirilmiştir. Santralda çalışan 28 vardiya personelinin öncelik değerleri belirlendikten sonra hedef programlama modeli kurulmuştur. Model sonucunda 2017 Ağustos ayı için personel hatasından kaynaklı üretim duruş maliyeti azaltılmıştır.

Çalışma “Giriş” bölümü de dahil olmak üzere 8 ana bölümden oluşmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde hizmet sistemlerinde çizelgeleme problemi anlatılmıştır. Öncelikle personel çizelgeleme probleminin genel yapısı hakkında bilgi verilmiş ve

türlerinden bahsedilmiştir. Daha sonra işgücü çizelgeleme problemi anlatılmıştır. Son olarak vardiya çizelgeleme problemi açıklanarak genel model verilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde hidroelektrik santralında vardiya çizelgeleme problemine yer verilmiştir. Türkiye’de ve Dünya’da enerjiden genel olarak bahsedildikten sonra hidrolik kaynakların Türkiye’deki durumu analiz edilmiştir. Santrallarda personel çizelgelemenin önemi detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Personel çizelgeleme probleminin analitik bir bakışla yapılmasının santrala sağlayacağı maddi faydalardan ve personel memnuniyetine etkisi açıklanmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde literatürde vardiya çizelgeleme problemi ile ilgili yapılan çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Yapılan çalışmalar kullanılan yöntem, sektör, yayın yeri, yayın yılı gibi kriterlere göre değerlendirilmiştir. Özellikle bu tezin literatüre katkısı açıklanmıştır. Tezi literatürden farklı kılan yetkinlik değerlendirmesinin dikkate alındığı diğer çalışmalarda nasıl ele alındığından bahsedilmiştir. Yine bu tezin literatürde enerji sektörü ile ilgili yapılan nadir çalışmalardan biri olduğu, sektörel dağılım ve enerji sektöründe yapılan çalışmalarla değerlendirilmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümünde uygulamada kullanılan Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden AHS ve PROMETHEE yöntemlerinin uygulama adımları detaylı bir şekilde anlatılmış. Yöntemlerin kullanıldığı diğer çalışmalardan örnekler verilmiştir.

Çalışmanın altıncı bölümünde Hedef Programlama yöntemi hakkında bilgi verilmiş ve modelin genel formülasyonuna yer verilmiştir. Ayrıca Öncelikli Hedef Programlama probleminin farkı aktarılmıştır.

Çalışmanın yedinci bölümünde ele alınan uygulamaya yer verilmiştir. Öncelikle problem tanımlanmış ve ele alınan santralin özelliklerinden bahsedilmiştir. Daha sonra AHS yöntemi ile personellerin önceliklendirilmesinde kullanılacak kriterler ağırlıklandırılmıştır. AHS yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak PROMETHEE yöntemi ile personel öncelikleri belirlenmiştir. PROMETHEE sonucunda elde edilen öncelik değerleri normalize edilerek modele eklenmiştir. Hedef

programlama modeli oluşturulmuş ve sonrasında model çıktısı ve mevcut durum kıyaslanmıştır.

Çalışmanın son bölümü olan sekizinci bölümde çalışma genel olarak incelenmiş, çalışma sonucunda elde edilen bulgulara yer verilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular tartışılmıştır. Gelecekte yapılacak çalışmalara önerilerde bulunulmuştur.



## 2. PERSONEL ÇİZELGELEME

Hizmet endüstrisi birçok bakımdan imalat sektöründen farklıdır. İmalat ortamında bir işin beklemesi ya da erken bitirilmesi modellerin yapısını büyük ölçüde etkilemektedir. Hizmet endüstrisinde beklemekten hoşlanmayan bir müşteri karşısında zamanın çok etkin kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle, hizmet endüstrilerinde planlama ve zamanlama, kapasite yönetimi ve verimlilik yönetimi ile daha fazla ilgilidir. Ayrıca imalat sırasında, kaynak sayısı (örneğin, makinalar) sabitken, buna karşılık hizmet sistemlerinde kaynakların sayısı (örneğin, insanlar) zamanla değişebilir. Hatta bu değişkenlik hizmet sistemlerinde çizelgeleme yapılırken amaç fonksiyonu bile olabilir. Bir diğer fark ise müşteriye ürün sunamamaktır. İmalat ortamında bir ürünün gecikmesinin bir cezası vardır. Ancak hizmet sektöründe müşteri geldiği an ilgilenilmediğinde tamamen kaybedilir. Bu fark, verim yönetiminin hizmet sektörlerinde önemini ortaya koymaktadır.

İmalat ve hizmet sektörleri arasındaki bu etkenler, işlem kısıtlamaları ve hedeflerinde farklılığını beraberinde getirmektedir. Örneğin proje planlama ve çizelgeleme, bir uçak gemisinin inşasında değil, aynı zamanda bir danışmanlık projesinin yönetiminde de yararlıdır. Hizmet sistemleri çizelgelemede ilk sınıf, rezervasyon sistemleri ve zaman çizelgesi modellerinden oluşur. Bu iki alt sınıf matematiksel olarak birbiriyle yakından ilişkilidir ancak benzerlik ve farklılıkları bulunmaktadır. Rezervasyon sistemi için bir modelde,  $j$  işi bir işlem süresine sahiptir ve başlangıç zamanı ve tamamlanma süresi genellikle önceden belirlenmiştir. Örneğin, bir araba kiralama ajansı için bir iş, belirli bir süre için bir araba rezervasyonuna eşdeğerdir. Ajans, gelen müşterilerin tamamının isteklerini karşılayamayabilir. Bunun gibi problemlerde amaç, genellikle mümkün olduğunca çok talebi yerine getirmektir.

Zaman çizelgesinde belirli bir dönemde yapılması gereken işlerin işlem süreleri ( $p_j$ ), mümkün olan en erken başlangıç zamanları ( $r_j$ ) ve mümkün olan en uygun teslim süresi ( $d_j$ ) tam olarak belirlenemeyebilir. Bir etkinliğin gerçekleşmesi için yeterli personelin bulunması gerekir. Bu da aynı kişiye veya operatöre ihtiyaç duyan iki işin aynı anda yapılamayacağını göstermektedir. Operatörlerin kullanılabilirliğine ilişkin

belirli bir süre çalışması gibi kısıtlamalar da olabilir. Buna örnek olarak sınav programı çizelgeleme problemi verilebilir. Sınavları benzer işler olarak ve odaları eşdeğer varsayalım. Sınava giren öğrenci sayıları değişebilir. Bir başka çizelgeleme problemi örneği, hastanelerde ameliyathanelerin çizelgenmesidir. Ameliyat için bir hasta, ameliyathane, cerrah, anestezi uzmanı ve cerrahi ekibin diğer üyeleri gerekir. Amaç, tüm operasyonları içeren ve tüm kısıtlamaları karşılayan uygun bir çizelge oluşturmaktır.

Hizmet modellerinin ikinci sınıfı, turnuva planlama modelleri ve yayın televizyonu çizelgeleme modellerinden oluşur. Bir turnuva planlama modeli, bir grup takımı olan bir ligi ve verilen zaman aralıklarına atanması gereken sabit bir oyun sayısını içerir. Oyunlar birçok kısıtlamaya tabi olabilir. Örneğin, belirli oyunların belirli zaman pencerelerinde oynatılması gerekir. Bir takımın bir turnuvada oynadığı oyun sırası çeşitli kısıtlamalara tabi olabilir; örneğin, bir takım evde iki kez art arda oynanan maçtan fazla oynama yapmamalı veya art arda iki kez oyun oynamamalıdır. Bir turnuva planlaması sorunu, tüm işlerin aynı işleme süresine sahip olduğu bir paralel makine zamanlama problemiyle karşılaştırılabilir. Ayrıca, bir takım belirli bir zaman aralığında en fazla bir oyun oynayabileceğinden, proje zamanlamasındaki işgücü kısıtlamalarına benzer sınırlamalar vardır.

Hizmet modellerinin üçüncü sınıfı ulaştırma zamanlaması modelleridir. Planlama ve zamanlama, havayolları, demiryolları ve nakliye için önemlidir. Bir iş, bir gemi, uçak veya araç tarafından gerçekleştirilmesi gereken bir yolculuk veya uçuş olabilir. Bir gemi, uçak veya araç, bir makineye benzer bir rol oynar. Bir yolculuk veya uçuş  $j$  belirli bir zaman aralığında yer almalıdır ve verilen işleme kısıtlamaları ve sınırlamalarına tabidir. İşleme kısıtlamaları ve sınırlamaları, belirli bir aracın ve ekipmanı atanabilmesi için, belirli bir yolculuk veya uçuşun diğer yolculuklar veya uçuşlarla nasıl birleştirilebileceğini belirler. Bir yolculuk veya uçuşun gidiş geliş sonucunda bir maliyet ( $c_k$ ) ve bir gelir ( $\pi_k$ ) elde eder. Amaç, toplam maliyeti en aza indirmek veya toplam kazanç maksimize etmektir.

Hizmet modellerinin dördüncü sınıfı, iş endüstrisinde planlama ve zamanlamanın çok önemli bir parçası olan iş planlamasıyla ilgilidir. İşgücü planlama modelleri, makine

planlama modellerinden oldukça farklı olma eğilimindedir. İşgücü planlaması, bir ulaşım ortamında bir servis tesisindeki (örneğin bir çağrı merkezi) ya da Ekip planlamasında vardiyalı planlamayı ifade etmektedir. Vardiyalı çizelgeleme modelleri formüle etmek için daha kolay yöntemlerdir: Her zaman aralığı için mevcut olması gereken personel sayısı ile ilgili gereksinimler vardır.  $i$  Zaman aralığı  $b_i$  ( $b_i$  tamsayı) bir istasyon gerektirir. Personel, iki farklı vardiyadan dolayı kiralanabilir ve her bir kiralık tazminat ile ilgili bir maliyet vardır. Amaç toplam maliyeti en aza indirmektir. Bir vardiya planlamasının makine çizelgeleme ile biraz benzer olduğunu iddia edebilir.  $i$  Zaman aralığı (birim uzunluğuna sahip olabilir) sırasında her bir  $i$  birim uzunluğu olmak üzere  $b_i$  görev yapılmalıdır. İşgücü, bir bakıma, birim görevleri işlemek zorunda olan, paralel birkaç makine ile eşdeğerdir. Bu birim görevlerini  $i$  aralığında yapmak için en az  $b_i$  kaynak olması gerekir. Bu kaynakları korumakla ilgili kısıtlamalar, sınırlamalar ve maliyetler vardır ve hedef toplam maliyeti en aza indirmektir. Vardiyaların özel yapıları nedeniyle böyle bir problemin formülasyonu tipik bir makine çizelgeleme probleminin formülasyonundan farklıdır. Ekip çizelgeleme modellerinin formülasyonları, vardiya çizelgeleme modellerinin formülasyonlarından da farklıdır. Vardiya planlaması modellerinin aksine, Ekip çizelgeleme modelleri kararlı bir durum modelini varsaymaz. Ekip çizelgeleme yapılması gerekli belirli görevlere çok fazla bağlıdır. Ekip planlaması bu nedenle kuruluştaki diğer çizelgeleme problemleriyle (örneğin, uçakların veya kamyonların yönlendirilmesi ve çizelgelendirilmesi) iç içe geçmiş durumdadır.

Hizmet sistemlerindeki yukarıda bahsedilen dört sınıftan anlaşıldığı üzere, üretim sistemlerindeki planlama ve zamanlama uygulamaları arasında benzerliklerin olduğu açıktır. Zaman aralığı çizelgeleme, zaman çizelgeleme ve rezervasyon modellerinin alanları imalatta planlama ve çizelgeleme ile birçok benzerliğe sahiptir. Rezervasyon sistemleri, ulaşım ve misafirperverlik endüstrisinde yaygın olarak görülmektedir.

## 2.1. Hizmet Sistemlerinde Faaliyetler ve Kaynaklar

İmalatta bir iş genellikle fiziksel bir bileşeni dönüştüren ve ona bir değer katan bir etkinliği temsil eder. Hizmet sistemlerinde bir faaliyet genellikle insanları ilgilendirir.

Hizmet sistemlerinde etkinlik, bir toplantı, iki takımın oynayacağı bir oyun, bir uçak yolculuğu veya belirli bir işin yapılması için gerekli personel olarak tanımlanabilir. Hizmet endüstrilerindeki bir işin veya bir faaliyetin özellikleri bazı açılardan üretim ortamındaki bir işin özelliklerine benzerliği Çizelge 2.1’de gösterilmektedir.

**Çizelge 2.1.** Hizmet sistemi ve üretim sistemlerinde işlerin benzerliği

Hizmet Sistemleri	Üretim Sistemleri	Notasyon
bir süre	işlem süresi	$p_{ij}$
mümkün olan en erken başlangıç zamanı	geliş zamanı	$r_j$
mümkün olan son bir bitiş süresi	teslim tarihi	$d_j$
öncelik seviyesi	ağırlık	$w_j$

Üretim ortamında kaynaklar genellikle makinalardır. Makinalar paralel veya seri olarak kurulabilir veya daha karmaşık bir güzergah izleyebilir. Hizmet modellerinde kaynaklar farklılıklar içerebilir. Bir kaynak sınıf, toplantı odası, otel odası, stadyum veya ameliyathane olabilir. Ulaşımında bir uçak, gemi, kamyon, tren, havaalanı kapısı, rıhtım, demiryolu hattı, kişi (ör. Bir pilot) vb. olabilir. Bir sağlık ortamında, bir kaynak bir ameliyathane veya cerrah olabilir.

Hizmet endüstrilerinde genellikle farklı kaynak türlerinin kullanım zamanlarını senkronize etmek önemlidir. Belirli bir etkinliği gerçekleştirmek için, aynı anda iki ya da üç farklı kaynak türünde mevcut olması gerekebilir. Belli bir kargoyu bir noktadan diğerine taşımak için bir kamyon, sürücü ve yükleme alanları bulunmalıdır. Bir tren bir istasyondan diğerine giderse, tren yola çıkarken iki istasyon arasında bir yol mevcut olmalıdır. Her kaynak türü, planlama ve zamanlama süreci için önemli özellikler veya parametreler içerebilir. Örneğin, kaynak  $i$  bir oda ise, o zaman  $A_i$  (koltuk sayısı) kapasitesi, birim zaman başına  $c_i$  bir maliyeti (veya geliri), belirli ekipmanın (örneğin, görsel-işitsel) bulunabilirliği vb. vardır. Bir uçak, gemi veya kamyon  $A_i$  kapasitesine sahip olabilir, belirli bir hıza ve belirli aralıklara sahip olabilir.

Eğer kaynak bir kişi ise, bir operatör veya cerrah olabilir ve bir uzman genellikle, kendisinin üstesinden gelebileceği iş türlerini belirleyen bir dizi özellik veya beceri içerir.

## 2.2. Operasyonel Karakteristikler ve Kısıtlar

Hizmet modellerinde operasyonel özellikler ve kısıtlar, imalat modellerindekinden daha fazla çeşitlilik gösterir ve genellikle daha belirgin haldedir.

**Zaman penceresi (başlangıç ve teslim tarihleri):** Bir havayolu şirketi uçuşlarını planladığında, her uçuşun zaman penceresinde kalktığından emin olmanız gerekir. Bir zaman penceresi, genellikle kalkış saatinin bir fonksiyonu olarak yolcu talebinin tahminlerini içeren bir pazarlama departmanı tarafından belirlenir. Aynı şekilde tren hatları çizelgesinde de geçerlidir. Belli bir hattaki her tren, hattaki istasyonların her biri için ideal bir varış ve ayrılış zamanına sahiptir.

**Kapasite gerekleri ve kısıtlamaları:** Kapasite gereksinimleri ve kısıtlamaları, rezervasyon sistemlerinde, toplantıların zaman çizelgesinde ve nakliye planlamasında önemlidir. Bir toplantı ya da sınav akılda tutulacak sayıda katılımcı ile programlanabilir; bu sayı toplantının önemli bir parametresidir, çünkü mümkün olan bir programda bu parametrenin değeri toplantı salonunun kapasitesinden daha az olmalıdır. Bir havayolu, uçakları çeşitli uçuş ağlarına atadığında, her uçak üzerindeki koltuk sayısını dikkate almak zorundadır.

Kapasite gereksinimleri, bir imalat modelindeki makine uygunluk kısıtlamalarına benzer. Paralel bir makine ortamında  $j$  işi, mevcut makinelerin yalnızca herhangi birinde değil, belirli bir alt gruba ait bir makineyle işlenebilir.

Kapasite kısıtlamaları demiryolu planlamasında da önemlidir. Her iki istasyon arasında her yönde genellikle tek bir yolun olması, bir trenin istasyonlar arasında başka bir tren geçmesini imkansız kılar. Demiryolu planlaması, bu tür parkur kapasitesi kısıtlamaları nedeniyle özellikle önemlidir.



**Kurulum süreleri ve işlem süreleri:** Envanterde bulunan kaynaklar ardışık etkinlikler arasında kurulumlar gerektirebilir. Odalar, uçaklar ve kamyonlar, sonraki toplantılar veya geziler için temizlenmelidir. Bu, dizi bağımlı olabilen veya olmayabilen bir kurulum zamanı içerebilir. Kurulumlar sabit veya rasgele sürelerde olabilir. Örneğin, bir uçak bir havaalanına geldiğinde, tekrar havalanması için çeşitli faaliyetler yapılmalıdır. Gelen yolcuların indirilmesi, uçağın yakıt ikmali ve temizlenmesi ve yolcuların uçağa binmesi gerekiyor. Havaalanı modellerinde bir pist kaynak olarak kabul edilebilir; havalanma ve inişler aktivitelerini gerçekleştirir ve dizi bağımlı kurulum süreleri vardır. Ardışık iki uçuş arasında hava türbülansının dağılmasına izin vermek için pisti bir veya iki dakika rölantide tutmak gerekli olabilir. Bu boşta kalma süresi, küçük bir düzlemin büyük bir düzlemi izlediği zaman daha uzundur.

**Operatör ve işlem için gerekli ekipmanlar:** Paralel kaynaklara sahip bir ortamda, faaliyetlerin, ek gereksinimlerin karşılanacağı şekilde planlanması gerekebilir veya eşdeğer olarak operatörler veya araçlar bu tür durumlarda tahsis edilmelidir. Kaynaklar sıklıkla bir etkinlik gerçekleştirilmesini gerektirir. Operatörlerin uzmanlıkları farklı türden olabilir ve bazı türlerde sınırlı kullanılabilirlik olabilir. Uçakların rota ve çizelgelenmesi bu nedenle çoğu zaman Ekip çizelgelemesi ile iç içe geçmiş durumdadır.

Operatör ve takım gereksinimleri tabii ki üretim ayarlarında da rol oynar. Bir makina kümesinde belirli bir makinede çalışabilen sınırlı sayıda operatör olabilir. Bu makinede işleme tabi tutulması gereken işler, bu operatörler tarafından erişilene kadar beklemek zorundadır. Bu gibi durumlarda, makine planlaması ve işgücü planlaması birlikte yapılmalıdır. Yalnızca bir operatör türü varsa, operatörler homojen işgücü oluşturur.

**İşgücü planlama kısıtlamaları:** İşgücü planlaması ve vardiya atamaları genellikle birçok kısıtlamaya tabidir. Genellikle personeller belirli sayıda gün çalıştıktan sonra izin verilecek şekilde çalıştırılmaktadır. Bunun yanında işletmelerin her gün, vardiya veya zaman diliminde gerekli personel sayıları farklılık gösterebilmektedir. Örneğin

bir alışveriş merkezinde bulunan giyim mağazasında sabah kasada çalışan 1 personel yeterli olurken akşam saatlerinde daha fazla personele ihtiyaç duyulmaktadır. Hafta sonu ise normalde kullanılmayan kasalar da aktif hale geldiğinden personel ihtiyacını karşılamak için kısmi zamanlı personeller çalıştırılabilmektedir. Bu gibi işletmelerde mola saatlerini planlarken personelin tümünü ele alarak yapılmaktadır. Örneğin bir reyonda personel molada ise onun iş yükünü diğer personeller paylaşmaktadır.

### 2.3. Performans Ölçütleri ve Hedefleri

Üretimdeki planlama hedefleri tipik olarak, işlerin bitiş sürelerinin ve teslim tarihlerinin bir fonksiyonudur. Genellikle, üretim ortamındaki makinelerin sayısı sabittir. Hizmet ortamlarında hedefler biraz farklı olabilir. Hizmet ortamında bazı hedefler gerçekten de tamamlanma sürelerinin ve teslim tarihlerin bir fonksiyonudur; ancak, hizmet ortamındaki hedeflerin ek bir boyutu olabilir. İmalatın aksine, bir hizmet ortamındaki kaynakların sayısı değişken olabilir (örneğin, tam zamanlı ve yarı zamanlı çalışanların sayısı). Bu nedenle, kullanılan kaynak sayısını en aza indirmeye ve bu kaynakların kullanımıyla ilişkili maliyeti en aza indirmeye çalışan farklı bir amaç olabilir.

Bir hizmet ortamında bir amaç, bu nedenle, iki faaliyet türünün bir kombinasyonu olabilir. Biri etkinliklerin zamanlamaları ve diğeri kaynakların kullanımı ile ilgilidir. Eğer bu iki hedef tipi bir amaç fonksiyonunda birleştirilirse, uygun ağırlıklar belirlenmelidir.

Belirli bir zaman dilimine veya belli bir maliyeti olan bir atamaya sahip belirli bir odaya bir etkinliğin (toplantı veya oyun) atanması gereken bir atama probleminde amaç, tüm görevlerin toplam maliyetini en aza indirmektir. Ulaşım programlamasında, belirli geziler tüm kısıtlamaları karşılayan uygun turlara birleştirilmelidir. Oluşturulan rotaların, minimum maliyet ile karşılanması gereken tüm seferleri içermesi gerekir.

**Tamamlanma zamanı:** En büyük tamamlanma zamanının en aza indirilmesi problemi, sadece proje planlama ve çizelgeleme modellerinde değil aynı zamanda

rezervasyon sistemleri için de önemlidir. Örneğin, bir sınav döneminde haftanın günlerine sıkıştırılması gereken bir dizi sınavı düşünün; birincil amaç, o dönem içindeki tüm sınavları planlamak olabilir ve ikincil bir amaç, kullanılan oda sayısını en aza indirmek olabilir.

**Kurulum masrafları:** Bir uçağın alınmasından önce, uçuşun türüne bağlı olarak bazı hazırlıklar yapılmalıdır. Hazırlıklar arasında temizlik, ikram, benzin ve benzeri süreçler bulunmaktadır. Diğer zamanlarda, motor bakımı gibi süreçleri içerebilecek daha ayrıntılı kurulumlar gereklidir.

**Erken bitirme ve gecikme maliyetleri:** Uygunluk Maliyetleri ve Ceza Maliyetleri: Bir tren veya uçağın kalkış süresi, ideal kalkış saatinden çok fazla kaymışsa, bu kayıp nedeniyle ceza maliyeti oluşmaktadır. Özellikle havaalanlarında park ücretlerinin pahalı olması uçak firmaları için önemli bir maliyet teşkil etmektedir.

**Personel giderleri:** Belirli bir kişiye belirli bir vardiyaya atama yapılmasıyla bir maliyet ilişkilidir. Bu temel maliyet genellikle önceden bilinmektedir. Bununla birlikte, fazla mesai gerekli olabilir. Fazla mesai ücretleri normal mesai ücretlerinden oldukça yüksektir (Pinedo, 2005).

#### 2.4. İşgücü Çizelgeleme Problemi

İşgücü maliyetleri birçok endüstride ve faaliyetlerde toplam maliyetin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. İşgücü planlaması, yalnızca işgücü planlamasıyla değil, aynı zamanda esnek çalışma düzenlemeleri ile de ilgilenen bir çizelgeleme problemidir. Bu konuyla ilgili çalışmalar tek vardiya ve çok vardiya planlama olarak ayrılmıştır. Çok vardiyalı programlamada, her gün birkaç vardiyaya ayrılır ve zamanlama, her çalışan için haftanın çalışma saatleri ve günün çalışma saatlerinin belirlenmesini içerir. Azmat ve Widmer (2004) bu iki zamanlama türünü dört alt kategoriye bölmüşlerdir. Düzenli çalışma programlarının haftada beş iş günü vardır, ancak sıkıştırılmış çalışma programlarının haftada üç, dört veya üç-dört iş günü vardır. Hiyerarşik işgücü planlaması, farklı işçi sınıfları düşünüldüğünde gerçekleşir. Örneğin

A grubundaki işçiler A işini yaparken, B grubundaki işçiler B işini yapabilir. Yıllık saat planlaması, haftada çalışma saatlerinin sayısı sabit olmadığında, ancak yıllık miktar sabit veya sınırlı olduğunda gerçekleşir. Toplam planlama, tipik olarak altı ay ile bir yıla kadar uzanan bir planlama ufku boyunca talebin üstesinden gelmek için üretim envanteri ve işgücü düzeylerini belirleme problemiyle ilgilidir.

İşgücü tahsisi ve personel planlaması, zaman içinde değişen kaynaklara olan talebi karşılamak için iş programlarının düzenlenmesi ve personelin vardiyaya yönlendirilmesi ile ilgilidir. Bu problemler, çağrı merkezleri, hastane hemşireleri, polis memurları, ulaşım personeli (uçak mürettebatı, otobüs şoförü) gibi hizmet endüstrilerinde çok önemlidir. Bu ortamlarda işlemler genellikle uzun ve düzensizdir ve gereksinimleri zamanla değişir (Burns ve Carter, 1985).

## 2.5. Vardiya Çizelgeleme

Bölüm 2.4'te tartışılan çizelgeleme probleminde, döngü üzerinde çeşitli atama kalıpları bulunmaktadır. Çalışanların belirli bir iş modeline atanma maliyeti, her model için aynı kabul edilmiştir ve amaç, toplam çalışan sayısını en aza indirmektir. Her atama modelinin aynı maliyette olması, sorunun nispeten kolay olmasını sağlamaktadır.

Vardiya çizelgeleme problemi şu şekilde formüle edilebilir. Önceden belirlenmiş döngü,  $m$  zaman aralıklarından veya periyotlardan oluşmaktadır. Dönemlerin uzunluklarının aynı olması gerekmez. Bir dönemde  $i$ . periyotta (saat, gün bölümü) ( $i = 1, \dots, m$ )  $b_i$  personelin bulunması gerekiyor.  $b_i$  sayısı elbette bir tam sayıdır.  $N$  farklı vardiya modeli olan bir problemde ihtiyaç sayısına göre personeller periyotlara atanır. Vardiya modeli  $j$  (örneğin; bir mağazada mesailer 10.00-17.00, 13.00-20.00, 12.00-20.00) bir vektör  $(v_{1j}, v_{2j}, \dots, v_{mj})$  ile tanımlanır.

$$v_{ij} = \begin{cases} 1, & i. \text{ periyot } j. \text{ vardiya modelini kapsıyorsa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

j. vardiya modeline bir personel atanmasının maliyeti  $c_j$  ve  $x_j$  j. vardiyaya atanan kişi sayısını ifade eden karar değişkenini ifade etsin. Talebi karşılamak için personel atamak toplam maliyetinin en aza indirilmesi problemini şu tam sayı programlama problemi olarak formüle edildiğinde Eşitlik 2.1 amaç fonksiyonu, Eşitlik 2.2, 2.3, 2.4 ve 2.5 kısıtları göstermektedir.

$$\text{minimize } c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (2.1)$$

Kısıtlar

$$v_{11}x_1 + v_{12}x_2 + \dots + v_{1n}x_n \geq b_1 \quad (2.2)$$

$$v_{21}x_1 + v_{22}x_2 + \dots + v_{2n}x_n \geq b_1 \quad (2.3)$$

⋮

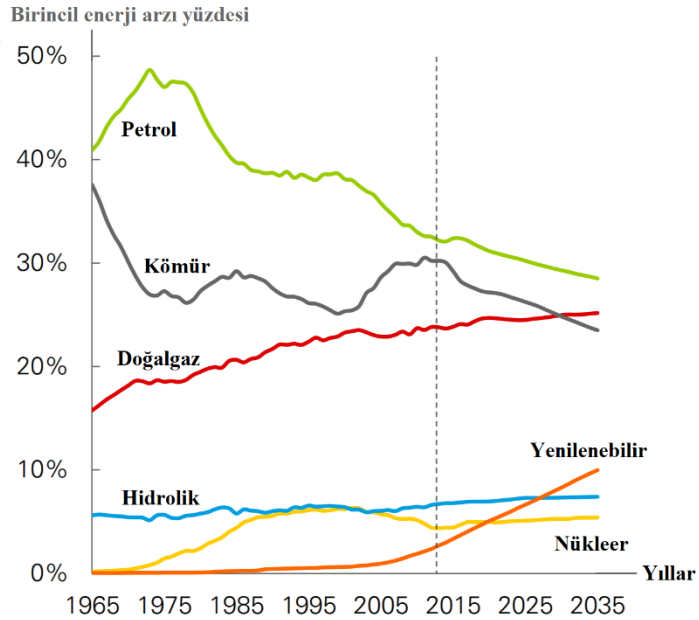
$$v_{m1}x_1 + v_{m2}x_2 + \dots + v_{mn}x_n \geq b_m \quad (2.4)$$

$$x_j \geq 0 \quad j=1,2,\dots,n \quad (2.5)$$

Böyle bir tamsayı programlama probleminin genelde NP-zor olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, V matrisi sıklıkla özel bir yapı gösterebilir. Örneğin, vardiya j,  $(v_{1j}, v_{2j}, \dots, v_{mj})$ , bitişik bir 1 kümesi içerebilir (bitişik 1 kümesi, 1'ler arasında 0'ın bulunmadığını gösterir). Bununla birlikte, 1'in sayısı, vardiyadan vardiyaya değişebilir, çünkü bazı vardiyaların diğer vardiyalara göre daha uzun saatler veya daha fazla gün çalışması gerektiği mümkündür.

### 3. HİDROELEKTRİK SANTRALINDA VARDİYA ÇİZELGELEME

Teknolojik gelişmeler sonucunda tüketim alışkanlıklarının değişmesiyle enerji talebi gün geçtikçe artmaktadır. Bir yandan fosil yakıt rezervleri azalırken, bir yandan da dünya nüfusunun hızla artışı, ülkeleri yeni ve sürdürülebilir politikalar geliştirmeye zorlamaktadır. Bu amaçla ülkeler çevreye duyarlı ve sürdürülebilir olması sebebiyle yenilenebilir enerjiye yatırımlarını artırmışlardır. Dünya genelinde yenilenebilir enerjinin önemi anlaşılrsa da henüz enerji talebinin büyük kısmı diğer kaynaklardan elde edilmektedir. Dünya birincil enerji arzının yıllara göre dağılımı Şekil 3.1’de gösterilmektedir. BP’nin (British Petroleum) 2017 raporuna göre fosil yakıtların birincil enerji arzındaki payı gelecekte azalacaktır. Bunun yanında yenilenebilir enerjinin (hidrolik hariç) 2035 yılında birincil enerji arzının %10’unu karşılayacağı tahmin edilmektedir. Buna ek olarak hidroelektrik geçmişten geleceğe önemini hiç kaybetmeyen enerji kaynağı olarak dikkat çekmektedir (Petroleum, 2017).



Şekil 3.1. Dünya birincil enerji arzı

Türkiye'nin birincil enerji arzının yıllara göre dağılımı Çizelge 3.1'de gösterilmektedir (EÜAŞ, 2017). Türkiye'de de son yıllarda yenilenebilir enerji yatırımları hız kazanmıştır. Mevcut enerji ihtiyacımızın yaklaşık %30'u yenilenebilir kaynaklardan elde edilmektedir. Mevcut yenilenebilir kaynaklarımızın dörtte üçünü oluşturan kaynak ise hidroliktir. Hidrolik kaynaklar Türkiye'de geçmişten bugüne önemini yitirmemiş ve her zaman ülke ekonomisine katkı sağlamıştır.

**Çizelge 3.1.** Türkiye birincil enerji arzı

<b>Kaynak</b>	<b>2013</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2015</b>
	<b>(bin tep)</b>	<b>(%)</b>	<b>(bin tep)</b>	<b>(%)</b>	<b>(bin tep)</b>	<b>(%)</b>
<b>Doğalgaz</b>	37.628	32,4	40.201	33,3	39.651	30,7
<b>Kömür</b>	33.433	28,7	36.682	30,4	37.514	29,0
<b>Petrol ve Petrol Ürünleri</b>	32.130	27,6	31.625	26,2	36.367	28,1
<b>Hidrolik</b>	5.110	4,4	3.495	2,9	5.775	4,5
<b>Jeotermal- Diğer Isı</b>	2.636	2,3	3.524	2,9	4.805	3,7
<b>Biyoenerji ve Atıklar</b>	3.398	2,9	3.246	2,7	2.937	2,3
<b>Rüzgar</b>	650	0,6	733	0,6	1.002	0,8
<b>Güneş</b>	795	0,7	803	0,7	828	0,6
<b>Elektrik</b>	533	0,5	439	0,4	339	0,3
<b>Toplam</b>	116.314		120.747		129.217	

Hidrolik enerjisinden elektrik üretilmesi amacıyla kullanılan en büyük kaynak akarsu yataklarına kurulan barajlardır. Bu barajlara kurulan santrallar aracılığıyla elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Hidrolik enerji kaynağı nehir yatağından akan su olduğundan, diğer kaynaklar gibi bir boru hattı veya gemi taşımacılığı gibi ulaşım ve iletim süreçlerine gereksinim duymamaktadır. Bu sebeple bu ilave tesislerin ve taşımının oluşturacağı çevresel riskler ve sorunlar Hidroelektrik Santrallarda (HES) bulunmamaktadır. Ayrıca HES'ler suyun debisini düzenleyebildiğinden erozyon oluşmasını engeller. HES'ler türbinden geçirdiği suyu yalnız enerji üretimi için kullanır ve yine nehir yatağına bırakır. Bu sebeple HES'ler enerji üreten fakat

tüketmeyen sistemlerdir. HES'ler hiçbir doğal kaynağı tüketmeden enerji üretimini gerçekleştirmektedir. HES'ler işletme gideri çok düşük, devreye alınmaları hızlı ve kaynak açısından dışa bağımlı olunmayan elektrik üretim tesisleridir. Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli içinde en önemli yeri tutan hidrolik kaynaklarımızın teorik potansiyeli 433 milyar kiloWatt saat (kWh) olup teknik olarak değerlendirilebilir potansiyel 216 milyar kWh ve ekonomik hidroelektrik enerji potansiyel 140 milyar kWh/yıl'dır. 2017 yılı üçüncü çeyreği sonu itibariyle, işletmede bulunan lisanslı ve lisanssız 616 adet HES ile 27.107 MW'lık kurulu güce ve toplam kurulu gücün yaklaşık %33,2'sine karşılık gelmektedir. 2017 yılında elektrik üretimimizin, %22,2'si hidrolikten elde edilmiştir. Hidroelektrik üretimi 2017 yılında 49,6 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir (Albayrak, 2017).

Bir HES genel olarak 5 ana kısımdan meydana gelmektedir. Bunlar su tutma ve su alma amacını taşıyan su depolama yapısı, su düşümü sağlayabilmek amacını taşıyan baraj, türbine su girişini sağlayan yapı, türbin ve generatör ile elektrik üretimi yapılan bölüm ve alçak, orta ve yüksek gelirim için elektriksel şalt sahasıdır. Bu santraller, günümüzün sürekli gelişen teknolojisi ile santral sahasına dağıtılmış kontrol sistemlerine (DCS) bağlı kontrol kumanda, ölçme ve koruma (SCADA) sistemleri ile uzaktan ya da bir ana kontrol merkezinden işletme personeli tarafından kumanda edilmektedir. Kapsamlı ve entegre bir veri tabanlı kontrol ve gözetleme sistemi olan SCADA kontrol sistemi sayesinde, santrale ait tüm ekipmanların kontrolünden üretim planlamasına, çevre kontrol ünitelerinden yardımcı işletmelere kadar tüm birimlerin otomatik kontrolü ve gözetilmesi sağlanabilmektedir. Santralin otorite kuruluşların verdiği talimatlara göre devreye alınır, çalışma yükü artırılır ya da kapasitesinin daha altındaki yüklerde çalıştırılabilir. Bu tesislerin ekonomik ömürleri, yapılan rehabilitasyonlar sonucunda onlarca yıl uzatılabilmektedir. Bunlara ek olarak Santrallarda SCADA sistemi kullanımı, kullanıcı tarafından tanımlanmış santrale ait parametreler vasıtasıyla işletmenin takibi, reçete ekranları vasıtasıyla, üretim reçetelerinin girilmesi ve işleyen reçeteler hakkında operatörün bilgilendirilmesi, parametre ekranları vasıtasıyla, sistem için gerekli olan limit değerlerin girilmesi, anlık ve periyodik raporların alınması, otomatik çalışan sisteme, SCADA ekranlarından manuel müdahale imkan sağlamaktadır. Tabi ki bunun sonucunda santralda gerekli



personel sayısı SCADA'sız sistemlere göre oldukça düşük olmaktadır (Özcan vd., 2017).

SCADA sisteminin bu denli avantajlı olmasına rağmen Dünya'da ve Türkiye'de SCADA sisteminin tam etkin olmadığı halde işletilmekte olan santraller mevcuttur. Bu şekilde işletilen hidroelektrik santrallerinde, son teknolojiye uyumlu sistemlere göre daha ilkel otomasyon sistemleriyle ana kumanda merkezlerinden ve santral sahasında yer alan ekipmanlara mahallinden müdahale edilmek suretiyle çalıştırılmaktadır. Bunun bir sonucu olarak çalıştırılan personel sayısı gelişmiş teknoloji kullanan santrallara nazaran oldukça fazladır ve bu da operatör kaynaklı üretim kaybının artmasına yol açmaktadır.

Hidroelektrik santrallerin yapısı gereği yoğun stres altında çalışan personellerde konsantrasyon eksikliği, yorgunluk, tecrübe yetersizliği ve adil çalışma düzeninin olmaması sonucunda motivasyon kaybı yaşaması personellerin hata yapma yüzdelerini artırmaktadır. Dinamik yapıda çalışan santrallerde birkaç saatlik duruşların sonuçları bile milyonlarca kWh enerji ve büyük maddi kayıplara yol açmaktadır.

Günümüz teknolojisine sahip olmayan hidroelektrik santrallerde çalışan işletme personellerinin tecrübe ve donanımları dikkate alınarak yetkinliklerine göre vardiyaların dengelenmesi ve personellerin dengeli bir şekilde vardiyalara atanması oldukça büyük önem arz etmektedir. Bu faktörler sistematik olarak ele alınarak personel planlaması yapıldığında bir yandan personel memnuniyeti sağlanmış diğer yandan da çatısı altında buldukları şirket için sağlayacağı ekonomik değer pozitif anlamda artırılmış olacaktır.

Personellerin bu denli etkin olduğu santrallerde personel yetkinliklerinin değerlendirilmesi oldukça büyük önem arz etmektedir. Bu değerlendirmeler alanında uzman mühendis ve yöneticiler tarafından yapılmalıdır. Bu tarz iyileştirme çalışmalarında uygun uzmanların seçilmesi uygulama sürecine olumlu yansıdığı gibi yapılan değerlendirmelerin etkinliği de artırılmış olacaktır. Vardiyaların yetkinliği dengelenmesi şu şekilde özetlenebilir: Vardiyada çalışacak personellerin bir kısmı işe yeni başlayan, belirli beceri ve donanımları az gelişmiş veya ileri yaşta ve sağlık

problemi var ise diğer personellerin alanında uzmanlaşmış, gerekli donanımlara sahip, dinamik personellerden oluşmasıdır.

Personellerin belirtilen faktörlere göre vardiyalara atamasını gerçekleştirmek elle veya basit bilgisayar programlarla yapılamamaktadır. Bunun sebebi karar mekanizmasının göz önünde bulundurulması gereken birçok faktör olmasıdır. Bu sebeple bu değerlendirmelerin karar verme algoritmaları ile yapılması hem karar sürecini hızlandıracak hem de yapılan değerlendirmelerin kalitesini arttıracaktır.



## 4. LİTERATÜRDE YER ALAN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde literatürde son 20 yılda yapılmış vardiya çizelgeleme problemleri incelenmiştir. Literatürde yer alan çalışmalar sektörlere göre ayrılarak incelenmiştir. Üretim sektörü, ulaşım sektörü, genel amaçlı çalışmalar, sağlık sektörü ve diğer sektörler başlıkları altında ele alınmıştır. Bölüm 4.6'da literatürde yer alan çalışmalar yorumlanmıştır.

### 4.1. Üretim Sektöründe Yapılan Çalışmalar

Azmat ve Widmer (2004) çalışmalarında minimum iş gücünü belirlemek için üç aşamalı bir algoritma önermişlerdir. W haftalık talebi yerine getirmek için oluşturulan çizelgede İsveç yasal kısıtları gibi belirli kısıtlar altında önerdikleri sezgisel algoritma ile uygun bir zaman çizelgesi üretmişlerdir.

Azmat vd. (2004) çalışmada, tek bir vardiya için işgücü planlama problemini çözmek için dört karma tamsayı programlama modeli geliştirilmişlerdir. Yıllıklandırılmış saat senaryosu, Swisslegal kısıtlamalar dizisi dikkate alınarak değerlendirilmişlerdir.

Yaoyuenyong ve Nanthavanij (2005) çalışmalarında personellerin günlük enerji limitlerini aşmayacağı bir vardiya planı oluşturmayı amaçlamışlardır. Endüstride işçilerin taşıma ve kaldırma gibi günlük işlerde bile mesleki ve yaralanmaların yaşandığını vurgulayan çalışmada, bu yaralanmalardan doğan maliyetlerin, önlem almak için kullanılması gerekenden çok daha fazla olduğu belirtilmiştir.

Techawiboonwong vd. (2006) çalışmalarında Uzakdoğu'da bulunan geçici ve sürekli işçilerin çalıştırıldığı bir ihracat şirketinin personellerin çizelgeleme problemini ele almışlardır. Taleplerin dalgalı olmasından dolayı geçici işçilerin ne zaman alınacağı, ne kadar alınacağı ve mesailerinin planlanarak maliyeti minimize etmeyi amaçlamışlardır. Öncelikle işçileri geçici ve sürekli olarak sınıflandırmışlardır.

Çalışmada bir model önermişlerdir ve farklı parametrik koşullar altında modeli incelemişlerdir.

Lilly vd. (2007) çalışmalarında Nijerya'da bulunan bir elektrik üretim şirketinin gaz türbinli enerji istasyonlarının bakım işlemleri için haftanın 5 günü yerine 4 günü kullanılmasının şirkete olan etkisini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda yüksek verimlilikle artan talepleri karşılarken, diğer yandan işgünü sayısının azalması sonucunda herhangi bir çıktı veya hizmet kalitesi kaybı olmaksızın bakım işçiliğinin maliyetinin %10'undan fazla tasarruf sağlanmasını öngörmüşlerdir.

Fowler vd. (2008) çalışmalarında işçilerin bilişsel yeteneklerini dikkate alan bir tamsayı programlama modeli tanımlamışlardır. Çalışma sonucunda işçilerin nerede çalışacağı ve nerede eğitileceğini belirlemek için doğrusal programlama tabanlı sezgisel algoritma önermişlerdir. Bir genetik algoritma ile de sezgisel algoritmanın performansını karşılaştırmışlardır.

Sabar vd. (2009) operasyonel maliyetleri ve personel memnuniyetsizliklerini en aza indirmek için çalışanların günlük olarak iş istasyonlarına atanması problemini ele almışlardır. Çalışmada montaj hattında çalışan personellerin kişisel yetkinlikleri ve tercihlerini göz önüne alarak en uygun maliyetli programın çıkartılması için çok etmenli yaklaşım kullanılmıştır. Doğrusal programlama modeli ile elde edilen en uygun çözümleri kullanmışlardır.

Aickelin vd. (2009) personel atama maliyetlerini minimize etmek için sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirilen modeli nakliye şoförü çizelgeleme ve hastane hemşiresi çizelgeleme alanlarında iyi bir şekilde çalışılan örnekler üzerinde çok etkili ve rekabetçi bir performans sergilediğini ortaya koymuşlardır. Bu sayede geliştirdikleri algoritmanın personel çizelgeleme probleminin farklı versiyonlarında kullanılabilen etkili bir teknik olduğunu iddialarına bir kanıt oluşturmuşlardır.

Hertz vd. (2010) çalışmalarında İsviçre yılın her günü 24 saat üretim yapan bir şirketin vardiya planlama problemini ele almışlardır. Çalışma sonucunda yıl boyunca üretimi aksatmayacak ve talebi karşılayabilecek en az maliyetli vardiyayı oluşturmuşlardır.

Corominas vd. (2012) çalışma saatlerinin hesabı için çok amaçlı bir karışık tamsayılı programlama modeli önermişlerdir.

Shahnazari-Shahrezaei vd. (2013) çalışmalarında personel çizelgeleme problemi için bulanık çok amaçlı bir hedef programlama modeli kurmuşlardır. Problem yapısı NP hard yapıda olduğu için parçacık sürü optimizasyonu ve tabu arama yöntemleri ile de çözülmüştür. Çalışma sonucunda önerilen algoritmaların performansı doğrulanmış ve sonuçlar en iyisini seçmek için birbirleriyle karşılaştırmışlardır.

#### **4.2. Lojistik Sektöründe Yapılan Çalışmalar**

Bu bölümde öncelikle ulaşım sektöründeki çalışmalara yer verilmiştir. Abbink vd. (2005) çalışmalarında demiryolu operatörlerini çizelgelemiştir. Uygulama sonucunda kuruluşun esnekliği artırılmış ve lojistik planlama süreçlerinin, işlem süresini azaltmışlardır. İlerleyen yıllarda Erdoğan vd. (2010) çalışmalarında ambulans şoförlerinin vardiya çizelgeleme problemini ele almışlardır. Ambulanların kapsama alanını maksimize etmek amacıyla tabu arama algoritması kullanarak bir model oluşturmuşlardır. Ciancio vd. (2018) çalışmalarında taşımacılık şirketleri araç rotalama ve personel çizelgeleme problemlerini ele almışlardır. Çalışmada işçilik ve seyahat maliyetlerini minimize etmek amacıyla lokal arama ve tavlama benzetimi sezgiselleriyle bir algoritma önermişlerdir. Tello vd. (2018) çalışmalarında hava trafik operatörlerinin vardiya planlaması problemini ele almışlardır. Operatörlerin çalışma ve dinlenme süreleri ve konumları, çözümün yapısı, kontrol merkezi değişiklikleri sayısı ve iş yüklerinin dağılımı göz önünde bulundurarak tavlama benzetimi kullanılarak vardiya planlarını oluşturmuşlardır.

Bard ve Wan (2006) çalışmalarında iş istasyonu grupları arasındaki geçişlerin ağırlıklı toplamını en aza indiren her işçi için ayrılmış bir zaman çizelgesi önermişlerdir. Aickelin vd. (2006) çalışmalarında farklı yönlerden bir vardiyanın yapısını değerlendirmek için beş kriter belirleyerek her kriteri belli belirsizlik derecesine sahip olduğundan bulanık değerlendirme yöntemi ile bu üyelik işlevlerini bir araya

getirmişlerdir. Daha sonra metasezgisel algoritma uygulanarak her iterasyon sırasında kırık çizelgeler, yapısal sezgisel yöntemle onarmışlardır. Lau vd. (2006) çalışmalarında sevkiyatta gereken asgari işçi sayısını belirlemek için bir model geliştirmişlerdir. Her bir vardiya için minimum maliyetle ve her bir sıralama ünitesinde, toplam işçilik masrafı ve çevrim süresinin en aza indirgeneceği şekilde, tüm sevkiyatı sıralamak için gereken asgari işçi sayısını belirlemişlerdir. Knust ve Schumacher (2011) çalışmalarında bir petrol şirketi için tanker sürücülerinin vardiya planlama problemini ele almışlardır. Farklı becerilere sahip bir dizi sürücünün her vardiyada yasal ve emniyet kısıtlamaları sağlayacak ve sürücülerin toplam çalışma süreleri arzulanan aralıklarla istenen tatillere saygı duyulmasını sağlayacak bir çizelge oluşturmuşlardır. Restrepo vd. (2012) bir otopark işletmesinde görevlendirilecek personel maliyetlerini en aza indirmek için tamsayı programlama modeli önermişlerdir. Ghiani vd. (2013) çalışmalarında atık toplamakla görevli personelleri ve araçların rotalarını planlama problemini ele almışlardır. Tamsayı programlama ve metasezgisel algoritmayı birlikte kullandıkları bir model önermişlerdir. Dewi ve Septiana (2015) ergonomik işgücü çizelgeleme problemini ele almışlardır. Çalışmada personellerin fiziksel ve zihinsel işgücü dengelenmesi amacıyla Tamsayı programlama modeli önermişlerdir. De Bruecker vd. (2018) Belçika'da evsel ambalaj atıkların seçici toplanması için kamyon şoförlerinin çizelgelemesini ele almıştır. Geliştirdikleri modelle hem kamyon şoförlerini hem de kamyonların rotalarını belirlemişlerdir.

### **4.3. Genel Amaçlı Yapılan Çalışmalar**

Dantzig (1954) vardiya planlarını oluşturmak amacıyla ilk çalışmaları gerçekleştirmiştir. Bechtold ve Jacobs (1990) çalışmalarında Dantzig (1954) çalışmasındaki genel modeli dikkate alarak yüksek bir zamanlama esnekliği isteyen vardiya çizelgeleme ortamlarında optimal tamsayı çözümleri elde etme problemine odaklanmışlardır. Çalışmalarında yerleştirme esnekliğini modellemek için yeni örtük tamsayı programlama yaklaşımı önermişlerdir. Addou ve Soumis (2007) personel atama maliyetlerini en aza indirmek için Bechtold ve Jacobs (1990) çalışmasını temel alarak bir tamsayı programlama modeli önermişlerdir.

Narasimhan (1997) belirli bir talebi karşılamak için haftanın 5 günü çalışıldığı hiyerarşik işgücünün tek vardiya zamanlaması probleminde en uygun çözümü bulmak için Emmons ve Burns (1991) geliştirdikleri modeli baz alarak bir algoritma sunmuştur.

Aykin (1998) tam zamanlı işçilerin, işçilik maliyetini minimize etmek amacıyla bir dal sınır algoritması modeli önermişlerdir.

Hung (1999) çalışmasında iş gücü gereksinimlerini karşılamak için yıl boyunca işçilerin planlamasını gerçekleştirmiştir.

Laporte ve Pesant (2004) tam zamanlı çalışanların çizelgeleme problemlerini çözmek amacıyla genel bir kısıt programlama modeli önermişlerdir.

Musliu vd. (2004) çalışmalarında personel çizelgeleme problemini çözmek amacıyla yerel arama ve tabu arama metasezgiselleriyle bir algoritma önermişlerdir.

Mohan (2008) çalışmasında yarı zamanlı personellerin tercihlerinin maksimize etmek amacıyla 0-1 tamsayılı programlama modeli önermişlerdir.

Sabar vd. (2008) çalışmalarında büyük bir montaj hattında operasyonel maliyetleri ve personel memnuniyetsizliğini en aza indirmek için personellerin istasyonlara atanması problemini ele almışlardır. Çalışma sonucunda çalışan memnuniyetsizliğinin azalmasının üretim üzerindeki avantajlarını tespit etmişlerdir.

Côté vd. (2011) toplam maliyeti minimize etmek amacıyla gramer tabanlı bir tamsayılı programlama modeli önermişlerdir.

Sadjadi vd. (2011) çalışmalarında işgücü taleplerinin belirsizlik içinde olduğu ortamlar için personel planlama modeli önermişlerdir. Maliyetleri en aza indirmek amacıyla işten alma ve çıkarma politikasını belirleyerek haftalık program hazırlamışlardır. Problem kombinatoriyal olduğu için Taguchi tasarımını kullanarak ayarlanan

parametrelerle bir metasezgisel yöntemi olan genetik algoritma ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda bu yazının önerilen yönteminin birçok gerçek dünya uygulamaları için personel programlarını yönetmek için etkili bir şekilde kullanılabileceğini gösterdiğini saptamışlardır.

Hojati ve Patil (2011) yarı zamanlı çalışanların toplam çalışma saatini minimize etmek amacıyla genel bir tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Büyük boyutlu problemlerin çözümü için metasezgisel algoritma kullanmışlardır.

Wongwien ve Nanthavanij (2012a) çalışmalarında ergonomik iş gücü çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Çalışmada amaç, günlük işitme maruziyetlerinin izin verilen sınırı aşmaması ve kullanılan işçilerin sayısını en aza indirmektir. Matematiksel model ve sezgisel bir yöntem sunulmuştur. Verilen bir sayısal örnekten, her iki çözüm yaklaşımından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Wongwien ve Nanthavanij (2012b) çalışmalarında ergonomik işgücü planlaması problemini ele almışlardır. Problem heterojen işgücü ile sınırlı görev esnekliği,, takım işçisi değişen boyutları ve önceden tanımlanmış görev operasyon programları yer aldığı gerçekçi işçi sınırlamalarını ve görev gereklerini içermektedir. Ana hedef, tüm işçilerin ergonomi tehlike risklerinin izin sınırını aşmayan yani az sayıda işçi kullanarak günlük dönen çalışma takvimine bir çözüm bulmaktır.

Akbari vd. (2013) çalışmalarında personel yorgunluklarını dikkate alan bir çizelge oluşturmuşlardır. Personellerin yetkinliklerini dikkate alan çalışmada yarı zamanlı personellerin isteklerini eniyilemeyi amaçlamışlardır.

Telhada (2014) personel çizelgeleme problemini ele almıştır. Çalışmada belirli periyotta gerekli personel sayısından sapmaların minimize edilmesini amaçlamışlardır.

Boyer vd. (2014) toplam maliyeti minimize etmek amaçlı genel bir karışık tamsayılı programlama modeli önermişlerdir.



Sagnak ve Kazancoglu (2015) işçilik maliyetlerini minimize etmek için bulanık mantık tabanlı bir tamsayı programlama modeli önermişlerdir.

van Veldhoven vd. (2016) işçilik maliyetlerini en aza indirmek için 0-1 tamsayı programlama modeli önermişlerdir.

Defraeye ve Van Nieuwenhuysse (2016) stokastik talebi en az maliyetle karşılamak amacıyla çalışma planı oluşturmuşlardır.

Cuevas vd. (2016) yarı zamanlı personelleri çizelgeleme problemini ele almışlardır. Personel yetkinliklerinin dikkate alındığı çalışmada, personelin dengeli bir şekilde atanacak şekilde maliyeti minimize etmek amacıyla karışık tamsayı model önermişlerdir.

Ingels ve Maenhout (2017) çalışmalarında atık toplama araç rotalama ve personel çizelgeleme problemini ele almışlardır. Atık toplama sürecindeki işçilik maliyetlerini en aza indirmek için 0-1 tamsayı programlama modeli önermişlerdir.

Sungur vd. (2017) çalışmalarında işçilik maliyetini en aza indirmek ve uygun mola zamanlarını belirlemek amacıyla hedef programlama yöntemini kullanarak personel çizelgeleme problemi için bir model önermişlerdir.

Dahmen vd. (2017) çalışmalarında çalışma süresi minimizasyonu amacıyla bir tamsayı programlama modeli önermişlerdir.

#### **4.4. Sağlık Sektöründe Yapılan Çalışmalar**

Di Gaspero vd. (2007) çalışmalarında hemşire çizelgeleme problemini ele almışlardır. Minimum vardiya tipi kullanılacak şekilde hemşirelerin vardiya planlamasını yapmak amacıyla metasezgisel bir algoritma önermişlerdir.

Hadwan ve Ayob (2009) çalışmalarında Malezya'da bir Hastanede hemşirelerin vardiya çizelgeleme problemini ele almışlardır. Hemşirelerin tercihlerini ve diğer kısıtlamaları belirlemek için bir anket uygulamışlardır. Elde edilen bulgulara dayanarak hemşireler için vardiya oluşturmuşlardır.

Topaloglu (2009) çalışmalarında bir hastanede çalışan hekimlerin vardiya çizelgeleme problemini ele almışlardır. 4 yıl ve üzeri çalışan hekimlerin kıdemli olarak modele katıldığı çalışmada çok amaçlı optimizasyon amacıyla hedef programlama modeli önermişlerdir.

Carrasco (2010) çalışmalarında rastgele arama ve açgözlü arama stratejilerini kullanarak İspanya'da bir hastanede bir departmanda bulunan hekimlerin nöbet çizelgelerini oluşturmuştur.

Brucker vd. (2011) çalışmalarında büyük bir hastane için personel sayısını minimize etmek için vardiya ve görev planlaması problemini ele almışlardır. Verilen görevlerin gerekliliklerine uygun personelleri atayarak esnek bir vardiya planlaması oluşturmuşlardır.

Brunner vd. (2011) anestezi teknikeri çizelgeleme probleminin ele almışlardır. İşçilik maliyetinin minimize etmek amacıyla tamsayılı programlama ve sezgisel algoritma kullanarak bir model önermişlerdir.

Stolletz ve Brunner (2012) hekim vardiya çizelgeleme problemini ele almışlardır. Problemin çözümünde karışık tamsayılı programlama modeli önermişlerdir.

EL-Rifai vd. (2015) çalışmalarında acil servis personeli çizelgeleme problemini ele almışlardır. Çalışmada bekleyen hasta sayısını en aza indirmek amacıyla karışık Tamsayılı programlama modeli önermişlerdir.

Smalley ve Keskinocak (2016) stajyer doktorların çizelgeleme problemini ele almışlardır. Doktorları dengeli atamak amacıyla Tamsayılı programlama modeli önermişlerdir.

Şahiner vd. (2017) çalışmalarında hemşire çizelgeleme problemini ele almışlardır. Çalışan memnuniyeti dikkate alınan çalışmanın çözümü için hedef programlama modeli önermişlerdir.

Uslu vd. (2017) çalışmalarında hemşirelerin özel durumlarını dikkate alacak bir hemşire çizelgeleme problemini ele almışlardır. Problemin çözümü için 0-1 hedef programlama yöntemini kullanmışlardır.

Rahimian vd. (2017) hemşire çizelgeleme problemini ele almışlardır. Problemin çözümünde kısıt programlama ve tamsayılı programlamayı beraber kullanarak çözümün etkinliğini arttırmayı amaçlamışlardır.

Di Martinelly ve Meskens (2017) çalışmalarında ameliyathanelerdeki cerrahi operasyonlara hemşire atama problemini ele almışlardır. Hemşireler yetkinliklerine göre ameliyatlara atanmasını sağlayan çalışmada aynı zamanda hemşirelerin çalışma saatleri de dikkate alınmıştır.

Volland vd. (2017) çalışmalarında tüm görevleri yerine getirmek için gerekli en az sayıda işçi bulmayı amaçlamışlardır. Bu nedenle, zaman pencerelerini, öncelik ilişkilerini, dikkate alan bir vardiya planı hazırlamışlardır.

van de Vrugt vd. (2018) çalışmalarında bir kadın doğum departmanında çalışan jinekologların vardiya çizelgeleme problemini ele almışlardır. Çalışmada poliklinik saatlerinin haftalar boyunca dengede kalması, jinekolojik tercihlerin daha iyi hesaba katılması ve programlamanın yaratılmasında harcadığı zamanın önemli ölçüde azaltılması amacıyla bir tamsayılı programlama problemi önermişlerdir. Büyük boyutlu problemlerin çözümü için tavlama benzetimi ve yerel arama sezgisel algoritmalarını kullanmışlardır.

#### 4.5. Diğer Sektörlerde Yapılan Çalışmalar

Bu bölümde diğer sektörlerde yapılan vardiya çizelgeleme çalışmalarına yer verilmiştir.

Telekominikasyon sektöründe Henderson ve Berry (1976), Bhulai vd. (2008), Van Hecke (2011), Excoffier vd. (2016) ve Mattia vd. (2017) çağrı merkezinde çalışan personellerin maliyetini en aza indirmek amacıyla tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir.

Petrol sektöründe Al-Yakoob ve Sherali (2007), Al-Yakoob ve Sherali (2008) ve Tosun (2017) çalışmalarında petrol istasyonunda çalışan personeller için vardiya planı oluşturmuşlardır. Al-Yakoob ve Sherali (2007) çalışmalarında Kuveyt'te bulunan 86 istasyona şirket tercihleri göz önüne alarak çalışanları atamak için bir program hazırlamışlardır. Alfares (2007) bir petrol ve gaz boru hattında çalışan bakım işçilerinin planlaması için bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Al-Yakoob ve Sherali (2008) işçi memnuniyetini en aza indirecek bir tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Tosun vd. (2017) istasyonda çalışan personelin vardiyalara dengeli atanması amacıyla bir hedef programlama modeli önermişlerdir.

Kabak vd. (2008) ve Bedir (2017) çalışmalarında perakende sektöründe vardiya çizelgeleme problemini ele almışlardır. Kabak vd. (2008) yarı zamanlı çalışan sayısını ve maliyeti minimize etmek amacıyla karışık tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Bedir vd. (2017) çalışmalarında bir giyim mağazasında çalışan personellerin çizelgeleme problemini ele almışlardır. Mağazadaki 13 görevin çalışanlar tarafından yapılabilirliğini de dikkate alınan çalışmada personellerin vardiyalara dengeli atanması için AHS entegreli bir hedef programlama modeli önermişlerdir.

Van den Bergh vd. (2013) çalışmalarında personel çizelgeleme literatürü incelemişlerdir. Personel çizelgeleme problemlerini kullanılan yöntemler, çalışma alanları, yayın yerleri ve diğer özelliklerini göz önüne alarak tasnif etmişlerdir. 300'den fazla çalışmanın inceledikleri makale personel çizelgeleme literatüründe

önemli bir yer teşkil etmektedir. Koubâa vd. (2016) çalışmalarında tır sürücülerini çizelgeleme literatürünü incelemiştir. Literatürde yer alan çalışmaları kıtalara, kullandıkları kısıtlara ve problem tiplerine göre sınıflandırmışlardır.

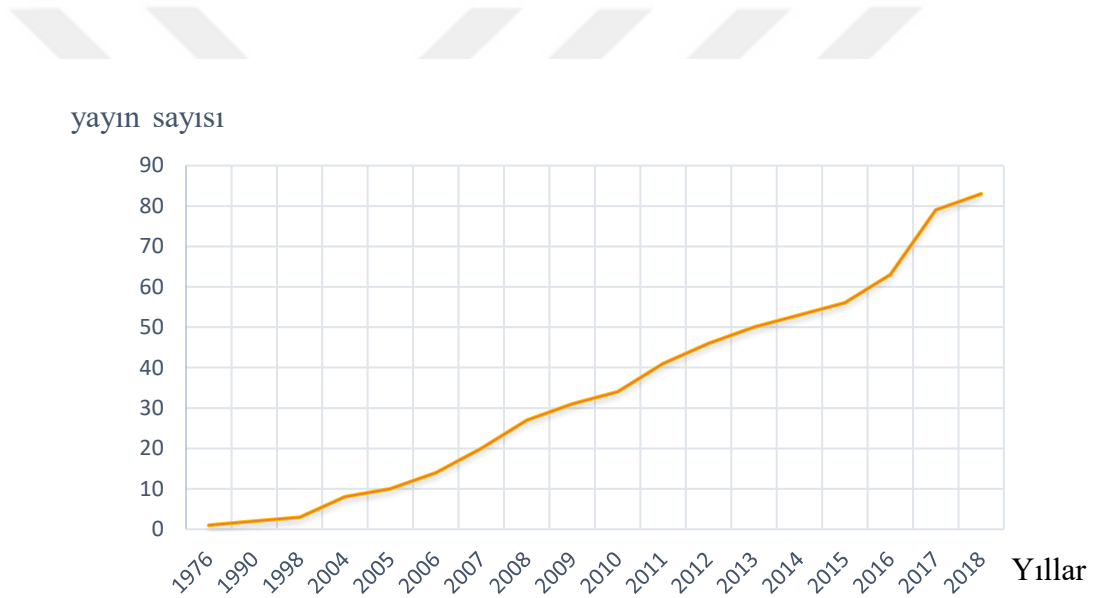
Morton ve Popova (2004) otomobil parçası üreten bir şirketin çalışanlarının çizelgeleme problemini, Bhatnagar vd. (2007) geçici ve sürekli işçilerin çalıştırıldığı bir bilgisayar firması için en uygun maliyetle işgücü planlama problemini, Noack ve Rose (2008) çalışmalarında işgücü oranının yüksek olduğu bir montaj hattında verimliliğini artırmak için simülasyon tabanlı iş gücü çizelgeleme problemini, Jahandideh (2012) bir otomobil şirketinin metal gövde montaj hattındaki işçilerin zihinsel ve işten kaynaklı sıkıntılarını dikkate alarak vardiya çizelgeleme problemini, Alver vd. (2017) Kırıkkale ilinde ücretli öğretmenlerin derslere atama problemini, Schulze ve Zimmermann (2017) Almanya’da bulunan bir potasyum maden ocağında makine ve işçi çizelgeleme problemini ve Altner vd. (2017) siber güvenlik alanında çalışan analistlerin vardiya çizelgeleme problemini ele almışlardır.

Enerji sektöründe yer alan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Jennings ve Shah (2014) İngiltere’nin başkenti Londra’nın Haringey Borough bölgesinde 93.978 adet elektrik sayacı ve 197.608 adet gaz sayaçlarının değiştirilmesi için 4000 civarında yeni istihdam edilen personeli de kapsayan şirket personellerinin 5 yıllık periyotta işgücü planlama problemini ele almışlardır. Özcan vd. (2017) çalışmalarında hidroelektrik santralinde çalışan personellerin çizelgesini oluşturmuşlardır. Personellerin vardiyalara dengeli atanmasını amaçlanan çalışmada personel seviyelerinin de dikkate alındığı vardiya planını oluşturmak için Hedef Programlama modeli önerilmiştir. Bedir vd. (2017) hidroelektrik santralinde çalışan vardiya personellerinin çizelgeleme problemini ele almışlardır. Farklı kıdem seviyelerine sahip personellerin yetkinliklerini dikkate alan çalışmada, personelleri vardiyalara dengeli atamak amacıyla bir hedef programlama modeli önermişlerdir. Froger vd. (2017) rüzgar tribününde çalışan bakım personellerinin çizelgeleme problemini ele almışlardır. Problemin çözümü için tamsayı bir model önermişlerdir.

#### 4.6. Literatürde Yer Alan Çalışmaların Yorumlanması

Literatürde yer alan çalışmalar yayın yılı, yayın yeri, çalışmada ele alınan problem, amaç fonksiyonu, çözüm yöntemi, problemin türü (uygulama/teori), sektör, yetkinlik ve dengeli atama dikkate alınması durumu olmak üzere 9 kategoride incelenmiştir. Literatürün detayları Çizelge 4.1’ de gösterilmektedir.

Literatürde yer alan çalışmaların yıllara göre dağılımı Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Şekil 4.1’e bakıldığında son yıllarda vardiya çizelgeleme konusunda çalışmaların hızlı bir yükselişe geçtiği görülmektedir.



Şekil 4.1. Literatürde yer alan çalışmaların yıllara göre kümülatif toplamı

**Çizelge 4.1.** Vardiya çizelgeleme ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar

Yazar(lar)	YY	OY	SY	ÇŞ	S	T/U	S/D	DA	Y
Henderson ve Berry	1976	TP	M	TZ	T	T	D		
Bechtold ve Jacobs	1990	TP		TZ		T	D		
Aykin	1998	DSA		TZ	G	T	D		
Musliu vd.	2004		YA, TA	TZ	G	U	D		
Laporte ve Pesant	2004	KP		TZ	G	G	D		
Morton ve Popova	2004	TP	S	TZ	O	G	S		
Azmat ve Widmer	2004		YS	TZ	Ü	G	D	X	
Azmat vd.	2004	KTP		TZ	Ü	G	D	X	
Abbink vd.	2005	0-1 TP		TZ	U	U	D		
Yaoyuenyong ve Nanthavanij	2005	0-1 TP	M	TZ	Ü	T	D	X	X
Techawiboonwong vd.	2006	KTP		TZ	Ü	T	D		X
Lau vd.	2006		SA	TZ	L	U	D		
Aickelin vd.	2006		SWO	TZ	L	G	D		
Bard ve Wan	2006	TP	TA	TZ	L	T	D		X
Bhatnagar	2007	TP		TZ	B	G	D		X
Addou ve Soumis	2007	TP		TZ	G	T			
Lilly vd.	2007	TP		TZ	Ü	G	D	X	
AlYakoob ve Sherali	2007	KTP		TZ	P	T	D	X	
Alfares	2007		S	TZ	P	U	S		X
Gaspero vd.	2007		YS, TA	TZ	S	T	D		
Mohan	2008	0-1 TP		YZ	G	T	D		
Sabar vd.	2008	KTP		TZ	G	T	D		X
Noack ve Rose	2008		S	YZ	U	U	D	X	X
Kabak vd.	2008	KTP	S	YZ	PE	G	S		
AlYakoob ve Sherali	2008	KTP	SÜ	TZ	P	T	D	X	
Bhulai vd.	2008	KTP		TZ	T	U	S		
Fowler vd.	2008	KTP	GA	TZ	Ü	G	D		X

**Çizelge 4.1. (Devam)** Vardiya çizelgeleme ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar

Yazar(lar)	YY	OY	SY	ÇŞ	S	T/U	S/D	DA	Y
Hadwan ve Ayob	2009	HP		TZ	S	G	D	X	
Topaloğlu	2009	HP		TZ	S	U	D		X
Aickelin vd.	2009		GA	TZ	Ü	U	D		
Sabar vd.	2009	KTP		TZ	Ü	T	D	X	X
Carrasco	2010		YS	TZ	S	U	D	X	X
Erdoğan vd.	2010	TP	TA	TZ	U	G	D		
Hertz vd.	2010	KTP		YZ	Ü	G	D	X	
Hojati ve Patil	2011	TP	YS	YZ	G	G	D		X
Sadjadi vd.	2011	KTP	S, GA	TZ	G	T	S	X	
Côté vd.	2011	KTP		TZ	G	T	D		
Knust ve Schumacher	2011	KTP		TZ	L	G	D		X
Brunner vd.	2011	DSA	YS	YZ	S	T	D		X
Brucker vd.	2011	TP		TZ	S	T	D		
Van Hecke	2011	TP		TZ	T	T	D		
Wongwien ve Nanthavanij	2012	0-1 TP		TZ	G	T	D		X
Wongwien ve Nanthavanij	2012	0-1 TP		TZ	G	T	D		
Restrepo	2012	TP	SÜ	TZ	L	G	D		
Stolletz ve Brunner	2012	KTP		TZ	S	U	D		
Corominas vd.	2012	KTP		TZ	Ü	T	D		X
Akbari vd.	2013	0-1 TP	TB	YZ	G	T	D		X
Ghiani vd.	2013	TP	YS	TZ	L	U	D		X
ShahnazariShahrezaei vd.	2013		PSO,TA	TZ	Ü	G	D		
Van Den Bergh vd.	2013	Literatür Araştırması							
Jennings ve Shah	2014	DOP		T-Y	E	G	D	X	
Telhada	2014	KTP		TZ	G	T	D		
Boyer vd.	2014	KTP		TZ	G	T	D		
Sagnak ve Kazancoğlu	2015	TP		TZ	G	T	D		
Dewi ve Septiana	2015	TP		TZ	L	U	D	X	



**Çizelge 4.1. (Devam)** Vardiya çizelgeleme ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar

Yazar(lar)	YY	OY	SY	ÇŞ	S	T/U	S/D	DA	Y
El Rifai vd.	2015	KTP		TZ	S	G	S	X	
Defraeye ve Van	2016	DSA		TZ	G	T	S		
Cuevas vd.	2016	KTP		YZ	G	T	D	X	X
Veldhoven vd.	2016	0-1 TP		TZ		T	D		X
Smalley ve Keskinocak	2016	TP		TZ	S	T	D	X	X
Excoffier vd.	2016	KTP		TZ	T	G	S		
Kobuaa vd.	2016	Literatür Araştırması							
Alver vd.	2017	HP		YZ	EĞ	U	D		
Şahiner vd.	2017	HP		TZ	S	U	D		
Bedir vd.	2017	HP		TZ	E	U	D	X	X
Özcan vd.	2017	HP		TZ	E	U	D	X	X
Froger vd.	2017	TP		TZ	E	U	D		X
Dahmen vd.	2017	TP		TZ	G	T	D		
Ingels ve Maenhout	2017	0-1 TP		TZ	G	T	S	X	
Sungur vd.	2017	HP		TZ	G	T	D		
Schulze ve Zimmermann	2017	DOP		TZ	M	U	D	X	X
Bedir vd.	2017	HP		T-Y	PE	U	D	X	X
Tosun vd.	2017	HP		TZ	P	U	D	X	
Di Martinelly ve Meskens	2017	TP		TZ	S	T	D		X
Uslu vd.	2017	0-1 HP		TZ	S	U	D	X	
Rahimian vd.	2017	KP		TZ	S	T	D		
Volland vd.	2017	KTP	SÜ	T-Y	S	T	S		
Altner vd.	2017	TP	SÜ	TZ	B	U	S		X
Mattia vd.	2017	MM		TZ	T	U	D		
van de Vrugt	2018	TP	YA,TB	TZ	S	U	D		X
De Bruecker vd.	2018	0-1 TP	S	TZ	L	U	D		
Tello vd.	2018		TB	TZ	U	G	D	X	
Ciancio	2018	KTP	YA,TB	TZ	U	G	D		X

Yayınlandıkları yerlere göre literatürdeki çalışmaların detayları Çizelge 4.2’de verilmiştir. Yayın yerleri incelendiğinde vardiya çizelgeleme özellikle European Journal of Operational Research, Journal of Scheduling, Annals of Operations Research, Omega ve Journal of the Operational Research Society dergilerinde yer aldığı görülmektedir. Diğer olarak ele alınan 28 çalışma buldukları dergilerde birer tane çalışma olduğunu göstermektedir.

**Çizelge 4.2.** Literatürdeki çalışmaların yayın yerleri

Dergi Adı	Yayın
European Journal of Operational Research	14
Journal of Scheduling	6
Annals of Operations Research	5
Omega	4
Journal of the Operational Research Society	4
Computers & Operations Research	3
Management Science	3
International Journal of Production Economics	3
IIE Transactions	3
The International Journal of Advanced Manufacturing Technology	2
IFAC	2
Health Care Management Science	2
37. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Sempozyumu	2
Computers & Industrial Engineering	2
Diğer	28

Çalışmalarda kullanılan yöntemler optimal ve sezgisel olmak üzere iki ana başlık altında incelenmiştir. Optimal yöntemler Çizelge 4.3’te gösterilmektedir. Görüldüğü üzere çalışmaların büyük bir kısmında tamsayı programlama kullanılmıştır.

**Çizelge 4.3.** Literatürdeki çalışmalarda kullanılan optimal yöntemler

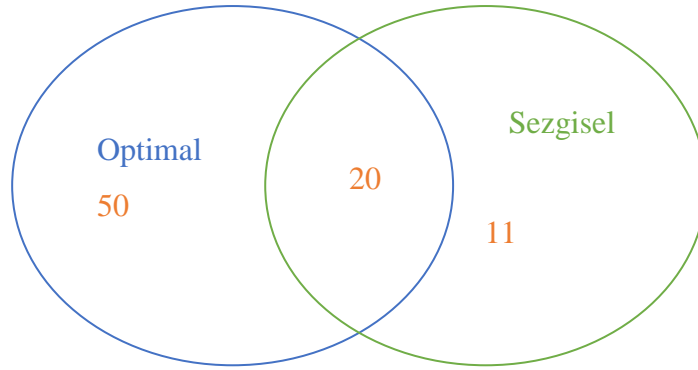
Optimal Yöntem	Kısaltma	Yayın Adedi
Karışık Tamsayılı Programlama	KTP	22
Tamsayılı Programlama	TP	21
0-1 Tamsayılı Programlama	0-1 TP	9
Hedef Programlama	HP	9
Dal Sınır Algoritması	DSA	3
Doğrusal Olmayan Programlama	DOP	2
Kısıt Programlama	KP	2
0-1 Hedef Programlama	0-1 HP	1
Matematiksel Model	MM	1
Optimal yöntem yok	-	13

Literatürdeki çalışmalarda kullanılan sezgisel yöntemler incelendiğinde Özellikle Simülasyon, Yapıcı Sezgisel ve Sütun Üretimi kullanıldığı Çizelge 4.4'te görülmektedir.

Literatürde yer alan yöntemlerin incelenmesi Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Literatürde yer alan 83 çalışmanın 50'sinde optimal yöntem, 11'inde sezgisel yöntem, 20'sinde hem optimal hem sezgisel yöntem kullanılmıştır. Geriye kalan 2 çalışma ise literatür araştırmasıdır.

**Çizelge 4.4.** Literatürde yer alan çalışmalarda kullanılan sezgisel yöntemler

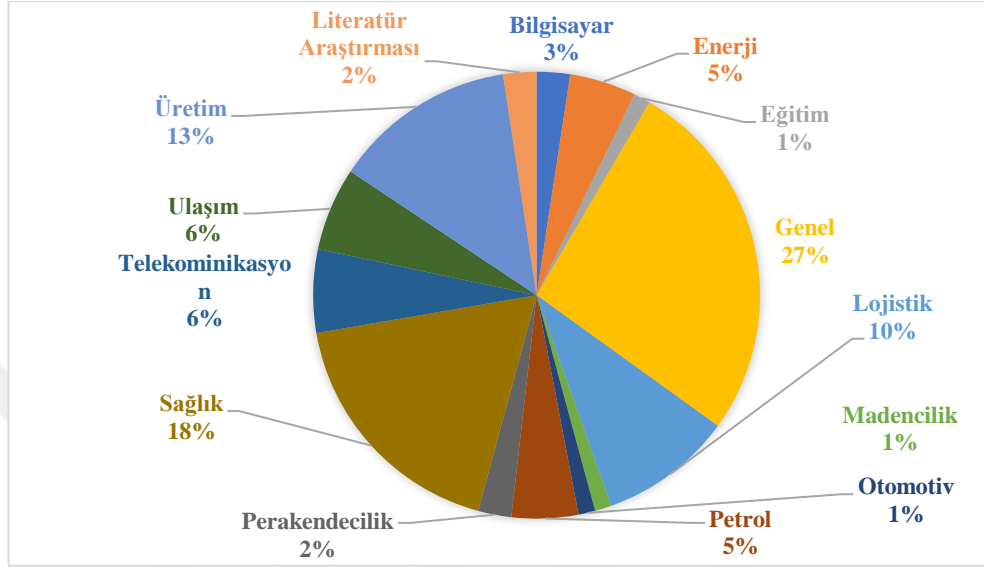
Sezgisel Yöntem ve Benzetim	Kısaltma	Sayı
Simülasyon	S	5
Yapıcı Sezgisel	YS	5
Sütun Üretimi	SÜ	4
Genetik Algoritma	GA	2
En Büyük Fark Sezgiseli	M	2
Tabu Arama	TA	2
Tavlama Benzetimi	TB	2
Yerel Arama, Tavlama benzetimi	YA ve TB	2
Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Tabu Arama	PSO, TA	1
Simülasyon, Genetik Alogirtma	S, GA	1
Sezgisel Algoritma	SA	1
Evrimsel Sezgisel Algoritma	SWO	1
Yerel Arama, Tabu Arama	YA ve TA	1
Yapıcı Sezgisel, Tabu Arama	YS ve TA	1



**Şekil 4.2.** Literatürdeki çalışmalarda kullanılan yöntemler

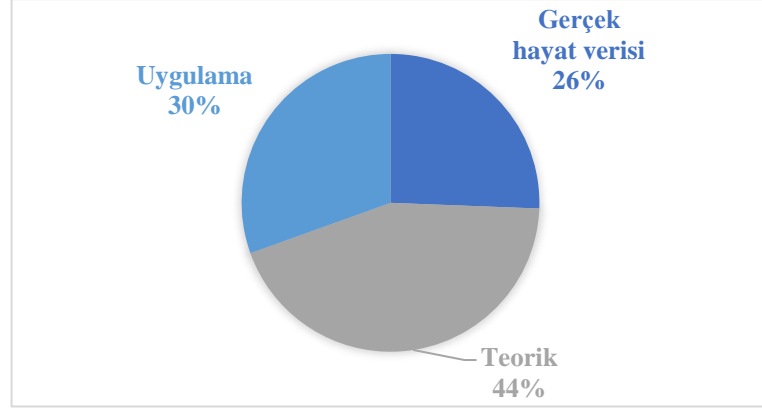
Literatürde yer alan çalışmaların sektörlere göre dağılımları Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Çalışmaların %20'si sağlık sektöründe, %13'ü üretim sektöründe,

%10'u lojistik sektöründe yer almaktadır. Genel olarak ele alınan %27'lik kısım teorik veya gerçek hayat verisi kullanılarak yapılan genel amaçlı çalışmaları ifade etmektedir.



Şekil 4.3. Literatürde yer alan çalışmaların sektöre göre dağılımları

Literatürde yer alan vardiya çizelgeleme problemi incelendiğinde çalışmaların %44'ünün teorik olarak gerçekleştirildiği Şekil 4.4'te görülmektedir. Çalışmaların gerçek hayat verisi kullanılarak yapılan %26'lık kısmında, sektörde uygulanmadığı gözlemlenmiştir. Geri kalan %30'luk oran çalışmaların sektörde uygulandığını göstermektedir.



**Şekil 4.4.** Literatürde yer alan çalışmaların uygulanabilirliği

Makalelerin çoğu teorik veriler üzerinden gerçek dünyaya dayalı verileri desteklenmektedir. Modelin gerçekte uygulanıp uygulanmadığı açık değilse, bu çalışmalar gerçek dünya verisi başlığı altında sınıflandırılabilir. Çalışmanın uygulama sürecinin ayrıntılarını veya gözlemlenen sonuçları pek sağlamamış çalışmalar da gerçek hayat verisi olarak incelenmektedir. Sonuçlar hakkında bilgilendirme yapılan çalışmalar ise uygulama olarak ele alınmıştır.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde %90'lık kısmının deterministik (D), geri kalan kısmının ise stokastik (S) olduğu gözlemlenmiştir. Literatürde yer alan 83 çalışmanın 26'sında dengeli atama (DA) gerçekleştirilmiştir.

Personel yetkinliğini ele alan çalışmalar %36'lık payı ile oldukça dikkat çekicidir. Yetkinlik kriterini dikkate alan çalışmalardan Techawiboonwong vd. (2006), Noack ve Rose (2008), Sabar vd. (2009), Bedir vd. (2017), Di Martinelly ve Meskens (2017) ve van de Vrugt vd. (2018) çalışmalarında personellerin işleri yapıp yapamamaları durumuna göre 0 veya 1 olarak değerlendirmişlerdir. Bhulai vd. (2008), Carrasco (2010), Özcan vd. (2017) ve Altner vd. (2017) çalışmalarında personellerin hiyerarşik üstünlükleri dikkate almışlardır. Mohan (2008) personelleri 1-10 skalasında, Topaloglu (2009) ise 4 yılın üstündeki personelleri kıdemli olarak değerlendirmiştir.

Bu tez çalışmasının literatüre katkıları şu şekilde açıklanabilir: Bu tez kapsamında ele alınan uygulama, hidroelektrik santrallarda vardiya çizelgeleme konusunda yapılan kısıtlı çalışmalardandır. Bu alanda yapılan tek çalışma olan Özcan vd. (2017) tarafından uygulanan vardiya personeli çizelgeleme çalışmasından farklı olarak personel yetkinliklerini dikkate alarak vardiyaların etkinliği artırılmıştır. Bu tezde yapılan uygulama, enerji sektöründe az rastlanan çalışmalardandır. Şekil 4.3'te de görüldüğü üzere enerji sektöründe yer alan çalışmalar diğer sektörlerle oranla oldukça azdır. Ayrıca bu tezde personellerin farklı özelliklere sahip yetkinlik kriterlerini bir arada değerlendirilmesini sağlayan tercih fonksiyonlarına sahip olan PROMETHEE yöntemi ile belirlenmiştir. Bu amaçla yetkinliğe etki eden kriterler AHS ile ağırlıklandırılarak PROMETHEE ile önceliklendirilmiştir. Literatürde yetkinlik kriterini AHS tabanlı PROMETHEE yöntemi ile ağırlıklandırılarak vardiya çizelgeleme probleminde kullanan ilk çalışma özelliği taşımaktadır. Diğer çalışmalar incelendiğinde personellerin yalnızca işi yapabilme veya yapamama durumları, kıdem seviyeleri ve personelleri belirli bir skalada puanlandırılarak gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple bu tezde santralin elektrik üretimine etki eden personel yetkinliklerini dikkate alarak vardiya personeli çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Santralda görevli uzmanlarla yapılan görüşmelerde elde edilen veriler analitik yöntemlerle değerlendirilerek sistematik bir yaklaşım sunulmuştur.

## 5. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

Günlük yaşantımızda sürekli karar vermek durumunda kalmaktayız. Bir ev, bir araba alırken birden çok etkeni bir arada düşünerek en avantajlı seçimi yapmayı istemekteyiz. Hal böyle iken bir fabrikanın kuruluş yeri seçiminde karar vericiler için birden çok faktörü bir arada düşünerek seçim yapmak gerekmektedir. Karar vericilerin bu gibi durumlarda kaldığında kullanmaları için geliştirilen yöntemler literatürde çok kriterli karar verme yöntemleri olarak adlandırılmaktadır. Literatürde bir çok ÇKKV yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanları AHS, AAS (Analitik Ağ Süreci), PROMETHEE, TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), VIKOR (Vlsekriterijumska Optimizacija i Kompromisno Resenje) ve ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality English)'dir.

### 5.1. AHS Yöntemi

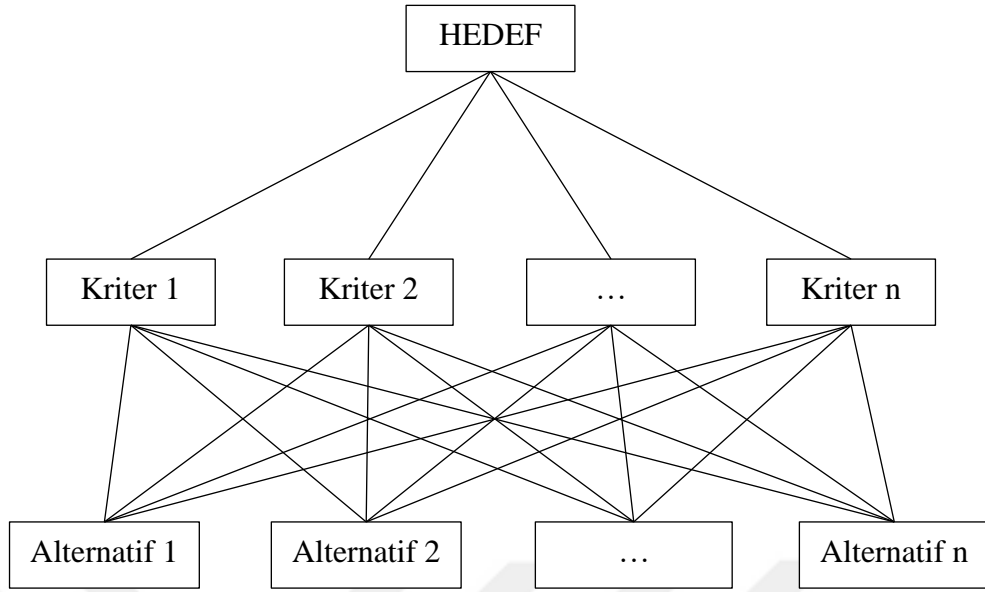
AHS yöntemi Saaty tarafından 1977 yılında geliştirilen birçok kriterli karar verme yöntemidir (Saaty, 1980). Yöntemin amacı birden fazla kriter karşısında alternatifler arasında seçim yapmak isteyen karar vericilere kolaylık sağlamaktadır. AHS; karmaşık problemlerde, değerlendirme faktörünün fazla olduğu durumlarda, probleme hiyerarşik yapı ile görsellik katması, yöneticiler tarafından bu tekniği anlaşılabilir kılmaktadır (Bedir ve Eren, 2015).

#### 5.1.1. AHS Yöntemi Adımları

AHS yönteminin adımları aşağıdaki gibidir (Saaty, 1980):

*Adım 1: Hiyerarşik yapının oluşturulması:* AHS yönteminin ilk adımı problemin amacını, belirlenen amaca uygun kriterlerin ve bu kriterlere göre değerlendirilecek alternatiflerin hiyerarşik yapısını oluşturmak için uygulanır. AHS yönteminin genel hiyerarşik yapısı Şekil 5.1'de gösterilmektedir.





**Şekil 5.1.** AHS hiyerarşik yapı

*Adım 2: Her bir kritere göre alternatiflerin ve kriterlerin kendi içerisinde ikili karşılaştırmalarının yapılması:* AHS yönteminde her bir kriterlere göre ağırlıkları hesaplamak için her bir alternatifin ikili olarak kıyaslanması için A karşılaştırma matrisi Çizelge 5.1’de verilen önem skalasına göre oluşturulur. A matrisi,  $m \times m$  boyutundadır. Burada m, dikkate alınan değerlendirme kriteri sayısıdır. A matrisinin her bir elemanı  $a_{jk}$ , kriterin önemini temsil eder. Eğer  $a_{jk} > 1$  ise, j kriteri k kriterinden daha önemlidir, ancak  $a_{jk} < 1$  ise, j kriteri, k kriterinden daha az önemlidir. İki kriter aynı önemde ise  $a_{jk} = a_{kj}$  olmaktadır.  $a_{jk} = a_{kj}$  değerleri Eşitlik 5.1’ de gösterilen kısıtı sağlamaktadır.

$$a_{jk} * a_{kj} = 1 \quad (5.1)$$

**Çizelge 5.1.** Önem skalası

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	$j$ ve $k$ kriterleri eşit önemdedir.
3	Biraz daha önemli	$j$ kriteri, $k$ kriterinden biraz daha fazla önemlidir.
5	Çok daha önemli	$j$ kriteri, $k$ kriterinden çok daha önemlidir.
7	Aşırı önemli	$j$ kriteri, $k$ kriterinden aşırı önemli olduğu durumlarda kullanılır.
9	Kesinlikle daha önemli	$j$ kriteri, $k$ kriterinden kesinlikle daha önemli olduğu durumlarda kullanılır.
2,4,6,8	Ara değerler	Gereksinim duyulduğunda kullanılır.

*Adım 3: Normalleştirme ve göreceli önem ağırlıklarının hesaplanması:* Değerlendirilen her bir kriterin eşit değerlendirilmesi için normalize işlemi gerçekleştirilmektedir. Normalize işlemi Eşitlik 5.2'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\bar{a}_{jk} = \frac{a_{jk}}{\sum_{l=1}^m a_{lk}} \quad (5.2)$$

Normalize işlemi gerçekleştirildikten sonra her bir kriterin ağırlığı Eşitlik 5.3'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$w_j = \frac{\sum_{l=1}^m \bar{a}_{jl}}{m} \quad (5.3)$$

*Adım 4: Tutarlılık oranının hesaplanması:* Yöntemin bu adımında ağırlıkların elde edilmesi için oluşturulan matriste yapılan karşılaştırma yargısının tutarlı olup olmadığı teyit edilmesi amacıyla Tutarlılık Oranı (TO) hesabı gerçekleştirilir. TO'nun hesaplanması için Tutarlılık İndeksi'nin (Tİ) belirlenmiş olması gerekmektedir.

Tutarlılık İndeksi Eşitlik 5.4'te gösterilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$TI = \frac{\lambda_{max} - m}{m - 1} \quad (5.4)$$

Burada  $m$  kriter sayısını temsil etmektedir. Özdeğer olarak ifade edilen  $\lambda_{max}$  değeri hesaplanması gerekmektedir.  $\lambda_{max}$  hesabı şu şekilde hesaplanmaktadır:

Öncelikle ağırlık vektörü (W) ve Eşitlik 5.1 ile oluşturulan A karar matrisi çarpılarak ağırlıklı toplam vektörü Eşitlik 5.5 de gösterildiği gibi elde edilir

$$A \times W = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mm} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_m \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

Buradan D sütun vektörü Eşitlik 5.6 ile elde edilir.

$$D = \begin{bmatrix} x_1/w_1 \\ x_2/w_2 \\ \vdots \\ x_m/w_m \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

D vektörü hesaplandıktan sonra, vektörün her bir elemanı W vektörünün elemanına bölünerek E sütun vektörü Eşitlik 5.7'de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$E = \begin{bmatrix} d_1/w_1 \\ d_2/w_2 \\ \vdots \\ d_m/w_m \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

E sütun vektörünün elemanları ( $e_1, e_2, \dots, e_m$ ) toplam kriter sayısına bölünmesiyle  $\lambda_{max}$ , Eşitlik 5.8'de gösterilen formül ile hesaplanmıştır.

$$\lambda_{max} = \max(e_j) \quad (5.8)$$

Tİ'nin belirlenmesinin yanı sıra TO hesabı için Rassallık İndeksi'nin (Rİ) bilinmesi gerekmektedir. Rİ belirlenmesi için Çizelge 5.2'de belirlenen rassallık değerleri kullanılır.

**Çizelge 5.2.** Rassallık İndeksi

m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,53	1,56	1,57	1,59

Tİ ve Rİ değerleri belirlendikten sonra TO Eşitlik 5.9'daki gibi hesaplanır.

$$TO = \frac{Tİ}{Rİ} \quad (5.9)$$

TO<0,10 ise yapılan karşılaştırma ve elde edilen ağırlıkların tutarlı olduğu söylenebilir. Bu değer aşılması, yapılan değerlendirmenin içinde çelişkilerin bulunduğu anlamına gelmektedir. Bu durumda A matrisi üzerinde revizyon yapılması gerektiği anlamına gelir. Ve algoritma burada sonlanır.

Literatürde AHS ve PROMETHEE yönteminin entegre olarak kullanıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. Demontaj hattı dengelemede (Avikal vd., 2014) ve (Bedir vd., 2015), diş protezi için malzeme seçiminde (Kabir ve Lizu, 2016), taşeron firma seçiminde (Polat, 2016), kuruluş yeri seçiminde, (Kabir ve Sumi, 2014) ve (Sennaroglu ve Celebi, 2018), personellerin değerlendirilmesinde (Bedir ve Eren, 2015), (Kazan vd., 2015), tedarikçi seçiminde (Bedir vd., 2015), haberlerin değerlendirilmesinde (Kızıldaş vd., 2017) AHS ve PROMETHEE yöntemini bir arada kullanmışlardır.

## 5.2. PROMETHEE Yöntemi

PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluations) Yöntemi ilk kez (J. Brans, 1982) tarafından ortaya atılmıştır. Daha sonraları yöntem farklı amaçlarda kullanılmak üzere güncellenmiştir.

Yöntem ilk olarak kısmi sıralama yapmak için PROMETHEE I ismiyle kullanılmıştır. PROMETHEE I ile sonuca ulaşamadığı durumlarda PROMETHEE II net üstünlüklerin hesaplanması için kullanılmıştır (J. P. Brans ve Mareschal, 1992). Sürekli durumlar için PROMETHEE VI (J.-P. Brans ve Mareschal, 1995), grup karar verme için PROMETHEE Group Decision Support System (GDSS) Macharis vd., (1998), daha karmaşık karar verme durumlarına yardımcı olmak için görsel etkileşimli modül The Geometrical Analysis for Interactive Assistance (GAIA) Mareschal ve Brans (1988) tarafından geliştirilmiştir. Figueira vd. (2004) sınıflandırma problemleri ile ilgilenmek için PROMETHEE TRI ve nominal sınıflandırma için PROMETHEE CLUSTER olarak adlandırılan, PROMETHEE üzerinde iki genişletilmiş yaklaşımı önermişlerdir (Behzadian vd., 2010).

PROMETHEE yöntemini diğer ÇKKV yöntemlerinden üstün kılan temel fark her bir kriterin yapısına göre kullanılabilen tercih fonksiyonlarıdır. Diğer yandan her bir kriterin ağırlıklarının da kullanılması PROMETHEE yönteminin kullanılmasının önemli bir sebebidir.

### 5.2.1. PROMETHEE İşlem Adımları

PROMETHEE yönteminin algoritma adımları aşağıdaki gibidir.

*Adım 1: Veri matrisinin oluşturulması:*  $w = (w_1, w_2, \dots, w_k)$  ağırlıkları ile  $k$  kriter  $c = (f_1, f_2, \dots, f_k)$  tarafından değerlendirilen alternatiflere  $A = (a, b, c, \dots)$  ilişkin veri matrisi, Çizelge 5.3'deki gibi oluşturulur.

**Çizelge 5.3.** PROMETHEE veri matrisi genel gösterimi

		Değerlendirme faktörleri				
		$f_1$	$f_2$	$f_3$	...	$f_k$
Ağırlıklar	$w_i$	$w_1$	$w_2$	$w_3$	...	$w_k$
Karar Noktaları	A	$f_1(A)$	$f_2(A)$	$f_3(A)$	...	$f_k(A)$
	B	$f_1(B)$	$f_2(B)$	$f_3(B)$	...	$f_k(B)$
	C	$f_1(C)$	$f_2(C)$	$f_3(C)$	...	$f_k(C)$
	...	...	...	...	...	...

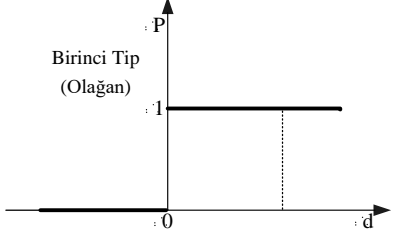
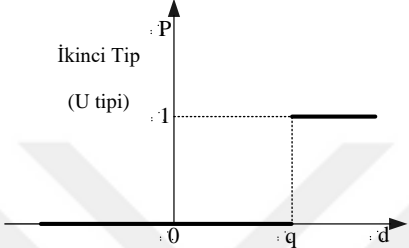
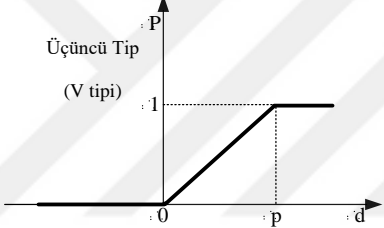
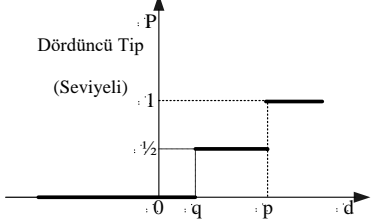
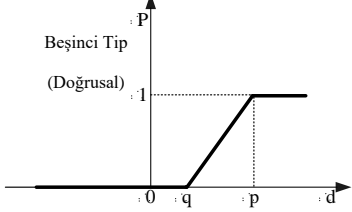
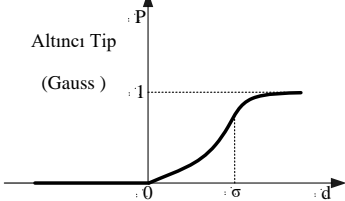
*Adım 2: Kriterler için tercih fonksiyonların tanımlanması:* PROMETHEE Yönteminin ikinci adımında değerlendirme faktörlerine uygun tercih fonksiyonları tanımlanır. PROMETHEE yönteminde kullanılan tercih fonksiyonları Çizelge 5.4'te verilmiştir. Burada  $q$ , ilgisizlik eşiği, yani, tam tercih üretmek için kabul edilen en büyük sapmadır.  $p$ , tam tercihi üretmek için düşünülen en küçük sapmadır.  $\sigma$  ise  $p$  ve  $q$ 'nın bir ara değeridir, ancak nadiren kullanılır. Tercih fonksiyonunun seçimi ve seçilen fonksiyonun eşiklerinin seçimi ( $p$ ,  $q$  ve  $s$ ) kriterlere ve uygulama yapılan işletmenin niteliğine bağlıdır. Kriterlerin niteliğine göre doğru tercih fonksiyonunu seçmek için bazı kurallar aşağıda belirtilmiştir (Bansal ve Kumar, 2013):

- V-tipi (3. tip) ve Doğrusal (5. tip) tercih fonksiyonları, niceliksel kriterlere (ör. Fiyatlar, maliyetler, güç vb.) uygundur. Seçim, ilgisizlik eşiğinin ( $q$ ) kullanımına bağlı olarak belirlenmektedir.
- Olağan (1. tip) ve Seviyeli (4. tip) tercih fonksiyonları, nitel kriterler için en uygun seçeneklerdir. Kriterler ölçeğinde az sayıdaki düzey (ör. Evet / hayır veya beş-nokta ölçeği) olması ve farklı düzeyler birbirinden oldukça farklı olduğu düşünülürse, Olağan tercih işlevi iyi bir seçimdir. Daha küçük sapmaları daha büyük sapmalardan ayırmak istenildiğinde Seviye (4. tip) tercih fonksiyonu daha uygundur. U-tipi (2. tip) tercih fonksiyonu Tip 1'in özel bir durumu olup daha az kullanılmaktadır.

- Gauss (6. tip) tercih fonksiyonu parametre seçimi diğerlerine göre daha zor olduğu için daha az kullanılır (s eşik değeri q farksızlık eşiği ile p tercih eşiği arasında bir yerde bulunur).



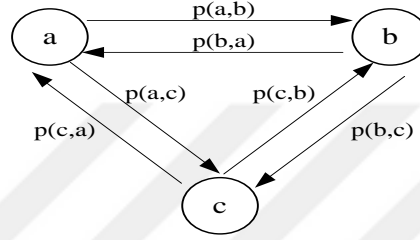
**Çizelge 5.4.** Tercih fonksiyonları

Tercih fonksiyonu		Açıklama
<p>Birinci Tip (Olağan)</p> 	-	$p(d) = \begin{cases} 0, & \forall d \leq 0 \\ 1, & \forall d \geq 0 \end{cases}$
<p>İkinci Tip (U tipi)</p> 	q	$p(d) = \begin{cases} 0, & d \leq q \\ 1, & d \geq q \end{cases}$
<p>Üçüncü Tip (V tipi)</p> 	p	$p(d) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ \frac{d}{p}, & 0 < d \leq p \\ 1, & d > p \end{cases}$
<p>Dördüncü Tip (Seviyeli)</p> 	q, p	$p(d) = \begin{cases} 0, & d \leq q \\ \frac{1}{2}, & q < d \leq p \\ 1, & d > p \end{cases}$
<p>Beşinci Tip (Doğrusal)</p> 	q, p	$p(d) = \begin{cases} 0, & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q}, & q < d \leq p \\ 1, & d > p \end{cases}$
<p>Altıncı Tip (Gauss)</p> 	σ	$p(d) = \begin{cases} 0, & d \leq q \\ \frac{-d^2}{e^{2\sigma^2}}, & d > q \end{cases}$



*Adım 3: Ortak tercih fonksiyonlarının belirlenmesi:* Alternatifler için belirlenen ortak tercih fonksiyonlarının şematik gösterimi Şekil 5.2’de verilmiş olup a ve b alternatifleri için ortak tercih fonksiyonu Eşitlik 5.4 ile belirlenir.

$$p(a,b) = \begin{cases} 0 & , f(a) \leq f(b) \\ p[f(a) - f(b)] & , f(a) > f(b) \end{cases} \quad (5.4)$$



**Şekil 5.2.** Ortak tercih fonksiyonlarının şematik gösterimi

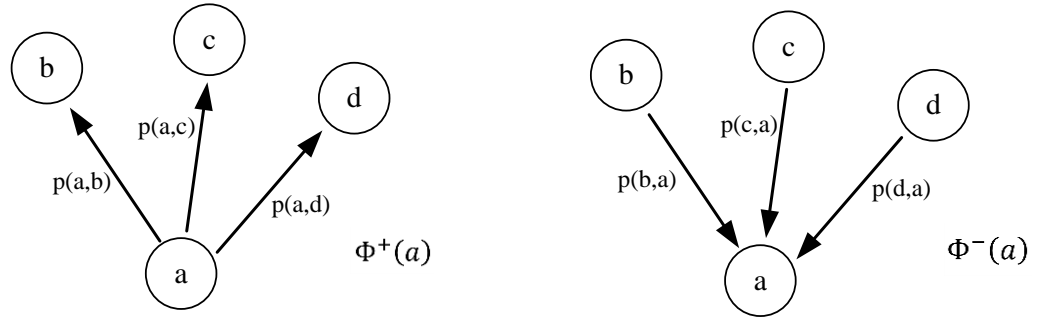
*Adım 4: Tercih indekslerinin belirlenmesi:* Ortak tercih fonksiyonları ile her alternatif çifti için tercih indeksleri belirlenir.  $w_i$  ( $i=1,2,\dots,k$ ) ağırlıklarına sahip olan k kriter tarafından değerlendirilen a ve b alternatiflerinin tercih indeksi Eşitlik 5.5 ile hesaplanır.

$$\pi(a,b) = \sum_{i=1}^k w_i P_i(a,b) \quad (5.5)$$

*Adım 5: Alternatifler için pozitif  $\Phi^+$  ve negatif  $\Phi^-$  üstünlüklerin belirlenmesi:* A alternatifi için pozitif ve negatif üstünlük şematik olarak Şekil 5.3’te gösterilmiş olup pozitif üstünlük Eşitlik 5.6, negatif üstünlük ise Eşitlik 5.7 ile hesaplanır.

$$\Phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum \pi(a,b) \quad (5.6)$$

$$\Phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum \pi(b,a) \quad (5.7)$$



**Şekil 5.3.** a karar noktası için oluşturulan pozitif ve negatif üstünlük gösterimi

*Adım 6: PROMETHEE I ile alternatifler için kısmi önceliklerin belirlenmesi:* Kısmi öncelikler alternatiflerin birbirlerine göre tercih edilme durumlarının, birbirinden farksız olan alternatiflerin ve birbirleriyle karşılaştırılmayacak olan alternatiflerin belirlenmesini sağlar. a ve b gibi iki alternatif için kısmi önceliklerin belirlenmesinde aşağıda verilen durumlar söz konusudur.

- I. Durum: Eşitlik 5.8, 5.9, 5.10'da belirtilen koşullardan herhangi biri sağlanıyorsa, a alternatifi b alternatifine tercih edilir.

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ ve } \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \quad (5.8)$$

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ ve } \Phi^-(a) = \Phi^-(b) \quad (5.9)$$

$$\Phi^+(a) = \Phi^+(b) \text{ ve } \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \quad (5.10)$$

- II. Durum: Eşitlik 5.11 koşul sağlandığı durumda a alternatifi b alternatifinden farksızdır.

$$\Phi^+(a) = \Phi^+(b) \text{ ve } \Phi^-(a) = \Phi^-(b) \quad (5.11)$$

- III. Durum: Eşitlik 5.12 ve Eşitlik 5.13 koşullarından herhangi biri sağlanıyorsa, a alternatifi b alternatifi ile karşılaştırılmaz.

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ ve } \Phi^-(a) > \Phi^-(b) \quad (5.12)$$

$$\Phi^+(a) < \Phi^+(b) \text{ ve } \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \quad (5.13)$$

*Adım 7: PROMETHEE II ile alternatifler için tam önceliklerin belirlenmesi:* Eşitlik 5.14'teki koşul yardımıyla her bir alternatif için tam öncelikler hesaplanır. Hesaplanan tam öncelik değerleri ile bütün alternatifler aynı düzlemde değerlendirilerek tam sıralama belirlenir.

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (5.14)$$

a ve b gibi iki alternatif için hesaplanan tam öncelik değerine bağlı olarak aşağıda verilen kararlar alınır;

$\Phi(a) > \Phi(b)$  ise, a alternatifi b alternatifine üstündür.

$\Phi(a) = \Phi(b)$  ise, a alternatifi b alternatifinden farksızdır.

### **5.2.2. PROMETHEE Yöntemi ile İlgili Literatürde Yer Alan Çalışmaların İncelenmesi**

PROMETHEE yöntemi ile ilgili literatürde birçok alan da çalışmalar bulunmaktadır. Yöntemin çeyrek asırdan biraz fazla geçmişi olmasına rağmen hemen hemen her yıl çalışmalarda kullanıldığı görülmektedir. PROMETHEE yöntemi ile ilgili literatürde yer alan 59 çalışma incelenmiştir. Çalışmalar yazarları, kullanılan diğer yöntemler, çalışmanın yapıldığı alan, ele alınan problem ve çalışmanın uygulama veya teorik (U/T) olması durumuna göre Çizelge 5.5'te tasnif edilmiştir. PROMETHEE yöntemi kullanılan çalışmalarda ayrıca AAS, AHS, ELECTRE ve diğer ÇKKV yöntemleri, Duyarlılık analizi (DA), Kooperatif oyun teorisi (KOT), Nominal grup tekniği (NGT), Taguchi deneysel tasarım (TDT), Ağırlıklandırılmış Ortalama (AO), Tamsayı Programlama (TP), Genetik Algoritmalar (GA), Monte Carlo Simülasyonu (MCS), Grup Karar Verme (GKV), Doğrusal Programlama (DP), Maliyet Fayda Analizi (MFA), Hedef Programlama, Spearman Korelasyon Katsayısı (SKK) ve Bayes Teoremidir. PROMETHEE yöntemi uygulanan alanlar Enerji Yönetimi (EY), Ulaştırma, Lojistik (L), İş ve Yönetim (İY), Hidroloji ve Su Yönetimi (HSY), Eğitim (E), Otomotiv (O), Medya (M), Bilişim Teknolojileri (BT) ve Genel (G) dir.

**Çizelge 5.5. PROMETHEE ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar**

No	Yazar(lar)	Diğer Yöntem(ler)	Alan	Konu	U/T
1	(J.-P. Brans vd., 1986)	ELECTRE	G	Yöntem karşılaştırılması	T
2	(Mladineo vd., 1987)	-	L	Planlama	U
3	(Briggs vd., 1990)	-	EY	Atık yönetimi	U
4	(Abu-Taleb ve Mareschal, 1995)	-	HSY	Su kaynakları planlama	U
5	(J. Huang vd., 1995)	-	EY	Literatür çalışması	T
6	(Wolters ve Mareschal, 1995)	DP	G	Duyarlılık analizi	T
7	(Özelkan ve Duckstein, 1996)	KOT	HSY	Su kaynakları planlama	U
8	(Al-Shemmeri vd., 1997)	-	HSY	Proje seçimi	U
9	(Chareonsuk vd., 1997)	DA	EY	Önleyici bakım planlaması	U
10	(Georgopoulou vd., 1998)	-	EY	Kaynak planlaması	U
11	(Dias vd., 1998)	-	-	Planlama	U
12	(Al-Rashdan vd., 1999)	NGT	HSY	Su kaynakları planlama	U
13	(Raju ve Pillai, 1999)	TDT	HSY	Su kaynakları planlama	U
14	(MG Goumas vd., 1999)	MCS	EY	Planlama	T
15	(M Goumas ve Lygerou, 2000)	-	EY	Enerji Planlama	T
16	(Mahmoud ve Garcia, 2000)	AO, ELECTRE, AHS	G	Yöntem karşılaştırılması	T
17	(Afgan ve Carvalho, 2002)	-	EY	Enerji Planlama	T
18	(Vaillancourt ve Waaub, 2002)	DP	İY	Planlama	U
19	(Leyva-Lopez ve Fernandez-Gonzalez, 2003)	ELECTRE III , GA	L	Enerji Planlama	T
20	(Hyde vd., 2003)	MCS	EY	Proje seçimi	T

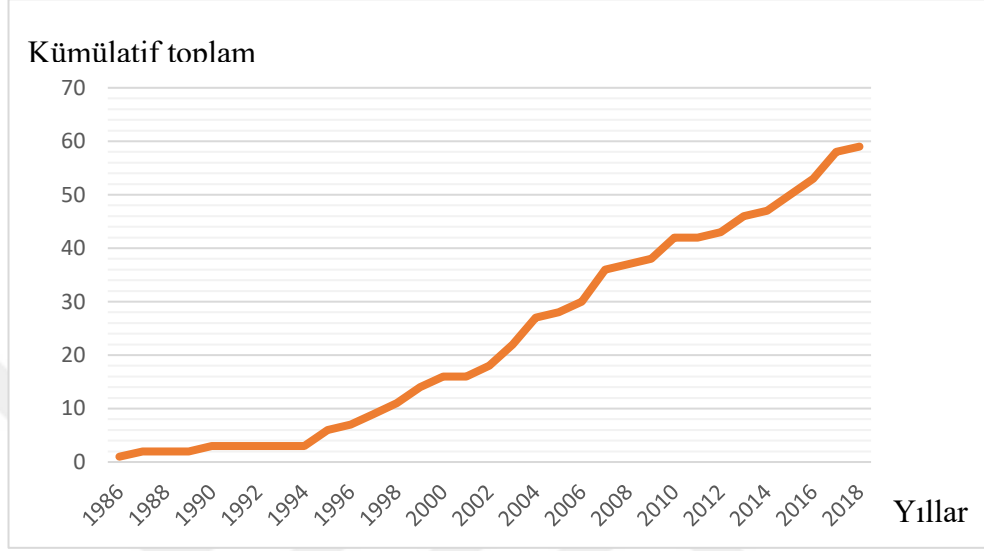
**Çizelge 5.5. (Devam) PROMETHEE ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar**

Yazar	Diğer Yöntem(ler)	Alan	Konu	U/T
(Haralambopoulos ve Polatidis, 2003)	GKV	EY	Enerji Planlama	U
(Goletsis vd., 2003)	ELECTRE III, SKK	EY	Proje seçimi	U
(Topcu ve Ulengin, 2004)	-	EY	Enerji Planlama	U
(Pohekar ve Ramachandran, 2004a)	ÇKKV	EY	Literatür çalışması	T
(Pohekar ve Ramachandran, 2004b)	ÇKKV ve DA	EY	Enerji Planlama	U
(Chabchoub ve Martel, 2004)	ELECTRE III ve DP	G	Alternatif seçimi	U
(Albadvi, 2004)	-	İY	Teknoloji seçimi	U
(Madlener ve Stagl, 2005)	-	EY	Enerji Planlama	T
(P. Zhou vd., 2006)	-	EY	Enerji Planlama	T
(Mavrotas vd., 2006)	TP	İY	Finansman planı	U
(Diakoulaki ve Karangelis, 2007)	MFA	EY	Proje seçimi	T
(Polatidis ve Haralambopoulos, 2007)	-	EY	Enerji Planlama	U
(Madlener vd., 2007)	-	EY	değerlendirmesi	T
(Araz vd., 2007)	BHP	L	Planlama	U
(Ballı ve Karasulu, 2007)	-	L	Otomobil seçimi	T
(C. A. V. Cavalcante ve De Almeida, 2007)	Bayes teoremi	EY	Önleyici bakım planlaması	T
(Dağdeviren ve Eraslan, 2008)	-	L	Tedarikçi seçimi	U
(Tsoutsos vd., 2009)	-	EY	Enerji Planlama	T
(Theodorou vd., 2010)	AHS, ELECTRE	EY	Finansman planı	U

**Çizelge 5.5. (Devam)** PROMETHEE ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar

Yazar	Diğer Yöntem(ler)	Alan	Konu	U/T
(Behzadian vd., 2010)	-	G	Literatür çalışması	T
(Yılmaz ve Dağdeviren, 2010)	HP	İY	Ekipman seçimi	U
(V. Cavalcante vd., 2010)	Bayes teoremi	EY	Önleyici bakım planlaması	U
(Soba, 2012)	-	O	Araç seçimi	U
(Yu vd., 2013)	-	G	İnceleme	T
(Mourmouris ve Potolias, 2013)	-	EY	Vaka çalışması	U
(Fontana ve Morais, 2013)	TP	HSY	Su dağıtım şebekesi	T
(Ömürbek vd., 2014)	AHS	L	Araç seçimi	U
(Bedir ve Eren, 2015)	-	İY	Personel seçimi	U
(Bedir vd., 2015)	AHS	L	Tedarikçi seçimi	U
(Bedir vd., 2015)	AHS	EY	Demontaj	T
(Bedir vd., 2016)	AHS	İY	Ders seçimi	U
(Özder vd., 2016a)	ANP	İY	Personel seçimi	U
(Özder vd., 2016b)	ANP	L	Tedarikçi seçimi	U
(Andreopoulou vd., 2017)	-	BT	Teknoloji seçimi	U
(Gür vd., 2017)	AHS	İY	Strateji seçimi	U
(Bedir vd., 2017)	AHS	EY	Demontaj	U
(Kızıldaş vd., 2017)	AHS	M	Haberlerin değerlendirilmesi	U
(Şahan vd., 2017)	AHS	E	Ders seçimi	U
(Vasić, 2018)	ÇKA	EY	Enerji Planlama	T

Literatürde PROMETHEE yöntemi kullanılarak yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımı Şekil 5.4'te gösterilmektedir. Şekil 5.4'e bakıldığında son yıllarda yöntemin kullanılma sıklığının arttığı söylenebilir.



Şekil 5.4. PROMETHEE yöntemi ile ilgili yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımı

## 6. HEDEF PROGRAMLAMA

Çok amaçlı optimizasyonun bir dalı olan Hedef programlama yöntemi Charnes ve Cooper (1961) tarafından geliştirilmiştir. Çoğul ve çelişkili hedefleri bir arada gerçekleştirmek için doğrusal programlamanın bir uzantısı veya genellemesi olarak düşünülebilmektedir. Hedef programlamada öncelikle her hedef için bir hedef değer belirlenmelidir. Daha sonra bu hedef değerleri sınırlama koşulları olarak sapma değişkenleri, sınırlama kelimelerinde listelenir. Bu hedef değer setinden istenmeyen sapmalar ağırlıklandırılmakta ve daha sonra bir amaç fonksiyonuna katılmaktadır. Hedef programlama modelinin çözülmesinden, çoklu nesnelere ulaşmasının göreceli en iyi sonucu elde edilebilir. Her sapma değişkeni için uygun ağırlığı ayarlamanın yolu, kullanıcıların tatmin edici sonuçlar elde etmelerinin anahtarıdır (Z. Huang vd., 2017b; Dylan Jones ve Tamiz, 2010).

### 6.1. Hedef Programlama Kavramları

*Hedef:* Karar verici ya da karar vericilerin taleplerini ifade eden açık bir şekilde tanımlanması gereken kavramdır. Problemin yapısını oluştururken bir hedef değeri belirlenmelidir.

*Karar değişkenleri:* Problemin çözümü sonucunda elde edilmesi amaçlanan değerleri gösteren yapıdır.

*Amaç fonksiyonu:* Belirlenmiş olan hedeften toplam sapmayı gösterir.

*Hedef kısıtları:* Ulaşılmak istenilen hedef değerlerini belirtir. Sistem kısıtları gibi katı ve kesin değildirler. Sistem kısıtlarının çözümü yapıldıktan sonra hedef kısıtlarının başarılmaması hedeflenir.



*Sistem kısıtları:* Hedef kısıtları dışındaki kısıtlardır. Bu kısıtlar ele alınan problem için katlanılması gereken zorunlu kanuni kısıtlamalar, işletme kısıtlamaları, üretim gereklilikleri gibi kısıtlardır.

*Sapma Değişkenleri:* Karar vericiler tarafından ele alınan problem için hedeflenmiş olan değer ile gerçekleşen değer arasındaki fark sapma değişkeni olarak tanımlanmaktadır. Hedefin tam olarak sağlanmış olması her iki sapma değişkeninin değerinin sıfır olmasını gösterir. Sapma değişkenleri  $d_i^+$  ve  $d_i^-$  ile gösterilir.

*Sağ Taraf Sabitleri:* Matematiksel modeldeki eşitlik veya eşitsizliklerin sağ tarafında mevcut olan kaynak miktarı olarak ifade edilir ve  $b_i$  ile gösterilir.

## 6.2. Hedef Programlamanın Matematiksel Gösterimi

Hedef programlamanın genel formülasyonu Eşitlik 6.1-6.4'te gösterilmektedir.

*Karar değişkenleri:*

$x_i$ : i. karar değişkeni

*Parametreler:*

$a_{ij}$ : i. hedefin j. karar değişkeni katsayısı

$b_i$ : i. hedef için ulaşılmaması istenen değer

*Sapma değişkenleri:*

$d_i^+$ : i. hedefin pozitif sapma değeri

$d_i^-$ : i. hedefin negatif sapma değeri

*Amaç Fonksiyonu:*

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^m (d_i^+ + d_i^-) \quad (6.1)$$

*Kısıtlar:*

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + d_i^- - d_i^+ = b_i \quad (6.2)$$

$$d_i^+ * d_i^- = 0 \quad (6.3)$$

$$x_j, d_i^+, d_i^- \geq 0 \quad (6.4)$$

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

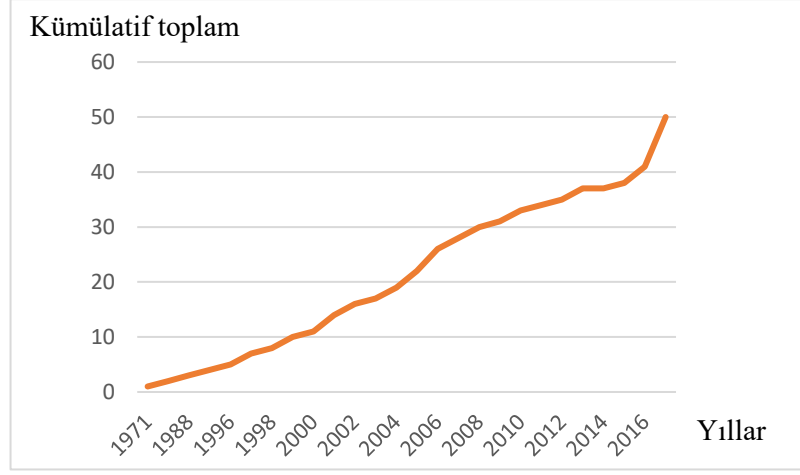
Hedef Programlama yönteminin özel bir formu olan Öncelikli Hedef Programlama yöntemine ait amaç fonksiyonu Eşitlik 6.5'te gösterilmektedir. Öncelikli Hedef Programlama yönteminde de Eşitlik 6.2, 5.3 ve 6.4'te yer verilen kısıtlar geçerlidir. Burada  $P_i$  hedefin sırasını belirlemektedir. Bu sıra dikkate alınarak çözüm gerçekleştirilir.

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^m P_i * (d_i^+ + d_i^-) \quad (6.5)$$

### 6.3. Hedef Programlama ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Bu bölümde hedef programlama ile ilgili literatürde yer alan çalışmalardan farklı sektörlerdeki uygulamalarına örnekler verilmiştir. Çalışmalar yazar(lar), Entegre edilen yöntem (E.Y), Sektörü, Konusu ve Çalışma alanı (ÇA) başlıkları altında incelenmiştir. Hedef programlama yöntemine ek olarak çalışmalarda Taguchi Metodu (TM), Kümeleme Analizi (KA), AHS, ANP, Tavlama Benzetimi (TM), Matematiksel Model (MM) ve Genetik Algoritma (GA) şeklinde kısaltılmıştır.

Hedef programlama ile ilgili literatürde yapılan 50 çalışma incelenmiştir. Çalışmaların yıllara göre kümülatif dağılımı Şekil 6.1'de gösterilmektedir. Şekle bakıldığında son yıllarda hedef programlama ile ilgili yapılan çalışmalarda ciddi bir artış olduğunu gözlemlenmektedir.



**Şekil 6.1.** Hedef programlama ile ilgili çalışmaların yıllara göre dağılımı

**Çizelge 6.1.** HP literatürde yer alan çalışmalar

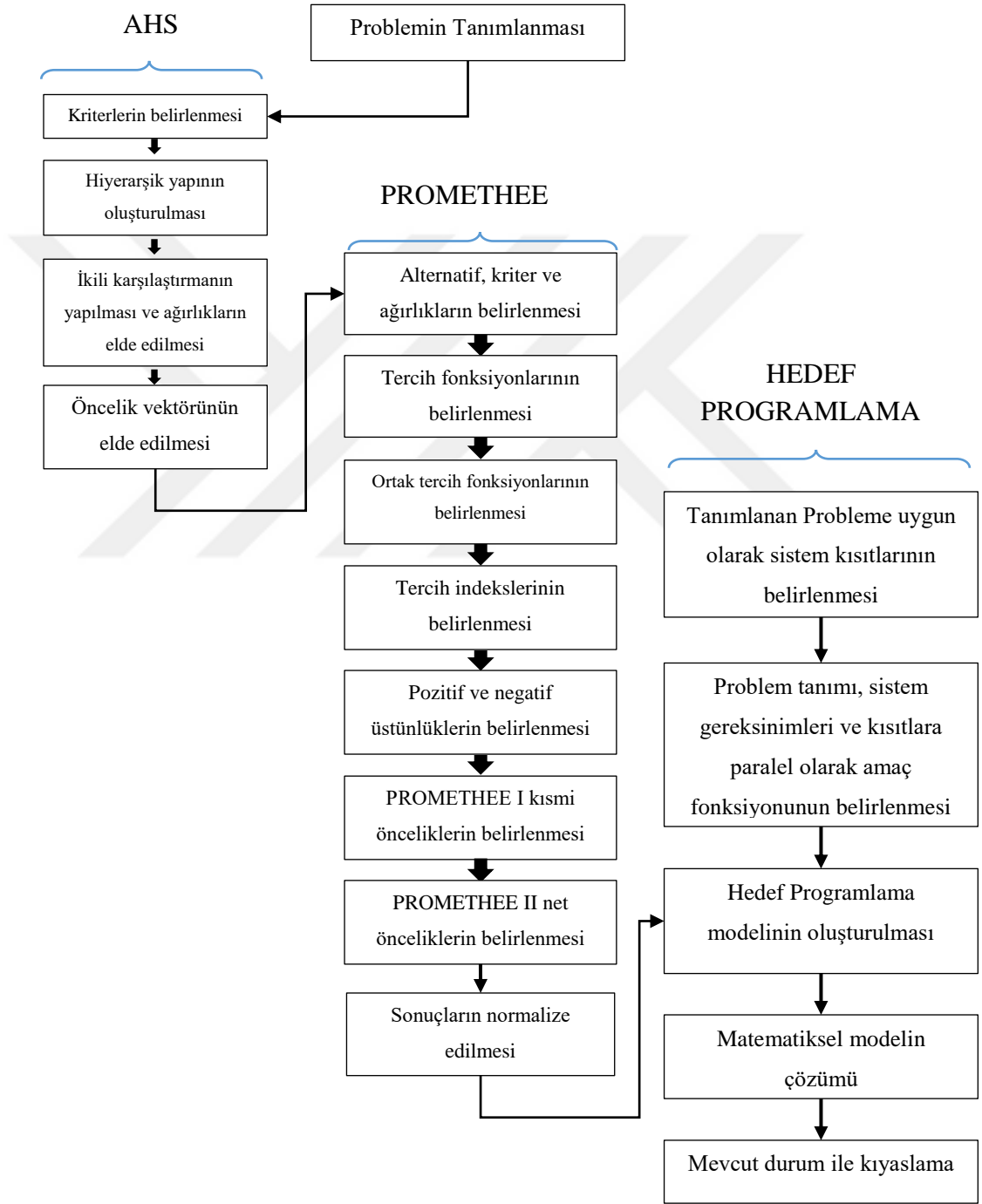
Yazar(lar)	E.Y.	Sektör	Konu	ÇA
(Lee ve Sevebeck, 1971)	-	Planlama	Ekonomik planlama	U
(Barnett vd., 1982)	-	Planlama	Üretim planlama	T
(Tayi ve Leonard, 1988)	-	Finans	Portföy seçimi	U
(Schniederjans ve Karuppan, 1995)	-	Kalite	Kalite kontrol	U
(Alp ve Murray, 1996)	-	Planlama	Üretim planlama	T
(Reddy vd., 1997)	TM	Planlama	Kalite kontrol	T
(Gagnon ve Sheu, 1997)	-	Planlama	Stratejik Yönetim	T
(Berbel ve Rodriguez-Ocana, 1998)	KA	Planlama	Üretim planlama	U
(Karpak vd., 1999)	-	İnsan Kaynakları	Satıcı seçimi	U
(Shanker ve Vrat, 1999)	-	Planlama	Üretim planlama	T
(Z. Zhou vd., 2000)	AHS	Lojistik	Tedarik zinciri	U
(Kongar ve Gupta, 2001)	-	Lojistik	Tedarik zinciri	U
(Bell vd., 2001)	ÇKKV	Çevre	Değerlendirme	T
(Dağdeviren ve Eren, 2001)	AHS	Lojistik	Tedarikçi seçimi	U
(S. Wang ve Zhu, 2002)	-	Finans	Portföy seçimi	T
(Akgunduz vd., 2002)	AHS	Pazarlama	Ürün tasarımı	U
(Karsak vd., 2003)	ANP	Planlama	Üretim planlama	T
(Kumar vd., 2004)	-	Lojistik	Tedarik zinciri	U
(Al-Zahrani ve Ahmad, 2004)	-	Stratejik yönetim	Su kaynakları planlaması	U
(Pendaraki vd., 2005)	-	Finans	Portföy seçimi	T
(Fine vd., 2005)	-	Lojistik	Tedarik zinciri	T
(Aouni vd., 2005)	-	Stratejik yönetim	Karar verme	T
(Bertolini ve Bevilacqua, 2006)	AHS	Kalite	Santrifüj pompaların bakımı	U
(Perçin, 2006)	AHS	Lojistik	Tedarikçi seçimi	T
(Chen ve Weng, 2006)	-	Planlama	Üretim planlama	T

**Çizelge 6.1. (Devam)** HP literatürde yer alan çalışmalar

Yazar(lar)	E.Y.	Sektör	Konu	ÇA
(Mishra vd., 2006)	TB	Planlama	Üretim planlama	T
(Canela ve Collazo, 2007)	-	Finans	Portföy seçimi	T
(DF Jones vd., 2007)	-	Pazarlama	Karar desteği	T
(J. Wang vd., 2008)	GA	Lojistik	Tedarik zinciri	U
(Tsai vd., 2008)	-	Planlama	Çelik Üretimi	U
(Bravo ve Gonzalez, 2009)	-	Stratejik yönetim	Su kullanımı	U
(Arunraj ve Maiti, 2010)	AHS	Kalite	Bakım strateji	T
(Blancas vd., 2010)	-	Turizm	Stratejik Yönetim	U
(Zarandi vd., 2011)	-	Lojistik	Tedarik zinciri	T
(Bağ vd., 2012)	ANP	Planlama	Hemşire çizelgeleme	U
(Tamiz vd., 2013)	-	Finans	Portföy seçimi	U
(Sadeghi vd., 2013)	-	Planlama	Üretim planlama	T
(Turgay ve Taşkın, 2015)	MM	Planlama	Sağlık hizmeti planlaması	U
(Gür vd., 2016)	ANP	Finans	Proje seçimi	U
(Özder ve Eren, 2016)	ANP	Lojistik	Tedarikçi seçimi	U
(Zhang, 2016)	ANP	Turizm	Sürdürülebilirlik	T
(Z. Huang vd., 2017a)	-	Enerji	Enerji planlama	U
(Özcan vd., 2017)	-	Enerji	Vardiya çizelgeleme	U
(Gül ve Eren, 2017)	AHS	Lojistik	Depo seçimi	U
(Taş vd., 2017)	AHS	Lojistik	Proje seçimi	U
(Colapinto vd., 2017)	-	Mühendislik	Literatür çalışması	T
(Varlı vd., 2017)	-	Planlama	Görevli ataması	U
(Aktürk vd., 2017)	-	Planlama	Hemşire çizelgeleme	U
(Özder vd., 2017)	-	Planlama	Personel atama	U
(Uçakcıoğlu ve Eren, 2017)	-	Savunma sanayi	Proje seçimi	U

## 7. BİR HİDROELEKTRİK SANTRALINDA UYGULAMA

Bu çalışmada bir Hidroelektrik Santralında vardiya personeli çizelgelemesi yapılmıştır. Uygulama akış şeması Şekil 7.1’de gösterilmektedir.



Şekil 7.1. Uygulama akış şeması

## 7.1. Problemin Tanımlanması

Bu tez Türkiye’de bulunan bir Hidroelektrik Santrali’nin işletme personelinin vardiya çizelgeleme problemini ele almıştır. Ele alınan santral 95 MW kurulu güce sahip SCADA sistemine sahip olmayan bir santraldır. Santral 30 MW, 30MW ve 35MW olmak üzere 3 üniteden meydana gelmektedir. SCADA sistemi bulunmayan santralda güncel teknolojilerle oluşturulan otomasyon sistemlerinin kullanılmaması sonucu santralda personel ihtiyacı artmaktadır. Söz konusu artıştan dolayı personellerin vardiya planlarının oluşturulmasını zorlaştırmaktadır. Planlamada karşılaşılan problemlerin kaynağı işletme yöneticisinin bazı personelleri sürekli gece vardiyasında çalıştırmasıdır. Vardiya planlarının dengesizliği personel memnuniyeti ve motivasyonunu olumsuz etkilenmektedir. Ayrıca personellerin yetkinliklerinin vardiyalarda tam olarak dengelenememesi vardiyaların etkinliğine olumsuz katkı sağlamaktadır. Geçmiş yıllarda gerçekleşen üretim verileri incelendiğinde, santralin en yoğun çalıştığı ayın Temmuz ve Ağustos ayı olduğu gözlemlenmiştir. 2017 yılı Temmuz ayında vardiya personelinin kaynaklı üretim kaybının 52 saat olduğu gözlemlenmiştir. Söz konusu veriler dikkate alınarak vardiya personellerinin adil çalışma düzenin ve mümkün olan en üst düzeyde performans sağlayacak bir hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Ağustos ayı için model çözülerek oluşturulan çizelgeye göre vardiya personeli çalıştırılmıştır. Bunun sonucunda elde edilen iyileştirmeler sonuç bölümünde analiz edilmiştir.

## 7.2. Problem Verilerinin Toplanması

365 gün boyunca 24 saat esasına göre durmaksızın üretim yapma hedefi ile kurulan elektrik üretim santrallerinde her gün 3 vardiya şeklinde çalışılmaktadır. Uygulamada ele alınan santralda vardiyalar sabah (08:00-16:00), akşam (16:00-00:00), gece (00:00-08:00) şeklinde planlanmaktadır.

Santralda elektrik ekipmanlarından sorumlu 28 personel bulunmaktadır. Bu personeller 4 farklı kıdem seviyesine sahiptir. Bunlar vardiya amiri (1,2,...,5), ustabaşı (6.,7.,...,14.), usta (15,16,...,22) ve usta yardımcısıdır (23,24,...,28).

Santralda çalışan personellerin gerek şartları yerine getirme seviyeleri, kişisel sağlık sorunları ve niteliklerinin santrala olan etkileri dikkate alınarak her bir personelin yetkinliği önceliklendirilecektir. Bu aşamada santralda görevli uzmanlarla yapılan görüşmeler neticesinde 23 kriter belirlenmiştir. Belirlenen bu kriterler santrallar için genel amaçlı olarak belirlenmiştir. Örneğin SCADA sistemi bulunmayan santraldaki personelin SCADA sistemine müdahale kriterine de yer verilmiştir. Bunun sebebi bu gibi kriterlerin personellerin yetkinliklerine doğrudan etki etmesidir. Uygulamada belirlenen kriterler ve açıklamaları Çizelge 7.1’de gösterilmektedir.





**Çizelge 7.1.** Santral personelinin gereksinimleri

<b>Kriter</b>	<b>Açıklama</b>
YGBY	Vardiya ve elektrik bakım personelleri Yüksek Gerilim Belge Yeterliliği belgesi olmadan çalıştırılmaz.
SSM	SCADA Sistemine Müdahale ünitelerin çalışması açısından önemlidir. Ancak scada sistemi vardiya personeli tarafından kontrol edilir ve scada sistemine müdahale hakimiyeti olmazsa bile vardiya personelinin bilgisi dahilinde ünite teçhizatlarına müdahale edilebilmektedir.
ÜDAÇ	Santralin en önemli görevi üniteleri emre amade tutmak ve üniteleri çalıştırmaktır. Bundan dolayı Üniteyi Devreye Alma ve Çıkarma kritik öneme sahiptir.
ASSÜM	Arıza Sinyallerine SCADA Üzerinden Müdahale ünitelerin çalışmasına etki eder.
AGTEM	Ana Güç Trafosu Ve Ekipmanlarına Müdahale: Ana güç trafosu santralin en önemli ekipmanlarından biridir. Bu ekipmana müdahale tecrübe ve bilgi gerekmektedir.
ŞSEM	Şalt Sahası Ekipmanlarına Müdahale: Şalt sahası ekipmanları üretilen enerjinin kesintisiz bir şekilde iletiminin sağlanması açısından önemli ekipmanlardır.
YHÜM	Yardımcı Hidrolik Ünite Müdahale: Bu gereksinim yardımcı sistem olduğu için ünitenin çalışmasını etkilemektedir.
SİİSM	Santral İç İhtiyaç Sistemine Müdahale, ünite ekipmanlarını ve güvenliği etkilediğinden santral için önemlidir.
SAYDM	Su Alma Yapısı Donanımlarına Müdahale: Su alma yapısı ünite çalışmasını ve güvenliği etkilediğinden kritik öneme sahiptir.
GAM	Generatör Arızalarına Müdahale: Generatör arızaları ünite çalışmasında etkili ekipmandır. Ancak üniteyi devreye alma çıkarmaya göre daha düşük öneme sahiptir.

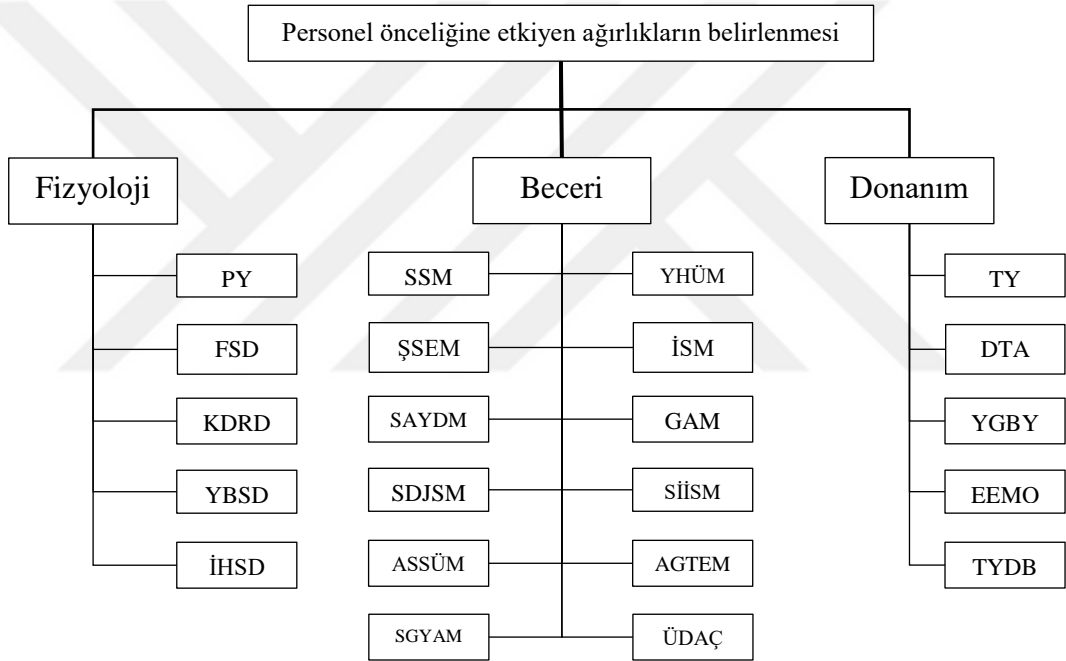
**Çizelge 7.1. (Devam) Santral personelinin gereksinimleri**

<b>Kriter</b>	<b>Açıklama</b>
İSM	İkaz Sistemine Müdahale: İkaz sistemi ünite çalışmasında etkili ekipmandır. Ancak üniteyi devreye alma çıkarmaya göre daha düşük öneme sahiptir.
SDJSM	Santral Dizel Jeneratör Sistemine Müdahale: Dizel jeneratör santralin dışardan enerji alamadığı durumlarda önemi ortaya çıkmaktadır.
EEMO	Elektrik veya Elektronik Bölümü Mezuniyeti Olmalı: Bu mezuniyet olmadığı zaman personel vardiya ve elektrik bakım servislerinde çalıştırılmaz.
DTA	Değişen Teknolojiye Adaptasyonu: Santral ekipmanlarının yenilenmesi ve teknolojik değişimlere adapte olabilen personel santrala katkı sağlayabilir.
TYDB	Teknik Yabancı Dil Bilgisi: Yabancı dil bilgisi olursa personelin santrala katkısı artabilir.
TY	Tecrübe Yılı, ekipmanlara müdahale ve arızaların daha kısa sürede giderilmesi açısından öneme sahiptir.
ATE	Aldığı Teknik Eğitimler, diğer gereksinimlere göre daha az öneme sahiptir.
SGYAM	Santralda Geçmişte Yaşana Arızalara Müdahale kabiliyeti, santralda gelen arızalara hızlı bir şekilde müdahale edilebilmeyi sağlayacağından büyük öneme sahiptir.
YBSD	Yaşa Bağlı Sağlık Durumu: Personelin yaşı ilerledikçe olayları kavrama ve algılama seviyeleri etkileneceğinden önemlidir.
FSD	Fizyolojik Sağlık Durumu: Personelin sağlık durumu santral açısından önemlidir.
İHSD	İç Hastalıklar Sağlık Durumu: Personelin sağlık durumu santral açısından önemlidir.
KDRD	Kalp-Damar Rahatsızlıkları Durumu: Personelin sağlık durumu santral açısından önemlidir.
PY	Personelin Yaşı, ilerledikçe olayları kavrama ve algılama seviyeleri etkileneceğinden santralda önemlidir.

### 7.3. AHS Yöntemi ile Personel Önceliklerini Belirlemede Kullanılacak Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Bu aşamada AHS yöntemi ile santral personelinin önceliklerini belirlemede kullanılacak kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. AHS ile kriterlerin ağırlıkları aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

*Adım 1: Hiyerarşik yapının oluşturulması:* Kriter ağırlıklarını belirlemek için kullanılan kriterlerin hiyerarşik gösterimi Şekil 7.2’de gösterilmiştir.



Şekil 7.2. AHS uygulaması hiyerarşik yapısı

*Adım 2: Her bir kritere göre kriterlerin ve alt kriterlerin ikili karşılaştırmalarının yapılması:* Kriterlerin ve alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması aşamasında santralda görevli yönetici ve mühendislerin görüşleri doğrultusunda Çizelge 5.1’deki Saaty 1-9 ölçeğini kullanarak, Eşitlik 5.1 yardımıyla geometrik ortalamaları alınarak oluşturulmuştur.

Ana kriterler için ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması: Belirlenen 3 ana kritere göre yapılan ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 7.2’de gösterilmektedir.

**Çizelge 7.2.** Ana kriterler için ikili karşılaştırma matrisi

Kriterler	Fizyoloji	Donanım	Beceri
Fizyoloji	1,00	0,50	0,25
Donanım	2,00	1,00	0,33
Beceri	4,00	3,00	1,00

Alt kriterler için ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması: Fizyoloji kriterinin alt kriteri için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 7.3’de gösterilmektedir.

**Çizelge 7.3.** Fizyoloji kriteri alt kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisi

Kriterler	YBSD	FSD	İHSD	KDRD	PY
YBSD	1,00	2,00	2,00	2,00	0,50
FSD	0,50	1,00	1,00	1,00	0,50
İHSD	0,50	1,00	1,00	1,00	0,50
KDRD	0,50	1,00	1,00	1,00	0,50
PY	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00

Donanım kriterinin alt kriteri için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 7.4’te gösterilmektedir.

**Çizelge 7.4.** Donanım kriteri alt kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisi

Kriterler	DTA	YGBY	EEMO	TYDB	TY	ATE
DTA	1,00	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00
YGBY	3,00	1,00	1,00	3,00	2,00	3,00
EEMO	3,00	1,00	1,00	3,00	2,00	3,00
TYDB	1,00	0,33	0,33	1,00	0,25	1,00
TY	1,00	0,50	0,50	3,00	1,00	4,00
ATE	1,00	0,33	0,33	1,00	0,25	3,00

Beceri kriterinin alt kriteri için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 7.5'te gösterilmektedir.

**Çizelge 7.5.** Beceri kriteri alt kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisi

Kriterler	SSM	ÜDAÇ	ASSÜM	AGTEM	ŞSEM	YHÜM	İİSM	SAYDM	GAM	İSM	SDJSM	SGYAM
SSM	1,00	0,50	1,00	1,00	0,50	2,00	2,00	0,50	0,50	1,00	2,00	1,00
ÜDAÇ	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	2,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00
ASSÜM	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	2,00	1,00	0,50	0,50	1,00	2,00	1,00
AGTEM	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00
ŞSEM	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00
YHÜM	0,50	0,33	0,50	2,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00
İİSM	0,50	0,50	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50
SAYDM	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00
GAM	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00
İSM	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00
SDJSM	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	2,00	0,50	1,00	0,50	1,00	0,50
SGYAM	1,00	0,50	1,00	1,00	0,50	1,00	2,00	1,00	0,50	1,00	2,00	1,00

*Adım 3: Normalleştirme ve göreceli önem ağırlıklarının hesaplanması:* Kriterlerin ve alt kriterlerin normalize matrisi Eşitlik 5.2 kullanılarak oluşturulmuştur.

Ana kriterler için normalize edilmiş matrisin oluşturulması: Ana kriterlerin normalize edilmiş matrisi, Çizelge 7.2'deki ikili karşılaştırma matrisi kullanılarak Eşitlik 5.2 yardımıyla Çizelge 7.6'daki gibi oluşturulmuştur.

**Çizelge 7.6.** Ana kriterler normalize matrisi

Kriterler	Fizyoloji	Donanım	Beceri
Fizyoloji	0,14	0,11	0,16
Donanım	0,29	0,22	0,21
Beceri	0,57	0,67	0,63

Çizelge 7.6 kullanılarak Eşitlik 5.3 formülü ile hesaplanan ana kriter ağırlıkları Çizelge 7.7'de gösterilmektedir.

**Çizelge 7.7.** Ana kriter ağırlıkları

Kriterler	Ağırlık
Fizyoloji	0,14
Donanım	0,24
Beceri	0,62

Alt kriterler için ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması: Fizyoloji kriterinin alt kriteri için oluşturulan normalize edilmiş matrisi, Çizelge 7.3'teki ikili karşılaştırma matrisi kullanılarak Eşitlik 5.2 yardımıyla Çizelge 7.8'deki gibi oluşturulmuştur.

**Çizelge 7.8.** Fizyoloji alt kriterleri normalize matrisi

Kriterler	YBSD	FSD	İHSD	KDRD	PY
YBSD	0,22	0,29	0,29	0,29	0,17
FSD	0,11	0,14	0,14	0,14	0,17
İHSD	0,11	0,14	0,14	0,14	0,17
KDRD	0,11	0,14	0,14	0,14	0,17
PY	0,44	0,29	0,29	0,29	0,33

Çizelge 7.8 kullanılarak Eşitlik 5.3 formülü ile hesaplanan fizyoloji alt kriterleri ağırlıkları Çizelge 7.9’da gösterilmektedir.

**Çizelge 7.9.** Fizyoloji alt kriterleri ağırlıkları

Kriterler	w
YBSD	0,25
FSD	0,14
İHSD	0,14
KDRD	0,14
PY	0,33

Donanım kriterinin alt kriteri için oluşturulan normalize edilmiş matrisi, Çizelge 7.4’teki ikili karşılaştırma matrisi kullanılarak Eşitlik 5.2 yardımıyla Çizelge 7.10’daki gibi oluşturulmuştur.

**Çizelge 7.10.** Donanım kriteri normalize matrisi

Kriterler	DTA	YGBY	EEMO	TYDB	TY	ATE
DTA	0,10	0,10	0,10	0,08	0,15	0,07
YGBY	0,30	0,29	0,29	0,25	0,31	0,21
EEMO	0,30	0,29	0,29	0,25	0,31	0,21
TYDB	0,10	0,10	0,10	0,08	0,04	0,07
TY	0,10	0,14	0,14	0,25	0,15	0,29
ATE	0,10	0,10	0,10	0,08	0,04	0,14

Çizelge 7.10 kullanılarak Eşitlik 5.3 formülü ile hesaplanan donanım alt kriterleri ağırlıkları Çizelge 7.11’de gösterilmektedir.

**Çizelge 7.11.** Donanım alt kriterleri ağırlıkları

Kriterler	w
DTA	0,10
YGBY	0,27
EEMO	0,27
TYDB	0,08
TY	0,18
ATE	0,09

Beceri kriterinin alt kriteri için oluşturulan normalize edilmiş matrisi, Çizelge 7.5’teki ikili karşılaştırma matrisi kullanılarak Eşitlik 5.2 yardımıyla Çizelge 7.12’deki gibi oluşturulmuştur.



**Çizelge 7.12.** Beceri kriteri normalize matrisi

Kriterler	SSM	ÜDAÇ	ASSÜM	AGTEM	ŞSEM	YHÜM	SiİSM	SAYDM	GAM	İSM	SDJSM	SGYAM
SSM	0,07	0,05	0,07	0,08	0,04	0,10	0,13	0,05	0,05	0,10	0,11	0,07
ÜDAÇ	0,14	0,11	0,07	0,08	0,09	0,15	0,13	0,10	0,10	0,10	0,11	0,14
ASSÜM	0,07	0,11	0,07	0,08	0,04	0,10	0,06	0,05	0,05	0,10	0,11	0,07
AGTEM	0,07	0,11	0,07	0,08	0,09	0,02	0,06	0,10	0,10	0,10	0,11	0,07
ŞSEM	0,14	0,11	0,14	0,08	0,09	0,05	0,03	0,10	0,10	0,10	0,06	0,14
YHÜM	0,03	0,04	0,04	0,16	0,09	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05	0,03	0,07
SiİSM	0,03	0,05	0,07	0,08	0,17	0,10	0,06	0,10	0,10	0,05	0,03	0,04
SAYDM	0,14	0,11	0,14	0,08	0,09	0,10	0,06	0,10	0,10	0,10	0,11	0,07
GAM	0,14	0,11	0,14	0,08	0,09	0,10	0,06	0,10	0,10	0,10	0,06	0,14
İSM	0,07	0,11	0,07	0,08	0,09	0,10	0,13	0,10	0,10	0,10	0,11	0,07
SDJSM	0,03	0,05	0,04	0,04	0,09	0,10	0,13	0,05	0,10	0,05	0,06	0,04
SGYAM	0,07	0,05	0,07	0,08	0,04	0,05	0,13	0,10	0,05	0,10	0,11	0,07

Çizelge 7.12 kullanılarak Eşitlik 5.3 formülü ile hesaplanan beceri alt kriterleri ağırlıkları Çizelge 7.13'te gösterilmektedir.

**Çizelge 7.13.** Beceri alt kriteri normalize matrisi

Kriterler	w
SSM	0,08
ÜDAÇ	0,11
ASSÜM	0,08
AGTEM	0,08
ŞSEM	0,09
YHÜM	0,06
SiİSM	0,07
SAYDM	0,10
GAM	0,10
İSM	0,09
SDJSM	0,06
SGYAM	0,08

*Adım 4: Tutarlılık oranının hesaplanması:* Kriter ve alt kriterlerin tutarlılık oranını, Eşitlik 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 ve 5.9 kullanılarak hesaplanmıştır.

Ana kriterlerin tutarlılık oranının hesaplanması: Ana kriterlerin tutarlılık oranı hesabı Çizelge 7.14'te gösterilmiştir.

**Çizelge 7.14.** Ana kriterlerin tutarlılık oranının hesabı

D	E	$\lambda_{max}$	Rİ
0,41	3,01	3,03	0,58
0,72	3,01	Tİ	TO
1,89	3,03	0,01	0,03

Çizelge 7.14'te görüldüğü üzere TO  $0,03 < 0,10$  olduğu için ana kriterlerin ağırlıkları için yapılan işlemlerin tutarlı olduğu ispatlanmıştır.

Alt kriterlerin tutarlılık oranının hesaplanması: Fizyoloji alt kriterinin tutarlılık oranının hesabı Çizelge 7.15'te gösterilmiştir.

**Çizelge 7.15.** Fizyoloji kriteri alt kriterleri tutarlılık oranı hesabı

D	E	$\lambda_{max}$	Rİ
1,26	5,06	5,12	0,90
0,71	5,04	Tİ	TO
0,71	5,04	0,03	0,03
0,71	5,04		
1,67	5,12		

Çizelge 7.15'te görüldüğü üzere TO  $0,03 < 0,10$  olduğu için fizyoloji kriteri alt kriteri ağırlıkları için yapılan işlemlerin tutarlı olduğu ispatlanmıştır. Donanım alt kriterinin tutarlılık oranının hesabı Çizelge 7.16'da gösterilmiştir.

**Çizelge 7.16.** Donanım kriteri alt kriterleri tutarlılık oranının hesabı

D	E	$\lambda_{max}$	Rİ
0,64	6,44	6,50	1,24
1,74	6,40	Tİ	TO
1,74	6,40	0,10	0,08
0,51	6,34		
1,19	6,78		
0,71	6,41		

Çizelge 7.16'da görüldüğü üzere TO  $0,08 < 0,10$  olduğu için donanım kriteri alt kriter ağırlıkları için yapılan işlemlerin tutarlı olduğu ispatlanmıştır. Beceri alt kriterinin tutarlılık oranının hesabı Çizelge 7.17'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.17'de görüldüğü üzere TO  $0,06 < 0,10$  olduğu için donanım kriteri alt kriter ağırlıkları için yapılan işlemlerin tutarlı olduğu ispatlanmıştır. AHS yöntemi ile elde edilen ağırlıklar Çizelge 7.18'de gösterilmektedir.

**Çizelge 7.17.** Beceri kriteri alt kriterleri tutarlılık oranının hesabı

D	E	$\lambda_{max}$
0,99	12,98	12,98
1,40	12,92	Tİ
0,97	12,85	0,09
1,04	12,69	Rİ
1,19	12,67	1,53
0,72	12,67	TO
0,94	12,77	0,06
1,27	12,80	
1,29	12,76	
1,19	12,85	
0,82	12,98	
0,99	12,87	

**Çizelge 7.18.** AHS yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları

Ana kriter	Ağırlık	Alt kriter	Ağırlık	SONUÇ
Fizyoloji	0,14	YBSD	0,25	0,03
		FSD	0,14	0,02
		İHSD	0,14	0,02
		KDRD	0,14	0,02
		PY	0,33	0,04
Donanım	0,24	DTA	0,10	0,02
		YGBY	0,27	0,07
		EEMO	0,27	0,07
		TYDB	0,08	0,02
		TY	0,18	0,04
		ATE	0,09	0,02
Beceri	0,62	SSM	0,08	0,05
		ÜDAÇ	0,11	0,07
		ASSÜM	0,08	0,05
		AGTEM	0,08	0,05
		ŞSEM	0,09	0,06
		YHÜM	0,06	0,04
		SİİSM	0,07	0,05
		SAYDM	0,10	0,06
		GAM	0,10	0,06
		İSM	0,09	0,06
		SDJSM	0,06	0,04
		SGYAM	0,08	0,05
			Toplam	1,00

#### **7.4. PROMETHEE ile Yetkinlik kriterlerine göre Personellerin Önceliklerinin Belirlenmesi**

Bu aşamada PROMETHEE yöntemi ile personellerin öncelik değerleri hesaplanmıştır. Öncelikle 28 personelin, 23 farklı yetkinliği firma yetkilisi uzman mühendis görüşüyle belirlenmiştir. Kriterlerin özelliklerine göre farklı skalalarla değerlendirilen yetkinlik kriterleri Çizelge 7.19’da gösterilmektedir.

Personellerin PROMETHEE yöntemi ile önceliklendirilmesinde Çizelge 7.18’de AHS yöntemi ile elde edilen ağırlıklar (w) kullanılmıştır. Tercih fonksiyonlarının belirlenmesi literatürde yer alan çalışmalar ve uzman görüşü doğrultusunda belirlenmiştir.

Tecrübe Yılı (TY) ve Personel Yaşı (PY) gibi ölçülebilir kriterler için 3. ve 5. Tip fonksiyonun uygunluğu literatürde açıkça belirtilmiştir. Nicel kriterler için ise 1. ve 4. Tip tercih fonksiyonun uygun olacağı yine literatürde belirtilmiştir (Bansal ve Kumar, 2013).

Değerlendirme kriterlerinden personel yaşı, yapılan iş fiziksel olduğu ve dinamik bir yapıya sahip olduğu için ileri yaşlar için santralda çalışmalarını olumsuz etkilemektedir. Bu sebeple yaşı küçük olan personelin daha uygun olması sebebiyle minimizasyon olarak ele alınmıştır. Diğer kriterler yüksek puan alan daha uygun olacak şekilde düşünüldüğü için maksimizasyon olarak ele alınmıştır. Örneğin tecrübe yılı kriterine bakıldığında daha uzun yıl santralda çalışan personel, diğerine göre üstün olarak düşünülmektedir.

Personellerin yetkinlikleri puanlandırılması için evet-hayır (E/H), 1-5 skalası, ve nümerik olmak üzere 3 farklı skala ile değerlendirilerek yapılmıştır. Burada E/H skalası için Elektrik Elektronik Mezunu Olma (EEMO) kriteri örnek verilebilir. Personel elektrik elektronik mezunu ise Evet, değil ise Hayır olarak değerlendirilebilir. Personel yaşı ve Tecrübe yılı sayı ile ifade edilebilen kriterler olduğu için nümerik olarak değerlendirilebilmektedir. Diğer kriterler 1 en az, 2 az, 3 orta, 4 yüksek ve 5

çok yüksek olacak şekilde 1-5 skalasında uzmanlar tarafından değerlendirilmiştir. Personellerin yetkinliklere göre aldıkları değerler Çizelge 7.20’de gösterilmektedir.

**Çizelge 7.19.** PROMETHEE parametreleri

No	Yetkinlik	w	Tercih Fonk.	Min/max	Skala
1	YGBY	0,07	Olağan (1. Tip)	max	E/H
2	SSM	0,05	Olağan (1. Tip)	max	1-5
3	ÜDAÇ	0,07	Olağan (1. Tip)	max	1-5
4	ASSÜM	0,05	Olağan (1. Tip)	max	1-5
5	AGTEM	0,05	Olağan (1. Tip)	max	1-5
6	ŞSEM	0,06	Olağan (1. Tip)	max	1-5
7	YHÜM	0,04	Olağan (1. Tip)	max	1-5
8	SİİSM	0,05	Olağan (1. Tip)	max	1-5
9	SAYDM	0,06	Olağan (1. Tip)	max	1-5
10	GAM	0,06	Olağan (1. Tip)	max	1-5
11	İSM	0,06	Olağan (1. Tip)	max	1-5
12	SDJSM	0,04	Olağan (1. Tip)	max	1-5
13	EEMO	0,07	Olağan (1. Tip)	max	E/H
14	DTA	0,02	Olağan (1. Tip)	max	1-5
15	TYDB	0,02	Olağan (1. Tip)	max	1-5
16	TY	0,04	V Tipi (3. Tip)	max	nümerik
17	ATE	0,02	Olağan (1. Tip)	max	1-5
18	SGYAM	0,05	Olağan (1. Tip)	max	1-5
19	YBSD	0,034	Olağan (1. Tip)	max	1-5
20	FSD	0,02	Olağan (1. Tip)	max	1-5
21	İHSD	0,02	Olağan (1. Tip)	max	1-5
22	KDRD	0,02	Olağan (1. Tip)	max	1-5
23	PY	0,04	Lineer (5. Tip)	min	nümerik

**Çizelge 7.20.** Personellerin yetkinlik kriterlerine göre aldıkları değerler

Personel	Yetkinlik No																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	E	5	5	5	4	4	4	4	4	4	5	5	E	5	2	21	4	4	4	5	5	5	42
2	E	5	5	5	4	4	4	4	4	4	5	5	E	5	2	19	4	4	4	5	5	5	40
3	E	5	5	5	4	4	4	4	4	4	5	5	E	5	3	23	4	4	4	5	5	5	43
4	E	5	5	5	4	4	4	4	4	4	5	5	E	5	2	25	4	4	4	5	5	5	44
5	E	4	4	4	3	3	3	4	3	3	3	4	E	5	2	18	4	3	4	5	5	5	42
6	E	4	4	4	3	3	4	4	4	3	3	3	E	4	2	17	3	3	4	5	5	5	41
7	E	4	4	3	3	3	4	4	3	3	3	4	E	3	1	14	3	3	4	5	5	5	41
8	E	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	E	2	1	16	3	3	4	5	5	5	46
9	E	4	4	4	3	3	3	4	3	3	3	4	E	5	2	18	4	3	4	5	5	5	42
10	E	4	4	3	3	3	4	4	4	3	3	4	E	3	1	11	3	3	5	5	5	5	38
11	E	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	E	2	1	16	3	3	5	5	5	5	36
12	E	4	4	4	3	3	4	4	4	3	3	3	E	4	2	18	3	3	4	5	5	5	42
13	E	4	4	4	3	3	3	4	3	3	3	4	E	3	1	19	4	3	3	5	5	4	43
14	E	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4	E	3	1	15	4	3	5	5	5	5	38
15	E	4	4	4	3	3	3	4	3	3	3	4	E	4	3	10	4	3	5	5	5	5	35
16	E	4	4	4	3	3	3	4	3	3	3	4	E	3	1	8	4	3	5	5	5	5	38
17	E	4	4	4	3	3	3	4	3	3	3	4	E	3	1	9	4	3	5	5	5	5	32
18	E	4	4	4	3	3	3	4	3	3	3	4	E	2	1	7	4	3	5	5	5	5	35
19	E	3	3	3	3	3	3	2	4	3	3	3	E	2	1	8	3	3	5	5	5	5	36
20	E	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	E	2	1	9	3	3	5	5	4	4	37
21	E	3	4	3	3	4	3	4	3	3	3	4	E	3	1	6	3	3	5	5	5	5	38
22	E	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	E	2	1	10	3	3	5	5	5	5	38
23	E	3	3	3	3	2	3	3	4	3	3	3	E	2	1	9	3	3	5	5	5	5	36
24	E	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	E	2	1	12	3	3	4	5	5	5	40
25	E	4	4	4	3	3	3	4	3	3	3	4	E	4	3	3	4	3	5	5	5	5	28
26	E	4	4	4	3	3	3	4	3	3	3	4	E	2	2	5	4	3	5	5	5	5	30
27	E	3	4	3	3	4	3	4	3	3	3	4	E	3	1	12	3	3	4	5	5	5	40
28	E	4	4	4	3	3	3	4	3	3	3	4	E	2	1	4	4	3	5	5	5	5	30



Çizelge 7.19’da gösterilen parametreler ve Çizelge 7.20’de gösterilen personellerin yetkinlik kriterlerine göre aldıkları değerler VISUAL PROMETHEE programına girilerek elde edilen PROMETHEE I sonuçları Çizelge 7.21’de gösterilmektedir.

PROMETHEE I sonucuna bakıldığında bir çok personelin diğer personeller üzerinde negatif ve pozitif üstünlükleri bulunmaktadır. Personel sayısının fazlalığı sebebiyle net bir sıralama yapmak oldukça güçtür. Bu sebeple net üstünlüklerin belirlenmesi için PROMETHEE II kullanılmıştır. PROMETHEE II ile elde edilen net üstünlükler Çizelge 7.22’de gösterilmektedir.

PROMETHEE ile elde edilen değerler doğrusal normalizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Literatürde çok kriterli karar verme yöntemleri için genel bir normalizasyon formu bulunmamakla birlikte doğrusal normalizasyon yöntemini kullanan bir çok çalışma mevcuttur.

Doğrusal normalizasyon işlemi Eşitlik 7.1’de gösterilen formül yardımıyla hesaplanmaktadır. Eşitlik 7.1 en iyi durum maksimizasyon olduğu durumlarda kullanılmaktadır (Özdağoğlu, 2013).

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^-}{x_j^+ - x_j^-} \quad i=1,2,\dots,m; \quad j=1,2,\dots,n; \quad x_j^+ = \max(x_{ij}); x_j^- = \min(x_{ij}) \quad (7.1)$$

**Çizelge 7.21.** PROMETHEE I sonucu elde edilen personel öncelikleri

Personel	$\Phi^+$	$\Phi^-$	$\Phi^{net}$	$\Phi_i$
1	0,5867	0,0913	0,4954	0,92
2	0,6102	0,0451	0,5651	1,00
3	0,6014	0,0561	0,5453	0,98
4	0,5977	0,0832	0,5145	0,94
5	0,2255	0,1801	0,0454	0,39
6	0,2076	0,1878	0,0198	0,36
7	0,1885	0,2376	-0,0491	0,28
8	0,1173	0,3693	-0,2520	0,04
9	0,1613	0,2611	-0,0998	0,22
10	0,1694	0,2094	-0,0400	0,29
11	0,1302	0,2706	-0,1404	0,17
12	0,2178	0,1940	0,0238	0,37
13	0,1507	0,2006	-0,0499	0,28
14	0,2604	0,2490	0,0114	0,35
15	0,1925	0,1812	0,0113	0,35
16	0,1566	0,1922	-0,0356	0,30
17	0,1749	0,1797	-0,0048	0,33
18	0,1470	0,2120	-0,0650	0,26
19	0,0994	0,3869	-0,2875	0,00
20	0,0983	0,3264	-0,2281	0,07
21	0,1551	0,2486	-0,0935	0,23
22	0,1547	0,3088	-0,1541	0,16
23	0,0990	0,3821	-0,2831	0,01
24	0,0814	0,3649	-0,2835	0,00
25	0,2351	0,1804	0,0547	0,40
26	0,1635	0,2549	-0,0914	0,23
27	0,1551	0,2439	-0,0888	0,23
28	0,1573	0,1980	-0,0407	0,29

## 7.5. Hedef Programlama ile Vardiya Planının Oluşturulması

### Notasyon ve Parametreler;

N: Santralde çalışan personel sayısı	N=28
M: Ağustos ayındaki gün sayısı	M=31
K Vardiya sayısı	K=3
i=personel indeksi	i=1,2,...,N
j=gün indeksi	j=1,2,...,M
k=vardiya indeksi	k=1,2,...,K

$$\Phi_i = \text{i. personelin PROMETHEE ile elde edilen normalize öncelik değeri} \quad \forall i$$

### Karar değişkenleri;

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{i. personel j. gün k. vardiyaya atanırsa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad \forall i, j, k$$

$$h_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{i. personel j. günde izinli ise} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad \forall i, j$$

$$d_{ik}^+ = \text{i ve i+1 personellerin k. vardiyada çalıştıkları gün sayılarının farklarının pozitif sapması} \quad \forall k$$

$$d_{ik}^- = \text{i ve i+1 personellerin k. vardiyada çalıştıkları gün sayılarının farklarının negatif sapması} \quad \forall k$$

$$dd_{jk}^+ = \text{j ve j+1 günlerinin k. vardiyalarında çalışan personellerin önceliklerinin toplamlarının farklarının pozitif sapması} \quad \forall j, k$$

$$dd_{jk}^- = \text{j ve j+1 günlerinin k. vardiyalarında çalışan personellerin önceliklerinin toplamlarının farklarının negatif sapması} \quad \forall j, k$$

$$vd_{ik} = \text{i. personelin k. vardiyada çalıştığı toplam gün sayısı} \quad \forall i, k$$

$$b_{jk} = \text{j. gün k. vardiyadaki çalışanların yetkinlikleri toplamı} \quad \forall j, k$$

### Hedefler;

İşletmede yaşanan sorunlar uzmanlardan alınan bilgiler doğrultusunda analiz edilerek iki hedef belirlenmiştir. Çalışanlar arası vardiyaların eşit ve adil bir şekilde atanmasını

sağlamak amacıyla Eşitlik 7.2’de gösterilmekte olan hedef oluşturulmuştur. Bu hedef ile ardışık iki çalışanın atandıkları vardiya sayılarının farklarının sapması minimizasyonunu sağlanmıştır. Bu sayede personellerin vardiyalara dengeli bir şekilde atanması sağlanarak personel memnuniyeti arttırılmıştır. İşletmedeki personellerin yetkinlikleri dikkate alınarak vardiyadaki personellerin yetkinlikleri toplamı dengelenmiştir. Bu amaçla Eşitlik 7.3’de gösterilmekte olan hedef ile ardışık günlerde her bir vardiyadaki çalışan yetkinlikleri toplamalarının farklarını minimize etmeyi amaçlamaktadır.

$$vd_{(i+1)k} - vd_{ik} + d_{ik}^- - d_{ik}^+ = 0 \quad i=1,2,..27, \forall k \quad (7.2)$$

$$b_{(j+1)k} - b_{jk} + dd_{jk}^- - dd_{jk}^+ = 0 \quad j=1,2,..30, \forall k \quad (7.3)$$

### **Kısıtlar;**

Çalışmada ele alınan kısıtlar uygulamanın ele alındığı santralin belirlediği kanuni ve özel kısıtlamalar dikkate alınarak belirlenmiştir.

Eşitlik 7.4’te gösterilen kısıt her gün her vardiya için gerekli personel sayısının atanmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{i=1}^N x_{ijk} = 7 \quad \forall j, k \quad (7.4)$$

Her gün her vardiyada kıdemlerine göre gerekli personel sayıları; Eşitlik 7.5’te gösterilen kısıt, 1.kideme sahip personellerden her vardiyada en az bir tane atanmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{i=1}^5 x_{ijk} \geq 1 \quad \forall j, k \quad (7.5)$$

Eşitlik 7.6’da gösterilen kısıt, 2.kideme sahip personellerden her vardiyada en az iki tane atanmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{i=6}^{14} x_{ijk} \geq 2 \quad \forall j, k \quad (7.6)$$

Eşitlik 7.7’de gösterilen kısıt, 3.kıdeme sahip personellerden her vardiyada en az iki tane atanmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{i=15}^{22} x_{ijk} \geq 2 \quad \forall j, k \quad (7.7)$$

Eşitlik 7.8’de gösterilen kısıt, 4.kıdeme sahip personellerden her vardiyada en az bir tane atanmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{i=23}^N x_{ijk} \geq 1 \quad \forall j, k \quad (7.8)$$

Eşitlik 7.9’da gösterilen kısıt, herhangi bir gün gece vardiyasında çalışan bir personelin ertesi gün sabah ve akşam vardiyalarında çalışmamasını sağlamaktadır.

$$x_{ij3} + x_{i(j+1)1} + x_{i(j+1)2} \leq 1 \quad \forall i, j = 1, 2, \dots, 30 \quad (7.9)$$

Eşitlik 7.10’da gösterilen kısıt, herhangi bir gün akşam vardiyasında çalışan bir personel ertesi gün sabah vardiyasında çalışmamasını sağlamaktadır.

$$x_{ij2} + x_{i(j+1)1} \leq 1 \quad \forall i, j \quad (7.10)$$

Eşitlik 7.11’de gösterilen kısıt, herhangi bir personelin altı günden fazla art arda çalışmamasını sağlamaktadır.

$$h_{ij} + h_{i(j+1)} + h_{i(j+2)} + h_{i(j+3)} + h_{i(j+4)} + h_{i(j+5)} + h_{i(j+6)} \geq 1 \quad j=1,2,\dots,25, \forall i \quad (7.11)$$

Eşitlik 7.12’de gösterilen kısıt, herhangi bir personel izinli olduğu gün çalışmamasını sağlamaktadır.

$$x_{ijk} \leq 1 - h_{ij} \quad \forall i, j, k \quad (7.12)$$

Eşitlik 7.13’te gösterilen kısıt, herhangi bir personelin günde sadece bir vardiya atanmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{k=1}^K x_{ijk} \leq 1 \quad \forall i, j, k \quad (7.13)$$

Eşitlik 7.14'te gösterilen kısıt, her personelin her vardiya için atandığı toplam gün sayısını belirlemektedir.

$$\sum_{j=1}^M x_{ijk} = vd_{ik} \quad \forall i, k \quad (7.14)$$

Eşitlik 7.15'te gösterilen kısıt, herhangi bir gün herhangi bir vardiyaya atanan personellerin PROMETHEE ile hesaplanan öncelik değerleri toplamını göstermektedir.

$$\sum_{i=1}^N \Phi_i * x_{ijk} = b_{jk} \quad \forall j, k \quad (7.15)$$

#### **Amaç fonksiyonu;**

Çalışmanın amaç fonksiyonu 2 hedeften oluşmaktadır. 1. Hedef (P1), ardışık personellerin vardiyalarda çalıştıkları toplam gün sayılarının sapmalarının minimizasyonunu amaçlamaktadır. 2. Hedef (P2) ardışık günlerde vardiyalardaki personellerin öncelik değerleri toplamalarını farklarının minimizasyonudur.

Çalışmada farklı senaryolar kullanılarak etkinliği arttırmak amaçlanmıştır. Her bir senaryo için oluşturulan amaç fonksiyonları Eşitlik 7.16, 7.17, 7.18, 7.19, 7.20'de gösterilmektedir.

Senaryo 1 (SI): İlk senaryo Öncelikli Hedef Programlama kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Öncelikli Hedef Programlama (ÖHP) yöntemi ile oluşturulan amaç fonksiyonu Eşitlik 7.16'da gösterilmektedir. Burada P1 hedefi öncelikli olarak çözüldükten sonra elde edilen sapma değerleri kısıt olarak eklenerek P2 hedefinin çözümü gerçekleştirilir.

$$\text{Minimize } z = P1 * \sum_{i=1}^{28} \sum_{k=1}^3 (d_{ik}^+ + d_{ik}^-) + P2 * \sum_{j=1}^{31} \sum_{k=1}^3 (dd_{jk}^+ + dd_{jk}^-) \quad (7.16)$$

Senaryo 2 (S2): İkinci senaryo Eşit Ağırlıklı Hedef Programlama (EA-HP) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eşit Ağırlıklı Hedef Programlama yöntemi ile oluşturulan amaç fonksiyonu Eşitlik 7.17’de gösterilmektedir.

$$\text{Minimize } z = \sum_{i=1}^{28} \sum_{k=1}^3 (d_{ik}^+ + d_{ik}^-) + \sum_{j=1}^{31} \sum_{k=1}^3 (dd_{jk}^+ + dd_{jk}^-) \quad (7.17)$$

Senaryo 3 (S3): Üçüncü senaryo Ağırlıklı Hedef Programlama (A-HP) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ağırlıklı Hedef Programlama yöntemi ile oluşturulan amaç fonksiyonu Eşitlik 7.18’de gösterilmektedir. Burada 1. hedefinin ağırlığı 0,8 ve 2. hedefinin ağırlığı 0,2 olarak alınmıştır.

$$\text{Minimize } z = 0,8 * \sum_{i=1}^{28} \sum_{k=1}^3 (d_{ik}^+ + d_{ik}^-) + 0,2 * \sum_{j=1}^{31} \sum_{k=1}^3 (dd_{jk}^+ + dd_{jk}^-) \quad (7.18)$$

Senaryo 4 (S4): Dördüncü senaryo Ağırlıklı Hedef Programlama kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ağırlıklı Hedef Programlama yöntemi ile oluşturulan amaç fonksiyonu Eşitlik 7.19’da gösterilmektedir. Burada 1. hedefinin ağırlığı 0,6 ve 2. hedefinin ağırlığı 0,4 olarak alınmıştır.

$$\text{Minimize } z = 0,6 * \sum_{i=1}^{28} \sum_{k=1}^3 (d_{ik}^+ + d_{ik}^-) + 0,4 * \sum_{j=1}^{31} \sum_{k=1}^3 (dd_{jk}^+ + dd_{jk}^-) \quad (7.19)$$

Senaryo 5 (S5): Beşinci senaryo Ağırlıklı Hedef Programlama kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ağırlıklı Hedef Programlama yöntemi ile oluşturulan amaç fonksiyonu Eşitlik 7.20’de gösterilmektedir. Burada 1. hedefinin ağırlığı 0,4 ve 2. hedefinin ağırlığı 0,6 olarak alınmıştır.

$$\text{Minimize } z = 0,4 * \sum_{i=1}^{28} \sum_{k=1}^3 (d_{ik}^+ + d_{ik}^-) + 0,6 * \sum_{j=1}^{31} \sum_{k=1}^3 (dd_{jk}^+ + dd_{jk}^-) \quad (7.20)$$

Senaryo 6 (S6): Altıncı senaryo Ağırlıklı Hedef Programlama kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ağırlıklı Hedef Programlama yöntemi ile oluşturulan amaç fonksiyonu Eşitlik 7.21’de gösterilmektedir. Burada 1. hedefinin ağırlığı 0,2 ve 2. hedefinin ağırlığı 0,8 olarak alınmıştır.

$$\text{Minimize } z=0,2* \sum_{i=1}^{28} \sum_{k=1}^3 (d_{ik}^+ + d_{ik}^-) + 0,8* \sum_{j=1}^{31} \sum_{k=1}^3 (dd_{jk}^+ + dd_{jk}^-) \quad (7.21)$$

## 7.6. Senaryo Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Modelin çözümü Intel(R) Core(TM) i7-6700HQ CPU @ 2.60 GHz işlemcili 32 GB belleğe sahip Windows 10 işletim sistemine sahip bir bilgisayarda CPLEX ILOG 12.6.2.0 optimizasyon programında gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen matematiksel model 6889 kısıt ve 4003 karar değişkenine sahiptir.

S1 senaryosu sonucunda her bir personel için her bir vardiyada çalıştıkları toplam gün sayıları Çizelge 7.23'te gösterilmektedir. Görüldüğü üzere personeller dengeli bir şekilde vardiyalara atanmıştır. Her bir gün ve her bir vardiya için personel yetkinlikleri toplamı Çizelge 7.24'te gösterilmektedir. Personel yetkinlikleri toplamına bakıldığında yine dengeli bir şekilde atama yapıldığı gösterilmektedir. Senaryo 1 ile elde edilen vardiya planı Çizelge 7.25'te gösterilmektedir.

S2 senaryosuna göre model çözüldüğünde elde edilen  $a_{ik}$  değerleri EK 1'de gösterilmektedir. Bu senaryoda Eşitlik 7.17'de gösterilen amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Çözüm iki hedefin ağırlıkları eşit alınarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen değerlere bakıldığında sapma miktarının diğer senaryolara oranla yüksek olduğu görülmektedir. S2 senaryosu ile elde edilen  $b_{jk}$  değerleri EK 2'de gösterilmektedir. Vardiyalar arası yetkinlik dengesinin diğer senaryolarla kıyaslandığında en iyi sonuç olarak görülse de bu sonuçlar işletme açısından tatmin edici değildir. S2 senaryosu ile elde edilen 1 aylık vardiya planı EK 3'te gösterilmektedir. EK 3'teki çizelgede vardiyalar Sabah (S), Akşam (A) ve Gece (G) olarak gösterilmektedir.

S3 senaryosunda Eşitlik 7.18'de gösterilen amaç fonksiyonu kullanılarak çözüm gerçekleştirilmiştir. Birinci hedefin ağırlığı 0,8, ikinci hedefin ağırlığı ise 0,2 olarak ele alınmıştır. Bu şartlar altında model çözüldüğünde elde edilen  $a_{ik}$  değerleri EK 4'te gösterilmektedir. Personellerin vardiyalara atanmasını gösteren  $a_{ik}$  değerleri



incelendiğinde, personellerin vardiyalara dengeli olarak atandıkları görülmektedir. Diğer yandan S3 senaryosu ile elde edilen  $b_{jk}$  değerleri EK 5'te gösterilmektedir. Vardiyalar arası dengenin iyi sağlandığı çözümlerden birini S3 ile elde edilmiştir. S3 senaryosu ile elde edilen 1 aylık vardiya planı EK 6'da gösterilmektedir.

S4 senaryosunda Eşitlik 7.19'da gösterilen amaç fonksiyonu kullanılarak çözüm gerçekleştirilmiştir. Birinci hedefin ağırlığı 0,6, ikinci hedefin ağırlığı ise 0,4 olarak ele alınmıştır. Bu şartlar altında model çözüldüğünde elde edilen  $a_{ik}$  değerleri EK 7'te gösterilmektedir. Personellerin vardiyalara atanmasını gösteren  $a_{ik}$  değerleri incelendiğinde, personellerin vardiyalara adil bir şekilde atandığı görülmektedir. S4 ile elde edilen her gün her bir vardiyada bulunan personellerin yetkinlikleri toplamı  $b_{jk}$  değerleri EK 8'de gösterilmektedir. Sapma değerlerinin toplamının diğer senaryolara göre daha düşük olduğu görülmektedir. S4 senaryosu ile elde edilen 1 aylık vardiya planı EK 9'da gösterilmektedir.

S5 senaryosunda Eşitlik 7.20'de gösterilen amaç fonksiyonu kullanılarak çözüm gerçekleştirilmiştir. Birinci hedefin ağırlığı 0,4, ikinci hedefin ağırlığı ise 0,6 olarak ele alınmıştır. Bu şartlar altında model çözüldüğünde elde edilen  $a_{ik}$  değerleri EK 10'da gösterilmektedir. Ardışık iki personelin vardiyalara atandıkları sayıların farkını gösteren sapma değerleri toplamı, S5 için diğer senaryolara nazaran daha yüksek çıktığı görülmektedir. S5 ile elde edilen vardiya personellerin yetkinlikleri toplamı  $b_{jk}$  değerleri EK 11'de gösterilmektedir. Diğer yandan personel yetkinlikleri toplamları farkını gösteren sapma değerlerinin toplamı da diğer senaryolara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. S5 senaryosu ile elde edilen 1 aylık vardiya planı EK 12'de gösterilmektedir.

S6 senaryosunda Eşitlik 7.21'de gösterilen amaç fonksiyonu kullanılarak çözüm gerçekleştirilmiştir. Birinci hedefin ağırlığı 0,2, ikinci hedefin ağırlığı ise 0,8 olarak ele alınmıştır. Bu şartlar altında model çözüldüğünde elde edilen  $a_{ik}$  değerleri EK 13'te gösterilmektedir. S6 ile elde edilen  $a_{ik}$  değerlerine bakıldığında diğer senaryolara göre en az etkin çizelge olduğu söylenebilmektedir. Tam aksine 2. Hedefin sapma miktarına bakıldığında vardiyalar arası yetkinlik dengesinin en iyi sağlandığı çizelge olduğu görülmektedir. S6 ile elde edilen vardiya personellerin yetkinlikleri

toplamı  $b_{jk}$  değerleri EK 14’te gösterilmektedir. S5 senaryosu ile elde edilen 1 aylık vardiya planı EK 15’te gösterilmektedir.

**Çizelge 7.22.** Senaryolar ile elde edilen sonuçların kıyaslanması

<b>SENARYOLAR</b>	S1	S2	S3	S4	S5	S6
<b>Çözüm Yöntemi</b>	ÖHP	EA-HP	A-HP	A-HP	A-HP	A-HP
<b>AFD</b>	8,76	24,05	5,37	8,02	11,78	12,24
<b>Çözüm Süresi (sn)</b>	36000	2466	2551	2570	2607	2670
$\sum d_{ik}^+$	1	6	2	1	3	10
$\sum d_{ik}^-$	2	4	1	2	4	11
$\sum dd_{jk}^+$	4,33	7,68	7,71	7,60	9,59	4,83
$\sum dd_{jk}^-$	4,43	6,37	7,12	7,94	9,05	5,22

Tüm senaryolarda kullanılan çözüm yöntemi, elde edilen amaç fonksiyon değerleri (AFD), saniye (sn) olarak çözüm süresi ve hedeflerin sapma değerleri Çizelge 7.22’de gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde birinci hedef için en az sapma değerine sahip senaryoların S1, S3 ve S4 olduğu görülmektedir. İkinci hedefi en iyi sağlayan senaryonun ise S6 olduğu görülmektedir. Ancak S6 için birinci hedef sapması oldukça yüksektir. Bu durum göz ardı edilebilir seviyede değildir. Diğer yandan S1, S3 ve S4 için ikinci hedef sapmaları incelendiğinde en az sapmaya sahip olan senaryonun S1 olduğu görülmektedir.

S1 senaryosunun çözümü Öncelikli Hedef Programlama ile gerçekleştirilmesinin sonuca etkisi şu şekilde açıklanabilir. Çözüm süresi diğer senaryolara oranla fazla gözükmemektedir. Ancak bu durum bir problem teşkil etmemektedir. Birinci hedef için model çalıştırıldığında yalnızca birkaç saniye içinde optimal çözüm elde edilmektedir. İkinci hedef diğer senaryolar ile aynı zaman penceresinde çalıştırıldığında yine uygun bir çözüm elde edilmektedir. Model 36000 saniye çalıştırılıp çözüm alındığında ise

senaryolar arasında en uygun olarak görülmektedir. Ayrıca uygulamada ele alınan santral için öncelikli hedef, personellerin adil bir şekilde vardiyalara atanması olduğundan S1 senaryosu tercih sebebi olmaktadır. S1 ile elde edilen yetkinlik sapma değeri 8,76'dır. Bu değer şu şekilde yorumlanabilir; Bir ayda 31 gün ve her günün 3 vardiya olduğuna göre her bir gündeki her bir vardiya için sapma oranı ortalama 0,09'dur. S1 senaryosunda vardiyaların ortalama yetkinlik değerinin 2,36 olduğu düşünüldüğünde yaklaşık %4'lük bir sapma meydana gelmiştir.



**Çizelge 7.23.** S1 için personellerin ay boyunca vardiyalarda çalıştıkları gün sayısı

Personel	Sabah	Öğle	Akşam
1	8	8	7
2	8	8	7
3	8	8	7
4	8	8	7
5	8	8	7
6	8	8	7
7	8	8	7
8	8	8	8
9	8	8	8
10	8	8	8
11	8	8	8
12	8	8	8
13	8	8	8
14	8	8	8
15	8	8	8
16	8	8	8
17	8	8	8
18	8	8	8
19	8	8	8
20	8	8	8
21	8	8	8
22	7	7	8
23	7	7	8
24	7	7	8
25	7	7	8
26	7	7	8
27	7	7	8
28	7	7	8

**Çizelge 7.24.** S1 için vardiyadaki personellerin yetkinlik toplamı

Gün	Sabah	Öğle	Akşam
1	2,39	2,52	2,23
2	2,27	2,53	2,21
3	2,19	2,53	2,19
4	2,27	2,64	2,2
5	2,35	2,51	2,18
6	2,35	2,46	2,14
7	2,19	2,19	2,22
8	2,37	2,21	2,27
9	2,32	2,19	2,46
10	2,42	2,33	2,22
11	2,42	2,47	2,17
12	2,46	2,48	2,31
13	2,45	1,96	2,37
14	2,71	2,15	2,43
15	2,61	2,41	2,43
16	2,35	2,69	2,39
17	2,37	2,69	2,28
18	2,36	2,25	2,24
19	2,34	2,15	2,32
20	2,53	2,13	2,31
21	2,4	2,15	2,30
22	2,55	2,44	2,27
23	2,50	2,44	2,10
24	2,64	2,39	2,23
25	2,67	2,38	2,23
26	2,42	2,39	2,37
27	2,12	2,41	2,42
28	2,29	2,54	2,39
29	2,17	2,53	2,36
30	2,35	2,54	2,32
31	2,45	2,58	2,17

Çizelge 7.25. S1 ile elde edilen 1 aylık çizelge

		Gün																															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Personel	1	A	A	A	A		S		S	G	G	G		S	S		S	S	G		G		S	A	G	G		A	A	A	G		
	2		G		G	G		A	A			S	S	A		S	A	A		S	S	A	G		S	A	G	G	G		S	S	
	3	S	S	A	A	A		S	G	G	G		A		G	G	G	G	S		S	S	A	G		S	A			S	A	A	
	4	G		G		S	A	G		A	A	A	G	G		S	S	A	A	G			S	S	S	S	S		G		A	A	
	5	A		S	S	G	G		S	S	S	A	A		A	A	G			A	A	G		S	A		S	S	S	G		G	
	6	S	S	G	G	G	G		A	A	A	A		S	S		G	G	A	A	A	A		S			S	S	A	G		S	
	7		G		S	A	A	G	G				S	G	G	G			A	G		S	A	A	A	A		S	S	S	S	S	
	8	A	A	A	A	A		S	S	G	G	G	G		S	S	G	G		S	S	A	G	G		S	S		G		A	A	
	9	G	G	G	G		S	S	A	A	A	G		S	S	A	A		S	G	G	G		S	S			A	A	A	A		
	10	A	A		S	S	S	S	G	G	G		A	A	G	G		S	S	S		A	A	G	G	G		A	A	G			
	11	G		A	A		S	A		A	A	A	G	G		S	S	A	G		S	S	S		S	S	A	G	G		G	G	
	12	S	S	S		S	A		S	S	S		S	S	A	A	A	G	A	A	A	G			G	G	G	G		A	G	G	
	13	G	G	G	G		A	A		S	S	S	S	A	A		S	A	G	G		S	S	A		A	G		S	A		S	
	14	S		S	S	G	G	G				S	A	A	A	A		S		S	S	G	G	G		A	A	A	G		S	S	A
	15	A	A	A		A	G		S	S	S	G		S	S	G	G		S	A	G	G	G		A		S	S	S	A	A	G	
	16	A	A		S	S	S	S		S	S	A		A	A		G	G	G	G		S	G	G		S	A	A	A	G		S	
	17	S	S	S	G		A	A	A	A	A		G		S	A	A	G	G		S	G		A	A		S	S	S	G		G	
	18	G	G		S		A	G	G			S	S	A	A	A				S	A		A	G	G	G	G		S	S	S	A	
	19	S	S	G	G	G		A	A	G	G	G	G			S	S	S	S	S	S	A	A	A		A	G		G		A	A	
	20	G		A	A	G		S	S			S	A	G	G		S	A	A	G	G		S	S	S	A	A	G		S	G		
	21			S	A	A	G		G	G	G		S	S	G	G		A	A	A	A	A		S	S	S	G	G	G		S	S	
	22		G	G		S	S	G		A	A	A	A	G		S		S		A		S	S		G	G		A	A	A	G	G	
	23		G		G	G		A	A	A	A	A		S	A	G	G	G	G		S		S		S	S	S	S	G		A	A	
	24	S	S	A		S	A	G	G	G	G		S	A			A	A	A		G		G	G	G	G				S	S	S	
	25		A		S	A		A		S	S	G	G	G		S		S		S	G		A	A	A	A		S	S	G	G	G	
	26		S	S	A		G	G	G			S	A		G		S	S	S		A	A	G	G	G		A	A		A	G		
	27	A	A	G		A	G		S	S	S	S			S	A	A		G	G		S	A	A		G	G	G		S	S		
	28	G		S		S	S	S	A			G	G	G	G				S	A	A	G		S	A		A	A	A	G			

## 8. SONUÇ

Teknolojik gelişmeler sonucunda alışkanlıkların da değişmesiyle enerji talebi gün geçtikçe artmaktadır. Bir yandan fosil yakıt rezervleri azalırken, bir yandan da dünya nüfusunun hızla artışı, ülkeleri yeni ve sürdürülebilir politikalar geliştirmeye zorlamaktadır. Bu amaçla ülkeler çevreye duyarlı ve sürdürülebilir olması sebebiyle yenilenebilir enerjiye yatırımlarını artırmışlardır. Dünya genelinde yenilenebilir enerjinin önemi anlaşılrsa da henüz enerji talebinin büyük kısmı diğer kaynaklardan elde edilmektedir.

Türkiye’de de son yıllarda yenilenebilir enerji yatırımları hız kazanmıştır. Mevcut enerji ihtiyacımızın yaklaşık %30’u yenilenebilir kaynaklardan elde edilmektedir. Mevcut yenilenebilir kaynaklarımızın dörtte üçünü oluşturan kaynak ise hidroliktir. Hidrolik kaynaklar Türkiye’de geçmişten bugüne önemini yitirmemiş ve her zaman ülke ekonomisine katkı sağlamıştır. Hidrolik enerjisinden elektrik üretilmesi amacıyla kullanılan en büyük kaynak akarsu yataklarına kurulan barajlardır. Bu barajlara kurulan santraller aracılığıyla elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir.

Son teknolojiyi etkin kullanan santraller, otomasyon sistemleri ile uzaktan kumanda edilmekte, ülke ihtiyaçlarına göre devreye alınıp çıkartılabilmekte, üretim planlamaları yapılabilmekte ve istenilen periyotta raporlar alınabilmektedir. SCADA sistemleri olarak adlandırılan bu sistemler santralda gerekli personel sayısını azaltarak üretim kayıplarını azaltmaktadır. Tam tersine Dünyada ve Türkiye’de hala SCADA sistemini kullanmayan santraller işletilmeye devam edilmektedir. Bu santrallarda otomasyon sistemlerinin güncel teknolojinin gerisinde kalması sonucu personel sayısı da diğer santrallara nazaran oldukça fazladır. Bunun bir sonucu olarak personelden kaynaklı üretim kaybı maliyetleri artmaktadır (Özcan vd., 2017).

Bu tezde bir hidroelektrik santralda personelden kaynaklı üretim duruş maliyetlerini azaltmak amacıyla personellerin 1 aylık çizelgesi oluşturulmuştur. Bu amaçla personel yetkinliklerini dikkate alan 0-1 Öncelikli Hedef Programlama modeli önerilmiştir. Personellerin vardiyalara yetkinlikleri dikkate alınarak atanmasını sağlamak amacıyla

PROMETHEE yöntemi ile yetkinlikleri önceliklendirilmiştir. AHS yöntemi kullanılarak personel yetkinliğine etki eden kriterler ağırlıklandırılmıştır. AHS sonucunda elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak PROMETHEE yöntemi ile yetkinlik değerleri hesaplanmıştır. PROMETHEE sonuçları kullanılarak hedef programlama yöntemi kullanılarak farklı senaryolar oluşturulmuştur. Öncelikli Hedef Programlama yöntemi ve ağırlıklı hedef programlama yöntemi ile model çözülmüştür. Senaryolar arasında işletme için en uygun çözümü veren S1 senaryosu tercih edilmiştir.

Bu tez ile 95MW kurulu gücü ile Türkiye elektrik üretim sistemi içerisinde yer alan bir hidroelektrik santralde, geçmiş verileri incelendiğinde santralın en yoğun çalıştığı Temmuz ve Ağustos aylarında operatör hatası nedeniyle önemli arızaların yaşandığı tespit edilmiştir. 2017 yılında bu arızalardan kaynaklanan duruş süresi Temmuz ayında 52 saattir. Bu duruştan dolayı 95 MW kurulu güce sahip olan söz konusu hidroelektrik santralde 4,94 milyon kWh enerjinin üretilmemesi anlamına gelmektedir ve bu enerji kaybının 2017 toptan elektrik satış fiyatı olan 14,02 kr/kWh'lik (EPDK,2017) değer açısından karşılığı Temmuz ayı için 692.588 TL'dir.

Personel hatalarından kaynaklanan üretim duruş maliyetlerini azaltmak amacıyla bu tezde, işletmenin planlama sürecinde sağlaması gereken yasal zorunluluklar ve işletme esasları dikkate alınarak personellerin vardiyalara adil bir şekilde atanması sağlanmıştır. Adil bir dağılım elde edildikten sonra vardiyaların yetkinlik toplamları dengelenerek vardiyaların etkinlik düzeyi artırılmıştır. Yapılan uygulama ile personelden kaynaklı üretim duruşları Ağustos ayında 7 saate indirilmiştir. Bu da personelden kaynaklı üretim duruş maliyetinde %86,54'lük bir iyileştirme gerçekleştirildiğini göstermektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda personellerin ergonomik faktörleri dikkate alınarak çizelgeleri oluşturularak vardiyalara dengeli ataması sağlanabilir. Bakım personelleri ile vardiya personelleri dikkate alınarak çizelgelemenin etkinliği artırılabilir. Diğer çok kriterli karar verme yöntemlerini ile personel ağırlıkları elde edilerek çözüm gerçekleştirilebilir. Gün öncesi elektrik satış fiyatı dikkate alınarak senaryolar geliştirilerek çalıştırılacak personel sayısı belirlenebilir.



## KAYNAKLAR

- Abbink, E., Fischetti, M., Kroon, L., Timmer, G., Vromans, M., Reinventing crew scheduling at Netherlands Railways. *Interfaces*, 35 (5): 393-401, 2005.
- Abu-Taleb, M. F., Mareschal, B., Water resources planning in the Middle East: application of the PROMETHEE V multicriteria method. *European Journal of Operational Research*, 81 (3): 500-511, 1995.
- Addou, I., Soumis, F., Bechtold-Jacobs generalized model for shift scheduling with extraordinary overlap. *Annals of Operations Research*, 155 (1): 177-205, 2007.
- Afgan, N. H., Carvalho, M. G., Multi-criteria assessment of new and renewable energy power plants. *Energy*, 27 (8): 739-755, 2002.
- Aickelin, U., Burke, E., Li, J., Improved squeaky wheel optimisation for driver scheduling. *Parallel Problem Solving from Nature-PPSN IX*: 182-191, 2006.
- Aickelin, U., Burke, E. K., Li, J., An evolutionary squeaky wheel optimization approach to personnel scheduling. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 13 (2): 433-443, 2009.
- 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 (5-8): 1017-1027, 2013.
- Akgunduz, A., Zetu, D., Banerjee, P., Liang, D., Evaluation of sub-component alternatives in product design processes. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 18 (1): 69-81, 2002.

Aktürk, M. S., Varlı, E., Eren, T., Tam Gün Vardiyalı Ve Özel İzin İstekli Hemşire Çizelgeleme Probleminin Hedef Programlama İle Çözümü. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7 (2): 1-16, 2017.

Al-Rashdan, D., Al-Kloub, B., Dean, A., Al-Shemmeri, T., Environmental impact assessment and ranking the environmental projects in Jordan. *European Journal of Operational Research*, 118 (1): 30-45, 1999.

Al-Shemmeri, T., Al-Kloub, B., Pearman, A., Model choice in multicriteria decision aid. *European Journal of Operational Research*, 97 (3): 550-560, 1997.

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 (1): 119-142, 2007.

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 (1): 34-43, 2008.

Al-Zahrani, M. A., Ahmad, A. M., Stochastic goal programming model for optimal blending of desalinated water with groundwater. *Water resources management*, 18 (4): 339-352, 2004.

Albadvi, A., Formulating national information technology strategies: A preference ranking model using PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research*, 153 (2): 290-296, 2004.

Albayrak, B., 2018 Yılı Bütçe Sunumu. *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*, [http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FB%C3%BCt%C3%A7e%20Konu%C5%9Fmas%C4%B1%2F2018\\_Butce\\_Sunus\\_Kitabi.pdf](http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FB%C3%BCt%C3%A7e%20Konu%C5%9Fmas%C4%B1%2F2018_Butce_Sunus_Kitabi.pdf) (Erişim tarihi: 31.02.2018).

- Alfares, H., A simulation approach for stochastic employee days-off scheduling. *International Journal of Modelling and Simulation*, 27 (1): 9-15, 2007.
- Alp, N., Murray, S. L., A goal programming model to evaluate the production decision through the productivity of sub-systems. *Computers & Industrial Engineering*, 31 (1-2): 363-366, 1996.
- Altner, D. S., Rojas, A. C., Servi, L. D., A two-stage stochastic program for multi-shift, multi-analyst, workforce optimization with multiple on-call options. *Journal of Scheduling*: 1-15, 2017.
- Alver, V., Eren, T., Bedir, N., Çetin, S., Ücretli Öğretmenlerin AHS-Hedef Programlama İle Derslere Atama Probleminin Çözümü: Kırıkkale’de Bir Uygulama. 38. *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi, 5-7 Temmuz, İstanbul*: 19-20, 2017.
- Andreopoulou, Z., Koliouka, C., Galariotis, E., Zopounidis, C., Renewable energy sources: Using PROMETHEE II for ranking websites to support market opportunities. *Technological Forecasting and Social Change*, 2017, basımda.
- Aouni, B. d., Abdelaziz, F. B., Martel, J.-M., Decision-maker's preferences modeling in the stochastic goal programming. *European Journal of Operational Research*, 162 (3): 610-618, 2005.
- Araz, C., Ozfirat, P. M., Ozkarahan, I., An integrated multicriteria decision-making methodology for outsourcing management. *Computers & Operations Research*, 34 (12): 3738-3756, 2007.
- Arunraj, N., Maiti, J., Risk-based maintenance policy selection using AHP and goal programming. *Safety science*, 48 (2): 238-247, 2010.

- Avikal, S., Mishra, P., Jain, R., A Fuzzy AHP and PROMETHEE method-based heuristic for disassembly line balancing problems. *International Journal of Production Research*, 52 (5): 1306-1317, 2014.
- Aykin, T., A composite branch and cut algorithm for optimal shift scheduling with multiple breaks and break windows. *Journal of the Operational Research Society*, 49 (6): 603-615, 1998.
- Azmat, C. S., Hürlimann, T., Widmer, M., Mixed integer programming to schedule a single-shift workforce under annualized hours. *Annals of Operations Research*, 128 (1): 199-215, 2004.
- 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 (1): 148-175, 2004.
- Bağ, N., Özdemir, N. M., Eren, T., 0-1 Hedef programlama ve ANP yöntemi ile hemşire çizelgeleme problemi çözümü. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 4 (1): 2-6, 2012.
- Ballı, S., Karasulu, B., En Uygun Otomobil Seçimi Problemi için Bir Bulanık PROMETHEE Yöntemi Uygulaması. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22 (1): 139-147, 2007.
- Bansal, A., Kumar, P., 3PL selection using hybrid model of AHP-PROMETHEE. *International Journal of Services and Operations Management*, 14 (3): 373-397, 2013.
- Bard, J. F., Wan, L., The task assignment problem for unrestricted movement between workstation groups. *Journal of Scheduling*, 9 (4): 315-341, 2006.

- Barnett, D., Blake, B., McCarl, B. A., Goal programming via multidimensional scaling applied to Senegalese subsistence farms. *American Journal of Agricultural Economics*, 64 (4): 720-727, 1982.
- Bechtold, S. E., Jacobs, L. W., Implicit modeling of flexible break assignments in optimal shift scheduling. *Management Science*, 36 (11): 1339-1351, 1990.
- Bedir, N., Alağaç, H. M., Eren, T., AHP-PROMETHEE Entegrasyonu İle Demontaj Hattı Dengeleme. *21. Ulusal Ergonomi Kongresi, ISPARTA*: 44, 2015.
- Bedir, N., Alağaç, H. M., Eren, T., Çok Ölçütlü Karar Verme İle Montaj Hattı Dengeleme. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 9 (1): 11-18, 2017.
- Bedir, N., Eren, T., AHP-PROMETHEE yöntemleri entegrasyonu ile personel seçim problemi: perakende sektöründe bir uygulama. *Social Sciences Research Journal*, 4 (4): 46-58, 2015.
- Bedir, N., Eren, T., Dizdar, E. N., Ergonomik Personel Çizelgeleme ve Perakende Sektöründe Bir Uygulama. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5 (3): 657-674, 2017.
- Bedir, N., Özcan, E. C., Eren, T., Hidroelektrik Santrallarda Vardiya Personeli Çizelgeleme Problemi İçin Hedef Programlama Yaklaşımı. *37. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi, 5-7 Temmuz, İstanbul*: 20-21, 2017.
- Bedir, N., Özder, E. H., Eren, T., The Third Party Logistics Firm Selection Using AHP-PROMETHEE Methods. XIII. International Logistics and Supply Chain Congress, 802-813, 2015.
- Bedir, N., Özder, E. H., Eren, T., Course Selection with AHP & PROMETHEE Methods for Post Graduate Students: An Application in Kirikkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences. MATEC Web of Conferences, 68: 20004, 2016.

Behzadian, M., Kazemzadeh, R. B., Albadvi, A., Aghdasi, M., PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 200 (1): 198-215, 2010.

Bell, M. L., Hobbs, B. F., Elliott, E. M., Ellis, H., Robinson, Z., An evaluation of multi-criteria methods in integrated assessment of climate policy. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 10 (5): 229-256, 2001.

Berbel, J., Rodriguez-Ocana, A., An MCDM approach to production analysis: An application to irrigated farms in Southern Spain. *European Journal of Operational Research*, 107 (1): 108-118, 1998.

Bertolini, M., Bevilacqua, M., A combined goal programming—AHP approach to maintenance selection problem. *Reliability Engineering & System Safety*, 91 (7): 839-848, 2006.

Bhatnagar, R., Saddikutti, V., Rajgopalan, A., Contingent manpower planning in a high clock speed industry. *International Journal of Production Research*, 45 (9): 2051-2072, 2007.

Bhulai, S., Koole, G., Pot, A., Simple methods for shift scheduling in multiskill call centers. *Manufacturing & Service Operations Management*, 10 (3): 411-420, 2008.

Blancas, F. J., Caballero, R., González, M., Lozano-Oyola, M., Pérez, F., Goal programming synthetic indicators: An application for sustainable tourism in Andalusian coastal counties. *Ecological Economics*, 69 (11): 2158-2172, 2010.

- Boyer, V., Gendron, B., Rousseau, L.-M., A branch-and-price algorithm for the multi-activity multi-task shift scheduling problem. *Journal of Scheduling*, 17 (2): 185-197, 2014.
- Brans, J.-P., Mareschal, B., The PROMETHEE VI procedure: how to differentiate hard from soft multicriteria problems. *Journal of Decision Systems*, 4 (3): 213-223, 1995.
- Brans, J.-P., Vincke, P., Mareschal, B., How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research*, 24 (2): 228-238, 1986.
- Brans, J., L'ingénierie de la décision, l'élaboration d'instrument d'aide à la décision. Colloque d'aide à la décision", Université Laval, Québec, 1982.
- Brans, J. P., Mareschal, B., PROMETHEE V: MCDM problems with segmentation constraints. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 30 (2): 85-96, 1992.
- Bravo, M., Gonzalez, I., Applying stochastic goal programming: a case study on water use planning. *European Journal of Operational Research*, 196 (3): 1123-1129, 2009.
- Briggs, T., Kunsch, P., Mareschal, B., Nuclear waste management: an application of the multicriteria PROMETHEE methods. *European Journal of Operational Research*, 44 (1): 1-10, 1990.
- Brucker, P., Qu, R., Burke, E., Personnel scheduling: Models and complexity. *European Journal of Operational Research*, 210 (3): 467-473, 2011.
- Brunner, J. O., Bard, J. F., Kolisch, R., Midterm scheduling of physicians with flexible shifts using branch and price. *Iie Transactions*, 43 (2): 84-109, 2011.

- Burns, R. N., Carter, M., Work force size and single shift schedules with variable demands. *Management Science*, 31 (5): 599-607, 1985.
- Canela, M. A., Collazo, E. P., Portfolio selection with skewness in emerging market industries. *Emerging Markets Review*, 8 (3): 230-250, 2007.
- Carrasco, R. C., Long-term staff scheduling with regular temporal distribution. *Computer Methods And Programs in Biomedicine*, 100 (2): 191-199, 2010.
- Cavalcante, C. A. V., De Almeida, A., A multi-criteria decision-aiding model using PROMETHEE III for preventive maintenance planning under uncertain conditions. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 13 (4): 385-397, 2007.
- Cavalcante, V., Alexandre, C., Pires Ferreira, R. J., de Almeida, A. T., A preventive maintenance decision model based on multicriteria method PROMETHEE II integrated with Bayesian approach. *IMA Journal of Management Mathematics*, 21 (4): 333-348, 2010.
- Chabchoub, H., Martel, J. M., A mathematical programming procedure for the choice problematic. *European Journal of Operational Research*, 153 (2): 297-306, 2004.
- Chareonsuk, C., Nagarur, N., Tabucanon, M. T., A multicriteria approach to the selection of preventive maintenance intervals. *International Journal of Production Economics*, 49 (1): 55-64, 1997.
- Charnes, A., Cooper, W. Management models and industrial applications of goal programming. In: John Wiley and Sons, Nueva York, 1961.
- Chen, L.-H., Weng, M.-C., An evaluation approach to engineering design in QFD processes using fuzzy goal programming models. *European Journal of Operational Research*, 172 (1): 230-248, 2006.



- Ciancio, C., Laganà, D., Musmanno, R., Santoro, F., An integrated algorithm for shift scheduling problems for local public transport companies. *Omega*, 75: 139-153, 2018.
- Colapinto, C., Jayaraman, R., Marsiglio, S., Multi-criteria decision analysis with goal programming in engineering, management and social sciences: a state-of-the art review. *Annals of Operations Research*, 251 (1-2): 7-40, 2017.
- 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 (2): 445-458, 2012.
- Côté, M.-C., Gendron, B., Rousseau, L.-M., Grammar-based integer programming models for multiactivity shift scheduling. *Management Science*, 57 (1): 151-163, 2011.
- Cuevas, R., Ferrer, J.-C., Klapp, M., Muñoz, J.-C., A mixed integer programming approach to multi-skilled workforce scheduling. *Journal of Scheduling*, 19 (1): 91-106, 2016.
- Dağdeviren, M., Eraslan, E., PROMETHEE sıralama yöntemi ile tedarikçi seçimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23 (1): 69-75, 2008.
- Dağdeviren, M., Eren, T., Tedarikçi firma seçiminde analitik hiyerarşi prosesi ve 0-1 hedef programlama yöntemlerinin kullanılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16 (2): 41-52, 2001.
- Dahmen, S., Rekik, M., Soumis, F., An implicit model for multi-activity shift scheduling problems. *Journal of Scheduling*: 1-20, 2017.

- Dantzig, G. B., Letter to the Editor- A comment on Edie's "Traffic delays at toll booths". *Journal of the Operations Research Society of America*, 2(3): 339-341, 1954.
- De Bruecker, P., Beliën, J., De Boeck, L., De Jaeger, S., Demeulemeester, E., A model enhancement approach for optimizing the integrated shift scheduling and vehicle routing problem in waste collection. *European Journal of Operational Research*, 266 (1): 278-290, 2018.
- Defraeye, M., Van Nieuwenhuyse, I., A branch-and-bound algorithm for shift scheduling with stochastic nonstationary demand. *Computers & Operations Research*, 65: 149-162, 2016.
- DESA, U., United Nations Department of Economic and Social Affairs/Population Division (2017): World Population Prospects: [http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/trends/WPP2010/WPP2010\\_Volume-I\\_Comprehensive-Tables.pdf](http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/trends/WPP2010/WPP2010_Volume-I_Comprehensive-Tables.pdf) The 2010 Revision. 2017.
- Dewi, D. S., Septiana, T., Workforce scheduling considering physical and mental workload: A case study of domestic freight forwarding. *Procedia Manufacturing*, 4: 445-453, 2015.
- Di Gaspero, L., Gärtner, J., Kortsarz, G., Musliu, N., Schaerf, A., Slany, W., The minimum shift design problem. *Annals of Operations Research*, 155 (1): 79-105, 2007.
- Di Martinelly, C., Meskens, N., A bi-objective integrated approach to building surgical teams and nurse schedule rosters to maximise surgical team affinities and minimise nurses' idle time. *International Journal of Production Economics*, 191: 323-334, 2017.

Diakoulaki, D., Karangelis, F., Multi-criteria decision analysis and cost–benefit analysis of alternative scenarios for the power generation sector In Greece. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 11 (4): 716-727, 2007.

Dias, L. C., Costa, J. P., Clímaco, J. N., A parallel implementation of the PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research*, 104 (3): 521-531, 1998.

EL-Rifai, O., Garaix, T., Augusto, V., Xie, X., A stochastic optimization model for shift scheduling in emergency departments. *Health Care Management Science*, 18 (3): 289-302, 2015.

Enerji Atlası. <http://www.enerjiatlası.com/elektrik-uretimi/>; (Erişim tarihi: 16.02.2018),

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), “2017 Toptan Elektrik Satış Fiyatı”, <http://www.epdk.org.tr/TR/Mevzuat/H=0;MT=6L;G=216;AG=1;S=1;SNO=0;SKY=0;> (Erişim tarihi:28.02.2018).

Emmons, H., Burns, R.N., Off-day scheduling with hierarchical worker categories. *Operations Research*, 39: 484-495, 1991.

Erdoğan, G., Erkut, E., Ingolfsson, A., Laporte, G., Scheduling ambulance crews for maximum coverage. *Journal of the Operational Research Society*, 61 (4): 543-550, 2010.

EÜAŞ. 2016 YILI ELEKTRİK ÜRETİM SEKTÖR RAPORU. *Elektrik Üretim Anonim Şirketi Araştırma Planlama ve Koordinasyon Dairesi Başkanlığı İstatistik ve Araştırma Müdürlüğü*, 2017.

Excoffier, M., Gicquel, C., Jouini, O., A joint chance-constrained programming approach for call center workforce scheduling under uncertain call arrival forecasts. *Computers & Industrial Engineering*, 96: 16-30, 2016.

- Figueira, J., De Smet, Y., Brans, J.-P., MCDA methods for sorting and clustering problems: Promethee TRI and Promethee CLUSTER. *Université Libre de Bruxelles. Service de Mathématiques de la Gestion, Working Paper, 2*, 2004.
- Fine, C. H., Golany, B., Naseraldin, H., Modeling tradeoffs in three-dimensional concurrent engineering: a goal programming approach. *Journal of Operations Management*, 23 (3-4): 389-403, 2005.
- Fontana, M., Morais, D., Using Promethee V to select alternatives so as to rehabilitate water supply network with detected leaks. *Water resources management*, 27 (11): 4021-4037, 2013.
- Fowler, J. W., Wirojanagud, P., Gel, E. S., Heuristics for workforce planning with worker differences. *European Journal of Operational Research*, 190 (3): 724-740, 2008.
- Froger, A., Gendreau, M., Mendoza, J. E., Pinson, E., Rousseau, L.-M., A branch-and-check approach for a wind turbine maintenance scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 88: 117-136, 2017.
- Gagnon, R. J., Sheu, C., A strategic MIGP model for acquiring advanced technologies. *Computers & Industrial Engineering*, 32 (1): 145-168, 1997.
- Georgopoulou, E., Sarafidis, Y., Diakoulaki, D., Design and implementation of a group DSS for sustaining renewable energies exploitation. *European Journal of Operational Research*, 109 (2): 483-500, 1998.
- Ghiani, G., Guerriero, E., Manni, A., Manni, E., Potenza, A., Simultaneous personnel and vehicle shift scheduling in the waste management sector. *Waste management*, 33 (7): 1589-1594, 2013.

- Goletsis, Y., Psarras, J., Samouilidis, J.-E., Project ranking in the Armenian energy sector using a multicriteria method for groups. *Annals of Operations Research*, 120 (1-4): 135-157, 2003.
- Goumas, M., Lygerou, V., An extension of the PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: Ranking of alternative energy exploitation projects. *European Journal of Operational Research*, 123 (3): 606-613, 2000.
- Goumas, M., Lygerou, V., Papayannakis, L., Computational methods for planning and evaluating geothermal energy projects. *Energy Policy*, 27 (3): 147-154, 1999.
- Gül, E., Eren, T., Lojistik Dağıtım Ağ Problemlerinde Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi ve Hedef Programlama ile Depo Seçimi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 2 (1): 1-13, 2017.
- Gür, Ş., Bedir, N., Eren, T., Analitik ağ süreci ve PROMETHEE yöntemleri ile gıda sektöründeki orta ölçekli işletmeler için pazarlama stratejilerinin seçimi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6 (1): 79-92, 2017.
- Gür, Ş., Hamurcu, M., Eren, T., Using analytic network process and goal programming methods for project selection in the public institution. *Les Cahiers du MECAS*, 13: 36-51, 2016.
- Hadwan, M., Ayob, M. B., An exploration study of nurse rostering practice at Hospital Universiti Kebangsaan Malaysia. *Data Mining and Optimization*, 2009. DMO'09. 2nd Conference on, 100-107, 2009.
- Haralambopoulos, D., Polatidis, H., Renewable energy projects: structuring a multi-criteria group decision-making framework. *Renewable energy*, 28 (6): 961-973, 2003.

- Henderson, W. B., Berry, W. L., Heuristic methods for telephone operator shift scheduling: An experimental analysis. *Management Science*, 22 (12): 1372-1380, 1976.
- Hertz, A., Lahrichi, N., Widmer, M., A flexible MILP model for multiple-shift workforce planning under annualized hours. *European Journal of Operational Research*, 200 (3): 860-873, 2010.
- Hojati, M., Patil, A. S., An integer linear programming-based heuristic for scheduling heterogeneous, part-time service employees. *European Journal of Operational Research*, 209 (1): 37-50, 2011.
- Huang, J., Poh, K., Ang, B., Decision analysis in energy and environmental modeling. *Energy*, 20 (9): 843-855, 1995.
- Huang, Z., Yu, H., Chu, X., Peng, Z., A goal programming based model system for community energy plan. *Energy*, 134: 893-901, 2017a.
- Hung, R., Scheduling a workforce under annualized hours. *International Journal of Production Research*, 37 (11): 2419-2427, 1999.
- Hyde, K., Maier, H. R., Colby, C., Incorporating uncertainty in the PROMETHEE MCDA method. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 12 (4-5): 245-259, 2003.
- Ingels, J., Maenhout, B., Optimised buffer allocation to construct stable personnel shift rosters. *Omega*, In press, 2017.
- Jahandideh, S., Job Scheduling considering both mental fatigue and boredom. University of Ottawa (Canada), 2012.

- Jennings, M. G., Shah, N., Workforce planning and technology installation optimisation for utilities. *Computers & Industrial Engineering*, 67: 72-81, 2014.
- Jones, D., Collins, A., Hand, C., A classification model based on goal programming with non-standard preference functions with application to the prediction of cinema-going behaviour. *European Journal of Operational Research*, 177 (1): 515-524, 2007.
- Jones, D., Tamiz, M., Practical goal programming. Springer, 141, 2010.
- Kabak, Ö., Ülengin, F., Aktaş, E., Önsel, Ş., Topcu, Y. I., Efficient shift scheduling in the retail sector through two-stage optimization. *European Journal of Operational Research*, 184 (1): 76-90, 2008.
- Kabir, G., Lizu, A., Material selection for femoral component of total knee replacement integrating fuzzy AHP with PROMETHEE. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 30 (6): 3481-3493, 2016.
- Kabir, G., Sumi, R. S., Power substation location selection using fuzzy analytic hierarchy process and PROMETHEE: a case study from Bangladesh. *Energy*, 72: 717-730, 2014.
- Karpak, B., Kumcu, E., Kasuganti, R., An application of visual interactive goal programming: a case in vendor selection decisions. *Journal of Multicriteria Decision Analysis*, 8 (2): 93, 1999.
- Karsak, E. E., Sozer, S., Alptekin, S. E., Product planning in quality function deployment using a combined analytic network process and goal programming approach. *Computers & Industrial Engineering*, 44 (1): 171-190, 2003.

- Kazan, H., Özçelik, S., Hobikoğlu, E. H., Election of deputy candidates for nomination with AHP-PROMETHEE methods. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195: 603-613, 2015.
- Kızıldaş, Ş., Mermi, Ö. S., Alağaç, H. M., Bedir, N., Tamer, E., Ana Haber Bültenlerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Değerlendirilmesi. *Global Media Journal: Turkish Edition*, 8 (15): 346-363, 2017.
- Knust, S., Schumacher, E., Shift scheduling for tank trucks. *Omega*, 39 (5): 513-521, 2011.
- Kongar, E., Gupta, S. M., Goal programming approach to the remanufacturing supply-chain model. *International Society for Optics and Photonics*, 4193: 167-179, 2008.
- Koubâa, M., Dhoub, S., Dhoub, D., El Mhamedi, A., Truck Driver Scheduling Problem: Literature Review. *IFAC-PapersOnLine*, 49 (12): 1950-1955, 2016.
- Kumar, M., Vrat, P., Shankar, R., A fuzzy goal programming approach for vendor selection problem in a supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 46 (1): 69-85, 2004.
- Laporte, G., Pesant, G., A general multi-shift scheduling system. *Journal of the Operational Research Society*, 55 (11): 1208-1217, 2004.
- Lau, H., Woo, S., Choi, C., Manpower allocation and shift scheduling using human performance simulation. *IFAC Proceedings Volumes*, 39 (3): 181-186, 2006.
- Lee, S. M., Sevebeck, W. R., An aggregative model for municipal economic planning. *Policy Sciences*, 2 (2): 99-115, 1971.



- Leyva-Lopez, J. C., Fernandez-Gonzalez, E., A new method for group decision support based on ELECTRE III methodology. *European Journal of Operational Research*, 148 (1): 14-27, 2003.
- Lilly, M., Emovon, I., Ogaji, S., Probert, S., Four-day service-staff work-week in order to complete maintenance operations more effectively in a Nigerian power-generating station. *Applied energy*, 84 (10): 1044-1055, 2007.
- Macharis, C., Brans, J. P., Mareschal, B., The GDSS promethee procedure. *Journal of Decision Systems*, 7 (4): 283-307, 1998.
- Madlener, R., Kowalski, K., Stagl, S., New ways for the integrated appraisal of national energy scenarios: the case of renewable energy use in Austria. *Energy Policy*, 35 (12): 6060-6074, 2007.
- Madlener, R., Stagl, S., Sustainability-guided promotion of renewable electricity generation. *Ecological Economics*, 53 (2): 147-167, 2005.
- Mahmoud, M. R., Garcia, L. A., Comparison of different multicriteria evaluation methods for the Red Bluff diversion dam. *Environmental Modelling & Software*, 15 (5): 471-478, 2000.
- Mareschal, B., Brans, J.-P., Geometrical representations for MCDA. *European Journal of Operational Research*, 34 (1): 69-77, 1988.
- Mattia, S., Rossi, F., Servilio, M., Smriglio, S., Staffing and scheduling flexible call centers by two-stage robust optimization. *Omega*, 72: 25-37, 2017.
- Mavrotas, G., Diakoulaki, D., Caloghirou, Y., Project prioritization under policy restrictions. A combination of MCDA with 0–1 programming. *European Journal of Operational Research*, 171 (1): 296-308, 2006.

- Mishra, S., Prakash, Tiwari, M., Lashkari, R., A fuzzy goal-programming model of machine-tool selection and operation allocation problem in FMS: a quick converging simulated annealing-based approach. *International Journal of Production Research*, 44 (1): 43-76, 2006.
- Mladineo, N., Margeta, J., Brans, J., Mareschal, B., Multicriteria ranking of alternative locations for small scale hydro plants. *European Journal of Operational Research*, 31 (2): 215-222, 1987.
- Mohan, S., Scheduling part-time personnel with availability restrictions and preferences to maximize employee satisfaction. *Mathematical and Computer Modelling*, 48 (11-12): 1806-1813, 2008.
- Morton, D. P., Popova, E., A Bayesian stochastic programming approach to an employee scheduling problem. *IEEE Transactions*, 36 (2): 155-167, 2004.
- Mourmouris, J., Potolias, C., A multi-criteria methodology for energy planning and developing renewable energy sources at a regional level: A case study Thassos, Greece. *Energy Policy*, 52: 522-530, 2013.
- Musliu, N., Schaerf, A., Slany, W., Local search for shift design. *European Journal of Operational Research*, 153 (1): 51-64, 2004.
- Narasimhan, R., An algorithm for single shift scheduling of hierarchical workforce. *European Journal of Operational Research*, 96 (1): 113-121, 1997.
- Noack, D., Rose, O., A simulation based optimization algorithm for slack reduction and workforce scheduling. Simulation Conference, 2008. WSC 2008. Winter, 1989-1994, 2008.
- Ömürbek, N., Karaatlı, M., Eren, H., Şanlı, B., AHP Temelli Promethee Sıralama Yöntemi İle Hafif Ticari Araç Seçimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19 (4): 47-64, 2014.

Özcan, E. C., Varlı, E., Eren, T., Hidroelektrik Santrallerde Vardiya Çizelgeleme Problemleri İçin Hedef Programlama Yaklaşımı. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10 (4): 363-370, 2017.

Özdağoğlu, A., Çok ölçütlü karar verme modellerinde normalizasyon tekniklerinin sonuçlara etkisi: COPRAS örneği. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 8 (2): 229-252, 2013.

Özder, E. H., Bedir, N., Eren, T., Academic Staff Selection With ANP & PROMETHEE Method: A Case Study In Turkey. International Academic Conference on Engineering, Technology and Innovations (IACETI), Dubai, UAE, March 5th, 1-5, 2016.

Özder, E. H., Bedir, N., Eren, T., ANP–PROMETHEE Yöntemleriyle Gıda Sektörü İçin Üçüncü Parti Lojistik Firma Seçimi. *5. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi, Mersin*, 2016b.

Özder, E. H., Eren, T., Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi ve Hedef Programlama Teknikleri İle Tedarikçi Seçimi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4 (3): 196-207, 2016.

Özder, E. H., VARLI, E., Eren, T., Hedef Programlama Yaklaşımı İle Temizlik Personeli Çizelgeleme Problemi İçin Bir Model Önerisi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (2): 114-127, 2017.

Özelkan, E. C., Duckstein, L., Analysing water resources alternatives and handling criteria by multi criterion decision techniques. *Journal of environmental management*, 48 (1): 69-96, 1996.

Pendaraki, K., Zopounidis, C., Doumpos, M., On the construction of mutual fund portfolios: A multicriteria methodology and an application to the Greek market

- of equity mutual funds. *European Journal of Operational Research*, 163 (2): 462-481, 2005.
- Perçin, S., An application of the integrated AHP-PGP model in supplier selection. *Measuring Business Excellence*, 10 (4): 34-49, 2006.
- Petroleum, B., BP Energy Outlook 2017 edition. *Outlook to*, 2017.
- Pinedo, M., Planning and scheduling in manufacturing and services. Springer, 2005.
- Pohekar, S., Ramachandran, M., Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8 (4): 365-381, 2004a.
- Pohekar, S., Ramachandran, M., Multi-criteria evaluation of cooking energy alternatives for promoting parabolic solar cooker in India. *Renewable Energy*, 29 (9): 1449-1460, 2004b.
- Polat, G., Subcontractor selection using the integration of the AHP and PROMETHEE methods. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22 (8): 1042-1054, 2016.
- Polatidis, H., Haralambopoulos, D. A., Renewable energy systems: A societal and technological platform. *Renewable Energy*, 32 (2): 329-341, 2007.
- Rahimian, E., Akartunalı, K., Levine, J., A hybrid integer and constraint programming approach to solve nurse rostering problems. *Computers & Operations Research*, 82: 83-94, 2017.
- Raju, K. S., Pillai, C., Multicriterion decision making in performance evaluation of an irrigation system. *European Journal of Operational Research*, 112 (3): 479-488, 1999.

- Reddy, P., Nishina, K., Babu, A. S., Unification of robust design and goal programming for multiresponse optimization—a case study. *Quality and Reliability Engineering International*, 13 (6): 371-383, 1997.
- 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 (1): 466-472, 2012.
- Saaty, T. L., The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation. *New York: McGraw*, 281, 1980.
- Sabar, M., Montreuil, B., Frayret, J.-M., Competency and preference based personnel scheduling in large assembly lines. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 21 (4): 468-479, 2008.
- Sabar, M., Montreuil, B., Frayret, J.-M., A multi-agent-based approach for personnel scheduling in assembly centers. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 22 (7): 1080-1088, 2009.
- Sadeghi, M., Hajiagha, S. H. R., Hashemi, S. S., A fuzzy grey goal programming approach for aggregate production planning. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 64 (9-12): 1715-1727, 2013.
- Sadjadi, S., Soltani, R., Izadkhah, M., Saberian, F., Darayi, M., A new nonlinear stochastic staff scheduling model. *Scientia Iranica*, 18 (3): 699-710, 2011.
- Sagnak, M., Kazancoglu, Y., Shift scheduling with fuzzy logic: an application with an integer programming model. *Procedia Economics and Finance*, 26: 827-832, 2015.
- Schniederjans, M. J., Karuppan, C. M., Designing a quality control system in a service organization: A goal programming case study. *European Journal of Operational Research*, 81 (2): 249-258, 1995.

- Schulze, M., Zimmermann, J., Staff and machine shift scheduling in a German potash mine. *Journal of Scheduling*, 20: 635-656, 2017.
- Sennaroglu, B., Celebi, G. V., A military airport location selection by AHP integrated PROMETHEE and VIKOR methods. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 59: 160-173, 2018.
- Shahnazari-Shahrezaei, P., Tavakkoli-Moghaddam, R., Kazemipoor, H., Solving a new fuzzy multi-objective model for a multi-skilled manpower scheduling problem by particle swarm optimization and elite tabu search. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 64: 1517-1540, 2013.
- Shanker, R., Vrat, P., Some design issues in cellular manufacturing using the fuzzy programming approach. *International Journal of Production Research*, 37 (11): 2545-2563, 1999.
- Smalley, H. K., Keskinocak, P., Automated medical resident rotation and shift scheduling to ensure quality resident education and patient care. *Health care Management Science*, 19 (1): 66-88, 2016.
- Soba, M., Promethee yöntemi kullanarak en uygun panelvan otomobil seçimi ve bir uygulama. *Journal of Yaşar University*, 7 (28): 4708-4721, 2012.
- Stolletz, R., Brunner, J. O., Fair optimization of fortnightly physician schedules with flexible shifts. *European Journal of Operational Research*, 219 (3): 622-629, 2012.
- Sungur, B., Özgüven, C., Kariper, Y., Shift scheduling with break windows, ideal break periods, and ideal waiting times. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 29 (2): 203-222, 2017.

- Şahan, A., Bedir, N., Eren, T., Analitik Hiyerarşi Prosesi ve PROMETHEE Yöntemleri ile Seçmeli Ders Seçimi: Kırıkkale Üniversitesi İşletme Bölümünde Bir Uygulama. *1. Uluslararası Ekonomi, Finans ve Ekonometri Öğrenci Sempozyumu Tam Metin Bildiri Kitabı, Sakarya*: 380-393, 2017.
- Şahiner, M., Aktürk, M. S., Ünlüsoy, S., Bedir, N., Varlı, E., Hemşire Çizelgeleme İçin Model Önerisi: Örnek Uygulama. *Trakya Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6 (2): 62-77, 2017.
- Tamiz, M., Azmi, R. A., Jones, D. F., On selecting portfolio of international mutual funds using goal programming with extended factors. *European Journal of Operational Research*, 226 (3): 560-576, 2013.
- Taş, M., Özlemiş, Ş. N., Hamurcu, M., Eren, T., Analitik hiyerarşi prosesi ve hedef programlama karma modeli kullanılarak monoray projelerinin seçimi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 2 (2): 24-34, 2017.
- Tayi, G. K., Leonard, P. A., Bank balance-sheet management: An alternative multi-objective model. *Journal of the Operational Research Society*, 39 (4): 401-410, 1988.
- Techawiboonwong, A., Yenradee, P., Das, S. K., A master scheduling model with skilled and unskilled temporary workers. *International Journal of Production Economics*, 103 (2): 798-809, 2006.
- Telhada, J., Alternative MIP formulations for an integrated shift scheduling and task assignment problem. *Discrete Applied Mathematics*, 164: 328-343, 2014.
- Tello, F., Mateos, A., Jiménez-Martín, A., & Suárez, A., The Air Traffic Controller Work-Shift Scheduling Problem in Spain from a Multiobjective Perspective: A Metaheuristic and Regular Expression-Based Approach. *Mathematical Problems in Engineering*, 1-15, 2018.

- Theodorou, S., Florides, G., Tassou, S., The use of multiple criteria decision making methodologies for the promotion of RES through funding schemes in Cyprus, A review. *Energy Policy*, 38 (12): 7783-7792, 2010.
- Topaloglu, S., A shift scheduling model for employees with different seniority levels and an application in healthcare. *European Journal of Operational Research*, 198 (3): 943-957, 2009.
- Topcu, Y., Ulengin, F., Energy for the future: An integrated decision aid for the case of Turkey. *Energy*, 29 (1): 137-154, 2004.
- Tosun, M., Geyik, O., Bedir, N., Eren, T., Personel Çizelgeleme Probleminin Hedef Programlama İle Çözümü: Akaryakıt İstasyonunda Bir Uygulama. *1. Uluslararası Ekonomi, Finans ve Ekonometri Öğrenci Sempozyumu*, 17-18 Mayıs, Sakarya: 577-587, 2017.
- Tsai, K.-M., You, S.-Y., Lin, Y.-H., Tsai, C.-H., A fuzzy goal programming approach with priority for channel allocation problem in steel industry. *Expert Systems with Applications*, 34 (3): 1870-1876, 2008.
- Tsoutsos, T., Drandaki, M., Frantzeskaki, N., Iosifidis, E., Kiosses, I., Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete. *Energy Policy*, 37 (5): 1587-1600, 2009.
- Turgay, S., Taşkın, H., Fuzzy goal programming for health-care organization. *Computers & Industrial Engineering*, 86: 14-21, 2015.
- Uçakcıoğlu, B., Eren, T., Hava Savunma Sanayinde Yatırım Projelerinin Çok Ölçütlü Karar Verme ve Hedef Programlama ile Seçimi. *Journal of Aviation*, 1 (2): 39-63, 2017.



- Uslu, B., Bedir, N., Gür, Ş., Eren, T., 0-1 Hedef Programlama Yöntemi ile Hemşire Çizelgeleme Probleminin Çözümü. *I. Ulusal Sağlık Yöneticileri Kongresi, 14-15 Aralık, İstanbul, 2017.*
- Vaillancourt, K., Waaub, J.-P., Environmental site evaluation of waste management facilities embedded into EUGENE model: A multicriteria approach. *European Journal of Operational Research*, 139 (2): 436-448, 2002.
- van de Vrugt, N., Luen-English, S., Bastiaansen, W., Kleinluchtenbeld, S., Lardinois, W., Pots, M., . . . Boucherie, R. J., Integrated scheduling of tasks and gynecologists to improve patient appointment scheduling; a case study. *Operations research for health care*, 16: 10-19, 2018.
- van den Bergh, J., Beliën, J., De Bruecker, P., Demeulemeester, E., De Boeck, L., Personnel scheduling: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 226 (3): 367-385, 2013.
- van Hecke, T., Shift Scheduling With Optimized Service Levels And Employee Satisfaction. *Mathematical Scientist*, 36 (2): 89-94, 2011.
- 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*, 239 (1): 207-223, 2016.
- Varlı, E., Alağaç, H., Eren, T., Özder, E., Goal Programming Solution of the Examiner Assignment Problem. *Bilge International Journal Of Science And Technology Research*: 105-118, 2017.
- Vasić, G., Application of multi criteria analysis in the design of energy policy: Space and water heating in households–City Novi Sad, Serbia. *Energy Policy*, 113: 410-419, 2018.

- 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.
- Wang, J., Zhao, R., Tang, W., Fuzzy programming models for vendor selection problem in a supply chain. *Tsinghua Science & Technology*, 13 (1): 106-111, 2008.
- Wang, S., Zhu, S., On fuzzy portfolio selection problems. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 1 (4): 361-377, 2002.
- Wolters, W., Mareschal, B., Novel types of sensitivity analysis for additive MCDM methods. *European Journal of Operational Research*, 81 (2): 281-290, 1995.
- Wongwien, T., Nanthavanij, S., Ergonomic Workforce Scheduling for Noisy Workstations with Single or Multiple Workers per Workstation. *International Journal of the Computer*, 20 (3): 34-39, 2012a.
- Wongwien, T., Nanthavanij, S., Ergonomic workforce scheduling under complex worker limitation and task requirements: Mathematical model and approximation procedure. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 34 (5): 541-549, 2012b.
- Yaoyuenyong, K., Nanthavanij, S., Energy-based workforce scheduling problem: mathematical model and solution algorithms. *ScienceAsia*, 31: 383-393, 2005.
- Yılmaz, B., Dağdeviren, M., Ekipman Seçimi Probleminde Promethee ve Bulanık Promethee Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25 (4): 811-826, 2010.
- Yu, X., Xu, Z., Ma, Y., Prioritized multi-criteria decision making based on the idea of PROMETHEE. *Procedia Computer Science*, 17: 449-456, 2013.

- Zarandi, M. H. F., Sisakht, A. H., Davari, S., Design of a closed-loop supply chain (CLSC) model using an interactive fuzzy goal programming. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 56 (5-8): 809-821, 2011.
- Zhang, J., Weighing and realizing the environmental, economic and social goals of tourism development using an analytic network process-goal programming approach. *Journal of Cleaner Production*, 127: 262-273, 2016.
- Zhou, P., Ang, B., Poh, K., Decision analysis in energy and environmental modeling: An update. *Energy*, 31 (14): 2604-2622, 2006.
- Zhou, Z., Cheng, S., Hua, B., Supply chain optimization of continuous process industries with sustainability considerations. *Computers & Chemical Engineering*, 24 (2-7): 1151-1158, 2000.

## EKLER

### EK 1. S2 İLE ELDE EDİLEN $vd_{ik}$ DEĞERLERİ

Personel	Sabah	Öğle	Akşam
1	8	7	7
2	8	7	7
3	7	7	7
4	7	7	7
5	7	7	8
6	7	7	8
7	7	7	8
8	7	7	8
9	7	7	8
10	8	7	8
11	8	7	8
12	8	7	8
13	8	8	8
14	8	8	8
15	8	8	8
16	8	8	8
17	8	8	8
18	8	9	8
19	8	9	8
20	8	9	8
21	8	9	8
22	8	8	8
23	8	8	8
24	8	8	7
25	8	8	7
26	8	9	7
27	8	8	8
28	8	8	8

**EK 2. S2 İLE ELDE EDİLEN  $b_{jk}$  DEĞERLERİ**

Gün	Sabah	Öğle	Akşam
1	2,38	2,26	2,39
2	2,35	2,45	2,46
3	2,18	2,51	2,29
4	2,36	2,48	2,35
5	2,32	2,40	2,29
6	2,50	2,40	2,15
7	2,35	2,39	2,41
8	1,92	2,29	2,34
9	2,14	2,32	2,30
10	2,00	2,50	2,42
11	2,00	2,34	2,14
12	2,32	2,49	2,18
13	2,02	2,70	2,42
14	2,13	2,59	2,33
15	2,20	2,13	2,29
16	2,34	2,10	2,33
17	2,14	2,46	2,26
18	2,27	2,30	2,33
19	2,42	1,69	2,34
20	2,29	1,72	2,41
21	2,96	1,76	2,25
22	2,93	1,92	2,23
23	3,02	2,04	2,65
24	2,59	2,10	2,57
25	2,48	2,67	2,29
26	2,27	2,33	2,38
27	2,23	2,31	2,22
28	2,38	2,01	2,21
29	2,35	2,16	2,23
30	2,34	2,08	2,07
31	2,21	2,53	1,60

### EK 3. S2 İLE ELDE EDİLEN ÇİZELGE

	Gün																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	A		S	S	S	S	A	A		S	S	A	G	G			S	A		S	G	G	G	G			A	G		A	
2	S	A	A	G		S	S	G	G		G	G		S		S	A	A		A	G		A	G		S	S	S	A		
3	G	G		A	G		G			A	A		A		G		S	G	G		S	S	S	A	A		A		S	S	S
4		S	G		A	G			S	G		A	A	A	A	G	G		S	G		S	S	S	S	A	A			G	
5		A	G	G		A		S	A	G		S	S	S	S	A		S		S	A	A			G	G	G	G		A	G
6	G			A	A	A	A	G	G		S	G		S	S	A	G	G		S	A	G	G				S	A		S	S
7		A	A	G	G	G		S	G		G	G	G	G		S	A		S	S	S	S	A		S	A	A		A		
8	S	S	G			S		G	G		A	A		S	A		S	S	A	A	G		S	G	G		A	A	G		G
9	G	G	G	G			A	A		A	G		A	G	G			S	S	A	A	G		S		A		S	S	S	S
10	S	A	A		S		S	S	S	G		S	G	G	G	G		A			S		S	A	A	G	G	G		A	A
11	G			S	G	G	G			S	S	A	A	A	A		S	G	G	G		S	A	A		S	S	G		S	A
12	A		S	A		S	S	A	A	G		S	S		S	S	S		A	G		A	G		A	G	G	G	G	G	
13	A	G		A	A		S	S	A	A	A		S	A	G	G	G		A	G	G	G		S	S	S		S	S	G	
14		S	S	S	S	A	G		S	S	A		S		S	A	A	A	G			A	G	G	G	G	G		A	A	G
15	G	G		S	S	A		S	A	G		S		A	A		S	A	G	G		A	A	A	G	G		S	S	S	G
16	G	G	G		A	G		A	A		A	G	G		A	G		S	S	S	G		S	S	S	S	S	A		A	A
17	A	G		S	G		S	S	S	S	G		S	A	A	A	A	G		S	G			S	A	A	G	G		A	A
18	S	A	A	A		A	A	G	G		S	A		S	S	A	A	G	G		S	S	G	G		A	G	G		S	S
19	A	A	G		S	S	A		S	S	S	G	G		G		S	S	A	A	A	G		G		S	A	A	A	G	G
20	A		S	G	G		S	A	G	G	G		S	S	S	S		A	A	G		S	S	A	A	A	A		A	G	G
21		S	S	A	A	G	G		S	A		S	A	G	G	G	G		S		S	A	A	A	G	G		S	S	A	A
22	S	S	A	G		S	G	G		A	A	A	A	G		S	G		S	A	A	G	G		S		S	A	G		S
23	G		S	S	S	S	S	A		G	G	G		S		A	A	A	A	A	G		A	A	G		S	S	G	G	
24		G		A	A	G		S	S	S	S	A	A		A	G	G	G	G		S	A	A	G			A		S	S	S
25	S	S	G		S	A	A	A	A	A		S	G		S	A		S		S	A		S		A	G		G	G	G	G
26		A	A	G	G	G	G		A	A	A		S	A		S	S	A	G	G		S	G		S	S	S	A	A		S
27	S	S	S	S	G		A	G		S	G	G	G	G		S	A	G		S	A	A		S	A	A	G		A	A	
28	A		A		A	A	G	G	G		S	S		A	G	G	G		S	A	G	G		S	S	S		S	S	A	A

**EK 4. S3 İLE ELDE EDİLEN  $vd_{ik}$  DEĞERLERİ**

Personel	Sabah	Öğle	Akşam
1	7	8	7
2	7	8	7
3	7	8	7
4	7	8	7
5	7	8	7
6	7	8	7
7	7	8	7
8	8	8	8
9	8	8	8
10	8	8	8
11	8	8	8
12	8	8	8
13	8	8	8
14	8	8	8
15	8	8	8
16	8	8	8
17	8	8	8
18	8	8	8
19	8	8	8
20	8	8	8
21	8	8	8
22	8	7	8
23	8	7	8
24	8	7	8
25	8	7	8
26	8	7	8
27	8	7	8
28	8	7	8

**EK 5. S3 İLE ELDE EDİLEN  $b_{jk}$  DEĞERLERİ**

Gün	Sabah	Öğle	Akşam
1	2,61	2,21	2,20
2	2,48	2,27	2,23
3	2,44	2,19	2,24
4	2,31	2,28	2,40
5	2,30	2,13	2,47
6	2,21	2,14	2,20
7	2,29	2,78	2,12
8	2,18	2,86	1,89
9	2,09	2,83	2,17
10	1,97	3,01	2,22
11	2,12	2,81	2,10
12	2,15	2,95	2,20
13	2,07	2,47	2,20
14	1,94	2,40	2,21
15	2,22	2,27	2,18
16	2,00	2,27	2,44
17	2,12	2,29	2,66
18	2,44	2,46	2,45
19	2,22	2,62	2,36
20	2,50	2,08	2,30
21	2,26	2,12	2,70
22	2,20	2,44	2,90
23	2,27	2,10	2,53
24	2,58	2,23	2,23
25	2,29	2,24	2,54
26	2,14	2,38	2,46
27	2,23	2,20	1,95
28	2,61	2,58	1,96
29	2,58	2,20	2,15
30	2,44	2,18	2,05
31	2,47	2,29	2,02



**EK 6. S3 İLE ELDE EDİLEN ÇİZELGE**

		Gün																															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Personel	1	A	A		A	G		A	A	G			A	A		S	G	G	G		S	G		S	S	A		S	G		S	S	
	2	S	S	A	G		S	A		S	G	G	G		G		A		S	A			A	G		S	A	A		S	A	G	
	3			S		A		S	S	A	A	A	A		S	G		S	S	G	G	G	G		S	G	G		A	A		A	
	4	G		S	S	S	G	G		A	A	A		G		A		A	A	A		S	S	A	G		S		S	G	G		
	5	S	G	G		A	A		G		S	S	S	S	A		S	A		S	A	A	G		A	G		G	G			A	
	6		S	G		A	A	A	A		S	A		S	G	G	G	G		S	S	A	A	G		S		G		A		S	
	7		A	A	A	G		S	S	S	A		G	G		A	G	G		S	S	S	S	A	G		A	A	G				
	8	S	S	S	A	A		S	S	A		A	G		S	A		S	S	A		A		A	G	G	G	G	G	G	G	G	G
	9	A	A	G		S		G		A	G	G	G	G		S	S	G	G		S	S	A	A	A		S	S	S		A	A	
	10	S	G	G	G		G	G		S	G		A	A	G		S	A	A	G		S	S	S	A	A		A	A		S	S	
	11	G		S	G		S	A	G	G		S	S		S	S	A	A	A		G	G	G		S	S	G		A	A	A	A	
	12	G	G		S	S	A		A		S	S	A	A	A		S	S	G	G	G	G		S	A	A	A	G		S	G		
	13	A	G		S	G	G	G	G		A	G		A	A	G	G		A	A	A	A			S		S	S	S	S	S	S	
	14		S	A	A		S	S	A	G	G		S	S	A	A	A		S	S	A		G	G	G	G		S	A	G		G	
	15	G	G	G		S	S		S	A	G		S	A	A	A	A	G		S	A	A	G	G		A	G		S		S	S	
	16	A		S	G	G		S	A		S	S	G	G		A	G	G	G		A	A		S	A	A	G		S	S	S	A	
	17	S	S	A	A		S	S	A	G		A		S	G		S	S	A	G	G		A	A	G	G	G	G		S	A		
	18	A	G		S	S	A	A	G		S	S	S	A	A	G		A		S	S	G	G		A		A	G	G	G		S	
	19		S	S	S	A	G	G		S	G		A	G	G		S	S	S	A	G	G		A	G		S	A		A	A	A	
	20	G		A	A	A	A	A		A	A	G	G		S	G	G		S	A		S	S		S	S	S	S	G		G	G	
	21		A	G	G	G	G		S	S	A	G		S	S	S		A	G		S	S	A	G		S	A	A	A	A	G		
	22	S	A	A		S		G	G	G		A	A		S	S	A		A	G	G		S	S	S	G		S	A	G		G	
	23	G		S	G		S	S	S	G	G	G		S		A	A	A	G		A		A	G		A	A	G		S	S	S	
	24	A		A		S	S	A		S	S	A		A	G	G		S	S	G		G		S	S	A		A	G	G	G	G	
	25	S	S	G	G		A		G			S	S	S	A		S	S	G		A	A	G		A		S	A	A	G	G	G	
	26	A	A		S	G	G	G	G	G		S	S	G		S	A			S	S		S	G		S	A	G		A	A	A	
	27		A		S	G	G		A	A	A		A	G	G	G	G	G		G		S	S	S		S	S	S	S	A	A		
	28	G	G		A	A	A		S	S	S	G	G		S	S			A	A	G		A	A	G	G	G	S	S	S			

**EK 7. S4 İLE ELDE EDİLEN  $vd_{ik}$  DEĞERLERİ**

Personel	Sabah	Öğle	Akşam
1	7	8	8
2	7	8	8
3	7	8	8
4	7	8	8
5	7	8	8
6	7	8	8
7	7	8	8
8	8	8	8
9	8	8	8
10	8	8	8
11	8	8	8
12	8	8	8
13	8	8	8
14	8	8	8
15	8	8	8
16	8	8	8
17	8	8	8
18	8	8	8
19	8	8	8
20	8	8	8
21	8	8	8
22	8	7	7
23	8	7	7
24	8	7	7
25	8	7	7
26	8	7	7
27	8	7	7
28	8	7	7

**EK 8. S4 İLE ELDE EDİLEN  $b_{jk}$  DEĞERLERİ**

Gün	Sabah	Öğle	Akşam
1	2,15	2,65	2,42
2	2,17	2,72	2,45
3	2,04	2,45	2,56
4	2,08	2,47	2,19
5	2,23	2,51	2,25
6	2,01	2,69	2,24
7	2,45	2,22	2,34
8	2,24	2,24	2,23
9	2,27	2,57	2,34
10	2,34	2,08	2,17
11	2,31	2,11	2,66
12	2,30	2,32	2,93
13	2,34	2,26	2,55
14	2,41	2,00	2,41
15	2,66	2,09	2,52
16	2,53	2,32	2,32
17	2,36	2,53	2,24
18	1,88	2,47	2,40
19	2,34	2,11	2,49
20	2,45	2,39	2,19
21	2,16	2,53	2,19
22	2,30	2,41	2,27
23	2,15	2,48	2,55
24	1,90	2,60	2,57
25	1,90	2,61	2,23
26	2,91	2,34	2,31
27	2,43	2,37	2,32
28	2,45	2,25	2,46
29	2,31	2,29	2,42
30	2,28	2,60	2,57
31	2,38	2,60	2,49

## EK 9. S4 İLE ELDE EDİLEN ÇİZELGE

	Gün																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1		A		A	A		S	G		S	S	A	A		S	S	S	G		A		A	G	G		S	A	G	G	G	G
2	A	A	A	G		A	G		S		A	G		S	G	G		A	G		S	S	A	G	G		S	S		S	A
3	S	S	G		G	G		S	A		G	G	G	G		A	A		S	S	A	A	G			S	A		S	A	A
4	G	G	G		S	A	G		A	A		S	A		S	S	G		G		A		S	A	A	A	G	G		S	S
5	A		S	S		S	A	A	G	G	G		S	A	A	G		S	A	G	G	G		S	S	G		A	A		
6	S		A		S	S		A	G	G	G		S	A	A		A	A	A	G	G	G			S	S	S	A	G	G	
7			A	G	G	G		G	G	G		A	A	A	A	A		G		S	S	S	A		S	S	S	S	A	G	
8	G	G	G		S	G	G		S	S	S	S	A		S	S	A		G		A	A	A	A		A	G	G		S	A
9	G	G		S	G		S	S	A	A	A	A		S	G	G		S	S	A	A		G	G	G		A	A		S	S
10	A	G		A	A		S	S	S	S	G	G		G	G		A	A	A	G		S	S		A	A		S	S	G	G
11		S	S	S	A	A		S	A	A	A	G	G		S	S	S	A	G		S	A	G	G	G		A	G	G		
12	A	A	G	G		S	A	A		G		S	S	S	A	A	G		S	A		G		S	S	G	G		S	A	G
13	S	S	S	A		G	G	G	G		S		S	A	G	G	G		S	S		S	A	A	A			A	A	A	
14		A	A	A	A	A	A		S	S	S	S	G	G			S	S	A	A	G	G		S	G	G	G		G		S
15		S	S	S		G		S	S	S	G		S	A	A	G	G	G		S	A	G		A	A	G		A	A	A	G
16	G	G		G	G	G		A	G	G		S	S	S	S	A	A		S	G		A	A	A		S	S	A	A		S
17	A		S	A	A		S	A	G		S	G		A	A		A	G	G	G	G		S	S	S	G		S	S	A	G
18	A	G		S	S	S	A	A	A		A	A	G	G	G			A	A		S	S	G	G	G		S	S	S	G	
19	S	A	G		S	S	G		A	A	G		A		S	S	S	S	G		A	A	G	G	G		A	G		S	A
20	S	A	A	A		A	G	G		G		S	A	G	G	G	G		S	A	G		S	S		S	A		S	S	A
21	G		G	G	G		S	S	S	A	A	A		S		S	S	S	A	A		S	A		A	A	G		G	G	G
22		S	A		A	A	A	G		S	S	G	G			A		A		S	S	G		S	S	A	G	G	G		S
23	A	A		G	G	G	G		S			A	A	A	A	G		G	G		S	S	S		S		A		S	S	S
24		S	G	G		A		S	A		A	G		S		A	G		S	S	A	A	G	G		S	S	S		A	G
25	G	G		S	S	S	A		G	G		A	G		G		S	S	S	S	G		A	A		A		A	A		S
26	S	S	S	A	G		S	G		A	A		G	G		A	G	G		A		S	S	S	G		S	A			A
27	S		A		S	S	S	A		S	S	S		G		S	A	A	A	G			A		A	G	G	G	G	G	
28	G		S	S	A		A	G		A	G		S	S	S		S	S		G	G	G		A	A	G		S	A	A	

**EK 10. S5 İLE ELDE EDİLEN  $vd_{ik}$  DEĞERLERİ**

Personel	Sabah	Öğle	Akşam
1	7	8	8
2	7	8	7
3	7	8	8
4	7	8	8
5	7	8	7
6	7	8	8
7	7	8	8
8	8	8	8
9	8	8	8
10	8	8	8
11	8	8	8
12	8	8	8
13	8	8	8
14	8	8	8
15	8	8	8
16	8	8	8
17	8	8	8
18	8	8	8
19	8	8	8
20	8	8	8
21	8	8	8
22	8	7	8
23	8	7	8
24	8	7	7
25	8	7	7
26	8	7	7
27	8	7	7
28	8	7	7

**EK 11. S5 İLE ELDE EDİLEN  $b_{jk}$  DEĞERLERİ**

Gün	Sabah	Öğle	Akşam
1	2,78	2,58	2,60
2	2,71	2,56	2,54
3	2,22	2,32	2,29
4	2,32	2,05	2,39
5	2,37	1,79	2,33
6	2,34	2,06	2,38
7	2,44	2,46	2,33
8	2,34	2,43	2,64
9	1,80	2,36	2,69
10	1,74	2,65	2,65
11	2,24	2,44	2,66
12	2,40	2,76	2,14
13	2,43	2,20	2,35
14	2,30	2,54	2,37
15	2,27	2,42	2,28
16	2,24	2,01	2,21
17	2,51	2,46	2,23
18	2,45	2,54	2,44
19	2,23	2,34	2,34
20	1,73	2,66	2,26
21	2,29	2,68	2,53
22	1,99	2,30	2,25
23	2,21	2,84	2,22
24	2,28	2,66	2,12
25	2,55	2,46	1,74
26	2,37	1,84	2,46
27	2,41	1,97	2,51
28	2,34	1,98	2,27
29	2,00	2,36	2,26
30	2,11	2,75	2,34
31	2,32	2,81	2,24

**EK 12. S5 İLE ELDE EDİLEN ÇİZELGE**

		Gün																														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Personel	1	G	G	G			A	A	A			S	S	S	S	A		A	A	A	G			A	G	G		S	S	S	G	G
	2	S	S	G		S	S	G	G		A	G		A	A	G		S	G			A	A	G		S	S	A		A	A	
	3	S	S	S	G		G		S	A	A	A	A	G		S	A	G	G		A	G		S	A		G	G			S	A
	4	A	A		S	A		S	G	G	G	G	G		G		S	S	S	G		S	S	A	A	A			G		A	A
	5	G		A	A	G		G		S	S		A	A	A	A	G			S	S	G	G		S	S	A		A	G		S
	6	S	A	A	A	G		S	A	G	G		S			A		S	S	G	G	G	G		S	A	A	G		S		A
	7	A	A	A	G		G		S	S	S	A		S	G		A		S	S	S		A	A	G	G	G	G		A	G	
	8	G		G		A	A	G	G		A	G	G	G		S	S	S	G			S	S	S	A	A	A		S	S	A	A
	9			S	S	S	S	S		A	G	G		A	A		A	A	A		S	A	A	G	G		S	S	G	G	G	G
	10	G	G		A	A	G		S	G		S	A	A	G	G	G		A	A	A	A		G		S		S	S	S	S	S
	11	A	G	G		S	S	A	G		A	A	G		S	S	G	G		A		S	A	A		S	S	A	G		S	G
	12		S	A	A	G	G	G		S	S	S	A		A	G	G		S	A	A	A	G		A	G	G		S		S	S
	13	S	S	S	S	A	A		A	G		A	G	G	G		S	A		S	S	G	G		S	A		A	A	G	G	
	14	A	G		G	G		A	A	A	G		S	S	S	A		G	G	G	G		S	S	S		S	S	A	A	A	
	15	A	G		S	S	A	A		A		S	G	G	G	G		A	A	A		S	S	S	S	A		G	G	G		S
	16		A	A	A	G	G	G		S	S	S	S	A	A		S		A		S	S	S	A	G		A	G	G		G	G
	17	G		A	A	G		S	S	G		A	A		S	A	G		S	S	A	A	G		A		S	S	S	G	G	G
	18	A		S	G		S	A	G	G	G			S	A	G	G	G		S	S	S		S	S	A	G		A	A	A	A
	19	S	S	G		S	S	G	G		S	A	A	A	G	G		S	G		A	G		A	A	G		A		S	S	A
	20		S	S	S	A		S	A		A	G	G	G		A	A	G	G	G		A	A	G		S	S	S	A		S	G
	21	G	G		G		A		S	S	G		S	S	S	S	A	A		A	G	G	G	G		S	A	A	A	A		S
	22	S	A	G		A	G		A	A	A	G		S		S	S	S	S	G	G		A		G	G	G		S	S	A	
	23		S	S	A	A	A	A		A		S	S		S	G		S	S	A	G		S	G	G	G	G	G		A	G	
	24	S		G	G		G		S	S	S	S		A	A	A	A	G	G		S		S	S	A	G		A	G		A	
	25	G		S		S	S	A			S	A	A	G		S	G	G		S	A	A	A	G		S	G		A	G		S
	26	A	A		S	S	A	G	G	G			S	S			A	A	A	G	G			S	G		S	S	S	A		G
	27		G		S	G		S	S	S	A	G		G	G		S	A	A	G		S		A		A	A	G		S	S	A
	28		A	A	G		S	S	A	A	G		G		S	S	S			S	A	G	G		S		A	A	G	G		S

**EK 13. S6 İLE ELDE EDİLEN  $vd_{ik}$  DEĞERLERİ**

Personel	Sabah	Öğle	Akşam
1	7	7	8
2	8	7	7
3	9	7	7
4	7	7	7
5	7	7	8
6	7	7	8
7	7	7	8
8	8	7	8
9	8	8	8
10	8	8	8
11	8	8	8
12	8	8	8
13	9	8	8
14	8	8	8
15	8	8	8
16	8	8	8
17	8	8	9
18	9	8	8
19	8	8	8
20	8	9	8
21	8	8	7
22	8	8	8
23	8	8	8
24	7	8	8
25	7	8	7
26	7	8	7
27	7	8	6
28	7	8	8



**EK 14. S6 İLE ELDE EDİLEN  $b_{jk}$  DEĞERLERİ**

Gün	Sabah	Öğle	Akşam
1	2,00	2,21	2,44
2	2,54	2,29	2,44
3	2,48	2,28	2,29
4	2,14	1,96	2,22
5	2,24	2,27	2,24
6	2,30	2,32	2,24
7	2,50	2,22	2,17
8	2,68	2,47	2,09
9	2,55	2,53	2,07
10	2,61	2,31	2,06
11	2,65	2,34	2,23
12	2,34	2,17	2,19
13	2,07	2,17	2,22
14	2,09	2,28	2,16
15	2,12	2,35	2,21
16	1,83	2,30	2,52
17	1,86	2,13	2,69
18	2,35	2,23	2,36
19	2,48	2,29	2,26
20	2,45	2,22	2,29
21	2,55	2,38	2,58
22	2,33	2,23	2,55
23	2,30	2,37	2,41
24	2,35	2,43	2,58
25	2,32	2,36	2,45
26	2,33	2,36	2,39
27	2,34	2,25	2,40
28	2,32	2,26	2,40
29	2,38	2,18	2,37
30	2,42	2,25	2,44
31	2,42	2,81	2,39

**EK 15. S6 İLE ELDE EDİLEN ÇİZELGE**

		Gün																															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Personel	1	A		S	S	A		A	G	G			S	G		A	G	G		S	G		S	S	G	G		S	A	A	A		
	2	G	G		A		S	S	S		S	S	G		A		S	A	A	G		A	A	G	G		S	A	G	G		S	
	3	S	S	G		S	A		A	A	G	G		S		S			S	A	A	G	G		S	A	G	G		S	S	A	
	4		A	A		G	G	G		S	S	A	A		S	G		S	G		S	S		A	A		A		S		G	G	
	5	S	S	S	G		A		S	S	A		S	A	G		A	G	G	G	G	G		A		S		A		A			
	6	S	S	A		S		S	S	A	A	G		S	S	A	A		G			G	G	G	G	G	G	G		A		A	
	7	G	G	G		A			A	G	G		S	S	A	A	A	A			S	S	S	S		S	A	G		G	G		
	8	A	G		S	A	A	G	G		S	A	A		S		S	S	S	G	G		G	G	G		S	A		A		S	
	9		A	G		S	S	A	G	G		S	S	S	A	G	G		A	A	G	G		A		A	A	G		S	S	S	
	10	G		A	G	G	G	G		S	S	A	G		S	S	S	A	A		A		S	A		S	A	A	G	G		S	
	11	A	A		S	S	S	S	S	A		S	G	G		A	G	G		A	A		A		S	A		S	G	G	G	G	
	12	G		S	A	A		S		S	A	G		A	G	G		S	G	G		S	S	S	A	G	G		S	A	A	A	
	13		A	A	A	G	G	G		G	G		A	G	G	G		S	S	S	S	A	A		S	S	S	S	A		S	A	
	14	S	S	S	G		A	A	A		A	G		A		S	G	G		S	A	A	G		A	G		S	S	S	G	G	
	15	A	A	G		S	S	G	G		A	A	A	G	G		A		S	A	A		G	G		S	S	S	G		S	S	
	16	S			S	A		S	S	G	S	S	S	A	G		G	G	G	G		S	S	A	A	A		A	A	A	G	G	
	17	A	A	A	G		S	A		S	A	S	G		A	G	G	G		A	G	G		S	S	S	A	G		S	A		
	18	G	G		S	G	G	G	G		S	A	A	G		S	S	A	A		S	S	A	G	G		S	S	S	S	A	A	
	19	A		S	A		A	A		S	G	G		S	S	S	S	A	G		S	A		A	G	G	G		A	G	G	G	
	20	S	S	A	A	A		S	A	G			A	A	G	G		S	S	S	A	G	G		S		A	G	G		S	A	
	21	G	G	G	G	G	G		S	A	G	S	S	S	S	A	A		S	S		A	A		A	A		A	G	G		S	
	22		S	S	S	S	A		A	A	S	G	G		A	A		S	A	G	G		S	S		G	G		S	A		A	
	23	G		A	A	G	G	G	G		G	G	G	G		S	S	A	A	A	A		S	S	A			S	S	S	A		
	24		A	G		S	S	A		G			S	S	A	G		S	G	G		S	A	G	G		S	A	A	A	A	G	
	25	A	G		G		A	A	A	A		S		A	G		A		S	S	S	S	G	G		S	S		A	G	G	G	
	26		G		A	S	S	S	S	A	A	G	G		S	S	G		A	G	G		A	A	A	A	A	G		S	A	A	
	27		S	G	G	G	G		A	A	G	A	A		S	A	G			S		A			S	S	A	G		S	S	G	
	28	S		S	S	A			G						A	A		A	A	A		S	A	A		S	G	G	G	G	G	S	S