



GÜVENLİK PERSONELİ VARDİYA ÇİZELGELEMESİNDE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMI

Gülveren TABANSIZ^{1*}, Aran MERİÇ², Fatih ÇAVDUR³

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-4204-1364>

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-5522-3565>

³Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-8054-5606>

Anahtar Kelimeler

Öz

Vardiya Çizelgeleme, 0-1 Tamsayılı Programlama, Çok Kriterli Karar Verme, AHP, WASPAS

Güvenlik hizmetlerinin doğası gereği, 7 gün-24 saat aralıksız bir şekilde devam eden çalışma düzeni nedeniyle bu hizmetlerin çizelgenmesinde vardiya sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Buna ek olarak, güvenlik hizmetlerinin insani koşulları ve iş kanunu ile zorunlu kılınan kısıtlar gibi diğer bazı problem kısıtlarını da dikkate alacak şekilde yerine getirilebilmesi, çeşitli kriterlerin dikkate alınmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada, benzer bir güvenlik personeli çizelgeleme problemi için ilgili iş kanunu da dikkate alınarak personellerin birbirleri ile eşit koşullarda çalışmalarını sağlayacak adil bir çizelge oluşturulması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında ayrıca, kıdem, cinsiyet ve medeni durum gibi kriterlere bağlı olarak güvenlik personellerinin hafta sonu çalışma maliyetlerinin farklılık gösterdiği bir kurgu için minimum maliyetli çizelgenin oluşturulması amaçlanmıştır. Problemin çözümü için 0-1 tamsayılı programlama formülasyonu oluşturulmuştur. Önerilen formülasyona maliyet girdisi oluşturmak amacıyla, yukarıda bahsedilen üç farklı kriterin

*Sorumlu yazar; e-posta: gulverentabansiz@gmail.com

doi : <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.1203295>

dikkate alındığı AHP-WASPAS temelli bir yaklaşım kullanılarak güvenlik personellerinin hafta sonu çizelgelenme maliyetleri belirlenmiştir. Buna ek olarak, önerilen formülasyonun çalışmasının gösterimi için gerçekçi boyutlarda örnek bir problem oluşturularak, problemin optimal çözümü elde edilmiştir. Örnek probleme ek olarak, modelin performansını gösterebilmek amacıyla, daha büyük boyutlarda oluşturulmuş olan problemler için de optimal çözümler elde edilmiş ve farklı çalışma maliyetlerine sahip alternatif kurgular için çözüm süreleri kıyaslanmıştır.

A MULTI-CRITERIA DECISION MAKING APPROACH IN SECURITY PERSONNEL SHIFT SCHEDULING

Keywords	Abstract
<i>Shift Scheduling, 0-1 Integer Programming, Multi-Criteria Decision Making, AHP, WASPAS</i>	<i>Shift systems are required in scheduling security services due to the working days of 24 consecutive hours continuous nature of the corresponding services. Additionally, it is necessary to take into account some criteria to be able to perform security services by considering basic humanitarian requirements and some other problem constraints such as the ones imposed by the labor law legislation. In this study, it is aimed at creating a fair schedule so that each personnel works under equal conditions by considering the corresponding labor law legislation for a similar security personnel-scheduling problem. It is also aimed at creating the minimum cost schedule for the case where scheduling some personnel on weekends yield different costs due to some criteria such as seniority, gender and marital status. A 0-1 integer programming formulation is created to solve the problem. Corresponding costs of scheduling security personnel during weekends are determined using an AHP-WASPAS-based approach considering the aforementioned three criteria. An example real-life problem is constructed and solved to optimality for illustration. In addition to the example problem, larger-sized problem instances are also solved to optimality and the solution times of the alternative settings with different costs are compared.</i>

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 12.11.2022	Submission Date : 12.11.2022
Kabul Tarihi : 01.02.2023	Accepted Date : 01.02.2023

1. Giriş

Güvenlik hizmetlerinin doğası gereği, 7 gün-24 saat aralıksız bir şekilde devam eden çalışma düzeni nedeniyle bu hizmetlerin çizelgelenmesinde vardiya sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Vardiyalı çalışma sisteminin uygulanmasında çeşitli insani unsurların dikkate alınması, sadece kişilerin isteğine bağlı bir uygulama olmayıp, kanuni sınırlamalardan da kaynaklanmaktadır. Güvenlik personeli vardiya çizelgeleme problemindeki karmaşıklık, güvenlik personeli sayısına ve çizelgedeki gün sayısına (planlama dönemi) bağlı olmakla beraber aynı zamanda personellerin farklı vardiyalardaki çalışma sayılarında ortaya çıkan değişkenliklere de bağlı olmaktadır.

Problemin çözümünde personellerin planlama dönemi boyunca kaç gün çalışacağı, tüm çalışanların eşit sayıda her vardiyada çalışması ve her bir vardiyada yeteri kadar çalışanın bulunması gibi kısıtlar dikkate alınmaktadır. Bu kısıtlara ek olarak, çeşitli insani unsurları dikkate alan kanuni sınırlandırmalar kapsamında, bir personel herhangi bir vardiyada çalıştıktan sonra ancak 11 saat dinlenmesinin ardından diğer bir vardiyada çalışmasını sağlayacak kısıt da dikkate alınmaktadır. Dolayısıyla, her bir güvenlik personelinin ilgili günde vardiyalardan sadece birine atanması sağlanmalı ve üç vardiyalı çalışılan bir sistemde güvenlik personeli ilgili günde ikinci vardiyada çalıştıysa sonraki gün birinci vardiyada çalışmamalı, üçüncü vardiyada çalıştıysa sonraki gün birinci ve ikinci vardiyada çalışmamalıdır. Ayrıca, yine ilgili kanuni sınırlandırmalar kapsamında, üç vardiyalı bir sistemde güvenlik personeli art arda en fazla altı gün çalışmalı ve izleyen gün mutlaka tatil yapmalıdır.

Literatürde bulunan diğer vardiya çizelgeme problemlerinde olduğu gibi bu çalışmada da yukarıdakilere benzer kısıtlara ek olarak, güvenlik personellerinin kıdemlerine bağlı olarak ortaya çıkabilecek olan değişken maliyetler de dikkate alınmaktadır. Söz konusu maliyetler farklı ücretlendirme politikası uygulanan kurumlarda parasal bir büyüklüğe karşılık gelebileceği gibi, örneğin daha kıdemli veya evli olan personellerin hafta sonlarında çalıştırılmasının engellenmesine yönelik bir ceza katsayısı olarak da ele alınabilir. Örneğin, bu çalışma kapsamında, izleyen bölümünde detayları sunulmuş olan 0-1 tamsayılı programlama modeli kullanılarak, sadece pazar günleri için farklı çalışma maliyetlerinin söz konusu olduğu (bir diğer ifadeyle, pazar günleri çalışanlar için farklı ceza katsayılarının söz konusu olduğu) bir kurgu için minimum maliyetli bir çizelge oluşturulması amaçlanmaktadır. AHP-WASPAS temelli bir yaklaşımla ve kıdem, cinsiyet ve medeni durum gibi üç kriterin dikkate alınmasıyla belirlenmiş olan farklı çalışan maliyetlerinin (bir diğer ifadeyle, pazar günleri çalışma ceza katsayılarının) olduğu bir kurgu için minimum maliyetli bir çizelge oluşturulması amaçlanmaktadır. Literatürdeki vardiya çizelgeleme problemleri incelendiğinde kıdem, cinsiyet gibi kriterlerin sıklıkla dikkate alındığı görülmektedir. Literatürdeki çalışmalarda oluşturulan çizelgelerde, kıdem seviyeleri birtakım kriterler ile belirlenmekte ve belirlenen kıdem kriteri ve/veya cinsiyet kriteri modeldeki kısıtlar ile dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada

kıdem, cinsiyet ve medeni durum kriterleri AHP-WASPAS temelli bir yaklaşım ile tek bir ceza maliyetine dönüştürülmüş ve çizelge oluşturulurken bu kriterlerin birlikte dikkate alınması sağlanmıştır. Söz konusu kurgu önerilen modelin çalışmasını göstermek amacıyla oluşturulmuş bir örnek olarak sunulmuştur. Ayrıca modelin performansını gösterebilmek amacıyla, farklı boyutlarda problemler oluşturulmuş, ilgili model parametreleri güncellenerek farklı çalışma maliyetlerine sahip alternatif kurgular için optimal çözümler elde edilerek, çözüm süreleri kıyaslanmıştır.

Bu çalışmanın ilerleyen bölümlerindeki organizasyonu şu şekildedir. İkinci bölümünde ilgili literatürde yapılan çalışmalar özetlenmiş, üçüncü bölümünde ise çalışma kapsamında ele alınan problem tanımı verilmiştir. Dördüncü bölümünde, çalışma kapsamında kullanılan AHP ve WASPAS çok kriterli karar verme yöntemlerinin özetine, problem için oluşturulan 0-1 tamsayılı programlama modeline ve hem örnek bir problem için hem de farklı problem kurguları için elde edilen sonuçlara yer verilmiştir. Beşinci bölümde ise çalışmanın genel bir değerlendirmesi sunulmuştur.

2. Literatür Taraması

Vardiya çizelgeleme problemi, birçok sektörde ihtiyaç duyulması nedeniyle geçmişten günümüze kadar çok sayıda çalışmada ele alınmıştır. Problemin farklı sektörlerde uygulanması, problem için ilgili sektörün karakteristiklerine bağlı olarak farklı unsurların dikkate alınmasını da gerektirmektedir. Vardiya çizelgeleri oluşturulurken problem, personel sayısı, vardiya sayısı, ergonomik kısıtlar ve her sektörün kendine özgü kısıtları gibi farklı bakış açıları ile değerlendirilmektedir.

Güvenlik hizmeti dışındaki diğer alanlardaki çalışmalar incelendiğinde, sağlık sektöründe benzer problemlerin sıklıkla ele alındığı görülmektedir. Vermuyten, Rosa, Marques, Belien ve Barbosa-Póvoa (2018) yaptıkları çalışmada, bir gerçek hayat problemi olan acil sağlık hizmetleri sisteminde karşılaşılan personel çizelgeleme problemi için hizmetlerin işlevselliğinin sağlandığı sezgisel tabanlı tamsayılı hedef programlama modeli önermişlerdir. Hong, Cohn, Epelman ve Alpert (2019) tarafından yapılan çalışmada hastane vardiya çizelgeleme problemi için tamsayı programlama tabanlı özyinelemeli bir algoritma sunulmuştur. Çalışmada stajyer doktorların kıdem seviyeleri, eğitim programları, tatil günü tercihleri dikkate alınmış ve aynı zamanda vardiya geçişlerinin yasal olmasına rağmen kötü uyku düzeni (Bad Sleep Pattern- BSP) oluşturan vardiya geçişlerinin minimum olmasını amaçlayan bir personel çizelgesi oluşturulması amaçlanmıştır. Mohammadian, Babaei, Amin Jarrahi ve Anjomrouz (2019) tarafından yapılan çalışmada acil servis hemşirelerinin vardiya çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Çalışmada yazarlar, problem çözümü için hedef programlama kullanmış olup Hong ve diğ. (2019) tarafından da dikkate alınan kötü uyku düzeni oluşumunu ve günler bazında vardiya ve tatil

tercihlerini dikkate alan bir çizelge oluşturulması amaçlanmıştır. Breuer, Lahrichi, Clark ve Benneyan (2020) tarafından yapılan çalışmada, ameliyathane-personel çizelgeleme probleminde vaka süresi, personel müsaitliği ve hasta özellikleri gibi belirsiz durumlar dikkate alınmıştır. Yazarlar, deterministik ve belirsizlik durumlarını dikkate alan sırasıyla karışık tamsayılı ve Robust optimizasyon modelini karşılaştırmışlardır. Breuer ve diğ. (2020) çalışmasına benzer şekilde, Schoenfelder, Bretthauer, Wright ve Coe (2020) tarafından yapılan çalışmada da bir hastanenin ünitelerindeki hasta sayısı belirsizliklerini dikkate alan ve aynı zamanda hastaların talebinin karşılanmadığı durumlarda üniteler arası hasta aktarımı sağlayan bir hemşire çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Çalışmada problemin çözümü için çok aşamalı bir stokastik programlama modeli sunulmuştur. Güler ve Geçici (2020), COVID-19 pandemi şartları altında bir hastanedeki sağlık çalışanlarının vardiya çizelgeleme probleminin çözümü için karışık-tamsayılı programlama modeli sunmuş ve karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Rerkjirattikal, Huynh, Olapiriyakul ve Supnithi (2020) tarafından yapılan çalışmada personellerin iş yükü, vardiya ve izin günü tercihlerini göz önünde bulunduran hemşire çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Çalışmada problem çözümü için hedef programlama kullanılmıştır. Nobil, Sharifnia ve Cárdenas-Barrón (2022) tarafından yapılan çalışmada, değişken personel maliyetlerini minimize etmeyi amaçlayan karışık-tamsayılı programlama modeli önerilmiştir.

Benzer çalışmaların yoğun olarak gerçekleştirildiği alanlardan birisi de demiryolu taşımacılığı sektörüdür. Bunlar arasında, Yaghini, Karimi ve Rahbar (2015) tarafından yapılan çalışmada tren makinist çizelgeleme problemi için doğrusal programlama tabanlı komşuluk yapısı algoritması önerilmiştir. Çalışmada sunulan problem için olası tüm görevlerin yapılandırılması, görev oluşturma ve her trene mümkün olan en iyi göreve atama olmak üzere iki aşamada ele alınmıştır. Lin ve Tsai (2019) tarafından yapılan çalışmada sürüşü minimize etmek amacıyla tren mürettebat yönetimi, mürettebat planlama problemi ve mürettebat atama problemi olarak iki alt problem ile ele alınmıştır. Çalışmada problem için karışık-tamsayılı programlama modeli önerilmiştir. Hoffmann ve Buscher (2019) tarafından yapılan çalışmada demiryolu çalışma koşullarını, yasal gerekliliklerini karşılayan ve aynı zamanda personel maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlayan bir vardiya çizelgeleme problemi ele alınmış olup çözüm yaklaşımı olarak bağlantı akış modeli sunulmuştur. Neufeld, Scheffler, Tamke, Hoffmann ve Buscher (2021) tarafından yapılan çalışmada, demiryolu personel çizelgeleme konusunda bir gerçek hayat problemi için yeni bir hibrit sütun oluşturma yaklaşımı önerilmiştir. Nie, Li, Xiao, Yang, Jiang ve Buhigiro (2021) tarafından yapılan çalışmada Pekin metro sistemindeki transfer bekleme sürelerini minimize etmek amacıyla son vardiya dönemini dikkate alan vardiya çizelgeleme problemi için tamsayı kodlu genetik algoritma ve ikili kodlu genetik algoritma geliştirilmiştir. Ceylan, Arslan ve Arslan (2021) tarafından yapılan çalışmada, hedef programlama modeli kullanılmıştır. Yazarlar tarafından bu çalışmada, bir şehir içi raylı ulaşım sistemlerinde makinist olarak görev alan

çalışanların çalışma sürelerinin ve vardiya sayılarının eşitlenmesi sağlanmış ve çalışanlar için adil bir vardiya çizelgesi oluşturulmuştur.

Diğer sektörlere yönelik olarak da benzer çalışmaların gerçekleştirildiği görülmektedir. Varlı ve Eren (2017) tarafından yapılan çalışmada, çalışanlar AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) yöntemini kullanarak belirli kriterler ile kıdem seviyelerine ayrılmış ve fabrikadaki her bir vardiya için ihtiyaç duyulan işgücünün karşılanması amaçlanmıştır. Vardiya çizelgesi oluşturulurken tamsayılı-hedef programlama modeli ile işgücünün dengeli ve adaletli bir şekilde dağıtılması sağlanmıştır. Özcan, Varlı ve Eren (2017) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise büyük ölçekli bir hidroelektrik santralindeki gerçek veriler kullanılmıştır. Bu çalışmada yazarlar tarafından, hidroelektrik santralindeki operatörlerin yorgunluk ve motivasyon eksikliğinden kaynaklanan duruşları azaltmak amacıyla ergonomik şartların dikkate alındığı hedef programlama modeli önerilmiştir. Ergonomik şartların dikkate alındığı bu çalışmada hem vardiya çizelgesinin eşit dağılması sağlanmış hem de operatörlerdeki yorgunluk ve motivasyonun istenilen seviyeye çıkarılması ile firmaya maliyet oluşturan duruşların azaltılması sağlanmıştır. Bedir, Eren ve Dizdar (2017) tarafından yapılan çalışmada bir giyim mağazasında çalışan personeller için vardiya çizelgesi yapılması amaçlanmıştır. Vardiya çizelgesi hazırlanırken AHP yöntemi ile görev risklerinin ağırlıklarından elde edilen skorlar ve çalışanların belirli kriterler ile elde edilen yetkinlik skorları dikkate alınmıştır. Hedef programlama modeli çalışan, gün, görev ve periyot indisleri ile çözülmüş ve vardiya çizelgesinin oluşturulması sağlanmıştır. Shuib ve Kamarudin (2019) tarafından yapılan çalışmada, elektrik santrali personellerinin vardiya ve izin günü talepleri dikkate alınan bir çizelge oluşturulmuş ve problem için tamsayılı hedef programlama modeli formüle edilmiştir. Özcan, Alakaş, Yelek ve Eren (2020) tarafından yapılan çalışmada ise yine bir hidroelektrik santralinde çalışan personellerin vardiya çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Problemin çözümü için hedef programlama ve kısıt programlamanın birlikte kullanılarak, vardiya ekipleri arasında adaletli ve dengeli bir atama yapılması sağlanmıştır. Model, çalışan sayısı ve çizelgelenecek gün sayısının, modelin çözüm süresi üzerindeki etkisi ile kıyaslanmıştır. Eren, Koçtepe ve Cürebal (2021) tarafından yapılan çalışmada 10 farklı akaryakıt istasyonunda çalışan 40 personel için vardiya planlaması yapılması amaçlanmıştır. Yazarlar tarafından yapılan bu çalışmada, personellerin yetkinleri ve personellerin firmaya olan maliyelerinin dikkate alındığı bir vardiya çizelgesi oluşturulmuştur. Akay ve Kundakçı (2021) tarafından yapılan çalışmada, Covid-19 salgınından sonra iş hayatındaki uzaktan çalışma sistemine geçiş incelenmiş ve Covid-19 risk faktörleri dolayısıyla ofislerdeki çalışan sayısının azaltılması konusu dikkate alınmıştır. Bunun için öncelikle uzaktan çalışma sistemi için uygun kriterler MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) yöntemi ile ağırlıklandırılmış ve çalışanlar TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi ile uzaktan çalışma sistemine uygunluğuna göre sıralanmıştır. İlgili ağırlıklar ve skorlar tamsayılı programlama modelinde

parametre olarak kullanılmış ve hem çalışanlar için adil hem de işveren taleplerini karşılayan bir vardiya çizelgesi oluşturulmuştur. Subçiller ve Erbilek (2022) tarafından yapılan çalışmada ise bir üniversitedeki merkez kütüphanede kısmi zamanlı çalışan öğrenciler için vardiya çizelgesi yapılması amaçlanmıştır. Beş vardiyanın bulunduğu sistemde ağırlıklı hedef programlama modeli kullanılmış ve vardiyalarda bulunan öğrenci sayılarının farklılıkları olan hedeflerin ağırlıkları AHP yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

Güvenlik hizmetlerinin ele alındığı çalışmalar incelendiğinde, benzer şekilde problemlerin farklı çalışmalarda ele alındığı görülmektedir. Örneğin Restrepo, Lozano ve Medaglia (2012) tarafından ele alınan çalışmada, otopark işletmesinde sözleşmeli olarak çalışan güvenlik personelleri ve kasiyerler için çok faaliyetli vardiya çizelgesi oluşturulmuştur. Personel maliyetlerinin amaçlandığı bu çalışmada çalışma, mola ve mesai sürelerinin dikkate alındığı çok faaliyetli vardiya çizelgeleme problemi sütun üretme tabanlı yaklaşım ve kaynak kısıtlı en kısa yol problemi ele alınarak modellenmiştir. Soukour, Devendeville, Lucet ve Moukrim (2013) tarafından yapılan çalışmada havaalanında sözleşmeli güvenlik personeli çizelgeleme probleminde, sözleşmelere bağlı olarak değişen izin günleri ve çalışma süreleri dikkate alınmış ve aynı zamanda sözleşme kapsamında fazla ve eksik çalışma maliyetlerini minimize eden bir çizelge oluşturulması amaçlanmıştır. Yazarlar çalışmada çözüm yaklaşımı olarak açgözlü algoritma ve küresel atama algoritması kullanmışlardır. Ciritoglu, Akgün, Varlı ve Eren (2017) çalışmalarında, bir üniversitede kadın ve erkek, kadrolu ve sözleşmeli olarak çalışmakta olan güvenlik personelleri için kadın, erkek ve kadrolu, sözleşmeli olma durumunun dikkate alındığı bir çizelge oluşturulmuştur. Personellerin çizelgelenmesi için hedef programlama modeli kullanılmıştır. Yazarlar tarafından yapılan bu çalışmada, ilgili kriterlerinde dikkate alındığı mümkün olduğunca adaletli ve dengeli bir vardiya çizelgesinin oluşturulması amaçlanmıştır. Demirel, Yelek, Alağaç ve Eren (2018) tarafından yapılan çalışmada, bir metro hattındaki dört istasyonda çalışan güvenlik personelleri için vardiya çizelgesi oluşturulmuştur. Vardiya çizelgesi oluşturulurken hedef programlama modeli kullanılmış ve her bir personel için çalışılan vardiya sayılarının eşit olması amaçlanmıştır. Herawati, Yuniartha, Purnama ve Dewi (2018) tarafından yapılan çalışmada, otel sektöründeki güvenlik personelleri için her bir vardiyadaki Algılan Efor Oranı (Rate of Perceived Exertion - RPE) ve personellerin vardiya ve tatil tercihlerinin dikkate alındığı 0-1 tamsayıli programlama modeli önerilmiştir. Modelinin kullanılması ile iş yükünü dengelemeyi ve işçiler arasındaki eşit vardiya dağılımının yapılması amaçlanmıştır. Cürebal ve Eren (2021) tarafından yapılan çalışmada, sağlık sektöründe çalışan güvenlik personelleri için yetkinliklerin (fiziksel durum, dış görünüş, tecrübe gibi) ve Covid-19 risk faktörünün dikkate alındığı bir çizelge oluşturulmuştur. Dikkate alınan kriterler, AHP-TOPSIS yöntemi ile hedef programlama modelinde parametre olarak kullanılan skora dönüştürülmüştür.

Yukarıdaki örnek çalışmaların bazılarında da görülebileceği gibi vardiya çizelgelerinin oluşturulmasında farklı kriterleri probleme yansıtmak amacıyla Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri de kullanılmaktadır. Bu çalışmalara örnek olarak, Varlı ve Eren (2017) tarafından yapılan çalışmada, çalışanlar AHP yöntemini kullanarak belirli kriterler ile kıdem seviyelerine ayrılmış ve fabrikadaki her bir vardiya için ihtiyaç duyulan işgücünün karşılanması amaçlanmıştır. Bedir ve diğ. (2017) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise vardiya çizelgesi hazırlanırken AHP yöntemi ile görev risklerinin ağırlıklarından elde edilen skorlar ve çalışanların belirli kriterler ile elde edilen yetkinlik skorları dikkate alınmıştır. Akay ve Kundakçı (2021) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, Covid-19 salgınından sonra iş hayatındaki uzaktan çalışma sistemine geçiş incelenmiş ve Covid-19 risk faktörleri dolayısıyla ofislerdeki çalışan sayısının azaltılması konusu dikkate alınmıştır. Bunun için öncelikle uzaktan çalışma sistemi için uygun kriterler MACBETH yöntemi ile ağırlıklandırılmış ve çalışanlar TOPSIS yöntemi ile uzaktan çalışma sistemine uygunluğuna göre sıralanmıştır. Subçiller ve Erbilek (2022) tarafından yapılan çalışmada ise bir üniversitedeki merkez kütüphanede kısmi zamanlı çalışan öğrenciler için vardiya çizelgesi yapılması amaçlanmış olup, vardiyalarda bulunan öğrenci sayılarının farklılıkları olarak tanımlanmış ağırlıklar AHP yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Cürebal ve Eren (2021) tarafından yapılan çalışmada, sağlık sektöründe çalışan güvenlik personellerinin yetkinlikleri ve Covid-19 risk faktörleri dikkate alınmış ve AHP-TOPSIS yöntemleri ile ilgili personellerin skorları hesaplanmıştır.

Bu çalışma kapsamında da kıdem, cinsiyet ve medeni durum gibi kriterlere bağlı olarak, çizelgelenecek güvenlik personellerinin belirli günlerde (örneğin pazar günlerinde) çalışma maliyetlerinin farklı olduğu bir problem kurgusunda minimum maliyetli vardiya çizelgesinin oluşturulması için kullanılan bir matematiksel programlama modelinin yanı sıra, modele girdi sağlamak amacıyla ÇKKV yöntemlerinden de yararlanılmıştır. Bu amaçla, bu çalışma kapsamında AHP ve WASPAS yöntemleri kullanılarak, söz konusu maliyetler belirlenmiş ve matematiksel programlama modelinin girdisi olarak kullanılmıştır.

Bu çalışma ile ÇKKV yaklaşımı kullanımı ve güvenlik personeli için vardiya çizelgesi oluşturulması açısından benzerlikleri bulunan çalışmalar yazarların alfabetik sırasına göre Tablo 1’de özetlenmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan yöntemlerden ilki olan AHP, Analitik Hiyerarşi Prosesi olarak tanımlanan ve 1970’li yıllarda Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen bir ÇKKV yöntemidir. AHP, çok kriterli kararların öncelik durumunu bir hiyerarşi içerisinde belirlemeyi ve temsil etmeyi sağlamaktadır.

Sergi ve Ucal (2021) tarafından yapılan çalışmada, AHP yöntemi uygulama kolaylığı, fayda ve maliyet kriterlerinin birlikte analiz edebilmesi gibi avantajları nedeniyle karar verme problemlerinin çözümünde yararlı bir yaklaşım olduğu, AHP yönteminin kolay anlaşılabilen ve aynı zamanda karmaşık problemleri bile basit hale getirebilen bir yöntem olmasının yanı sıra ikili karşılaştırma

sağlanması ile kriter ağırlıklandırmalarını da daha anlaşılır bir hale getirdiği ve AHP yöntemi karar vericinin kararlarının tutarlılık derecesini ölçebilen ve duyarlılık analizi yapması ile bilinen bir yöntem olduğu söylenmektedir. Tüm bu avantajlar AHP yöntemini diğer yöntemlere göre daha fazla alanda uygulanabilmesine imkân vermekte olarak özetlenmektedir.

Tablo 1

ÇKKV Kullanılan Güvenlik Hizmeti ve Diğer Alanlardaki Vardiya Çizelgeleme Çalışmaları

Referans	Sektör	ÇKKV Kullanımı	Dikkate Alınan Kriterler
Akay ve Kundakçı (2021)	D.A.	MACBETH-TOPSIS	Uzaktan çalışmaya uygunluk
Bedir ve diğ. (2017)	D.A.	AHP	Ergonomik çalışma koşulları
Ciritoğlu ve diğ. (2017)	G.H.	-	Cinsiyet ve kadrolu, sözleşmeli çalışma durumu
Cürebal ve Eren (2021)	G.H.	AHP-TOPSIS	Çeşitli kriterlere bağlı olarak belirlenen yetkinlikler ve COVID-19 risk faktörü
Herawati ve diğ. (2018)	G.H.	-	RPE skorları ile belirlenen fiziksel iş yükü ve bireysel tercih olan tatil ve vardiya talebi
Restrepo ve diğ. (2012)	G.H.	-	Çalışma, mola ve mesai sürelerine göre belirlenen maliyetler
Soukour ve diğ. (2013)	G.H.	-	Sözleşme kapsamında fazla ve eksik çalışma maliyetleri
Subçiller ve Erbilek (2022)	D.A.	AHP	Vardiyalarda çalışacak personel sayıları
Varlı ve Eren (2017)	D.A.	AHP	Nitelik kriteri ile belirlenen personel kıdemleri

G.H.: Güvenlik Hizmeti, D.A.: Diğer Alanlar

Çalışma kapsamında kullanılmış olan diğer ÇKKV yöntemi olan WASPAS ise Ağırlıklı Bütünleşik Toplam Çarpım Değerlendirilmesi (Weighted Aggregated Sum Product Assessment - WASPAS) şeklinde tanımlanabilir. WASPAS yöntemi, 2012 yılında Zavadskas tarafından, Triantaphyllou ve Mann (1989) tarafından oluşturulan Ağırlıklı Toplam Model (Weighted Sum Model - WSM) ve Ağırlıklı Çarpım Model (Weighted Product Model - WPM) yöntemlerinin birlikte kullanılması ile oluşturulmuştur.

WASPAS, tutarlılığı ve doğruluğu diğer yöntemlere göre daha yüksek olan son yıllarda oluşturulmuş yeni bir yöntemdir (Deveci, Canitez ve Gökaşar, 2018). WSM ve WPS modellerini birleştiren WASPAS yönteminin diğer yöntemlerden en büyük farkı daha yüksek doğruluk avantajına sahip olmasıdır. Ayrıca WASPAS yöntemi, karmaşık çarpım hesaplamalarını ortadan kaldırdığı ve hesaplama kolaylığı sağladığı için alternatiflerin değerlendirmesinde uygun bir ÇKKV yöntemi haline gelmiştir (Xiong, Zhong, Liu, Zhang ve Li, 2020).

Bu nedenle, bu çalışmada AHP ve WASPAS yöntemlerinin bir kombinasyonu olan bir yöntem önerilmiştir.

3. Problem Tanımı

Bu çalışmada gündüz, akşam ve gece olmak üzere üç vardiyalı bir sistem ele alınmıştır. Buna göre, 08.00 ile 16.00 arası gündüz vardiyasına, 16.00 ile 24.00 arası akşam vardiyasına ve 24.00 ile 08.00 arası gece vardiyasına karşılık gelmektedir. Çalışmanın devamında gündüz vardiyası Vardiya 1, akşam vardiyası Vardiya 2 ve gece vardiyası ise Vardiya 3 olarak ifade edilmektedir.

Çalışma kapsamında, her bir günde ve her bir vardiyada eşit sayıda güvenlik personelinin çalışması ve ayrıca her bir güvenlik personelinin toplamda eşit sayıda vardiyalarda çalışmaları sağlanmıştır. Bu amaçla, öncelikle problem için her bir güvenlik personelinin çalışması gereken Gün Sayısı (GS), her bir güvenlik personelinin çalışması gereken Vardiya Sayısı (VS) ve her bir vardiyada çalışacak Personel Sayısı (PS) parametreleri belirlenmiştir. Literatürde bulunan diğer çizelgeleme problemlerinde olduğu gibi bu çalışmada da güvenlik personellerinin çizelgelenmesinde de bazı kurallar dikkate alınmıştır. Bu kurallar, güvenlik personellerinin ilgili iş kanunda belirtilen günlük çalışma süresinden daha fazla süre çalıştırılması ve yeterince dinlendirilmemesi nedeniyle ortaya çıkacak dikkatsizlik, dalgınlık, yorgunluk, uykusuzluk sonucu meydana gelecek iş kazalarının engellenmesi ve personellerin sağlık problemlerinin önlenmesi ve kişiler arasında adalet sağlanması amacıyla oluşturulmuştur. Bu çalışmada ele alınan ilgili kurallar aşağıda belirtilmiştir.

- Güvenlik personelleri ilgili çizelgenecek gün sayısına bağlı olarak belirlenen GS değeri kadar çalışmalı ve dolayısıyla tüm personellerin eşit sayıda günde çalışması sağlanmalıdır.
- Bir güvenlik personeli ardı ardına maksimum altı gün çalışabilir.
- Bir güvenlik personeli iş kanunu gereği bir vardiyada çalıştıktan sonra 11 saat dinlenmelidir. Dolayısıyla, bir güvenlik personeli bir günde en fazla bir vardiyada çalışabilir.
- Bir güvenlik personelinin çalıştığı bir vardiyadan sonra diğer bir vardiyaya kadar 11 saat dinlenmesi gerektiğinden, ilgili gün akşam vardiyasında çalışıyor ise bir sonraki gün gündüz vardiyasında

çalışmamalı ve gece vardiyasında çalışıyor ise bir sonraki gün gündüz ve akşam vardiyasında çalışmamalıdır.

- Her bir gün için her bir vardiyada çalışması gereken güvenlik sayısı eşit olmalıdır.
- Her bir güvenlik personeli için çalışılan vardiya sayıları eşit olmalıdır.

Güvenlik personellerin bir vardiyada çalıştıktan sonra bir sonraki gün çalışacağı vardiya ile arasında en az 11 saat olması gerektiğinden vardiyalar arasında belirli geçişler engellenerek, sadece belirli geçişlere izin verilmektedir. Vardiyalar arasındaki geçiş durumu Tablo 2’de gösterilmiştir. Tablodaki “+” değeri t ve $t + 1$ günlerinde ilgili vardiyalar arası geçişe izin verildiğini, “-” değeri ise vardiyalar arası geçişe izin verilmediğini göstermektedir.

Tablo 2

Vardiyalar Arası Geçiş Durumu

$t \setminus t + 1$	Vardiya 1	Vardiya 2	Vardiya 3
Vardiya 1	+	+	+
Vardiya 2	-	+	+
Vardiya 3	-	-	+

Tablo 2’de görüldüğü üzere, daha önce de bahsedildiği gibi güvenlik personellerinin 11 saatlik dinlenme süresi kısıtının sağlandığını göstermek amacıyla, vardiya atamalarında ortaya çıkabilecek olan üç farklı durum ele alınmıştır. Tabloda verilen üç satırda ve sütunda, sırasıyla t . günde ve $t + 1$. günde, ilgili güvenlik personelinin, yine satır-sütun sırasıyla, Vardiya 1, Vardiya 2 ve Vardiya 3’te çalıştığı ifade edilmektedir.

Durum 1 incelendiğinde, t . Günde Vardiya 1’de çalışan güvenlik personelinin, $t + 1$. günde Vardiya 1, Vardiya 2 ve Vardiya 3’te çalışmasına izin verildiği (+) görülmektedir. Benzer şekilde, Durum 2 incelendiğinde, t . Günde Vardiya 2’de çalışan güvenlik personelinin, $t + 1$. günde Vardiya 2 ve Vardiya 3’te çalışabildiği (+) ve Vardiya 1’de çalışmasına izin verilmediği (-) görülmektedir. Son olarak, Durum 3 incelendiğinde ise, t . Günde Vardiya 3’te çalışan güvenlik personelinin, $t + 1$. günde Vardiya 3’te çalışabildiği (+) ve Vardiya 1 ve Vardiya 2’de çalışmasına izin verilmediği (-) görülmektedir.

4. Yöntem

Bu bölümde sırasıyla AHP yöntemi ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi, WASPAS yöntemi ile personellerin ceza katsayılarının belirlenmesi ve matematiksel

programlama modeli ile personellerin çizelgesinin oluşturulması sağlanmakta olup bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

4.1 AHP ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

ÇKKV yöntemlerinden birisi olan AHP yöntemi, karmaşık karar problemlerin çözümü için geliştirilmiş olup sosyal, ekonomik ve teknik alanlardaki birçok karar verme problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. AHP yöntemi aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir (Saaty, 1980):

Hiyerarşinin her seviyesindeki karar unsurlarının ve kriterlerinin karşılaştırılması için ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması gerekmektedir. Karar matrislerindeki kriterlerin, birbiri arasındaki önem değerlendirmesi, belirli unsurlar arasındaki ilişkiyi subjektif olarak belirleyen karar veren kişi tarafından gerçekleştirilmektedir. Karar verici ikili karar matrisini oluştururken Tablo 3'te yer alan Saaty önem skalasını kullanmaktadır.

Tablo 3

Saaty Önem Skalası (Saaty, 1980)

Önem Derecesi	Tanım	Önem Derecesi	Tanım
1	Eşit seviyede önemli	7	Çok kuvvetli derecede önemli
3	Orta derece önemli	9	Aşırı derecede önemli
5	Kuvvetli derece önemli	(2,4,6,8)	Ara değerler

İkili karşılaştırma matrisindeki i . kriter ile j . kriter arasındaki önem değerleri (a_{ij}) belirlendikten sonra j . kriter ile i . kriter arasındaki önem değerleri olan a_{ji} değeri, a_{ij} değerinin ters fonksiyonu olarak matriste yazılmaktadır. İkili karşılaştırma matrisi, $A = [a_{ij}]$, $n \times n$ boyutlarına sahip bir matris olup, Denklem (1) ile gösterilmiştir.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Bir sonraki adımda, ikili karşılaştırma matrisinin normalizasyonu sağlanmakta ve $n \times n$ boyutundaki $B = [b_{ij}]$ normalizasyon matrisi elde edilmektedir. Normalizasyon matrisi kullanılarak öz vektör hesaplanmakta ve kriterler arasındaki göreceli önem dereceleri bulunmaktadır. Göreceli önem dereceleri, $W = [w_i]$, $n \times 1$ boyutlarına sahip bir vektör olup, Denklem (2) ile hesaplanmaktadır.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n}, \quad \forall i \quad (2)$$

Karar vericinin görüşleri çoğu durumda öznel olduğundan, kriterlerin önem dereceleri için tutarlılık hesabı yapılması gerekmektedir. Denklem (3) ile öz değer (λ_{\max}) kullanılarak Tutarlılık İndeksi (Consistency Index - CI) hesaplanmakta olup, λ_{\max} değeri, öncelik vektörünün ilgili göreceli önem değerine bölünmesi ile elde edilmektedir.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

Tutarlılık Oranı (Consistency Ratio - CR), Tablo 4'teki Rassal Tutarlılık İndeksi (Random Consistency Index - RI) değerleri kullanılarak Denklem (4) ile hesaplanmaktadır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

Tablo 4

Rassal Tutarlılık İndeksi Değerleri (Saaty, 1980)

n	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41

CR değerinin sıfıra eşit olması tam tutarlı bir matris elde edildiğini göstermektedir. Uygulamalarda tam tutarlılığın sağlanmasının her zaman mümkün olmayacağından 0.10 değerinin altında kalan değerlerin tutarlı olduğu kabul edilmektedir.

4.2 WASPAS ile Personellerin Ceza Katsayılarının Belirlenmesi

ÇKKV yöntemlerinden bir diğeri olan WASPAS yöntemi, Triantaphyllou ve Mann (1989) tarafından oluşturulan WSM ve WPM yöntemlerinin birlikte kullanılması ile ortaya çıkmıştır. WASPAS yönteminin aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir (Zavadskas, Turskis, Antucheviciene ve Zakarevicius, 2012):

Her bir i . alternatifin j . kriter için değeri olan d_{ij} değerlerinden, $D = [d_{ij}]$, $m \times n$ boyutlarına sahip bir karar matrisi oluşturulmaktadır. Oluşturulan karar matrisi Denklem (5) ile normalize edilmektedir.

$$\bar{d}_{ij} = \frac{d_{ij}}{\max d_{ij}}, \quad \forall i, \forall j \quad (5)$$

Oluşturulan normalizasyon matrisi ile WSM ve WPM yöntemi kullanılarak alternatiflerin toplam göreceli öneminin hesaplanması sağlanmaktadır. WSM ve WPM yöntemleri sırasıyla Denklem (6)-(7) ile hesaplanmaktadır. Bu denklemlerle j kriteri için verilmiş olan w_j ağırlık değerleri, önceki alt bölümde AHP yöntemi ile belirlenmiş olan ağırlıklara karşılık gelmektedir.

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n \bar{d}_{ij} w_j, \quad \forall i \quad (6)$$

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (\bar{d}_{ij})^{w_j}, \quad \forall i \quad (7)$$

Alternatiflerin göreceli ve toplam önem düzeyinin belirlenmesi için Denklem (8) kullanılmaktadır.

Denklemden λ değeri 0 ile 1 arasında değişen bir değere karşılık gelmekte ve birleşik optimalite katsayısını göstermektedir. WSM ve WPM yaklaşımlarının birleşik optimalite kriterinde eşit etkiye sahip olduğu durumlarda $\lambda=0,5$ olarak alınmaktadır.

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) Q_i^{(2)}, \quad \forall i, \lambda \in [0,1] \quad (8)$$

4.3 Matematiksel Programlama Modeli

Çalışma kapsamında kullanılan 0-1 tamsayılı programlama modeli aşağıda verilmiştir.

İndisler-Kümeler:

- I : Personel kümesi
 J : Günler kümesi
 $J_C \subseteq J$: Farklı maliyetli günler kümesi
 K : Vardiyalar kümesi
 i : Personel, $i \in I$
 j : Gün, $j \in J$
 k : Vardiya, $k \in K$

Parametreler:

- c_i : i . personelin farklı maliyetli günler için çalışma maliyeti (ceza katsayısı)
 N : Çizelgedeki toplam gün sayısı
 GS : Güvenlik personelinin çalışması gereken toplam gün sayısı
 VS : Güvenlik personelinin çalışması gereken vardiya sayısı
 PS : Her bir vardiyada çalışması gereken personel sayısı

Değişkenler:

- x_{ijk} : $\begin{cases} 1, & i. \text{güvenlik personeli } j. \text{gündeki } k. \text{vardiyaya ataniyorsa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$
 h_{ij} : $\begin{cases} 1, & i. \text{güvenlik personeli } j. \text{günde izinli ise} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$

Amaç fonksiyonu:

$$\min z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_C} \sum_{k \in K} c_i x_{ijk} \quad (9)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k \in K} x_{ijk} \leq 1, \quad \forall i, j \quad (10)$$

$$\sum_{k \in K} x_{ijk} = 1 - h_{ij}, \quad \forall i, j \quad (11)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} x_{ijk} = GS, \quad \forall i \quad (12)$$

$$h_{ij} + h_{i(j+1)} + h_{i(j+2)} + h_{i(j+3)} + h_{i(j+4)} + h_{i(j+5)} + h_{i(j+6)} \geq 1, \quad \forall i, \forall j \quad (13)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ijk} = VS, \quad \forall i, k \quad (14)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ijk} = PS, \quad \forall j, k \quad (15)$$

$$x_{ijk} + x_{i(j+1)(k-1)} \leq 1, \quad \forall i, \forall j, |j \leq N - 1, \forall k | k = 2 \quad (16)$$

$$x_{ijk} + x_{i(j+1)(k-2)} \leq 1, \quad \forall i, \forall j | j \leq N - 1, \forall k | k = 3 \quad (17)$$

$$x_{ijk} + x_{i(j+1)(k-1)} \leq 1, \quad \forall i, \forall j | j \leq N - 1, \forall k | k = 3 \quad (18)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j, k \quad (19)$$

$$h_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j \quad (20)$$

Denklem (9) ile verilen amaç fonksiyonunda güvenlik personellerinin farklı maliyetlere sahip oldukları günlerdeki (örneğin, hafta sonlarında veya pazar günlerinde gibi) maliyetleri (ilgili günlerde çalışma ceza katsayıları) dikkate alınarak minimum maliyetli bir atama gerçekleştirilmesi söz konusudur. Bu denklemde, i personeli için verilmiş olan maliyet parametreleri veya ceza katsayılarının (c_i değerleri), önceki alt bölümde WASPAS yöntemi ile belirlenmiş olan önem düzeylerine (Q_i değerlerine) karşılık geldiği görülmektedir. Denklem (10) ile her güvenlik personelinin bir günde sadece bir vardiyaya atanması,

Denklem (11) ile ise güvenlik personellerinin izinli oldukları günde çalışmaları sağlanmıştır. Denklem (12) ile her güvenlik personelinin çalışması gereken gün sayısı (GS) kadar çalışması, Denklem (13) ile ise ardına altı günden fazla çalışmaması sağlanmıştır. Denklem (14) ve (15) ile sırasıyla, her bir vardiyada çalışılması gereken sayıların (VS) ve her bir vardiyada çalışan personel sayılarının (PS) eşit olması gerektiği ifade edilmektedir. Denklem (16) ile akşam vardiyasında çalışanların, ertesi gün gündüz vardiyasında çalışmaması, Denklem (17) ve Denklem (18) ile de gece vardiyasında çalışanların, ertesi gün gündüz ve akşam vardiyalarında çalışmaması koşulları ifade edilmektedir. Denklem (19) ve (20) genel işaret kısıtlarını göstermektedir.

Önerilen model incelendiğinde, Denklem (11) ile verilmiş olan, her i, j için, $\sum_{k \in K} x_{ijk} = 1 - h_{ij}$ ifadesinde, her i, j için, $h_{ij} \leq 1$ olduğundan, $\sum_{k \in K} x_{ijk} \leq 1$ olduğu ve bu durumun da aynı zamanda Denklem (10) ile verilen ifadeyi sağladığı görülmektedir. Bu durumda, Denklem (10) ile verilen kısıtın problem kurgusunun anlatımı amacıyla sunulmuş olmakla birlikte, matematiksel formülasyon için fazladan verilmiş olduğu ve bu denkleme ihtiyaç olmadığı görülmekte olup, önerilen model Denklem (10) olmayacak şekilde yeniden ifade edilebilir. Sonuç olarak, makalenin sayfa sayısını daha fazla artırmamak amacıyla bir bütün olarak yeniden verilmemiş olmakla birlikte, önerilen modelin son şeklinin Denklem (9) ve Denklem (11)-(20) ile verilen ifadelerden oluşacak şekilde yazılabileceği görülmektedir.

4.4 Uygulama

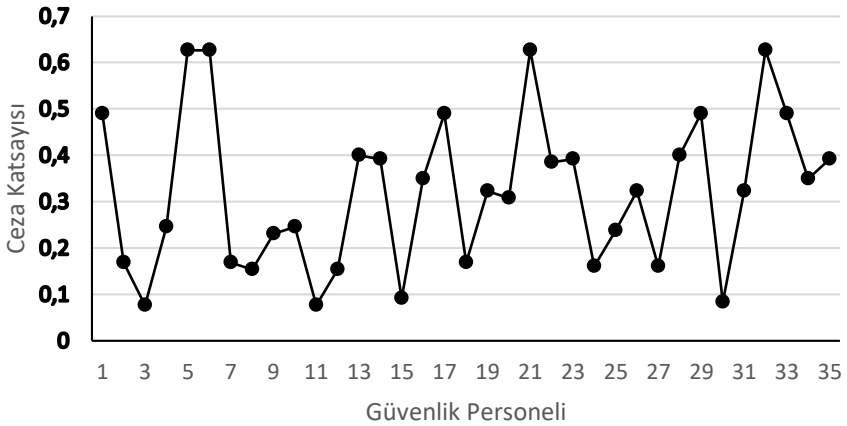
Önerilen yaklaşımın çalışmasını örneklendirmek amacıyla, çalışma kapsamında pazar günleri için güvenlik personellerinin çalışma maliyetlerinin (ceza katsayılarının) kıdem, cinsiyet ve medeni durum gibi üç kritere bağlı olarak farklılık gösterdiğinin varsayıldığı bir kurgu oluşturulmuş ve buna bağlı olarak, öncelikle söz konusu cinsiyet, kıdem ve medeni durum kriterlerine ait önem dereceleri AHP yöntemiyle belirlenmiştir.

Kriterlerin ikili karşılaştırmaları uzman görüşü dikkate alınarak gerçekleştirilmiş, sonuçların tutarlı olduğu kontrol edilmiş ve sonuç olarak kıdem, cinsiyet ve medeni durum kriterlerinin önem dereceleri sırasıyla 0,69, 0,23 ve 0,08 olarak bulunmuştur. Doğal olarak, söz konusu önem dereceleri veya ağırlık değerleri ilgili karar vericinin yani uzman görüşünün bir yansıması olarak belirlenmiş olup, farklı bir uzmandan görüş alınması durumunda önem derecelerinin farklılık göstermesi söz konusu olabilecektir. Çalışma kapsamında belirlenen örnek kurgu altında, kıdem en önemli kriter olduğu, cinsiyetin bu kriteri izlediği ve medeni durumun ise en düşük öneme sahip kriter olduğu görülmektedir.

AHP yöntemi ile kriter ağırlıklarının belirlenmesinden sonra, örnek problem kapsamında ele alınacak olan 35 güvenlik personelinin bu üç kriter açısından

rassal değerlere sahip olduğu örnek bir problem kurgusu oluşturulmuştur. Söz konusu 35 güvenlik personeline ait maliyetler (ceza katsayıları) AHP ile elde edilen kriter önem derecelerine göre WASPAS yöntemi kullanılarak belirlenmiş olup Şekil 1’de görülmektedir. Şekil 1’de görüldüğü üzere ceza katsayıları 0 ile 1 arasında değişmektedir. Örnek olarak ilk sırada yer alan ve 10-15 yıl arasında kıdeme sahip, kadın ve evli güvenlik personeli için ceza katsayısı 0,49 olarak belirlenmişken, ikinci sırada yer alan 5-10 yıl arasında kıdeme sahip, kadın ve bekar güvenlik personeli için ilgili ceza katsayısı, kıdeminin ilk sıradaki kişiye göre daha düşük ve bekar olması nedeniyle 0,17 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla önerilen matematiksel programlama modeli ile gerçekleştirilen atamalarda, örneğin pazar günü çalışmalarında, benzer koşullarda ilk sıradaki güvenlik personeli yerine ikinci sıradakinin atanmasının daha öncelikli olması sağlanmış olacaktır.

Önerilen matematiksel programlama modelinin çalışmasına örneklendirmek amacıyla, AHP ve WASPAS yöntemleri ile 35 güvenlik personeli için belirlenmiş olan maliyetler kullanılarak yaklaşık bir aylık (dört haftalık) bir çalışma dönemi için güvenlik personel çalışma çizelgesi oluşturulmuştur. Problemden her bir güvenlik personelinin çalışması gereken gün sayısı (GS) 24 gün, her bir güvenlik görevlisinin çalışması gereken vardiya sayısı (VS) 8 gün ve her bir gün için her bir vardiyada çalışması gereken personel sayısı (PS) 10 kişi olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Örnek Problem için Pazar Günleri Çalışma Maliyetleri (Ceza Katsayıları)

Geliştirilen 0-1 tamsayılı programlama modelinin çözümünde Intel(R) Core(TM) i5-10210U CPU @ 1.60GHz 2.11 GHz işlemcisi, 8 GB belleği ve Windows 11 işletim sistemine sahip bir bilgisayar kullanılmıştır. Modelin çözümü için ILOG CPLEX Studio IDE kullanılmış ve 46,74 saniyede optimal çözüme ulaşılmıştır.

Oluşturulan optimal çizelgenin maliyeti 32,94 olarak elde edilmiştir. Bu değer pazar günleri çalışan güvenlik personellerinin firmaya olan maliyetini göstermektedir. Güvenlik personelleri için oluşturulan vardiya çizelgesi Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5
Örnek Problem için Aylık Vardiya Çizelgesi

GP	CK	1. Hafta							2. Hafta							3. Hafta							4. Hafta							
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	
1	0.49	T	1	3	3	3	3	3	T	1	2	2	2	2	3	T	1	2	2	2	3	3	T	1	1	1	1	1	2	
2	0.17	3	3	3	3	3	T	1	1	2	2	3	3	T	1	2	2	2	2	3	T	1	1	1	1	1	2	T	2	
3	0.08	3	3	T	2	2	3	3	3	3	T	1	1	1	1	1	T	1	2	2	2	3	3	T	1	2	2	2		
4	0.25	2	2	2	2	3	T	1	3	3	3	3	3	T	1	2	2	2	2	3	T	1	1	1	1	1	1	T	3	
5	0.63	2	2	2	2	3	3	T	1	1	1	1	1	3	T	1	1	2	2	3	3	T	1	2	2	3	3	3	T	
6	0.63	1	1	1	1	2	2	T	2	2	3	3	3	3	T	1	1	3	3	3	3	T	1	1	2	2	2	2	T	
7	0.17	1	3	T	1	1	2	2	2	3	T	2	2	2	3	3	T	1	2	3	3	3	T	1	1	1	1	1	1	
8	0.15	3	T	1	2	2	3	3	T	1	1	1	1	3	3	T	1	1	1	3	3	3	T	2	2	2	2	2	2	
9	0.23	3	T	1	1	3	3	3	3	T	2	2	2	2	3	3	T	1	1	1	1	1	2	T	1	2	2	2	3	
10	0.25	1	2	2	3	T	1	1	1	1	2	2	T	1	1	2	2	2	T	1	3	3	3	3	3	3	T	3	3	
11	0.08	3	3	3	T	2	2	2	2	2	3	T	1	1	1	1	1	T	2	2	2	3	3	T	1	1	1	3		
12	0.15	3	3	T	1	1	1	2	3	3	T	2	2	2	2	3	3	T	1	1	1	2	3	3	T	1	1	2	2	
13	0.40	3	3	3	T	1	1	2	2	2	2	T	1	2	3	3	3	3	T	1	1	2	2	2	3	T	1	1	1	
14	0.39	1	1	1	3	T	2	2	3	3	3	3	T	1	1	1	1	3	3	T	2	2	2	2	2	3	T	1	2	
15	0.09	T	1	1	1	1	2	3	T	1	1	1	1	2	2	T	2	2	2	2	3	3	T	2	3	3	3	3	3	
16	0.35	1	1	2	2	T	1	2	2	3	3	3	T	1	2	3	3	3	3	T	1	1	2	2	2	3	T	1	1	
17	0.49	1	3	T	1	1	2	2	2	3	T	1	2	2	2	2	2	T	1	1	1	3	3	3	T	1	3	3	3	
18	0.17	2	T	1	2	2	3	3	3	T	1	1	1	1	1	1	T	1	3	3	3	3	3	T	2	2	2	2	2	
19	0.32	T	1	1	1	1	2	2	T	2	2	2	2	3	3	T	1	1	1	1	2	2	T	3	3	3	3	3	3	
20	0.31	2	2	2	2	2	T	1	1	1	2	3	3	T	1	1	2	3	3	3	T	1	1	2	3	3	3	T	1	
21	0.63	2	2	2	2	2	T	3	3	3	3	3	3	T	1	1	1	2	3	3	T	1	1	1	1	1	1	2	T	
22	0.39	2	2	3	3	3	T	1	1	2	2	2	3	T	2	2	3	3	3	3	T	1	1	1	1	1	1	2	T	
23	0.39	2	2	2	T	1	1	2	2	2	3	T	3	3	3	3	3	3	T	1	1	1	2	2	3	T	1	1	1	
24	0.16	T	2	3	3	3	3	3	3	T	1	1	1	2	3	3	T	1	1	1	2	2	3	T	1	1	2	2	2	
25	0.24	1	1	1	1	2	T	1	1	3	3	3	3	T	1	2	2	2	2	3	3	T	2	2	2	2	3	3	T	1
26	0.32	3	T	1	1	1	1	1	2	T	1	2	2	2	2	2	T	1	3	3	3	3	3	T	1	2	2	3	3	
27	0.16	1	3	3	3	T	1	1	2	2	3	3	T	1	1	1	3	3	3	T	2	2	2	2	2	2	T	1	1	
28	0.40	T	1	2	3	3	3	3	3	T	1	1	1	1	3	3	T	2	2	2	2	3	3	T	1	1	1	2	2	2
29	0.49	3	3	3	T	1	1	2	2	2	2	T	1	1	2	3	3	3	T	1	2	2	2	3	3	T	1	1	1	
30	0.08	3	T	1	2	2	3	3	3	T	1	2	2	2	2	2	T	1	1	1	1	1	1	T	2	3	3	3	3	
31	0.32	1	1	T	1	1	1	1	1	2	T	1	3	3	3	3	3	T	2	2	2	2	2	2	T	2	3	3	3	
32	0.63	1	1	3	3	3	3	T	1	1	1	2	3	3	T	2	2	2	2	2	2	T	1	1	1	2	3	3	T	
33	0.49	2	2	2	2	3	3	T	1	1	1	1	2	2	T	1	1	1	1	2	2	T	3	3	3	3	3	3	T	
34	0.35	2	3	3	T	2	2	3	3	3	3	T	1	1	2	2	2	2	T	1	1	1	2	3	3	T	1	1	1	
35	0.39	2	2	2	3	T	1	1	1	1	2	3	T	3	3	3	3	3	3	T	1	1	1	1	2	2	T	2	2	

GP: Güvenlik Personeli, CK: Ceza Katsayısı

Tablo 5'te görüldüğü üzere, birinci sütun güvenlik personellerini, ikinci sütun güvenlik personellerin pazar günlerindeki çalışma maliyetlerini ve birinci satır ise günleri temsil etmektedir. Hücrelerdeki bir, iki ve üç değerleri sırasıyla gündüz, akşam ve gece vardiyalarını ve T değeri ise ilgili gündeki ilgili güvenlik personelinin tatilde olduğunu göstermektedir. Tablo 5 incelendiğinde her bir güvenlik görevlisi 24 gün çalışmakta ve dolayısıyla 4 gün izin yapmaktadır. Bu güvenlik personellerinin o ay boyunca eşit miktarda çalıştığını ve dolayısıyla eşit miktarda izin yaptığını göstermektedir.

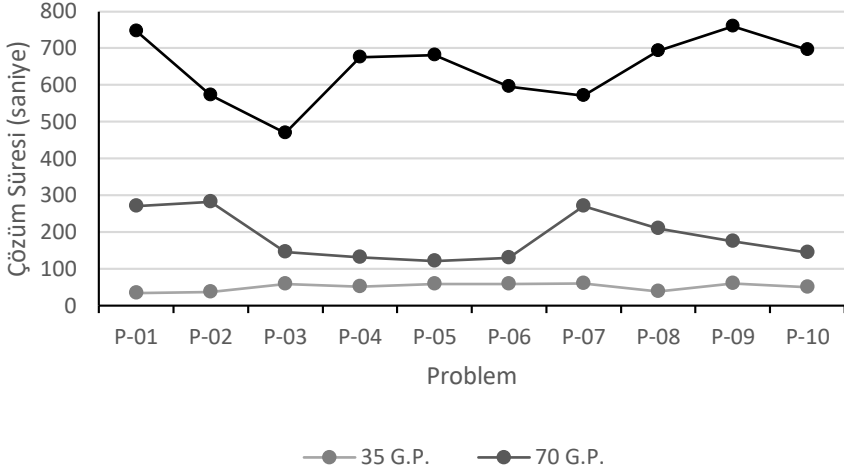
Güvenlik personellerinin ardi ardına altı günden daha fazla çalışması da engellenmiş olup, bu durum kanuni açıdan ilgili kriterin de karşılanmasını sağlamaktadır. Ayrıca her bir güvenlik görevlisi, her bir vardiyada 8 gün çalışmaktadır. Bu durum güvenlik personellerinin eşit sayıda vardiyada çalışmasını sağlayarak adil bir çizelge ortaya koyulduğunu göstermektedir. Her bir günde vardiyalarda çalışan personel sayılarının ise 10 olduğu görülmektedir. Bu durum, her bir günde vardiyalarda eşit sayıda personelin çalışmasını sağlamış olup, kurum için her bir gün ve her bir vardiyada çalışan güvenlik personeli ihtiyacının karşılandığı görülmektedir.

Oluşturulan çizelge vardiya geçişleri açısından incelendiğinde ilgili iş kanuna uygun şekilde, güvenlik personellerinin akşam vardiyasında çalışmaları durumunda bir sonraki gün gündüz vardiyasında çalışması ve gece vardiyasında çalışmaları durumunda bir sonraki gün gündüz ve akşam vardiyasında çalışmalarının engellenmiş olduğu görülmektedir.

Oluşturulan çizelge maliyet açısından incelediğinde ise en yüksek maliyete sebep olanlar arasında olan 5, 6, 21, 32 ve 33 numaralı personellerin pazar günleri izinli olarak atanmaları sağlanarak minimum maliyetli çizelgenin oluşturulması sağlanmıştır.

Buna ek olarak, önerilen matematiksel programlama modelinin performansını incelemek amacıyla 35, 70 ve 140 güvenlik personelinden oluşan örnek problemler için yaklaşık bir aylık (28 günlük-4 haftalık) vardiya çizelgeleri oluşturulmuştur. Bu kapsamda, ele alınan problem boyutlarındaki çözüm sürelerinin incelenebilmesi amacıyla her bir personel sayısına karşılık gelen problem için personel çalışma maliyetleri rassal olarak değiştirilerek oluşturulan 10 farklı problemin optimal çözümleri elde edilmiş ve karşılık gelen vardiya çizelgeleri oluşturulmuştur. Söz konusu problemler için çözüm süreleri Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2'de görüldüğü üzere, oluşturulan örnek problemlerin çözüm sürelerinin; 35 güvenlik personeli için oluşturulmuş olan birinci örnek probleme ait minimum çalışma süresi 34,42 saniye ile 140 güvenlik personeli için oluşturulmuş olan dokuzuncu örnek probleme ait maksimum çalışma süresi 758,99 saniye arasında değiştiği görülmektedir. Örnek problemlerin çözüm süreleri incelendiğinde, genel olarak bütün problemler için makul sürelerde optimal çözümlere ulaşılabildiği görülmektedir.



Şekil 2. Örnek Problemler için Çözüm Süreleri (saniye)

5. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, vardiya çizelgeleme probleminin çözümünde, kıdem, cinsiyet ve medeni durum gibi kriterlere bağlı olarak güvenlik personellerinin hafta sonu çalışma maliyetlerinin farklılık gösterdiği bir kurgu için minimum maliyetli çizelgenin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaçla ÇKKV yöntemleri ve matematiksel programlamanın birlikte kullanıldığı bir yaklaşım önerilmiştir. Benzer vardiya çizelgelerinin insanlar tarafından oluşturulması, çalışan ve gün sayılarının artmasıyla yoğun bir insan gücü gerektirirken, oluşturulan model ile hızlı ve istenilen tüm şartları sağlayan bir çizelgenin saniyeler veya dakikalar içinde oluşturulması sağlanmıştır. Önerilen model ile güvenlik personellerinin hangi vardiyada hangi gün çalışacaklarını ve hangi gün tatil yapmaları gerektiğini gösteren bir çizelge oluşturulmuştur.

Çizelge oluşturulurken çalışanların insani çalışma koşullarını dikkate alan ilgili iş kanunundaki unsurların dikkate alınmasının yanı sıra, kişilerin kıdem, cinsiyet ve medeni hal gibi kriterlere bağlı olarak pazar günleri için ortaya çıkan farklı çalışma maliyetleri (ceza katsayıları) de dikkate alınarak minimum maliyetli bir çizelge oluşturulmuştur. Bu amaçla, karar vericilerin farklı bakış açılarını yansıtabilecek şekilde, öncelikle söz konusu kriterlerin önem düzeyleri AHP yöntemi ile belirlenmiş, sonrasında ise ilgili önem düzeylerine göre kişilerin pazar günleri için çalışma maliyetleri WASPAS yöntemi ile oluşturulmuştur. Söz konusu maliyetler farklı ücretlendirme politikası uygulanan kurumlarda parasal bir büyüklüğe karşılık gelebileceği gibi, sadece örneğin daha kıdemli personellerin hafta sonlarında veya spesifik olarak haftanın belirli bir gününde çalıştırılmasının engellenmesine yönelik bir ceza katsayısı olarak da ele alınabilir. Örneğin, bu çalışma kapsamında, sadece pazar günleri farklı

maliyetlere sahip olan çalışanların olduğu bir kurgu için minimum maliyetli bir çizelge oluşturulması amaçlanmaktadır.

Yukarıdaki unsurların yanında, önerilen matematiksel programlama modeliyle güvenlik personellerinin çizelge boyunca eşit sayıda günde ve vardiyada çalışması da sağlanarak adil bir çizelge oluşturulması da dikkate alınmıştır. Önerilen modelin çalışması örnek bir problem üzerinde gösterilerek sonuçlar incelenmiş ve problem kapsamında dikkate alınan tüm kriterleri sağlayacak şekilde minimum maliyetli bir çizelge oluşturulduğu gösterilmiştir. Örnek probleme ek olarak, modelin performansını gösterebilmek amacıyla, daha büyük boyutlarda oluşturulmuş olan problemlerin için de optimal çözümler elde edilmiş ve farklı çalışma maliyetlerine sahip alternatif kurgular için çözüm süreleri kıyaslanmıştır.

Gelecek çalışmalar kapsamında, çalışanlar için ilgili iş kanununun da ötesinde ergonomik koşullar açısından daha konforlu bir çizelge oluşturulması dikkate alınabilir. Ayrıca çalışanların yetkinlikleri veya farklı özellikleri çizelge oluşturulması için önemli olabileceğinden, gelecek çalışmalar kapsamında matematiksel programlama modeli ilgili unsurları da kapsayacak şekilde genişletilebilir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Gülveren TABANSIZ, matematiksel programlama modelinin geliştirilmesi, çözümü ve analizi; Aran MERİÇ, literatür araştırması ve modelin çözümü; Fatih ÇAVDUR, çalışmanın kurgulanması ve makale yazımı konularında katkı sağlamışlardır.

Kaynaklar

Akay M. ve Kundakçı, N. (2021). ÇKKV ve tamsayı programlama yöntemleri ile bir üretim işletmesinde uzaktan çalışma modelinin oluşturulması. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 24(2), 548-568. doi: <https://doi.org/10.29249/selcuksbmyd.980867>

Bedir, N., Eren, T. ve Dizdar, E.N. (2017). Ergonomik personel çizelgeleme ve perakende sektöründe bir uygulama. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 657-674. doi: <https://doi.org/10.21923/jesd.331259>

Breuer, D. J., Lahrichi, N., Clark, D. E. ve Benneyan, J. C. (2020). Robust combined operating room planning and personnel scheduling under uncertainty.

Operations research for health care, 27, 100276. doi: <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2020.100276>

Ceylan, Z., Arslan, M. ve Arslan, T. (2021). Bir hafif raylı ulaşım sisteminde makinist çizelgeleme problemi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(2), 1027-1039. doi: <https://doi.org/10.21597/jist.741162>

Ciritcioğlu, C., Akgün, S., Varlı, E. ve Eren, T. (2017). Kırıkkale Üniversitesi güvenlik görevlileri için vardiya çizelgeleme problemine bir çözüm önerisi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 9(2), 1-24. doi: <https://doi.org/10.29137/umagd.351463>

Cürebal, A. ve Eren T. (2021). COVID-19 pandemi riski durumunda yetkinlik bazlı güvenlik personeli vardiya çizelgeleme probleminin çözümü. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(3), 1483-1498. doi: <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.769547>

Demirel, B., Yelek, A., Alağaç, H.M. ve Eren T. (2018). Ankaray güvenlik personelinin vardiya çizelgeleme probleminin hedef programlama yöntemi ile çözümü. *Demiryolu Mühendisliği*, (8), 1-17.

Deveci, M., Canitez, F. ve Gökaşar, I. (2018). WASPAS and TOPSIS based interval type-2 fuzzy MCDM method for a selection of a car sharing station. *Sustainable Cities and Society*, 41, 777-791. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.05.034>

Eren T., Koçtepe, S. ve Cürebal, A. (2021). Hedef programlama yöntemi ile akaryakıt istasyonları tanıtımı için personel çizelgeleme problemi. *Politeknik Dergisi*, 1-1. doi: <https://doi.org/10.2339/politeknik.796136>

Güler, M. G. ve Geçici, E. (2020) A decision support system for scheduling the shifts of physicians during COVID-19 pandemic. *Computers & Industrial Engineering*, 150, 106874. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106874>

Herawati, A., Yuniartha, D.R., Purnama, I.L.I. ve Dewi, LT. (2018). Shift scheduling model considering workload and worker's preference for security department. In IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*, 337(1), IOP Publishing. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/337/1/012011>

Hoffmann, K. ve Buscher, U. (2019). Valid inequalities for the arc flow formulation of the railway crew scheduling problem with attendance rates. *Computers & Industrial Engineering*, 127, 1143-1152. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.05.031>

Hong, Y. C., Cohn, A., Epelman, M. A. ve Alpert, A. (2019). Creating resident shift schedules under multiple objectives by generating and evaluating the Pareto frontier. *Operations Research for Health Care*, 23, 100170. doi: <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2018.08.001>

- Lin, D. Y. ve Tsai, M. R. (2019) Integrated crew scheduling and roster problem for trainmasters of passenger railway transportation. *IEEE Access*, 7, 27362-27375.
- Mohammadian, M., Babaei, M., Amin Jarrahi, M. ve Anjomrouz, E. (2019). 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. doi: <https://doi.org/10.5829/IJE.2019.32.07A.08>
- Neufeld, J. S., Scheffler, M., Tamke, F., Hoffmann, K. ve Buscher, U. (2021). An efficient column generation approach for practical railway crew scheduling with attendance rates. *European Journal of Operational Research*, 293(3), 1113-1130. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.12.058>
- Nie, W., Li, H., Xiao, N., Yang, H., Jiang, Z. ve Buhigiro, N. (2021). Modeling and solving the last-shift period train scheduling problem in subway networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 569, 125775. doi: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2021.125775>
- Nobil, A. H., Sharifnia, S. M. E. ve Cárdenas-Barrón, L. E. (2022). Mixed integer linear programming problem for personnel multi-day shift scheduling: A case study in an Iran hospital. *Alexandria Engineering Journal*, 61(1), 419-426. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.06.030>
- Özcan, E., Alakaş, H.M., Yelek, A. ve Eren, T. (2020). Kısıt programlama ve hedef programlama entegrasyonu ile vardiya çizelgelemesi: hidroelektrik santral uygulaması. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(4), 916-929. doi: <https://doi.org/10.36306/konjes.589835>
- Özcan, E.C., Varlı, E. ve Eren, T. (2017). Hidroelektrik santrallerde vardiya çizelgeleme problemleri için hedef programlama yaklaşımı. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(4), 363-370. doi: <https://doi.org/10.17671/gazibtd.347609>
- Rerkjirattikal, P., Huynh, V. N., Olapiriyakul, S. ve Supnithi, T. (2020). A goal programming approach to nurse scheduling with individual preference satisfaction. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020. doi: <https://doi.org/10.1155/2020/2379091>
- Restrepo, M.I., Lozano, L. ve Medaglia, A.L. (2012). Constrained network-based column generation for the multi-activity shift scheduling problem. *International Journal of Production Economics*, 140(1), 466-472. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.06.030>
- Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process, Planning, Priority Setting, and Resource Allocation*, McGraw-Hill:NewYork, USA.

- Sergi, D. ve Ucal Sari, I. (2021). Prioritization of public services for digitalization using fuzzy Z-AHP and fuzzy Z-WASPAS. *Complex & Intelligent Systems*, 7(2), 841-856. doi: <https://doi.org/10.1007/s40747-020-00239-z>
- Schoenfelder, J., Bretthauer, K. M., Wright, P. D. ve Coe, E. (2020). Nurse scheduling with quick-response methods: Improving hospital performance, nurse workload, and patient experience. *European Journal of Operational Research*, 283(1), 390-403. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.10.047>
- Shuib, A. ve Kamarudin, F. I. (2019). Solving shift scheduling problem with days-off preference for power station workers using binary integer goal programming model. *Annals of Operations Research*, 272(1), 355-372. doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-018-2848-5>
- Soukour, A.A., Devendeville, L., Lucet, C. ve Moukrim, A. (2013). A memetic algorithm for staff scheduling problem in airport security service. *Expert Systems with Applications*, 40(18), 7504-7512. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.06.073>
- Subçiller, A.A. ve Erbilek, P. (2022). AHP ve hedef programlama ile bir üniversite kütüphanesindeki kısmi zamanlı personellerin çizelgelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(1), 1-12. doi: <https://doi.org/10.5505/pajes.2020.86383>
- Triantaphyllou, E. ve Mann, S. H. (1989). An examination of the effectiveness of multi-dimensional decision-making methods: A decision-making paradox. *Decision Support Systems*, 5(3), 303-312. [https://doi.org/10.1016/0167-9236\(89\)90037-7](https://doi.org/10.1016/0167-9236(89)90037-7)
- Varlı, E. ve Eren T. (2017). Vardiya çizelgeleme problemi ve bir örnek uygulama. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(2), 185-197. doi: <https://doi.org/10.17671/gazibtd.309302>
- Vermuyten, H., Rosa, J. N., Marques, I., Belien, J. ve Barbosa-Póvoa, A. (2018). Integrated staff scheduling at a medical emergency service: An optimisation approach. *Expert systems with applications*, 112, 62-76. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.06.017>
- Yaghini, M., Karimi, M. ve Rahbar, M. (2015). A set covering approach for multi-depot train driver scheduling. *Journal of Combinatorial Optimization*, 29(3), 636-654. doi: <https://doi.org/10.1007/s10878-013-9612-1>
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Antucheviciene, J. ve Zakarevicius, A. (2012). Optimization of weighted aggregated sum product assessment. *Elektronika ir elektrotechnika*, 122(6), 3-6. doi: <https://doi.org/10.5755/j01.eee.122.6.1810>
- Xiong, L., Zhong, S., Liu, S., Zhang, X. ve Li, Y. (2020). An approach for resilient-green supplier selection based on WASPAS, BWM, and TOPSIS under intuitionistic fuzzy sets. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020:1761893. doi: <https://doi.org/10.1155/2020/1761893>