

COVID-19 Sürecinde Esnek Personel Çalışma Düzeni için Excel Tabanlı Planlama Sistemi

Araştırma Makalesi/Research Article

 Barış KEÇECİ

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye

bkececi@baskent.edu.tr

(Geliş/Received:10.07.2020; Kabul/Accepted:16.10.2020)

DOI: 10.17671/gazibtd.767872

Özet— COVID-19 salgını tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de bütün sistemleri etkilemiş ve dengeleri değiştirmiştir. Dengeler yeniden şekillenirken, sistemler geri beslemelerle yeni tepkiler vererek devamlılıklarını sürdürmeye çalışmaktadır. Özellikle örgütler çalışma düzenlerini yeniden yapılandırmaktadır. İşten çıkarmaların kanunen yasaklandığı bu süreçte bazı örgütler çalışanlarını ücretsiz izne çıkartırken, bazıları ise kısa çalışma ödeneğinden yararlanarak çalışanlarını esnek çalışma sistemine geçirmiştir. Esnek çalışma sisteminde, örneğin bir bölümde, her gün çalışanların tamamı yerine bir kısmı işe gelmektedir. Böylece aslında dönüşümlü ve esnek bir çalışma düzeni oluşmaktadır. Bu makalede “esnek personel çalışma düzeni”, ek kısıtların bulunduğu bir atama problemi olarak ele alınmıştır. Bu karar probleminin çözümü için karma tam sayılı bir matematiksel model kullanılmıştır. Yetkili karar verici amirin kullanılabilmesi için, Excel tabanlı bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu karar destek sistemi, COVID-19 salgın sürecinde esnek çalışma sistemine geçen bir üniversitenin Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinin çalışma planlarının oluşturulmasında başarıyla uygulanmıştır. Sistem kolay kullanıma sahip, hızlı, uyulanabilir ve etkin özelliktedir.

Anahtar Kelimeler— covid-19 salgını, esnek çalışma, kısıtlı atama problemi, excel, karar destek sistemi

Spreadsheet Based Planning System for the Flexible Staff Working Scheme in COVID-19 Pandemic

Abstract— COVID-19 pandemic has affected all systems in Turkey as well as all over the world and has changed the balances. While the balances are being reset, the systems try to maintain their continuity by reacting with feedback. Especially organizations restructure their working order. In this process, in which layoffs are prohibited by law, some organizations set off their employees for free leave, while others took advantage of the short-time working allowance and put their employees into a flexible working system. In the flexible working system, for example, in one department, some of the employees come to work every day rather than all. Thus, a flexible working order with rotations is formed. In this article, “flexible staff working scheme” is considered as an assignment problem with additional constraints. A mixed integer mathematical model is used to solve this decision problem. An Excel based decision support system is developed for the authorized decision maker to use. This decision support system is successfully applied in the establishment of the work plans for the faculty members of the Department of Industrial Engineering, who switched to the flexible working system, at a university during the COVID-19 pandemic. The system is easy to use, fast, adaptable and effective.

Keywords— covid-16 pandemic, flexible work, restricted assignment problem, spreadsheet, decision support system

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bilim ve teknolojik gelişmeler özellikle savaş, afet, kıtlık, kuraklık, salgın, ekonomik sıkıntılar vb. gibi problemlerin etkilediği dönemler sonrasında artış eğilimi göstermiştir. Zor şartlar, insanoğlunun yeni çözüm yolları arayıp bulması ve/veya var olan çözüm yollarını yeni problemlerin çözümünde kullanması konusunda her zaman motivasyon kaynağı olmuştur. Dünya tarihi bu gibi örnekler ile doludur. Yöneylem araştırması teknikleri de yine 2. Dünya Savaşı sonrasında ortaya çıkmış ve ilk başlarda harp ile ilgili problemlerin çözümünde kullanılırken, sonraları organizasyonlardaki yönetsel karar verme problemlerini çözmeye kullanılmaya başlamıştır.

İnsanlık, tarih boyunca birçok büyük salgın ile karşı karşıya gelmiştir. İlk kez Çin'in Wuhan eyaletinde Aralık 2019 tarihinde ortaya çıkan ve tüm dünyaya yayılan COVID-19 salgını da yine insanlığın karşı karşıya kaldığı

büyük felaketlerden birisi olarak gösterilebilir. Yaşanan salgından tüm dünya ülkeleri her anlamda (ekonomik, siyasi, sosyal, sağlık, eğitim, çalışma hayatı vb. gibi) etkilenmiştir. Bu ilk olmadığı gibi muhtemelen de son olmayacaktır.

Üretim ve hizmet sektöründe faaliyet gösteren kurum ve kuruluşlar da, doğal olarak bu salgından etkilenmiştir. Üretimlerini daraltan, ekonomik açıdan güçlükler çeken organizasyonlar, yanı sıra çalışma düzenlerinde de değişikliğe gitmek zorunda kalmıştır. Kimi örgütler çalışanlarını ücretsiz izne çıkartırken, bazıları ise kısa çalışma ödeneğinden yararlanarak çalışanlarını esnek çalışma sistemine geçirmiştir. Bu durum, örgütlerin salgın öncesinde var olan insan kaynağının, fiilen bir kısmını dönüşümlü olarak kullanabilmesi sonucunu doğurmuştur. Esnek veya dönüşümlü olarak adlandırabileceğimiz çalışma düzeninde çalışanların tamamının her gün gelmesine gerek yoktur.

Tablo 1. KDS sınıflarının karakteristikleri
(Characteristics of different DSS classes)

Yönelim	Sınıf	İşlem Tipi	Görev Tipi	Kullanıcı	Kullanım Deseni	Zaman
Veri	Dosya arşivleme sistemleri	Veri öğelerine erişim	Operasyonel	Yönetici kademesinde olmayan personel	Basit araştırma	Düzensiz
	Veri analiz sistemleri	Veri dosyalarının plansız analizi	Operasyonel analiz	Analist kadrosu veya yönetici kademesindeki personel	Veri güdümlenme ve görüntülenme	Düzensiz veya düzenli aralıklarla
Veri veya model	Analiz bilgi sistemleri	Çoklu veritabanı ve küçük modelleri içeren plansız analiz	Analiz, planlama	Analist kadrosu	Özel raporların programlanması, küçük modellerin geliştirilmesi	Düzensiz, istek üzerine
Model	Muhasebe modelleri	Muhasebe tanımlamaları temelinde gelecek sonuçları tahmin eden standart hesaplamalar	Planlama, bütçeleme	Analist kadrosu veya yönetici	Faaliyet tahminlerinin girdi olarak verilmesi, parasal sonuç tahminlerinin çıktı olarak alınması	Düzenli aralıklarla (ör. haftalık, aylık, yıllık)
	Temsili modeller	Özel bazı eylemlerin sonuçlarının tahmin edilmesi	Planlama, bütçeleme	Analist kadrosu	Olası kararların girdi olarak verilmesi, tahmin edilen sonuçların çıktı olarak alınması	Düzensiz veya düzenli aralıklarla (plansız) analiz
	Eniyileme modelleri	Kombinatoriyal problemin eniyi çözümünün hesaplanması	Planlama, kaynak tahsisi	Analist kadrosu	Kısıt ve amaçların girdi olarak verilmesi, cevapların çıktı olarak alınması	Düzensiz veya düzenli aralıklarla (plansız) analiz
	Öneri modelleri	Önerilen bir kararı veren hesaplamaların gerçekleştirilmesi	Operasyonel	Yönetici kademesinde olmayan personel	Karar durumunun yapısal bir tanımının girdi olarak verilmesi, önerilen kararın çıktı olarak alınması	Günlük veya düzenli aralıklarla

Organizasyonun ihtiyaçlarına göre belirlenen sayı kadar çalışanın dönüşümlü olarak çalışması yeterlidir. Çalışanların belirli istek ve zorunluları da dikkate alındığında, belirli bir planlama dönemi boyunca adilane bir şekilde kimin ne zaman fiilen bulunmasının planlanması bu durumda zorlaşmaktadır. Özellikle çalışan sayısının fazla olması, isteklerin fazla ve karmaşık olması durumunda karar vermek ve bir plan ortaya koymak güçleşmektedir. Bu gibi yapısal olmayan ve/veya yarı-yapısal karar problemlerinin çözümünde karar destek sistemlerinden (KDS) istifade edilebilmektedir.

Bu çalışmada “esnek personel çalışma düzeni”, ek kısıtların bulunduğu bir atama problemi olarak ele alınmıştır. Bu karar probleminin çözümü için karma tam sayılı bir matematiksel model kullanılmıştır. Yetkili karar verici amirin kullanılabilmesi için, Excel tabanlı bir KDS geliştirilmiştir. Geliştirilen bu KDS, COVID-19 salgın sürecinde esnek çalışma sistemine geçen bir üniversitenin Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinin çalışma planlarının oluşturulmasında başarıyla uygulanmıştır. Sistem kolay kullanıma sahip, hızlı, uyarlanabilir ve oldukça etkin çalışmaktadır.

Kaynakları taradığımızda, işgücü çizelgeleme, vardiya çizelgeleme, işgücü atama ve uzantıları ile ilgili konularda yapılmış yoğun bir çalışma bütünü görmekteyiz. En güncel ve kapsamlı tarama makaleleri ile ilgili çalışmalara erişilebilir [1-7].

Vardiya çizelgeleme konusunda kaynaklarda yapılmış ilk çalışma Dantzig’in 1954 yılında ki yayımıdır [8]. Vardiya/işgücü çizelgeleme problemlerinin amaç fonksiyonları genel olarak personel maliyetlerinin ve hizmet kalitesinin [9], çalışan personel sayısının [10], part time çalışan personel sayısının [11], iş yükü miktarının [12] ve çalışan memnuniyetinin [13] eniyilenmesi olarak farklı çalışmalarda farklı şekillerde ele alınmıştır.

Eren ve ark. bir üniversitenin kütüphanesinde kısmi zamanlı çalışan personellerin çizelgenmesi problemini hedef programlama yaklaşımı ile çözmüşlerdir [14]. Seval ve ark. bir hipermarkette vardiya çizelgeleme problemini sistem analizi yaklaşımı ile araştırmış daha sonra problemin 0-1 karma tamsayılı matematiksel modelini oluşturarak karar problemini çözmeye çalışmışlardır [15]. Eren ve ark. kamu kurumlarındaki güvenlik personellerinin verimli çalışması için güvenlik personeli çizelgeleme problemini kısıt programlama yaklaşımı ile çözmüşlerdir [16]. Sungur, haftada belirli günler çalışan çoklu vardiyaya sahip firmalarda çizelgeleme problemleri için bir karar modeli önermişlerdir [17]. Uçar ve İşleyen, bir üniversitenin Endüstri Mühendisliği bölümünde telif derslerinin çizelgenmesi problemini ele almışlar, karar probleminin çözümü için matematiksel model kullanmışlardır [18].

Bu çalışmanın katkısı, gerçek yaşam probleminin ele alınmış olması, COVID-19 salgın sürecinde halk sağlığını ilgilendiren ayrıntılar barındırması ve karar vericiler için değişen şartlara kolaylıkla ve hızlı bir şekilde uyum

sağlayabilecek bir çözüm yaklaşımı önermesi, model tabanlı bir KDS geliştirilmiş olması olarak sıralanabilir.

Bir KDS mimarisinin beş bileşeni bulunmaktadır. Bunlar; Veritabanı (Database), Model tabanı (Model base), Bilgi (Knowledge/Intelligence), Kullanıcılar (Users) ve Arayüz (Interface) dür. Bunlar içerisinde “Bilgi Tabanı” bazı sistemlerde bulunmamaktadır. Efraim Turban’ın “Decision Support and Business Intelligence Systems” adlı kitapta, KDS türlerine yer verilmektedir. Her biri farklı amaçlara sahip birçok KDS türünün olduğu belirtilmektedir. Bunun yanında Model-Yönelimli (model-oriented) ve Veri-Yönelimli (data-oriented) olmak üzere iki esas KDS türünün olduğuna yer verilmektedir. Bunlardan Model-Yönelimli KDS’lerde, bir probleme önerilen bir çözüm bulmak için, temel olarak niceleyici (kantitatif) modeller kullanıldığı; yanı sıra Veri-Yönelimli KDS’lerde ise, daha çok özel amaçlı, plansız (ad hoc) raporlama ve sorgulamaların desteklendiği açıklanmaktadır. Yine aynı kitapta farklı KDS sınıflarının karakteristikleri özetlenmiştir (bkz. Tablo 1) [19].

Tüm bu bilgiler ışığında, çalışmada geliştirilen bilgi sistemi, Model-Yönelimli KDS sınıfına girmektedir. Çünkü çalışmada ele alınan problem, kısıtlı atama problemi [20], özünde bir kombinatoriyal eniyileme problemidir. Probleme insan kaynağının tahsisi söz konusudur. Bu problemin eniyi çözümünü bulmak için niceleyici bir karar modeli kullanılmıştır. Yanı sıra, sistem bir KDS arayüz ve veritabanı bileşenlerini de taşımaktadır.

Geliştirilen sistemin veritabanı bileşeni bir Veri-Yönelimli KDS’de olması gereken kadar detaylı ve değişik raporlama ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde tasarlanmamıştır. Çünkü geliştirilen sistemde yapılmak istenen, ihtiyaç doğrultusunda esnek çalışma planını nicel bir eniyileme karar modeli ile ortaya koymaktır. Excel çok esnek bir hesaplama platformudur ve yukarıda verilen kaynak kitapta da belirtildiği gibi KDS geliştirme için en yaygın son kullanıcı araçlarından birisidir. Geçmiş veriler rahatlıkla tutulabilir. Dolayısıyla bu bilgi sisteminde olmayan ek raporlama ve analiz işlemleri, ihtiyaca bağlı olarak farklı araçlar yardımıyla Excel üzerinde kolaylıkla yapılabilir.

Makalenin diğer bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir: 2. bölümde problem tanımı ve karar modeli verilmiştir. 3. bölümde geliştirilen excel tabanlı KDS anlatılmıştır. 4. bölümde uygulama örneği yapılarak son bölümde ise sonuçlara yer verilmiştir.

2. PROBLEM TANIMI (DEFINITION OF PROBLEM)

Bu bölümde esnek personel çalışma düzeni problemi anlatılacaktır. Ayrıca bu problemin, ek kısıtların bulunduğu bir atama problemi olarak nasıl ele alındığı açıklanacaktır. Daha sonra karar probleminin, parametreleri, izin kümeleri ve karar değişkenleri ile birlikte karma tam sayılı matematiksel modeli

verilecektir. Son olarak önemli bazı durumların karar modelinde nasıl ifade edileceği tartışılacaktır.

2.1. Esnek Personel Çalışma Düzeni (Flexible Staff Working Scheme)

Çalışma planının yapılacağı bölümde toplamda n çalışan olsun. Planlama ufku, hafta sonu, resmi tatiller vb. gibi çalışılmayacak günlerin çıkartıldığı t zaman diliminden oluşsun. Esnek çalışma süresince her zaman diliminde en fazla n' farklı personelin çalışması istensin. Bu durumda bölümde çalışan n kişinin her gün gelmesine gerek yoktur. O halde buradaki karar problemi, esnek çalışma düzeninin yapılacağı planlama ufku boyunca her çalışma gününde hangi n' kişinin bölümde fiilen bulunacağını belirlemesi problemidir. Planlama yapılırken çalışanların istekleri ve bazı şartların da dikkate alınması gerekebilir. Bu karar probleminde, planlama ufku boyunca her çalışanın mümkün olduğunca birbirine eşit sayıda bölüme gelmesi, ölçüt olarak alınabilir. Bir başka deyişle, adilane bir çalışma planı ortaya koymak, bir ölçüt olabilir.

2.2. Atama Problemi (Assignment Problem)

Bölüm 2.1'de açıklanan karar problemi aslında ek kısıtların bulunduğu bir atama problemi olarak ele alınabilir. Tablo 2'de t planlama ufku boyunca her bir çalışma gününe atanacak n' görevli personel matrisi görülmektedir.

Tablo 2. Çalışma günü-görevli personel atama tablosu
(Assignment table of working date-attendant)

	1.personel	2.personel	...	n' .personel
1. gün				
2. gün				
3. gün				
4. gün				
...				
t . gün				

Bölümde çalışan n kişiden her gün yalnızca n' farklı kişi bu matriste yer almalıdır. Burada görüleceği üzere çalışanların, "çalışma günü-görevli personel" matrisine atanması problemi söz konusudur. Elbette ki bu atamalar yapılırken ek şartların yerine getirilmesi ve çalışanlar arasında hakkaniyetin gözetilmesi gerekmektedir. Bu noktalar daha sonra açıklanacaktır.

2.3. Karar Modeli (Decision Model)

Sözü edilen karar probleminin, seçilecek bir ölçüte göre eniyi çözümünü bulabilmek için karar modeli kullanılabilir. Bunun için aşağıdaki parametreler, dizin kümeleri ve karar değişkenleri tanımlanmıştır.

Parametreler: t : zaman dilimi sayısı, n : çalışan sayısı, n' : görevli sayısı.

Dizin kümeleri: $T = \{i|i = 1, \dots, t\}$: zaman dilimleri kümesi, $N' = \{j|j = 1, \dots, n'\}$: görevli personel kümesi, $N = \{k|k = 1, \dots, n\}$: bütün çalışanlar kümesi.

Karar değişkenleri: $x_{i,j}^k$ eğer i . zaman dilimindeki j . personel olarak k . çalışan atanmışsa 1, diğer durumda 0 değerini alan 0-1 tam sayılı karar değişkeni. s_k k . çalışanın planlama ufku boyunca toplam işe gelme sayısı.

Bu tanımlamalar ışığında karar modeli aşağıdaki gibi verilmiştir.

Karar modeli:

$$\sum_{k \in N} x_{i,j}^k = 1 \quad \forall i \in T, \forall j \in N' \quad (1)$$

$$\sum_{j \in N'} x_{i,j}^k \leq 1 \quad \forall k \in N, \forall i \in T \quad (2)$$

$$s_k = \sum_{i \in T} \sum_{j \in N'} x_{i,j}^k \quad \forall k \in N \quad (3)$$

$$ort = \frac{\sum_{k \in N} s_k}{\|N\|} \quad (4)$$

$$x_{i,j}^k \in \{0,1\} \quad \forall i \in T, \forall j \in N', \forall k \in N \quad (5)$$

$$s_k \geq 0 \quad \forall k \in N \quad (6)$$

Kısıtları altında,

$$\text{Enk } z = \sum_{k \in N} |s_k - ort| \quad (7)$$

Karar modelinde (1) no'lu kısıt, her çalışma gününde her bir personel yeri için mutlaka bir çalışanın atanmasını sağlamaktadır. Bir başka deyişle atama matrisindeki her satırda, her bir sütun için bir çalışanın atanmasını mümkün kılar. (2) no'lu kısıt her çalışanın her bir çalışma gününde en fazla bir kere atanmasını sağlamaktadır. Esnek çalışma sisteminde her çalışanın her gün gelmesi gerekmediğinden kısıt küçük eşit şeklindedir. Eşitlik olması durumunda problem çözümsüz olmaktadır. Bilindik atama probleminde ayrıştığı nokta burasıdır. Zaten bilindik atama probleminde satır sayısı sütun sayısına eşittir. Bu problemde sütun sayısı satır sayısından küçük olacağından kısıtın işaretinin küçük eşit olması kaçınılmazdır. (3) no'lu kısıt her bir çalışanın planlama ufku boyunca toplam çalışacağı gün sayısını hesaplamaktadır. (4) no'lu kısıt ise çalışanların planlama ufku boyunca ortalama çalışma gün sayısını hesaplamaktadır. (5) ve (6) no'lu kısıtlar 0-1 tam sayılı ve işaret kısıtlarını vermektedir. (7) no'lu denklemde ki amaç fonksiyonu ise her bir çalışanın çalışma sayısı ile ortalama çalışma sayısı arasındaki farkların toplamını enküçükleme. Karar modelinde $O(n^3)$ sayıda karar değişkeni, $O(n^2)$ sayıda kısıt bulunmaktadır.

2.4. Önemli Durumlar (Important Situations)

Özel durumlardan ilki, (7) no'lu amaç fonksiyonun mutlak değer fonksiyonu olmasıdır. Dolayısıyla bu durum doğrusal değildir. Ancak mutlak değer fonksiyonun enküçüklenmesi kolaylıkla doğrusallaştırılabilir. Bunun için mutlak değer içindeki ifade iki pozitif değişkenin farkı cinsinden yazılır. Öyle ki;

$$s_k - ort = s_k^1 - s_k^2, \forall k \in N \quad (8)$$

Burada $s_k^1, s_k^2 \geq 0$ değişkenlerdir. (8) no'lu kısıt gurubu matematiksel modele eklenir. Daha sonra (7) no'lu amaç fonksiyonu yerine aşağıda verilen (9) no'lu amaç fonksiyonu kullanılır.

$$\text{Enk } z' = \sum_{k \in N} (s_k^1 + s_k^2) \quad (9)$$

Bu değişikliklerle birlikte artık matematiksel modelin amaç fonksiyonu doğrusallaştırılmış olur.

Diğer özel durumlar ise çalışanların bazı istek ve zorunluklarının olmasıdır. Örneğin, bazı çalışanlar zorunlu olarak belirli tarihlerde görevli olabilirler. Yani ilgili tarihlerde mutlaka fiilen çalışması gerekebilir. Bu durumda karar modeline söz konusu her çalışan (k^*) için aşağıdaki (10) no'lu kısıt eklenir.

$$\sum_{j \in N'} x_{i,j}^{k^*} = 1 \quad \forall i \in T_{k^*}^+ \quad (10)$$

(10) no'lu kısıtta $T_{k^*}^+$ söz konusu k^* çalışanın mutlaka çalışması gereken tarihler kümesidir. Buna göre bu kısıt ile k^* çalışana, gelmesi gereken $\forall i \in T_{k^*}^+$ tarihinde uygun olan herhangi bir $j \in N'$ görevlisi olarak atanır. Bir başka deyişle Tablo 1'de gösterilen matriste, belirlenen $T_{k^*}^+$ listesindeki her bir tarih satırında uygun olan bir görevli sütununa yerleştirilir.

Bu özel durumun tersi de istenebilir. Daha önceden planlanmış görev, yıllık izin veya plansız hastalık vb. gibi zorunlu nedenlerden ötürü çalışanlar zorunlu olarak belirli tarihlerde çalışmayabilirler. Bu durumda karar modeline söz konusu her çalışan (k^*) için aşağıdaki (11) no'lu kısıt eklenir.

$$\sum_{i \in T_{k^*}^-} \sum_{j \in N'} x_{i,j}^{k^*} = 0 \quad (11)$$

(11) no'lu kısıtta $T_{k^*}^-$ söz konusu k^* çalışanın çalışmayacağı tarihler kümesidir. Buna göre bu kısıt ile k^* çalışana, gelmemesi gereken $\forall i \in T_{k^*}^-$ tarihinde görevli olarak atanmaz. Bir başka deyişle Tablo 1'de gösterilen

matriste, belirlenen $T_{k^*}^-$ listesindeki her bir tarih satırında hiç bir görevli sütununa yerleştirilmez.

Bir başka özel durum ise özellikle salgın döneminde önem kazanmaktadır. Aynı odada çalışanların aynı günlerde birlikte bulunmaması toplum sağlığı açısından çok önemlidir. Bu durumda karar modeline söz konusu çalışanlar (N^-) için aşağıdaki (12) no'lu kısıt eklenir.

$$\sum_{j \in N'} \sum_{k \in N^-} x_{i,j}^k \leq 1 \quad \forall i \in T^- \quad (12)$$

(12) no'lu kısıtta N^- birlikte çalışmayacak çalışanlar kümesini, T^- ise bu kümedeki çalışanların birlikte çalışamayacakları tarihler kümesini göstermektedir. Burada genel bir yazım kullanıldığından $T^- \subseteq T$ dir. Bütün bir planlama ufku boyunca birlikte gelmemesi istenirse, bu durumda $T^- := T$ olarak alınır. Buna göre bu kısıt ile N^- kümesindeki çalışanlardan en fazla biri, $\forall i \in T^-$ tarihinde uygun olan herhangi bir $j \in N'$ görevlisi olarak atanır. Bir başka deyişle Tablo 1'de gösterilen matriste, belirlenen T^- listesindeki her bir tarih satırında uygun olan bir görevli sütununa N^- kümesindeki çalışanlardan en fazla biri yerleştirilir. (12) no'lu kısıt 2-3 kişinin bulunduğu küçük bir çalışma odası için kullanılabilir. Daha büyük bir odada daha kalabalık çalışma gurubunun planlanması durumunda, bu kısıtın daha genelleştirilmiş hali kullanılabilir. Buna göre (13) no'lu kısıt kullanılabilir.

$$a \leq \sum_{j \in N'} \sum_{k \in N^-} x_{i,j}^k \leq \bar{u} \quad \forall i \in T^- \quad (13)$$

(12) no'lu kısıttan farklı olarak (13) no'lu kısıtta aynı odada çalışması istenen çalışan sayısı için bir alt sınır (a) ve bir üst sınır (\bar{u}) belirlenmiştir. Böylece çalışma odasının büyüklüğüne göre, Sağlık Bakanlığı'nın belirlediği kurallar doğrultusunda metrekareye düşen insan sayısı hesabı ile, aynı anda bulunması gereken insan sayısı belirli bir aralıkta tutulabilir.

Son olarak, yine bazı çalışanların istekleri ve/veya belirli zorunluluklar dolayısıyla planlama ufku boyunca toplam çalışma gün sayısı için alt-üst sınır verilebilir. Bu durumda karar modeline söz konusu her çalışan (k^*) için aşağıdaki (14) no'lu kısıt eklenir.

$$a \leq \sum_{i \in T} \sum_{j \in N'} x_{i,j}^{k^*} \leq \bar{u} \quad (14)$$

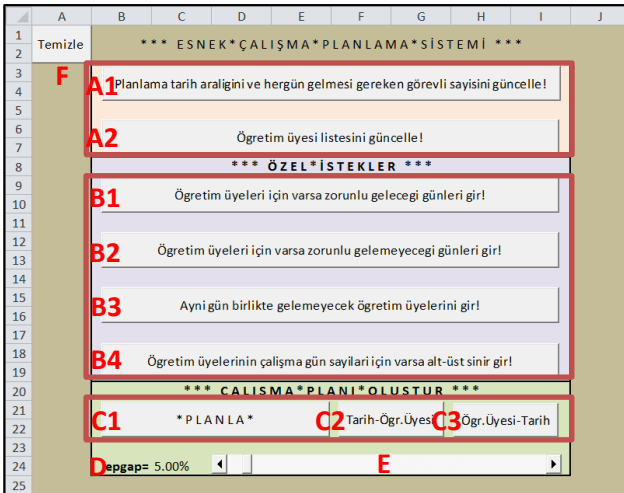
Buna göre (10) no'lu kısıt ile k^* çalışana esnek çalışma dönemi boyunca toplamda en az a en fazla \bar{u} gün çalışabilir.

3. EXCEL TABANLI PLANLAMA SİSTEMİ (SPREADSHEET BASED PLANNING SYSTEM)

Bu bölümde, önceki bölümlerde bahsedilen karar problemi ve ilgili karar modelinin çözümü için geliştirilen planlama sisteminden bahsedilecektir. Planlama sistemi excel üzerinde oluşturulmuştur. Excel platformunun seçilmiş olmasının başlıca nedenleri olarak, Microsoft Excel'in yaygın olması, kullanımının kolay ve anlaşılır olması, birçok farklı hesaplama, tablolama ve raporlama işlemlerini yapabilmesi, diğer ofis uygulamaları ve yazılımlar ile uyumlu olması, sürümler arası uyum problemlerinin göreceli olarak az olması vb. gibi sıralanabilir.

3.1. Giriş Ekranı (Main Menu)

Planlama sisteminin giriş ekranı 3 ana bölüme ayrılmıştır. İlk bölümde planlama tarih aralığı ve hergün gelmesi gereken görevli bilgilerinin girileceği sayfaya yönlendiren düğme (Şekil 1. A1) ile çalışan bilgilerinin girileceği sayfaya yönlendiren düğme (Şekil 1. A2); ikinci bölümde çalışanların ek isteklerinin girileceği sayfaya yönlendiren düğmeler (Şekil 1. B1, B2, B3, B4) ve üçüncü bölümde ise planın oluşturulması ve raporlanması ise ilgili düğmeler bulunmaktadır (Şekil 1. C1, C2, C3).

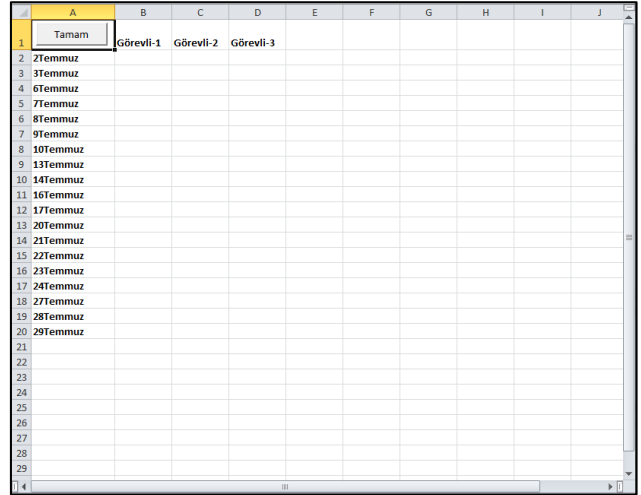


Şekil 1. Giriş ekranı görünümü (Main menu display)

Giriş ekranında ayrıca matematiksel model çözücüsünün çözüm kalitesini ayarlamak için kullanılan ve CPLEX parametrelerinden biri olan *epgap* değerinin (Şekil 1. D) ayarlanması için bir kaydırma çubuğu (Şekil 1. E) ve tüm bilgileri temizlemek için kullanılan bir "Temizle" düğmesi (Şekil 1. F) bulunmaktadır.

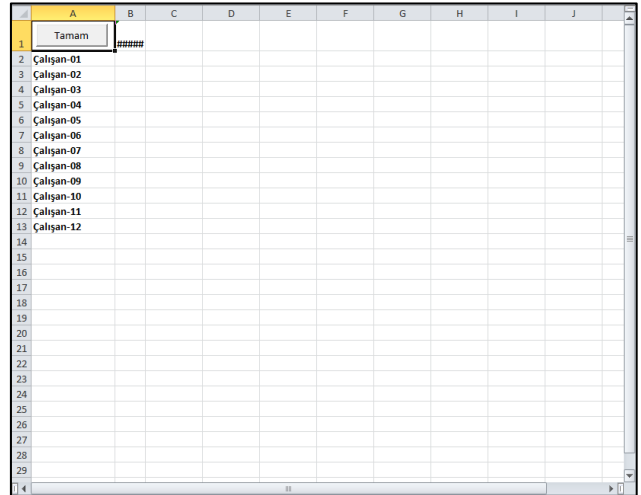
3.2. Bilgilerin Girilmesi (Data Input)

Giriş ekranında bulunan ve Şekil 1'de A1 ile gösterilen düğmeye basıldığında, Şekil 2'de gösterilen veri giriş sayfası kullanıcının karşısına gelmektedir.



Şekil 2. Veri giriş ekranı görünümü (Data input display)

Burada kullanıcı planlama ufku boyunca çalışma günlerini A sütununa (karakterler arasında boşluk bırakmadan), her gün gelmesi gereken görevli kadrosunun bilgisini ise 1. satıra girer ve "Tamam" düğmesine basar. 1. satıra Şekil 2'de gösterildiği gibi "Görevli-1", "Görevli-2" vb. gibi giriş yapılabilir. Şekil 2'de her gün 3 görevli kişinin gelmesi istenmesi durumunda ki bilgi girişi görülmektedir. "Tamam" düğmesine basılmasının ardından problem boyutları planlama sistemine girilmiş olur. Giriş ekranına geri dönen kullanıcı, Şekil 1'de A2 ile gösterilen düğmeye basarak, Şekil 3'de gösterilen çalışan bilgisi giriş sayfasına gelir.



Şekil 3. Çalışan bilgisi giriş ekranı görünümü (Employee data input display)

Bu sayfada esnek çalışma planının yapılacağı bölümde/kısımda çalışan tüm çalışanların isim bilgisi girilir. Yani Şekil 3'de gösterilen "Çalışan-xx" yerine çalışan ismi girilir. "Tamam" düğmesine basılmasının ardından çalışanların isim bilgileri planlama sistemine girilmiş olur ve kullanıcı tekrar giriş ekranına geri döner.

Çalışanların özel istekleri Şekil 1'de ki giriş ekranının ikinci bölümü (B bloğu) kullanılarak girilir. Çalışanların zorunlu olarak bulunması gereken günleri girmek için

Şekil 1’de B1 ile gösterilen düğmeye basılır. Ardından Şekil 4’deki form kullanıcının karşısına gelir.

Şekil 4. Zorunlu çalışma günleri giriş formu
(Mandatory working dates input form)

Şekil 4’de A ile gösterilen açılır kutudan ilgili çalışan seçilir. Daha sonra geleceği günler B ile gösterilen liste kutusundan seçilerek Seç düğmesine basılarak çalışanın mutlaka geleceği günler C ile gösterilen liste kutusuna aktarılır. İstenmesi durumunda C liste kutusundaki bir eleman seçildikten sonra Çıkar düğmesine basılarak listeden çıkartılabilir. Kaydet düğmesine basılarak çalışanın zorunlu olarak gelmesi gereken günler belirlenmiş ve planlama sistemine girilmiş olur. Şekil 4’de A ve/veya C ile gösterilen kısımlar boş ilen Kaydet düğmesine basılması durumunda gerekli uyarı mesajları verilerek kullanıcı yönlendirilir. Yeni düğmesi form üzerinde girişmiş tüm bilgileri temizleyerek formu yeniden giriş için hazır hale getirir. Değiştir düğmesi daha önce veri girişi yapılmış bir çalışan için bilgilerin değiştirilmesini, Sil düğmesi ise silinmesini sağlar.

Şekil 5. Zorunlu çalışmama günleri giriş formu
(Mandatory off dates input form)

Çalışanların zorunlu olarak bulunmaması gereken günleri girmek için Şekil 1’de B2 ile gösterilen düğmeye basılır. Ardından Şekil 5’deki form kullanıcının karşısına gelir. Şekil 5’de gösterilen formun kullanımı Şekil 4’de gösterilen form ile aynıdır. Tek fark çalışan için zorunlu olarak gelemeyeceği günlerin planlama sistemine girilmesidir.

Aynı tarihte birlikte gelmesi istenmeyen çalışanlar ile ilgili bilgileri girmek için Şekil 1’de B3 ile gösterilen düğmeye basılır. Ardından Şekil 6’daki form kullanıcının karşısına gelir.

Şekil 6’da A ile gösterilen liste kutusundan birlikte gelemeyecek çalışanlar seçildikten sonra, Seç düğmesine basılarak B ile gösterilen liste kutusuna aktarılır. Benzer şekilde, C ile gösterilen liste kutusundan birlikte gelemeyeceği tarihler seçildikten sonra, Seç düğmesine basılarak D ile gösterilen liste kutusuna aktarılır. İstenmesi durumunda B ve D liste kutularındaki bir eleman seçildikten sonra ilgili Çıkar düğmesine basılarak ilgili listeden çıkartılabilir. Kaydet düğmesine basılarak çalışanların birlikte gelemeyeceği tarihler belirlenmiş ve planlama sistemine girilmiş olur. Yeni, Değiştir ve Sil düğmeleri de yine önceki formlarda anlatılan aynı işlemlere sahiptir.

Şekil 6. Birlikte gelemeyecek çalışan bilgisi giriş formu
(Input form for employees cannot work on same date)

Çalışanların esnek çalışma dönemi boyunca toplam çalışma gün sayısına alt ve üst sınır girmek için Şekil 1’de B4 ile gösterilen düğmeye basılarak Şekil 7’deki form kullanıcının karşısına gelir.

Şekil 7’de A ile gösterilen açılır kutudan ilgili çalışan seçilir. Daha sonra B ile gösterilen değer değiştirme düğmeleri aracılığıyla C ile gösterilen metin kutusundaki alt sınır değeri girilir. Benzer işlem D ile gösterilen değer değiştirme düğmeleri ile E ile gösterilen metin kutusundaki üst sınır değerini girmek için de yapılır. Metin kutularına doğrudan elle veri girişi yapmak da mümkündür. Kaydet düğmesine basılarak çalışanın esnek çalışma dönemi boyunca toplam çalışma zamanı için alt-üst sınır değerleri belirlenmiş ve planlama sistemine girilmiş olur.

Şekil 7. Çalışma günü sınırı giriş formu
(Input form for the total working days)

Metin kutularına doğrudan elle veri girişi yapmak da mümkündür. Kaydet düğmesine basılarak çalışanın esnek çalışma dönemi boyunca toplam çalışma zamanı için alt-üst sınır değerleri belirlenmiş ve planlama sistemine girilmiş olur.

Çalışma planının oluşturulması için Şekil 1’de ki giriş ekranının üçüncü bölümü (C bloğu) kullanılır. Çalışma planını elde etmek için Şekil 1’de C1 ile gösterilen düğmeye basılır. Geri planda, kullanıcının girmiş olduğu bilgiler ve kısıtlamalar ile birlikte daha önce kapalı formda verilen matematiksel model oluşturulup, CPLEX çözücüsü yardımıyla çözülür. Sonuçlar bir metin dosyasına yazdırılır. Sonuçları excel sayfası üzerinde okunabilir bir biçimde görebilmek için Şekil 1’de C2 veya C3 ile gösterilen düğmelere basılır. C2 ile gösterilen düğmeye basıldığında, her gün hangi kişilerin geleceği listelenir. Bir başka deyişle sonuç, Şekil 2’de verilen sayfada gösterilir. C3 ile gösterilen düğmeye basıldığında, her çalışanın hangi günlerde geleceği listelenir. Bir başka deyişle sonuç, Şekil 3’de verilen sayfada gösterilir.

4. UYGULAMA (IMPLEMENTATION)

Bu bölümde, geliştirilen planlama sisteminin kullanımı için yapılan bir uygulamaya yer verilecektir. Uygulama, bir üniversitenin Endüstri Mühendisliği Bölümünde yapılmıştır. COVID-19 salgın sürecinde işlerini evden yürüten, eğitime uzaktan devam eden ve esnek çalışma sistemi ile bölüme dönüşümlü olarak gelen bölüm çalışanlarının çalışma planları geliştirilen bu sistem sayesinde kolaylıkla yapılabilmektedir.

Planlama ufku olarak 2 Temmuz – 29 Temmuz tarih aralığı örnek olarak alınmıştır. Bölüm başkanlığının istek ve ihtiyaçları doğrultusunda planlama ufku boyunca her gün üç çalışanın bölüme gelmesinin günlük işlerin yürütülmesi açısından yeterli olacağı düşünülmüştür. Bölümde toplam 12 çalışan bulunmaktadır. Çalışanların isimleri yerine “Çalışan-xx” etiketi kullanılmıştır. Çalışan-06, 03 ve 04 tanıtım görevleri nedeniyle sırasıyla 16, 27 ve 28 Temmuz tarihlerinde bölümde olmak zorundalar. Çalışan-04: 13, 14, 16, 17, 20, 21, 22, 23, 24

Temmuz tarihlerinde; Çalışan-06: 03, 17, 20, 21, 22, 27, 28, 29 Temmuz tarihlerinde; Çalışan-11 ve Çalışan-12: 02, 03, 06, 07, 08, 09, 10 Temmuz tarihlerinde izin kullanacaklarını bildirmiştir. Çalışan-03 ile Çalışan-05 aynı ofiste çalıştıklarından, hem hijyen hem de uzaktan ders verme etkinlikleri olması durumunda birbirlerini etkilememe açısından, planlama ufku boyunca aynı gün gelmemelidir. Planlama dönemi öncesinde bölümde ki görev dağılımı ve iş yüklerine göre Çalışan-09’un üç günden fazla bölüme gelmemesi bölüm başkanlığı tarafından uygun görülmüştür. Gerekli bilgiler planlama sistemine girilerek esnek çalışma planı oluşturulmuştur. epgap değeri %0,001 olarak alınmıştır. Tarih-Görevli listesi Tablo 3’deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 3. Tarih-görevli listesi sonuç tablosu
(Date-attendant result table)

	Görevli-1	Görevli-2	Görevli-3
2Temmuz	Çalışan-04	Çalışan-09	Çalışan-01
3Temmuz	Çalışan-04	Çalışan-07	Çalışan-03
6Temmuz	Çalışan-05	Çalışan-01	Çalışan-06
7Temmuz	Çalışan-09	Çalışan-10	Çalışan-08
8Temmuz	Çalışan-02	Çalışan-06	Çalışan-08
9Temmuz	Çalışan-01	Çalışan-03	Çalışan-10
10Temmuz	Çalışan-01	Çalışan-10	Çalışan-06
13Temmuz	Çalışan-08	Çalışan-11	Çalışan-06
14Temmuz	Çalışan-08	Çalışan-05	Çalışan-02
16Temmuz	Çalışan-06	Çalışan-02	Çalışan-07
17Temmuz	Çalışan-12	Çalışan-05	Çalışan-07
20Temmuz	Çalışan-09	Çalışan-11	Çalışan-12
21Temmuz	Çalışan-11	Çalışan-05	Çalışan-07
22Temmuz	Çalışan-11	Çalışan-10	Çalışan-09
23Temmuz	Çalışan-10	Çalışan-12	Çalışan-05
24Temmuz	Çalışan-12	Çalışan-02	Çalışan-01
27Temmuz	Çalışan-07	Çalışan-04	Çalışan-03
28Temmuz	Çalışan-12	Çalışan-08	Çalışan-04
29Temmuz	Çalışan-03	Çalışan-02	Çalışan-11

Çalışanların hangi günler geleceğini gösteren ikinci tablo ise Tablo 4’deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 4. Çalışan-çalışma tarihi listesi sonuç tablosu
(Employee-date result table)

	4,75	Geleceği Tarihler (T.: Temmuz)				
Çalışan-01	5	2 T.	6 T.	9 T.	10 T.	24 T.
Çalışan-02	5	8 T.	14 T.	16 T.	24 T.	29 T.
Çalışan-03	4	3 T.	9 T.	27 T.	29 T.	
Çalışan-04	4	2 T.	3 T.	27 T.	28 T.	
Çalışan-05	5	6 T.	14 T.	17 T.	21 T.	23 T.
Çalışan-06	5	6 T.	8 T.	10 T.	13 T.	16 T.
Çalışan-07	5	3 T.	16 T.	17 T.	21 T.	27 T.
Çalışan-08	5	7 T.	8 T.	13 T.	14 T.	28 T.
Çalışan-09	4	2 T.	7 T.	20 T.	22 T.	
Çalışan-10	5	7 T.	9 T.	10 T.	22 T.	23 T.
Çalışan-11	5	13 T.	20 T.	21 T.	22 T.	29 T.
Çalışan-12	5	17 T.	20 T.	23 T.	24 T.	28 T.

Tablo 3.’deki ikinci sütunda ilgili çalışanın toplamda kaç gün çalışacağı yazmaktadır. Çalışanların ortalama çalışma zamanı 4.75 olarak bulunmuştur. Amaç çalışanların toplam çalışma zamanlarını olabildiğince ortalama, dolayısıyla birbirlerine, yakın tutarak planlama dönemi

boyunca adilane bir çalışma planı ortaya koymaktır. Görüleceği üzere sonuçlar, girilen kısıtları sağlayacak şekilde elde edilmiştir. Planlama sisteminin sonuç bulması Intel Pentium M 1,73 GHz işlemcisi olan sıradan bir dizüstü bilgisayar ile yaklaşık olarak 10 sn.'de bulunmuştur.

5. SONUÇ (RESULT)

Bu makalede her gün çalışanların tamamının iş gelmesinin gerekli olmadığı, dönüşümlü çalışma düzeninin uygulandığı dönem ve/veya şartlarda kullanılabilmesi için geliştirilen bir planlama sistemi anlatılmıştır. Geliştirilen planlama sistemi model tabanlı bir KDS dir. KDS nin veri tabanı ve arayüz bileşenleri excel üzerinde oluşturulmuştur. Model bileşenin çözümü ise CPLEX ile elde edilmiştir.

CPLEX, bilimsel literatürde karar modellerinin çözümünde kullanılan ve çok yaygın güçlü bir doğrusal tamsayı matematiksel model çözücüsüdür. Diğer çalışmalarda CPLEX yerine, açık kaynak kodlu çözücüler veya Python gibi yeni nesil, yaygın ve popüler programlama dillerinin özel optimizasyon kütüphaneleri kullanılabilir. Çalışma temel olarak bu etkileşimin nasıl olacağı konusunda rehberlik etmektedir. CPLEX yerine uygun başka bir çözücü alt yapısı konulabilir.

CPLEX çözücüsünün eniyi çözümü bulması, özellikle ek istek kısıtlarının sayısının artması durumunda, zaman alabilir. Bu durumda daha hızlı çözüm bulabilmek adına CPLEX çözücüsünün epgap parametresinin değerini artırmak faydalı olabilir. Şekil 1'de E ile gösterilen kaydırma çubuğu kullanılarak D'deki metin kutusunda yazan epgap değeri güncellenebilir. Ek istek kısıtları ile birlikte karar problemi daha çok bir uygunluk problemine (feasibility problem) dönüşmektedir. Öyle ki, karar verilen kısıtlara uygun tek bir çözüm bulmak yeterli olacaktır. O yüzden bu gibi durumlarda epgap değerini çok küçük tutarak eniyi çözümü bulmak adına çok fazla işlem zamanı harcamak pek pratik bir yöntem olmayabilir. Sonuçta, büyük bir ihtimalle %1 epgap değeri ile bulunacak tamsayı çözüm, %20 epgap değeri ile bulunmuş tamsayılı çözümden daha iyi olmayacaktır.

Uygulama başlığı altında verilen örnekte epgap değeri %0,001 olarak belirlenmiş olmasına rağmen aslında CPLEX çözücüsü eniyi çözümü %66 gap değeri civarında bulmuştur. Ancak tamsayılı modelin çözümü için kullanılan dal-kesme (branch-and-cut) algoritmasının sonlanması için eniyi alt sınır (best lower bound) değerinin, bulunan tamsayılı çözümün amaç fonksiyonu değerine mümkün olduğunca (epgap değeri kadar) yakın olması gerekir.

Planlama sistemi COVID-19 salgın döneminde esnek dönüşümlü çalışma sistemine geçen bir üniversitenin Endüstri Mühendisliği Bölümünde uygulanmış, sistemin verdiği çalışma düzenine göre bölüm çalışanları ofislerinde bulunarak çalışmaya devam etmektedirler.

Diğer günlerde ise evden, uzaktan çalışarak görevlerini yerine getirmektedirler.

Excel tabanlı bir KDS olması nedeniyle geliştirilen planlama sistemine farklı özellikler kolaylıkla eklenip, çıkartılabilir.

KDS'leri bir bilgisayar üzerinde tek bir kullanıcı tarafından kullanılabilmesi gibi, web tabanlı olarak da farklı yerlerde bulunan birçok kullanıcı tarafından da kullanılabilir Çalışmada geliştirilen sistem, bir bölümün çalışma planını oluşturmada kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Bölüm başkanlığında görevli bir kişi tarafından (çalışanlardan eposta yardımıyla alınan) gerekli bilgiler sisteme girilmek suretiyle ilgili plan excel üzerinde elde edilebilmektedir. Planın çalışanlara dağıtımını yine eposta ile yapılmaktadır. Hâlihazırda sistemin tek bir kullanıcı tarafından yürütülmesi yeterlidir. Ancak elbette ki ideal olan, modern sistemlerde olduğu gibi kullanıcı arayüzlerinin web tabanlı olarak tasarlanmasıdır. Özellikle de günümüzün yaygın internet ve mobil alt yapısı ile etkileşimi olan ve tüm kullanıcıların sisteme bu ağ üzerinden girerek bilgi alışverişinin yapılmasıdır. Çalışmada geliştirilen sistem bu açıdan eksiktir. Ancak, önerilen sistem bir ön çalışmadır ve çalışıp çalışmadığı bu şekilde denenerek eksiklik ve ihtiyaçları belirlenmiştir. İleride web tabanlı bir sistem olarak geliştirilebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] P. De Bruecker, J. Van den Bergh, J. Beliën, E. Demeulemeester, "Workforce planning incorporating skills: State of the art", *European Journal of Operational Research*, 243(1), 1–16, 2015.
- [2] R. Qin, D. A. Nembhard, "Workforce agility in operations management", *Surveys in Operations Research and Management Science*, 20(2), 55–69, 2015.
- [3] R. Qin, D. A. Nembhard, W. L. Barnes II, "Workforce flexibility in operations management", *Surveys in Operations Research and Management Science*, 20(1), 19–33, 2015.
- [4] C. Fikar, P. Hirsch, "Home health care routing and scheduling: A review", *Computers & Operations Research*, 77, 86–95, 2017.
- [5] J. Marynissen, E. Demeulemeester, "Literature review on multi-appointment scheduling problems in hospitals", *European Journal of Operational Research*, 272(2), 407–419, 2019.
- [6] D. C. Paraskevopoulos, G. Laporte, P. P. Repoussis, C. D. Tarantilis, "Resource constrained routing and scheduling: Review and research prospects", *European Journal of Operational Research*, 263(3), 737–754, 2017.
- [7] Ö. Karsu, A. Morton, "Inequity averse optimization in operational research", *European journal of operational research*, 245(2), 343–359, 2015.
- [8] G. B. Dantzig, "Letter to the editor—A comment on Edie's 'Traffic delays at toll booths'", *Journal of the Operations Research Society of America*, 2(3), 339–341, 1954.
- [9] I. Castillo, T. Joro, Y. Y. Li, "Workforce scheduling with multiple objectives", *European Journal of Operational Research*, 196(1), 162–170, 2009.

- [10] J. F. Bard, C. Binici, A. H. de Silva, "Staff scheduling at the United States postal service", *Computers & Operations Research*, 30(5), 745–771, 2003.
- [11] F. Glover, C. McMillan, "The general employee scheduling problem. An integration of MS and AI", *Computers & operations research*, 13(5), 563–573, 1986.
- [12] S. Seçkiner, M. Kurt, "Bütünleşik Tur-Rotasyon Çizelgeleme Yaklaşımı ile İşyükü Minimasyonu", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(2), 2005.
- [13] S. Mohan, "Scheduling part-time personnel with availability restrictions and preferences to maximize employee satisfaction", *Mathematical and Computer Modelling*, 48(11-12), 1806–1813, 2008.
- [14] T. Eren, A. Yelek, B. Demirel, H. M. Alağaç, "Kısmi Zamanlı Çalışan Personellerin Çizelgenmesi: Kırıkkale Üniversitesi Merkez Kütüphanesi Örneği", *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(2), 313–330, 2018.
- [15] M. T. Seval, H. N. Alp, A. Çelik, S. Aışeoğlu, M. Miman, "0-1 Tamsayılı Programlama ile Bir Hiper Süpermarkette Vardiya Çizelgeleme Problemine Bir Çözüm Önerisi", *ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 1(2), 70–80.
- [16] T. Eren, E. H. Özder, H. M. Alakaş, E. Özcan, "Kısıt Programlama Yaklaşımıyla Güvenlik Personeli Çizelgeleme Probleminin Çözümü", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4(2), 16–25.
- [17] B. Sungur, "Haftada Üç Gün Çalışan İşgörenleri ve Çoklu Vardiyaları Olan Organizasyonların Çizelgeleme Problemleri için Sıfır Bir Programlama Modeli", *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (31), 187–197, 2008.
- [18] U. Ü. Uçar, S. K. İşleyen, "Telaflı ders çizelgeleme probleminin (TDÇP) matematiksel modelle çözümü: Gerçek bir uygulama", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(2), 2016.
- [19] T. Efraim, **Decision support and business intelligence systems**, Ninth Edition, Pearson Education, 2011.
- [20] R. Aboudi, K. Jørnsten, "Resource constrained assignment problems", *Discrete applied mathematics*, 26(2-3), 175-191, 1990.