

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

PERSONEL ATAMA VE ÇİZELGELEME PROBLEMİ İÇİN HEDEF
PROGRAMLAMA BAZLI KARAR DESTEK SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ: BİR
FABRİKA İÇİN UYGULAMA

Ahmet Cürebal

KIRIKKALE 2021

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Ahmet Cürebal tarafından hazırlanan “Personel Atama ve Çizelgeleme Problemi için Hedef Programlama Bazlı Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi: Bir Fabrika için Uygulama” adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Süleyman Ersöz

Anabilim Dalı Başkanı

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

Danışman

Prof. Dr. Tamer Eren

Jüri Üyeleri

Başkan

: Prof. Dr. Hadi Gökçen

Üye (Danışman)

: Prof. Dr. Tamer Eren

Üye

: Doç. Dr. Hacı Mehmet Alakaş

13/09/2021

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

Prof. Dr. Recep Çalın

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



Aileme,

ÖZET

PERSONEL ATAMA VE ÇİZELGELEME PROBLEMİ İÇİN HEDEF PROGRAMLAMA BAZLI KARAR DESTEK SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ: BİR FABRİKA İÇİN UYGULAMA

CÜREBAL, Ahmet

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Tamer EREN

Ağustos 2021, 113 sayfa

Günümüz rekabet ortamı kuruluşları tüm kaynaklarını en iyi şekilde kullanmaya zorlamaktadır. Kuruluşlar eldeki kaynaklarını verimli şekilde kullanarak hem maliyetlerini düşürebilir hem de daha kaliteli bir hizmet sunabilir. Kaynak planlaması sürdürülebilir bir çalışma ortamı için oldukça önemlidir. İş gücü, kuruluşların elinde bulundurduğu en önemli kaynaklardan bir tanesidir. Sektör fark etmeksizin hizmet kalitesini ve sürdürülebilirliğini belirleyen en önemli kaynaklardan bir tanesi iş gücüdür. Çalışan personel kuruluş operasyonları ile direkt olarak ilgilidir. Dolayısıyla çalışan performansı ile ortaya çıkan işin kalitesi doğru orantılıdır. Kaynak giderleri düşünüldüğünde, personel kaynaklı giderler toplam giderin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu gibi sebepler kuruluşları bu alanda bilimsel kaynakların kullanıldığı çalışmalar yapmaya teşvik etmektedir.

Bu tezde üretim sektöründe faaliyet gösteren büyük bir kuruluşun Taşlama-Montaj Müdürlüğü (TMM) bünyesindeki operasyonlarda görevli personellerin atama ve çizelgeleme çalışması yürütülmüştür. Çalışma ile ilgili altı farklı problem çözülmüş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Personellerin vardiya sayısı ve tipi bakımından dengeli atanması tüm problemlerde öncelikli amaçtır. Problemler; en uygun personel sayısının tespiti, personel taleplerinin dikkate alınması, değişken talep ve personel sayısında oluşturulacak çalışma planı ve personel yetkinliklerinin vardiya bazında dikkate

alındığı durumları içermektedir. Personel yetkinlikleri uygulama alanı için önemli olan altı kriter göz önüne alınarak belirlenmiştir. Bu kriterler AHS (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemi ile ağırlıklandırılarak TOPSIS (The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi ile personeller önceliklendirilmiştir. Hesaplanan puanlar kurulan önceliklendirilmiş hedef programlama modelinde kullanılmıştır.

Tüm matematiksel modeller değişken veri girdilerine sonuç verecek şekilde yazılmıştır. Çalışmada bulunan uygulamalar güncel veriler doğrultusunda aylık çizelgeler hazırlanması üzerinedir. Ancak farklı veriler ve çalışma planı periyodu için de sonuçlar tasarlanan arayüzlü karar destek sistemi ile elde edilebilir durumdadır.

Anahtar Kelimeler: Personel Atama, Personel Çizelgeleme, Hedef Programlama, Tamsayılı Programlama, Çok Kriterli Karar Verme, Karar Destek Sistemi

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF GOAL PROGRAMMING BASED DECISION SUPPORT SYSTEM FOR PERSONNEL ASSIGNMENT AND SCHEDULING PROBLEM: A CASE IN A FACTORY

CÜREBAL, Ahmet

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering, Master Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Tamer Eren

August 2021, 113 pages

Today's competitive environment forces organizations to use all their resources in the best way. By using their available resources efficiently, organizations can both reduce their costs and provide a higher quality service. Resource planning is very important for a sustainable work environment. The workforce is one of the most important resources held by organizations. Regardless of the sector, one of the most important resources that determines the service quality and sustainability is the workforce. Employees are directly related to the operations of the organization. Therefore, the quality of the resulting work is directly proportional to the performance of the employee. When resource expenses are considered, personnel-related expenses constitute a significant part of the total expenses. Such reasons encourage organizations to carry out studies using scientific resources in this field.

In this thesis, the assignment and scheduling work of the personnel working in the operations of the Grinding-Assembly Department (TMM) of a large organization operating in the production sector was carried out. Six different problems related to the study were solved and the results were evaluated. The balanced assignment of personnel in terms of the number and type of shifts is the primary goal in all problems. They include the determination of the most appropriate number of personnel, taking into account the personnel demands, the work plan to be created in the variable demand

and number of personnel, and the situations where personnel competencies are taken into account on a shift basis. Six criteria, which are important for the field of application, have been determined for personnel competencies. These criteria were weighted with the AHS (Analytical Hierarchy Process) method and the personnel were prioritized with the TOPSIS (The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) method. The calculated scores were used in the preemptive goal programming model.

All models are designed for flexible data entry. The solutions of the problems were finalized on a monthly basis with up-to-date data. However, the results for different data and study plan period can be obtained with the decision support system with the designed interface.

Keywords: Personnel Assignment, Personnel Scheduling, Goal Programming, Integer Programming, Multi Criteria Decision Making, Decision Support System

TEŞEKKÜR

Lisans ve Yüksek lisans eğitimim boyunca bana her konuda sabırla yol gösteren, anlayışlı, yardımlarını hiç esirgemeyen, her zaman destekleyen, motive eden çok değerli hocam, Sayın Prof. Dr. Tamer Eren'e; çalışmalarım boyunca engin tecrübelerinden, değerli fikirlerinden yararlandığım Sayın Doç. Dr. Evrencan Özcan, Sayın Doç. Dr. Hacı Mehmet Alakaş ve Sayın Araş. Gör. Dr. Mustafa Hamurcu hocalarıma çok teşekkür ederim.

Her kararında destekleyen, motive eden, hayatım boyunca her zaman desteklerini hissettiğim, benim çalışmalarımı daha iyi sürdürebilmem için her zaman çabalayan annem Aysel Cürebal, babam Şefik Cürebal ve kardeşim Samet Cürebal'a çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
2. PERSONEL ATAMA VE ÇİZELGELEME	5
2.1. Personel Atama ve Çizelgeleme Problemlerinin Genel Amaçları	6
2.2. Personel Atama ve Çizelgeleme Problemlerinin Genel Kısıtları	7
2.3. Personel Atama ve Çizelgeleme Problemleri Çözüm Yaklaşımları	8
2.4. Personel Atama ve Çizelgeleme Problemleri Model Yapıları	8
3. KULLANILAN YÖNTEMLER	10
3.1. Çok Kriterli Karar Verme	10
3.1.1 AHS Yöntemi	11
3.1.2 TOPSIS Yöntemi	15
3.2. Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama	18
3.3. Önceliklendirilmiş Hedef Programlama	19
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	21
5. UYGULAMA	35
5.1. Problem 1: Mevcut Problemin Çözümü	37
5.1.1 Problem Tanımı	37
5.1.2 Problemin Verileri	38
5.1.3 Problem 1 için Karma Tamsayılı Programlama Modelinin Kurulması	39
5.1.4 Problem 1 Model Sonuçları	43
5.2. Problem 2: Personel Sayısının Belirsiz Olduğu Durumlarda Atama ve Çizelgeleme Probleminin Çözümü	46

5.2.1	Problem Tanımı.....	46
5.2.2	Problem 2 için Önceliklendirilmiş Hedef Programlama Modelinin Kurulması 46	
5.2.3	Problem 2 Model Sonuçları	48
5.3.	Problem 3: Personel Bölüm Taleplerinin Göz Önünde Bulundurulduğu Atama ve Çizelgeleme Probleminin Çözümü.....	50
5.3.1	Problem Tanımı.....	50
5.3.2	Problem Verileri.....	50
5.3.3	Problem 3 için Önceliklendirilmiş Hedef Programlama Modelinin Kurulması 51	
5.3.4	İş Yükünün Adil Dağıtılması Amacının Öncelikli Olduğu Modelin Çözüm Sonuçları	52
5.3.5	Personel Bölüm Taleplerinin Karşılanmasının Öncelikli Olduğu Modelin Çözüm Sonuçları	55
5.4.	Problem 4: Personel Bölüm ve İzin Gün Taleplerinin Göz Önünde Bulundurulduğu Atama ve Çizelgeleme Probleminin Çözümü.....	58
5.4.1	Problem Tanımı.....	58
5.4.2	Problem Verileri.....	59
5.4.3	Problem 4 için Öncelikli Hedef Programlama Modelinin Kurulması.....	59
5.4.4	Model Sonuçları	61
5.5.	Problem 5: Talebin ve İş Gücünün Değişken Olduğu Durumlarda Atama ve Çizelgeleme Probleminin Çözümü.....	64
5.5.1	Problem Tanımı.....	64
5.5.2	Problem 5 için Önceliklendirilmiş Hedef Programlama Modelinin Kurulması 65	
5.6.	Problem 6: Personel Yetkinlik Durumlarının Dikkate Alındığı Atama ve Çizelgeleme Probleminin Çözümü.....	66

5.6.1	Problem Tanımı.....	66
5.6.2	Personel Yetkinlik Kriterlerinin Belirlenmesi ve Ağırlıklandırılması	67
5.6.3	TOPSIS Yöntemi ile Personellerin Yetkinlik Puanları Kullanılarak Önceliklendirilmesi.....	70
5.6.4	Problem 6 için Önceliklendirilmiş Hedef Programlama Modelinin Kurulması 75	
5.6.5	Senaryo 1 için Model Sonuçları.....	77
5.6.6	Senaryo 2 için Model Sonuçları.....	80
5.7.	Tasarlanan Arayüz.....	83
6.	SONUÇ.....	90
	KAYNAKLAR.....	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. İkili Karşılaştırma Önem Skalası	13
Çizelge 3.2. Rassallık İndeks Değerleri	14
Çizelge 4.1. Personel Atama ve Çizelgeleme Çalışmaları	30
Çizelge 4.1. <i>Devamı</i>	31
Çizelge 4.1. <i>Devamı</i>	32
Çizelge 5.1. Uygulama Özeti	36
Çizelge 5.2. Mevcut Durumda Personellerin Aylık İş Yükü Değerleri	38
Çizelge 5.3. Bölümlerin Personel Talebi	39
Çizelge 5.4. Problem 1 Sonucunda Personellerin Aylık İş Yükü Değerleri	44
Çizelge 5.5. Problem 2 Sonucunda Personellerin Aylık İş Yükü Değerleri	49
Çizelge 5.6. Personellerin Bölüm Talep Verileri	51
Çizelge 5.7. Problem 3 Eşit İş Yükü Amacının Öncelikli Olduğu Durumda Personellerin Aylık Vardiya Bazlı İş Yükü Değerleri	53
Çizelge 5.8. Personel Bölüm Taleplerinin Karşılanmasının ikincil Amaç olduğu Durumda Her Bir Personelin Gün Bazlı Talep Karşılanma Durumu	54
Çizelge 5.9. Personel Taleplerinin Gün Bazlı Toplam Durumu	55
Çizelge 5.10. Problem 3 Personel Taleplerinin Karşılanması Amacının Öncelikli Olduğu Durumda Personellerin Aylık Vardiya bazlı İş Yükü Değerleri	56
Çizelge 5.11. Personel Bölüm Taleplerinin Karşılanmasının Birincil Amaç olduğu Durumda Her Bir Personelin Gün Bazlı Talep Karşılanma Durumu	57
Çizelge 5.12. Personel Bölüm Taleplerinin Gün Bazlı Toplam Durumu	58
Çizelge 5.13. Personellerin İzin Günü Talep Verileri	59
Çizelge 5.14. Personellerin Vardiya Bazlı Toplam Atanma Sayısı	61
Çizelge 5.15. Personel Bölüm Taleplerinin Gün Bazlı Karşılanma Durumu	62
Çizelge 5.16. Her Bir Personelin Ay Boyunca Toplam Bölüm Talebi Karşılanma Durumu	63
Çizelge 5.17. Her Bir Personelin İzin Günü Talebi Karşılanma Durumu	64
Çizelge 5.18 Kriterler ve Açıklamaları	67
Çizelge 5.19. Kriterlerin İki Karşılaştırma Matrisi	68
Çizelge 5.20. Kriter Normalize Matrisi	68

Çizelge 5.21. Kriter Ağırlıkları	69
Çizelge 5.22. Kriter İlişkileri Tutarlılık Oranı	69
Çizelge 5.23. Karar Matrisi (Personel Puanları)	71
Çizelge 5.24. Standart Karar Matrisi	72
Çizelge 5.25. Ağırlıklandırılmış Standart Karar Matrisi	73
Çizelge 5.26. İdeal ve Negatif İdeal Çözümler	73
Çizelge 5.27. Ayrım Ölçütleri ve TOPSIS Sonucu	74
Çizelge 5.28. Personellerin Vardiya Bazlı Toplam Atama Değerleri	78
Çizelge 5.29. Vardiyalarda Oluşan Ortalama Yetkinlik Puanları	79
Çizelge 5.30. Adil İş Yüğü Dağılım Amacının İkincil Amaç Olduğu Durumda Personellerin Toplam Vardiya Atanma Değerleri	81
Çizelge 5.31. Vardiya­ların Yetkinlik Bazında Dengelenmesi Amacının Birincil Olduğu Durumda Vardiya Yetkinlik Değerleri	82

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. AHS Genel Hiyerarşik Yapı	12
Şekil 3.2. AHS Yöntemi Akış Şeması	15
Şekil 3.3. TOPSIS Yöntemi Akış Şeması	18
Şekil 5.1. Mevcut Durum ile Uygulama Sonrası Durumun Karşılaştırması	45
Şekil 5.2. B1 Bölümü Sabah Vardiyası Yetkinlik Dengelenmesi Birincil ve İkincil Amaç Durumunda Karşılaştırılması	83
Şekil 5.3. Personel Çalışma Planı Yazılımı Arayüzü	84
Şekil 5.4. Sisteme Yeni Birim Ekleme Özelliği	85
Şekil 5.5. Sisteme Dosya Yükleme İşlemi	86
Şekil 5.6. Sistem Üzerinde Personel Verileri	87
Şekil 5.7. Örnek Olarak Haftalık Oluşturulan Çalışma Planı	88
Şekil 5.8. Personellerin Vardiya Bazlı ve Toplam Atanma Değerleri	89

KISALTMALAR DİZİNİ

A	Akşam vardiyası
AHS	Analitik Hiyerarşi Süreci
B1	Bölüm 1
B2	Bölüm 2
B3	Bölüm 3
G	Gece vardiyası
KM	Personel Talebinin Karşılanmadığı Gün Sayısı
KN	Personel Talebinin Karşılandığı Gün Sayısı
MD	Mevcut durum
P	Personel No.
S	Sabah vardiyası
T	Toplam Atama Sayısı
TA	Toplam Akşam Vardiyası Atama Sayısı
TG	Toplam Gece Vardiyası Atama Sayısı
TMM	Taşıma-Montaj Müdürlüğü
TOPSIS	The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
TS	Toplam Sabah Vardiyası Atama Sayısı
YY	Yayın yılı

1. GİRİŞ

İş gücü kaynağı hem üretim sektöründe hem de hizmet sektöründe faaliyet gösteren kuruluşlar için oldukça önemlidir. Personeller kuruluş operasyonlarından sorumlu en etkili kişilerdendir, operasyonların verimliliğine ve kalitesine direkt olarak etki ederler. Dolayısıyla personellerin iş memnuniyetleri ortaya çıkarılan iş kalitesi, verimliliği ve sürdürülebilirliği ile sıkı bir şekilde bağlıdır. Personel memnuniyetinin sağlanması büyük ölçüde işlerin dağıtımı ile alakalıdır. Adil olarak dağıtılmayan işler personellerin hem fiziksel hem de psikolojik durumunu olumsuz yönde etkiler. Bu da bir kuruluş için istenmeyen bir durumdur. Personel memnuniyeti adil iş dağılımının yanı sıra, personellerin yetkin oldukları işlere veya tercih ettikleri işlere atanmaları ile de artacaktır (Cürebal ve Eren, 2021).

Üretim sektöründe faaliyet gösteren bazı kuruluşlar 7 gün 24 saat aktif şekilde çalışmaktadır. Bu durum çalışma ortamlarındaki farklılığın oluşmasına sebep olmaktadır. Sabah saat 8’de başlayan bir mesai ile gece 12’de başlayan mesainin çalışma şartları aynı değildir. Üretim sektöründe de hizmet sektöründe de görev alacak personellerden birtakım yetkinlikler ve/veya özellikler beklenir. Üretim sektöründe hizmet sektörüne nazaran daha özel yetkinlikler beklenmesi olasıdır. Üretim sektöründeki bir firma için üretim sürekliliği hayati derecede önemlidir. Taleplerin karşılanabilmesi, müşterinin memnun olması için süreklilik ilk şartlardan birisidir. Üretimin verimli ve kaliteli bir şekilde sürekli hale gelmesi birçok etkene bağlıdır. Personel performansı, özellikle üretim operasyonlarında görev alan personellerin çalışma şartları, üretimin temin edildiği şekilde ve sürede gerçekleşmesi için eldeki en büyük kaynaklardan bir tanesidir. Bu durumda söz konusu kaynağın kullanılması ve planlanması aşamasında bilimsel yöntemlere başvurulması bir gerekliliktir.

Personel atama ve çizelgeleme problemleri optimal sonuç veren çeşitli matematiksel modeller ile veya sezgisel algoritmalar, simülasyon yöntemleri ile çözülebilmektedir. Literatürde en çok kullanılan yöntemlerden bir tanesi karma tamsayılı doğrusal programlama yöntemidir (Özder vd., 2020a). Bir matematiksel modelleme yöntemi olan bu yaklaşımda, istenilen durumlar modele matematiksel olarak ifade edilerek optimal sonuca ulaşılır. Kuruluşlar faaliyet gösterdikleri sektöre bağlı olarak,

alışanlarından farklı nitelikler bekleyebilir. Çalışma planı oluşturulurken personellerin niteliklerinin de göz önünde bulundurulması, operasyonların sürdürülebilirliğine ve kalitesine olumlu etki edecektir. Bu aşamada personellerden beklenen niteliklerin kombine bir şekilde ele alınması daha kapsayıcı ve etkili olacaktır. Ancak gerçek hayat problemlerinde genellikle niteliklerin hepsi birbirine eşit önemde değildir. Dolayısıyla personellerin birden fazla ve farklı değerde nitelikler üzerinden değerlendirilerek önceliklendirilmesi problemi ortaya çıkmaktadır. Literatürde bu durumlar için en çok kullanılan yöntemlerden bir tanesi çok kriterli karar verme yöntemleridir. Çok kriterli karar verme yöntemleri ile alternatifler (personeller) birden fazla kriter (nitelik/yetkinlik) değerlendirilerek önceliklendirilir. Çok kriterli karar verme yöntemleri bu tip problemler için uygundur.

Bu tezde dünyanın çeşitli ülkelerine ihracat yapan oldukça büyük bir kuruluşun bünyesinde bulunan Taşlama-Montaj Müdürlüğünde (TMM) görev yapan mavi yakalı personellerin çalışma planı için bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Ayrıca güncel veriler kullanılarak çeşitli senaryolar içeren 6 farklı problemin çözümüne yer verilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Çalışma planlarında amaç ve durumlar TMM'nin isteği doğrultusunda şekillenmiştir. Öncelikli amaç personellerin atandığı toplam vardiya, toplam akşam vardiyası ve toplam gece vardiyalarının mümkün olduğunca eşit olmasıdır. Problem 1 sadece bu amaca yöneliktir. Problem 1'de mevcut durumda el ile haftalık olan yapılan çalışma planı karma tamsayısı doğrusal programlama kullanılarak aylık olarak yapılmıştır. Problem 2'de mevcut birim talepleri ve çalışma kısıtları dikkate alınarak diğer bir ifadeyle birim operasyonlarının yürütülebilmesi için gerekli en az personel sayısının tespiti önceliklendirilmiş hedef programlama yöntemi ile yapılmıştır. Ardından elde edilen sonuç ile problem 1'de kullanılan amaç doğrultusunda çalışma planı oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında, farklı girdilere cevap verecek bir karar destek sistemi geliştirilmiştir dolayısıyla sistemin farklı girdi verilerine cevap vermesi beklenmektedir. Problem 3'te personellerin uygulama alanı içerisinde hangi birimde çalışmak istediklerine dair talepleri toplanmış ve modele dahil edilmiştir. Bu problemde 2 farklı senaryo sonuçları incelenmiştir. İlk senaryoda personellerin vardiyalara adil bir şekilde atanmaları amacı birincil amaç olarak değerlendirilirken, ikinci senaryoda personel bölüm taleplerinin mümkün olduğunca karşılanması birincil amaç olarak değerlendirilmiştir. Problem 4'te problem 3'e ek

olarak personellerden haftanın hangi günü izinli olmak istediklerine dair talepler alınmıştır. Personellerin sosyal hayatlarının daha düzenli olması amaçlanmıştır. Böylece personel memnuniyeti artırılabilecektir. Bu problemde öncelikli amaç vardiyaların personellere mümkün olduğunca eşit bir şekilde dağıtılmasıdır. Personel bölüm ve izin günü taleplerinin mümkün olduğunca karşılanması ise ikincil amaç olarak belirlenmiştir. Problem 5'te bölümlerin personel ihtiyacı kısıtı esnetilmiştir. Böylece sistem gerektiği durumlarda dışarıdan ilave personel alımına açılmıştır. Taleplerin değişebileceği veya çeşitli nedenlerle personel kaybı gibi durumlarda sistemin sürdürülebilir bir şekilde çalışması için bu problem ele alınmıştır. Problem 6'da çalışma planına personellerin altı adet kriter altında puanları dahil edilmiştir. Bu problemde öncelikle personelle ait kriterlere ve personellerin bu kriterler özelinde puanlarına çok kriterli karar verme yöntemleri uygulanmış ve personellere ait tek bir yetkinlik puanı elde edilmiştir. Daha sonra bu puanlar modele dahil edilerek vardiyalara atanan personellerin ortalama yetkinlik puanlarının mümkün olduğunca eşitlenmesi amaçlanmıştır. Sistem sürdürülebilirliğinin belirli bir kalitede sağlanması amaçlanmıştır. Puanı düşük olan personeller puanı fazla olan personeller ile aynı vardiyaya atanmaları sağlanmıştır. Böylece beklenmedik olumsuz gelişmelere aksiyon alabilecek yetkinlikte personeller her zaman çalışıyor olacaktır. Bu problem 2 senaryoya sahiptir. İlk senaryoda vardiyaların personellere adil bir şekilde dağıtılması amacı öncelikli olarak, ikinci senaryoda ise atama sonrası vardiyalarda oluşan ortalama yetkinlik puanlarının mümkün olduğunca eşitlenmesi hedefi öncelikli olarak belirlenmiştir. İki senaryonun sonuçları karşılaştırılmıştır.

Tez altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde; çalışmanın konusu, önemi, amaçları ve içeriği ile ilgili genel bilgiler sunulmuştur. Çalışmaya ilişkin yöntemlerden genel olarak bahsedilmiştir.

İkinci bölümde, personel atama ve çizelgeleme konusunda detaylı bilgiler verilmiştir. Uygulamanın yapıldığı yer ile ilgili bilgiler de bu bölümde sunulmuştur. Personellerin kuruluşun operasyonel faaliyetleri açısından önemi vurgulanmıştır.

Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan yöntemler ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir. Yöntemlerin uygulama aşamaları adım adım gösterilmiştir. Bölümde yer verilen

yöntemler; AHS, TOPSIS, Karma tamsayılı doğrusal programlama ve önceliklendirilmiş hedef programlamadır.

Dördüncü bölümde literatürde bulunan çalışmalar incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Bu çalışmalara ait özet tablo bu bölümde sunulmuştur. Ek olarak bu tez çalışmasının literatüre katkılarından bahsedilmiştir.

Beşinci bölüm olan uygulama bölümünde ise bu başlık altında genel olarak bahsedilen altı adet problemin çözüm süreçleri ve sonuçları incelenmiştir. Öncelikle problemlerden bahsedilmiş daha sonra çözüm adımları ele alınmıştır. Son olarak ise sonuçlar sunulmuştur. Ayrıca tasarlanan sistem ile ilgili bilgiler görsel destekler ile verilmiştir.

Nihai bölüm olan altıncı bölümde çalışmanın sonuçları, elde edilen bulgular ortaya konulmuştur. Çalışmanın literatüre sağladığı katkılardan bahsedilmiştir. Gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. PERSONEL ATAMA VE ÇİZELGELEME

Personel çizelgeleme kavramı genel olarak iki ana başlıkta incelenebilir. Bunlar; üretim sektöründe personel çizelgeleme ve hizmet sektöründe personel çizelgelemedir (Özder, 2020). Sektörden bağımsız olarak bir kuruluş için en önemli kaynaklardan bir tanesi iş gücü kaynağıdır. Üretime yönelik operasyonların veya sunulması planlanan hizmetlerin her aşamasında personeller etkin rol oynar. Beklentilerin karşılanması noktasında, personellerin oldukça büyük rolü vardır. Bu önemli kaynağın süreç içerisinde plansız olarak değerlendirilmesi düşünülemez. Personel için çalışma planı hazırlanması beraberinde göz önünde bulundurulması gereken durumlar ve koşullar getirir. Bu özelliği nedeni ile karmaşık bir problemdir. Karmaşıklığı ve önemi düşünüldüğü zaman bu problem çözümünde bilimsel yöntemlerin kullanılması elzemdir.

Personel çizelgeleme sürecinin uygulama alanları geniştir. Personellerin görev yaptığı herhangi bir alanda uygulanabilir. Genel olarak uygulama alanları şu şekildedir: Ulaşım sistemleri, Çağrı merkezleri, Sağlık hizmeti sistemleri, Koruma ve acil servis sistemleri, Kamu hizmetleri sistemleri, Buluşma yeri sistemleri, Finansal sistemler, Otelcilik ve turizm sistemleri, Perakende ve Üretim sistemleri. Ulaşım sistemlerinde yürütülen bu operasyonlar genel olarak ekip çizelgeleme olarak bilinmektedir. Sağlık hizmeti sistemleri içerisinde değerlendirilen hemşire çizelgeleme problemleri bu alanda literatürde en fazla çalışılan problemlerdendir. Koruma ve acil servis sistemleri polis, ambulans, itfaiye ve güvenlik servislerini kapsamaktadır. Bunlar uygulamanın yürütüldüğü ve yürütülebileceği önemli alanlardır. Buluşma yeri sistemleri içerisinde havaalanları, kargo terminalleri, tren istasyonları, spor organizasyonları gibi alanlar dahil edilebilir. Bu alanlar belirli hizmetleri bekleyen kalabalık grupları ağırladığı için operasyonları yürütecek personellerin planlanması önemlidir (Ernst vd., 2004).

Üretim sektöründe müşteri memnuniyeti oldukça önemlidir. Müşteri memnuniyetinin sağlanabilmesi için taahhüt edilen ürünler sınırlı zaman içerisinde üretilmeli ve teslim edilmelidir. Aksi takdirde müşteri alternatif arayışına girecektir. Bu da büyük olasılıkla müşteri kaybına yol açacaktır. Ürünlerin istenen kalitede ve istenen zamanda hazır

halde bulunmaları gerekmektedir. Bunu sağlamak için eldeki tüm kaynakları etkin ve planlı kullanmak gerekmektedir. Üretim sürecindeki en önemli kaynaklardan bir tanesi iş gücüdür. İş gücünü etkin kullanmak planlanan üretim sürecinin başarılı bir şekilde sürdürülmesi için gerekliliktir. İş gücünü etkin kullanmak personellerin doğru işlere atanmaları, iş yüklerinin sağlıklı çalışma ortamını engellemeyecek şekilde pay edilmesi ile mümkündür. Personellerin memnun olacağı bir çalışma planı hazırlamak öncelikli amaçtır. Bu amaç doğrultusunda personellerin işlere ve vardiyalara adil bir şekilde atanmaları oldukça önemlidir. Vardiya tiplerine göre de adil bir atama yapmak personellerin memnuniyetini artıracaktır. Gece vardiyasında çalışmak sabah vardiyasına göre daha zor olabilir özellikle personelin sosyal hayatı açısından hem fiziksel hem psikolojik daha zor olabilir. Bu durumda vardiyaların sayılarına ve tiplerine göre adaletli dağıtılması gerekmektedir. Personel memnuniyetini ve performansını artırmak için adil iş dağılımının dışında personel isteklerinin göz önünde bulundurulması, personellerin yetkinliklerine göre atanmaları gibi operasyonlar da yapılabilir.

2.1. Personel Atama ve Çizelgeleme Problemlerinin Genel Amaçları

Personeller için çalışma planı oluşturulması öncelikli olarak eldeki iş gücünün etkin kullanılması amacı ile yürütülür. Personeller her türlü operasyonlarda etkin rol oynamaktadır. Bu nedenle plansız ve düzensiz bir personel çalışma sistemi düşünülemez. Hizmetlerin devam etmesi, taleplerin karşılanması için iş gücü kaynağı etkin ve planlı bir şekilde kullanılmalıdır. Personel atama ve çizelgeleme çalışmalarında; personel kaynaklı maliyetleri azaltma, işlerin dengeli bir şekilde personellere dağıtılması, personel taleplerinin karşılanması, personellerin yetkin oldukları işlere atanmaları gibi amaçlar vardır. Amaçların geneli personellerin çalışma şartlarını iyileştirmek ve personel memnuniyetini sağlamak üzerinedir.

Üretim sektöründe kuruluşlar ellerinde aylar sonra teslim edilmesi gereken talepler bulundurabilir. Bu taleplerin istenilen kalitede ve zamanda teslim edilmesi için bir çalışma planı yapılması gerekmektedir. Hangi personelin ne zaman, hangi işte, hangi vardiyada çalışacağı, işlere ve personellere göre birçok etkene bağlı olabilir. Problemin

içerdiği parametreler düşünüldüğünde, karmaşıklığını ve hacmini anlamak mümkündür. Bu sorulara cevap vermek için bilimsel yöntemler kullanmak elzemdir. Uygulama dönemi boyunca toplam atanması gereken pozisyon, personellere mümkün olduğunca eşit dağıtılmalıdır. Personel motivasyonu ve sağlıklı çalışma koşulları gereğince mevcut işlerin adil dağıtımı önemlidir.

2.2. Personel Atama ve Çizelgeleme Problemlerinin Genel Kısıtları

Kuruluşların elindeki iş gücü kaynağı diğer kaynaklar gibi sınırlıdır. Dolayısıyla en temel kısıt kullanım kısıtıdır. Personel kaynağı kullanımı makineler ile karşılaştırıldığında daha kısıtlıdır. Bir makine bir gün boyunca çalıştırılabilirken bir personel çalıştırılmaz bu yüzden kuruluşlar vardiya sistemi ile çalışmaktadır. Bir personelin bir gün içerisinde çalışabileceği vardiya sayısı en fazla bir tanedir. Gece vardiyasında çalışan bir personelin bir sonraki günün gece vardiyasından önce çalışması fiziksel şartlar ve sosyal hayat bakımından personel için iyi bir sistem değildir. Personelin haftanın her günü çalışması beklenemez, haftada en az bir gün izinli olmak zorundadır. Bu zorunluluk yasalar ile de korunmaktadır. Bu kısıtlar kaynak kullanım kısıtı olarak değerlendirilebilir.

Kuruluş içerisindeki operasyonların yürütülebilmesi için her vardiyaya ve varsa bölümlere belirli sayıda personelin atanması gerekmektedir. Personel ihtiyacının karşılanması sistemin sürdürülebilirliği açısından oldukça önemlidir. İhtiyaç değerinin belirlenmesi hassas bir işlemdir. Gereğinden fazla personel fazla maliyete gereğinden az personel ise işlerin aksamasına neden olabilir. Personel kaynaklı maliyetler kuruluşlar için en büyük giderlerdendir. Dolayısıyla fazladan istihdam edilen veya olması gerekenden az personel ile operasyonları sürdürmek büyük zararlara yol açabilir.

Personel memnuniyeti ile performansı doğru orantılıdır. Personeli memnun edecek bir çalışma planı hazırlamak öncelikli amaçlardandır. Bu doğrultuda bazı personel taleplerinin göz önünde bulundurulduğu bir çalışma planı personel memnuniyetine olumlu etki edecektir. Personelin istemediği bir bölüme atanması veya istemediği bir

günde çalışması performans düşüklüğüne sebep olacaktır. Bu gibi taleplerin mümkün olduğunca karşılanması sürece olumlu bir şekilde yansıtacaktır.

Sektörden bağımsız olarak kuruluşlarda görevli personeller farklı kıdem seviyesindedirler. Üst kıdemde bulunan personeller alt kıdemdekilerden sorumludurlar. Dolayısıyla çalışma planı sürecinde üst kıdemdeki personellerin aynı vardiyalara atanması istenmeyen bir durumdur. Alt kıdem personeller operasyonlarını yönetecek ve denetleyecek bir üstleri ile aynı vardiyada çalışmalıdırlar.

2.3. Personel Atama ve Çizelgeleme Problemleri Çözüm Yaklaşımları

Personel atama ve çizelgeleme problemleri birtakım yaklaşımlarla çözülebilmektedir. En bilinen yöntemler; matematiksel programlama, sezgisel algoritmalar ve simülasyon şeklindedir. Optimal sonuç alınabilecek yöntemler en çok tercih edilen yaklaşımlardır. Bunlar genel olarak; (karma) tamsayılı programlama, hedef programlama, doğrusal programlama, sütun türetme yöntemi şeklindedir. Personel atama ve çizelgeleme problemleri gereken personel sayısı, mevcut vardiya düzeni, çalışma günleri gibi veriler ışığında şekillenen bir problemdir. Hedef programlama yöntemi optimal sonuç vermesi ile ve verilerin kolaylıkla yönteme dahil edilmesiyle en kullanışlı yöntemlerden bir tanesidir. Bu yöntemde amaçlar ve kısıtlar matematiksel olarak ifade edilerek bir model kurulur daha sonra bir çözücü ortamında çözülür. Personel atama ve çizelgeleme modelleri içerdiği parametreler dolayısıyla büyük çaplı modellerdir. Dolayısıyla çözüm süresi uzun olabilir. Bu durumda bazı ayrışma yöntemleri kullanılarak optimal sonuca daha kısa sürede ulaşılabilir.

2.4. Personel Atama ve Çizelgeleme Problemleri Model Yapıları

Günümüzde personel çizelgeleme modelleri de geçmişe kıyasla gelişmiş ve birçok yeni parametreyi çözüm sürecine dahil etmiştir. Örneğin 1950’li yıllarda Dantzig ileri sürdüğü problem yapısı sadece personel ihtiyaçlarının karşılanmasına yöneliktir. Günümüzde rekabetin de artmasıyla personel memnuniyeti ve performans ölçütü daha önemli hale gelmiştir. Bu da modellere ilave parametrelerin dahil edilmesine neden

olmuştur. Kuruluşlar çalışma planına personel taleplerini de artık dahil etmeye başlamışlardır. Personelin çalışmak istediği birim talebi, haftalık izin günü talebi, aynı vardiyayı paylaşmak istediği meslektaşları gibi talepler modellere dahil edilebilmektedir. Kuruluşlar çalışma planlarını sadece tam zamanlı personelleri ile sınırlı tutmayabilir. Çalışma planlarına yarı zamanlı veya fason çalışan dahil edebilmektedir. Personel atama ve çizelgeleme çalışmalarını tanımlamak için kullanılan bazı sınıflandırmalar şu şekildedir (Causmaecker vd., 2004):

Kalıcı merkezli çizelgeleme: Polis merkezi, Hastane, İtfaiye vb.

Değişken merkezli çizelgeleme: Dağıtım/Depo, Hazır gıda sipariş, Çağrı merkezi vb.

Hareketli merkezli çizelgeleme: Taşımacılık, Havayolu, Demiryolu çizelgeleme vb.

3. KULLANILAN YÖNTEMLER

Personel atama ve çizelgeleme problemleri çeşitli matematiksel modellemeler ve algoritmalar ile çözülebilir. Hedef programlama, doğrusal programlama, (karma) tamsayılı programlama ve genetik algoritma gibi yöntemler ile personel atama ve çizelgeleme problemlerine çözüm sunulabilmektedir. Bu yöntemler çeşitli metotlar kullanılarak elde edilen verilerle zenginleştirilebilmektedir. Böylece söz konusu yöntemler kullanılarak daha sonuç odaklı ve özelleştirilmiş sonuçlar elde edilebilir. Bu çalışmada üç farklı yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemler: AHS, TOPSIS, Karma tamsayılı ve Önceliklendirilmiş hedef programlamadır. AHS ve TOPSIS yöntemleri literatürde sıklıkla kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerindendir. Çalışma genel olarak iki bölüme ayrılabilir. İlk bölümde personellere ait, görev aldıkları operasyonlar için önemli olan kriterler altındaki puanlar tespit edilmiş ardından bu puanlar bilimsel yöntemler kullanılarak birleştirilerek tek bir puan haline getirilmiştir. İkinci bölümde ise personellerin atama ve çizelgeleme işlemi yapılmış ve bu sürece ilk bölümden elde edilen veriler dahil edilmiştir.

3.1. Çok Kriterli Karar Verme

Karar verme günlük hayatımızda sıklıkla karşılaşma durumunda kaldığımız bir süreçtir. Hayatımızı etkileyecek bir karar almadan önce birçok etkeni göz önünde bulundurarak bir değerlendirme yaparız. Üstelik genel olarak göz önünde bulundurulan etkenler eşit öneme sahip değildir. Dolayısıyla o etkenleri de (birbirleri ile) değerlendirmek durumunda kalınması bu süreçte oldukça olağandır. Tıpkı günlük hayatta olduğu gibi, kuruluşlar da sektörlerinden ve hacimlerinden bağımsız olarak birçok karar verme durumunda kalırlar. Fabrika kuruluş bölgesi, fabrika içi yerleşim, reklam yönetimi, iş gücü planlama vizyonu gibi, uzun veya kısa dönemde oldukça etkileyici olabilecek kararlar kuruluşlar tarafından değerlendirilmek durumunda kalır. Kuruluşlar için önemli olan kararlar önemleri ve karmaşıklıkları bakımından, karar vericileri bilimsel yöntemler kullanma durumunda bırakır. Karar vericilerin birden fazla kriteri değerlendirmek durumunda kaldığı durumlar için geliştirilmiş yöntemler, literatürde çok kriterli karar verme yöntemleri olarak adlandırılmaktadır. Bu

yöntemlerden en yaygın kullanılanlar şu şekildedir: AHS, AAS (Analitik Ağ Süreci), PROMETHEE, TOPSIS, VIKOR ve ELECTRE.

Bu çalışmada öncelikle personellere ait birim içi operasyonlar için önemli olan kriterler belirlenmiş daha sonra bu kriterler AHS yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Daha sonra bu ağırlıklar ve personellerin söz konusu kriterler özelindeki puanları TOPSIS yöntemi ile değerlendirilerek kombine edilmiş ve tek bir yetkinlik puanı her bir personel için elde edilmiştir. Elde edilen bu puanlar önceliklendirilmiş hedef programlama modeline dahil edilerek kullanılmıştır.

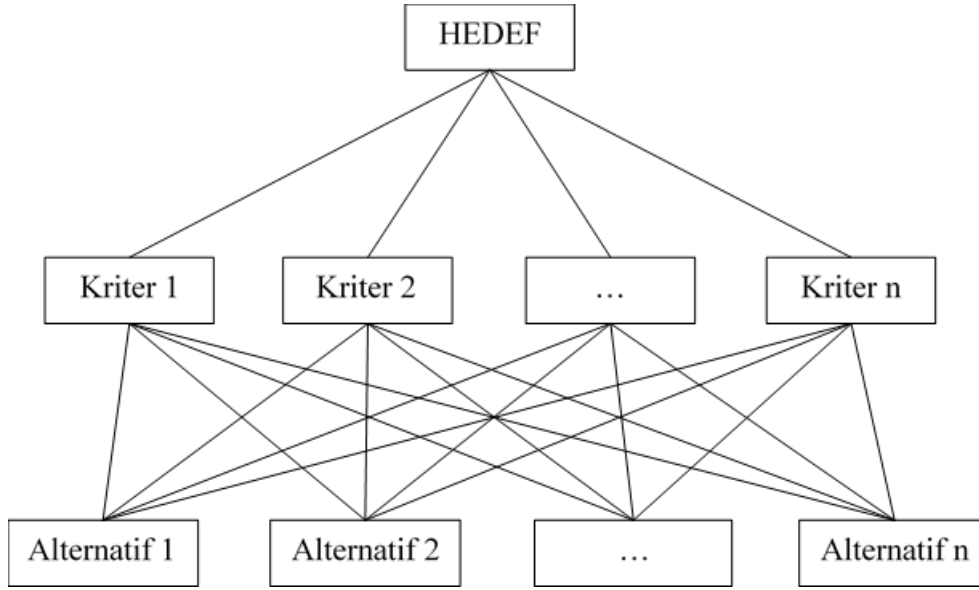
3.1.1 AHS Yöntemi

AHS yöntemi 1977 yılında Saaty tarafından ortaya çıkarılan çok kriterli karar verme yöntemidir. Yöntem temel olarak alternatifler arasında seçim yapmayı sağlamaktadır. Bu seçim birden fazla kriterler özelinde şekillenmektedir. Ek olarak, kriterler birbirleri ile karşılaştırılmaları sonucu bulunan ağırlıklara sahiptir. Bu da yöntemde bir derinlik kazandırmaktadır.

AHS; özellikle karmaşık karar verme durumlarında , değerlendirme sürecine etki eden birden fazla etken olduğunda, problemi hiyerarşik yapısı sayesinde görselleştirmesi dolayısı ile anlaşılır bir konumdadır (Bedir ve Eren, 2015).

AHS Yöntem adımları aşağıda anlatılmıştır (Saaty, 1980).

Adım 1: Hiyerarşik yapının oluşturulması: AHS yönteminin ilk adımı problemin amacını ve bu amaca uygun alternatif ve kriterlerin değerlendirilerek hiyerarşik yapının oluşturulmasıdır. Yöntemin genel hiyerarşik yapısı Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. AHS Genel Hiyerarşik Yapı

Adım 2: İkili karşılaştırma matrisinin (A) oluşturulması: AHS yönteminde kriterlerin birbirlerine göre ağırlıkları vardır. Kriterler eşit önemde değildir. Bu durum gerçek hayat problemlerine çok daha uygundur. A matrisi Çizelge 3.1’de sunulan önem skalasına göre oluşturulur. A matrisi, m kriter sayısı olmak üzere, $m \times m$ şeklinde bir kare matristir. A matrisinin elemanı a_{ij} i kriterinin j kriterine olan önem durumunun gösterimidir. Burada $a_{ij} > 1$ olması durumu, i kriterinin j kriterinden daha önemli olmasını temsil eder. A, kare bir matris olmasından dolayı a_{ji} gösterimine de sahiptir. Bu iki gösterim arasındaki bağıntı Eşitlik 3.1’de verilmiştir. A matrisinin kapalı gösterimi; $A=[a_{ij}]_{m \times m}$ şeklindedir.

$$a_{ij} = 1/a_{ji} \quad (3.1)$$

Çizelge 3.1. İkili Karşılaştırma Önem Skalası

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

Adım 2: Normalizasyon işlemi yapılması: Karşılaştırılan kriterlerin denk olarak değerlendirilebilmesi için normalize işlemi gerçekleştirilerek, normalize matrisi (B) oluşturulur. Normalize matrisi $B = [b_{ij}]_{m \times m}$ şeklinde kapalı forma sahiptir. Bu matris Eşitlik 3.2 kullanılarak oluşturulur.

$$b_{ij} = a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad (3.2)$$

Adım 3: Öz vektör (W), Sütun vektörü (D) ve Temel değer (E) hesaplanması: Bu matrisler (W,D ve E) $1 \times m$ şeklinde matrislerdir. Kriter ağırlıklarını W matrisi temsil eder. Diğer matrisler bir sonraki adım olan tutarlılık oranının tespiti için kullanılır. Kriter ağırlıklarını ifade eden W matrisi Eşitlik 3.3 sayesinde bulunur.

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{m} \quad (3.3)$$

D ve E matrisleri sırası ile Eşitlik 3.4 ve 3.5 kullanılarak elde edilir. Bu veriler bir sonraki adım olan tutarlılık oranının hesaplanmasında kullanılacaktır.

$$D_i = w * [a_{ij}]_{1 \times n} \quad (3.4)$$

$$E_i = D_i / W_i \quad (3.5)$$

Adım 4: Tutarlılık oranının (CR) hesabı: Tutarlılık oranı için sırasıyla en büyük öz değer (λ) ve tutarlılık göstergesi (CI) hesaplanır. Bu hesaplamalar için sırasıyla Eşitlik 3.6 ve 3.7 kullanılır.

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{m} \quad (3.6)$$

$$CI = \frac{\lambda - m}{m - 1} \quad (3.7)$$

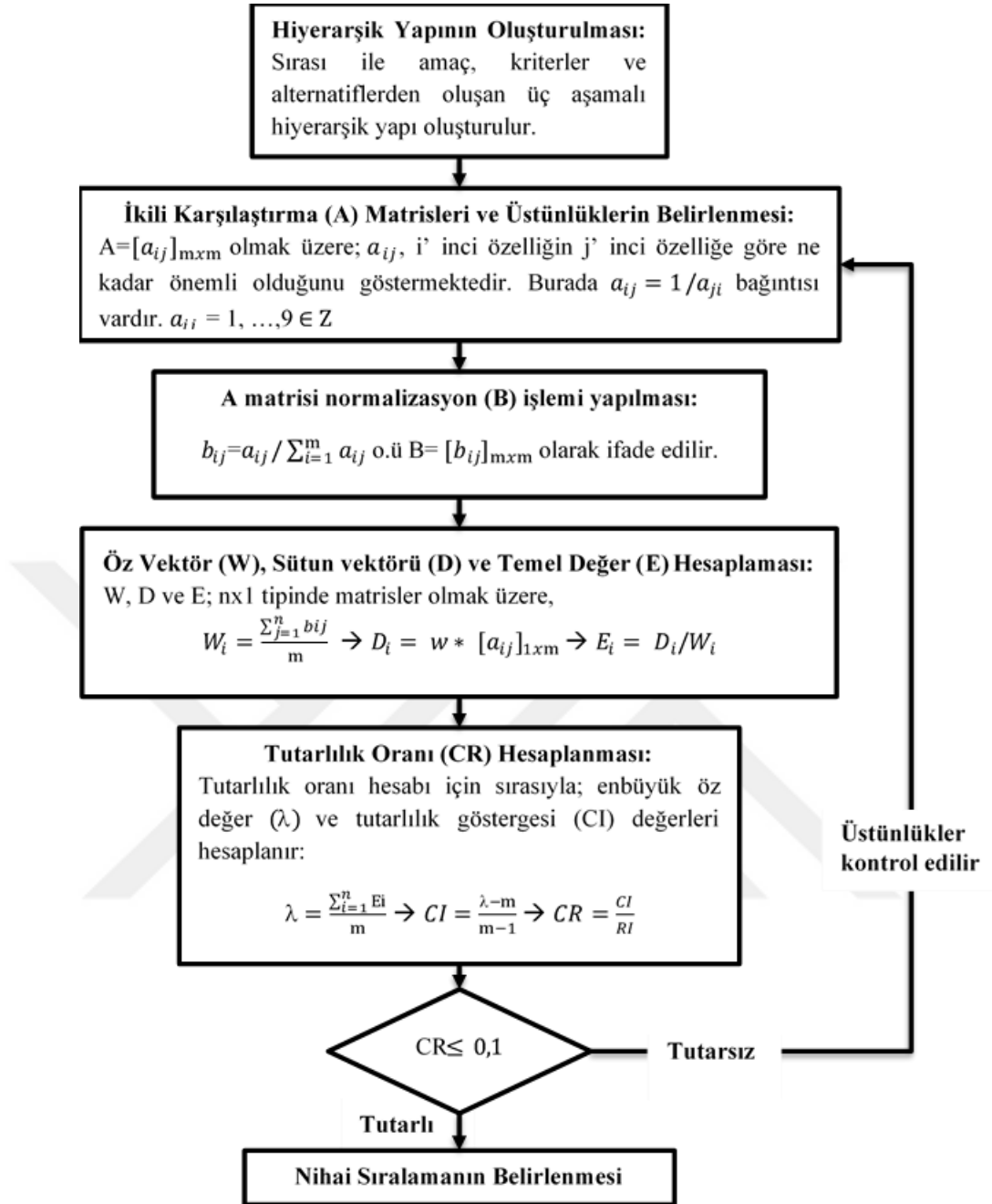
Daha sonra CR değeri için CI değeri rassallık indeksine (RI) bölünür. Bu işlem Eşitlik 3.8'de gösterilmiştir. RI değerleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Rassallık İndeks Değerleri

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

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.8)$$

Burada CR değerinin 0,1'den küçük olması durumunda yapılan karşılaştırmalar ve işlemler tutarlıdır yorumu yapılır. AHS yönteminin akış şeması Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. AHS Yöntemi Akış Şeması

3.1.2 TOPSIS Yöntemi

TOPSIS puanlamaya yönelik çok kriterli karar verme yöntemidir. Bu yönüyle AHS'den farklılık göstermektedir. AHS karşılaştırmaya yönelik bir yöntemdir. TOPSIS, alternatiflerin (m) kriterler (n) özelinde puanlanması ile süreci başlatan bir yöntemdir.

TOPSIS mantığına göre, alternatifler arasından pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak olanı seçilir (Hwang ve Yoon, 1981).

TOPSIS uygulama adımları aşağıda gösterilmiştir.

Adım 1: Karar matrisinin (A) oluşturulması: Satırların alternatiflerden, sütunların ise kriterlerden oluştuğu bir matristir. Matris değerleri ise alternatiflerin kriter puanlarından oluşur. Matrisin kapalı formu $A=[a_{ij}]_{m \times n}$ şeklindedir.

Adım 2: Standart karar matrisinin (R) oluşturulması: Eşitlik 3.9 yardımı ile A matrisi R matrisine dönüştürülür. R matrisinin kapalı formu $[r_{ij}]_{m \times n}$ şeklindedir.

$$r_{ij}=a_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2} \quad (3.9)$$

Adım 3: Ağırlıklı standart karar matrisinin (V) oluşturulması: R matrisi ile kriterlerin ağırlıkları arasında Eşitlik 3.10 formülü kullanılarak söz konusu matris oluşturulur. Matris $[v_{ij}]_{m \times n}$ kapalı formuna sahiptir. Kriter ağırlıkları AHS yönteminden elde edilmiştir. Eğer istenirse farklı kriter ağırlıkları da kullanılabilir.

$$v_{ij} = w_i * r_{ij} \quad (3.10)$$

Adım 4: İdeal (A^+) ve Negatif ideal (A^-) çözümlerin oluşturulması: Söz konusu çözümler sırası ile Eşitlik 3.11 ve 3.12 kullanılarak saptanır.

$$A^+ = \text{enb}([v_{ij}]_{m \times 1}) \quad (3.11)$$

$$A^- = \text{enk}([v_{ij}]_{m \times 1}) \quad (3.12)$$

Adım 5: Ayrım ölçütlerinin hesaplanması (S^+ , S^-): Amaç her bir karar noktasına ilişkin değerlendirme kriter değerinin ideal ve negatif ideal çözüm setinden sapmalarını bulmaktır. Eşitlik 3.13 ve 3.14 sayesinde sırasıyla tespit edilir.

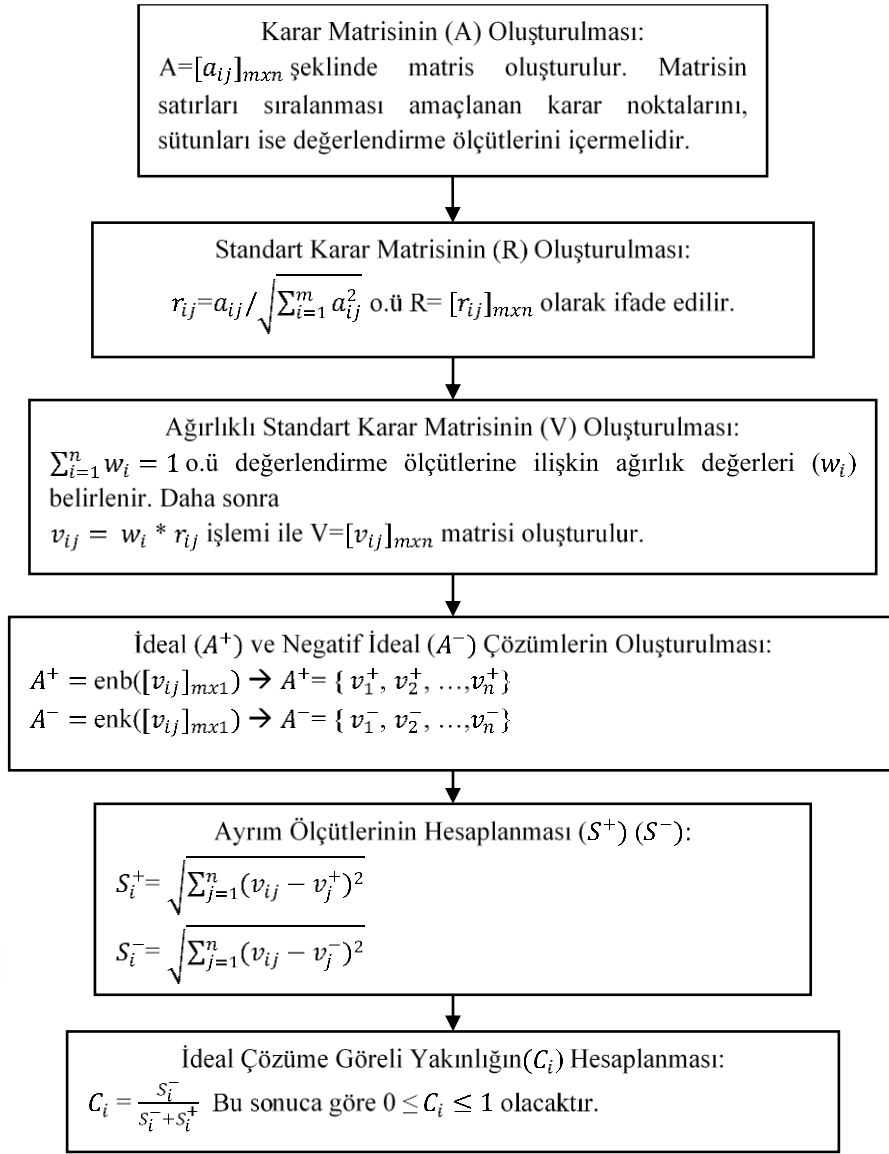
$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (3.13)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (3.14)$$

Adım 6: İdeal çözüme görelî yakınlığın (C_i) hesaplanması: Eşitlik 3.15 yardımıyla ayrım ölçütleri kullanılarak ideal çözüme görelî yakınlık hesaplanmaktadır. Burada $0 \leq C_i \leq 1$ şartının sağlandığından emin olunmalıdır.

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (3.15)$$

TOPSIS yöntemi akış şeması Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. TOPSIS Yöntemi Akış Şeması

3.2. Karma Tamsayı Doğrusal Programlama

Karma tamsayılı doğrusal programlama karmaşık organizasyonların operasyonel etkinliklerini optimize etmek için başarılı bir şekilde kullanılabilir. Özellikle karar verme veya atama gibi 1 veya 0 olarak adlandırılan kararların, çeşitli verileri de göz önünde bulundurarak, alınması noktasında başarılı şekilde kullanılabilmektedir. Operasyonel karar verme aşamasında talep, kapasite veya kritik sektör kısıtlarını da göz önünde bulundurması ile sıklıkla kullanılan bir matematiksel karar verme yöntemidir. Personel atama ve çizelgeleme çalışmaları özünde bir 0-1 karar verme

problemleridir. Personelin belirli bir günde belirli bir vardiyada belirli bir bölüme atanıp atanmayacağı kararı bir 0-1 karar problemidir. Gerçek hayat problemleri bundan daha karmaşıktır. Bir personelin herhangi bir vardiyaya belirli bir günde atanıp atanmaması durumunu etkileyen bazı kısıtlar vardır. Bu kısıtlar, personelin haftalık yasal çalışma kapasitesi veya atanma kararının alınmak üzere olduğu bölümün personel talebi gibi veriler personelin durumunu doğrudan etkilemektedir. Sonuç olarak bu ve bu gibi problemlerin çözümünde karma tamsayılı doğrusal programlama son derece elverişlidir. Çeşitli verilerin model yapısına kolaylıkla uyum sağlaması bu yaklaşımın popüler olarak kullanılmasına katkı sağlamıştır. Günümüzün popüler alanlarından birisi olan “veri bilimi” ile uyumlu çalışması bu matematiksel yaklaşımı daha da kullanışlı hale getirmiştir.

3.3. Önceliklendirilmiş Hedef Programlama

Gerçek hayat problemleri karmaşıktır. Örneğin bir üretim planlama modelinde hem karın en çoklanması istenir hem de gecikmelerin en azlanması. Gerçek hayat problemleri üzerine çalışırken genel olarak birden çok amacın sağlanması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Hedef programlama iki tür yaklaşıma sahiptir. Birincisi ağırlıklandırılmış hedef programlama diğeri ise önceliklendirilmiş hedef programlamadır. Ağırlıklandırılmış hedef programlamada amaçların katsayıları o amacın ağırlığını ifade eder. Önceliklendirilmiş hedef programlama ortamında ise birincil amaç öncelikle çözülür, daha sonra bu amaç fonksiyonu çözüm sonucuna eşitlenerek modele kısıt olarak dahil edilir. Yeni kısıtın eklendiği model ikincil amacı çözmeye devam eder. Yöntemin genel formülasyonu aşağıda gösterilmiştir.

Karar değişkenleri:

x_i : i. karar değişkeni

Parametreler:

a_{ij} : 1 hedefin j. karar değişkeni katsayısı

b_i : 1 hedef için ulaşılmaması istenen değer

Sapma değişkenleri:

d_i^+ : 1. hedefin pozitif sapma değeri

d_i^- : 1. hedefin negatif sapma değeri

e_i^+ : 2. hedefin pozitif sapma değeri

e_i^- : 2. hedefin negatif sapma değeri

Önceliklendirilmiş amaç fonksiyonu gösteriminde amaç katsayısı olarak P_i ifadesi yer alır. Bu ifade amacın önceliğini belirtmektedir. P_1 katsayılı fonksiyon P_2 katsayılı fonksiyondan daha önce çözülür. Önceliklendirilmiş hedef programlamada P_i ifadesi amacın öncelik sırasını belirtmektedir. Öncelikli olan amaç fonksiyonu çözülür daha sonra önceliği daha az olan amaç fonksiyon çözümündeki modele kısıt olarak eklenir. Önceliklendirme $P_1 \gg P_2 \geq P_3 \geq \dots \geq P_n$ şeklinde matematiksel olarak ifade edilir.

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^m P_i (d_i^+ + d_i^-) + P_2 (e_i^+ + e_i^-) + \dots \quad (3.16)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + d_i^- - d_i^+ = b_i \quad (3.17)$$

$$d_i^+ * d_i^- = 0 \quad (3.18)$$

$$x_j, d_i^+, d_i^-, e_i^+, e_i^- \geq 0 \quad (3.19)$$

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

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Personel atama ve çizelgeleme problemleri uzun yıllardır çeşitli sektörlerde uygulanmaktadır. İş gücü gibi etkin bir kaynağın plansız kullanılmasının düşünülememesi çalışmaların yoğunluğunda etkilidir. Yapılan ilk çalışmalarda sadece personel-görev ataması yapılırken problemler zaman içerisinde daha karmaşık hale gelmiştir. Personel taleplerinin ve yetkinliklerinin göz önünde bulundurulduğu durumlar problem yapısını daha karmaşık hale getirmiştir (Çiloğlu, 2019). Personel giderleri kuruluşlar için büyük maliyetlerdendir. Dolayısıyla bu kaynağın oldukça etkin ve planlı bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Kuruluş operasyonlarında en etkin rol oynayan kaynaklardan olan iş gücü kaynağının planlı yönetilmesiyle hem istenen operasyonlar verimli şekilde yürütülür hem de bu kaynak için ayrılan maliyet azalır. Bu bölümde literatürde yer almakta olan benzer çalışmalar incelenmiştir.

Bard vd. (2004) çalışmalarında posta servislerinde tur çizelgeleme problemi üzerine çözüm yaklaşımı sunmuşlardır. Çözüm yaklaşımı olarak tamsayılı doğrusal bir model kurmuşlardır. Aickelin ve White (2004) çalışmaları iki adımdan oluşmaktadır. Öncelikle hemşire çizelgeleme problemi için tamsayılı modelleme formülasyonu ve evrimsel algoritmalar ile modelleyerek çözüm sunmak daha sonra diğer algoritmalar ile sonucu kıyaslamak. Corominas vd. (2004) çalışmalarında üretim işçileri için bir vardiya çizelgeleme yapmışlardır. Eitzen vd. (2004) çalışmalarında elektrik üretim santralinde personelleri becerileri doğrultusunda işlere atanması için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Azmat ve Widner (2004) çalışmalarında en az iş gücünü tespit etmek amacıyla üç aşamadan oluşan bir algoritma yaklaşımı sunmuşlardır. Yasal kısıtlar çerçevesinde haftalık talebin yerine getirilmesine yönelik bir sezgisel algoritma ile çalışmalarını tamamlamışlardır. Morton ve Popova (2004) çalışmalarını otomobil parça sektöründe boy gösteren bir kuruluş için gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada üretim operasyonları için önemli olan bir tezgâhın sürdürülebilir bir şekilde hizmet vermesi için görevli personellerin çizelgelemesi yapılmıştır. Laporte ve Pesant (2004) projelerinde tam zamanlı çalışan personellerin çizelgeleme problemleri için bir kısıt programlama yaklaşımı öne sürmüşlerdir.

Yaoyuenyong ve Nanthavani (2005) çalışmalarında operasyonların yürütülebilmesi için gerekli en az sayıda personel ile bir çalışma planı hazırlamışlardır. Personellerin günlük enerji limitlerini aşmayacaklarından emin olan bir model geliştirmişlerdir. Yunes vd. (2005) çalışmalarında bir algoritma ile tam sayılı programlama yöntemini kombine bir şekilde kullanarak bir firma için personel çizelgeleme sürecini yürütmüşlerdir. Abbink vd. (2005) çalışmalarında karmaşık bir matematiksel model kullanarak, demiryolu operatörlerinin çizelgeleme çalışmalarını yürütmüşlerdir. Uygulamaları hem sürücüleri hem de kondüktörleri mutlu etmek üzerine kurulmuştur. Zamanın etkin bir şekilde kullanılmasını ve verimliliğin artmasını çalışmaları sayesinde mümkün kılmışlardır. Azaiez ve Al Sharif (2005) çalışmalarını hemşire çizelgeleme problemi üzerine yürütmüşlerdir. Uygulamalarında 0-1 hedef programlama yöntemini kullanmışlardır.

Aickelin vd. (2006) sürücü çizelgeleme problemleri üzerine çalışmışlardır. Problemler üzerinde geliştirilmiş tekerlek optimizasyonu olarak bilinen bir yaklaşım sergilemişlerdir. Çalışmalarında bu tekniğin daha da geliştirilebilir olmasına yönelik sonuçlar elde ederek ileriki çalışmalar için öneri de bulunmuşlardır. Alfares (2006) çalışması genel tur çizelgeleme problemi yapısı içermektedir. Problem, çalışanların hem haftalık günlerini hem de günün saatlerini belirlemeyi hedeflemektedir. Problemin boyutundan dolayı optimal sonuca ulaşması kolay değildir. Yazarlar çalışmalarında 1990 yılından itibaren yayınlanan çalışmalarda kullanılan yöntemleri 10 kategoriye ayırmışlardır. Lezaun vd. (2006) çalışmalarında metro hattında görev alan personellerin iş gücü çizelgelemelerini tamsayılı programlama kullanarak yürütmüşlerdir. Topaloğlu (2006) çalışmasında sağlık personellerinin çizelgelenmesi problemini ele almıştır. Çözüm yaklaşımı olarak hedef programlama yöntemini kullanmıştır. Trilling vd. (2006) çalışmalarında hemşirelerin çizelgeleme problemini kısıt ve tamsayılı programlama kullanarak çözmüşlerdir. Techawiboonwong vd. (2006) çalışmalarında bir işletmede görevli personellerin çizelgeleme problemini karma tamsayılı programlama yöntemi ile yürütmüşlerdir. Personeller geçici ve sürekli olarak ikiye ayrılmaktadır.

Di Gaspero vd. (2007) çalışmalarında hemşirelerin en az atanmalarını amaçlayan metasezgisel bir algoritma yaklaşımı ile hemşire çizelgeleme süreci yürütmüşlerdir.

Akjiratikarlı vd. (2007) evde bakım görevlilerinin çizelgelenmesi üzerine bir çalışma yürütmüşlerdir. Çözüm yaklaşımı olarak metasezgisel bir yöntem olan parçacık sürü optimizasyonunu tercih etmişlerdir. Al-Yakoob ve Sherali (2007) çalışmalarında şirket tarafından belirlenen bazı özel tercihlerin de yer aldığı karma tamsayılı programlama kullanarak personel çizelgeleme sürecini yönetmişlerdir. Çalışanlar Kuveyt'te bulunan 86 noktaya atanmışlardır. Alfares (2007) çalışmasında tamsayılı programlama yöntemi kullanarak personel çizelgeleme planı yapmıştır. Bu plana göre personeller haftanın dört günü izin deyken diğer günler çalışacaktır. Personellerin çalışma sistemlerini düzenleyen bazı kısıtlar da modele dahil edilmiştir. Addou ve Soumis (2007) çalışmalarında personelden kaynaklı maliyetlerin en azlandığı bir çalışma planı yürütmüşlerdir. Çözüm için tamsayılı programlama modeli önermişlerdir.

Al-Yakoob ve Sherali (2008) çalışmalarında atama merkezlerine personel atamışlardır. Bu işlem esnasında çalışanların gün, vardiya atama merkezi taleplerini de göz önünde bulundurmuşlardır. Karma tamsayılı modellerde bu tip problemler çok fazla karar değişkeni içermektedir. Bu nedenle çözümü oldukça zordur, vakit alır. Yazarlar bu durum için başarılı şekilde bir sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Sütun oluşturma yöntemiyle modeli sürekli gevşeterek sonucun kolay bir şekilde bulunabileceğini göstermişlerdir. Noack ve Rose (2008) çalışmalarında bir montaj hattında verimliliği artırmak amacı ile simülasyon tabanlı iş gücü çizelgeleme planlaması yapmışlardır. Bhulai vd. (2008) çalışmalarında bir çağrı merkezinde görevli personellerin atamasını yapmışlardır. Amaç olarak maliyet en azlanması üzerine çalışmışlardır. Mohan (2008) çalışmasında yarı zamanlı görev yapan personellerin taleplerinin karşılanma amacını taşıyan bir 0-1 tamsayılı programlama modeli kurmuştur. Kabak vd. (2008) perakende sektöründe bir personel çizelgeleme çalışması yapmışlardır. Yarı zamanlı personeli ve personel maliyetini en azlamak amacıyla bir karma tamsayılı programlama modeli önermişlerdir.

Sabar vd. (2009) çalışmalarında doğrusal programlama modeli yöntemini kullanarak montaj hattında görevli personellerin çizelgeleme sürecini yönetmişlerdir. Maliyetleri ve personel memnuniyetsizliklerini en azlamak amacıyla çalışmalarını şekillendirmişlerdir. Hadwan ve Ayob (2009) çalışmalarında bir hastanede görevli hemşirelerin çizelgeleme çalışmalarını yürütmüşlerdir. Hemşire taleplerini anket yolu

ile toplayarak bu verileri de süreç boyunca göz önünde bulundurmuşlardır. Topaloğlu (2009) çalışmasında bir hastanede görevli hekimlerin vardiya çizelgeleme problemini ele almıştır. Personellerin kıdem durumlarını da modele dahil eden yazar yaklaşım olarak hedef programlama yöntemini kullanmıştır.

Carrasco (2010) çalışmasında bir hastanenin bir departmanında bulunan hekimlerin nöbet çizelgelemelerini oluşturmuştur. Yöntem olarak yapıcı sezgisel algoritmalarından kullanmıştır. Hertz vd. (2010) çalışmalarında yılın her günü ve her saati üretim yapan bir kuruluşun vardiya planlama problemini ele almışlardır. Yıllık olarak tasarlanan plan talebi karşılarken maliyetin en azlanmasını mümkün kılmaktadır. Erdoğan vd. (2010) çalışmalarında ambulans sürücülerinin çizelgelenmesi problemini ele almışlardır. Ambulans kapsama alanının en çoklanması amacıyla tabu arama algoritmasını kullanmışlardır.

Brucker vd. (2011) çalışmalarında bir hastanede görev alacak personel sayısını en azlamak için bir görev planlaması yürütmüşlerdir. Personel niteliklerini de modele dahil ederek belirli niteliğe sahip personellerin belirli görevlere atanmasını sağlamışlardır. Tamsayılı programlama yöntemi ile çalışmalarını yürütmüşlerdir. Hojati ve Patil (2011) yarı zamanlı personellerin toplam çalışma zamanlarını en azlamak amacı ile bir metasezgisel algoritma kullanmışlardır. Côté vd. (2011) çalışmalarında toplam maliyetin en azlamak amacıyla bir tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Brunner vd. (2011) çalışmalarında tamsayılı programlama ve sezgisel algoritma yöntemlerini anestezi personeli çizelgelemek için kullanmışlardır. İşçilik maliyetlerinin en azlanması çalışmanın amacıdır. Van Hecke (2011) çağrı merkezinde görevli personellerin çizelgeleme problemlerini tamsayılı programlama yöntemi ile çözmüştür.

Corominas vd. (2012) çalışmalarında üretim sektöründe görev alan personellerin çizelgeleme operasyonunu tamsayılı programlama yöntemi ile yürütmüşlerdir. Modeli personellerin çalışma saatleri üzerinden şekillendirmişlerdir. Stollitz ve Brunner (2012) çalışmalarında karmaşık tamsayılı modelleme yardımıyla hekim çizelgeleme sürecini yönetmişlerdir. Jahandideh (2012), otomobil üretimi yapan bir şirketin montaj

hattında görev yapan 160 adet personelin çizelgelemesini, ergonomik koşulları da dikkate alarak yürütmüştür. Çalışma sonrası işçilerin performansının arttığı gözlemlenmiştir. Wongwien ve Nanthavanij (2012) çalışmalarında ergonomik koşulların dikkate alındığı bir iş gücü çizelgeleme süreci yönetmişlerdir. Maruz kalınan günlük işitme seviyesini ve maliyetleri en azlayan bir matematiksel ve sezgisel çözüm yaklaşımı sunmuşlardır. İki yöntem sonuçları karşılaştırılmıştır.

Akbari vd. (2013) çalışmalarında personel yorgunluklarının dikkate alındığı bir çizelge oluşturmuşlardır. Amaç olarak ise personel yetkinliklerini dikkate alarak yarı zamanlı personel taleplerinin en çoklanması amacını modellerinde işlemişlerdir. 0-1 tamsayılı modelleme yöntemini kullanmışlardır. Shahnazari-Shahrezaei vd. (2013) çalışmalarında personel çizelgeleme çalışmalarını hedef programlama yöntemi ile sürdürmüşlerdir. Problem aynı zamanda parçacık sürü optimizasyonu ve tabu arama yöntemleri ile de çözülmüştür. Van den Bergh vd. (2013) çalışmalarında detaylı bir personel çizelgeleme literatürü incelenmiştir. Literatürdeki 300'den fazla çalışma detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ghiani vd. (2013) çalışmalarında hem görevleri atık toplama olan personellerin çalışma planını hem de araç rotalamalarını çözmüşlerdir. Tamsayılı programlama ve metasezgisel bir algoritmayı kombine ederek kullanmışlardır.

Labidi vd. (2014) çalışmalarında hedef programlama yöntemini kullanarak personel çizelgeleme problemini çözmüşlerdir. Telhada (2014) çalışmasında personel çizelgeleme problemini ele alıştır. Operasyonların yürütülmesi için gerekli en az personeli karma tamsayılı programlama kullanarak tespit etmiştir. Boyer vd. (2014) toplam maliyetin en azlandığı bir personel çizelgeleme çalışmasını karma tamsayılı programlama modeli ile önermiştir.

Dewi ve Septiana (2015), çalışmalarında iş gücü planlama faaliyetlerine ergonomik durumları dahil etmişlerdir. Tamsayılı programlama yöntemi kullanarak iş yüklerinin dengelenmesini amaçlamışlardır. EL-Rifai vd. (2015) çalışmalarında, bekleyen hasta sayısını en aza indirmeyi amaçlayarak, acil servis personellerinin çizelgelemesini

yapmışlardır. Problem çözümü için karma tamsayılı programlama yöntemi kullanmışlardır.

Koubâa vd. (2016) çalışmalarında tır sürücüleri için yürütülen çizelgeleme çalışmalarına dair bir literatür taraması yapmışlardır. Çalışmaları kullanılan kısıtlara ve problem tiplerine göre sınıflandırmışlardır. Van Veldhoven vd. (2016) işçilik maliyetleri ile ilgili bir çalışma yürütmüşlerdir. Maliyetleri en azlamak için bir 0-1 tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Excoffier vd. (2016) çalışmalarında bir çağrı merkezinde görev alan personellerin çizelgelemesi üzerine proje yürütmüşlerdir. Müşteri memnuniyetini en çoklarken iş gücü maliyetlerini en azlayacak bir karma tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Cuevas vd. (2016) çalışmalarında yarı zamanlı personeller üzerinde durmuşlardır. Personel yetkinliklerinin dikkate alındığı çalışmada dengeli bir atama modeli geliştirilmesi amaçlanmıştır. Yaklaşım olarak karma tamsayılı programlama modeli önerilmiştir.

Özcan vd. (2017) hidroelektrik santralinde görevli personeller için bir çalışma çizelgelemesi oluşturmuşlardır. Hedef programlama yönteminin kullanıldığı çalışmada, personel kıdem seviyeleri dikkate alınarak dengeli atama amacı güdülmüştür. Tosun vd. (2017) çalışmalarında hedef programlama yöntemini kullanarak bir akaryakıt istasyonunda görevli personellerin vardiyalara dengeli bir şekilde atanmasını amaçlamışlardır. Alver vd. (2017) çalışmalarında ücretli öğretmenlerin derslere atanması problemini ele almışlardır. AHS yöntemi ile personel önceliklerini belirleyen yazarlar daha sonra bu ağırlıkları en çoklayacak bir hedef programlama modeli kurmuşlardır. Bedir vd. (2017) çalışmalarında bir giyim mağazasında görevli personellerin 13 görev dahilinde çizelgelenmesi problemini ele almışlardır. Çalışmada personellerin her bir görevi yapabilirlik durumunu da göz önünde bulundurmuşlardır. AHS ve hedef programlama yöntemlerini bütünleşmiş bir şekilde kullanmışlardır. Uslu vd. (2017) çalışmalarında hemşirelerin özel durumlarının da dikkate alındığı bir çizelgeleme projesi yürütmüşlerdir. Çözüm yaklaşımı olarak 0-1 hedef programlama yöntemini kullanmışlardır. Rahimian vd. (2017) çalışmalarında hemşire çizelgeleme problemine kısıt programlama ve tamsayılı programlama yöntemleri ile çözüm bulmuşlardır. Froger vd. (2017), rüzgâr tribünlerinin bakımından sorumlu personellerin çizelgeleme çalışmasını tamsayılı programlama yaklaşımı ile

çözmüşlerdir. Sungur vd. (2017) çalışmalarında işçilik kaynaklı maliyetlerin en azlayacak ve uygun mola zamanlarının belirlenmesini sağlayacak bir hedef programlama modeli kurarak personel çizelgeleme çalışması yürütmüşlerdir.

De Bruecker vd. (2018) çalışmalarında evsel atıkların toplanması amacıyla hem görevli sürücülerini hem de atık toplama araçlarının rotalarını belirlemişlerdir. Ciano vd. (2018) çalışmalarını sezgisel yöntemler olan lokal arama ve tavlama benzetimi yaklaşımları ile ilerletmişlerdir. Uygulama olarak, işçilik ve seyahat maliyetlerinin en azlandığı çalışmayı bir taşımacılık şirketi için yürütmüşlerdir. Van de Vrugt vd. (2018) çalışmalarında bir hastanenin kadın doğum departmanında görevli hekimlerin vardiya çizelgeleme problemini ele almışlardır. Tavlama benzetimi ve lokal arama sezgisel yöntemlerinin kullanıldığı çalışmada hekimlerin dengeli atanmasını mümkün kılacak algoritmalar geliştirilmiştir. Demirel vd. (2018) çalışmalarında, bir metro hattında görevli kırk üç personelin çizelgeleme sürecini yürütmüşlerdir. Çözüm yaklaşımı olarak hedef programlama yöntemini kullanmışlardır. Yelek vd. (2018) çalışmalarında bir üniversitenin kütüphanesinde kısmi zamanlı çalışan kırk adet öğrencinin aylık çalışma planının hazırlanmasını yürütmüşlerdir. Hedef programlama yönteminin kullanıldığı çalışmaya öğrencilerin talepleri de dahil edilmiştir. Genel amaç vardiyaların dengeli atanması üzerinedir. Vermuyten vd. (2018) çalışmalarında bir hastanenin acil biriminde görevli personeller için çizelgeleme çalışması yürütmüşlerdir. Tamsayılı programlama yaklaşımı ile kurulan model sezgisel bir algoritma ile test edilmiştir. Erhard vd. (2018) çalışmalarında hastanelerin en büyük giderlerinden birisinin personel giderleri olduğunu vurgulayıp bu yönde çalışılmış altmış sekiz adet makaleyi detaylı olarak incelemişlerdir. İncelemelerinde optimal ve sezgisel yöntemler üzerinde durmuşlardır. Koçtepe vd. (2018) çalışmalarında bir dizi organizasyonda görev alacak personellerin atama ve çizelgeleme problemini konu almışlardır. Personellerin uygun oldukları görevlere atanmaları sağlanırken maliyet en azlanması da amaçlardandır. Yaklaşım olarak tamsayılı programlama yöntemini kullanmışlardır.

Çavdur vd. (2019) çalışmalarında öğrenci-proje takımı oluşturmaya yönelik bir proje yürütmüşlerdir. Yaklaşım olarak AHS ve hedef programlama yöntemlerini bütünlük olarak kullanmışlardır. Özder vd. (2019) çalışmalarında doğal gaz kombine çevrimli elektrik santralinde görevli personellerin çizelgeleme sürecini yönetmiştir. Yaklaşım olarak analitik ağ prosesi ve hedef programlama yöntemi kullanmışlardır. Seval vd. (2019) çalışmalarında bir süpermarkette görevli personellerin çizelgelemesini yapmışlardır. Amaç çalışan sayısını en azlamaktır. Tamsayılı programlama yönteminin kullanıldığı çalışma sonucunda %16,6'lık bir iyileşme gerçekleştirilmiştir. Porto vd. (2019) çalışmalarında iş gücü esnekliğinin personel çizelgelemesi ile kombine edilmesinin yararları değerlendirilmiştir. Her bir tipteki iş için kaç tane personelin gerekeceği üzerine bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Çalışmada personeller yetkinlikleri bakımından gruplara ayrılmıştır. Kaçmaz vd. (2019) çalışmalarında yedi farklı bölümün olduğu ve seksen adet personelin görev yaptığı bir cam fabrikasında vardiya çizelgeleme projesi yürütmüşlerdir. Yöntem olarak hedef programlama yaklaşımı çalışmada kullanılmıştır. Karpuz ve Batun (2019) çalışmalarında talebin belirsiz olduğu bir ortamda hemşire çizelgeleme problemi üzerine çalışmışlardır. Aylık çalışma planı hazırlanan çalışmada iki aşamalı stokastik tamsayılı programlama yaklaşımı kullanılmıştır. Alp ve Alkaya (2019) fazla sayıda çalışanı olan bir kuruluş için adil çalışma ortamını sağlayacak bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmaları iki bölümden oluşmaktadır. İlk aşamada tur çizelgeleme ikinci aşamada ise personel atama çalışmasını yürütmüşlerdir. Yöntem olarak tamsayılı programlama kullanılmıştır.

Kaçmaz vd. (2020) çalışmalarında ergonomik koşulların dikkate alındığı bir personel çizelgeleme çalışması yürütmüştür. Personel maliyetlerinin ve çevrim sürelerinin azaltılması amaçlanmıştır. Hedef programlama yöntemi çalışmada kullanılmıştır. Özder vd. (2020b) çalışmalarını doğal gaz termik santralinde görevli personellerin çizelgelenmesi doğrultusunda sürdürmüşlerdir. Personel yetkinliklerini analitik ağ süreci ile belirleyip, santrale ait geçmiş verileri yapay sinir ağı yöntemi ile işlemişlerdir. Bu verileri hedef programlama modelinde kullanarak çalışmalarını tamamlamışlardır. Marchesi vd. (2020) çalışmalarında bir hastanede görev yapan hekimlerin çizelgeleme işlemlerini yürütmüşlerdir. Stokastik programlama yöntemi ile çalışmalarını sonuçlandırmışlardır. Pınarbaşı ve Alakaş (2020) çalışmalarını personel

görev çizelgeleme üzerine yürütmüşlerdir. Çalışma sigorta üretimi yapan bir firmadan elde edilen gerçek veriler üzerinedir. Excel çözücünün kullanıldığı çalışmada, Excel çözücü ve matematiksel model sonuçları karşılaştırılmıştır. Matsumoto vd. (2020) çalışmalarında yaşlı bakım hizmetlerinde görevli personellerin çizelgeleme problemini ele almışlardır. Amaç olarak iş yüklerinin dengelenmesini belirlemişlerdir. Cürebal vd. (2020a) çalışmalarında turizm sektöründe önemli konumda bulunan bir bölgenin tanıtımı için düzenlenen bir tanıtım festivalinde görevli personellerin çizelgeleme sürecini yürütmüşlerdir. Personel yetkinliklerinin atandıkları görevlere göre en çoklanması ve toplam personel maliyetinin en azlanması çalışmanın amaçlarıdır. Çözüm yöntemi olarak AHS ve hedef programlama kullanılmıştır. Cürebal vd. (2020b) çalışmalarında organizasyon etkinliklerine personel tedarik eden ve operasyonlarını sürdüren bir şirketin bir aylık personel atama ve çizelgeleme işlemlerini yürütmüşlerdir. Çözüm yaklaşımı olarak hedef programlama yönteminin kullanıldığı çalışmada, çalışma planında Covid-19 pandemi ve genel ergonomik koşullar kaynaklı durumlar da göz önünde bulundurulmuştur. Özder vd. (2020a) personel çizelgeleme konusunda geniş ve bilgilendirici bir literatür tarama çalışması yürütmüşlerdir. Dörtüyzden fazla çalışmanın incelendiği eserde, çalışmalar çözüm yöntemlerine, uygulama alanlarına ve amaçlarına göre sınıflandırılmıştır. Zucchi vd. (2020) çalışmaları literatür araştırmasına dayanmaktadır. Literatürde yöneylem araştırması konusunu yöntem olarak kullanarak personel çizelgeleme çalışmalarını yürüten ve çalışmalarına personel yorgunluğunu dahil eden çalışmaları incelemişlerdir. Broek vd. (2020) çalışmalarında demiryolu hatlarında görevli personellerin çizelgeleme süreci üzerine çalışmışlardır. İki adet sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Personel çizelgeleme ve tren makas değiştirme durumları gerçek hayat verileri çalışmada kullanılmıştır. Komşu arama sezgisel metodunu geliştirerek en iyi sonucu elde etmişlerdir. Hassani vd. (2020) çalışmalarında perakende sektöründeki kapanma sonrası yeniden personel çizelgeleme sürecini yönetmişlerdir. Sezgisel bir yaklaşım ile çözümlerine ulaşmışlardır.

Chandrasekharan vd. (2021) çalışmaları personel görev çizelgeleme süreci üzerinedir. Metasezgisel bir yaklaşım sergileyerek vardiya en azlanması amaçlamışlardır. Cürebal ve Eren (2021) bir hastanede görevli güvenlik personellerinin atama ve çizelgeleme çalışmasını yürütmüşlerdir. Personel yetkinlikleri ve Covid-19 pandemi tedbirleri de

çalışma planına dahil edilmiştir. Birden fazla personel yetkinliği AHS ve TOPSIS yöntemleri ile ağırlıklandırılarak önceliklendirilmiştir. Bu veriler daha sonra hedef programlama modeline dahil edilmiştir. Çalışmada bu metot ile çalışan bir arayüz geliştirilmiştir. Eren vd. (2021) çalışmalarında bir akaryakıt istasyonunun tanıtımı için görevli personellerin çizelgeleme çalışmalarını personel taleplerini de göz önünde bulundurarak yürütmüşlerdir. Hedef programlama yaklaşımı bu çalışmada kullanılmıştır. Xu ve Hall (2021) çalışmalarında yorgunluk kriterinin dikkate alındığı personel çizelgeleme çalışmalarını incelemişlerdir. Ayrıca çalışmalarında yeni çalışma alanlarından da bahsetmişlerdir. Âdem ve Dağdeviren (2021) çalışmalarında personel çizelgeleme aşamasında çalışanların sağlığını dikkate alacak bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışanların termal açıdan ortaya çıkması olası risklerin paylaşmasına yönelik bir tedbir almışlardır. Çalışmalarını matematiksel model kullanarak sonuçlandırmışlardır.

Literatürde incelenen çalışmalar yayın yılı (YY), çözüm yöntemi ve amaç/kriter başlıkları altında özet olarak Çizelge 4.1’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Personel Atama ve Çizelgeleme Çalışmaları

Yazar	YY	Yöntem	Kriterler/Hedefler
Bard vd.	2004	Tamsayılı Programlama	Adil Çizelgeleme
Aickelin ve White	2004	Tamsayılı Programlama	Adil Çizelgeleme
Corominas vd.	2004	Karışık Tamsayılı Programlama	Dengeli Atama
Eitzen vd.	2004	Karışık Tamsayılı Programlama	Yetkinlik Bazlı Atama
Azmat ve Widner	2004	Sezgisel Yöntem	Vardiya Çizelgeleme
Morton ve Popova	2004	Stokastik Programlama	Sürdürülebilirlik
Laporte ve Pesant	2004	Kısıt Programlama	Vardiya Çizelgeleme
Yaoyuenyong ve Nanthavani	2005	0-1 Tamsayılı Programlama/Sezgisel	Yetkinlik/Dengeli Atama
Yunes vd.	2005	Tamsayılı Programlama/Sezgisel	Hızlı Atama
Abbink vd.	2005	Sezgisel Yöntem	Dengeli Atama
Azaiez ve Al Sharif	2005	Hedef Programlama	Sürdürülebilirlik
Aickelin vd.	2006	Sezgisel Yöntem	Adil Çizelgeleme
Alfares	2006	Tamsayılı Programlama	Verim
Lezaun vd.	2006	Tamsayılı Programlama	Personel Çizelgeleme
Topaloğlu	2006	Hedef Programlama	Dengeli Atama
Trilling vd.	2006	Kısıt ve Tamsayılı Programlama	Adil Çizelgeleme
Techawiboonwong vd.	2006	Karma Tamsayılı Programlama	Yetkinlik
Di Gaspero vd.	2007	Sezgisel Yöntem	Maliyet Enazlanması
Akjiratikarl vd.	2007	Parçacık Sürüsü Optimizasyonu	Personel Çizelgeleme

Çizelge 4.1. Devamı

Yazar	YY	Yöntem	Kriterler/Hedefler
Al-Yakoob ve Sherali	2007	Karma Tamsayılı Programlama	Dengeli Atama
Alfares	2007	Sezgisel Yöntem	Yetkinlik
Addou ve Soumis	2007	Tamsayılı Programlama	Personel Çizelgeleme
Al-Yakoob ve Sherali	2008	Karma Tamsayılı Programlama	Personel Atama
Noack ve Rose	2008	Sezgisel Yöntem	Yetkinlik/Dengeli Atama
Bhulai vd.	2008	Karma Tamsayılı Programlama	Yetkinlik/Vardiya Çizelgeleme
Mohan	2008	Tamsayılı Programlama	Personel Talebi Ençoklaması
Kabak vd.	2008	Karma Tamsayılı Programlama	Verim
Sabar vd.	2009	Karma Tamsayılı Programlama	Personel Çizelgeleme
Hadwan ve Ayob	2009	Hedef Programlama	Dengeli Atama
Topaloğlu	2009	Hedef Programlama	Yetkinlik
Carrasco	2010	Sezgisel Yöntem	Yetkinlik/Dengeli Atama
Hertz vd.	2010	Karma Tamsayılı Programlama	Dengeli Atama
Erdoğan vd.	2010	Tamsayılı Programlama	Verim
Brucker vd.	2011	Tamsayılı Programlama	Personel Çizelgeleme
Hojati ve Patil	2011	Tamsayılı Programlama	Yetkinlik
Côté vd.	2011	Karma Tamsayılı Programlama	Vardiya Çizelgeleme
Brunner vd.	2011	Dal-Sınır Algoritması/Sezgisel	Yetkinlik
Van Hecke	2011	Tamsayılı Programlama	Verim/Personel Talebi
Corominas vd.	2012	Karma Tamsayılı Programlama	Adil Çizelgeleme
Stolletz ve Brunner	2012	Karma Tamsayılı Programlama	Adil Çizelgeleme
Jahandideh	2012	Karma Tamsayılı Programlama	Verim
Wongwien ve Nanthavanij	2012	Tamsayılı Programlama	Yetkinlik
Akbari vd.	2013	Tamsayılı Programlama	Yetkinlik
Shahnazari-Shahrezaei vd.	2013	Sezgisel Yöntem/Swarm Optimizasyon	Yetkinlik
Van den Bergh vd.	2013	Literatür Araştırması	
Ghiani vd.	2013	Tamsayılı Programlama	Yetkinlik
Labadi vd.	2014	Hedef Programlama	Adil Çizelgeleme
Telhada	2014	Karma Tamsayılı Programlama	Maliyet Enazlanması
Boyer vd.	2014	Karma Tamsayılı Programlama	Vardiya Çizelgeleme
Dewi ve Septiana	2015	Tamsayılı Programlama	Dengeli Atama
EL-Rifai vd.	2015	Karma Tamsayılı Programlama	Dengeli Atama
Koubâa vd.	2016	Literatür Araştırması	
Van Veldhoven vd.	2016	Tamsayılı Programlama	Yetkinlik
Excoffier vd.	2016	Karma Tamsayılı Programlama	Tahmin/Vardiya Çizelgeleme
Cuevas vd.	2016	Karma Tamsayılı Programlama	Yetkinlik/Dengeli Atama
Özcan vd.	2017	Hedef Programlama	Yetkinlik/Dengeli Atama
Tosun vd.	2017	Hedef Programlama	Dengeli Atama
Alver vd.	2017	Hedef Programlama	Dengeli Atama
Bedir vd.	2017	Hedef Programlama	Yetkinlik/Dengeli Atama

Çizelge 4.1. Devamı

Yazar	YY	Yöntem	Kriterler/Hedefler
Uslu vd.	2017	Hedef Programlama	Dengeli Atama
Rahimian vd.	2017	Kısıt Programlama	Dengeli Atama
Froger vd.	2017	Tamsayılı Programlama	Yetkinlik
Sungur vd.	2017	Hedef Programlama	Verim
De Bruecker vd.	2018	Tamsayılı Programlama	Vardiya Çizelgeleme
Ciancio vd.	2018	Karma Tamsayılı Programlama/Sezgisel	Yetkinlik
Van de Vrugt vd.	2018	Sezgisel Yöntem	Verim
Demirel vd.	2018	Hedef Programlama	Personel Çizelgeleme
Yelek vd.	2018	Hedef Programlama	Personel Talebi Ençoklaması
Vermuyten vd.	2018	Tamsayılı Programlama/Sezgisel	Personel Çizelgeleme
Erhard vd.	2018	Optimal/Sezgisel	Maliyet Enazlanması
Koçtepe vd.	2018	Tamsayılı Programlama	Maliyet Enazlanması/Görev Atama
Çavdur vd.	2019	Hedef Programlama	Görev Atama
Özder vd.	2019	Hedef Programlama	Vardiya Çizelgeleme
Seval vd.	2019	Tamsayılı Programlama	Maliyet Enazlanması
Porto vd.	2019	Karma Tamsayılı Programlama	Görev Atama
Kaçmaz vd.	2019	Hedef Programlama	Vardiya Çizelgeleme
Özder vd.	2020a	Literatür Araştırması	
Karpuz ve Batun	2019	Stokastik Programlama	Personel Çizelgeleme
Alp ve Alkaya	2019	Tamsayılı Programlama	Adil Çizelgeleme
Kaçmaz vd.	2020	Hedef Programlama	Ergonomi/Maliyet
Marchesi vd.	2020	Stokastik Programlama	Personel Çizelgeleme
Pınarbaşı ve Alakaş	2020	Matematiksel Model	Verim/Dengeli Atama
Matsumoto vd.	2020	Tamsayılı Programlama	Dengeli Atama
Cürebal vd.	2020a	Hedef Programlama	Dengeli Atama/Yetkinlik
Cürebal vd.	2020b	Hedef Programlama	Dengeli Atama/Yetkinlik
Özder vd.	2020b	Hedef Programlama	Vardiya Çizelgeleme/Yetkinlik
Zucchi vd.	2020	Literatür Araştırması	
Broek vd.	2020	Sezgisel Yöntem	Personel Çizelgeleme
Hassani vd.	2020	Sezgisel Yöntem	Personel Çizelgeleme
Chandrasekharan vd.	2021	Sezgisel Yöntem	Görev Atama
Cürebal ve Eren	2021	Hedef Programlama	Dengeli Atama/Yetkinlik
Eren vd.	2021	Hedef Programlama	Dengeli Atama/Personel Talebi
Xu ve Hall	2021	Literatür Araştırması	
Âdem ve Dağdeviren	2021	Matematiksel Model	Personel Çizelgeleme/İş Sağlığı

Literatür araştırmasında görüldüğü üzere personel atama ve çizelgeleme çalışmaları oldukça yaygın bir şekilde çalışılmıştır. Problem çözümü için farklı yöntemler, algoritmalar önerilmiştir. Mevcutta bulunan yöntemler ve algoritmalar geliştirilerek bu probleme çözümler sunulmuştur. Birden fazla yöntemin bütünlük olarak

kullanılarak çözüm önerdiği çalışmalar da literatürde bulunmaktadır. Personel atama ve çizelgeleme problemleri çok geniş alanlarda uygulanmıştır. Bunun nedeni personel kaynağının sektör fark etmeksizin en önemli kaynaklardan biri olmasıdır. Ek olarak maliyeti diğer kaynaklara kıyasla fazladır. Personellerin tüm operasyonlar da öncül görevli olması ve maliyet kalemlerinin göz ardı edilemeyecek kadar fazla olması kuruluşları bu alanda çalışma yapmaya itmektedir. Yine önemli bir alan olmasından dolayı sadece kuruluşların isteği ile değil geliştirmeye yönelik teorik çalışma da oldukça fazladır.

Personel atama ve çizelgeleme problemleri zaman içerisinde oldukça gelişmiştir. Birçok amaç, kısıt ve özel durum çalışmalara dahil edilebilmektedir. Personel taleplerinin karşılanması ile personel memnuniyetinin artırılması amaçlanmaktadır. Personellerin yetkinliklerini dikkate alarak daha verimli bir çalışma ortamı elde edilebilmektedir. Çalışma planı oluşturarak operasyonların sürdürülebilirliği sağlanabilmektedir. Ergonomik koşulların dikkate alındığı çalışmalar ile personellere sağlıklı çalışma ortamı sunulmaktadır. Çalışma planları sayesinde personellerin sosyal hayatları da daha düzenli olabilmektedir. Tüm bu ve buna benzer sebepler bu konunun önemini vurgulamaktadır.

Bu tez çalışmasının literatüre katkıları şunlardır:

1. Tez kapsamında kurulan model sayesinde; sadece operasyonlar için gerekli personel sayısı verisi ile önce en az personel sayısı tespit edilip daha sonra bu personeller toplam atama, toplam akşam vardiyası ataması ve toplam gece vardiyası ataması bakımından dengelenmektedir. Böylece operasyonlar aksamadan en az maliyetli çalışma planı dengeli bir şekilde hazırlanmaktadır.
2. Personellerin çalışmak istedikleri bölüm talepleri mümkün olduğunca karşılanması amacı ile dengeli atama amaçlarının teker teker öncelikli amaç olması durumundaki sonuçları karşılaştırılmıştır.

3. Personellerin bölüm taleplerinin yanında haftalık izin gün taleplerini de dikkate alan bir model geliştirilerek personellerin sosyal hayatlarının düzenlenmesi amaçlanmıştır.
4. Personellere ait yetkinlik puan verileri ile, her günün her bölümünün tüm vardiyalarına atanan personellerin ortalama yetkinlik değerleri dengelenmesi amacı ile vardiya sayısı ve tipi bakımından dengeli atama amacı iki farklı senaryo ile değerlendirilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır.
5. Tüm modeller esnek veri tipi girişine uygun olarak tasarlanmıştır. Bu modellerin arka planda çalışacağı arayüzlü bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

5. UYGULAMA

Bu tezde 100.000 m²'si kapalı olmak üzere toplam 300.000 m²'lik alanda kurulu olan, yaklaşık 2.000 çalışanı ile üretim sektöründe faaliyet gösteren bir kuruluşun TMM'de görev alan mavi yakalı personellerin 30 günlük atama ve çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Ayrıca mevcut veriler ışığında ele alınan problemler değişken verilere de cevap verecek şekilde bir karar destek sistemi haline getirilmiştir. TMM; Bölüm1, Bölüm2 ve Bölüm3 olmak üzere 3 adet bölümden oluşmaktadır ve bünyesinde 29 adet mavi yakalı personel görev yapmaktadır. Mevcut durumda personel atama ve çizelgeleme işlemleri haftalık olarak el ile tasarlanmaktadır.

Söz konusu kuruluş 7 gün 24 saat çalışma düzeninde üretim yaparak müşteri taleplerini karşılamaktadır. Personeller 3 vardiya sisteminde çalışmaktadır, vardiyalar: sabah, akşam ve gece olmak üzere 8'er saattir. TMM biriminin görev kapsamında yer alan operasyonlar ürünlerin nihai hallerine gelmesi açısından oldukça önemlidir.

Personellerin çalışma şartları üretim etkinliğini doğrudan etkileyen en önemli faktörlerden bir tanesidir. Personellerin çalışma şartlarını iyileştirmek operasyonlardaki kaliteyi ve verimi arttırmanın yanında üretim sürecinde meydana gelebilecek istenmeyen durumların yaşanma riskini de azaltacaktır. Dolayısıyla müşteri taleplerinin tatmin edici bir hizmet kalitesi ile beraber karşılanabilmesi noktasında personellerin sistemli ve motivasyonlu bir şekilde çalışmaları oldukça önemlidir. Bu nedenle, bilimsel yöntemler kullanarak hazırlanan personel atama ve çizelgeleme planı elle hazırlanan plana nazaran daha verimli olacaktır.

Uygulamanın yapılacağı birimde 29 mavi yakalı personel görev almaktadır, bu personellerin 8 tanesi formendir. Formenlerden 4 tanesi Bölüm1'den diğer 4 tanesi ise Bölüm2'den sorumludur. Bölüm3'ten sorumlu formen bulunmamaktadır. TMM'nin istediği doğrultusunda, sabah ve akşam vardiyalarında Bölüm1 ve Bölüm2'nin formenleri yalnızca kendi bölümlerine atanmalıdır. Gece vardiyasında ise her bölüme en az 1 tane formen atanmalıdır. Söz konusu bölümler aynı fabrika içerisinde bulunmaktadır ve sabah ve akşam vardiyaları için bölüm1 ve bölüm2'den sorumlu

formenler bölüm3'ü de yönetmektedir. Gece vardiyası için ise bölüm fark etmeksizin çalışma alanında en az bir adet formen bulunması yeterlidir.

Personel verileri ilgili birimden alfabetik olarak alınmış ve bu düzende numaralandırılmıştır. Bölüm1'den sorumlu formenlerin numaraları 3, 4, 15 ve 17 iken bölüm2'den sorumlu olanlar 5, 7, 8 ve 20'dir.

Bu tez kapsamında 6 adet problemin çözümü yapılmıştır. Problemlerin öne çıkan yönleri ve çözümlerinde kullanılan yöntemler Çizelge 5.1.'de gösterilmiştir. Problem çözümleri "Intel (R) Core (TM) i5-6700HQ CPU@2.60 GHz" işlemcisi, 24 GB belleği ve Windows 10 işletim sistemine sahip bilgisayar kullanılarak yürütülmüştür. Mevcut veriler kullanılarak oluşturulan modeller Python ortamında Gurobi 9.1.1 programı kullanılarak çözülmüştür. Verilerin modele aktarılmasında, model sonuçlarının düzenlenmesinde ve sunulmasında Python ortamında Pandas modülü ve sonuçların grafiksel karşılaştırılmalarında ise Matplotlib modülü kullanılmıştır.

Çizelge 5.1. Uygulama Özeti

Uygulama Bilgileri		Kullanılan Yöntemler			
Adı	Özellikleri	AHS	TOPSIS	KTP	ÖHP
Problem 1	Mevcut Problemin Çözümü	x	x	✓	x
Problem 2	Personel Sayısının Belirsiz Olduğu Durumlarda Atama ve Çizelgeleme Probleminin Çözümü	x	x	x	✓
Problem 3	Personel Bölüm Taleplerinin Göz Önünde Bulundurulduğu Atama ve Çizelgeleme Probleminin Çözümü	x	x	x	✓
Problem 4	Personel Bölüm ve İzin Gün Taleplerinin Göz Önünde Bulundurulduğu Atama ve Çizelgeleme Probleminin Çözümü	x	x	x	✓
Problem 5	Talebin ve İş Gücünün Değişken Olduğu Durumlarda Atama ve Çizelgeleme Probleminin Çözümü	x	x	x	✓
Problem 6	Personel Yetkinlik Durumlarının Dikkate Alındığı Atama ve Çizelgeleme Probleminin Çözümü	✓	✓	x	✓
<i>KTP: Karma Tamsayılı Programlama, ÖHP: Önceliklendirilmiş Hedef Programlama</i>					

5.1. Problem 1: Mevcut Problemin Çözümü

5.1.1 Problem Tanımı

Bu problemde personellerin çalışma motivasyon ve kondisyonlarını olumsuz yönde etkileyecek ana sebeplerden bir tanesine çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Amaç eldeki iş gücünü etkin bir şekilde kullanmaktır. Bunun en önemli basamaklarından bir tanesi ise işgücü kaynağını adil bir şekilde kullanmaktır. Çalışma şartlarında eşitlik sağlanması hem çalışanların motivasyonlarına hem de kondisyonlarına olumlu etki yapacak ve dengesiz iş dağılımından kaynaklanabilecek istenmeyen olayların önüne geçecektir. Mevcut durumda personellerin çizelgeleme ve ataması birim yetkilileri tarafından haftalık olarak el ile yapılmakta herhangi bir bilimsel yöntem kullanılmamaktadır. Bu aşamada, geleneksel olarak el ile yapılan personel çizelgeleme ve atama problemine matematiksel model kullanılarak bir çözüm yaklaşımı sunulmuştur. Mevcut şekilde yürütülen çizelgeleme ve atama çalışması sonucunda her bir personele her bir vardiya için yüklenen toplam iş yükü (personelin bir ayda toplam atanma sayısı) Çizelge 5.2.'de gösterilmiştir. Söz konusu mevcut durum uygulama yapılmadan önceki son ayın verileridir.

Çizelge 5.2. Mevcut Durumda Personellerin Aylık İş Yükü Değerleri

P	T	TS	TA	TG	P	T	TS	TA	TG
1	26	16	8	2	16	25	16	6	3
2	26	17	5	4	17	25	8	11	6
3	25	13	9	3	18	25	8	11	6
4	25	9	9	7	19	26	10	9	7
5	26	14	10	2	20	23	9	6	8
6	25	10	10	5	21	25	14	9	2
7	24	12	10	2	22	25	10	8	7
8	25	9	11	5	23	20	6	9	5
9	26	9	10	7	24	25	14	5	6
10	26	9	10	7	25	24	10	7	7
11	25	15	6	4	26	25	11	8	6
12	25	9	10	6	27	24	15	5	4
13	25	14	9	2	28	25	13	5	7
14	24	9	7	8	29	25	10	9	6
15	25	11	8	6					

P: Personel No., T: Toplam atama, TS: Toplam sabah ataması, TA: Toplam akşam ataması, TG: Toplam gece ataması

Mevcut iş yüklerinin dağılımından da görülebildiği üzere hem vardiya fark etmeksizin toplam iş yükü dağılımında hem de vardiya bazında özellikle de genel olarak sosyal hayatı büyük ölçüde etkileyebilen gece vardiyası atamalarında eşitsizlik söz konusudur. Bu durumun personellerin motivasyonlarına olumsuz etki etmesi kaçınılmazdır.

5.1.2 Problemin Verileri

Uygulamanın yürütüldüğü TMM'de 3 bölüm bulunmaktadır ve her bölümün her vardiya için farklı personel talepleri olabilmektedir. Operasyonların yürütülmesi için gerekli personel sayısı karşılanmalıdır. Kuruluş 7 gün 24 saat üretim faaliyetlerine devam etmekte ve hafta sonları da hafta içi günlerindeki sistemi ile çalışmaktadır. Bölümlerin personel ihtiyacı hafta içi ve hafta sonu bakımından değişmemektedir. Bölümlerin personel talebi Çizelge 5.3.'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.3. Bölümlerin Personel Talebi

Bölümler	Sabah Vardiyası	Akşam Vardiyası	Gece vardiyası
B1	5	4	2
B2	4	3	2
B3	2	1	1
<i>B1: Bölüm1, B2: Bölüm2, B3: Bölüm3</i>			

5.1.3 Problem 1 için Karma Tamsayılı Programlama Modelinin Kurulması

Bu uygulamada toplam iş yükünün personellere adil bir şekilde dağıtılması amaçlanmıştır. Bu amaç personellerin vardiya fark etmeksizin toplam iş yüklerine ve nazaran sosyal hayatı daha çok etkileyecek akşam ve gece vardiya atanmalarına uygulanmıştır. Amaç doğrultusunda modele sayısal bir değer verilmemiş, söz konusu atamaların en yüksek değeri ile en düşük değeri arasındaki fark en azlanmıştır. Böylece model esnek hale getirilerek değişken verilere de uyumlu bir şekilde çalışması amaçlanmıştır. Söz konusu amaç, bir takım çalışma kısıtları ile sınırlandırılmıştır. Bu bölümde, bahsedilen modelin notasyonları, amaçları ve kısıtları sunulmuştur.

Modelin indis ve kümeleri:

i	$\in$ Personel kümesi (I)	$i = 1, \dots, 29$
j	$\in$ Gün kümesi (J)	$j = 1, \dots, 30$
k	$\in$ Vardiya kümesi (K)	$k = \{\text{Sabah (S), Akşam (A), Gece (G)}\}$
l	$\in$ Bölüm kümesi (L)	$l, m = \{B1, B2, B3\}$

Altkümeler:

$F_1 \subset I$	Bölüm1’de görevli formenler kümesi	$F_1 = \{3, 4, 15, 17\}$
$F_2 \subset I$	Bölüm2’de görevli formenler kümesi	$F_2 = \{5, 7, 8, 20\}$

Parametreler:

$D_{lk} \in \mathbb{N}^+$ l. bölümün k. vardiyadaki personel talebi $\forall l \in L, k \in K$

Çizelge 5.2.

Karar değişkenleri:

$x_{ijkl} \in \{0,1\}$: i. personel j. gün k vardiyasında l bölümüne atanırsa 1, diğer durumda 0,

$\forall i \in I, j \in J, k \in K, l \in L$

$h_{ij} \in \{0,1\}$: i. personel j. gün izinli ise 1, diğer durumda 0, $\forall l \in L, k \in K$

Yardımcı karar değişkenleri:

$T_i \in \mathbb{N}$: i. personelin uygulama boyunca toplam atanma sayısı, $\forall i \in I$

$\text{MaxT} \in \mathbb{N}$: en fazla atanan personelin atanma sayısı

$\text{MinT} \in \mathbb{N}$: en az atanan personelin atanma sayısı

$TA_i \in \mathbb{N}$: i. personelin uygulama boyunca akşam vardiyasına toplam atanma sayısı, $\forall i \in I$

$\text{MaxTA} \in \mathbb{N}$: akşam vardiyasına en fazla atanan personelin atanma sayısı

$\text{MinTA} \in \mathbb{N}$: akşam vardiyasına en az atanan personelin atanma sayısı

$TG_i \in \mathbb{N}$: i. personelin uygulama boyunca gece vardiyasına toplam atanma sayısı, $\forall i \in I$

$\text{MaxTG} \in \mathbb{N}$: gece vardiyasına en fazla atanan personelin atanma sayısı

$\text{MinTG} \in \mathbb{N}$: gece vardiyasına en az atanan personelin atanma sayısı

Amaç Fonksiyonu: Model eşit öncelikli ve ağırlıklı 3 adet amaç fonksiyonuna sahiptir. Önceliklerinin eşit olması sebebiyle bu eşitlikler lineer formatta da düşünülebilir.

$$\text{Min } Z = (\text{MaxT}-\text{MinT}) + (\text{MaxT}-\text{MinT}) + (\text{MaxT}-\text{MinT}) \quad (5.1)$$

Eşitlik 5.1 vardiyaların personellere hem tip hem de sayı bakımından adil bir şekilde dağıtılmalarına yönelik amaç fonksiyonudur. Buna göre toplam atanma sayısı en çok olan personelin toplam atanma değeri ile toplam atanma sayısı en az olan personelin toplam atanma değeri arasındaki fark en azlanmaktadır. Aynı durum akşam ve gece vardiyaları özelinde de geçerlidir.

Kısıtlar:

Kısıt 1-3: Personellerin toplam atanma, toplam akşam vardiyalarına atanma ve toplam gece vardiyalarına atanma değerlerini hesaplayan kısıtlardır. Hesaplamalar sırası ile eşitlik 5.2, 5.3 ve 5.4 ile gösterilmiştir.

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} x_{ijkl} = T_i \quad \forall i \in I \quad (5.2)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{l \in L} x_{ijAl} = TA_i \quad \forall i \in I \quad (5.3)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{l \in L} x_{ijGl} = TG_i \quad \forall i \in I \quad (5.4)$$

Kısıt 4-6: Toplam atanma, toplam akşam vardiyasına atanma ve toplam gece vardiyasına atanma değerlerinin en yüksekini hesaplayan kısıtlardır. Hesaplamalar belirtilen sıra ile eşitlik 5.5, 5.6 ve 5.7 ile gösterilmiştir.

$$\text{MaxT} = \text{Max}\{T_i; i \in I\} \quad (5.5)$$

$$\text{MaxTA} = \text{Max}\{TA_i; i \in I\} \quad (5.6)$$

$$\text{MaxTG} = \text{Max}\{TG_i; i \in I\} \quad (5.7)$$

Kısıt 7-9: Toplam atanma, toplam akşam vardiyasına atanma ve toplam gece vardiyasına atanma değerlerinin en düşüğünü hesaplayan kısıtlardır. Hesaplamalar belirtilen sıra ile eşitlik 5.8, 5.9 ve 5.10 ile gösterilmiştir.

$$\text{MinT} = \text{Min}\{T_i; i \in I\} \quad (5.8)$$

$$\text{MinTA} = \text{Min}\{TA_i; i \in I\} \quad (5.9)$$

$$\text{MinTG} = \text{Min}\{TG_i: i \in I\} \quad (5.10)$$

Kısıt 10: Herhangi bir personel aynı gün içerisinde en fazla 1 kere atanabilir. Bu durum Eşitlik 5.11 ile sağlanmaktadır.

$$\sum_{k \in K} \sum_{l \in L} x_{ijkl} \leq 1 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (5.11)$$

Kısıt 11: Bir personel herhangi bir günde ya izinlidir ya da çalışıyordur. Eşitlik 5.12 sayesinde personelin durumu bu iki seçenek ile sınırlandırılmıştır.

$$h_{ij} + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} x_{ijkl} = 1 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (5.12)$$

Kısıt 12: Hiçbir personel art arda 6 günden fazla çalışmamalıdır. Bu kısıt Eşitlik 5.13 ile sağlanmıştır.

$$h_{ij} + h_{i(j+1)} + h_{i(j+2)} + h_{i(j+3)} + h_{i(j+4)} + h_{i(j+5)} + h_{i(j+6)} \geq 1 \quad (5.13)$$

$\forall i \in I, j \in 1, \dots, 24$

Kısıt 13: Herhangi bir günün akşam vardiyasında çalışan bir personel bir sonraki günün sabah vardiyasında çalışmamalıdır. Eşitlik 5.14 bu durumun önüne geçmektedir.

$$x_{ijAl} + \sum_{l \in L} x_{i(j+1)Sl} \leq 1 \quad \forall i \in I, j \in 1, \dots, 29, l \in L \quad (5.14)$$

Kısıt 13: Herhangi bir günün gece vardiyasında çalışan bir personel bir sonraki günün sabah ve akşam vardiyalarında çalışmamalıdır. Eşitlik 5.15 bu durumu sağlamaktadır.

$$x_{ijGl} + \sum_{l \in L} x_{i(j+1)Sl} + x_{i(j+1)Al} \leq 1 \quad \forall i \in I, j \in 1, \dots, 29, l \in L \quad (5.15)$$

Kısıt 14: Herhangi bir gün ve vardiyada bölümlerin personel ihtiyacı karşılanmalıdır. Eşitlik 5.16 bu durumun sağlanması içindir.

$$\sum_{i \in I} x_{ijkl} = D_{lk} \quad \forall j \in J, k \in K, l \in L \quad (5.16)$$

Kısıt 15-16: B1'den sorumlu formenler B2'ye atanmamalıdır bu durum tersi için de geçerlidir. Eşitlik 5.17 ve 5.18 bu durumu sağlamaktadır.

$$\sum_{i \in F_1} x_{ijk"B2"} = 0 \quad \forall j \in J, k \in K \quad (5.17)$$

$$\sum_{i \in F_2} x_{ijk"B1"} = 0 \quad \forall j \in J, k \in K \quad (5.18)$$

Kısıt 17-18: Herhangi bir günün sabah ve akşam vardiyalarında B1 ve B2'ye 1'er formen atanmalıdır. Her formen sorumlu olduğu bölüme atanmalıdır. Bu şartlar eşitlik 5.19 ve 5.20 ile sağlanmaktadır.

$$\sum_{i \in F_1} x_{ijk"B1"} = 1 \quad \forall j \in J, k \in \{S, A\} \quad (5.19)$$

$$\sum_{i \in F_2} x_{ijk"B2"} = 1 \quad \forall j \in J, k \in \{S, A\} \quad (5.20)$$

Kısıt 19: Herhangi bir günün gece vardiyasına tüm bölümlerden sorumlu olmak üzere en az 1 tane formen atanmalıdır. Eşitlik 5.21 bunu sağlamaktadır.

$$\sum_{i \in F_1 \cup F_2} \sum_{l \in L} x_{ijGl} \geq 1 \quad \forall j \in J \quad (5.21)$$

5.1.4 Problem 1 Model Sonuçları

8700 tanesi 0-1 tipinde olmak üzere toplam 8793 adet karar değişkeninin ve 8175 kısıtın bulunduğu model Gurobi Optimizer ile çözülmüştür. Çözüm 375 saniye sürmüştür. Model girdisi olarak sadece yetkililerden alınan veriler kullanılmış iş yükü adaletini sağlamak amacıyla el ile herhangi bir işlem yapılmamıştır. Söz konusu işlemler de modele dahil edilerek, model esnek bir hale getirilmiş böylece farklı

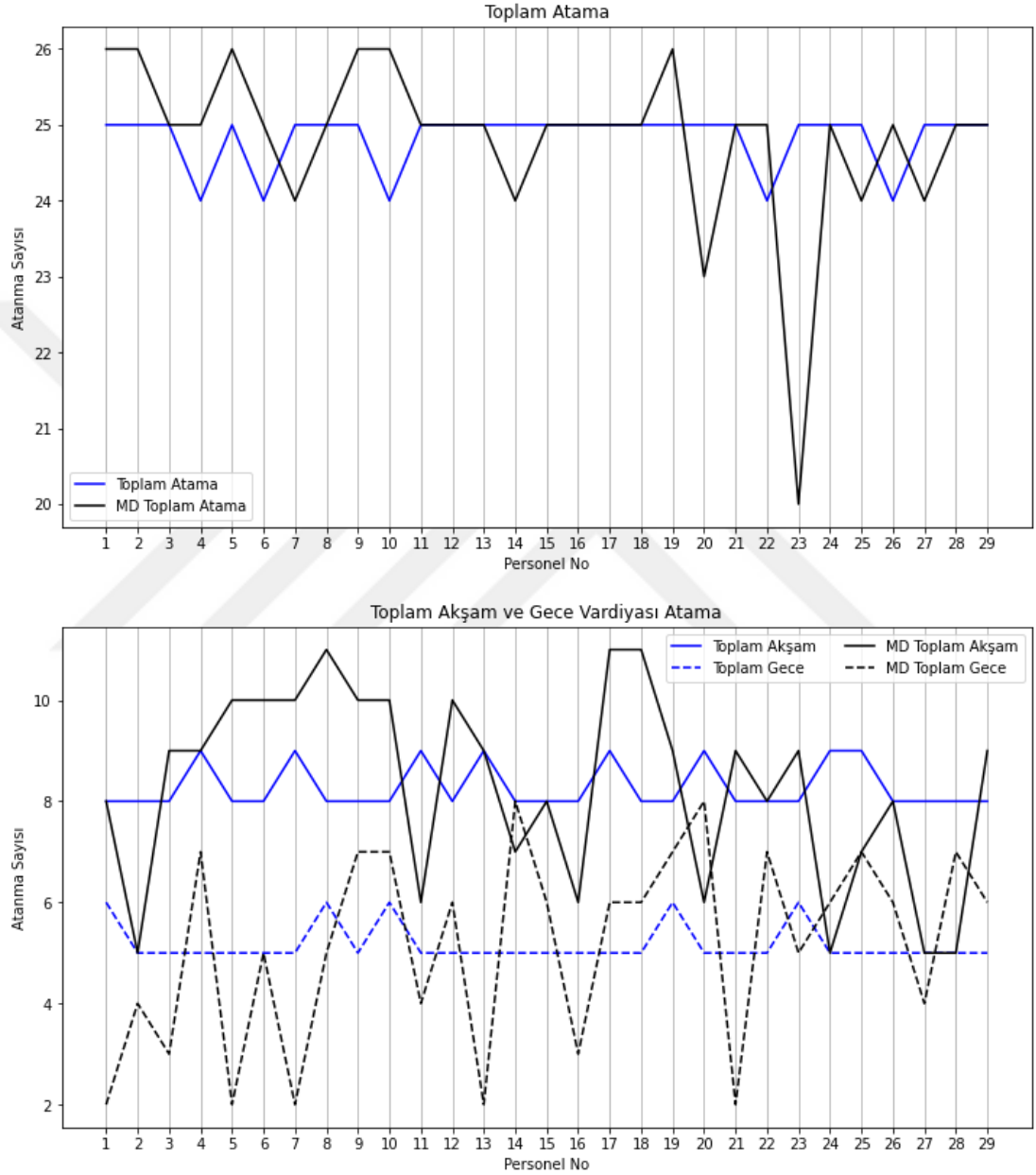
durumlar için de kullanılabilir olması sağlanmıştır. Her bir personelin vardiya özelinde dahil olmak üzere toplam atanma değerleri Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Problem 1 Sonucunda Personellerin Aylık İş Yüğü Değerleri

P	T	TS	TA	TG	P	T	TS	TA	TG
1	25	11	8	6	16	25	12	8	5
2	25	12	8	5	17	25	11	9	5
3	25	12	8	5	18	25	12	8	5
4	24	10	9	5	19	25	11	8	6
5	25	12	8	5	20	25	11	9	5
6	24	11	8	5	21	25	12	8	5
7	25	11	9	5	22	24	11	8	5
8	25	11	8	6	23	25	11	8	6
9	25	12	8	5	24	25	11	9	5
10	24	10	8	6	25	25	11	9	5
11	25	11	9	5	26	24	11	8	5
12	25	12	8	5	27	25	12	8	5
13	25	11	9	5	28	25	12	8	5
14	25	12	8	5	29	25	12	8	5
15	25	12	8	5					

Atama sonuçlarından açıkça görülebileceği üzere personellerin iş yükü dağılımları adil bir şekilde düzenlenmiştir. Mevcut durumda kullanılan çizelgede gözlemlenen adil olmayan dağılımlar çalışma sonucunda giderilmiştir. Toplam atama, toplam akşam ataması ve toplam gece ataması üzerinden uygulanan çalışma sonucu optimaldir. Her biri için en çok atanan personel ile en az atanan arasındaki fark 1'dir, (MaxT=25, MinT=24, MaxTA=9, MinTA=8, MaxTG=6 ve MinTG=5) ki bu da iş yüklerinin eşit bir şekilde dağıldığını göstermektedir. Mevcut çizelgede bu farklar her biri için 6'dır ki bu da iş yükünün daha adaletsiz bir şekilde dağıtıldığının kanıtıdır. Modelin amaç fonksiyon değeri 3'tür. Toplam atama, toplam akşam vardiyası ataması ve toplam gece vardiyası ataması en çok olan personeller ile en az olan personeller arasındaki farklar eşittir ve 1'dir. Dolayısıyla üç durumun gözetildiği amaç fonksiyon değeri $1+1+1=3$ 'tür.

Mevcut durumda (MD) kullanılan çizelge ile uygulama sonrası oluşturulan çizelgenin toplam atamalar bakımından karşılaştırılması Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Mavi çizgiler uygulama sonrası elde edilen verileri gösterirken, siyah çizgiler mevcut durumdaki değerleri temsil etmektedir.



Şekil 5.1. Mevcut Durum ile Uygulama Sonrası Durumun Karşılaştırması

Şekilde açık bir biçimde görüldüğü üzere uygulama sonrası personellere yüklenen iş yükü mevcut sisteme göre daha adil ve dengelidir. Mevcut çizelgedeki sapmalar

uygulama sonrasında başarılı bir şekilde en azlanmıştır. Uygulama sonrası oluşturulan atama çizelgesi Ek 1’de gösterilmiştir.

5.2. Problem 2: Personel Sayısının Belirsiz Olduğu Durumlarda Atama ve Çizelgeleme Probleminin Çözümü

5.2.1 Problem Tanımı

Personel maliyetleri bir kuruluş için en önemli gider paylarından bir tanesidir. Gereğinden fazla personele sahip olmak kuruluşa zarar ettirebilir veya kâr marjını önemli ölçüde düşürebilir. Bu noktada önemli olan kuruluşun faaliyetlerini sürdürebilmesi için gerekli olan personel sayısının tespittir. Gereğinden az sayıda istihdam kuruluşun operasyonlarını sürdürememesi dolayısıyla taleplerini karşılayamaması ve müşteri kaybetmesi gibi istenmeyen olayları doğuracaktır. Operasyonları gereğinden fazla personel ile sürdürmek ise yüksek gider anlamına gelmektedir ki bu durum da en iyi ihtimalle kâr marjını azaltacaktır. Özellikle yeni kurulan birimlerde faaliyetlerin sürdürülebilmesi için gerekli en az personel sayısının tespiti elzemdir. Yapılmadığı takdirde deneme yanılma gibi yollara başvurularak bu tespit sürece bırakılır, ki bu da belirli bir süre boyunca birimin sorumlu olduğu operasyonların riske atılması veya maddi zarara neden olması anlamına gelmektedir. Bu çalışmada önce TMM’deki operasyonların sürdürülebilir ve verimli bir şekilde ilerleyebilmesi için gerekli olan en az mavi yakalı personel sayısı tespit edilmiş daha sonra söz konusu personeller için bir çalışma planı oluşturulmuştur.

5.2.2 Problem 2 için Önceliklendirilmiş Hedef Programlama Modelinin Kurulması

Bu problem için kurulan modelde; problem 1 için oluşturulan tüm parametreler ve kısıtlar kullanılmıştır. Problem 1’de kullanılan amaç fonksiyonu hiyerarşik olarak 2. sırada kullanılmıştır. Hiyerarşik olarak öncelikle gereken en az personel sayısı bulunmuş daha sonra bu değer üzerinden personellerin çalışma planı problem 1’de olduğu gibi adil bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Problem 1’de kullanılan indis ve kümeler, altkümeler, parametreler ve yardımcı karar değişkenleri aynı şekilde bu problemde de kullanılmıştır. Bu probleme eklenen notasyon, kısıt ve amaç şu şekildedir:

Karar değişkenleri: Problem 1’de yer alan karar değişkenlerine ek olarak kullanılan karar değişkeni aşağıda gösterilmiştir.

$y_i \in \{0,1\}$: i. personel operasyonlarda en az bir kere görev aldı ise 1, diğer durumda 0, $\forall i \in I$

$d_{1i} \in \mathbb{N}$: i. personel için 1. hedefin pozitif sapması, $\forall i \in I$

$d_2 \in \mathbb{N}$: 2. hedefin pozitif sapması

Kısıtlar: Problem 1’de kullanılan kısıtlara (5.2-5.21) ek olarak kısıt 5.22 ve 5.23 eklenmiştir.

$$y_i * T_i = T_i \quad \forall i \in I \quad (5.22)$$

$$y_i \leq T_i \quad \forall i \in I \quad (5.23)$$

Eşitlik 5.25, eğer herhangi bir personel birim operasyonlarında hiç görev almadıysa T değerinin 0 olmasını, eğer en az bir kere görev aldıysa da T değerini korumasını sağlamaktadır. Bu noktada herhangi bir personelin y değerinin T değerinden büyük olması istenmemektedir. Bu personelin en az bir kere vardiyalarda görev almasına rağmen T değerinin 0 olması riskini doğurmaktadır. Eşitlik 5.26 bu durumun önüne geçmektedir.

Hedef kısıtları: Model iki tane önceliklendirilmiş amaca sahiptir. Öncelikli amaç (P1) çizelgeye dahil edilecek personel sayısının en azlanması ikincil amaç (P2) ise problem 1’de kullanılan personellerin vardiya sayısı ve tipleri bakımından adil bir şekilde çizelgelenmesidir.

Hedef 1: Operasyonların yürütülmesi için gerekli en az personel sayısının tespiti üzerine Eşitlik 5.24 kurulmuştur.

$$\sum_{i \in I} y_i - d_{1i} = 0 \quad (5.24)$$

Hedef 2: Personellerin vardiya sayı ve tipleri bakımından adil bir şekilde atanması. Problem 1 için kurulan karma tamsayılı matematiksel modelde kullanılan amaç fonksiyonu bu problemde bulunan çok amaçlı ortama uyarlanması amacıyla gevşetilerek kullanılmıştır. Kullanılan formülasyon Eşitlik 5.25'te gösterilmiştir.

$$((\text{MaxT}-\text{MinT}) + (\text{MaxT}-\text{MinT}) + (\text{MaxT}-\text{MinT})) - (d_2) = 0 \quad (5.25)$$

Amaç Fonksiyonu: Modelin amaç fonksiyonu önceliklendirilmiş iki adet amaçtan oluşmaktadır. Öncelikli amaç kuruluş operasyonları için gerekli en az personel sayısının tespiti, ikincil amaç ise öncelikli amaç sonucu üzerinden vardiyaların personellere sayı ve tip bakımından adil dağıtılmasıdır.

$$\text{Min } Z = P_1 \sum_{i \in I} d_{1i} + P_2 d_2 \quad (5.26)$$

5.2.3 Problem 2 Model Sonuçları

Model 8822 adet karar değişkenine ve 8233 kısıta sahiptir. Modelin çözümü 690 saniye sürmüştür. Problem 1'e kıyaslandığında personel talebinin ve çalışma kısıtlarının aynı olması fakat personel sayısının daha düşük olması sebebiyle çalışanlara yüklenen iş yükü biraz daha artmıştır. Model problem 1 için kurulan gibi esnek yapıda olup farklı değerlerde girdilere cevap verecek şekilde kurulmuştur. Personellerin vardiya bazlı ve toplam iş yükleri Çizelge 5.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 5.5. Problem 2 Sonucunda Personellerin Aylık İş Yükü Değerleri

P	T	TS	TA	TG	P	T	TS	TA	TG
1	25	12	8	5	15	25	11	8	6
2	25	11	8	6	16	26	12	9	5
3	26	12	9	5	17	26	13	8	5
4	26	11	9	6	18	26	12	8	6
5	26	12	9	5	29	25	11	8	6
6	26	12	9	5	20	26	12	9	5
7	26	12	9	5	21	26	12	8	6
8	25	10	9	6	22	26	13	8	5
9	26	11	9	6	23	26	12	9	5
10	26	13	8	5	24	25	11	9	5
11	25	10	9	6	25	26	12	9	5
12	26	12	9	5	26	26	12	9	5
13	26	13	8	5	27	26	13	8	5
14	26	12	8	6	28	25	11	9	5

Problem 1 ile kıyaslandığında sadece toplam atama iş yükünde bir artış gözlemlenmektedir. Problem 1’de en fazla ve en az toplam atama sayısı sırası ile 25 ve 24 iken problem 2’de bu değerler 26 ve 25 şeklindedir. Akşam ve gece atamaları için ise söz konusu değerler değişmemiş sadece en fazla atama olan 9 ve 6 sayısının yüklendiği personel sayısı 8’den 16’ya (Akşam vardiyası), 5’ten 10’a (Gece vardiyası) yükselmiştir. Dolayısıyla personel sayısının azalması ile görevli personellere yüklenen iş yükü artmıştır. Modelin öncelikli amaç fonksiyonu ($\sum_{i \in I} d1_i$) değeri 28 iken ikincil amaç fonksiyonu olan “d2” değeri 3’tür. Öncelikli amaç personel sayısının en azlanmasıdır, bu amaç başarılı bir şekilde yürütülmüş ve mevcuttaki personel sayısı 29’dan 28’e düşürülmüştür. Uygulama sonrası oluşturulan atama çizelgesi Ek 2’de gösterilmiştir.

5.3. Problem 3: Personel Bölüm Taleplerinin Göz Önünde Bulundurulduğu Atama ve Çizelgeleme Probleminin Çözümü

5.3.1 Problem Tanımı

İş gücü bir kuruluşun elinde bulundurduğu en önemli kaynaklardan bir tanesidir ve etkin bir şekilde yönetilmelidir. Personellerin çalışma ortamı, motivasyonu gibi birçok etmen personellerin çalışma etkinliğini dolayısıyla da kuruluşun verimini doğrudan etkilemektedir. Personellerin motivasyonunu artırmak verimli bir çalışma ortamının hazırlanmasını sağlayacaktır. Personel motivasyonunu artırmanın en etkili yollarından iki tanesi adil bir çalışma ortamı hazırlamak ve personel taleplerini dikkate almaktır. Personellerin talep ettikleri bölümde çalışmaları motivasyonlarını artıracaktır. İş planı bu iki madde dikkate alınarak hazırlandığı taktirde çalışanların motivasyonu önemli ölçüde artacak ve verimli bir çalışma ortamı oluşturulacaktır. Personel birim isteklerinin mümkün olduğunca yerine getirilerek çalışma verimini artırmak bu problemin amaçlarından bir tanesidir. Diğer önemli amaç ise bu işlem sırasında adil çalışma ortamının korunmasıdır. Bu problem için kullanılan çözüm iki tanedir. İlk çözümde öncelikli amaç için işlerin adil şekilde dağıtılması istenmiştir. İkinci çözümde ise öncelikli olarak personel istekleri önemsenmiş ve iş planı bu doğrultuda oluşturulmuştur.

5.3.2 Problem Verileri

Uygulama, problem 1'deki şartlara ek olarak personel bölüm taleplerinin dahil edilmesi üzerinedir. Problem 1 için sunulan verilere ek olarak personellerin bölüm istek verileri bu problem için toplanmıştır. Söz konusu veriler Çizelge 5.6'da gösterilmektedir. Bu talepler her gün için geçerlidir.

Çizelge 5.6. Personellerin Bölüm Talep Verileri

P1-P6	P7-P12	P13-P18	P19-P24	P25-P29
B1	B2	B1	B2	B1
B2	B2	B2	B2	B2
B1	B2	B1	B1	B2
B1	B1	B3	B1	B1
B2	B1	B1	B2	B3
B3	B2	B3	B3	

5.3.3 Problem 3 için Önceliklendirilmiş Hedef Programlama Modelinin Kurulması

Bu problem için kurulan modelde; problem 1 için oluşturulan tüm parametre ve kısıtlar kullanılmıştır. Probleme iki amaçlı bir çözüm yaklaşımı sunulmuştur. Amaçların her ikisi de personel motivasyonunu artırmaya ve verimli bir çalışma ortamı oluşturmaya yöneliktir. Amaçlardan bir tanesi iş yükünün personellere adil bir şekilde dağıtılması (Problem 1 için kullanılan amaç fonksiyonları) diğeri ise personel bölüm taleplerinin mümkün olduğu kadar karşılanmasıdır. Çözüm için kurulan model iki farklı amaç düzeni ile çalıştırılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bir çözümde vardiyaların adil bir şekilde dağıtılması öncelikli amaç olurken diğeri personel taleplerinin karşılanması öncelikli amaç olarak belirlenmiştir.

Problem 1’de kullanılan indis ve kümeler, altkümeler ve yardımcı karar değişkenleri olduğu gibi bu problemde de kullanılmıştır. Bu probleme eklenen notasyon, kısıt ve amaç şu şekildedir:

Parametreler: Problem 1’de kullanılan parametrelere ek olarak aşağıdaki parametre modele eklenmiştir.

$$re_{ij} \in L \quad \text{i. personelin j. gündeki bölüm talebi} \quad \forall i \in I, j \in J$$

Çizelge 5.6

Karar değişkenleri: Problem 1’de yer alan karar değişkenlerine ek olarak kullanılan karar değişkeni aşağıda gösterilmiştir.

$r_{ij} \in \{0,1\}$: i. personel j. gündeki 1. hedefin pozitif sapması, $\forall i \in I, j \in J$

$d_2 \in \mathbb{N}$: 2. hedefin pozitif sapması

Hedef kısıtları: Problem önceliklendirilmiş iki adet amaca sahiptir. Bu iki adet amacın sırasıyla öncelikli ve ikincil olma durumu ele alınarak, model çözülmüş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Hedef 1: Personellerin bölüm taleplerinin çalıştıkları her bir gün karşılanması amacıyla yazılmış hedef kısıtıdır.

$$r_{ij} + \sum_{k \in K} x_{ijk} "re_{ij}" = 1 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (5.27)$$

Hedef 2: Personellerin vardiya sayı ve tipleri bakımından adil olarak atanmaları.

$$((\text{MaxT}-\text{MinT}) + (\text{MaxT}-\text{MinT}) + (\text{MaxT}-\text{MinT})) - (d_2) = 0 \quad (5.28)$$

Amaç Fonksiyonu: Çalışma iki senaryo özelinde yürütülmüş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Senaryo 1 adil çalışma ortamının sağlanmasına yöneliktir. Bu senaryoda personellerin vardiya sayı ve tipleri bakımından adil bir şekilde atanmaları amaçlanmıştır. Senaryo 2 ise personellerin bölüm taleplerinin mümkün olduğunca karşılanmasına yöneliktir. Senaryoların amaç fonksiyonları aşağıda gösterilmiştir.

$$\text{Senaryo 1: Min } Z = P_1 d_2 + P_2 \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} r_{ij} \quad (5.29)$$

$$\text{Senaryo 2: Min } Z = P_1 \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} r_{ij} + P_2 d_2 \quad (5.30)$$

5.3.4 İş Yükünün Adil Dağıtılması Amacının Öncelikli Olduğu Modelin Çözüm Sonuçları

Bu modelde personeller için adil çalışma ortamının oluşturulması amacı öncelikli olarak belirlenmiştir. Personel isteklerinin mümkün olduğu kadar karşılanması amacı

ise hiyerarşik olarak adil iş dağılımı amacından sonra gelmektedir. Model 9721 karar değişkenine ve 9103 kısıta sahiptir. Çözümü 770 saniye sürmüştür ve sonuç optimaldir. Öncelikli amaç olan iş yüklerinin adil dağıtılmasına dair sonuç verileri Çizelge 5.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. Problem 3 Eşit İş Yükü Amacının Öncelikli Olduğu Durumda Personellerin Aylık Vardiya Bazlı İş Yükü Değerleri

P	T	TS	TA	TG	P	T	TS	TA	TG
1	25	12	8	5	16	25	10	9	6
2	25	12	8	5	17	24	10	9	5
3	24	10	9	5	18	25	12	8	5
4	25	11	8	6	19	25	12	8	5
5	25	12	8	5	20	24	9	9	6
6	25	10	9	6	21	25	12	8	5
7	25	11	8	6	22	25	12	8	5
8	24	10	9	5	23	25	12	8	5
9	25	12	8	5	24	25	11	9	5
10	25	12	8	5	25	25	12	8	5
11	25	12	8	5	26	25	12	8	5
12	25	12	8	5	27	25	11	9	5
13	25	12	8	5	28	25	12	8	5
14	25	12	8	5	29	25	12	8	5
15	24	11	8	5					

Çizelgede de görüleceği üzere en fazla toplam atamaya, toplam akşam vardiyası atamasına ve toplam gece vardiyası atamasına sahip personeller sırası ile 25, 9 ve 6 kez atanırken en az atananlar aynı sıra düzeninde 24, 8 ve 5’tir. Üç durum için de en fazla atanan personel ile en az atanan personel arasındaki fark 1’dir. Bu da vardiya yükünün personeller arasında eşit bir şekilde dağıtıldığını göstermektedir.

Eşit iş ve vardiya yükü dağılımı amacına göre daha düşük öncelikli olan personel taleplerinin karşılanması amacı sonuç verileri Çizelge 5.8’de gösterilmiştir. Her bir personelin gün bazında talep karşılanma durumu bu çizelgeden görülebilmektedir.

Çizelge 5.8. Personel Bölüm Taleplerinin Karşılanmasının ikincil Amaç olduğu Durumda Her Bir Personelin Gün Bazlı Talep Karşılanma Durumu

P	Günler																													
	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
1	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+
2	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+
3	+	+	+	-	+	+	x	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	x	x	-	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+
4	+	+	-	+	-	+	+	+	+	x	+	-	x	+	+	+	+	+	-	+	+	x	x	+	-	+	+	+	+	+
5	+	+	x	+	+	+	-	+	+	x	+	+	-	+	+	-	x	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	x	x	x
6	+	+	-	x	x	+	+	x	+	-	+	x	x	+	+	+	-	x	+	+	+	x	-	+	+	+	+	-	+	x
7	+	+	+	x	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+
8	x	-	+	+	x	+	+	+	-	x	x	+	+	+	-	+	x	+	+	+	-	x	+	+	-	+	+	+	+	-
9	+	+	+	x	+	+	-	+	+	x	+	+	+	-	+	+	+	-	x	x	+	+	+	+	-	x	+	-	+	+
10	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
11	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+
12	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	x	x	+	+	+	-	+	+
13	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-
14	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	x	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+
15	-	x	+	+	+	+	+	-	-	+	+	x	+	+	+	-	+	+	+	x	x	-	+	+	+	x	+	-	+	+
16	-	x	x	+	+	+	+	-	x	+	x	+	+	+	-	+	+	+	x	-	x	+	+	x	+	-	+	+	+	+
17	+	-	x	x	+	-	+	x	+	+	-	+	+	x	x	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+
18	+	+	x	x	+	-	x	+	+	x	+	-	+	x	+	+	+	x	-	+	+	-	+	+	+	x	x	+	-	+
19	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+
20	-	+	+	-	+	x	+	-	x	+	+	x	-	x	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	x	+	+	-	+	+
21	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+
22	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	x	+	+	+	+	-	+	+	+
23	+	x	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+
24	-	+	+	-	x	x	+	+	+	-	+	x	+	x	x	x	-	+	+	x	+	+	+	-	+	+	+	x	x	x
25	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-
26	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	x	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+
27	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-
28	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
29	+	-	+	+	+	+	x	+	-	x	x	+	-	x	+	+	+	+	+	-	x	x	x	+	-	+	+	+	+	+

+: Karşılanan personel talebi, x: Karşılanmayan personel talebi, -: Personelin izinli olduğu gün

Çizelgede görüldüğü üzere personel taleplerinin karşılanması öncelikli bir amaç olarak ele alınmasa da karşılanan talepler modelin başarılı olduğunu göstermektedir. Personel bazlı olarak, taleplerin karşılandığı toplam gün sayısı model sonucu hakkında daha nesnel bir sonuç verecektir. Her bir personelin toplam karşılanan ve karşılanmayan talep günleri ile ilgili veri Çizelge 5.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.9. Personel Taleplerinin Gün Bazlı Toplam Durumu

P	KN	KM	İzinli	P	KN	KM	İzinli
1	25	0	5	16	18	7	5
2	25	0	5	17	19	5	6
3	21	3	6	18	17	8	5
4	21	4	5	19	25	0	5
5	19	6	5	20	19	5	6
6	17	8	5	21	25	0	5
7	24	1	5	22	25	0	5
8	18	6	6	23	24	1	5
9	20	5	5	24	15	10	5
10	25	0	5	25	25	0	5
11	25	0	5	26	24	1	5
12	23	2	5	27	25	0	5
13	25	0	5	28	25	0	5
14	24	1	5	29	18	7	5
15	19	5	6				

KN: Talebin karşılandığı gün sayısı, KM: Talebin karşılanmadığı gün sayısı

Sonuçlara göre toplam 870 istekten 635 tanesi karşılanmış 85 tanesi ise karşılanmamıştır. Toplam izinli olunan gün sayısı ise 150'dir. Bu verilere göre talep karşılama oranı %72,9'dur. Model sonucunda oluşan çalışma planı Ek 3a'da gösterilmiştir.

5.3.5 Personel Bölüm Taleplerinin Karşılanmasının Öncelikli Olduğu Modelin Çözüm Sonuçları

Bu modelde personel taleplerinin karşılanması adil iş yükü dağılım amacına göre daha öncelikli olarak değerlendirilmiştir. Personellerin toplam ve vardiya bazlı atamaları Çizelge 5.10'da gösterilmiştir. Atamaların dengeli olması bu senaryoda personel taleplerinin karşılanması amacından sonra gelmektedir.

Çizelge 5.10. Problem 3 Personel Taleplerinin Karşılanması Amacının Öncelikli Olduğu Durumda Personellerin Aylık Vardiya bazlı İş Yüğü Değerleri

P	T	TS	TA	TG	P	T	TS	TA	TG
1	26	13	10	3	16	24	11	6	7
2	24	9	9	6	17	25	7	7	11
3	26	8	7	11	18	24	7	7	10
4	26	8	8	10	19	24	12	10	2
5	24	5	9	10	20	24	7	6	11
6	25	11	6	8	21	26	15	9	2
7	24	10	7	7	22	26	14	10	2
8	24	8	8	8	23	24	13	7	4
9	24	11	9	4	24	24	15	6	3
10	26	14	9	3	25	26	14	10	2
11	26	14	10	2	26	24	12	10	2
12	24	14	8	2	27	24	13	9	2
13	26	14	10	2	28	26	14	10	2
14	25	14	9	2	29	24	16	6	2
15	25	7	8	10					

Çizelgede görüldüğü gibi eşit iş yükü dağılım amacının öncelikli olmamasından kaynaklı olarak dağılım diğer durumlara göre daha az dengeli olmuştur. En fazla T, TA ve TG değerli sırasıyla 26, 10 ve 11 iken en az değer aynı sıra ile 24, 6 ve 2'dir. Görüldüğü üzere diğer senaryolarda bu fark 3 başlıkta da 1 iken bu senaryoda 2, 4 ve 9'dur. Dolayısıyla iş yükü ve vardiya dağılımı diğer senaryolarla karşılaştırıldığında daha az dengelenmiştir.

Bu senaryoda personel bölüm taleplerinin karşılanması öncelikli olarak değerlendirilmiştir. Personellerin talep ettikleri bölümlerde çalışmaları motivasyonlarını ve verimlerini artıracaktır. Dolayısıyla daha verimli bir çalışma ortamı sağlanacaktır. Her bir personelin her bir gün için olan taleplerinin karşılanma durumu Çizelge 5.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.11. Personel Bölüm Taleplerinin Karşılanmasının Birincil Amaç olduğu Durumda Her Bir Personelin Gün Bazlı Talep Karşılanma Durumu

P	Günler																													
	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
1	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
2	+	-	+	-	x	+	+	+	+	+	-	+	x	x	+	+	-	+	+	+	+	+	-	x	+	+	+	-	+	+
3	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+
4	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
5	+	+	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+
6	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+
7	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+
8	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-
9	-	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	x	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
10	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+
11	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
12	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	x	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-
13	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
14	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	x	-	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+
15	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-
16	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+
17	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-
18	+	-	+	+	x	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+
19	-	+	x	+	+	+	-	+	+	x	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	x	+	x	+	+	-	+
20	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+
21	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
22	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+
23	+	+	+	+	+	-	x	-	+	+	+	+	+	+	-	+	x	+	+	x	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-
24	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-
25	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+
26	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	x	+	-	+	+	-	+
27	-	-	+	+	+	x	+	+	-	+	+	x	+	+	+	-	+	+	x	+	-	+	+	+	x	+	-	+	+	+
28	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
29	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+

+: Karşılanan personel talebi, x: Karşılanmayan personel talebi, -: Personelin izinli olduğu gün

Personel bölüm taleplerinin karşılanması amacının öncelikli olduğu durumda, öncelikli olmadığı duruma göre daha fazla talebin yerine getirildiği çizelgeden gözlemlenebilmektedir. Her bir personelin toplam karşılanan ve karşılanmayan bölüm talepleri ile ilgili veri Çizelge 5.12’de gösterilmiştir

Çizelge 5.12. Personel Bölüm Taleplerinin Gün Bazlı Toplam Durumu

P	KN	KM	İzinli	P	KN	KM	İzinli
1	26	0	4	16	24	0	6
2	20	4	6	17	25	0	5
3	26	0	4	18	23	1	6
4	26	0	4	19	20	4	6
5	24	0	6	20	24	0	6
6	25	0	5	21	26	0	4
7	24	0	6	22	26	0	4
8	24	0	6	23	21	3	6
9	23	1	6	24	24	0	6
10	26	0	4	25	26	0	4
11	26	0	4	26	23	1	6
12	23	1	6	27	20	4	6
13	26	0	4	28	26	0	4
14	24	1	5	29	24	0	6
15	25	0	5				

KN: Talebin karşılandığı gün sayısı, KM: Talebin karşılanmadığı gün sayısı

Çizelgedeki verilere göre toplam 870 talepten 700 tanesi karşılanırken 20 tanesi karşılanamamıştır. Toplam izin gün sayısı ise 150'dir. Personel taleplerinin %80'i karşılanmıştır. Talep karşılamamanın ikincil amaç olduğu senaryoda bu oran %72,9'dur. Model sonucunda oluşan çalışma planı Ek 3b'de gösterilmiştir.

5.4. Problem 4: Personel Bölüm ve İzin Gün Taleplerinin Göz Önünde Bulundurulduğu Atama ve Çizelgeleme Probleminin Çözümü

5.4.1 Problem Tanımı

Bu problem, problem 3'te yer alan amaçlara ek olarak personellerin izin günleri taleplerinin karşılanmasını içermektedir. TMM'de genel olarak personeller haftada 1 gün izin yapmaktadırlar. Çalışanların çalışma ortamı dışındaki hayatlarının düzenli olması çalışma verimlerine pozitif etki yapacaktır. Personelin izin günlerinin düzenli ve talep edildiği şekilde olması sosyal hayatının düzenli olmasına katkı sağlayacaktır, dolayısıyla bu düzen çalışma hayatına da yansımayaacaktır. Bu çalışmanın öncelikli amacı iş yüklerinin personellere adil bir şekilde dağıtılmasıdır. İkincil amaç ise çalışanlar

açısından daha düzenli bir iş planı oluşturmak ve personel taleplerinin mümkün olduğunca karşılamaktır. İş yükünün mümkün olduğunca dil bir şekilde dağıtılması ve personel bölüm ve izin günü taleplerinin mümkün olduğunca karşılanması personel kondisyonunu ve motivasyonunu artıracaktır. Bu sayede daha verimli bir çalışma planı yapılabilecektir.

5.4.2 Problem Verileri

Bu uygulamaya problem 3’te yer alan veriler ve şartlara ek olarak personellerin izin gün taleplerinin mümkün olduğunca karşılanması durumu dahil edilmiştir. Uygulamada problem 3’te yer alan verilere ek olarak personellerin izin için hangi günü tercih edeceklerine dair olan veri kullanılmıştır. Söz konusu veri Çizelge 5.13’te gösterilmiştir.

Çizelge 5.13. Personellerin İzin Günü Talep Verileri

P1-P6	P7-P12	P13-P18	P19-P24	P25-P29
Pz	Ct	Pa	Çr	Pz
Sa	Pe	Ct	Cu	Pa
Pa	Cu	Pz	Pe	Pa
Pa	Çr	Sa	Ct	Sa
Çr	Ct	Pa	Cu	Ct
Cu	Pa	Pa	Çr	

Pz: Pazartesi, Sa: Salı, Çr: Çarşamba, Pe: Perşembe, Cu: Cuma, Ct: Cumartesi, Pa: Pazar

Uygulamanın yürütüldüğü ay içerisinde salı ve çarşamba günleri 5’er diğer günler ise 4’er tane yer almaktadır. Dolayısıyla salı ve çarşamba günlerini tercih eden personellerin 5 izin günleri için diğer günleri tercih edenlerin ise 4 tane talebi olmuştur.

5.4.3 Problem 4 için Öncelikli Hedef Programlama Modelinin Kurulması

Bu modelde problem 3 için oluşturulan modelde kullanılan tüm notasyonlar, kısıtlar, hedef kısıtları ve amaçlar kullanılmıştır. Ek olarak, personellerin izin gün taleplerinin mümkün olduğunca karşılanabilmesi için bazı notasyonlar, kısıt ve amaç eklenmiştir. Eklenen model elemanları aşağıda gösterilmiştir.

Altkümeler: Uygulamanın yürütüldüğü ay içerisinde haftanın günlerinin kaçınıcı günlerde tekrar ettiğine dair altkümelerdir.

$Pz \subset J$	İlgili ayın pazartesi günleri	$Pa = \{7, 14, 21, 28\}$
$Sa \subset J$	İlgili ayın salı günleri	$Sa = \{1, 8, 15, 22, 29\}$
$\text{Çr} \subset J$	İlgili ayın çarşamba günleri	$\text{Çr} = \{2, 9, 16, 23, 30\}$
$Pe \subset J$	İlgili ayın perşembe günleri	$Pr = \{3, 10, 17, 24\}$
$Cu \subset J$	İlgili ayın cuma günleri	$Cu = \{4, 11, 18, 25\}$
$Ct \subset J$	İlgili ayın cumartesi günleri	$Ct = \{5, 12, 19, 26\}$
$Pa \subset J$	İlgili ayın pazar günleri	$Pa = \{6, 13, 20, 27\}$

Parametreler: Problem 3'te kullanılan parametrelere ek olarak aşağıdaki parametre modele eklenmiştir.

$gu_i \in Pz \vee Sa \vee \text{Çr} \vee Pe \vee Cu \vee Ct \vee Pa$ i. personelin izin talep ettiği gün kümesi
 $\forall i \in I$

Çizelge 5.13

Karar değişkenleri: Problem 3'te yer alan karar değişkenlerine ek olarak kullanılan karar değişkeni aşağıda gösterilmiştir.

$g_{ij} \in \{0,1\}$: i. personel j. gündeki 1. hedefin pozitif sapması, $\forall i \in I, j \in J$

Hedef kısıtları: Problem 3'te yer alan 2 adet hedef kısıtına ek olarak yazılan hedef kısıtı Eşitlik 5.31'de gösterilmiştir.

$$g_{ij} + h_{ij} = 1 \quad \forall i \in I, j \in gu_i \quad (5.31)$$

Amaç fonksiyonu: Model 3 amaca sahiptir. Bu 3 amacın önceliklendirilmiş olarak yazıldığı amaç fonksiyonu aşağıda gösterilmiştir.

$$\text{Min } Z = P_1 d_2 + P_2 \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} r_{ij} + g_{ij} \quad (5.32)$$

5.4.4 Model Sonuçları

Model 10620 karar değişkenine ve 9255 kısıta sahiptir. Çözümü 978 saniye sürmüştür ve sonuç optimaldir. Modelde 2 ana amaç bulunmaktadır. Birinci amaç personellere dengeli bir çalışma ortamı oluşturmayı amaçlarken ikinci amaç personel taleplerinin mümkün olduğunca karşılanmasını istemektedir. Hiyerarşik olarak birinci amaç ikinci amaçtan önceliklidir. Dolayısıyla personel taleplerinin karşılanması adil çalışma ortamını engellemeden sağlanmıştır. Öncelikli amaç olan iş yüklerinin adil dağıtılmasına dair sonuç verileri Çizelge 5.14'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.14. Personellerin Vardiya Bazlı Toplam Atanma Sayısı

P	T	TS	TA	TG	P	T	TS	TA	TG
1	25	12	8	5	16	25	10	9	6
2	25	12	8	5	17	25	11	8	6
3	24	10	8	6	18	25	12	8	5
4	24	11	8	5	19	25	12	8	5
5	25	11	9	5	20	24	9	9	6
6	25	10	9	6	21	25	12	8	5
7	25	12	8	5	22	25	12	8	5
8	24	10	9	5	23	25	12	8	5
9	25	12	8	5	24	25	11	9	5
10	25	12	8	5	25	25	12	8	5
11	25	12	8	5	26	25	12	8	5
12	25	12	8	5	27	25	12	8	5
13	25	12	8	5	28	25	11	9	5
14	25	11	9	5	29	25	12	8	5
15	24	11	8	5					

Çizelgede görüldüğü üzere personellerin toplam vardiya atamaları, toplam akşam vardiya atamaları ve toplam gece vardiyası atamaları dengeli bir şekilde dağıtılmıştır.

En fazla T, TA ve TG sırası ile 25, 9 ve 6 iken en az 24, 8 ve 5'tir. Bu durum vardiyaların personellere adil bir şekilde dağıtıldığını göstermektedir.

Personel bölüm ve izin günü taleplerinin karşılanması önem olarak vardiyaların adil dağıtılmasından sonra gelmektedir. Her iki talep de eşit önemli olarak değerlendirilmiştir. Personellerin bölüm taleplerinin gün bazlı karşılanma durumu Çizelge 5.15'te gösterilmektedir.

Çizelge 5.15. Personel Bölüm Taleplerinin Gün Bazlı Karşılanma Durumu

P	Günler																													
	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
1	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+
2	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+
3	+	+	+	-	x	+	+	-	+	+	-	+	+	x	+	+	+	-	x	+	+	+	-	+	+	x	+	+	-	x
4	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-	x	+	+	+	+	-	x	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+
5	x	-	+	+	+	+	+	x	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	x	x	+	+	-	+	+	x	x	x	+	-
6	+	x	+	-	x	+	+	+	x	x	-	+	x	x	+	+	+	-	+	x	+	+	+	+	-	x	+	-	+	+
7	-	x	+	+	-	x	+	+	+	+	+	-	x	+	x	+	+	+	-	+	+	x	x	x	+	-	+	+	+	+
8	+	+	-	+	+	+	x	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-
9	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
10	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-
11	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+
12	+	+	-	+	x	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
13	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
14	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+
15	+	+	+	+	+	+	-	+	x	x	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+
16	-	+	x	x	x	+	+	-	+	x	+	x	+	+	-	+	+	+	x	x	+	-	x	x	+	x	+	+	-	+
17	-	+	+	x	x	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	x	x	+	+	+	+	-	x	x	+
18	x	+	+	+	+	-	+	+	-	x	+	+	-	+	x	+	x	+	+	-	x	x	+	x	+	+	-	x	x	x
19	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	x	+	-	+	+	+	+	+	+	-
20	+	+	+	-	+	+	-	+	+	x	-	x	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	x	+
21	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
22	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+
23	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	x	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	x	+
24	+	-	+	+	+	+	x	+	-	+	x	+	+	+	+	-	+	+	x	+	x	+	-	+	+	+	x	x	+	-
25	+	+	+	+	+	+	-	+	x	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+
26	+	+	x	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+
27	+	+	+	+	+	+	-	x	x	-	+	+	+	-	x	+	x	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	x	+	+
28	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	x	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+
29	+	+	+	+	-	x	x	x	+	+	+	-	+	x	+	+	+	x	-	+	+	x	+	+	-	+	+	-	+	+

+: Karşılanan personel talebi, x: Karşılanmayan personel talebi, -: Personelin izinli olduğu gün

Her bir personelin toplam bölüm talep karşılanma durumu Çizelge 5.16'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.16. Her Bir Personelin Ay Boyunca Toplam Bölüm Talebi Karşılama Durumu

P	KN	KM	İzinli	P	KN	KM	İzinli
1	25	0	5	16	15	10	5
2	25	0	5	17	19	6	5
3	19	5	6	18	15	10	5
4	22	2	6	19	24	1	5
5	18	7	5	20	21	3	6
6	17	8	5	21	25	0	5
7	18	7	5	22	25	0	5
8	23	1	6	23	23	2	5
9	25	0	5	24	19	6	5
10	25	0	5	25	24	1	5
11	25	0	5	26	24	1	5
12	24	1	5	27	20	5	5
13	25	0	5	28	24	1	5
14	25	0	5	29	19	6	5
15	22	2	6				

KN: Talebin karşılandığı gün sayısı, KM: Talebin karşılanmadığı gün sayısı

Sonuç verilerine göre toplam 870 istekten 635 tanesi karşılanmış 85 tanesi ise karşılanmamıştır. Toplam izinli olunan gün sayısı ise 150'dir. Bu verilere göre talep karşılama oranı %72,9'dur.

Uygulamada personellerin izin gün talepleri de dikkate alınarak personeller açısından daha düzenli bir çalışma planı oluşturulması amaçlanmıştır. Bunun yanında personellerin izinlerini talep ettikleri bir hafta gününde kullanmaları sosyal hayatlarındaki düzeni de artıracaktır. Dolayısıyla bunlar verimli ve düzenli bir çalışma ortamının sağlanmasına katkı sağlayacaktır. Uygulamanın ana amacı budur. Personellerin izin için talep ettikleri gün sayısı uygulamanın yürütüldüğü ayda değişkenlik göstermektedir. Dolayısıyla bazı personellerin 4 bazılarının ise 5 tane tercihi bulunmaktadır. Salı ve çarşamba gününü izin günleri olarak talep eden personellerin 5, diğer personellerin 4 tane tercihi bulunmaktadır. Personellerin izin günü taleplerinin karşılanma durumu Çizelge 5.17'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.17. Her Bir Personelin İzin Günü Talebi Karşılanma Durumu

P	TGS	KN	KM	P	TGS	KN	KM
1	4	4	0	16	5	5	0
2	5	5	0	17	4	4	0
3	4	0	4	18	4	4	0
4	4	1	3	19	5	5	0
5	5	5	0	20	4	4	0
6	4	4	0	21	4	4	0
7	4	4	0	22	4	4	0
8	4	4	0	23	4	4	0
9	4	4	0	24	5	5	0
10	5	5	0	25	4	4	0
11	4	4	0	26	4	4	0
12	4	3	1	27	4	1	3
13	4	3	1	28	5	5	0
14	4	4	0	29	4	4	0
15	4	4	0				
<i>TGS: Talep gün sayısı, KN: Talebin karşılandığı gün sayısı, KM: Talebin karşılanmadığı gün sayısı</i>							

Sonuçlara göre toplam 123 adet istekten 111 tanesi karşılanmış 12 tanesi ise karşılanmamıştır. Talep karşılama oranı %90'dır. Uygulamada personel taleplerinin karşılanması eşit iş yükü dağılım amacının ardından ikincil amaç olarak belirlenmiştir. Personel izin günü taleplerinin karşılanması amacının öncül amaç olduğu durumda da söz konusu başarı oranı değişmemektedir. Model sonucunda oluşan çalışma planı Ek 4'te gösterilmiştir.

5.5. Problem 5: Talebin ve İş Gücünün Değişken Olduğu Durumlarda Atama ve Çizelgeleme Probleminin Çözümü

5.5.1 Problem Tanımı

Gerçek hayat problemleri birçok yönden karmaşıktır. Eldeki kaynaklar her zaman planlandığı gibi kullanılamayabilir. Hesaplanan talepler beklenildiği gibi olmayabilir. Bu tez çalışmasında bir personel atama ve çizelgeleme sistemi oluşturulması amaçlanmıştır. Oluşturulan sistemin değişken girdilere cevap vermesi beklenmektedir. Dolayısıyla sistemin bahsedilen değişken durumlarda da çalışabilmesi oldukça

önemlidir. Örneğin bir talep artışı olduğunda veya eldeki iş gücünün beklenmedik bir olay neticesinde azalması ile ortaya çıkan yeni girdilere sistemin cevap vermesi beklenmektedir. Değişken iş gücü kaynağı ve talep miktarlarına cevap verebilecek bir model kurulması bu noktada oldukça önemlidir. Özellikle bu günlerde tüm dünyanın deneyimlediği, neredeyse tüm sektörlerde plansız aksamalara neden olan bulaşıcı Covid-19 pandemi virüsü gibi durumlar düşünüldüğünde bu problemin çözümü daha da önem kazanmaktadır. Taleplerin dönemsel olarak veya beklenmedik şekilde artması veya çeşitli nedenlerden kaynaklanabilen personel eksikliği gibi durumlar için çalışma planına ek personel dahil etmek etkili bir çözüm yaklaşımıdır. Bu probleme bir çözüm yaklaşımı sunulmadığı takdirde taleplerin karşılanamaması gibi kuruluşa ciddi zararlar verebilecek geri dönüşü olmayan bir durumla karşı karşıya kalma riski oluşmaktadır.

5.5.2 Problem 5 için Önceliklendirilmiş Hedef Programlama Modelinin Kurulması

Problem 1 için kurulan modelde kullanılan tüm parametre ve kısıtlar bu problem için de kullanılmıştır. Problem 1’de kullanılan talep karşılama kısıtı (Eş. 5.16) hariç diğer kısıtlar aynı şekilde kullanılmıştır. Bölümlerin personel taleplerinin karşılanması kısıtı olan Eşitlik 5.16 bu problem için yeniden düzenlenerek hedef kısıtı olarak kullanılmıştır. Söz konusu kısıt problem 1’de sert kısıt olarak değerlendirilebilir. Problem 5 için bu kısıta sapma değişkeni eklenmiş ve kısıt esnek hale getirilmiştir. Böylece gerektiği yerde çalışma planına ilave personel dahil edilmesinin önü açılmıştır, bu da problemin farklı girdi değerlerine cevap vermesini mümkün kılmaktadır. Bu durum kurulan çalışma planı sistemi için bir gerekliliktir, yazılımın her durumda cevap vermesi beklenmektedir. Problem 1’deki modele ek olarak tanımlanan notasyonlar, amaç fonksiyonu ve güncellenen kısıt aşağıda gösterilmiştir.

Karar Değişkenleri: Problem 1 için kullanılan karar değişkenlerine ek olarak aşağıdaki karar değişkeni bu modele dahil edilmiştir.

$ek_{jkl} \in \mathbb{N}$: j. günde l. bölümün k. vardiyadaki 1. Hedefin pozitif sapması $\forall j \in J, k \in K, l \in L$

$d_2 \in \mathbb{N}$: 2. hedefin pozitif sapması

Hedef kısıtları

Hedef 1: Problem 1 için önerilen modelin kısıtlarında yer alan bölümlerin personel ihtiyacının karşılanması kısıtı bu modelde esnetilerek hedef kısıtı olarak yazılmıştır. Eşitlik 5.16'nın yerine dahil edilen hedef kısıtı aşağıdaki gösterilmiştir. Eşitlik 5.33 herhangi bir günün herhangi bir vardiyasında herhangi bir bölümde personel talebi karşılanamadığı taktirde çalışma planına gerektiği kadar dışardan personel ekleyerek sistem sürdürülebilirliğini sağlamaktadır.

$$\sum_{i \in I} x_{ijkl} + ek_{jkl} = D_{lk} \quad \forall j \in J, k \in K, l \in L \quad (5.33)$$

Hedef 2: Personellerin vardiya sayı ve tipleri bakımından adil olarak atanmalarını sağlayan hedef kısıtıdır.

$$((\text{MaxT}-\text{MinT}) + (\text{MaxT}-\text{MinT}) + (\text{MaxT}-\text{MinT})) - (d_2) = 0 \quad (5.34)$$

Amaç Fonksiyonu: Önceliklendirilmiş iki amaca sahip amaç fonksiyonudur.

$$\text{Min } Z = P_1 d_2 + P_2 \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} ek_{jkl} \quad (5.35)$$

5.6. Problem 6: Personel Yetkinlik Durumlarının Dikkate Alındığı Atama ve Çizelgeleme Probleminin Çözümü

5.6.1 Problem Tanımı

Çalışma ortamında görev yapan personeller bilgi, kıdem ve gelişim bakımından farklılık gösterirler. Dolayısıyla vardiyalarda yetkinlik bakımından dengesiz bir atama olabilir. Bu durum da yapılan operasyonların verimini düşürebilir ve yapılan işlerde belirli seviyede bir süreklilik sağlanmasını zorlaştırabilir. Örneğin tecrübesi az olan personellerin aynı vardiyaya atanmaları ortaya daha düşük kalitede bir iş çıkmasına sebep olabilir veya beklenmedik bir aksamada kıdemli bir çalışanın aksiyon alması

gerekebilir. Personellerin tecrübe, bilgi ve gelişim yönünden vardiya bazında dengeli bir şekilde atanmaları belirli bir seviyede kaliteyi ve verimliliği sürdürülebilir bir şekilde sağlayacaktır. Bu uygulamada personellerde dikkat edilmesi gereken 7 adet kriter uzmanlar tarafından tespit edilmiştir. Bu 6 adet kriter AHS yöntemi ile ağırlıklandırılmış daha sonra TOPSIS yöntemi ile personeller sayısal olarak önceliklendirilmiştir. Böylece önem arz eden kriterlere öncelik sağlanarak daha güçlü bir analiz yapılmıştır. Elde edilen personel yetkinlik puanları önceliklendirilmiş hedef programlama modeline entegre edilmiştir.

5.6.2 Personel Yetkinlik Kriterlerinin Belirlenmesi ve Ağırlıklandırılması

TMM için önemli olan 6 adet kriter birimde görev yapan 3 adet mühendis tarafından belirlenmiştir. Daha sonra kriterler AHS yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Kriterler ve açıklamaları Çizelge 5.18’de sunulmuştur.

Çizelge 5.18 Kriterler ve Açıklamaları

Kriter	Açıklama
Tecrübe (T)	Personellerin çalışma yılları 0-10 skalasında değerlendirilmiştir.
Geçmiş Çalışmalar (GÇ)	Personelin ilgili birimde dahil olduğu çalışmalar göz önüne alınarak 0-10 skalasında puanlandırılmıştır.
Sertifika (S)	Personelin katılmış olduğu eğitimleri ifade eder, 0-10 skalasında değerlendirilmiştir.
Uyumluluk (U)	Personelin sosyal ilişkileri, takım arkadaşları ile olan iletişimi, farklı bir operasyonda ve vardiyadaki uyumu ile ilgili olan kriterdir. 0-10 Skalasında puanlandırılmıştır.
Fiziksel Kondisyon (FK)	Personelin vardiyası boyunca sergilediği fiziksel performansı ile ilgili kriterdir. 0-10 skalasında değerlendirilmiştir.
Test Puanı (TP)	Personellere yapılan, TMM’de yer alan operasyonlarla ilgili sorular içeren sınavdır. 0-100 arasında puanlandırılmıştır.

Çizelgede gösterilen kriterler AHS yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. AHS yöntemi kapsamında yapılan işlemler aşağıda gösterilmiştir.

Adım 1: Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması: Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi asal köşegenin üst kısmının oluşturulmasında birimde görev yapan mühendislerin görüşlerinden hareketle Çizelge 3.1’de gösterilen Saaty 1-9 skalası kullanılmıştır. Matris asal köşegeninin alt kısmı ise Eşitlik 3.1 kullanılarak bulunmuştur. İki karşılaştırma matrisi Çizelge 5.19’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.19. Kriterlerin İki Karşılaştırma Matrisi

Kriterler	T	GÇ	S	U	FK	TP
T	1	0,5	2	3	2	3
GÇ	2	1	2	4	3	4
S	0,5	0,5	1	3	3	3
U	0,33	0,25	0,33	1	0,33	0,5
FK	0,5	0,33	0,33	3	1	3
TP	0,33	0,25	0,33	2	0,33	1

Adım 2: Matris normalizasyonu ve görelî önem ağırlıklarının hesaplanması: Çizelge 5.19’da gösterilen ikili karşılaştırma matrisi Eşitlik 3.2 kullanılarak normalize edilmiştir. Normalize edilen matris Çizelge 5.20’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.20. Kriter Normalize Matrisi

Kriterler	T	GÇ	S	U	FK	TP
T	0,23	0,19	0,35	0,21	0,21	0,21
GÇ	0,46	0,39	0,35	0,29	0,32	0,28
S	0,12	0,19	0,18	0,21	0,32	0,21
U	0,08	0,10	0,06	0,07	0,04	0,03
FK	0,12	0,13	0,06	0,22	0,11	0,21
TP	0,08	0,10	0,06	0,14	0,04	0,07

Çizelge 5.20’teki veriler Eşitlik 3.3’te gösterilen formül üzerinde kullanılarak kriter ağırlıkları elde edilmiştir. Kriter ağırlıkları Çizelge 5.21’da gösterilmektedir.

Çizelge 5.21. Kriter Ağırlıkları

Kriterler	Ağırlık
T	0,23
GÇ	0,32
S	0,19
U	0,06
FK	0,12
TP	0,08
Toplam	1

Çizelgede görüldüğü üzere geçmiş çalışmalar ve tecrübe en yüksek ağırlığa sahip iki kriterdir. Bu durum sürekliliğin öneminden kaynaklanmaktadır. TMM operasyonların aksamalardan etkilenmeden verimli bir şekilde devamlılığını önemsemektedir. Bu nedenle bu iki kriterle oldukça önem verilmektedir.

Adım 3: Tutarlılık oranı kontrolü: Kriterlerin birbirleri ile olan ilişkilerinin tutarlılık oranı Eşitlik 3.4-3.8 kullanılarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar Çizelge 5.22’de sunulmuştur.

Çizelge 5.22. Kriter İlişkileri Tutarlılık Oranı

D	E	λ	Rİ	Tİ	TO
1,52	6,47				
2,21	6,37				
1,34	6,55				
0,38	6,13	6,30	1,24	0,06	0,05
0,87	6,26				
0,48	6,06				

Çizelgeden görüleceği üzere tutarlılık oranı 0,05 olarak hesaplanmıştır. $0,05 < 0,1$ durumundan dolayı kurulan kriter ilişkilerinin tutarlı olduğu ortaya çıkmıştır.

5.6.3 TOPSIS Yöntemi ile Personellerin Yetkinlik Puanları Kullanılarak Önceliklendirilmesi

Bu aşamada personeller Topsis yöntemi kullanılarak önceliklendirilmiştir. Önceliklendirme puanlama bazlıdır. Dolayısıyla her personel için bir yetkinlik puanı oluşturulmuştur. Bu puanlar matematiksel modele dahil edilmiştir. Çok kriterli bu puanlandırma sürecinde kriter ağırlıkları olarak AHS yönteminden elde edilen ağırlıklar (Çizelge 5.21) kullanılmıştır. Bu bölümde Topsis uygulama adımları gösterilmiştir.

Adım 1: Karar matrisinin (A) oluşturulması: Bu aşamada personellerin belirtilen kriter özelindeki puanlamaları yapılır. Söz konusu veriler Çizelge 5.23'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.23. Karar Matrisi (Personel Puanları)

Personel No.	T	GÇ	S	U	FK	TP
1	4	3	4	5	6	60
2	5	4	3	4	5	70
3	9	9	8	9	7	90
4	8	9	9	8	8	85
5	9	9	8	6	9	90
6	4	4	4	8	5	70
7	9	9	8	7	7	95
8	10	10	9	9	4	90
9	1	2	2	6	3	65
10	2	3	2	3	6	70
11	8	6	4	6	9	75
12	8	5	3	5	8	60
13	7	8	4	4	7	55
14	4	3	4	1	7	40
15	9	10	10	8	8	85
16	3	2	2	3	9	55
17	9	9	8	2	8	95
18	4	5	4	5	7	80
19	1	1	1	8	8	35
20	10	10	9	9	6	95
21	3	2	1	9	5	60
22	5	4	3	9	6	65
23	6	6	5	6	8	65
24	6	5	5	5	5	45
25	5	5	4	4	6	50
26	5	4	6	8	5	55
27	9	8	7	7	7	80
28	8	7	7	8	7	80
29	3	2	4	9	8	45

Adım 2: Standart Karar Matrisinin (R) Oluşturulması: Standart karar matrisi Çizelge 5.23'te gösterilen verilerin Eşitlik 3.9 üzerinde kullanılmasıyla oluşturulmuş ve Çizelge 5.24'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.24. Standart Karar Matrisi

Personel No.	T	GÇ	S	U	FK	TP
1	0,11	0,09	0,13	0,14	0,16	0,16
2	0,14	0,12	0,10	0,11	0,14	0,18
3	0,26	0,26	0,26	0,25	0,19	0,23
4	0,22	0,26	0,29	0,22	0,22	0,22
5	0,26	0,26	0,26	0,17	0,24	0,23
6	0,10	0,12	0,13	0,22	0,14	0,18
7	0,26	0,26	0,26	0,20	0,19	0,25
8	0,28	0,29	0,29	0,25	0,11	0,23
9	0,04	0,06	0,06	0,17	0,08	0,17
10	0,06	0,09	0,06	0,08	0,16	0,18
11	0,22	0,18	0,13	0,17	0,24	0,20
12	0,24	0,15	0,10	0,14	0,22	0,16
13	0,19	0,23	0,13	0,11	0,19	0,14
14	0,12	0,09	0,13	0,03	0,19	0,10
15	0,26	0,29	0,32	0,22	0,22	0,22
16	0,09	0,06	0,06	0,08	0,24	0,14
17	0,26	0,26	0,26	0,06	0,22	0,25
18	0,11	0,15	0,13	0,14	0,19	0,21
19	0,03	0,03	0,03	0,22	0,22	0,09
20	0,28	0,29	0,29	0,25	0,16	0,25
21	0,08	0,06	0,03	0,25	0,14	0,16
22	0,14	0,12	0,10	0,25	0,16	0,17
23	0,17	0,18	0,16	0,17	0,22	0,17
24	0,16	0,15	0,16	0,14	0,14	0,12
25	0,13	0,15	0,13	0,11	0,16	0,13
26	0,13	0,12	0,19	0,22	0,14	0,14
27	0,26	0,23	0,23	0,20	0,19	0,21
28	0,22	0,21	0,23	0,22	0,19	0,21
29	0,07	0,06	0,13	0,25	0,22	0,12

Adım 3: Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin (V) Oluşturulması: Bu aşamada standart karar matrisi kriter ağırlıkları ile Eşitlik 3.10 kullanılarak ilişkilendirilmiştir. AHS yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları kullanılmıştır. Sonuçlar Çizelge 5.25'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.25. Ağırlıklandırılmış Standart Karar Matrisi

Personel No.	T	GÇ	S	U	FK	TP
1	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01
2	0,03	0,04	0,02	0,01	0,02	0,01
3	0,06	0,08	0,05	0,02	0,02	0,02
4	0,05	0,08	0,06	0,01	0,03	0,02
5	0,06	0,08	0,05	0,01	0,03	0,02
6	0,02	0,04	0,02	0,01	0,02	0,01
7	0,06	0,08	0,05	0,01	0,02	0,02
8	0,07	0,09	0,06	0,02	0,01	0,02
9	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
10	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01
11	0,05	0,06	0,02	0,01	0,03	0,02
12	0,06	0,05	0,02	0,01	0,03	0,01
13	0,04	0,08	0,02	0,01	0,02	0,01
14	0,03	0,03	0,02	0,00	0,02	0,01
15	0,06	0,09	0,06	0,01	0,03	0,02
16	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01
17	0,06	0,08	0,05	0,00	0,03	0,02
18	0,03	0,05	0,02	0,01	0,02	0,02
19	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01
20	0,07	0,09	0,06	0,02	0,02	0,02
21	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01
22	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,01
23	0,04	0,06	0,03	0,01	0,03	0,01
24	0,04	0,05	0,03	0,01	0,02	0,01
25	0,03	0,05	0,02	0,01	0,02	0,01
26	0,03	0,04	0,04	0,01	0,02	0,01
27	0,06	0,08	0,04	0,01	0,02	0,02
28	0,05	0,07	0,04	0,01	0,02	0,02
29	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01

Adım 4: İdeal (A^+) ve Negatif İdeal (A^-) Çözümlerin Oluşturulması: Çizelge 5.25'te gösterilen veriler ve Eşitlik 3.11 ve 3.12 kullanılarak ideal ve negatif ideal çözümler oluşturulmuş ve Çizelge 5.26'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.26. İdeal ve Negatif İdeal Çözümler

Çözümler / Kriterler	T	GÇ	S	U	FK	TP
İdeal (A^+)	0,065	0,094	0,062	0,015	0,029	0,020
Negatif İdeal (A^-)	0,007	0,009	0,006	0,002	0,010	0,007

Adım 5: Ayrım Ölçütlerinin (S^+ , S^-) ve Topsis Sonuçlarının Bulunması: Çizelge 5.25 ve 5.26'da bulunan veriler Eşitlik 3.13 ve 3.14 doğrultusunda kullanılarak ayırım ölçütleri hesaplanmıştır. Daha sonra ayırım ölçütleri Eşitlik 3.15 ile kullanılarak her bir personelin Topsis puanı (TP) hesaplanmış ve bu sonuçlar 0-100 skalasına yerleştirilmiştir. Bu veriler Çizelge 5.27'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.27. Ayrım Ölçütleri ve TOPSIS Sonucu

Personel No.	S^+	S^-	TP	TP (0-100)
1	0,09	0,03	0,284	30,3
2	0,08	0,04	0,344	36,7
3	0,02	0,10	0,851	90,9
4	0,02	0,10	0,842	89,9
5	0,02	0,10	0,857	91,5
6	0,08	0,04	0,335	35,7
7	0,02	0,10	0,849	90,6
8	0,02	0,12	0,869	92,7
9	0,11	0,02	0,125	13,3
10	0,10	0,02	0,199	21,2
11	0,06	0,07	0,559	59,7
12	0,07	0,07	0,500	53,4
13	0,05	0,08	0,616	65,7
14	0,09	0,04	0,293	31,3
15	0,01	0,12	0,937	100
16	0,10	0,03	0,212	22,7
17	0,02	0,10	0,833	88,8
18	0,07	0,05	0,406	43,4
19	0,12	0,02	0,146	15,5
20	0,01	0,12	0,910	97,1
21	0,11	0,02	0,169	18,1
22	0,08	0,04	0,358	38,2
23	0,06	0,07	0,541	57,7
24	0,07	0,06	0,459	49,0
25	0,07	0,05	0,411	43,8
26	0,07	0,05	0,409	43,6
27	0,03	0,09	0,771	82,2
28	0,04	0,08	0,690	73,6
29	0,10	0,03	0,244	26,0

Topsis puanı Eşitlik 3.15 ile hesaplanmıştır her bir personel i olmak üzere bu puanlar Eşitlikte C_i olarak gösterilmiştir. Sonuçlar $0 \leq C_i \leq 1$ kuralına uymaktadır. Topsis

sonucunun 0-100 skalasında gösterilen değerleri personellerin yetkinlik puanı olarak saptanmıştır.

5.6.4 Problem 6 için Önceliklendirilmiş Hedef Programlama Modelinin Kurulması

Bu modelde amaç hem iş yüklerinin personellere vardiya bazlı ve toplam olarak adil bir şekilde dağıtılması hem de her bir gün her bir bölümün tüm vardiyalarında yetkinlik bakımından dengeli bir çalışma planı oluşturulmasıdır. Böylece iş yükü adil bir şekilde dağıtılarak personel memnuniyeti ve verimli çalışma ortamı oluşturulurken vardiyalarda da yetkinlik bakımından dengeli bir atama sağlanacak ve bu durum sürdürülebilirliği artıracaktır. Ek olarak beklenmedik olaylarda gerekli aksiyonları alabilecek personeller her zaman tüm vardiyalarda görevde olacaktır. Modelin öncelikli amacı iş yüklerinin adil bir şekilde dağıtılması, ikincil amaç ise yetkinlik bakımından dengeli vardiyaların oluşturulmasıdır. Problem 1 için kurulan modeldeki notasyon ve kısıtlara ek olarak bazı yardımcı karar değişkenleri, parametre, amaç ve kısıt tanımlanarak bu probleme çözüm yaklaşımı sunulmuştur. Problem 1’de kullanılan modele dahil edilen notasyon ve eşitlikler aşağıda gösterilmiştir.

Parametreler:

$Yt_i \in \mathbb{N}^+$ i. personelin yetkinlik puanı $\forall i \in I$

Çizelge 5.27

Yardımcı karar değişkenleri:

$oy_{jkl} \in \mathbb{N}^+$: j günün k. vardiyasında l. Bölüme atanan personellerin ortalama yetkinlik puanı, $\forall j \in J, k \in K, l \in L$

$MaxOY \in \mathbb{N}^+$: herhangi bir günün herhangi bir vardiyasında herhangi bir bölüme atanan personellerin yetkinlik ortalamasının en büyüğü

$\text{MinOY} \in \mathbb{N}^+$: herhangi bir günün herhangi bir vardiyasında herhangi bir bölüme atanan personellerin yetkinlik ortalamasının en küçüğü

$d_1 \in \mathbb{N}$: 1. hedefin pozitif sapması

$d_2 \in \mathbb{N}$: 2. hedefin pozitif sapması

Kısıtlar: Problem 1 için kurulan matematiksel modelde kullanılan kısıtlara ek olarak bu modele dahil edilen kısıtlar aşağıda gösterilmiştir.

$$\sum_{i \in I} x_{ijkl} * YT_i / D_{lk} = oy_{jkl} \quad \forall j \in J, k \in K, l \in L \quad (5.36)$$

$$\text{MaxOY} = \text{Max}\{oy_{jkl} : j \in J, k \in K, l \in L\} \quad (5.37)$$

$$\text{MinOY} = \text{Min}\{oy_{jkl} : j \in J, k \in K, l \in L\} \quad (5.38)$$

Eşitlik 5.36 herhangi bir günün herhangi bir vardiyasında herhangi bir bölüme atanan personellerin ortalama yetkinlik puanını tespit etmek amacı ile belirlenmiştir. Talep kısıtının sert kısıt olması sebebi ile ortalama değer toplam yetkinlik puanlarının personel talebine (D_{lk}) bölünmesi ile bulunmuştur. Eşitlik 5.37 ve 5.38 ise söz konusu ortalama yetkinlik puanlarının uygulama boyunca sırasıyla en yüksek ve en düşük değerini tespit etmek amacıyla modele dahil edilmiştir.

Hedef kısıtları:

Hedef 1: Vardiyaların sayı ve tip bakımından personellere adil bir şekilde dağıtılmasını amaçlayan hedef kısıtıdır.

$$((\text{MaxT}-\text{MinT}) + (\text{MaxT}-\text{MinT}) + (\text{MaxT}-\text{MinT})) - (d_1) = 0 \quad (5.39)$$

Hedef 2: Herhangi bir vardiyada görevli personellerin yetkinlik ortalamasının mümkün olduğunca eşit olması içindir. Böylece yetkinlik puanı yüksek olan personelin yanına yetkinlik personeli düşük olan personel atanacak böylece operasyonların sürdürülebilirliği belirli bir kalite seviyesinde sağlanacaktır.

$$(\text{MaxOY}-\text{MinOY}) - (d_2) = 0 \quad (5.40)$$

Amaç fonksiyonu: Model önceliklendirilmiş iki amaca sahiptir. Bu amaçların sırası ile öncelikli ve ikincil olduğu durumlarda model çözülmüş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

$$\text{Senaryo 1: Min } Z = P_1 d_1 + P_2 d_2 \quad (5.41)$$

$$\text{Senaryo 2: Min } Z = P_1 d_2 + P_2 d_1 \quad (5.42)$$

5.6.5 Senaryo 1 için Model Sonuçları

Model iki tür amaca sahiptir. Birincil amaç iş yüklerinin adil bir şekilde ve şartlarda personellere dağıtılmasıdır. Bu amaçla personellerin toplam atanma, toplam akşam vardiyası ve toplam gece vardiyası sayıları mümkün olduğunca dengelenmiştir. İkincil amaç ise bütün vardiyalara atanan personellerin ortalama yetkinlik puanlarının mümkün olduğunca dengeli olmasıdır. Model iki tür amaç için de 3600 saniye süre sınırı ile çözülmüştür. İş yüklerinin dengeli bir şekilde dağıtılması amacı 870 saniye sürerken, vardiyaların yetkinlik bakımından dengelenmesi amacı süre sınırına takılmış ve 3600 saniye sürmüştür. Sonuç olarak model çözümü 4470 saniye sürmüştür. İkincil amaç süre sınırına takıldığı için model sonucu optimal değildir. Ancak birincil amaç sonucu optimaldir. Model 9065 adet değişkene ve 8447 adet kısıta sahiptir. Birincil amaç olan adil çalışma ortamı sonuçları Çizelge 5.28’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.28. Personellerin Vardiya Bazlı Toplam Atama Değerleri

P	T	TS	TA	TG	P	T	TS	TA	TG
1	25	11	9	5	16	25	12	8	5
2	25	12	8	5	17	24	10	8	6
3	24	11	8	5	18	25	11	8	6
4	24	11	8	5	19	25	12	8	5
5	25	11	9	5	20	24	11	8	5
6	25	12	8	5	21	25	12	8	5
7	25	11	9	5	22	25	12	8	5
8	25	11	8	6	23	25	11	9	5
9	25	12	8	5	24	25	11	8	6
10	25	12	8	5	25	24	11	8	5
11	25	12	8	5	26	25	11	8	6
12	25	12	8	5	27	25	12	8	5
13	25	12	8	5	28	25	11	9	5
14	25	11	9	5	29	25	11	9	5
15	25	11	9	5					

Adil bir çalışma ortamı oluşturmak amacıyla uygulamada öncelikli olarak personellerin toplam atanma, toplam akşam vardiyası atanma ve toplam gece vardiyası atanma sayılarının mümkün olduğunca eşit olması istenmiştir. Çizelgeden görülebileceği üzere personellerin toplam atanma, toplam akşam vardiyası atanmaları ve toplam gece vardiyası atanmaları en büyük ve en küçük değerleri sırası ile 25-24, 9-8 ve 6-5 şeklindedir. Bu sonuçlar uygulamanın başarılı olduğunu göstermektedir.

Uygulamanın ikincil amacı ise tüm vardiyaların yetkinlik bakımından dengeli olmasıdır. Bu ikincil amaç olduğu için problem çözücü tarafından birincil amacın sonuçlarını değiştirmeden çözülmüştür. Tüm bölümlerin tüm vardiyalarındaki ortalama yetkinlik puanları Çizelge 5.29’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.29. Vardiyalarda Oluşan Ortalama Yetkinlik Puanları

Günler	B1	B2	B3		Günler	B1	B2	B3
1	S:64,95 A:45,13 G:43,47	S:58,78 A:58,78 G:59,36	S:65,17 A:43,65 G:53,36		16	S:45,36 A:45,15 G:47,98	S:46,36 A:52,89 G:45,87	S:62,8 A:89,85 G:88,84
2	S:49,83 A:45,37 G:86,82	S:46,14 A:63,08 G:59,36	S:73,29 A:49,02 G:43,65		17	S:56,67 A:53,45 G:48,5	S:53,46 A:48,09 G:67,63	S:53,49 A:89,85 G:43,36
3	S:53,73 A:55,59 G:65,63	S:55,55 A:59,06 G:61,54	S:51,97 A:53,36 G:43,84		18	S:47,0 A:50,14 G:63,78	S:57,74 A:48,09 G:60,22	S:90,15 A:59,66 G:43,84
4	S:51,1 A:57,49 G:60,1	S:44,37 A:48,71 G:45,03	S:65,69 A:43,65 G:43,84		19	S:49,58 A:52,67 G:63,78	S:50,81 A:58,81 G:53,03	S:77,3 A:59,66 G:90,61
5	S:46,34 A:52,77 G:45,03	S:62,87 A:58,72 G:61,54	S:58,73 A:88,84 G:43,65		20	S:49,3 A:48,72 G:47,7	S:56,9 A:65,57 G:53,07	S:48,6 A:65,75 G:49,02
6	S:53,89 A:64,36 G:62,3	S:56,07 A:55,24 G:61,54	S:56,25 A:43,36 G:43,65		21	S:51,86 A:53,5 G:54,34	S:51,04 A:61,49 G:53,07	S:90,35 A:73,65 G:43,36
7	S:48,41 A:43,78 G:50,75	S:54,37 A:64,99 G:53,07	S:63,27 A:57,74 G:43,65		22	S:44,55 A:53,86 G:60,55	S:55,69 A:57,36 G:45,85	S:70,45 A:57,74 G:59,66
8	S:54,16 A:52,42 G:56,76	S:56,74 A:60,15 G:55,9	S:73,05 A:43,84 G:49,02		23	S:47,75 A:54,78 G:53,95	S:49,34 A:44,02 G:44,2	S:62,94 A:90,61 G:88,84
9	S:49,02 A:49,53 G:68,35	S:67,92 A:48,79 G:58,73	S:54,7 A:59,66 G:49,02		24	S:52,84 A:52,11 G:51,59	S:47,94 A:57,76 G:50,15	S:85,35 A:90,61 G:43,65
10	S:53,49 A:53,03 G:74,51	S:52,87 A:49,53 G:56,75	S:53,07 A:59,66 G:88,84		25	S:63,75 A:53,41 G:52,09	S:51,26 A:58,46 G:60,22	S:56,29 A:43,84 G:43,36
11	S:45,36 A:51,14 G:50,15	S:54,46 A:62,1 G:67,63	S:53,07 A:43,36 G:53,36		26	S:51,82 A:50,39 G:61,33	S:46,42 A:52,23 G:55,19	S:63,0 A:57,74 G:43,36
12	S:49,74 A:48,15 G:51,59	S:50,79 A:67,69 G:56,33	S:74,51 A:43,65 G:53,36		27	S:47,23 A:53,01 G:57,76	S:51,46 A:56,39 G:46,74	S:86,55 A:90,61 G:43,36
13	S:64,72 A:45,4 G:56,02	S:46,14 A:70,01 G:57,06	S:58,31 A:43,36 G:57,74		28	S:46,51 A:50,16 G:52,19	S:46,21 A:75,69 G:45,0	S:59,12 A:73,65 G:43,36
14	S:43,82 A:55,75 G:46,74	S:59,03 A:59,93 G:56,33	S:85,54 A:43,65 G:43,84		29	S:53,23 A:63,97 G:48,15	S:44,63 A:56,94 G:64,16	S:67,23 A:43,65 G:59,66
15	S:55,92 A:62,98 G:57,42	S:44,37 A:55,51 G:74,6	S:56,29 A:90,61 G:43,84		30	S:52,74 A:46,97 G:45,85	S:47,08 A:65,14 G:59,86	S:89,73 A:43,84 G:43,65

Sonuçlar incelendiği zaman en yüksek yetkinlik ortalamasına sahip vardiyanın değeri 90,61 iken en düşük yetkinlik ortalaması puanı 43,36'dır. Mevcut durumda bu değerler 100 ve 13,3'tür. Uygulama sonuçları optimal değildir, süre kısıtı içerisinde bulunan en iyi sonuçlardır.

Bu uygulama problem 1 için önerilen çözüm yaklaşımına ek olarak vardiya yetkinlik dengelemesi içermektedir. Amaç bir vardiyada beraber çalışan personellerin birbirini dengelemesidir. Böylece örneğin tecrübesi az olan bir personel daha fazla tecrübeye sahip bir personel ile çalışacaktır. Bu durum da birimdeki operasyonların sürekliliğini artıracak istenmeyen olayların oluşmasının önüne geçecektir. Problem 1 için önerilen çalışma çizelgesi (Ek 1) ile bu problem için önerilen çalışma çizelgesi (Ek 5a'da görülebilir) incelendiği zaman görülmektedir ki; yetkinlik puanı en az olan 9 numaralı personel ilk çalışma çizelgesinin ilk günlerinde 1 ve 2 numaralı personel ile beraber çalışırken yeni çalışma düzeninin de yetkinlik puanı en fazla olan personellerden 7 ve 20 ile aynı vardiyaya atanmıştır. Böylece vardiyalar yetkinlik bakımından dengelenmiştir.

5.6.6 Senaryo 2 için Model Sonuçları

Uygulamanın bu senaryosunda birincil öncelik vardiya ortalama yetkinlik puanlarının dengelenmesi olarak belirlenmiştir. İkincil öncelikli amaç ise iş yüklerinin ve çalışma şartlarının adil bir şekilde dağıtılması amacıyla personellerin toplam atanma, toplam akşam vardiyası atanma ve toplam gece vardiyası atanmalarının mümkün olduğunca eşit olmasıdır. İkincil amaç sonuçları Çizelge 5.30'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.30. Adil İş Yükü Dağılım Amacının İkincil Amaç Olduğu Durumda Personellerin Toplam Vardiya Atanma Değerleri

P	T	TS	TA	TG	P	T	TS	TA	TG
1	25	7	8	10	16	25	11	8	6
2	24	17	7	0	17	25	8	9	8
3	25	10	7	8	18	25	15	10	0
4	24	11	7	6	19	25	11	7	7
5	25	12	7	6	20	24	9	8	7
6	25	14	10	1	21	25	8	7	10
7	25	12	7	6	22	25	15	10	0
8	25	10	8	7	23	25	8	10	7
9	25	9	7	9	24	25	18	7	0
10	25	7	9	9	25	25	15	10	0
11	25	6	10	9	26	25	15	10	0
12	24	0	10	14	27	25	12	7	6
13	25	17	8	0	28	25	14	8	3
14	24	13	8	3	29	25	11	9	5
15	25	15	7	3					

Personellerin adil iş yükünü adil şartlarda paylaşma amacının ikincil olduğu durumdaki sonuçları incelendiğinde amacın birincil olduğu senaryoya nazaran daha az dengeli atama yapıldığı açıktır. Amaç birincil durumda iken personellerin toplam atama, toplam akşam ataması ve toplam gece ataması en büyük ve en küçük değerleri arasındaki fark 1 iken; amacın ikincil olduğu durumda bu farklar sırası ile 1, 2 ve 14'tür özellikle gece vardiyası atamalarında oluşan dengesizlik göze çarpmaktadır.

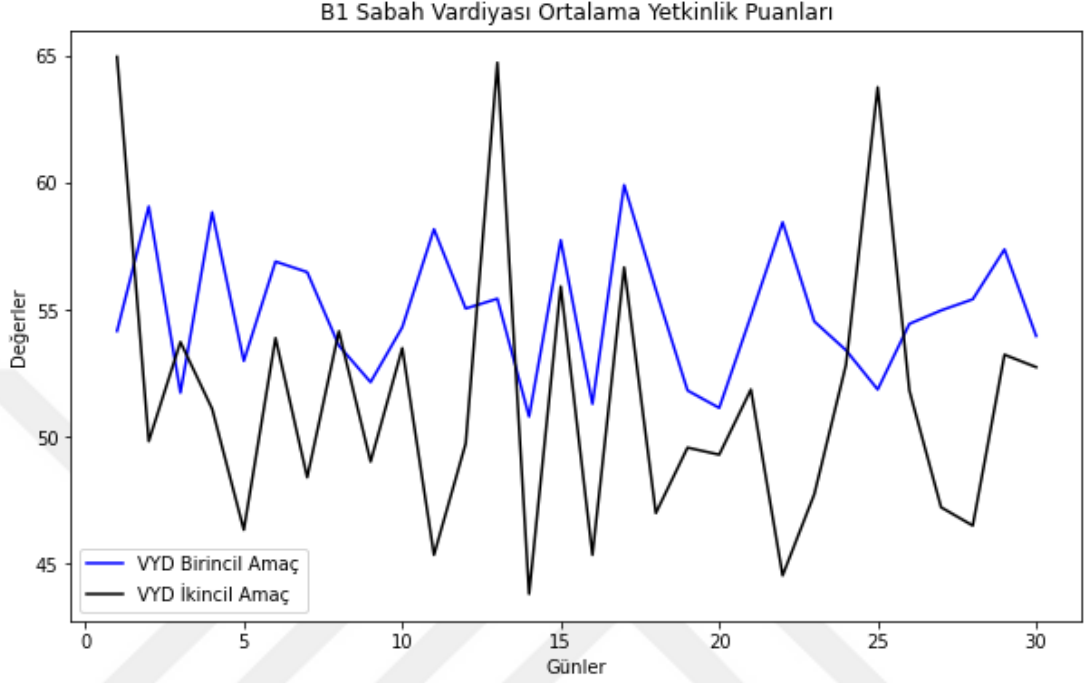
Birincil amaç olan vardiyaların ortalama yetkinlik bakımından dengelenmesine dair olan sonuçlar Çizelge 5.31'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.31. Vardiyaların Yetkinlik Bazında Dengelenmesi Amacının Birincil Olduğu Durumda Vardiya Yetkinlik Değerleri

Günler	B1	B2	B3		Günler	B1	B2	B3
1	S:54,17 A:54,32 G:53,45	S:58,46 A:51,39 G:56,63	S:56,02 A:59,66 G:53,36		16	S:51,29 A:52,95 G:56,02	S:56,33 A:53,25 G:53,07	S:56,66 A:57,74 G:53,36
2	S:59,06 A:51,66 G:53,45	S:60,02 A:51,44 G:56,33	S:53,38 A:59,66 G:53,36		17	S:59,9 A:57,37 G:60,6	S:57,24 A:57,27 G:57,55	S:56,25 A:59,66 G:53,36
3	S:51,74 A:53,65 G:53,45	S:52,1 A:55,0 G:53,03	S:51,99 A:57,74 G:53,36		18	S:55,79 A:51,49 G:51,99	S:59,72 A:52,16 G:55,19	S:54,13 A:59,66 G:53,36
4	S:58,83 A:52,33 G:59,59	S:54,97 A:57,3 G:55,19	S:55,52 A:57,74 G:53,36		19	S:51,82 A:52,1 G:51,59	S:59,72 A:51,48 G:51,99	S:58,43 A:59,66 G:53,36
5	S:52,99 A:52,57 G:60,6	S:60,32 A:59,18 G:55,19	S:58,73 A:57,74 G:53,36		20	S:51,14 A:58,7 G:56,66	S:51,6 A:54,8 G:56,33	S:56,29 A:59,66 G:57,74
6	S:56,9 A:52,33 G:56,02	S:55,45 A:53,7 G:60,48	S:53,45 A:57,74 G:59,66		21	S:54,76 A:57,36 G:55,52	S:57,58 A:51,54 G:57,06	S:56,29 A:53,36 G:57,74
7	S:56,48 A:54,87 G:57,92	S:54,94 A:54,38 G:55,9	S:55,39 A:53,36 G:59,66		22	S:58,44 A:51,6 G:53,19	S:57,64 A:51,49 G:54,76	S:55,19 A:53,36 G:57,74
8	S:53,59 A:53,99 G:57,92	S:52,94 A:51,38 G:56,33	S:58,99 A:53,36 G:59,66		23	S:54,54 A:51,61 G:56,29	S:51,66 A:53,48 G:53,49	S:60,55 A:59,66 G:57,74
9	S:52,15 A:53,4 G:55,52	S:52,05 A:52,82 G:54,12	S:60,05 A:53,36 G:59,66		24	S:53,41 A:51,66 G:60,55	S:56,43 A:51,34 G:56,29	S:60,6 A:53,36 G:59,66
10	S:54,31 A:56,86 G:58,43	S:54,08 A:55,48 G:55,19	S:57,06 A:57,74 G:53,36		25	S:51,86 A:56,3 G:58,99	S:56,37 A:51,88 G:57,55	S:53,49 A:53,36 G:59,66
11	S:58,17 A:52,96 G:60,6	S:58,03 A:59,17 G:55,19	S:55,9 A:59,66 G:53,36		26	S:54,44 A:51,58 G:59,03	S:53,85 A:53,06 G:53,03	S:58,43 A:53,36 G:59,66
12	S:55,05 A:52,41 G:60,6	S:58,06 A:52,43 G:52,45	S:58,73 A:59,66 G:53,36		27	S:54,97 A:53,98 G:53,45	S:56,65 A:52,23 G:59,36	S:53,49 A:57,74 G:59,66
13	S:55,43 A:56,22 G:57,76	S:51,73 A:52,15 G:57,69	S:54,76 A:57,74 G:59,66		28	S:55,41 A:57,62 G:53,45	S:56,11 A:54,93 G:56,96	S:52,4 A:53,36 G:57,74
14	S:50,8 A:53,12 G:52,45	S:53,18 A:52,15 G:54,13	S:52,09 A:57,74 G:53,36		29	S:57,37 A:57,19 G:60,05	S:59,26 A:55,21 G:54,33	S:53,19 A:53,36 G:57,74
15	S:57,74 A:51,76 G:52,45	S:54,3 A:55,47 G:54,13	S:59,03 A:57,74 G:53,36		30	S:53,97 A:57,27 G:52,19	S:59,71 A:55,21 G:56,63	S:60,6 A:59,66 G:57,74

Sonuçlar incelendiğinde vardiyaların yetkinlik bakımından dengelendiği görülmektedir. Bu amacın ikincil olduğu senaryoda en düşük yetkinlik ortalama puanına sahip vardiya ile en yüksek puana sahip olan vardiya farkı 43,36 iken bu senaryoda söz konusu fark (60,6-50,8) 9,8'dir.

Vardiya yetkinlik dengelenmesi (VYD) birincil ve ikincil amaç olduğu durumların karşılaştırılması Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Karşılaştırma verileri B1 bölümü sabah vardiyası olarak alınmıştır.



Şekil 5.2. B1 Bölümü Sabah Vardiyası Yetkinlik Dengelenmesi Birincil ve İkincil Amaç Durumunda Karşılaştırılması

VYD’nin birincil amaç olarak belirlenmesi durumunda ikincil amaç durumuna göre daha fazla dengeli olduğu şekilde açık bir şekilde görülmektedir. Bu senaryo doğrultusunda oluşturulan çalışma planı Ek 5b’de gösterilmiştir.

5.7. Tasarlanan Arayüz

Tez kapsamında uygulama alanı olan TMM biriminde çalışan mavi yakalı personellerin çalışma planı farklı senaryolar dikkate alınarak yürütülmüştür. Problemler için önerilen çözüm yöntemleri farklı girdi verilerine cevap verecek şekilde kullanılmıştır. Bir sistem tasarımı için bu gereklidir. Birimin farklı verilerle de kullanabileceği ve optimal sonuçlar elde edebileceği bir yazılım sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemin ekran görüntüsü Şekil 5.3’te gösterilmiştir.

TMM Work Planner

Departments

☒ Dep1
☒ Dep2
☐ Dep3

Create
Clear
Add New Department

Staff Demands

	Morning	Afternoon	Night	Day
D1	5	3	2	30
D2	3	3	2	

Confirm

Staff Data

☐ Manual Input ☒ With File (required for competence-based)

Browse a file **Empty**
Open the file

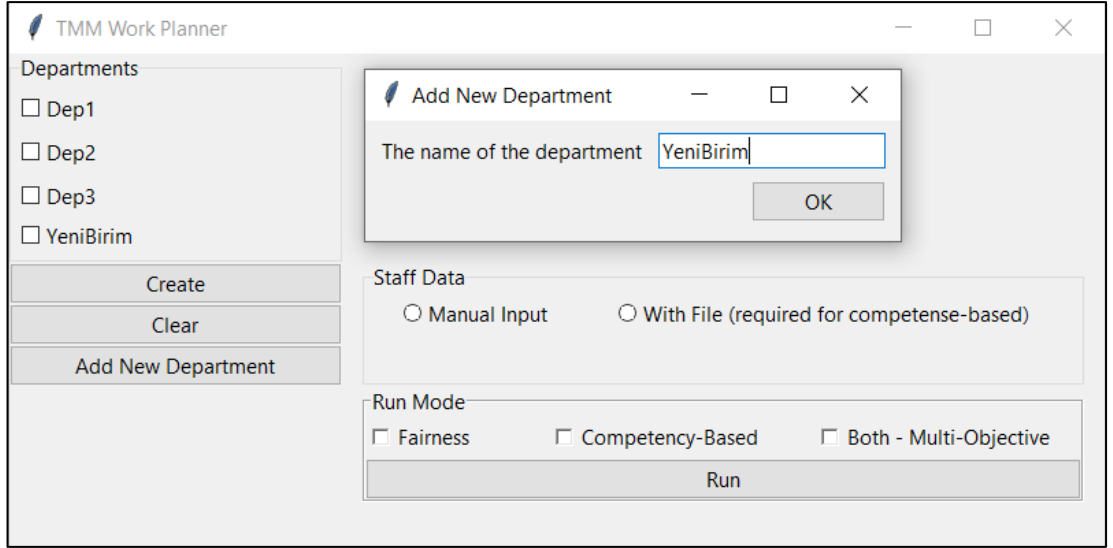
Run Mode

☐ Fairness ☐ Competency-Based ☒ Both - Multi-Objective

Run

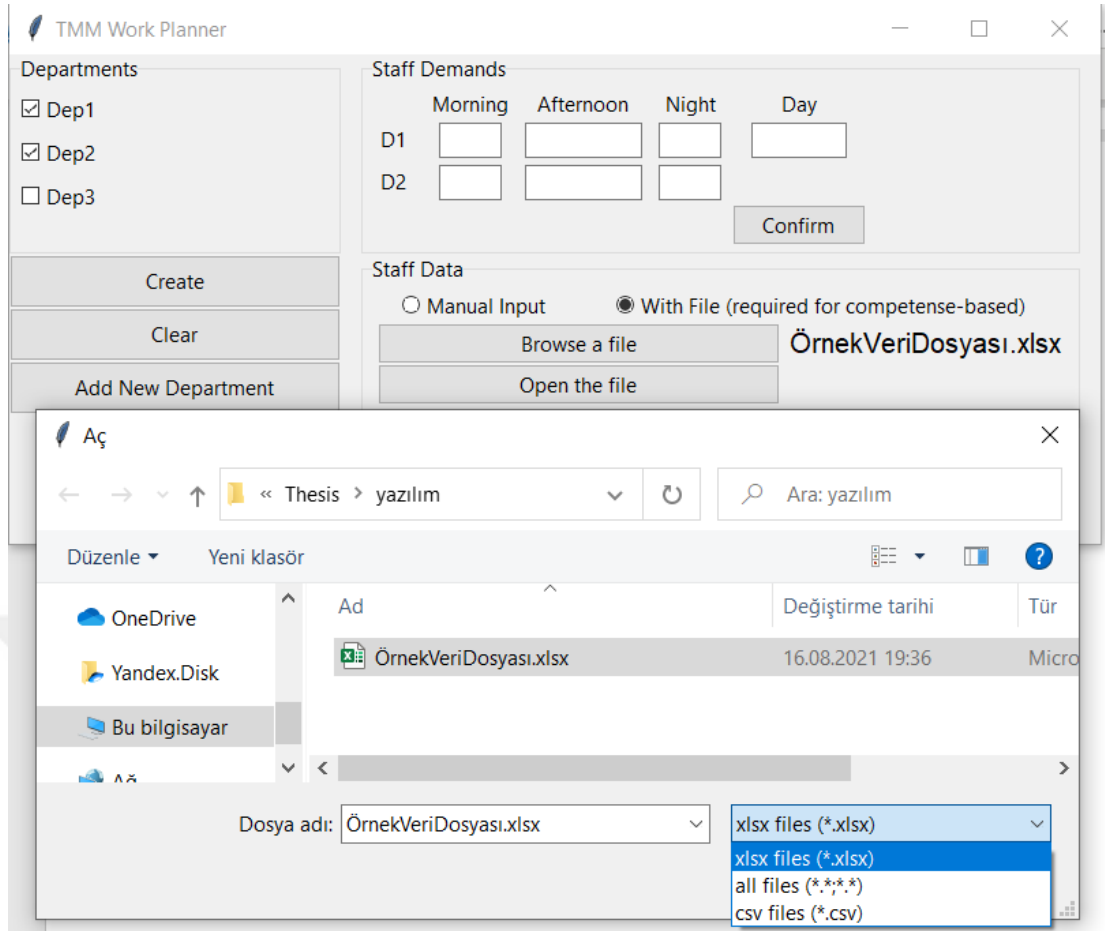
Şekil 5.3. Personel Çalışma Planı Yazılımı Arayüzü

Şekil incelendiğinde “Departments” alanında birimlerin (Dep1, Dep2, Dep3) yer aldığı görülmektedir. Çalışma planına dahil edilecek bölümler burada işaretlenmektedir. Daha sonra bu bölümün altında yer alan butonlardan “Create” butonuna basıldığında yazılımın sol üstünde yer alan “Staff Demands” alan aktif olmaktadır. Bu alanda çizelgesi yapılmak üzere tik konulan bölümlerin personel talepleri 3 vardiya için de belirtilmektedir. Ayrıca çalışma planı oluşturulacak toplam gün sayısı da bu alanda belirtilmemiştir. Çalışma planı oluşturulacak yeni bir birim eklemek “Add New Department” butonu ile mümkündür. Eklenen yeni birim Şekil 5.4’te gösterilmektedir.



Şekil 5.4. Sisteme Yeni Birim Ekleme Özelliği

Bu bölümden önce 6 farklı probleme çözüm yaklaşımı sunulmuştur. Problem 1, 2 ve 5 için personellerle ilgili herhangi bir veri kullanılmamıştır. Problem 3, 4 ve 6 için sırasıyla personelin bölüm talebi, personelin izin günü talebi ve personelin yetkinlik puanı verileri kurulan matematiksel modellere dahil edilmiştir. Genel olarak problemler personel verileri kullanılan ve kullanılmayan modeller olarak iki ayrı başlıkta özetlenebilir. Tasarlanan sistemde personellere ait verilerin kullanılabilmesi için yazılıma dosya yüklenmesi gerekmektedir. Yazılım Excel ve CSV olarak adlandırılan iki dosya türünü desteklemektedir. Söz konusu dosyada personellerin şu başlıklarda bilgileri olması gerekmektedir: formen (F), bölüm talebi (BT), izin günü talebi (GT) ve yetkinlik puanı (Y). Yazılım üzerinde dosya yükleme aşaması Şekil 5.5'te gösterilmektedir.



Şekil 5.5. Sisteme Dosya Yükleme İşlemi

“Browse a file” butonu ile ÖrnekVeriDosyası isimli dosya sisteme yüklenmiştir. Sistem iki dosya türünü kabul etmektedir: Excel ve CSV. Yüklenen dosya sistem üzerinden “Open the file” butonu ile kontrol edilebilmektedir. Yüklenen dosyanın sistem üzerinde açılmış hali Şekil 5.6’da gösterilmektedir.

	F	BT	GT	Y
1	-	B1	Pazartesi	30.341999046787603
2	-	B2	Salı	36.697801776178096
3	B1	B1	Pazar	90.85630340877883
4	B1	B1	Pazar	89.85077187754824
5	B2	B2	Çarşamba	91.46128323823244
6	-	B3	Cuma	35.74788803529073
7	B2	B2	Cumartesi	90.6142822184571
8	B2	B2	Perşembe	92.73186261927455
9	-	B2	Cuma	13.329400020507746
10	-	B1	Çarşamba	21.190153312166593
11	-	B1	Cumartesi	59.65740039392368
12	-	B2	Pazar	53.36000246235535
13	-	B1	Pazar	65.74805859813976
14	-	B2	Cumartesi	31.257604993861822
15	B1	B1	Pazartesi	100.0
16	-	B3	Salı	22.65478774050413
17	B1	B1	Pazar	88.84311497729834
18	-	B3	Pazar	43.356889503189066
19	-	B2	Çarşamba	15.527521949500132
20	B2	B2	Cuma	97.05570500650795
21	-	B1	Perşembe	18.053953236397263
22	-	B1	Cumartesi	38.21002869260382
23	-	B2	Cuma	57.74080150703234
24	-	B3	Çarşamba	49.01761425004878
25	-	B1	Pazartesi	43.84047433438675
26	-	B2	Pazar	43.64649908400802
27	-	B2	Pazar	82.23655864888731
28	-	B1	Salı	73.64693603305426
29	-	B3	Cumartesi	25.996776328241104

Şekil 5.6. Sistem Üzerinde Personel Verileri

Şekilde de görüldüğü üzere personel verileri sistem üzerinden incelenebilir veya “Update” butonu ile veriler sistem üzerinden düzenlenebilir.

TMM biriminin güncel personel talepleri ile sistem üzerinden haftalık oluşturulan çalışma planı Şekil 5.7’de gösterilmiştir.

The Work Plan							
	1	2	3	4	5	6	7
1	D1 M	D2 M	D2 A		D2 M	D1 A	D2 N
2	D1 M	D2 M	D1 A	D2 A	D1 N		D1 M
3	D2 N	D3 N		D1 M	D1 M	D2 A	D1 A
4	D2 M	D1 M	D2 M	D3 A	D1 N		D2 A
5	D1 M	D1 M	D1 M	D1 A	D1 A	D3 N	
6	D2 N		D3 M	D2 M	D3 M	D3 A	D2 A
7		D2 M	D1 M	D1 M	D1 A	D2 A	D3 N
8	D2 A	D2 N		D1 M	D1 M	D1 M	D1 A
9	D1 M	D1 A	D1 N		D2 M	D1 A	D2 N
10	D3 M	D3 M	D2 M	D2 M	D2 A	D1 N	
11	D1 M	D2 A	D3 N		D1 A	D2 N	
12	D1 A		D1 A	D3 N		D3 M	D1 M
13	D2 M	D1 M	D2 A	D1 A	D2 N		D3 M
14		D2 A	D2 A	D1 N		D1 M	D2 M
15	D1 N		D1 M	D2 M	D1 M	D2 A	D2 A
16	D1 A	D2 N		D1 M	D1 M	D2 M	D1 A
17	D2 A	D1 N		D1 M	D1 M	D2 M	D3 A
18	D3 N		D1 M	D2 A	D2 A		D2 M
19	D2 M	D3 A	D3 A	D1 N		D1 M	D2 M
20	D1 A	D1 N		D3 M	D3 M	D3 M	D1 A
21	D1 A	D1 A	D2 N		D2 M	D2 M	D1 M
22	D3 M	D1 M	D1 M	D2 A	D3 N	D2 N	
23		D1 M	D3 M	D1 A	D3 A	D1 N	D1 N
24	D1 N		D2 M	D3 M	D1 A	D1 A	
25	D2 M	D2 A	D1 A	D2 N		D2 M	D3 M
26		D3 M	D2 M	D2 M	D2 A	D1 A	D1 N
27	D3 A	D1 A	D2 N	D2 N		D1 M	D2 M
28	D2 A	D1 A	D1 N		D2 M	D1 M	D1 M
29		D2 M	D1 A	D1 A	D2 N		D1 M

General Results

Şekil 5.7. Örnek Olarak Haftalık Oluşturulan Çalışma Planı

Yazılımın bu ekranında “General Results” butonu ile personellerin her vardiyada ve toplamda ne kadar atandıkları görülebilmektedir. Söz konusu veriler Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Burada T.A, T.M ve T.AF sırası ile toplam atama, toplam sabah vardiyası ataması ve toplam akşam vardiyası atamasını gösterirken, T.N ise toplam gece vardiyası atamasını göstermektedir.

	T.A	T.M	T.AF	T.N
1	6.00	3.00	2.00	1.00
2	6.00	3.00	2.00	1.00
3	6.00	2.00	2.00	2.00
4	6.00	3.00	2.00	1.00
5	6.00	3.00	2.00	1.00
6	6.00	3.00	2.00	1.00
7	6.00	3.00	2.00	1.00
8	6.00	3.00	2.00	1.00
9	6.00	2.00	2.00	2.00
10	6.00	4.00	1.00	1.00
11	5.00	1	2.00	2.00
12	5.00	2.00	2.00	1.00
13	6.00	3.00	2.00	1.00
14	5.00	2.00	2.00	1.00
15	6.00	3.00	2.00	1.00
16	6.00	3.00	2.00	1.00
17	6.00	3.00	2.00	1.00
18	5.00	2.00	2.00	1.00
19	6.00	3.00	2.00	1.00
20	6.00	3.00	2.00	1.00
21	6.00	3.00	2.00	1.00
22	6.00	3.00	1.00	2.00
23	6.00	2.00	2.00	2.00
24	5.00	2.00	2.00	1.00
25	6.00	3.00	2.00	1.00
26	6.00	3.00	2.00	1.00
27	6.00	2.00	2.00	2.00
28	6.00	3.00	2.00	1.00
29	5.00	2.00	2.00	1.00

Şekil 5.8. Personellerin Vardiya Bazlı ve Toplam Atanma Değerleri

Yazılımda görsellik adına kullanılan tablo görünümü için “pandastable” modülü kullanılmıştır (Farrell, 2016).

Kurulan karar destek sistemi sayesinde yöneticilerin çalışma planı oluşturmaları etkili ve pratik bir şekilde yürütülebilmektedir. Sistem yöneticilerin kullanmasına yönelik tasarlanmıştır. Yöneticiler personeller üzerinden gerekli verileri tutarlı bir şekilde alarak sistemi etkin bir şekilde kullanabilirler. Personellerin hem bölüm hem de haftalık izin günü taleplerinin dikkate alındığı çalışma ve personel yetkinliklerinin kullanıldığı çalışma personel verileri üzerinden yürümektedir. Bu noktada verilerin tutarlı bir şekilde sağlanabilmesi önemlidir. Tutarlı sağlanan veriler ışığında sistem etkin bir şekilde kolaylıkla kullanılabilir.

6. SONUÇ

Dünyanın globalleşmesi, iletişim olanaklarının gelişmesi ile artık firmalar ürünlerini pazarlamak için belirli bir bölge ile sınırlı kalmamaktadırlar. Mesafe fark etmeksizin her noktadan talep alabilmektedirler. Bu durum firmaların iş yoğunluklularını artırmıştır. Ek olarak pazardaki yerlerini korumak için kalite düzeylerini dünya standartlarına çıkarmaları gerekmektedir. Müşteri taleplerinin ve beklentilerinin her geçen gün yükseldiği bu ortama uyum sağlamaları gerekmektedir.

Kuruluşlar rekabetin her geçen gün arttığı ortamda kaynak planlamaları konusunda hassas olmalıdırlar. Kaynakları planlı ve başarılı bir şekilde yürüterek kapasite kullanımlarını artırmalıdırlar. Aksi takdirde kaynak için ayrılan maliyet ile beklenen getiri sağlanamaz. Talepler karşılanamayarak veya beklenen kalitede karşılanamayarak müşteri kaybı oluşur. Kuruluşların sahip olduğu en önemli kaynaklardan bir tanesi iş gücüdür. İş gücü her türlü operasyonda etkili rol oynayan bir faktördür. Bu nedenle iş gücü planlaması yapılmadan operasyonların etkin bir şekilde sürdürülebilmesi oldukça zordur.

Bu çalışmada 7/24 üretim yapan bir tesis için personel atama ve çizelgeleme karar destek sistemi tasarlanmıştır. Problem 1'in çözüm yöntemi olarak optimal sonuç veren karma tamsayılı programlama yöntemi kullanılırken diğer problemler için önceliklendirilmiş hedef programlama yaklaşımı kullanılmıştır. Çalışma planı ile ilgili altı farklı problem ele alınmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Bazı problemlerde mevcut çalışma planına ek bazı veriler kullanılmıştır. Kullanılan bazı veriler çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHS ve TOPSIS yöntemi kullanılarak işlenmiştir.

Problem 1'de mevcut çizelgeleme problemine bir çözüm sunulmuştur. Bu problemdeki tek amaç toplam vardiya, toplam akşam vardiyası ve toplam gece vardiyası atama sayılarının personellere mümkün olduğunca adil dağıtılmasıdır. Problemin başarılı bir şekilde çözüldüğü mevcut sistem ile olan karşılaştırmada ortaya konulmuştur. Vardiyalar personellere sayıca ve tip bakımından adil bir şekilde dağıtılmıştır. Model bir karar destek sistemi olarak çalışacağı için değişken veri

girişine duyarlıdır. Dolayısıyla personellerin atanması gereken toplam atanma sayısı gibi değerler modele sayısal olarak dahil edilmemiştir. Bu değerlerin model içerisinde tespiti ardından da amaç olarak kullanılması sağlanmıştır.

Personel giderleri bir kuruluş için en büyük gider kalemlerindendir. Kuruluşun operasyonlarını yürütebilmek için gereken en az sayıda personeli istihdam etmesi kâr marjı açısından önemlidir. Maliyet en azlanmasına yönelik amaca sahip olan modellerde personel sayısı otomatik olarak en azlanabilmektedir. Ancak personellere sabit ücretin ödendiği veya maliyet verisinin dahil edilmediği modellerde en az personel sayısı tespiti için ek bir karar değişkeni gerekmektedir. Problem 2 bu amaçla ele alınmıştır. Bu problem birimlerin personel ihtiyacı dahilinde en az personel sayısını tespit etmekte ardından bu personellerin toplam vardiya, toplam akşam vardiyası ve toplam gece vardiyası atamalarını dengelemektedir. Bu yaklaşım ile kuruluş operasyonlarını yürütebilmesi için en az ne kadar personele ihtiyaç duyduğunu tespit edebilmektedir. Ardından bu değer üzerinden iş gücü dengelemesi model tarafından yürütülmektedir.

Personel memnuniyeti ile performansı arasında doğru orantı vardır. Personel memnuniyeti artırılarak daha verimli bir çalışma ortamı oluşturulabilir. Personel memnuniyetini artırmanın bir yolu personel taleplerinin dikkate alındığı bir çalışma planıdır. Problem 3'te personellerin çalışmak istedikleri bölüm talepleri modele dahil edilmiştir. Bu problem için kurulan model iki amaç ve iki amacın da sırasıyla öncül olduğu iki senaryo içermektedir. Birinci senaryoda amaç problem 1'de kullanılan vardiya sayısı ve tiplerinin dengelenmesi amacı öncül amaç olurken, ikincil amaç personel bölüm taleplerinin mümkün olduğunca karşılanmasıdır. İkinci senaryo bu durumun tersi ele alınmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Modelde toplam taleplerin karşılanma durumu incelenmiş bu karşılanma durumu personel bazlı ele alınmamıştır. Yani bir personelin tüm istekleri karşılanırken diğer personelin birden fazla karşılanmayan isteği mevcuttur. İleriki çalışmalarda karşılanma durumunu personel bazlı bir amaç olarak düşünülebilir.

Problem 4 problem 3'ün geliştirilmiş halidir. Problem 3 için kurulan matematiksel modele personellerin haftalık izin günü talebi dahil edilmiştir. Böylece personel memnuniyeti artırılması amaçlanmıştır. Farklı olarak personellerin sosyal hayatlarının daha düzenli olması ve bu memnuniyetin çalışma alanına yansması amaçlanmıştır. Her personelden haftalık izin için bir gün talebi toplanmış ve bu günlerin uygulama ayı içerisindeki tarihleri saptanarak modele dahil edilmiştir. Daha sonra toplam karşılanma durumunun en çoklanması amaçlanmıştır. İleriki çalışmalarda toplam karşılanmadan ziyade personel bazlı bir yaklaşım kullanılabilir.

Problem 5; bölümlerin personel talebinin değişmesi durumu veya çeşitli nedenlerle personel sayısının azalması durumunda modele ekstra personel dahil ederek çalışma planı oluşturulmasını mümkün kılan bir çözüm yaklaşımı içermektedir. Günümüzde taleplerin anlık değişebilmesi veya çeşitli nedenlerle bazı personellerin çalışamaması durumu oluşabilmektedir. Bu gibi durumlarda hazırlanmış olan çalışma planı artık geçerli olmayabilir ve yeni bir çalışma planının yeni taleplere ve/veya yeni personel kaynağı ile hazırlanması gerekebilir. Problem 5'te bu durum ele alınmış ve bir çözüm yaklaşımı sunulmuştur.

Problem 6 personel yetkinliklerinin çalışma planını şekillendirmesini içermektedir. Problem 6 için öncelikle uygulama alanında yetkili kişiler ile operasyonlar için bir personelin sahip olmasının önemli olduğu altı adet kriter belirlenmiştir. Daha sonra kriterler AHS yöntemi ile yine yetkili kişiler görüşü kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Ağırlıklandırılan kriterler TOPSIS yönteminde kullanılarak personellerin önceliklendirilmesi sağlanmıştır. Böylece her bir personele ait yetkinlik puanı oluşturulmuştur. Çalışma planında her bir vardiyaya atanan personellerin oluşturduğu yetkinlik ortalamasının dengelenmesi amaçlanmıştır. Yetkinlik puanı yüksek ile düşük personelin aynı vardiyada görev alması istenmiştir. Vardiyalarda oluşabilecek istenmeyen olayları önlemek için her zaman yetkinlik puanı yüksek bir personelin ortamda bulunabilmesi ve yetkinlik puanı düşük personellerin yüksek bir personel ile çalışarak kendini geliştirmesi problemin çıktılarındandır. Problem iki amaca sahiptir. Tüm problemlerde olan vardiya sayı ve tiplerinin adil dağıtılması amacı ve vardiya yetkinlik bakımından dengelenmesi amacı. İki amacında öncelikli ve

ikincil olduğu iki farklı senaryo problem dahilinde oluşturulmuş ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çizelgeleme problemleri için kurulan matematiksel modeller yapıları gereği diğer modellere kıyasla daha fazla parametre içermektedir. Çizelge çalışması yapılacak her bir eleman için en az bir tane karar değişkeni tanımlamak gerekmektedir. Çizelge planının zamanı (aylık, haftalık vs.), gün içerisinde ele alınacak diğer durumlar düşünüldüğünde karar değişkeni sayısı çok daha fazla olmaktadır. Buna bağlı olarak kısıt sayısı da artmaktadır. Dolayısıyla bu tip problemler için kurulan modellerin çözümü ya uzun zaman almaktadır ya da probleme bağlı olarak çözülememektedir. Bu gibi durumlarda daha hızlı ve kaliteli sonuç alabilmek veya sadece sonuca ulaşabilmek için genetik algoritma gibi sezgisel yöntemlere başvurulması gerekmektedir.

Uygulama yapısı deterministik olarak ele alınmıştır. İleriki çalışmalar için dinamik durumların da göz önüne alındığı bir sistem kurulabilir. Bir personelin herhangi bir günde çalışmama durumu gibi durumlar dikkate alınarak çözüm yaklaşımı buna göre uyarlanabilir. Böylece beklenmedik durumlar için hızlı önlemler alınarak çalışma sürdürülebilirliği değişken durumlarda da sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- Abbink E., Fischetti M., Kroon L., Timmer G., Vromans M., Reinventing crew scheduling at Netherlands railways, *Interfaces*, 35, 393–401, 2005.
- Addou, I., Soumis, F., Bechtold-Jacobs generalized model for shift scheduling with extraordinary overlap. *Annals of Operations Research*, 155 (1): 177-205, 2007.
- Âdem, A., Dağdeviren, M., A personnel scheduling model containing thermal comfort and equivalent metabolic rate factors. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36(1), 303-317, 2021.
- Aickelin U., Burke E.K., Li J.P., Improved squeaky wheel optimisation for driver scheduling, Parallel Problem Solving from Nature – Ppsn Ix, *Lecture Notes in Computer Science*, 4193, 182–191, 2006.
- Aickelin U., White P., Building better nurse scheduling algorithms, *Annals of Operations Research*, 128, 159–177, 2004.
- 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.
- Akjiratikarl C., Yenradee P., Drake P.R., PSO-based algorithm for home care worker scheduling in the UK, *Computers & Industrial Engineering*, 53, 559–583, 2007.
- Alfares H.K., Compressed workweek scheduling with days-off consecutivity weekend-off frequency and work stretch constraints, *Informatica*, 44, 175–189, 2006.
- Alfares H.K., Operator staffing and scheduling for an IT-help call centre, *European Journal of Industrial Engineering*, 1, 414–430, 2007.

Alp, G., Alkaya, A. F., Improving the Quality of Personnel Scheduling by Incorporating Fairness. *International Journal of Modeling and Optimization*, 9(2), 2019.

Alver, V., Eren, T., Bedir, N., Çetin, S., Ücretli Öğretmenlerin AHS-Hedef Programlama ile Derslere Atama Probleminin Çözümü: Kırıkkale’de Bir Uygulama. 38. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi, 5-7 Temmuz, İstanbul: 19-20, 2017.

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, 34–43, 2008.

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, 119–142, 2007.

Azaiez M.N., Al Sharif S.S., A 0-1 goal programming model for nurse scheduling, *Computers & Operations Research*, 32, 491–507, 2005.

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.

Bard, J.F., Binici, C. ve De Silva, A.H., Staff scheduling at the United States Postal Service, *Comput. Oper. Res.*, 30, 745–771, 2003.

Batun S. , Karpuz E. Nurse scheduling and rescheduling under uncertainty. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 38(1): 75-95, 2019.

- 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.
- Bhulai, S., Koole, G., Pot, A., Simple methods for shift scheduling in multiskill call centers. *Manufacturing & Service Operations Management*, 10 (3): 411-420, 2008.
- 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.
- 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.
- Carrasco, R. C., Long-term staff scheduling with regular temporal distribution. *Computer methods and programs in biomedicine*, 100 (2): 191-199, 2010.
- Chirayil Chandrasekharan, R., Smet, P., Wauters, T., An automatic constructive matheuristic for the shift minimization personnel task scheduling problem. *Journal of Heuristics*, 27(1), 205-227, 2021.
- 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.

- Corominas A., Lusa A., Pastor R, Planning annualised hours with a finite set of weekly working hours and joint holidays, *Annals of Operations Research*, 128, 217–233, 2004.
- 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.
- Cürebal, A., Eren, T., COVID-19 pandemi riski durumunda yetkinlik bazlı güvenlik personeli vardiya çizelgeleme probleminin çözümü. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(3), 1483-1497, 2021.
- Cürebal, A., Koçtepe, S., Eren, T., Organizasyon firması için COVID-19 pandemi döneminde aylık personel atama ve çizelgeleme probleminin çözümü: bir uygulama. *Journal of Turkish Operations Management*, 4(2), 479-493, 2020a.
- Cürebal, A., Koçtepe, S., Eren, T., Tanıtım Festivalinde Personel Çizelgeleme Problemi: Bir Uygulama. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, 6(3), 217-229, 2020b.
- Çavdur F., Sebatlı A., Köse Küçük M., A groupdecision making and goal programming-based solution approach for the studentproject team formation problem, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (1), 505-522, 2019.
- Çiloğlu, S., EÜAŞ Ambarlı Doğalgaz Kombine Çevrim Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, 2019.

- Dantzig G.B., Letter to the Editor—A Comment on Edie’s ‘‘Traffic Delays at Toll Booths’’, *Operations Research* 2, 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.
- De Causmaecker P., Demeester P., Van den Berghe G., Verbeke B., in: International Conference on Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT 2004), Pittsburgh, USA, Carnegie Mellon University, 2004, 183–197.
- Demirel, B., Yelek, A., Alağaç, H. M., ve Eren, T. ANKARAY Güvenlik Personelinin Vardiya Çizelgeleme Probleminin Hedef Programlama Yöntemi ile Çözümü, *Demiryolu Mühendisliği*, 8,1-17, 2018.
- 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.
- Eitzen G., Panton D., Mills G., Multi-skilled workforce optimisation, *Annals of Operations Research*, 127, 359–372, 2004.
- 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.

- 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.
- Eren, T., Koçtepe, S., Cürebal, A. Hedef programlama yöntemi ile Akaryakıt istasyonları tanıtımı için Personel çizelgeleme problemi *Journal of Polytechnic*, basımda, 2021.
- Erhard, M., Schoenfelder, J., Fügner, A., Brunner, J. O., State of the art in physician scheduling. *European Journal of Operational Research*, 265(1), 1–18, 2018.
- Ernst, A.T., Jiang H., Krishnamoorthy M., Owens B., Sier D. An annotated bibliography of personnel scheduling and rostering, *Annals of Operations Research* 127: 21–144, 2004.
- 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.
- Farrell, D., DataExplore: An Application for General Data Analysis in Research and Education. *Journal of Open Research Software*, 4: e9, 2016.
- 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.
- 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.

- 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.
- Hassani, R., Desaulniers, G., Elhallaoui, I., Real-time personnel re-scheduling after a minor disruption in the retail industry. *Computers & Operations Research*, 120, 104952, 2020.
- 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.
- Hwang CL, Yoon K., "Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications." Springer-Verlag. 1981.
- Jahandideh, S., Job Scheduling considering both mental fatigue and boredom. University of Ottawa (Canada), 2012.
- 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.
- Kaçmaz, Ö., Alakaş, H. M., Eren, T., Shift scheduling with the goal programming method: A case study in the glass industry. *Mathematics*, 7(6), 561, 2019.

- Kaçmaz, S., Alakaş H.M., Eren, T., Ergonomic Staff Scheduling Problem with Goal Programming in Glass Industry, *Journal of Turkish Operations Management*, 4 (1), 369-377, 2020.
- Koçtepe, S., Bedir, N., Gür, Ş., ve Eren, T. Organizasyon görevlileri için personel çizelgeleme probleminin 0-1 tam sayılı programlama ile çözümü. *Ekonomi İşletme ve Yönetim Dergisi*, 2(1), 25-46, 2018.
- Koubâa, M., Dhouib, S., Dhouib, D., El Mhamedi, A., Truck Driver Scheduling Problem: Literature Review. *IFAC-PapersOnLine*, 49 (12): 1950-1955, 2016.
- Labidi, M., Mrad, M., Gharbi, A., ve Louly, M.A., Scheduling IT Staff at a Bank: A Mathematical Programming Approach, *The Scientific World Journal*, Article ID 768374, 2014.
- Laporte, G., Pesant, G., A general multi-shift scheduling system. *Journal of the Operational Research Society*, 55 (11): 1208-1217, 2004.
- Lezaun M., Perez G., De La Maza E.S., Crew rostering problem in a public transport company, *Journal of the Operational Research Society*, 57, 1173–1179, 2006.
- Marchesi, J. F., Hamacher, S., Fleck, J. L., A stochastic programming approach to the physician staffing and scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 142, 106-281, 2020.
- Matsumoto, R., Yamada, T., Kuo, Y. H., Takanokura, M., Rehabilitation staff scheduling in senior daytime care facility with feeling of physical/mental workloads and movements. *Journal of Advanced Mechanical Design Systems, and Manufacturing*, 14(5), 2020.

- 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. *Iie Transactions*, 36 (2): 155-167, 2004.
- Noack, D., Rose, O., A simulation based optimization algorithm for slack reduction and workforce scheduling. Simulation Conference, WSC 2008. Winter1989-1994, 2008.
- Özcan, E. C., Varlı, E., Eren, T., Hidroelektrik Santrallerde Vardiya Çizelgeleme Problemleri İçin Hedef Programlama Yaklaşımı. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10 (4): 363-370, 2017.
- Özder E.H., Özcan E., Eren T., Staff task-based shift scheduling solution with an ANP and goal programming method in a natural gas combined cycle power plant, *Mathematics*, 7 (2), 192, 2019.
- Özder, E. H., Özcan, E., Eren, T., A systematic literature review for personnel scheduling problems. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 19(06), 1695–1735, 2020a.
- Özder, E.H., Özcan, E.C., Eren, T., Sustainable Personnel Scheduling Supported by an Artificial Neural Network Model in a Natural Gas Combined Cycle Power Plant, *International Journal of Energy Research*, 44: 7525-547, 2020b.
- Pınarbaşı, M., Alakaş, H. M., Personel Görev Çizelgeleme Problemi İçin Bir Excel Çözücü Modeli: Orta Gerilim Sigorta Üretimi Uygulaması. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 12(2), 729-744, 2020.

- Porto, A. F., Henao, C. A., López-Ospina, H., González, E. R., Hybrid flexibility strategy on personnel scheduling: Retail case study. *Computers & Industrial Engineering*, 133, 220–230, 2019.
- 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.
- Saaty, T. L., The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation. *New York: McGraw*, 281, 1980.
- 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.
- Seval M. T., Alp H. N., Çelik A., Aişeoğlu S., Miman M., 0-1 Tamsayılı Programlama ile Bir Hiper Süpermarkette Vardiya Çizelgeleme Problemine Bir Çözüm Önerisi. *ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi*. 2019; 1(2): 70-80, 2019.
- 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.
- 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.

- 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.
- 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.
- Tosun, M., Geyik, O., Bedir, N., Eren, T., Personel Çizelgeleme Probleminin Hedef Programlama ile Çözümü: Akaryakıt İstasyonunda Bir Uygulama. *1. Uluslararası Ekonomi, Finans ve Ekonometri Öğrenci Sempozyumu*, 17-18 Mayıs, Sakarya: 577-587, 2017.
- Trilling L., Guinet A., Le Magny D., Nurse scheduling using integer linear programming and constraint programming, 12th IFAC International Symposium, vol. 3, Elsevier, 651–656, 2006.
- Uslu, B., Bedir, N., Gür, Ş., Eren, T., 0-1 Hedef Programlama Yöntemi ile Hemşire Çizelgeleme Probleminin Çözümü. *1. Ulusal Sağlık Yöneticileri Kongresi*, 14-15 Aralık, İstanbul, 2017.
- 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 Den Broek, R., Hoogeveen, H., Van Den Akker, M., Personnel Scheduling on Railway Yards. In 20th Symposium on Algorithmic Approaches for Transportation Modelling, Optimization, and Systems (ATMOS 2020). Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum für Informatik, 2020.
- 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.
- Vermuyten, H., Rosa, J. N., Marques, I., Belien, J. & Barbosa-Póvoa, A. Integrated staff scheduling at a medical emergency service: An optimisation approach. *Expert systems with applications*, 112, 62-76, 2018.
- 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, 2012.
- Xu, S., Hall, N. G., Fatigue, Personnel Scheduling and Operations: Review and Research Opportunities. *European Journal of Operational Research*, 295 (3), 807-822 2021.
- Yaoyuenyong K., Nanthavanij S., Energy-based workforce scheduling problem: mathematical model and solution algorithms, *Science Asia*, 31, 383–393, 2005.
- Yelek, A., Demirel B., Alağaç, H.M., ve Eren, T. Kısmi Zamanlı Çalışan Personellerin Çizelgelenmesi: Kırıkkale Üniversitesi Merkez Kütüphanesi Örneği, *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8 (2), 313-330, 2018.

Yunes T.H., Moura A.V., De Souza C.C., Hybrid column generation approaches for urban transit crew management problems, *Transportation Science*, 39, 273–288, 2005.

Zucchi, G., Iori, M., Subramanian, A., Personnel scheduling during Covid-19 pandemic. *Optimization Letters*, 15(4), 1–12, 2020.



Ek-1

P	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
1	B1A	B1A	B1A	B1A	B3A	B2G		B2S	B1S	B1S	B1S		B1S	B1S	B1S		B1S	B1S	B1S	B1A	B1G	B2G		B1S	B2S	B1A	B1G	B2G	B1G	
2	B1A	B3A	B2A		B2S	B1S	B1S	B1S		B1S	B1S	B1A	B1G	B3G	B1G		B3S	B2S	B1S	B1A	B2A		B1S	B1S	B1A	B1A	B2G	B1G		B1S
3	B1A	B1A	B1G	B1G		B1S	B1S	B1S	B3S	B1G		B3S	B1A	B1A	B3A	B1G		B1S	B1S	B1S	B1A	B1A	B1A		B3S	B1S	B3S	B1S	B1G	
4	B3A		B3S	B3S	B3G	B1G	B1G	B3G		B3S	B1A	B1A		B3S	B3S	B1S	B1S	B1A	B1A		B1S	B1S		B1A	B1A	B1A	B1A	B3G		B1S
5	B2A	B2A	B2A		B2S	B3S	B2S	B3S	B2A	B3G		B3S	B2S	B3S	B2A	B3G		B3S	B3S	B3S	B2A	B3G		B2S	B2S	B3S	B2A	B3A	B2G	
6	B3S	B1S		B3S	B2S	B2S	B3G	B1G	B1G		B1S	B2S	B2S	B1G		B3S	B2G		B1S	B2S	B3A	B1A	B2A	B2A	B2A	B1A	B1A	B1A		B1A
7	B3G		B2S	B2S	B3S	B2S	B2A	B2A		B2S	B2S	B2A	B2A	B2A	B3G		B3S	B3S	B2S	B2A		B2A	B2A	B2A	B2A	B2G	B3G		B2S	B2S
8	B2S	B3G		B3A	B2A	B2A	B2G	B2G	B2G		B3S	B2S	B3G	B3G		B2S	B2S	B2S	B3S	B3S	B2S		B2S	B3A	B2A	B2A		B2A	B2A	B2A
9	B1A	B2A	B3G		B2A	B1G	B1G		B2S	B1S	B1S	B1S	B2S	B2S		B3S	B1S	B2A	B2A	B2A	B2G		B2S	B1S	B2A	B2A	B1G		B2S	B2A
10	B1S	B1A	B2G		B1S	B1A	B2A	B2A	B1G	B2G		B1A	B2A		B2S	B1A		B2S	B1S	B1S	B2A	B2G	B2G		B1S	B1G	B3S	B3S	B2S	B2S
11	B2S	B2G	B1G	B3G		B2A	B3A	B1A	B2G		B2A	B3A	B1A	B3A	B1A	B2A		B3S	B2S	B3S	B1S		B2S		B2S	B2S	B1S	B1S	B1S	B2G
12	B2S	B2S	B3S	B2G		B1S	B3S	B2S	B3S		B2S	B1S	B2A	B1A	B1A		B2S	B1A	B2G	B2G	B3G		B3A	B1A	B2A	B3G		B1S	B2S	B1A
13	B2A	B2A	B1A	B2G		B1S		B2A	B1A	B1A	B3G		B1S	B2S	B1S	B1S	B2S	B1S	B2A	B2A	B1A	B2A	B1A	B2A	B1A	B2A	B1S	B1S	B1S	B3S
14		B3S	B2S	B1S	B2A	B1A	B2G		B1S	B2S	B3S	B3S		B2S	B2S	B2A	B2A	B2A	B2A	B2A	B2S	B3A	B2A	B2A	B2A	B2A	B2G		B2A	B2G
15	B1G		B1S	B1S	B1A	B1A		B1S	B1S	B1S	B1S	B3S		B1A	B3A	B1A	B1G	B1G	B1G	B1G		B3S	B1S	B1S	B1S	B1G		B1A	B1A	B1A
16	B1G		B1S	B1S	B1A	B3A		B2S	B2A	B2A	B1G	B1G		B1S	B2A	B2A	B2A	B2A	B2A	B2A	B1A	B2A	B2A		B2S	B1S	B3S	B1S	B1S	B1S
17	B1S	B1S	B1A	B1A	B1A		B3S	B1A	B1A	B1A	B1G		B1S	B1S	B1S	B1A	B1G	B1G	B1G	B1G	B1G	B1G		B3S	B3S	B3S	B1S		B1S	B3G
18	B2S	B1G		B1A	B1A		B1S	B1S	B1S	B1S	B2G		B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2S
19		B2S	B2S	B2S	B3S	B3S	B1A		B3A	B1A	B2A	B2G		B2G	B2G	B2G		B1S	B2S	B2A	B2G	B2G	B2G	B2G	B2G	B2S	B2S	B2S	B2S	B3A
20	B3S	B2S	B3A	B2A	B2G	B3G		B2S	B2S	B2A	B2A	B2A		B2S	B2S	B2A	B2A	B2A	B2A	B2A	B2A	B2A	B2A	B2A	B2A	B2S	B2S	B2S	B2S	
21		B1S	B2S	B2S	B2S		B2S	B1S	B2S	B1S	B1S	B1S		B1A	B2A	B1A	B1G	B1G	B1G	B1G	B1G	B1G	B1G	B1G	B1G	B1G	B1A	B1A	B1A	B2A
22		B3S	B2A	B1G		B1S	B1S	B1S	B2S	B1S	B1G	B1G		B1S	B2A	B1A	B1A	B1A	B1A	B1A	B1S	B1S	B1S	B1S	B1S	B1S	B2G		B3S	B1S
23	B1S	B1G	B2G		B1S	B2S	B1A	B3G	B2G	B2G		B1S	B2S	B1A	B2A	B3A	B3A	B3A	B3A	B3A	B3A	B3A	B3A	B3A	B3A	B3A	B3A	B3A	B3A	B1G
24	B2G		B1S	B1A	B1A	B2A	B2A	B2G		B2S	B2S	B1A	B3A	B2A	B1G		B1S	B1A	B1A	B1A	B1A	B2G		B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2S
25	B2A	B1A		B2S	B1S	B2S	B2A	B1A	B1A		B1A	B1A	B1A	B1G	B2G	B2G		B1S	B2A	B2G	B2G	B2G		B2S	B3S	B2S	B3A		B2S	B3S
26	B1S	B2S	B1A	B1G	B2G		B1A	B1G		B3S	B2G		B1S	B1S	B3S	B2S	B1A		B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2A	B3A	B1G	B1S
27	B2G	B2G		B2A	B1G	B2G		B3A	B2A	B3A		B2S	B1S	B1S	B1S	B1S	B1S		B1S	B1A	B1A	B1A	B1A	B1A	B1A	B1S	B2S	B3S	B1S	B2S
28	B1S	B1S	B1S		B1S	B1S	B1S	B1S	B1A	B1A	B2A		B1A	B2A	B1A	B1G	B2G	B3G		B1S	B1S	B1S	B1S	B1S	B2G		B1S	B2A	B2A	
29		B1S	B1S	B1S	B1S	B1A	B1A		B1S	B2A	B1G	B3G	B2G	B2G		B1S	B1A	B1G		B2S	B2S	B2S	B2S	B2S		B1S	B2A	B2A	B1A	B1A

Ek-2

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

Ek-3a

P	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
1	B1A		B1A	B1A	B1A	B1G	B1G	B1G		B1S	B1S	B1S	B1S	B1A		B1S	B1S	B1S	B1S	B1A	B1G		B1S	B1S	B1A	B1A	B1G		B1S	B1S
2	B2G	B2G		B2S	B2S	B2S	B2S	B2G		B2S	B2S	B2A	B2A	B2A	B2G		B2S	B2A	B2A	B2A	B2G		B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2A		B2A
3	B1S	B1S	B1S		B1S	B1S	B3S	B1S	B1G		B1A	B1A	B1A	B1A	B1A	B1G		B1A	B3A	B3A		B1S	B1A	B1G	B1G	B1G		B1S	B1S	
4	B1A	B1A		B1S		B1A	B1A	B1A	B1A	B3G	B1G		B3S	B1S	B1S	B1S	B1A	B1G	B1G		B1S	B1S	B3S	B3S	B1G		B1S	B1A	B1G	B1G
5	B2S	B2S	B3S	B2A	B2A	B2G		B2A	B2A	B3A	B2A	B2A		B2S	B2S	B2G	B2S		B3A		B2S	B2S	B2S	B2G	B2G	B2G		B2S	B3S	B3S
6	B3S	B3G		B1S	B1S	B3S	B3S	B1A	B3A		B3S	B1A	B1A	B3A	B3G	B3G		B1S	B3S	B3S	B3A	B1A			B3S	B3G	B3G	B3S	B3A	B1A
7	B2A	B2A	B2A	B3G		B2S	B2S	B2S	B2A	B2G	B2G		B2S	B2G	B2G		B2S	B2S	B2S	B2A	B2G	B2G		B2S	B2S	B2S		B2A	B2A	B2A
8	B3A		B2S	B2S	B3S	B2A	B2G	B2G		B3S	B3S	B2S	B2A	B2A		B2S	B3S	B2A	B2A	B2G		B3S	B2S	B2A		B2A	B2A	B2G	B2G	
9	B2A	B2A	B2A	B1A	B2A	B2A		B2S	B2S	B1S	B2S	B2S	B2G		B2S	B2S	B2G		B1S	B1S	B2A	B2G	B2G	B2G	B2G		B1S	B2A	B2S	B2S
10	B1A	B1A	B1A	B1G	B1G		B1A	B1G	B1G	B1G		B1S	B1S	B1A	B1S	B1S	B1S	B1A	B1A	B1A	B1S	B1S	B1S	B1S	B1A		B1S	B1S	B1S	B1S
11	B1A	B1A		B1S	B1S	B1S	B1S	B1A	B1A		B1S	B1S	B1S		B1A	B1A	B1A	B1G	B1G	B1G	B1S	B1S	B1S	B1A	B1G	B1G		B1S	B1S	B1S
12	B2S	B2S		B2S	B2S	B2S	B2A		B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2S		B2A	B2A	B2A	B2G	B2G	B2G	B2S	B2A	B2A	B2G	B2G	B2G		B2A	B2A
13	B1S	B1S	B1S	B1S	B1A	B1A		B1S	B1S	B1S	B1A	B1G	B1G		B1S	B1S	B1S	B1S	B1A		B1S	B1A	B1G		B1A	B1A	B1A	B1G	B1A	B1A
14		B2S	B2S	B2S	B2A		B2S	B2A	B2A	B2A	B2A	B2G	B2G		B2S	B2G	B2G	B2G		B2S	B2S	B2A	B2A	B2A	B2A		B2S	B2S	B2S	B2S
15		B3A	B1A	B1A	B1A	B1G	B1G		B1S	B1S	B1S	B1S	B1G	B1G	B1G		B1S	B1S	B1S	B1S	B1S	B1S	B1S	B1S	B1S	B3A	B1A	B1A	B1A	B1A
16		B1S	B1S	B3S	B3S	B3G	B3G		B1S	B3S	B1S	B3S	B3G	B3G		B3S	B3S	B3S	B1A		B1A	B3A	B3A	B1A	B3A		B3A	B3A	B3G	B3G
17	B1G		B3S	B3S	B1G		B1S	B3S	B1S	B1A		B1S	B1S	B3S	B3S	B1A	B1G	B1A	B1A	B1A	B1A		B1A	B1A	B1A	B1A	B1G	B1G	B1A	B1S
18	B3S	B3S	B1S	B1A	B3A		B1S	B3S	B1S	B3A	B3G		B3S	B1S	B3A	B3A	B3A	B1A		B3G	B3G		B3S	B3S	B3S	B1A	B1A	B3G		B3S
19	B2S	B2S	B2S	B2G		B2A	B2A	B2G	B2G	B2G	B2S	B2S	B2S	B2A	B2A	B2S	B2S	B2S	B2A	B2A	B2A	B2S	B2S	B2S	B2S	B2A		B2S	B2G	B2G
20		B2G	B2G		B2S	B3S	B2A		B3S	B2S	B2S	B3G		B3S	B2A	B2A	B2A	B2G	B2G		B2A	B2A	B2A	B2A	B3A	B2A	B2G		B2S	B2S
21	B1S	B1S	B1A	B1G		B1S	B1A	B1A	B1A		B1S	B1S	B1A	B1A	B1A		B1S	B1G	B1S	B1A	B1A	B1G		B1S	B1S	B1S		B1S	B1A	B1A
22	B1G	B1G	B1G		B1S	B1A		B1S	B1S	B1A	B1G		B1S	B1S	B1S	B1A	B1A	B1A	B1A		B1S	B1S	B1S	B1S	B1S	B1S		B1A	B1A	B1G
23	B2S	B2A	B2A	B2A		B2S	B2S	B2A	B2G	B2G	B2G	B2S	B2S	B2A	B2A	B2A	B2A	B2S	B2S	B2S	B2S	B2A	B2A	B2A	B2S	B2S	B2G	B2G	B2S	B2S
24		B3S	B3G		B1A	B1A	B3A	B3G	B3G		B3A	B1A	B3A	B1A	B1A	B1A		B3S	B3S	B1S	B3S	B3G	B3G		B3S	B3S	B3S	B1S	B1S	B1S
25	B1S	B1S	B1S	B1S		B1S	B1S	B1S	B1S	B1G		B1A	B1A	B1G	B1G	B1G		B1S	B1A	B1A	B1A	B1A		B1A		B1S		B1A	B1A	
26	B2G		B2S	B2A	B2A	B2G	B2G		B2A	B2A	B2A	B2A	B2A	B2G		B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2S	B2S		B2S	B2S	B2A	B2G
27	B2A	B2A	B2G	B2G	B2G		B2S	B2S	B2S	B2S	B2A	B2G	B2S	B2S	B2S	B2S	B2A	B2S	B2S	B2S	B2S		B2A	B2A	B2A	B2A	B2A	B2A	B2G	
28	B1S	B1G	B1G		B1S	B1S	B1S	B1A		B1A	B1G		B1S	B1S	B1S	B1A	B1A	B1A	B1S	B1A	B1G	B1G			B1S		B1S	B1A	B1A	B1A
29	B3G		B3A	B3A	B3A	B3A	B1A	B3A		B1S	B1S	B3S		B1S	B3S	B3S	B3G	B3G	B3G	B1S	B1S	B1A	B1A	B3G	B3S		B3S	B3S	B3A	B3A

Ek-3b

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

Ek-4

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

Ek-5a

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

Ek-5b

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