



A goal programming-based approach for multi-period security services scheduling

Gülveren Tabansız-Göç^{1*} , Tuğçe Akyüz¹ , Giyasettin Özcan² , Fatih Çavdur¹ 

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Bursa Uludağ University, 16240, Nilüfer, Bursa, Türkiye

²Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Bursa Uludağ University, 16059, Nilüfer, Bursa, Türkiye

Highlights:

- Reduction of the problem size by dividing the planning horizon into shorter periods
- Proposal of a flexible approach for relating the schedules of consecutive periods
- Illustration of the proposed approach by its implementation on a real-life problem

Keywords:

- Security services
- Multi-period personnel scheduling
- Workforce planning
- Integer programming
- Goal programming

Article Info:

Research Article

Received: 22.11.2023

Accepted: 06.04.2024

DOI:

10.17341/gazimmfd.1394465

Correspondence:

Author: Gülveren Tabansız-Göç

e-mail: 532106001@

ogr.uludag.edu.tr

phone: +90 224 294 2077

Graphical/Tabular Abstract

A shift system implementation is usually required in scheduling security services which also causes important managerial challenges due to the necessity of the 7 days-24 hours continuous nature of the corresponding services. In the construction of a shift schedule, it is also necessary to consider some criteria about the humanitarian issues, such as the equality of not only the number workdays but also the number of shifts for each person as well as the ones imposed by the corresponding labor law legislation usually about the maximum number of workdays and shift transitions. Construction of an ideal schedule for security services under the aforementioned constraints is thus a challenging task, especially for the large-sized real-life problems due to the increases in both the number of people and the length of the planning horizon. An idea to deal with the curse of dimensionality in the shift-scheduling problem is dividing a planning horizon into shorter periods, which might reduce problem size significantly; however, it also requires a flexible approach for relating the solutions of the consecutive periods. Such a flexible approach for relating the corresponding schedules of the consecutive periods is proposed in this study where we propose an integer-goal programming formulation that efficiently handles the issue.

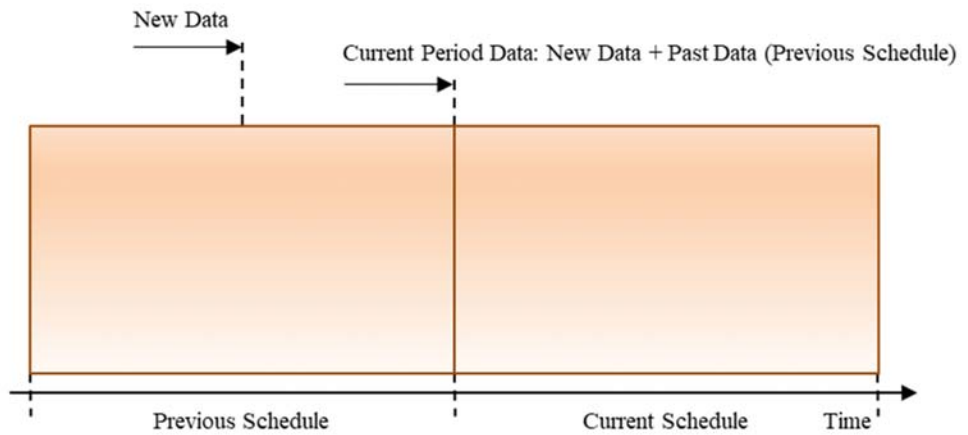


Figure A. Multi-period scheduling

Purpose:

In this study, we aim at proposing a flexible approach to solve large-scale shift scheduling problems by dividing the planning horizon into shorter periods for problem size reduction.

Theory and Methods:

We propose a goal programming-based approach for multi-period security services scheduling (Figure A).

Results:

We illustrate the performance of the proposed approach on a real-life problem involving the construction of the monthly schedules in a year for a security team of a hundred people.

Conclusion:

It is noted from the computational experiments that the proposed formulation is able to construct the corresponding monthly schedules in a few minutes, implying its potential for use real-life shift scheduling problems.



Çok dönemli güvenlik hizmetleri çizelgelemesi için hedef programlama tabanlı bir yaklaşım

Gülveren Tabansız-Göç^{1*}, Tuğçe Akyüz¹, Giyasettin Özcan², Fatih Çavdur¹

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 16240, Nilüfer, Bursa, Türkiye

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 16059, Nilüfer, Bursa, Türkiye

ÖNEÇİKANLAR

- Planlanama ufkunun daha kısa dönemlere bölünerek problem boyutunun azaltılması
- Ardışık dönemlerin vardiya çizelgelerini ilişkilendirmek için esnek bir yaklaşım önerilmesi
- Önerilen yaklaşımın geçerliliğinin sınanması için gerçekçi bir problem üzerinde uygulama yapılması

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 22.11.2023

Kabul: 06.04.2024

DOI:

10.17341/gazimmfd.1394465

Anahtar Kelimeler:

Güvenlik hizmetleri,
çok dönemli personel
çizelgeleme,
işgücü planlaması,
tamsayı programlama,
hedef programlama

ÖZ

7 gün 24 saat kesintisiz hizmet verilme gereksinimi nedeniyle, güvenlik hizmetlerinin çizelgelemesi genellikle vardiya sisteminin uygulanmasını gerektirmekte ve önemli yönetsel zorluklar doğurabilmektedir. Vardiya çizelgesi oluşturulurken, çalışanların sadece çalışma günleri sayılarının değil aynı zamanda vardiya sayılarının eşitliği, ardışık olarak çalışılabilecek maksimum gün sayısı ve vardiya geçişleriyle ilgili iş kanununda belirtilen bazı insani unsurların da dikkate alınması gerekmektedir. Söz konusu kısıtlar altında, güvenlik hizmetleri için ideal bir vardiya çizelgesi oluşturmak, özellikle insan sayısının ve planlama döneminin uzunluğundaki artışlarla büyük ölçekli gerçek hayat problemleri için daha da zor bir problem haline gelmektedir. Planlama döneminin daha kısa periyotlara bölünmesiyle problem boyutlarının önemli ölçüde azaltılması söz konusu zorluğun aşılmasında yardımcı olabilir. Ancak bunun yapılması, ardışık dönemlerin çizelgelerini ilişkilendirmek için esnek bir yaklaşım gerekmektedir. Bu çalışmada, ardışık dönemlerin çizelgelerini esnek bir şekilde ilişkilendirmek için bir yaklaşım sunulmakta ve bunu etkin bir şekilde ele alan bir tamsayı-hedef programlama formülasyonu önerilmektedir. Ayrıca, önerilen yaklaşımın performansı, yüz kişilik bir güvenlik ekibinin bir yıl boyunca aylık çizelgelerinin oluşturulmasını içeren gerçekçi bir problem üzerinde gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, aylık vardiya çizelgelerinin birkaç dakika içinde oluşturabildiği gözlemlenmiş ve önerilen yaklaşımın iş mevzuatına uygun, adaletli ve verimli bir şekilde gerçek hayat vardiya çizelgeleme problemlerinde kullanım potansiyeli olabileceği düşünülmektedir.

A goal programming-based approach for multi-period security services scheduling

HIGHLIGHTS

- Reduction of the problem size by dividing the planning horizon into shorter periods
- Proposal of a flexible approach for relating the schedules of consecutive periods
- Illustration of the proposed approach by its implementation on a real-life problem

Article Info

Research Article

Received: 22.11.2023

Accepted: 06.04.2024

DOI:

10.17341/gazimmfd.1394465

Keywords:

Security services,
multi-period personnel
scheduling,
workforce planning,
integer programming,
goal programming

ABSTRACT

A shift system implementation is usually required in scheduling security services which also causes important managerial challenges due to the necessity of the 7 days-24 hours continuous nature of the corresponding services. In the construction of a shift schedule, it is also necessary to consider some criteria about the humanitarian issues, such as the equality of not only the number of workdays but also the number of shifts for each person as well as the ones imposed by the corresponding labor law legislation usually about the maximum number of workdays and shift transitions. Construction of an ideal schedule for security services under the aforementioned constraints is thus a challenging task, especially for the large-sized real-life problems due to the increases in both the number of people and the length of the planning horizon. An idea to deal with the curse of dimensionality in the shift-scheduling problem is dividing a planning horizon into shorter periods, which might reduce problem size significantly; however, it also requires a flexible approach for relating the solutions of the consecutive periods. Such a flexible approach for relating the corresponding schedules of the consecutive periods is proposed in this study where we propose an integer-goal programming formulation that efficiently handles the issue. We also illustrate its performance on a real-life problem involving the construction of the monthly schedules in a year for a security team of a hundred people. It is noted from the computational experiments that the proposed formulation is able to construct the corresponding monthly schedules in a few minutes, implying its potential for use real-life shift scheduling problems.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : *532106001@ogr.uludag.edu.tr, tugceakyuz@gmail.com, gozcan@uludag.edu.tr, fatihcavdur@uludag.edu.tr / Tel: +90 224 294 2077

1. Giriş (Introduction)

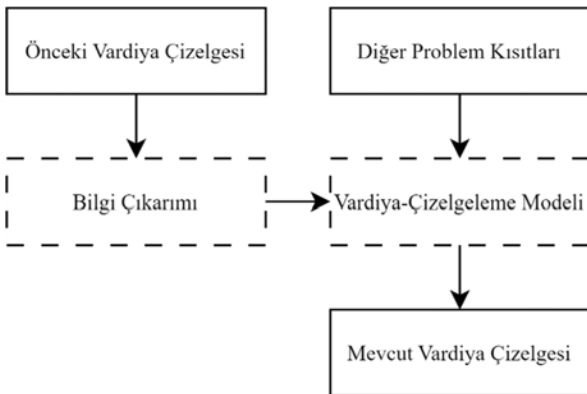
Vardiya sistemleri, pek çok sektörde kullanılan bir iş organizasyonu yönetim biçimidir ve bu sistemler çalışanların belirli saatlerde düzenli olarak çalışmasını sağlamaktadır. Bu sistemler, özellikle 7 gün 24 saat hizmet veren kurumlarda, çeşitli üretim tesislerinde, sağlık sektöründe ve hizmet sektöründe yaygın olarak uygulanmaktadır. Bunlar arasında güvenlik hizmetleri de genel olarak vardiya planlaması açısından önemli yönetsel zorluklar içerebilmektedir. Bu hizmetlerin kesintisiz olarak sürdürülmesi, ilgili güvenlik ihtiyaçlarının sağlanması açısından kritik öneme sahipken, çalışanların insani ihtiyaçlarını ve sağlıklarını da önemli ölçüde etkileyebilmektedir.

Vardiya planlamasında, çalışanların sağlığını ve performansını korumak için çalışma günlerinin ve vardiya sayılarının eşitliği göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, iş kanunu mevzuatında da yer alan ardışık çalışma günleri ve vardiya geçişleri ile ilgili kısıtlamalara da uyum sağlanmalıdır. Böylece eşit bir iş yükü dağılımı sayesinde, çalışanların iş yükünün adil bir şekilde dağıtılması ve motivasyonlarının artırılması sağlanırken, ardışık çalışma günlerinin sınırlandırılması ve vardiya geçişlerinin düzenlenmesiyle de çalışanların yorgunluk ve hatalarının azaltılması, sağlıklarının korunması ve adaptasyon sürecinin kolaylaştırılması mümkün olabilmektedir.

Vardiya planlamasında farklı düzenlemeler mevcut olmakla birlikte üç vardiyalı sistem yaygın olarak kullanılan bir düzenlemedir. Bu sistemde, çalışanlar günün farklı saatlerinde üç ayrı vardiyada çalışmakta ve çalışmadıkları günlerde de izinli (İ) olarak nitelendirilmektedirler. Genel olarak vardiyalar, sabah (S), akşam (A) ve gece (G) olarak adlandırılmakta ve çalışma saatlerine göre belirlenmektedir. Örneğin, sabah vardiyası genellikle 6:00-14:00 arası, akşam vardiyası 14:00-22:00 arası ve gece vardiyası ise 22:00-6:00 arasında olabilmektedir.

Söz konusu kısıtlar altında, güvenlik hizmetleri için ideal bir vardiya çizelgesi oluşturmak, özellikle insan sayısının ve planlama döneminin uzunluğundaki artışlarla büyük ölçekli gerçek hayat problemleri için çözümü daha da zor bir problem haline gelmektedir. Planlama döneminin daha kısa periyotlara bölünmesi ile problem boyutlarının azaltılması söz konusu zorluğun aşılmasında yardımcı olabilir. Ancak bunu yaparken, ardışık dönemlerin çizelgelerini de ilişkilendirmek için esnek bir yaklaşım gerekmektedir.

Bu çalışmada, ardışık dönemlerin çizelgelerini esnek bir şekilde ilişkilendirmek için bir yaklaşım sunulmakta ve bunu etkim bir şekilde ele alan bir tamsayı-hedef programlama formülasyonu önerilmektedir. Önerilen yaklaşıma genel bir bakış Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Önerilen yaklaşıma genel bir bakış
(An overview of the proposed approach)

Şekil 1'de görüldüğü üzere, önerilen yaklaşım, ardışık iki dönemin vardiya programlarını ilişkilendirmek için önceki dönemin vardiya çizelgesini girdi olarak kullanmaktadır. Spesifik olarak, önerilen formülasyonda her kişi için izin gününe kalan maksimum gün sayısı ($n_{\max-i}$) belirlenmesinde kullanılmak üzere önceki dönemin son n_{\max} gününden mevcut dönemin ilk gününe kadar geçen çalışma günlerinin sayısına ve önceki dönemin son günündeki vardiya tipi bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Önceki dönemin vardiya çizelgesinden bu iki vektör çıkarıldıktan sonra, önerilen tamsayı-hedef programlama formülasyonunda ilgili bilgiler model parametreleri olarak kullanılmaktadır.

2. Literatür Taraması (Literature Review)

Birçok sektörde uygulanıyor olması nedeniyle vardiya çizelgeleme problemi ile ilgili bugüne kadar çok sayıda çalışma yapılmıştır. Problem farklı bakış açılarıyla ele alınarak çeşitli çözüm yöntemleri önerilmiştir. Kendileri için vardiya çizelgesi oluşturulacak olan kişilerin özellikleri, yetenekleri ve tercihleri gibi konular araştırmacılar tarafından çizelgeleme verimliliğini arttırmak için farklı çalışmalar kapsamında ele alınmıştır. Doğal olarak, vardiya çizelgeleme problemlerinde, planlayıcılar genellikle çalışanlar için adil bir çizelge oluşturmak istediklerinden, kişiler arasında bir denge olması önemli bir konudur. Ayrıca hem çalışanların hem de işverenlerin tercihleri, tüm paydaşların ihtiyaçlarını karşılayacak çizelgeleme çözümleri geliştirmek amacıyla çeşitli çalışmalar kapsamında ele alınmıştır. Bu bölümde vardiya çizelgeleme problemleriyle ilgili çalışmalar farklı alt başlıklarda özetlenmektedir.

Söz konusu alta başlıklardan ilki çalışan nitelikleri olarak ele alınabilir. Morton ve Popova [1] takım çalışmaları için çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Belirsiz parametreler için en doğru olasılık dağılım tahminlerinin Bayes tahmin modeli ile bulunacağını öngörmüşler ve olasılık dağılımlarının sürekli güncellenebildiği dinamik bir yapı sunmuşlardır. Burke vd. [2] tarafından yapılan çalışmada ise bireysel çalışanlar ele alınmış ve Hollanda'daki bir hastanede çeşitli kısıtlar altında hemşire çizelgeleme için hibrit bir yaklaşım sunulmuştur. Çalışan nitelikleri açısından farklılık oluşturan diğer bir unsur ise çalışma şekli olarak ele alınabilir. Örneğin, Alsheddy ve Tsang [3] tam zamanlı çalışan personellerin vardiyalarının çizelgelenmesi problemini göz önüne almışlar ve çizelgeleme sürecinde çalışanların da tercihlerini göz önüne aldıkları çok amaçlı bir optimizasyon problemi tanımlamışlardır. Li vd. [4] ise yarı zamanlı çalışanları dikkate aldıkları çalışmalarında, hemşire çizelgeleme probleminde odaklanmışlardır.

Bir diğer alt başlık olarak vardiya kararlarıyla ilgili esneklik konusu dikkate alınabilir. Bu kapsamdaki çalışmalara örnek olarak, Harper vd. [5] tarafından yapılan çalışmada vardiyaların çakışmasına izin verilmediği durumlardaki çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Yazarlar çalışmalarında, PROMPT adlı hastane kapasite simülasyon aracının işgücü unsurlarını da ele alacak şekilde genişletildiğini ve İngiltere'deki hastanelerde stratejik ve operasyonel planlama ile kaynak yönetiminde kullanıldığını belirtmektedirler. Lezaun vd. [6] ise önceki çalışmadan farklı olarak vardiyaların çakışmasına izin verildiği durumu incelemişler ve bir İspanyol demiryolu şirketi istasyon personelinin yıllık çalışma programlarının oluşturulmasını dikkate almışlardır. Vardiya başlama zamanlarına göre farklı durumları inceleyen örnek iki çalışmadan ilkinde Brucker vd. [7] vardiyaların başlama zamanlarının sabit olduğu, diğerinde ise Stolletz [8] vardiya başlangıç zamanlarının tanımlanabildiği durumu incelemiştir. Brucker vd. [7] tarafından hemşire çizelgeleme probleminde, sıralama, hemşire çizelgesi ve vardiya gibi üç farklı türde kısıtlama ele alınmış ve iki aşamalı bir çözüm yaklaşımı kullanılmıştır. Stolletz [8] tarafından yapılan çalışmada ise

havaalanlarındaki giriş sistemleri için işgücü planlama modelleri ve değişen talepler ele alınmış ve esnek personel sözleşmelerine yönelik planlama problemi için bir matematiksel programlama modeli geliştirmiştir. Bir diğer unsur olarak ele alınabilecek olan vardiya uzunlukları konusunda ise Lu ve Hao [9] ve Avramidis vd. [10] tarafından yapılan çalışmalarda sırasıyla, vardiya uzunluklarının sabit ve tanımlanabildiği durumlar dikkate alınmıştır.

Bir diğer alt başlık altında çalışanların yetenekleri açısından yapılan bir sınıflandırma kapsamında çalışanların yetenekleri katı (sert) ve esnek (yumuşak) olarak ele alınabilir. Buna göre, çalışan yeteneklerinin katı olarak ele alındığı çalışmalara örnek olarak Burke vd. [11], Heimerl ve Kolisch [12], Hojati [13], Krishnamoorthy vd. [14], Özder vd. [15] ve Cürebal ve Eren [16] tarafından yapılan çalışmalar sunulabilir. Bunlar arasında, örneğin Burke vd. [11] tarafından yapılan çalışmada farklı becerilere sahip her hemşire için vardiya dizilerinin oluşturulması katı bir kısıtlama olarak ele alırken, Heimerl ve Kolisch [12] tarafından yapılan çalışmada bilgi teknolojileri alanındaki teknik yeteneklerin benzer kapsamda dikkate alınması söz konusudur. Cürebal ve Eren [16] tarafından yapılan çalışmada ise güvenlik personelleri için kişilerin toplam yetkinliklerinin belirli bir puanın üzerinde olması katı bir kısıtlama olarak ele alınmıştır. Bu kapsamdaki diğer sınıf olan çalışan yeteneklerinin esnek olarak ele alındığı çalışmalara ise Gunther ve Nissen [17], Nissen ve Gunther [18], Awadallah vd. [19] ve Valouxis vd. [20] tarafından yapılan çalışmalar örnek olarak verilebilir. Bunlardan Gunther ve Nissen [17] ve Nissen ve Gunther [18] tarafından yapılan çalışmada değişen ihtiyaçlara cevap verebilecek şekilde talep odaklı personel planlama konusu ele alınarak, esnek çizelgeler oluşturulmaktadır. Awadallah vd. [19] ve Valouxis vd. [20] tarafından yapılan çalışmalarda ise bazı kısıtların katı, bazılarının ise esnek olduğu hemşire çizelgeleme problemleri ele alınmıştır.

Vardiya çizelgelemedeki önemli unsurlardan birisi olan ve bu çalışmada da dikkate alınan adil çalışma programlarının oluşturulmasında, çalışanlar için farklı açılardan dengelenmiş programlar oluşturulması konusu da öne çıkmaktadır. Örneğin, Van der Veen ve Veltman [21] tarafından yapılan çalışmada, önce vardiya oluşturup, sonra görevlendirme yapılan yaklaşımın dezavantajları tartışılarak, çalışma saatleri düzenlemelerini ve çalışan tercihlerini dikkate alan bir yaklaşım önerilmektedir. Sağlık sektöründeki en çok bilinen problemlerden olan hemşire çizelgelemede, genel olarak hemşirelerin vardiya sistemine göre çalışmaları nedeniyle, adil çalışma programlarının oluşturulmasına yönelik çalışmalar da önem kazanmaktadır. Örneğin Bai vd. [22] tarafından yapılan çalışmada genel olarak tercih edilmeyen gece ve hafta sonu çalışmalarına karşılık gelen vardiyaların hemşireler arasında adil bir şekilde dağıtılmasını ele almışlardır. Ronnberg ve Larsson [23] ise çizelgelerinin oluşturulmasında dengeli bir dağılım oluşturulmasını dikkate alarak, İsveç'te bir hemşire biriminde pilot uygulama gerçekleştirmişlerdir. Bir diğer çalışmada ise He ve Qu [24] hemşirelerin dengeli iş yükü ve bireysel tercihlerini dikkate almışlardır. Benzer kapsamdaki örnek çalışmalardan, Aksüt vd. [25] tarafından yapılan çalışmada ergonomik kısıtlar altında iki işçiye atanan görev sürelerinin toplamının farkının sıfır olmasını hedeflenirken, Lin ve Lin [26] beklenmedik durumlarda veya acil durumlarda çağrıda bulunulan mühendislerin çağrılara adil bir şekilde atanmasını hedeflemişlerdir.

Çalışma programlarının oluşturulmasındaki en önemli alt başlıklardan birisi de hem çalışanların hem de işverenlerin tercihleri konusudur. Bunlara örnek olarak, hemşireler için yapılan çalışmalarda, Wright ve Bretthauer [27], Burke vd. [28], Mohammadian vd. [29] hemşirelerin izin günü veya çalışmak istedikleri vardiyayı önceden talep etmelerini ele almışlardır. Rerkjirattikal vd. [30] tarafından yapılan çalışmada ise hemşirelerin izin günü ve vardiya tercihlerin yanı sıra iş yükü

tercihleri de göz önünde bulundurulmaktadır. Knust ve Schumacher [31] tarafından yapılan bir başka çalışmada ise bir petrol şirketindeki sürücülerin çalışma süreleri, izin talepleri gibi tercihler göz önünde bulundurulmaktadır. Benzer şekilde tercih unsurunun ele alındığı çalışmalara örnek olarak, elektrik santrallerinde ve toplu taşıma hizmetlerinde çalışanların izin günü tercihlerini dikkate alındığı Shuib ve Kamarudin [32] ve Perreault-Lafleur [33] tarafından yapılan çalışmalar verilebilir.

Kullanılan çözüm yaklaşımları incelendiğinde, vardiya çizelgeleme problemlerinin çözümü için literatürde çeşitli yaklaşımlar kullanıldığı ve bunlar arasında aynı zamanda çalışmamıza içerdiği benzerlik açısından, matematiksel programlama ve spesifik olarak, hedef programlamanın da önemli bir yeri olduğu görülmektedir. Bunlar arasında, literatürde sıklıkla ele alınan sağlık sektöründe gerçekleştirilen çalışmalara örnek olarak, Topaloğlu [34], Özcan vd. [35] ve Shirmeshan vd. [36] tarafından yapılan çalışmalar verilebilir. Ayrıca Gençer [37], Kaçmaz [38] ve Nasir [39] tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda farklı sektörlerde hedef programlama çalışmalarına örnek olarak gösterilebilir. Bu çalışmalarda sırasıyla, ulaşım, üretim ve yemek alanındaki problemler için hedef programlama kullanımı söz konusudur. Literatürde matematiksel programlama yaklaşımlarının (doğrusal-tamsayı programlama gibi) yaygın bir şekilde kullanıldığı, bunların oldukça büyük boyutlu problemler oluşturduğu ve bu problemlerin çözümü için çeşitli ayırıştırma ve sezgisel yaklaşımların dikkate alındığı görülmektedir [40, 41]. Söz konusu büyük boyutlu problemlerin çözümü için ulaşabildiğimiz literatürden farklı ve yenilikçi bir yaklaşım önerilmesi ve ayırıştırma yaklaşımlarının temel felsefesine benzer şekilde; planlama periyodunun daha kısa dönemlere bölünerek, büyük boyutlu orijinal problemin daha küçük boyutlu problemlere dönüştürülmesiyle çözülebilir hale gelmesinin çalışmamızın en önemli katkısı olarak ifade edilebileceği düşünülmektedir.

Son olarak, bu çalışmanın önerilen yaklaşıma benzer şekilde, çizelgeleme döneminin daha kısa periyotlar şeklinde ele alındığı literatürdeki çalışmalar incelendiğinde ise benzer bir fikrin Smet vd. [42] tarafından ele alındığı görülmektedir. Yazarlar kısa vadeli periyotların etkilerini değerlendirerek, uzun vadeli çizelgelerde lokal ve global tutarlılık kavramlarını tanıtmışlardır. Çalışmalarında bu tutarlılığı sağlamak için tamsayı programlama içeren kapsamlı bir metodoloji önermişlerdir. Çizelgeler arasındaki tutarlılık kavramı ve mevcut çizelgenin oluşturulmasında bir önceki çizelgenin dikkate alınması yaklaşımı; Warner [43], Burke vd. [44], Ikegami ve Niwa [45], Moz ve Pato [46], Brunner vd. [47], Glass ve Knight [48], Zanda vd. [49] ve Guo ve Bard [50] tarafından yapılan çalışmalarda çeşitli şekillerde ele alınmıştır. Bununla birlikte, önerilen çalışma kapsamında sunulan yaklaşımın hem uygulama alanı hem de metodolojik detaylar açısından söz konusu çalışmalara göre çeşitli farklılıklar içerdiği görülmektedir.

Literatür taramasının özetlendiği Tablo 1, mevcut bilgilerin derlenip öne çıkan ana noktaların görsel bir temsilini sunmaktadır.

Tablo 1. Literatür Özet Tablosu (Literature Summary Table)

Konu	İlgili Kaynak
1) Çalışma Şekli	[1-4]
2) Vardiya Kararlarıyla İlgili Esneklik	[5-10]
3) Çalışan Yetenekleri	[11-20]
4) Dengelenmiş Çizelgeler Oluşturulması	[21-26]
5) Tercihler	[27-33]
6) Hedef Programlama Kullanımı	[34-39]
7) Kısa Periyotlara Bölme	[42-50]

3. Metodoloji (Methodology)

Önerilen yaklaşım, ardışık iki dönemi ilişkilendirmek için önceki dönemin vardiya çizelgesini kullanmaktadır. Personel vardiya çizelgesinin sürekliliği nedeniyle, özellikle ara dönemlerde tek periyotlu çizelge yaklaşımları kısıtlamaların tutarsız bir şekilde değerlendirilmesine neden olabilmektedir [51]. Örneğin, ardışık iş günü sayısının altı olduğu ve akşam vardiyasından (A) sabah vardiyasına (S) geçişin izin verilmediği bir problemde, yalnızca mevcut döneme ait verileri kullanarak, bu kısıtların doğru bir şekilde değerlendirilmesi mümkün olmadığından (Şekil 2a), tutarlı bir değerlendirme için önceki planlama döneminde yapılan atamalara ilişkin bilgiler gereklidir (Şekil 2b). Maksimum ardışık iş günü sayısının (aşağıda detaylandırıldığı gibi n_{max}) olduğu bir problemde, önceki çizelgedeki son izinli günden, mevcut dönemin ilk gününe kadar geçen çalışma süresinin bilinmesi gerekmektedir. Örneğin Şekil 2b incelendiğinde, bu sürenin bir gün olduğu ve ilgili kişinin izin gününe kalan maksimum sürenin (ardışık iş günü sayısının) de buna bağlı olarak 6 gün olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, vardiya geçiş kısıtlarının olduğu bir problemde ise mevcut planlama döneminin ilk günü yalnızca önceki planlama döneminin son gününde yapılan atama ile sınırlandırılması gerekmektedir [52]. Şekil 2a ve 2b incelendiğinde, söz konusu vardiya geçişlerine yönelik olarak, sırasıyla tutarsız (Şekil 2a) ve tutarlı (Şekil 2b) değerlendirmelerin yapıldığı örnek durumlar görülmektedir.

Buna bağlı olarak, önerilen yaklaşım kapsamında, izin verilen maksimum ardışık iş günü sayısının n_{max} ve i . kişinin izin gününe kalan maksimum gün sayısının n_{max-i} olarak tanımlandığı durumunda, her çalışan için önceki dönemin çizelgesinin son n_{max} gününden mevcut dönemin ilk gününe kadar olan çalışma günlerinin sayısından n_{max-i} değeri ve önceki dönemin son günündeki vardiya tipi bilgileri elde edilmekte ve bu iki vektörün elemanları önerilen tamsayı-hedef programlama formülasyonunda karşılık gelen model parametreleri olarak kullanılmaktadır.

Önceki paragrafta açıklandığı gibi, önerilen yaklaşım kapsamında, izin verilen maksimum ardışık iş günü sayısı (n_{max}), ilk vektörün elemanlarının (izin gününe kalan maksimum gün sayısı, n_{max-i}) belirlenmesi için kullanılmakta ve böylece dönemler arası geçiş sürecinde ardışık olarak çalışılan gün sayısı dikkate alınmıştır. Buna ek olarak, ikinci vektörün elemanları (önceki dönemin son günündeki vardiya tipi) ve vardiya geçiş kuralları kullanılarak, çalışanların mevcut döneminin ilk günündeki vardiya tipleri belirlenmektedir. Söz konusu maksimum ardışık iş günü sayısı ve vardiya geçiş kuralları, ilgili iş kanunu mevzuatında belirtilen kısıtlamaları içermekte olup, detayları ilerleyen sayfalarda sunulmaktadır. Doğal olarak, yukarıda belirtilen kısıtlar dönemler arası geçişin olduğu günler (yani önceki dönemin son günü ve mevcut dönemin ilk günü) için tanımlanmış olmanın ötesinde, herhangi bir dönem içindeki diğer günler için de geçerli olmaktadır.

Yukarıda bahsedilen söz konusu kısıtların dönemler arası geçişin olduğu günler için de esnek bir şekilde tanımlanabilmesi ve böylece planlama ufkunun daha kısa periyotlar şeklinde ele alınabilmesi sayesinde, problem boyutunda önemli bir azalma sağlanmaktadır. Çalışma kapsamında önerilen matematiksel programlama modeli,

sadece herhangi bir dönem içindeki çalışma günleri için değil, aynı zamanda ardışık dönemler arası geçişin olduğu günlerde de söz konusu kısıtları dikkate almaktadır. Oluşturulan esnek yapı, problem boyutunun önemli ölçüde azaltılmasına ve daha hızlı çözümler elde edilmesine olanak sağlanmaktadır.

Yukarıda bahsedilen esnek yapıyı oluşturmak için önerilen matematiksel programlama formülasyonunun ana yaklaşımı, önceki dönemin son gününe karşılık gelen ve mevcut dönemin ilk gününden önce tanımlanmış olan kukla bir günün (sıfırıncı gün) yer aldığı genişletilmiş bir dönemin tanımlanarak, söz konusu genişletilmiş dönem üzerinde ilgili kısıtların tanımlanmasına dayanmaktadır. Bu şekilde tanımlanmış olan, genişletilmiş dönem kavramı sayesinde, önceki dönemin son günü ve mevcut dönemin ilk günü ilişkilendirilerek, aşağıda sunulan matematiksel programda da belirtildiği gibi esnek bir yapıda önceki dönem dinamiklerini dikkate alan bir mevcut dönem çizelgesi oluşturması mümkün olmaktadır. Bu bölümün geri kalan kısmında, önerilen formülasyonun detayları sunulmaktadır.

İndisler:

i : kişi, $i \in I = \{1, 2, \dots, n_I\}$

j : gün, $j \in J^+ = \{0, 1, \dots, n_J\} \supset J = \{1, 2, \dots, n_J\}$, genişletilmiş günler (J^+) ve standart günler (J) kümesi

k : vardiya, $k \in K = \{1, 2, \dots, n_K\}$, (örnek durum için S, A ve G vardiyaları)

Parametreler:

n_T : dönemdeki toplam iş günü sayısı

n_{max} : izin verilen maksimum ardışık iş günü sayısı

n_{max-i} : i . kişinin izin gününe kalan maksimum gün sayısı

S_0 : 0. gündeki (önceki dönemin son günündeki) kişi-vardiya çiftleri kümesi

S : her bir kişinin çalışması hedeflenen vardiya sayısı

P : her bir vardiyada çalışması hedeflenen kişi sayısı

Değişkenler:

$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & i. \text{ kişi } j. \text{ günde } k. \text{ vardiyaya atanıyorsa} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases}$

$y_{ij} = \begin{cases} 1, & i. \text{ kişi } j. \text{ günde izinli ise} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases}$

$d_{ik}^{1\pm}$: birinci hedef sapma değişkeni (kişinin her bir vardiyada çalışması hedeflenen gün sayısına ait sapma değişkeni)

$d_{jk}^{2\pm}$: ikinci hedef sapma değişkeni (her bir vardiyada çalışması hedeflenen kişi sayısına ait sapma değişkeni)

Model incelendiğinde, Eş. 1 ile her bir kişinin belirli bir günde yalnızca bir vardiyada çalışması sağlanmaktadır.

$$\sum_{k \in K} x_{ijk} \leq 1, \quad \forall i, j \geq 1 \quad (1)$$

Eş. 2 ile her bir kişinin bir dönem boyunca eşit sayıda gün (n_T) çalışması sağlanmaktadır.

Önceki		Mevcut Çizelgeleme Periyodu					Önceki		Mevcut Çizelgeleme Periyodu						
?	?	S	A	A	A	A	A	İ	A	A	A	A	A	A	İ
(a)							(b)								

Şekil 2. (a) Tutarsız kısıt değerlendirmesi ve (b) Tutarlı kısıt değerlendirmesi
(a) Inconsistent constraint evaluation and (b) Consistent constraint evaluation)

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in J^+} x_{ijk} = n_T, \quad \forall i \quad (2)$$

Eş. 3 ile ise bir kişinin izin günlerinde çalışmaması sağlanmaktadır.

$$\sum_{k \in K} x_{ijk} = 1 - y_{ij}, \quad \forall i, j \geq 1 \quad (3)$$

Formülasyonun izleyen kısımlarında, yukarıda bahsedilen iki ardışık vardiya çizelgelerini ilişkilendirmek için önerilmiş olan yapı açıklanmaktadır. Bu kapsamda, öncelikle bir kişinin ardışık çalışma günlerinin sayısının izin verilen maksimum iş günü sayısını (örneğin, sayısal örnekte $n_{\max} = 6$ olarak alınmıştır) aşmaması gerekliliğiyle ilgili kısıt verilmektedir. Eş. 4 ile ifade edilen kısıt aynı zamanda ilgili iş kanunlarına da uygun şekilde ardışık çalışma günlerinin sayısını sınırlandırmaktadır.

$$\sum_{t=0}^{n_{\max}} y_{i(j+t)} \geq 1, \quad \forall i, j | 1 \leq j \leq n_j - n_{\max} \quad (4)$$

Eş. 4, sadece belirli bir dönem içindeki günler için ardışık iş günü sayısının belirli bir değeri aşmamasını sağlamakla birlikte, daha önce de belirtildiği gibi aynı kısıtın ardışık iki dönem geçişinin olduğu günler için sağlanması gerekmektedir. Başka bir deyişle, kişinin başlangıç ve bitiş çalışma günlerinin farklı dönemlere ait olduğu durumlarda, yukarıda bahsedilen maksimum izin verilen ardışık iş günü sayısını (örneğin, $n_{\max} = 6$ gün) aşmaması için, kişinin izin gününe kadar olan her iki dönemdeki maksimum çalışma gün sayısının dikkate alınması gerekmektedir.

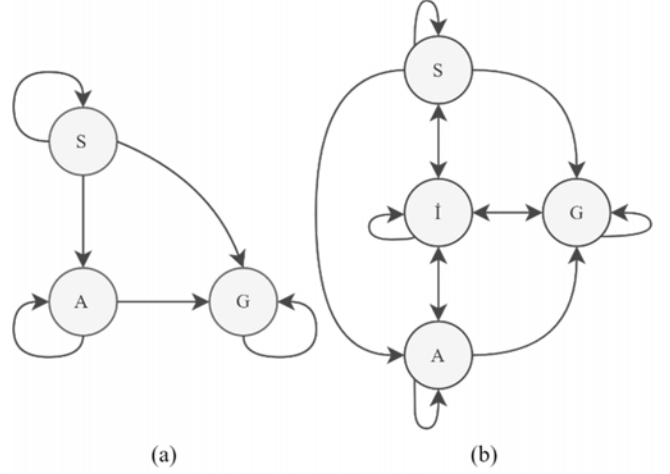
Eş. 5 ile ifade edilebilecek olan söz konusu durum için toplam üst sınırı $n_{\max-i}$ ($n_{\max-i} \leq n_{\max}$) ilgili çalışanın izne ayrılıncaya kadar kalan maksimum çalışma gün sayısını temsil etmekte olup, önceki dönemin sonunda izin verilen maksimum ardışık iş günü sayısı ile kişinin ardışık çalışma günlerinin sayısı arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır.

$$\sum_{j=1}^{n_{\max-i}} y_{ij} \geq 1, \quad \forall i \quad (5)$$

Burada dikkat edilmesi gereken noktalardan birisi ise Eş. 4 ile verilen ifadenin, bir dönem içinde izin verilen maksimum çalışma günü sayısı ile ilgili kısıtlamayı sağlamakta olduğu, ancak Eş. 5 ile verilen kısıtın ise yalnızca mevcut dönemin başlangıcında geçerli olmasıdır. Diğer bir deyişle, Eş. 5 kullanılarak, Eş. 4 ile verilen genel kısıtlamanın üzerinde ekstra bir kısıtlama sadece ve sadece ilgili kişi izne ayrılıncaya kadar olan bir dönem için tanımlanmış olup, genel olarak $n_{\max-i} \leq n_{\max}$ günleri, i . personeli için Eş. 4 ile verilen kısıtlamayı geçersiz kılmaktadır. Doğal olarak, söz konusu parametre önceki dönemin vardiya çizelgesinden elde edilmekte (örneğin, i . personel için $n_{\max-i}$ değeri) ve mevcut döneme ait modele girdi olarak verilmektedir.

Modelin devamında sunulacak olan vardiya geçiş kuralları Şekil 3'te gösterilmektedir. Bu kapsamda vardiya geçiş diyagramı ve bunun geliştirilmiş şeklini gösteren geliştirilmiş vardiya geçiş diyagramı sırasıyla Şekil 3a ve 3b ile gösterilmektedir. Bu diyagramlarda, düğümler vardiyaları ve oklar ise ilgili vardiya çifti için geçiş yapılmasına izin verilirken, göstermektedir. İkinci diyagramın "geliştirilmiş" olarak adlandırılmasının nedeni, vardiya geçiş kurallarının tanımlanmasında bir zorunluluk olmamakla birlikte, bütünlük açısından ilgili diyagramın standart vardiyaların (S, A ve G) yanı sıra bir izin günü (İ) için de bir düğüm içerecek şekilde

genişletilmiş olmasıdır. Tüm olası vardiya geçiş kuralları Şekil 3'teki vardiya geçiş diyagramları kullanarak tanımlanabilmektedir. Örneğin, bir kişi belirli bir günde sabah (S) vardiyasında çalışması veya izin gününde (İ) olması durumunda, bir sonraki günde tüm vardiyalarda çalışabilmekte veya yine izin gününde olabilmektedir. Benzer şekilde, bir kişi belirli bir günde akşam (A) vardiyasında çalışıyorsa, bir sonraki günde sabah (S) vardiyası dışında tüm vardiyalarda çalışmasına izin verilmektedir. Daha kısıtlayıcı bir durum olan gece (G) vardiyasından geçişler incelendiğinde ise sonraki gün için kişinin ya gece (G) vardiyasında çalışması ya da izin gününde olması gerektiği görülmektedir.



Şekil 3. (a) Sadece düzenli vardiyalar için ve (b) düzenli vardiyalar ve izin günleri için mümkün olan vardiya geçişleri (Possible shift transitions for (a) Regular shifts only and (b) Regular shifts and off days)

Şekil 3'teki vardiya geçiş diyagramındaki vardiya geçiş kurallarını tanımlamak için oluşturulan kısıtlar, yalnızca belirli vardiya geçişlerine izin vererek, kişilerin belirtilen vardiya geçiş kurallarına uygun şekilde çalışmalarını sağlamaktadır. Burada düğümler vardiyaları ve izin gününü ve oklar ilgili ikililer arasında geçişlere izin verilirken, göstermektedir. Ayrıca, yine yukarıda ele alındığı gibi vardiya geçiş kurallarına yönelik kısıtların da sadece dönem içinde değil, aynı zamanda iki ardışık dönem arasındaki günlerde de geçerli olmasını sağlamak için çalışma kapsamında genişletilmiş dönem olarak adlandırılan ve aşağıda detayları sunulan bir kavramından daha yararlanılmaktadır.

Vardiya geçiş kurallarından Şekil 3'te gösterildiği üzere, bir sabah (S) vardiyasında veya bir izin gününden (İ) geçişte herhangi bir kısıtlama olmadığını görülmektedir. Öte yandan, bir akşam (A) vardiyasından ya başka bir akşam (A) vardiyasına ya da gece (G) vardiyasına geçiş yapmak izin verilirken, bir gece (G) vardiyasından yalnızca başka bir gece (G) vardiyasına geçiş yapmak mümkündür. Başka bir deyişle, bir kişi belirli bir günde akşam (A) vardiyasında çalışıyorsa ($k = 2$), Eş. 6 ile bir sonraki gün sabah (S) vardiyasında çalışmasına izin verilmemektedir. Benzer şekilde, bir kişi belirli bir günde gece (G) vardiyasında çalışıyorsa ($k = 3$), Eş. 7 ve Eş. 8 ile bir sonraki gün sabah (S) vardiyasında ve akşam (A) vardiyasında çalışmasına izin verilmemektedir. Ayrıca, Eş. 6-Eş. 8'de gösterilen kısıtlamaların tanım kümelerinin diğerlerinden farklı olduğu ve genişletilmiş dönemler (yani sıfırıncı günü de içeren dönemler) için tanımlandıkları, daha önce verilmiş olan diğer kısıtların ise $j \geq 1$ için tanımlı oldukları görülmektedir.

$$x_{ijk} + x_{i(j+1)(k-1)} \leq 1, \quad \forall i, j \leq n_j - 1, k = 2 \quad (6)$$

$$x_{ijk} + x_{i(j+1)(k-1)} \leq 1, \quad \forall i, j \leq n_j - 1, k = 3 \quad (7)$$

$$x_{ijk} + x_{i(j+1)(k-2)} \leq 1, \quad \forall i, j \leq n_j - 1, k = 3 \quad (8)$$

Son olarak, vardiya geçişleriyle ilgili olarak, iki ardışık dönemi içeren gün-çiftleri için yukarıda bahsedilen geçişlerin sağlanabilmesi için tekrar genişletilmiş dönem fikrini kullanarak ek bir kısıtlamaya daha ihtiyaç duyulmaktadır. Başka bir deyişle, Eş. 6- Eş. 8 kullanılarak mevcut dönemin ilk gününde vardiya geçiş kurallarının sağlanması için her bir kişinin bir önceki vardiya çizelgesinin son günündeki vardiya tipi bilgisine ihtiyaç duyulmakta ve Eş. 9 ile dönemler arası geçiş sağlanmaktadır. Bir diğer ifadeyle, Eş. 9, eğer i . personel, önceki dönemin son gününde k . vardiyada çalışıyorsa, bu kişinin mevcut dönemin ilk gününde de (başka bir deyişle, $j = 0$) aynı vardiyada (yani, $(i_1, k_1) \in S_0$, önceki dönemin son günündeki kişi-vardiya çiftleri kümesi) çalıştığı anlamına gelmekte ve böylece her bir kişinin mevcut dönemin ilk günündeki vardiyası, Eş. 6- Eş. 8'de tanımlanan vardiya geçiş kurallarına göre uygun şekilde belirlenmiş olmaktadır.

$$x_{ijk} = 1, \quad i = i_1, j = 0, k = k_1, (i_1, k_1) \in S_0 \quad (9)$$

Modelin izleyen kısımlarında, dönem boyunca dengeli ve adil bir çizelge oluşturulması hedeflenmektedir. Her bir kişinin bir dönemde S vardiyada çalışmasını sağlamak için Eş. 10'daki esnek kısıt kullanılmaktadır ve S parametresi Eş.11 ile hesaplanmaktadır.

$$\sum_{j \in J^+} x_{ijk} \approx S, \quad \forall i, \forall k \quad (10)$$

$$S = \frac{n_T}{n_K} \quad (11)$$

Benzer şekilde, her vardiyada P kişinin olması hedeflenmekte ve bunun için de Eş. 12'deki esnek kısıt kullanılmaktadır. P parametresi Eş.13 ile hesaplanmaktadır.

$$\sum_{i \in I} x_{ijk} \approx P, \quad j \geq 1, \forall k \quad (12)$$

$$P = \frac{n_j n_T}{n_i n_K} \quad (13)$$

Karşılık gelen sapma değişkenlerinin eklenmekte ve Eş. 14, Eş. 15 ile karşılık gelen kısıtlar tanımlanmaktadır.

$$\sum_{j \in J^+} x_{ijk} + d_{ik}^{1-} - d_{ik}^{1+} = S, \quad \forall i, \forall k \quad (14)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ijk} + d_{jk}^{2-} - d_{jk}^{2+} = P, \quad j \geq 1, \forall k \quad (15)$$

Eş. 16 ve Eş. 17 ile amaç fonksiyonları gösterilmektedir. Eş. 16 ile öncelikle her bir kişinin her bir vardiyada eşit sayıda çalışması; Eş. 17 ile ise her bir günde, her bir vardiyada eşit sayıda (yeterli sayıda) kişinin olması hedeflenmektedir. Bu nedenle, aşağıdaki iki amaç fonksiyonu, S ve P 'ye ait hedef değerlerden sapmaları minimize etmektedir.

$$\min z_1 = \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} d_{ik}^{1-} + d_{ik}^{1+} \quad (16)$$

$$\min z_2 = \sum_{k \in K} \sum_{j \in J^+} d_{jk}^{2-} + d_{jk}^{2+} \quad (17)$$

Son olarak, Eş. 18- Eş. 21 işaret kısıtlarını göstermektedir.

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (18)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j \geq 1 \quad (19)$$

$$d_{ik}^{1\pm} \geq 0, \quad \forall i, \forall k \quad (20)$$

$$d_{jk}^{2\pm} \geq 0, \quad j \geq 1, \forall k \quad (21)$$

4. Sayısal Örnek (Numerical Example)

Bu bölümde önerilen formülasyonun uygulamasının basit bir sayısal örnek üzerinde gösterilmesi amaçlanmıştır. Bu problem örneğinde, iki ardışık dönem için maksimum ardışık çalışma günü altı olan ($n_{\max} = 6$) yedi kişiden oluşan bir ekip için üç vardiyadan oluşan (sabah (S), akşam (A) ve gece (G) vardiyaları) bir vardiya çizelgesi oluşturulmaktadır. Basit sayısal örnek için tanımlanmış olan bir dönem yedi günlük (haftalık) olduğundan, dönemdeki toplam çalışma günü sayısı da $n_T = 6$ olarak belirlenmiştir. Her bir personelin, çalışması istenen her bir vardiya sayısı $S = 2$ (Eş. 11) ve belirli bir vardiyada çalışması istenen personel sayısı $P = 2$ (Eş. 13) olarak belirlenmektedir.

Benzer şekilde, yukarıdaki sayısal örnekte, izin gününe kadar maksimum çalışma günü sayısı da yine her bir i kişisi için $n_{\max-i} = n_{\max} + 1 - 0 = 7$, olarak belirlenmiş olup, tüm kişilerin başlangıçta ($j = 0$) izinli olduğu varsayılmaktadır. Söz konusu problem için optimal vardiya çizelgesi Tablo 2'de gösterilmiştir. Tabloda her bir vardiya (S, A ve G) ve izin günleri (İ) okuyucuların daha kolay takibi için farklı renklerle temsil edilmiştir.

Tablo 2'de oluşturulan vardiya çizelgesinde, yukarıda belirtilen standart problem kriterlerinin tamamının karşılandığı, başka bir deyişle, tüm kişilerin ardışık olarak maksimum altı gün çalışarak, bir gün izin kullandıkları ve böylece iki dönem (iki hafta) boyunca toplamda iki gün izinli oldukları görülmektedir. Benzer şekilde, her kişi her vardiyada iki kez çalışmakta ($S = 2$) ve belirli bir günde her bir vardiyada iki kişi çalışmaktadır ($P = 2$). Sonuç olarak, Tablo 2'de görüldüğü üzere, ele alınan sayısal örnekte, tüm standart problem kriterlerinin ideal olarak karşılandığı mükemmel bir çizelge elde edilmektedir. Ancak, doğal olarak ele alınan problem girdilerine bağlı olarak gerçek hayat problemlerinde benzer şekilde mükemmel bir çizelge elde edilememesi de söz konusu olabilecektir.

Yukarıdaki basit sayısal örnekte, söz konusu standart problem kriterlerinin ideal olarak karşılanmasına ek olarak, ardışık dönemler arasındaki geçişler de incelenebilir. Örneğin, ilk haftanın üçüncü günü izinli olan birinci kişinin, maksimum altı ardışık çalışma günü dikkate alındığında, ikinci haftadaki ilk izin gününden önce (sekiz ve dokuzuncu günlerde) iki gün daha çalışması söz konusudur. Ayrıca, ilk haftanın sonunda akşam vardiyasında çalışan aynı kişinin, ardışık vardiyalar arasında 11 saatlik bir dinlenme zorunluluğuyla ilgili mevzuat düzenlemeleri nedeniyle, ikinci haftanın başında (sekizinci günde) sabah vardiyasında çalışmasına izin verilmemektedir. Genel olarak incelendiğinde de Tablo 2'de görüldüğü üzere, vardiya çizelgesinde tüm kişiler için, birinci haftanın sonu ile ikinci haftanın başı arasındaki vardiya geçişleri kurallarının sağlandığı görülmektedir. Çizelgedeki farklı durumlar gözlemlenmek amacıyla yukarıda bahsedilen birinci kişiye ek olarak, çizelge ortası ve

sonundan örnek olarak dördüncü ve yedinci kişilerin çalışma programları ele alındığında aşağıdaki gözlemler yapılmaktadır.

Birinci kişi, birinci haftanın sonunda akşam vardiyasında çalışmakta ve bu nedenle, bir sonraki gün (ikinci haftanın başında) ya akşam vardiyasında ya da gece vardiyasında çalışabilme olasılığı bulunmaktadır. Ayrıca, bu kişinin üçüncü gün izinli olması nedeniyle, ikinci haftanın başında maksimum iki gün daha çalışmasına izin verilmekte ve dolayısıyla ikinci haftanın üçüncü gününde izinli olması söz konusu olmaktadır.

Tablo 2. İki ardışık hafta için optimal vardiya çizelgeleri (Optimal schedules for two consecutive weeks)

Kişi\Gün	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	G	G	İ	S	S	A	A	G	G	İ	S	S	A	A
2	A	A	G	G	İ	S	S	A	A	G	G	İ	S	S
3	S	A	A	G	G	İ	S	S	A	A	G	G	İ	S
4	G	İ	S	S	A	A	G	G	İ	S	S	A	A	G
5	A	G	G	İ	S	S	A	A	G	G	İ	S	S	A
6	S	S	A	A	G	G	İ	S	S	A	A	G	G	İ
7	İ	S	S	A	A	G	G	İ	S	S	A	A	G	G

Çizelgedeki dördüncü kişi ilk haftanın son gününde gece vardiyasında çalıştıktan, sonraki gün sadece gece vardiyasında çalışmasına izin verilmekte ve birinci hafta sonunda ardışık olarak beş gün çalışmış olduğundan, ikinci haftanın ilk gününde bir gün gece vardiyasında çalıştıktan sonra ikinci haftanın ikinci gününde izne çıktığı görülmektedir. Benzer şekilde, çizelgedeki son kişi de ilk haftanın sonunda gece vardiyasında çalıştıktan, sonraki gün sadece gece vardiyasında çalışmasına izin verilmekte ve birinci hafta sonunda ardışık olarak altı gün çalışmış olduğundan, ikinci haftanın ilk gününde izne çıktığı görülmektedir.

Daha önce de belirtildiği gibi yukarıda verilen basit sayısal örnek, problemin parametrelerinin belirli bir kombinasyonu (yani, kişi ve vardiya sayısı) ve dönem uzunluğu ile ideal bir şekilde dengelenen optimal bir programın oluşturulmasını mümkün kılan bir durumu temsil etmektedir. Başka bir deyişle, örneğin, yedi kişinin her birinin üç vardiyanın her birinde dört kez çalıştığı ideal bir iki haftalık program oluşturmak mümkün olmakla birlikte, söz konusu problem parametrelerinin başka bir kombinasyonu için durum doğal olarak farklı olabilecektir.

5. Hesaplamalı Deneyler (Computational Experiments)

Önerilen formülasyonun uygulanabilirliğini göstermek için gerçek bir hayat problemi olan, üç vardiya ve 100 kişilik bir ekip bir yılın tüm aylarını kapsayacak şekilde aylık vardiya çizelgeleri oluşturulmuştur. Tüm problemler, IBM ILOG CPLEX Optimization Studio kullanılarak Windows 11 işletim sistemi ve Intel(R) Core(TM) i5-10210U CPU @ 1,60 GHz 2,11 GHz işlemci ve 8 GB RAM konfigürasyona sahip kişisel bir bilgisayarda çözülmüştür. Her ne kadar bir yıldaki tüm aylar için vardiya çizelgeleri oluşturulmuş olsa da artık yıllar da dikkate alındığında, sadece 28, 30, 31 ve 29 şeklinde dört olası farklı gün sayısına sahip olan dört ayın çizelgelerini oluşturulmasına karşılık gelen dört farklı problem kurgusu ortaya çıkmaktadır. Tüm aylar için oluşturulan çizelgelerde, iki ardışık dönem için maksimum ardışık çalışma günü altı olan ($n_{max} = 6$) olarak belirlenmiş ve toplam çalışma günü sayısı (n_T) 31 ve 30 gün olan aylarda sırasıyla 26 ve 25 iken, 28 ve 29 gün olan Şubat ayı için 24 ve 25 olmaktadır. Ayrıca adil bir çizelge oluşturulmasını sağlayan S ve P parametreleri, 100 kişilik bir ekip için örneğin 31 gün bir

aydaki dönemdeki toplam çalışma günü sayısı ($n_T = 26$) olduğunda, $S = \frac{26}{3} \cong 8,667$ ve $P = \frac{100 \times 26}{31 \times 3} \cong 27,957$ olarak belirlenmektedir.

Örnek olarak Ocak ve 28 günlük Şubat ayları için oluşturulmuş olan vardiya çizelgeleri sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te görülmektedir. Şekil 4 ve Şekil 5 incelendiğinde, ilk iki ayın vardiya çizelgelerinde, okuyucular tarafından da incelenebileceği gibi, ilgili iş kanunu mevzuatınca gerekli olanlar ve diğer tüm problem kısıtların karşılanmasının yanı sıra, aynı zamanda dönemler (aylar) arası vardiya geçişlerinin de doğru bir şekilde gerçekleştirildiği görülmektedir. Örneğin, Ocak ayının 25. gününde izinde olan ilk kişinin, altı günden fazla çalışmaması nedeniyle, Şubat ayının ilk gününde yine izinli olduğu görülmektedir. Vardiya geçişleri için de benzer gözlemler yapılabilir. Örneğin, Ocak ayının son gününde gece vardiyasında çalışan yedinci kişinin, gece vardiyasından sonra izin verilen tek geçiş olması nedeniyle, Şubat ayının ilk gününde de gece vardiyasında çalıştığı görülmektedir.

Çizelgelerin genel değerlendirmesi açısından bakıldığında, 28, 29, 30 ve 31 günlük aylar için amaç fonksiyondaki ilk terimin sırasıyla 0, 0, 133,3 ve 133,3 olduğu, ikinci terimin de sırasıyla 42,2, 41,1, 31,1 ve 7,7 olduğu görülmektedir. Başka bir deyişle, istenen sayıda vardiyada çalışma kriteri açısından bakıldığında, çizelgelerin Şubat ayı için (hem normal hem de artık yıllar için) ideal bir şekilde dengelenirken, kişilerin istenen sayıda vardiyada çalışmaları açısından sapmaların toplamı diğer aylar için 133,3 olarak elde edilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, Şubat ayında tüm kişilerin her bir vardiyada 8 gün çalıştığı, diğer aylar için ise 8 veya 9 gün çalıştığı gözlemlenmiştir. Bu durumda 30 günlük aylar için elde edilen amaç fonksiyonun değeri, S değerinin 8,333 olarak belirlenmesi nedeniyle, 9 gün çalışılması durumunda 0.667 pozitif sapma ve 8 gün çalışılmasında durumunda ise 0.333 negatif sapma şeklinde oluşmaktadır. Benzer şekilde, 31 günlük aylar için amaç fonksiyonun elde edilen değeri, S değerinin 8,667 olarak belirlenmesi ve 9 gün çalışıldığında 0.333 pozitif sapma 8 gün çalışıldığında ise 0.667 negatif sapma değeri ile oluşmaktadır. Çizelge incelendiğinde, tüm kişilerin sapma değerlerinin birden küçük olduğu ve sadece zorunlu sapmaların gerçekleştiği görülmektedir. Benzer şekilde, her vardiyada istenen kişi sayısı açısından bakıldığında ise sapmalar toplamlarının farklı aylar için 7,7 ile 42,2 arasında değişmekte olduğu, bu açıdan en kötü sonucun 28 günlük Şubat ayında, en iyi sonucun ise 31 günlük aylarda ele edildiği görülmektedir. Çizelge incelendiğinde, yukarıda da belirtildiği ve amaç fonksiyonun diğer bileşeninde olduğu gibi tüm kişilerin sapma değerlerinin birden küçük olduğu ve sadece zorunlu sapmaların gerçekleştiği görülmektedir. Son olarak, önerilen formülasyonun hesaplama performansı incelendiğinde, çalışma sürelerinin 1 min ile 55 s ve 3 min 29 s arasında değiştiği ve önerilen matematiksel programın gerçek hayat vardiya çizelgeleri oluşturmak için kullanım potansiyeli olduğu görülmektedir.

6. Sonuçlar (Conclusions)

7 gün 24 saat kesintisiz hizmet verilme ihtiyacı nedeniyle, güvenlik hizmetlerinin çizelgenmesi genellikle vardiya sisteminin uygulanmasını gerektirmekte ve önemli yönetsel zorluklar doğurabilmektedir. Vardiya planlamasında, çalışanların sağlığını ve hizmetin verimliliğini korumak için çalışma günlerinin ve vardiya sayılarının eşitliği göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, ilgili iş kanunu mevzuatında yer alan ardışık iş günleri ve vardiya geçişleri ile ilgili kısıtlamalara da uyum sağlanmalıdır. Eşitlik ilkesi iş yükünün adil bir şekilde dağıtılmasını ve motivasyonun artırılmasını sağlamaktadır. Benzer şekilde ardışık iş günleri ve vardiya geçişleri ile ilgili kısıtlamalar ise çalışanların yorgunluklarını azaltmaya, sağlıklarını ve konforlarını korumaya ve adaptasyon sürecini kolaylaştırmaya yardımcı olmaktadır. Söz konusu kısıtlar altında ideal

çizelgelerini esnek bir şekilde ilişkilendirmek için bir yaklaşım sunulmakta ve bunu etkin bir şekilde ele alan bir tamsayı-hedef programlama formülasyonu önerilmektedir.

Bu çalışmada, güvenlik hizmetlerinde vardiya çizelgeleme probleminde odaklanılmasına rağmen, önerilen yaklaşım, ilgili gerekli teknolojik kısıtların entegre edilmesiyle, benzer özelliklere sahip diğer hizmet sistemlerindeki vardiyaları çizelgelemek için de uygulanabilecektir. Böyle bir uyarılma, gelecekteki bir çalışmanın potansiyel bir konusu olarak farklı bir alandaki gerçek hayat problemlerini çözmek için faydalı olabilir. Çalışmanın diğer bazı uzantıları da gelecekteki çalışmalarda göz önünde bulundurulabilir. Gerçek hayattaki genel problem karakteristikleri çalışmaya dahil edilmiş olmakla birlikte, ilgili problemin bazı ek unsurları ve benzer problemlerdeki alana özgü kısıtlamaların bazıları gelecek çalışmalarda göz önünde bulundurulabilir. Örneğin, güvenlik hizmetlerinin vardiya çizelgelemede işgücü yeteneklerinin dikkate alınması gelecek çalışmalarda dikkate alınacak problem karakteristiklerinden birisi olabilir. Başka bir gelecek çalışma yönü ise alternatif çözüm yaklaşımlarının önerilmesiyle ilgili olabilir. Önerilen yaklaşımdaki hesaplama deneyleri oldukça umut verici sonuçlar vermesine rağmen, gelecekteki çalışmalarda, optimal veya nispeten iyi çözümleri daha hızlı üretmek veya uygun bir çözümü kullanımının mümkün olmadığı durumlarda çözüm elde edebilmek için bazı sezgisel / metasezgisel yöntemler kullanan alternatif çözüm yaklaşımları dikkate alınabilir.

Teşekkürler (Acknowledgement)

Bu çalışma sürecinde, Gülveren Tabansız-Göç'e TÜBİTAK 2244 Sanayi Doktora Programı ve 119C152 numaralı, "Döküm Sektörünün Geleceğine Yönelik Çözümler Geliştirilmesi" projesi kapsamında ve Tuğçe Akyüz'e TÜBİTAK 1004 Mükemmeliyet Merkezi Destek Programı ve 22AG001 numaralı, "Elektrikli Taşıtlar İçin Batarya Teknolojileri Araştırma ve Geliştirme Grubu (BATEG)" projesi kapsamında verilen destekler için TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar (References)

- Morton D. P., Popova E., A Bayesian stochastic programming approach to an employee scheduling problem, *Iie Transactions*, 36 (2), 155-167, 2004.
- Burke E. K., Li J., Qu R., A hybrid model of integer programming and variable neighbourhood search for highly-constrained nurse rostering problems, *European Journal of Operational Research*, 203 (2), 484-493, 2010.
- Alsheddy A., Tsang E. P., Empowerment scheduling for a field workforce, *Journal of Scheduling*, 14, 639-654, 2011.
- Li J., Burke E. K., Curtois T., Petrovic, S., Qu, R., The falling tide algorithm: a new multi-objective approach for complex workforce scheduling, *Omega*, 40 (3), 283-293, 2012.
- Harper P. R., Powell N. H., Williams J. E., Modelling the size and skill-mix of hospital nursing teams, *Journal of the Operational Research Society*, 61, 768-779, 2010.
- Lezaun M., Perez G., Sainz de la Maza E., Staff rostering for the station personnel of a railway company, *Journal of the Operational Research Society*, 61 (7), 1104-1111, 2010.
- Brucker P., Burke E. K., Curtois T., Qu R., Vanden Berghe G., A shift sequence based approach for nurse scheduling and a new benchmark dataset, *Journal of Heuristics*, 16, 559-573, 2010.
- Stolletz R., Operational workforce planning for check-in counters at airports, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46 (3), 414-425, 2010.
- Lu Z., Hao J. K., Adaptive neighborhood search for nurse rostering, *European Journal of Operational Research*, 218 (3), 865-876, 2012.
- Avramidis A. N., Chan W., Gendreau M., L'écuyer P., Pisacane, O., Optimizing daily agent scheduling in a multiskill call center, *European Journal of Operational Research*, 200 (3), 822-832, 2010.
- Burke E. K., Curtois T., Qu R., Vanden Berghe G., A scatter search methodology for the nurse rostering problem, *Journal of the Operational Research Society*, 61 (11), 1667-1679, 2010.
- Heimerl C., Kolisch R., Scheduling and staffing multiple projects with a multi-skilled workforce, *OR spectrum*, 32, 343-368, 2010.
- Hojati M., Near-optimal solution to an employee assignment problem with seniority, *Annals of Operations Research*, 181, 539-557, 2010.
- Krishnamoorthy M., Ernst A. T., Baatar D., Algorithms for large scale shift minimisation personnel task scheduling problems, *European Journal of Operational Research*, 219 (1), 34-48, 2012.
- 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.
- Cürebali A., Eren T., Competency-based security personnel scheduling during the COVID-19 pandemic, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36 (3), 1483-1498, 2021.
- Gunther M., Nissen V., Particle swarm optimization and an agent-based algorithm for a problem of staff scheduling, In *Applications of Evolutionary Computation: EvoApplications 2010: EvoCOMNET, EvoENVIRONMENT, EvoFIN, EvoMUSART, and EvoTRANSLOG*, Istanbul- Turkey, 451-461, 7-9 April, 2010.
- Nissen V., Gunther M., Automatic generation of optimised working time models in personnel planning, In *International Conference on Swarm Intelligence*, Brussels- Belgium, 384-391, 8-10 September, 2010.
- Awadallah M. A., Khader A. T., Al-Betar M. A., Bolaji A. L. A., Nurse rostering using modified harmony search algorithm, In *International Conference on Swarm, Evolutionary, Visakhapatnam- Andhra Pradesh- India*, 27-37, 19-21 December, 2011.
- Valouxis C., Gogos C., Goulas G., Alefragis P., Housos E., A systematic two phase approach for the nurse rostering problem, *European Journal of Operational Research*, 219 (2), 425-433, 2012.
- Van der Veen E., Veltman B., Rostering from staffing levels: a branch-and-price approach, In *International Conference on Operational Research Applied to Health Services (ORAHS)*, 1-10, University of Leuven, July, 2009.
- Bai R., Burke E. K., Kendall G., Li J., McCollum B., A hybrid evolutionary approach to the nurse rostering problem, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 14 (4), 580-590, 2010.
- Ronnberg E., Larsson T., Automating the self-scheduling process of nurses in Swedish healthcare: a pilot study, *Health Care Management Science*, 13, 35-53, 2010.
- He F., Qu R., A constraint programming based column generation approach to nurse rostering problems, *Computers & Operations Research*, 39 (12), 3331-3343, 2012.
- Aksüt G., Alakaş H. M., Eren T., Model proposal for physically ergonomic risky personnel scheduling problem: An application in textile industry for female employees, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38 (1), 245-256, 2023.
- Lin T. C., Lin B. M., Optimal Fair-Workload Scheduling: A Case Study at Glorytek, *Mathematics*, 11 (19), 4051, 2023.
- Wright P. D., Bretthauer K. M., Strategies for addressing the nursing shortage: Coordinated decision making and workforce flexibility, *Decision Sciences*, 41 (2), 373-401, 2010.
- Burke E. K., Curtois T., Van Draat L. F., Van Ommeren J. K., Post G., Progress control in iterated local search for nurse rostering, *Journal of the Operational Research Society*, 62, 360-367, 2011.
- Mohammadian M., Babaei M., Amin Jarrahi M., Anjomrouz E., Scheduling nurse shifts using goal programming based on nurse preferences: a case study in an emergency department, *International Journal of Engineering*, 32 (7), 954-963, 2019.
- Rerkjirattikal P., Huynh V. N., Olapiriyakul S., Supnithi T., A goal programming approach to nurse scheduling with individual preference satisfaction, *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, 1-11, 2020.
- Knust S., Schumacher E., Shift scheduling for tank trucks, *Omega*, 39 (5), 513-521, 2011.
- Shuib A., Kamarudin F.I., Solving shift scheduling problem with days-off preference for power station workers using binary integer goal programming model, *Annals of Operations Research*, 272 (1-2), 355-372, 2019.
- Perreault-Lafleur C., Carvalho M., Desaulniers G., A stochastic integer programming approach to reserve staff scheduling with preferences, *International Transactions in Operational Research*, 2023.

34. Topaloğlu Ş., A multi-objective programming model for scheduling emergency medicine residents, *Computers & Industrial Engineering*, 51 (3), 375-388, 2006.
35. Özcan E., Danişan T., Yumuşak R., Gür Ş., Eren T., Goal programming approach for the radiology technician scheduling problem, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 37 (4), 1410-1420, 2019.
36. Shimeshan H., Sadegheih A., Hosseini-Nasab H., Lotfi, M. M., A two-stage stochastic programming approach for care providers shift scheduling problems, *Journal of Applied Research on Industrial Engineering*, 2022.
37. Gençer M. A., Eren T., Alakaş H. M., Train maintenance personnel shift scheduling: case study, *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 1-34, 2023.
38. 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.
39. Nasir D. S. M., Sabri N. D. A., Shafii N. H., Hasan, S. A., Shift Scheduling with the Goal Programming Approach in Fast-Food Restaurant: McDonald's in Kelantan, *Journal of Computing Research and Innovation*, 7 (1), 104-112, 2022.
40. Ernst A.T., Jiang H., Krishnamoorthy M., Sier D., Staff scheduling and rostering: a review of applications, methods and models, *European Journal of Operational Research*, 153 (1), 3-27, 2004.
41. Van den Bergh J., Belien J., De Bruecker P., Demeulemeester E., De Boeck L., Personnel scheduling: A literature review, *European Journal of Operational Research*, 226 (3), 367-385, 2013.
42. Smet P., Ernst A. T., Berghe G. V., Heuristic decomposition approaches for an integrated task scheduling and personnel rostering problem, *Computers & Operations Research*, 76, 60-72, 2016.
43. Warner M., Nurse staffing, scheduling, and reallocation in the hospital, *Hospital & Health Services Administration*, 21 (3), 77-90, 1976.
44. Burke E.K., De Causmaecker P., Petrovic S., Vanden Berghe G., Fitness evaluation for nurse scheduling problems, *Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation*, Seoul- Korea, 1139-1146, May, 2001.
45. Ikegami A., Niwa A., A subproblem-centric model and approach to the nurse scheduling problem, *Mathematical Programming*, 97, 517-541, 2003.
46. Moz M., Pato M.V., A genetic algorithm approach to a nurse rostering problem, *Computers & Operations Research*, 34 (3), 667-691, 2007.
47. Brunner J. O., Bard J. F., Kolisch R., Flexible shift scheduling of physicians, *Health care management science*, 12, 285-305, 2009.
48. Glass C.A., Knight R.A., The nurse rostering problem: a critical appraisal of the problem structure, *European Journal of Operational Research*, 202 (2), 379-389, 2010.
49. Zanda S., Zuddas P., Seatzu C., Long term nurse scheduling via a decision support system based on linear integer programming: A case study at the University Hospital in Cagliari, *Computers & Industrial Engineering*, 126, 337-347, 2018.
50. Guo J., Bard J. F., A column generation-based algorithm for midterm nurse scheduling with specialized constraints, preference considerations, and overtime, *Computers & Operations Research*, 138, 105597, 2022.
51. Smet P., Salassa F., Vanden Berghe G., Local and global constraint consistency in personnel rostering, *International Transactions in Operational Research*, 24 (5), 1099-1117, 2017.
52. Salassa F., Vanden Berghe G., Kjenstad D., Burke E. K., McCollum B., A stepping horizon view on nurse rostering, In *International conference on the practice and theory of automated timetabling*, 161-173, August, 2012.