

Hemşire çizelgeleme problemi için bir karar destek sistemi uygulaması

A decision support system for nurse scheduling problem

Ebru GEÇİCİ^{1*}, Mehmet Güray GÜLER²

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
ebru.gecici@boun.edu.tr

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Makine Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
mnguler@yildiz.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 09.02.2019
Kabul Tarihi/Accepted: 28.11.2019

Düzeltilme Tarihi/Revision: 01.10.2019

doi: 10.5505/pajes.2019.86402
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Sağlık hizmetlerinin kesintisiz sürdürülebilmesi için diğer sağlık çalışanları gibi hemşireler de nöbet tutarak çalışmak zorundadırlar. Oldukça zorlayıcı şartlar altında çalışan hemşireler için nöbet çizelgelerinin adil ve dengeli olması çok önemlidir, aksi takdirde fiziksel ve psikolojik olarak olumsuz etkilenirler. Bu kadar önemli olmasına karşın hemen her sağlık kurumunda bu çizelgeler manuel olarak hazırlanmaktadır. Akademik yayınlar ile geliştirilen çözüm metodları ise bir karar destek sistemine dönüştürülemediği için sürdürülebilir değildir. Bu çalışmada İstanbul'da yer alan bir hastanenin kardiyovasküler cerrahi servisinin hemşire nöbet çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Problem için öncelikle bir karma tam sayılı programlama modeli oluşturulmuştur. Sonrasında bu model, yazılım bilgisi sınırlı son kullanıcılara hitap eden bir karar destek sistemine dönüştürülmüştür. Bu sistem sayesinde adil ve dengeli nöbet çizelgeleri çok kısa sürede oluşturulabilmektedir.

Anahtar kelimeler: Hemşire çizelgeleme problemi, Karma tam sayılı programlama, Karar destek sistemi.

Abstract

Nurses have to work in shifts to sustain continuous health services like other healthcare staff. Nurses have very challenging working conditions, hence the schedules have to be prepared in a fair and balanced way, otherwise, their physical and psychological conditions can be affected negatively. Despite its importance, these schedules are prepared manually in almost all healthcare institutions. The academic studies are not sustainable since they are not transformed into decision support tools. In this study, nurse scheduling problem of cardiovascular surgery service of a hospital in Istanbul is addressed. First, a mixed integer programming model is proposed for the problem. Then a decision support system is prepared for users who has limited technical abilities. This system enables users to prepare fair and balanced shift schedules in a very short time.

Keywords: Nurse scheduling problem, Mixed integer programming, Decision support system.

1 Giriş ve literatür taraması

Hastanelerde, sağlık hizmetleri 7 gün 24 sa. sürecek şekilde aralıksız olarak verilmektedir. Bu nedenle kesintisiz işgücünün sağlanabilmesi için başta hemşireler olmak üzere sağlık çalışanlarının nöbet olarak adlandırılan vardiyalar şeklinde çalışması gerekmektedir. Böylece var olan iş gücü kaynağı ile süreklilik sağlanabilmektedir. Ancak nöbetler iyi planlanmadıkları zaman hemşireler üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Örneğin, gece nöbetleri insan vücudunun çalışma yapısına zıt olduğu için kısa ve uzun vadede kişide fiziksel ve zihinsel rahatsızlıklara yol açmakta, kişinin aile ve sosyal yaşamında olumsuzluklara neden olmaktadır [1]. Nöbetlerin hemşirelerde neden olduğu olumsuzluklarla birlikte çizelgelerin hazırlanması da zorluklar içermektedir. Hemşire nöbet çizelgesi oluşturulurken ilgili departmanın sahip olduğu yasal kurallar yerine getirilmekte ve aynı zamanda hemşire istekleri de karşılanmaya çalışılmaktadır. İzin günleri, nöbet tercihleri (ör. gece nöbeti isteme ya da gündüz nöbeti isteme gibi), hamilelik gibi özel durumların da dikkate alındığı nöbet çizelgeleri çoğunlukla departmanda yer alan sorumlu hemşire tarafından elle hazırlanmaktadır. Tüm bunlar göz önüne alındığında çizelge hazırlama süreci zorlaşmakta ve elde edilen nöbet çizelgeleri tatmin edici seviyede olmamaktadır. Piyasada var olan ticari yazılımlar ise hastaneler için maliyetli olmakta ya da kullanıldığı zaman istenilen sonucu verememektedir.

Tüm bunlar dikkate alındığı zaman hemşire çizelgelerinin oluşturulması hastaneler için önemli bir problem olup hemşireler için iş yükü açısından dengeli çizelgeler oluşturulamamaktadır. Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen problemlere sahip olan İstanbul'daki bir devlet hastanesine ait Kardiyovasküler Cerrahi (KVC) servisinin hemşire çizelgeleme problemi karma tam sayılı programlama (KTP) yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Oluşturulan model, karar destek sistemine (KDS) dönüştürülerek çizelgelerin sorumlu hemşire tarafından kolayca hazırlayabileceği bir yapı oluşmasına olanak sağlanmıştır. Böylece hemşireler için adil ve dengeli iş yüküne sahip nöbet çizelgeleri oluşturulabilecektir.

Her sağlık kurumunun kısıtları birbirinden farklı olduğu için literatürde konu ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada incelenen literatür çalışmaları Tablo 1'de listelenmiştir. Bu çalışmalar Türkiye'deki kurumlarda ve yurt dışındaki kurumlarda yapılan çalışmalar olarak iki gruba ayrılabilir. Miller ve diğ. [2], Amerika ve Kanada'daki sağlık kurumları için yaptıkları çalışmada dögüsel koordinat iniş algoritması (cyclic coordinate descent algorithm) yöntemini kullanarak hemşire çizelgeleme problemi (HÇP) için matematiksel model geliştirmişlerdir. Bu çalışma ile araştırmacılar hastanenin karşılaştığı maliyetleri ve hemşire memnuniyetsizliklerini azaltmışlardır.

*Yazışılan yazar/Corresponding author

Tablo 1. Çalışmada yer alan literatür taraması.

Table 1. Literature review of this study.

Yazarlar	Yıl	Yöntem/Çözücü	Uygulandığı Ülke/Bölüm	KDS Durumu
Miller ve diğ. [2]	1976	Döngüsel Koordinat İniş Algoritması	Amerika ve Kanada	YOK
Burke ve diğ. [3]	2001	Hibrit Memetik Memetik + Tabu Arama Algoritması	Belçika	YOK
Aickelin ve White [4]	2004	Tam Sayılı Programlama +Evrimsel Algoritma + İstatistiksel Metot	-	YOK
Aickelin ve Downsland [5]	2004	Genetik Algoritma	İngiltere	YOK
Bard ve Purnomo [6]	2005	Kolon Üretme Tam Sayılı Programlama + Kolon Türetme	-	YOK
Trilling ve diğ. [7]	2006	Lineer Programlama + Kısıt Programlama	Anestezi Bölümü	YOK
Burke, Li ve Qu [8]	2012	Pareto Tabanlı Sezgisel (Gıcırtilı Tekerlek Optimizasyonu)	-	YOK
Constantino ve diğ. [9]	2014	Sezgisel Yöntem	-	YOK
Kim ve diğ. [10]	2014	Genetik Algoritma	-	YOK
Legrain ve diğ. [11]	2015	Sezgisel Yöntem	Kanada (Montreal)	YOK
Güngör [20]	2002	Tam Sayılı Doğrusal Programlama (çözücü: LINDO)	Türkiye(Isparta)/ Doğum Odası	YOK
Atmaca ve diğ. [12]	2012	0-1 Tam Sayılı Programlama (çözücü: GAMS)	Türkiye(Ankara)	YOK
Bağ ve diğ. [13]	2012	0-1 Tam Sayılı Programlama + ANP (Ağırlıkları belirlemek için)	Türkiye(Kırıkkale)/ Üroloji-KBB	YOK
Öztürkoğlu ve Çalışkan [14]	2014	0-1 Tam Sayılı Programlama (çözücü: LINDO)	Türkiye (Erciyes)/ Yoğun Bakım Ünitesi	YOK
Varlı ve Eren [18]	2017	Hedef Programlama (çözücü: CPLEX)	Türkiye/Yoğun Bakım- Acil Servis- Ameliyathane	YOK
Eren ve diğ. [19]	2017	Hedef Programlama (çözücü: CPLEX)	Türkiye(Kırıkkale)/ Acil Servis	YOK
Karayel ve Atmaca [15]	2017	0-1 Tam Sayılı Programlama (çözücü: CPLEX)	Genel Yoğun Bakım	YOK
Eren ve diğ. [17]	2017	0-1 Tam Sayılı Hedef Programlama (çözücü: CPLEX)	Türkiye(Kırıkkale)/ 3 farklı servis	YOK
Uslu ve diğ. [16]	2018	0-1 Tam Sayılı Programlama (çözücü: CPLEX)	Türkiye / Acil Servis Bölümü	YOK
Özkarahan [22]	1989	Doğrusal Hedef Programlama	Amerika (Phoenix)	VAR
Bu çalışma	2019	Karma Tam Sayılı Programlama (Çözücü: CBC)	Türkiye (İstanbul)/ KVC	VAR

Burke ve diğ. [3] ise memetik yaklaşım ile tabu arama algoritmasını kıyaslamıştır. Bunun sonucunda hibrit memetik yaklaşımın, tabu arama algoritması ve memetik yaklaşım ile kıyaslandığında daha iyi çizelgeler oluşturduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bu çalışmaları test etmek için de yöntemleri Belçika'daki farklı karakteristiğe ve zorluğa sahip hastanelere uygulamışlardır. Aickelin ve White [4], iyi bir hemşire çizelgesi hazırlamak için iki aşamalı çalışma yapmışlardır. İlk aşamada hemşire çizelgeleme yöntemini tam sayılı programlama yaklaşımı ve evrimsel algoritma yaklaşımı kullanarak model kurup çözmüşlerdir. İkinci aşamada ise daha iyi bir çizelge geliştirmek ve başarılı bir algoritma modifikasyonu sağlamak amacıyla kıyaslamalar için yeni istatistiksel metot geliştirmişlerdir. Aickelin ve Downsland [5] ise İngiltere'de yer alan bir hastanenin haftalık hemşire çizelgelerini genetik algoritma kullanarak elde etmişlerdir. Çalışmanın amacı, esnek ve hızlı çözümlerin üretilebildiği model geliştirilmesi ve çözüm için kullanılan kısıtların genetik algoritma kullanılarak eklenmesidir. Bu sayede adil ve tüm isteklerin yerine getirildiği çizelgeler oluşturmaya çalışmışlardır. Bard ve Purnomo [6], kolon türetme yöntemini kullanarak çok amaçlı bir HÇP'yi çözmeye çalışmıştır. Kullandıkları yöntemde tam sayılı programlama ve kolon türetme yaklaşımını bir araya getirerek

karar verme aşamasında zıtlık yaratan kısıtlar için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Trilling ve diğ. [7], HÇP için matematiksel modeli tam sayılı lineer programlama ve kısıt programlama kullanarak iki farklı şekilde oluşturmuşlardır. Bir hastanenin anestezi bölümünde yer alan hemşireler için adaletli çizelgeleri maksimize edecek çizelgeyi bulmaya çalışmış ve sonucunda tam sayılı lineer programlamanın daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Burke ve diğ. [8] ise Pareto tabanlı bir arama algoritması geliştirmişlerdir. Hemşireler için yasal nöbet yükümlülüklerinin yerine getirildiği bu çalışma için bir sezgisel geliştirmişler ve sonrasında taleplere uymamayı en az yapacak hızlı çözümler elde etmek için gıcırtilı tekerlek (squeaky wheel) optimizasyonu yöntemini kullanmışlardır. Daha sonrasında ise uygun çözümü elde edebilmek için onarıcı çözümü kullanmışlardır. Constantino ve diğ.[9], yaptıkları çalışmada HÇP için çoklu görev atama prosedürüne dayalı sezgisel yöntem kullanarak hemşire isteklerini karşılamayı maksimize ederek gevşek kısıt ihlallerinin minimize edildiği bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Kim ve diğ. [10], genetik algoritma kullanarak HÇP için uygun çözüm bulma olasılığını artırarak tüm kısıtları tatmin edecek bir model oluşturmuşlar ve sonuçta hızlı ve yüksek kalitede çizelgeler elde etmişlerdir. Legrain ve diğ.[11],

sezgisel yöntem kullanarak elde ettikleri modelde Montreal'de yer alan bir hastanenin iki hemşire takımı için (real team ve float team) çizelge oluşturmuşlardır. Böylece ticari ürün kullanma ve manuel çizelge hazırlama gibi olumsuzlukları elimine ederek maliyeti azaltmaya çalışmışlardır.

Türkiye'de yapılan çalışmalarda ise genelde hastanelere özel ikili veya karma tam sayılı modeller kurulmuş ve sonrasında CPLEX gibi çözücüler kullanarak bu modeller çözülmüştür. Atmaca ve diğ. [12] Ankara'da yer alan bir hastane için, Bağ ve diğ.[13] Kırıkkale'de yer alan bir hastanenin Üroloji-KBB servisi için, Öztürkoğlu ve Çalışkan [14] Erciyes Üniversitesi Tıp Fakültesi yoğun bakım ünitesi için nöbet çizelgeleri oluşturmuşlardır. Bunlara ek olarak Karayel ve Atmaca [15] özel bir hastanenin genel yoğun bakım ünitesi için, Uslu ve diğ.[16] ise bir hastanenin acil servisi için ve Eren ve diğ.[17] yine Kırıkkale'de yer alan bir hastanenin 3 farklı servisi için çizelgeler oluşturmuşlardır. Kırıkkale'de yer alan bir hastane için nöbet çizelgeleri oluşturan Varlı ve Eren [18] modellerini yoğun bakım, ameliyathane, acil bölümlerine uygularken, Eren ve diğ.[19] yine Kırıkkale'de yer alan başka bir hastanenin acil servis bölümüne uygulamışlardır. Bunlardan farklı olarak Güngör [20] Isparta Kadın Hastalıkları ve Doğum Hastanesinin doğum odasının HÇP'si için iki aşamalı bir model geliştirmiştir. Önerdiği modelin ilk aşamasında hizmetleri yerine getirecek minimum hemşire sayısını belirlemeye çalışmış ikinci aşamasında ise ilk aşamada görevlendirilen hemşirelerin 2 haftalık periyot içinde çalışma günlerini ve izin günlerini de dikkate alarak çizelge oluşturmuştur. Tüm çalışmaların sonucunda hastanelerin gerekliliklerini yerine getiren, hemşire memnuniyetini sağlarken adil ve dengeli hemşire nöbet çizelgeleri hazırlanmıştır.

Yukarıda da bahsedildiği gibi personel çizelgeleme konularından biri olan hemşire nöbet çizelgeleme problemi uzun yıllardır çalışan konulardan biri olmuştur [21]. Yapılan çalışmalar var olan problemin sezgisel yöntemler ya da matematiksel modeller kurularak çözümlenmesine dayanmaktadır. Ancak literatürde yer alan bu çalışmalarda oluşturulan çözümler KDS'ye dönüştürülmediği için devamlılığı sağlanamamakta ve model olarak kalmaktadır. KDS içeren çalışma ise yok denecek kadar azdır. Özkarahan'ın [22] yapmış olduğu çalışmada hastane isteklerini karşılarken aynı zamanda hemşire memnuniyetini sağlayacak bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Doğrusal hedef programlama yöntemini kullanarak geliştirdiği bu yöntemde karmaşıklığa alternatif çözümler aranmasına izin vermektedir. Oluşturulan KDS sayesinde farklı parametreler kullanılarak farklı çözümler elde edilebilmektedir. Böylece alternatif nöbet çizelgelerinin hazırlanarak değerlendirilebildiği bir sistem elde edilmiştir. Elde edilen tatmin edici çizelge otomatik olarak yayınlanmaktadır. Oluşturulan bu karar destek sistemi 9 alt sistemi içermekte ve veri tabanı 7 kullanıcı ara yüzü ile bağlantı kurmaktadır. Yapılan bu çalışma Phoenix, Arizona'da uygulanmıştır. Sistemde, hemşire çizelgeleme destek sistemindeki alternatif optimum modellere odaklanmışlardır. Amaç personelsiz kalma durumunda maliyeti azaltmak ve haftalık işçi maliyetini en küçüklemeştir.

Çok fazla çalışmanın yer aldığı HÇP, önerilen modellerin sürekliliğinin sağlanamaması ve farklı çizelge yapıları nedeniyle günümüzde çalışmaya devam etmektedir. Yapmış olduğumuz bu çalışma ile hemşire nöbet çizelgelerinin oluşturulması için KTP modeli önerilmiştir. Daha sonra bu modeli MS Excel tabanlı bir KDS'ye dönüştürerek teknik bilgisi

sınırlı olan bir son kullanıcının (ör. sorumlu hemşire) çözümleri hızlı şekilde elde edebildiği çizelgeler oluşturabilmektedir.

Çalışmanın sonraki bölümleri şu şekilde devam etmektedir: 2. bölümde problemin tanımı yer almaktadır. 3. bölümde ise önerilen KTP modeli yer almaktadır. Çalışmanın 4. bölümü ise uygulama kısmı olan KDS'nin oluşturulması işlemlerini ve KDS'nin çalıştırılması sonucu elde edilen hemşire nöbet çizelgesini içermektedir. 5. bölümde ise sonuçlar yer almaktadır.

2 Problemin tanımı

Bu çalışmada, İstanbul'da yer alan bir devlet hastanesine ait KVC servisi incelenmiştir. Öncelikle bu bölümde departmanın genel yapısı verilecek, sonrasında da probleme özel kısıtlardan bahsedilecektir. Hemşireler iki vardiya (nöbet) halinde çalışmaktadır: gündüz nöbeti ve gece nöbeti. Gündüz nöbeti sabah 8:00'de başlayıp akşam 16:00'da bitmekte ve 8 saat sürmektedir. Gece nöbeti ise akşam 16:00'da başlayıp sabah 8:00'de bitmekte ve 16 saat sürmektedir. Dolayısıyla gece nöbeti, gündüz nöbetine göre *iki kat* daha fazla iş yüküne sahiptir. Departmanda yer alan hemşireler kıdemlerine göre sınıflandırılmakta ve toplamda üç kıdem grubu yer almaktadır. Son olarak departmandaki iş yükü hafta içi ve hafta sonuna göre değişiklik göstermektedir. Oluşturulan nöbet çizelgesi aşağıdaki kuralları takip edecek şekilde oluşturulmaktadır:

- Gündüz nöbetinde bulunan hemşire sayısı sabit değildir. Hafta içi günlerinde 8 hemşire nöbetçi olarak yer almak zorundadır. Hafta sonu nöbetlerinde ise minimum 7 maksimum 8 hemşire yer almalıdır,
- Gece nöbetinde her zaman 6 hemşire bulunmalıdır ve bu hemşirelerden en az biri gece kıdemli hemşire grubunda olmalıdır,
- Gece ve gündüz nöbetlerinde en az 1 tane kıdemsiz hemşire grubundan bir hemşire bulunmak zorundadır,
- Her hemşirenin çalışma süresi aynı olmalıdır (gece nöbeti 2 gündüz nöbetine eşdeğerdir),
- Bir hemşire bir günde birden fazla nöbet tutmamalıdır,
- İzinli hemşirelere (ör. yıllık izin) nöbet ataması yapılmamaktadır,
- Hemşirelere ait kişisel istekler (belirli günlerde nöbet tutmak ya da doğum günlerinde gece nöbetine sahip olmamak gibi) de nöbet çizelgesi oluşturulurken dikkate alınmalıdır.

Bölümdeki aylık hemşire çizelgeleri başhemşire (sorumlu) tarafından elle oluşturulmaktadır. Elle hazırlanan çizelgelerde sorumlu hemşire bazen hemşirelerin isteklerini tam olarak yerine getirememekte ve çoğu zaman da çizelgeleme işlemi çok zaman almaktadır. Bu çalışmanın amacı departmanın isteklerini karşılayan nöbet çizelgelerini kısa sürede hazırlayan bir KDS oluşturmaktır. KDS'de kullanılacak matematiksel model bir sonraki bölümde anlatılacaktır.

3 Önerilen KTP modeli

Bu bölümde problemi çözebilmek için önerdiğimiz KTP modeli tanıtılmaktadır. KTP modelleri yöneylem araştırmasında kullanılan temel matematiksel yöntemlerden birisidir. Modelin oluşturulması için gereken kümeler, değişkenler ve parametreler sırasıyla Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 2. Kümeler.

Table 2. Sets.

Küme	Tanım
N	Hemşireler
T	Bir ayda yer alan günler
K	Nöbet türleri, k=1 gündüz nöbeti, k=2 gece nöbeti
R	Sapma değişkeni türü, r=1 pozitif, r=2 negatif
N^s	Hemşire kıdem grubu (s=1 gece kıdemli, s=2 gündüz kıdemli, s=3 kıdemli hemşire grubu)
T^W	Hafta içi günleri
T^{WE}	Hafta sonu günleri
A_n	Hemşirelerin yıllık izin günleri
M_n	Hemşire n'nin gelmek istemediği günler

Tablo 3. Değişkenler.

Table 3. Variables.

Değişken	Tanım
$X_{n,t,k}$	Hemşire n'nin t gününde k. tip (gündüz ya da gece) nöbeti varsa 1, aksi takdirde 0
$Y_{n,p}$	Hemşire n'nin hafta sonu p de nöbeti varsa 1, aksi takdirde 0
$D_{n,r}^1$	Toplam mesaide değişikliğe sebep olan sapma değeri
D_r^{1Max}	Toplam mesai sapmalarını sınırlandıran sapma değişkeni
$D_{n,t}^2$	Peş peşe gece nöbeti sayısını sınırlandıran sapma değişkeni
$D_{n,t,k}^3$	Özel günler için oluşturulan gevşek kısıta ait sapma değeri

Tablo 4. Parametreler.

Table 4. Parameters.

Parametre	Tanım
$E_{n,k}$	Hemşire n'nin k tipi nöbetindeki nöbet sayısı.
G_n	Sorumlu hemşire tarafından belirlenen hemşire n'nin çalışılabildiği iş günü sayısı
H_n^{max}	Hemşire n'nin sahip olabileceği maksimum hafta sonu nöbet sayısı kümesi
α_{itk}	Hemşire i'nin t günü k tipi nöbet isteği
W_p	Hafta sonu çiftleri kümesi (p değerlerinin oluşturduğu küme)
F_r^{min}	r. sapma türündeki minimum mesai sayısı
F_r^{max}	r. sapma türündeki maksimum mesai sayısı
$c_{n,r}^1$	Sapma değişkeni $D_{n,r}^1$ 'nin maliyeti
c_r^{1Max}	Sapma değişkeni D_r^{1Max} 'nin maliyeti
$c_{n,t}^2$	Sapma değişkeni $D_{n,t}^2$ 'nin maliyeti
$c_{n,t,k}^3$	Sapma değişkeni $D_{n,t,k}^3$ 'nin maliyeti
$c_{n,p}^4$	Karar değişkeni $Y_{n,p}$ 'nin maliyeti

Bu çalışmada üç tip değişken bulunmaktadır. Birincisi hangi hemşirenin hangi günde gece veya gündüz nöbeti olduğunu gösteren $X_{n,t,k}$ değişkenidir. Diğer değişken $Y_{n,p}$ ise hemşirelerin hafta sonu nöbetlerini dengeli şekilde paylaşmak ve her hemşirenin en az bir hafta sonunda (hem Cumartesi ve hem de Pazar gününün birlikte izin olarak sayıldığı) izin yapabilmesini sağlamak için kullanılmaktadır.

Diğerleri ise, modelin kısıtlarını anlatırken detaylandıracağımız gevşek kısıtlardan sapmayı gösteren $D_{n,r}^1$, D_r^{1Max} , $D_{n,t}^2$ ve $D_{n,t,k}^3$ değişkenleridir.

Hastane yönetimi ve sorumlu hemşireden elde edilen bu veriler KTP modelini oluşturan kısıtlarda kullanılmıştır.

$$\begin{aligned} \min Z = & \sum_{n \in N} \sum_{r \in R} c_{n,r}^1 * D_{n,r}^1 + \sum_{r \in R} c_r^{1Max} * D_r^{1Max} \\ & + \sum_{n \in N} \sum_{t \in T} c_{n,t}^2 * D_{n,t}^2 \\ & + \sum_{n \in N} \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} c_{n,t,k}^3 * D_{n,t,k}^3 \\ & + \sum_{n \in N} \sum_{p \in P} c_{n,p}^4 * Y_{n,p} \end{aligned}$$

Ş.k.g.

$$\sum_{n \in N} X_{n,t,1} = 8, t \in T^W \quad (1)$$

$$7 \leq \sum_{n \in N} X_{n,t,1} \leq 8, t \in T^{WE} \quad (2)$$

$$\sum_{n \in N} X_{n,t,2} = 6, t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{n \in N^s} X_{n,t,k} \geq 1, t \in T, k \in K, s = 3 \quad (4)$$

$$\sum_{n \in N^s} X_{n,t,2} \geq 1, t \in T, s = 1 \quad (5)$$

$$\sum_{n \in N^s} X_{n,t,1} \geq 1, t \in T, s = 2 \quad (6)$$

$$\sum_{t \in T} X_{n,t,2} = E_{n,2}, n \in N \quad (7)$$

$$\sum_{t \in T} (X_{nt1} + 2 * X_{nt2}) \geq G_n + D_{n,1}^1 - D_{n,2}^1, n \in N \quad (8)$$

$$D_{n,r}^1 \leq D_r^{1Max}, n \in N, r \in R \quad (9)$$

$$F_r^{min} \leq D_r^{1Max} \leq F_r^{max}, r \in R \quad (10)$$

$$X_{n,t,1} + X_{n,t,2} \leq 1, n \in N, t \in T \quad (11)$$

$$X_{n,t,2} + X_{n,t+1,1} + X_{n,t+1,2} \leq 1, n \in N, t \in T \quad (12)$$

$$X_{n,t,2} + X_{n,t+2,1} \leq 1, n \in N, t \in T \quad (13)$$

$$X_{n,t,1} - X_{n,t+1,1} + X_{n,t-1,1} \leq 0, n \in N, t \in T \quad (14)$$

$$\sum_t^{t+4} (X_{n,t,1}) + X_{n,t+4,2} \leq 4, n \in N, t, (t+4) \in T \quad (15)$$

$$\sum_t^{t+7} X_{n,t,2} \leq 2 + D_{n,t}^2, n \in N, t, (t+7) \in T \quad (16)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_t^{t+5} X_{n,t,k} \leq 5, n \in N, t, (t+5) \in T \quad (17)$$

$$X_{ntk} = 0, n \in N, t \in A_n, k \in K \quad (18)$$

$$X_{ntk} - D_{n,t,k}^3 \leq 0, n \in N, t \in M_n, k \in K \quad (19)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_t^{t+3} X_{n,t,k} \geq 1, n \in N, t, (t+3) \in T \quad (20)$$

$$X_{ntk} = 1, n \in N, t \in T, k \in K \text{ s.t. } \alpha_{ntk} = 1 \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \sum_{k \in K} (X_{n,t,k} + X_{n,t',k}) + X_{n,t-1,2} \leq 5 * Y_{n,p}, n \\ \in N, t, t' \in W_p, p \in P \end{aligned} \quad (22)$$

$$Y_{n,p} \leq \sum_{k \in K} (X_{n,t,k} + X_{n,t',k}) + X_{n,t-1,2}, \quad n \in N, t, t' \in W_p, p \in P \quad (23)$$

$$\sum_{p \in P} Y_{n,p} \leq H_n^{max}, \quad n \in N \quad (24)$$

$$X_{n,t,k}, Y_{n,p} \in \{0, 1\}, \quad n \in N, t \in T, k \in K, w \in W \quad (25)$$

$$D_{n,r}^1, D_r^{1Max}, D_{n,t}^2, D_{n,t,k}^3 \geq 0, \quad n \in N, t \in T, k \in K \quad (26)$$

Hastanenin KVC servisindeki nöbetler gece ve gündüz nöbeti olarak iki vardiya şeklinde oluşturulmaktadır. Bu nöbetlerde yer alan hemşire sayısı farklılık göstermektedir. Kısıt (1) hafta içi gündüz nöbetlerinde 8 hemşirenin yer alması gerektiğini göstermektedir. Hafta sonu gündüz nöbetlerinde yer alan hemşire sayısı ise alt ve üst limitler ile belirlenmiştir. Kısıt (2), hafta sonu gündüz nöbetinde en az 7 en fazla 8 hemşirenin olması gerektiğini göstermektedir. Gece nöbeti ise gündüz nöbetinden farklı olarak her zaman aynı sayıda nöbetçi hemşire içermelidir. Kısıt (3) gece nöbetinde 6 hemşirenin olmasını sağlamaktadır. Bu nöbetlerde yer alan hemşireler kıdem gruplarına göre sınıflandırılmaktadır. Hastanede yer alan kıdem grupları gece ve gündüz kıdemli grupları ve kıdemsiz hemşire grubu olarak üç grupta sınıflandırılmıştır. Kısıt (4), tüm nöbet türlerinde kıdemsiz hemşire grubundan en az bir hemşirenin yer alması gerektiğini söylemektedir. Kısıt (5) gece nöbeti için kıdemli hemşirenin en az 1 olması gerektiğini gösterirken Kısıt (6) gündüz nöbetleri için kıdemli hemşire sayısını göstermektedir.

Dengeli nöbet çizelgesinin oluşturulabilmesi için mesai sayılarının hemşireler arasında dengeli bir şekilde dağıtılması gerekmektedir. Gece nöbetini tamamlamak daha zor olduğu için herkesin tutması gereken gece nöbeti sayısını sağlaması gerekmektedir ve bu da Kısıt (7) ile sağlanmaktadır. Toplam mesai sayısının sağlanması için ise Kısıt (8) kullanılmaktadır. Burada yer alan gece nöbeti 2 ile çarpılarak gece nöbetinin gündüz nöbetine göre iki kat daha fazla iş yüküne sahip olduğu belirtilmektedir. Ancak toplam mesainin sağlanamadığı durumlarda fazla mesai ya da daha az mesainin yazılması gerekmektedir. Bu nedenle Kısıt (8) sapma değişkenleri kullanılarak oluşturulmaktadır. Fazla mesainin de herkes için dengeli olmasını sağlamak için sapma değişkenleri farklı bir sapma değişkeni kullanılarak Kısıt (9) ile sınırlandırılmıştır. Kişilerin tutabileceği minimum ve maksimum fazla mesai sayısı ise Kısıt (10) kullanılarak oluşturulmuştur.

Hemşireler yasalar gereği bir gün içerisinde birden fazla nöbet tutmamaktadır. Hemşirelerin bir günde tek nöbet tutmalarını sağlamak için Kısıt (11) kullanılmaktadır. Gece nöbetlerinden sonraki güne nöbet yazılmamaktadır (gün aşırı nöbetleri). Kısıt (12) gece nöbetinden sonraki günde nöbet yazılmasını engellemektedir. Bununla birlikte gece nöbetinden sonra gündüz nöbeti tutmak zorlayıcı olduğu için gün aşırı nöbetinden sonraki ilk güne gündüz nöbeti yazılmamaktadır. Bunu sağlayabilmek için Kısıt (13) kullanılmaktadır.

Hemşirelerin peş peşe tuttuğu nöbet sayıları çalışan sağlığı açısından önemlidir. Hemşirelerin gündüz peş peşe tutabileceği minimum nöbet sayısı 2, maksimum ise 4 olabilmektedir. Kısıt (14) hemşirelerin peş peşe tutması gereken gündüz nöbetini gösterirken Kısıt (15) peş peşe maksimum 4 gündüz nöbetinin tutulabileceğini söylemektedir. Kısıt (16) ise peş peşe tutulan gece nöbeti sayısının üst sınırını göstermektedir. Hemşirelere peş peşe yazılacak nöbet sayısı ise 5'i geçmemelidir ve bu durum Kısıt (17) ile sağlanmaktadır.

Yıllık izne veya yasal izne sahip olan hemşirelere nöbet yazılmamalıdır. Bu durum Kısıt (18) ile sağlanmaktadır. Ayrıca yıllık izin dışında izin kullanmak isteyen hemşirelerin istekleri olabildiğince sağlanmalıdır. Kısıt (19), hemşirelere istedikleri günlerde olabildiğince izin yazılmasını sağlamaktadır. Yasal izinler ve istekler dışında hemşirelerin peş peşe belli dönemlerde boş olmaları istenmektedir. Hemşirelerin peş peşe 4 günden fazla nöbetsiz kalmasını önlemek için Kısıt (20) kullanılmaktadır. Kısıt (21) ise hemşirelerin istedikleri günlerde istedikleri nöbet türlerinde nöbetçi olmalarını sağlamaktadır. Hemşirelere eşit sayıda hafta sonu nöbetini yazmak ve en az bir hafta sonunda boşluk bırakarak (Cumartesi ve Pazar aynı anda boş kalacak şekilde) çizelgelerin oluşturulması gerekmektedir. Bunu sağlamak için tanımladığımız ve hafta sonlarını bir arada tutan $Y_{n,p}$ değişkeni kullanılmaktadır. Bir ayda en fazla 5 hafta sonu olduğu için üst sınır 5 ile çarpılmıştır. Bu iki değişken arasında bağlantı sağlayabilmek için bir de alt sınır eklenmektedir. Kısıt (22) ve Kısıt (23) iki değişken arasındaki bağlantıyı göstermektedir. Bu bağlantı sağlandıktan sonra her hemşirenin bir hafta sonu çiftinde boşluğa sahip olabilmesi için üstten sayının sınırlandırılması gerekmektedir. Bu da Kısıt (24) ile sağlanmaktadır.

Yukarıda verilen matematiksel modelde yer alan kısıtlar *zorunlu kısıtlar* ve *gevşek kısıtlar* olarak sınıflandırılmaktadır. Zorunlu kısıtlar, mutlaka yerine getirilmesi gereken kısıtlardır. Modelde yer alan (1)-(7), (10)-(15), (17)-(18) ve (20)-(24) kısıtları zorunlu kısıtlar sınıfına girmektedir. (8)-(9), (16) ve (19) kısıtları ise gevşek kısıtları oluşturmaktadır. Gevşek kısıtlar mümkün olduğunca yerine getirilmesi gereken kısıtları gösterir. Bunu sağlamak için gevşek kısıtların sapmasına olanak sağlayan değişkenler eklenir ve bunlara *sapma değişkeni* adı verilir. Sonrasında bu sapma değişkenlerine ait cezalar amaç fonksiyonunda minimize edilir. Tablo 3'te verilen $D_{n,r}^1, D_r^{1Max}, D_{n,t}^2$ ve $D_{n,t,k}^3$ değişkenleri sapma değişkenleridir. Amaç fonksiyonu bu sapma değerlerini en küçüklemeye çalışmaktadır.

Amaç fonksiyonu gevşek kısıtların ağırlıklı toplamından ve hafta sonu dengeli nöbet oluşmasını sağlamak için oluşturduğumuz $Y_{n,p}$ değişkeninden oluşur ve minimize edilir. Hedef tüm amaç fonksiyonunda tanımlı olan değişkenlerin maliyetlerini sıfıra indirmektir. Böylece amaç fonksiyonu gevşek kısıtları sağlayabilmektir. Ağırlıklar için de $c_{n,r}^1, c_r^{1Max}, c_{n,t}^2, c_{n,t,k}^3$ ve $c_{n,p}^4$ parametreleri tanımlanmıştır. Bu parametreler tüm sapmalar için farklı olarak tanımlanabileceği gibi aynı da tanımlanabilir. Bir sonraki bölümde bu model kullanılarak geliştirilen KDS anlatılacaktır.

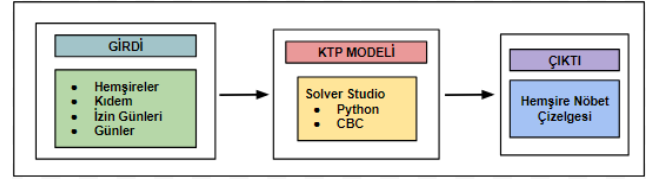
4 KDS'nin uygulanması

Literatürde KTP modelleri dâhil olmak üzere HÇP için önerilen birçok çözüm yöntemi bulunmaktadır. Buna rağmen bu çözüm yöntemlerinin son kullanıcı için uygun olabilecek bir KDS haline dönüştürülmesi çok azdır. Bu bölümde, hazırlanan KTP modelinin KDS'ye dönüşme süreci anlatılmaktadır. Ardından da İstanbul'da yer alan bir devlet hastanesinin KVC servisine ait Eylül 2019 hemşire nöbet çizelgesinin bu KDS kullanılarak hazırlanışı anlatılacaktır.

KDS'nin oluşturulması işlemi KTP'nin programlama dili ile kodlanarak çizelge oluşturulabilecek bir araç (sistem) elde edilmesidir. Amacımız kodlama veya optimizasyon bilgisi olmayan, yazılım bilgisi açısından sınırlı kapasiteye sahip sorumlu hemşirenin çizelgeyi tek bir uygulama içerisinde hızlı

bir şekilde elde edebilmesini sağlamaktır. Bu amacı gerçekleştirmek için platform olarak MS Excel uygulaması seçilmiştir. MS Excel, eklentiler sayesinde farklı araçları bir uygulama içinde kullanabilme özelliği sunmaktadır. Bu eklentilerden biri olan Solver Studio [23], modelin kodlaması ve çözdürülmesi işlemlerini aynı dosya içinde yapmaya imkân sağladığı için bu çalışmada tercih edilmiştir. Bununla birlikte Solver Studio birden fazla programlama dilinde kodlamaya imkân verir. Biz de bu programlama dillerinden biri olan Python dilini kullandık. Ayrıca Solver Studio hem açık kaynak (ör. CBC) hem de ticari (ör. Gurobi) çözücülerin kullanılmasına izin verir. Bu çözücü türlerinden hangisinin kullanılacağı projenin büyüklüğüne ve amacına göre kullanıcı tarafından seçilmektedir. Biz de hemşire nöbet çizelgesinin içerdiği değişken sayısının az olması ve KDS'nin ücretsiz olarak kullanılabilmesi için çözücü olarak CBC'yi kullandık.

Şekil 1'de, oluşturulan bu KDS'nin çalışma yapısı hakkında bilgi verilmektedir. Şekildeki girdi kısmında yer alan parametreler modelin çalıştırılması için gerekli olan bilgilerden oluşmaktadır. Bu bilgiler KTP modeli tarafından kullanılır. KTP Modeli, Solver Studio eklentisindeki Python ile kodlanır. CBC açık kaynak çözücü ile çözülür. Böylece çizelge elde edilir. Sistemin çıktısı olan bu çizelge MS Excel'de yer alan bir başka tabloya yazdırılır. Oluşturulan KDS'nin kullanımı KVC servisinin Eylül 2019 HÇP oluşturulması ile açıklanacaktır.



Şekil 1. KDS'nin çalışma yapısı.

Figure 1. Working structure of the decision support system (DSS).

Toplamda 33 hemşirenin yer aldığı KVC servisi için gerekli bilgiler Problemin Tanımı kısmında ifade edilmişti. KDS'nin çalıştırılması için gerekli olan bu bilgiler Tablo 5 ve Tablo 6'daki girdi alanı olarak tanımlanan MS Excel Çalışma Sayfasındaki tablolara girilir. Tablo 5'te yer alan tablolar hemşirelere ait bilgilerden oluşmaktadır. Bu tablolar hemşirelerin sahip olduğu izin günü sayısı, gece ya da gündüz nöbet tercihleri, çizelgesi yapılan ayın gün sayısı ve hafta sonu günleri gibi bilgileri içermektedir. Tablo 6'da ise her bir hemşire için oluşturulan ve hemşirelerin gelmek istemedikleri günlerin yer aldığı ve izin günlerine göre hemşirelerin listelendiği tablo yer almaktadır. Bu bilgiler girildikten sonra model çalıştırılmış ve elde edilen çizelge çıktı tablosuna yazdırılmıştır. Eylül 2019'a ait elde edilen nöbet çizelgesi Şekil 2'de yer almaktadır.

Tablo 5. KDS'nin girdi ekranında yer alan küme tanımlama alanları -1 (Solver Studio) Hemşire, istekler ve zaman bilgilerine ait tablolar.

Table 5. Set identification fields on the input screen of DSS -1 (Solver Studio) Tables of nurses, requests and time information.

Tüm Hemşireler	Hemşire Bilgisi						Günler			
	Kıdem			Gündüz Mesai Sayısı	Gece Mesai Sayısı	Çalışılabilir Gün Sayısı	Günler	Hafta İçi Günleri	Hafta sonu Günleri	Max. Hafta Sonu Sayısı
	Gece Kıdemli	Gündüz Kıdemli	Kıdemsiz							
N	N^1	N^2	N^3	$E_{n,1}$	$E_{n,2}$	G_n	T	T^W	T^{WE}	H_n^{max}
1	2	7	11	21	0	21	1	2	1	3
2	3	8	13	2	10	21	2	3	7	3
3	4	10	14	15	3	21	3	4	8	2
4	5	12	16	0	11	21	4	5	14	3
5	6	15	22	2	10	16	5	6	15	2

Tablo 6. KDS'nin girdi ekranında yer alan küme tanımlama alanları-2 (Solver Studio) Hemşirelerin yıllık izin ve isteklerinin girildiği alan.

Table 6. Set identification fields on the input screen of DSS -1 (Solver Studio) The table where nurses' annual permit and requests are entered.

Hemşire	Günler																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ÇARŞAF TABLO																															DS	NS	AR			
Unvan	Gün	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	DS	NS	AR		
Hemşire	1		DS	DS	DS	DS	DS			DS	DS	DS	DS			DS	DS	DS	DS	DS			DS	DS	DS	DS	DS					DS	21	0	0	
Hemşire	2		NS	NI	NS	NI		NS	NI	NS	NI		DS	DS	NS	NI		NS	NI	NS	NI			NS	NI		NS	NI	NS	NI		DS	2	10	0	
Hemşire	3			DS	DS	NS	NI				DS	DS	DS	DS		DS	DS	NS	NI	NS	NI			DS	DS			DS	DS	DS	DS	DS	14	3	0	
Hemşire	4		NS	NI		NS	NI	NS	NI		NS	NI	NS	NI	YI	YI	NS	NI	NS	NI		YI	YI	NS	NI	NS	NI		NS	NI	NS		DS	0	11	4
Hemşire	5	NS	NI	NS	NI		NS	NI	NS	NI		NS	NI	NS	NI		NS	NI			NS	NI		NS	NI	NS	NI					DS	1	10	0	
Hemşire	6	YI	YI	YI	YI	YI	YI	YI	YI	DS	DS	NS	NI		DS	DS	DS		DS	DS	NS	NI		NS	NI	NS	NI		DS	DS	DS		DS	10	3	8
Hemşire	7	YI	YI	YI	YI	YI	YI	YI	YI	DS	DS			DS	DS	DS	DS		NS	NI		NS	NI		NS	NI		DS	DS	DS	DS	DS	10	3	8	
Hemşire	8	YI	YI	YI	YI	YI	YI	YI	YI	DS	DS	DS		NS	NI	NS	NI			DS	DS	DS	DS		DS	DS	NS	NI	YI	DS	10	3	9			
Hemşire	9		DS	DS	DS		DS	DS	DS		DS	DS	NS	NI	NS	NI				DS	DS	DS	DS		DS	DS	NS	NI			DS	16	3	0		
Hemşire	10		NS	NI	NS	NI	YI	YI	NS	NI	NS	NI		NS	NI	NS	NI		NS	NI		NS	NI		NS	NI	NS	NI				DS	0	10	2	
Hemşire	11		NS	NI		DS	DS	DS			DS	DS	YI	YI	DS	DS		DS	DS	DS	DS		DS	DS	DS	DS	DS	NS	NI	NS	NI	15	3	3		
Hemşire	12	YI	NS	NI		DS	DS	NS	NI		NS	NI		NS	NI	NS	NI		DS	DS	DS		DS	DS	DS			NS	NI		NS	NI	9	6	1	
Hemşire	13	YI	YI	YI	NS	NI		NS	NI	NS	NI		NS	NI	YI	YI	YI	YI	YI	YI	YI	YI	YI	YI	NS	NI	NS	NI		NS	NI	NS	0	8	12	
Hemşire	14	DS	DS		NS	NI		DS	DS			DS	DS	NS	NI	NS	NI		NS	NI	YI	YI	DS	DS	NS	NI	NS	NI	YI	YI	YI	8	6	5		

*DS: Gündüz nöbeti, NS: Gece nöbeti, NI: Nöbet izni, YI: Yıllık izin.

Şekil 2. Elde edilen nöbet çizelgesi.

Figure 2. Obtained shift schedule.

Önerilen bu KDS'nin katkıları şu şekilde sıralanabilir. İlk olarak, sorumlu hemşirenin aylık olarak hazırladığı bu nöbet çizelgeleri, departmanın yasal kuralları, hemşire istekleri ile birlikte elde edilmeye çalışıldığı zaman oluşturulması ortalama bir gün sürmekteydi. Hazırlanan KDS ile birlikte bu işlem 1 saatten kısa bir süre de optimale %10 uzaklıkta elde edilmiştir. Ayrıca KDS ile hazırlanan nöbet çizelgesi sayesinde fazla mesaide çalışan hemşire sayısında da azalma olmuştur. İkinci olarak, peş peşe yazılan gece nöbetleri hemşirelerin sağlıklarını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle gece nöbetlerinde 3 veya daha fazla gece nöbetinin yazılmaması istenmektedir. Oluşturulan KDS sayesinde peş peşe 3 veya daha fazla gece nöbeti tutan hemşire sayısı 0'a indirilmiştir. Peş peşe gece nöbeti sayısındaki azalmaya ilaveten peş peşe tutulan toplam nöbet sayısı da KDS ile azaltılmıştır. KDS ve manuel olarak hazırlanan nöbet çizelgelerinin karşılaştırması Tablo 7'de yer almaktadır.

Tablo 7. KDS'den elde edilen sonuçların manuel olarak hazırlanan çizelge ile karşılaştırılması (Eylül -2019).

Table 7. Comparison of results of manual schedule preparation and results of DSS (September-2019).

	Manuel	KDS
Çizelgenin oluşturulma süresi	1 gün	<1 sa.
Peş peşe 3 ve daha fazla gece nöbeti tutan hemşire sayısı (Kısıt 16)	5	0
Peş peşe 5 nöbet tutan hemşire sayısı (Kısıt 18)	3	2
Mesai süresinden farklı sayıda nöbet tutan hemşire sayısı	18	17

Üçüncü olarak, hazırlanan çizelge sayesinde KVC servisinde yer alan tüm hemşirelerin istekleri (örneğin izin günleri, istedikleri nöbet türlerine göre nöbet yazılması gibi) yerine getirilmiştir. Bunun sonucu olarak da tüm hemşireler için adil bir çizelge oluşturulmuş ve sorumlu hemşirenin nöbet yazarken karşılaştığı sorunlar azalmıştır. Kısacası çalışanlar tarafından

gelen itirazların önüne geçilmiştir. Bunlara ek olarak, tüm işlemlerin tek bir dosya içinde yapılabilmesi sayesinde düzenli bir yapı oluşturulmuştur. Tüm hemşirelerin isteklerini tek tek alıp bir yerde tutmaktansa, hepsinin bir arada görülebildiği ve karışıklık yaratmayacak şekilde düzenli girdi alanları oluşturulmuştur. Düzenli bir yapının oluşturulması ve çizelge hazırlarken kullanılan kısıtların düzenli hale getirilerek bir sistem oluşturulması mevcut sistemin devamlılığının sağlanmasına olanak sağlamaktadır. Mevcut durumda sorumlu hemşire tarafından manuel olarak yapılan çizelge çoğu isteği karşılarsa da ileride yapılacak olan bir görev değişikliği sonucunda karmaşık yapıya sahip olan çizelgeleme işlemi problem oluşturabilir. Zira mevcut sorumlu hemşire uzun yıllardır bu çizelgeyi hazırlarken kendi kendine geliştirdiği bazı sezgisel çözümlerden faydalanmaktadır. Bu nedenle oldukça karmaşık sayılabilecek tüm çizelgeler tüm gününü alsa da sorumlu hemşire tarafından yapılabilmektedir. Ancak bu çizelgeleri ilk kez yapacak olan birisi için 1 günde sonuca ulaşmanın mümkün olamayacağı değerlendirilebilir. Böylece, KDS bu kişiye bağlılık durumu ortadan kaldırarak gelecekte doğabilecek bu tip problemlerin önüne geçecektir. Son olarak, mevcut sistemde kullanılan nöbet çizelge listesine göre KDS ile oluşturulan nöbet çizelgesinde çıktılar daha düzenli şekilde elde edilmektedir. Böylece kişilerin sahip olduğu nöbetler, toplam nöbet sayıları ve bir gün içinde yer alan nöbet sayıları rahatlıkla anlaşılabilir.

5 Sonuç ve gelecek çalışmalar

Bu çalışmada İstanbul'da yer alan bir devlet hastanesine ait KVC servisinin hemşire nöbet çizelgelemesi problemi ele alınmıştır. Birden fazla nöbet türünün olması (gece ve gündüz nöbetleri gibi), departman kuralları ve hemşire istekleri de dikkate alındığı zaman çizelgelerin elle oluşturulması oldukça zordur. Bu nedenle çizelgelerin oluşturulması uzun sürmektedir. Elde edilen sonuçlar ise çoğu zaman tatmin edici olmamaktadır. Tüm bu süreci otomatik hale getirecek bir yazılım mevcut değildir. Bu konular üzerinde yapılan akademik

çalışmalar da teorik model olarak kalmaktadır ve sürdürülebilirliği maalesef yoktur. Bu çalışmada, çizelge hazırlarken karşılaşılan bu zorlukları elimine ederek tüm taraflar açısından en uygun nöbet çizelgesinin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amacı yerine getirmek için öncelikle problem bir KTP olarak modellenmiştir. Daha sonra bu model MS Excel'in sahip olduğu Solver Studio eklentisi kullanılarak Python'da kodlanarak bir KDS hazırlanmıştır. Modelde kullanılacak gerekli bilgilerin alınması ve sonuçların gösterilmesi için girdi ve çıktı alanları oluşturulmuştur. Girdi alanları sorumlu hemşire tarafından aylık olarak girilen ve hemşirelere ait bilgilerden oluşmaktadır. Çıktı alanlarında yer alan bilgiler ise açık kaynak çözücü olan CBC'den gelen sonuçları göstermektedir. Oluşturulan bu KDS sayesinde yazılım bilgisi sınırlı olan bir kişi (özellikle sorumlu hemşire) kısa sürede sonuç elde edebilir. Departman için oluşturulan Eylül 2019 hemşire nöbet çizelgesi de bu sayede optimalden %10 uzak olacak şekilde 1 sa. kısa bir sürede hazırlanabildiği görülmüştür. Oluşturulan bu çizelge ile hemşirelerin isteklerini sağlayan ve tüm departman kurallarını yerine getiren bir çizelge elde edilmiştir.

Sonuç olarak, KDS sayesinde sorumlu hemşire gibi son kullanıcıların nöbet çizelgelerini hızlı bir şekilde elde edebileceği bir sistem oluşturulmuştur. Benzer nöbet yapısına sahip olan başka departman ve hastanelerin de kullanabileceği bu sistem, kullanılan açık kaynak çözücü sayesinde hastanelere maliyet oluşturmadan çalışmaktadır. Bundan sonraki çalışmalarda geliştirilen bu KDS, Türkiye'de yer alan hastanelerin genelinde kullanılabilecek yapıya rahatlıkla dönüştürülebilir. Bir sonraki adımda ise tüm süreç web tabanlı bir uygulamaya haline getirilebilir. Böylece her hastane için ayrı çizelge ve dosyalar hazırlamak yerine tek bir internet adresi üzerinden çevrimiçi çizelgeler hazırlanabilir.

6 Conclusion and future works

In this study, nurse shift scheduling problem of the Cardiovascular Surgery (CS) service of a public hospital in Istanbul is addressed. It is quite difficult to create the schedules manually when there are more than one type of shift (such as day and night duties), department rules and nurses' requests. Therefore, it takes a long time to create the schedules. For this reason, the obtained results are often not satisfactory. There is no software to automate this entire process. Academic studies on these subjects, on the other hand, remain the theoretical model and unfortunately their sustainability is not available. In this study, it was aimed to create the most appropriate shift schedule for all participants by eliminating these difficulties encountered while preparing the schedule. To fulfill this aim, the problem is modeled as a mixed integer programming model (MIP). Then, this model is coded in Solver Studio, which is the add-in of MS Excel, by using Python programming language. Input and output fields are defined to get the necessary information to be used in the model and to show the results. The input fields consist of information about the nurses entered monthly by the responsible nurse. The information in the output fields illustrates the obtained results by using the open-source solver, CBC. Through this decision support system (DSS), a person, who has basic computer knowledge (especially the responsible nurse) can obtain results in a short time. In this way, the nurse shift schedule for September 2019, which was created for the CS department, was prepared in less than 1 hour, 10% away from the optimal.

As a result, through the DSS, a system has been created in which end-users such as responsible nurses can obtain shift schedules quickly. Through the open-source solver, this system, which can be used by other departments and hospitals with a similar shift schedule structure, works for hospitals without any cost. In future studies, the obtained DSS can be easily converted into a system that can be used in the majority of hospitals in Turkey. In the next step, the whole process can be turned into a web-based application. Thus, instead of preparing separate schedules and files for each hospital, online schedules can be prepared through a single internet address.

7 Kaynaklar

- [1] Yeşilççek Çalık K, Aktaş S, Kobyay Bulut H, Özdaş Anahar E. "Vardiyalı ve nöbet sistemi şeklindeki çalışma düzeninin hemşireler üzerine etkisi". *Sağlık Bilimleri ve Meslek Dergisi*, 2(1), 33-45, 2015.
- [2] Miller HE, Pierskalla WP, Rath GJ. "Nurse Scheduling Using Mathematical Programming". *Operations Research*, 24(5), 857-870, 1976.
- [3] Burke EK, Cowling P, De Causmaecker P, Berghe GV. "A memetic approach to the nurse rostering problem". *Applied Intelligence*, 15(3), 199-214, 2001.
- [4] Aickelin U, White P. "Bulding better nurse scheduling algorithms". *Annals of Operations Research*, 128(4), 159-177, 2004.
- [5] Aickelin U, Downsland KA. "An indirect genetic algorithm for a nurse scheduling problem". *Computers & Operations Research*, 31(5), 761-778, 2004.
- [6] Bard JF, Purnomo HW. "Preference scheduling for nurses using column generation". *European Journal of Operational Research*, 164(2), 510-534, 2005.
- [7] Trilling L, Guinet A, Le Magny D. "Nurse scheduling using integer linear programming and constraint programming". *IFAC Proceedings Volumes*, 39(3), 671-676, 2006.
- [8] Burke EK, Li J, Qu R. "A pareto-based search methodology for multi-objective nurse scheduling". *Annals of Operations Research*, 196(1), 91-109, 2012.
- [9] Constantino AA, Landa-Silva D, de Melo EL, de Mendonça CFX, Rizzato DB, Romão W. "A heuristic algorithm based on multi assignment procedures for nurse scheduling". *Annals of Operations Research*, 218(1), 165-183, 2014.
- [10] Kim SJ, Ko YW, Uhm S, Kim J. "Problem, a strategy to improve performance of genetic algorithm for nurse scheduling". *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, 8(1), 53-62, 2014.
- [11] Legrain A, Bouarab H, Lahrichi N. "The nurse scheduling problem in real-life". *Journal of Medical Systems*, 39(1), 1-11, 2015.
- [12] Atmaca E, Pehlivan C, Aydoğdu CB, Yakıcı M. "Hemşire çizelgeleme problemi". *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(4), 351-358, 2012.
- [13] Bağ N, Özdemir NM, Eren T. "0-1 hedef programlama ve anp yöntemi ile hemşire çizelgeleme problemi çözümü". *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 4(1), 2-6, 2012.
- [14] Öztürkoglu Y, Çalışkan F. "Hemşire çizelgelemede esnek vardiyalı planlaması ve hastane uygulaması". *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 16(1), 115-133, 2014.
- [15] Karayel SD, Atmaca E. "Özel bir hastane için hemşire çizelgeleme problemi". *Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(2), 112-132, 2017.

- [16] Uslu B, Bedir N, Gür Ş, Eren T. "0-1 hedef programlama yöntemi kullanılarak hemşire çizelgeleme probleminin çözümü". *Sağlık Akademisi Kastamonu*, 3(2), 1-23, 2018.
- [17] Eren T, Şahiner M, Aktürk MS, Bedir N, Ünlüsoy S. "Hemşire çizelgeleme için model önerisi: örnek uygulama". *Trakya Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(2), 62-77, 2017.
- [18] Varlı E, Eren T. "Hemşire çizelgeleme problemi ve hastanede bir uygulama". *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 5(1), 34-40, 2017.
- [19] Eren T, Varlı M, Aktürk S. "Tam gün vardiyalı ve özel izin istekli hemşire çizelgeleme probleminin hedef programlama ile çözümü". *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(2), 1-16, 2017.
- [20] Güngör İ. "Hemşire görevlendirme ve çizelgeleme sorununa bir model önerisi". *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi*, 7(2), 77-94, 2002.
- [21] Ernst AT, Jiang H, Krishnamoorthy M, Owens B, Sier D. "An annotated bibliography of personnel scheduling and rostering". *Annals of Operations Research*, 127(1-4), 21-144, 2004.
- [22] Özkarahan İ. "A flexible nurse scheduling support system". *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 30(2-3), 145-153, 1989.
- [23] Solver Studio. "About Solver Studio" <https://solverstudio.org/> (01.11.2018).