

GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

Stochastic Goal Programming for the Nurse Scheduling Problem with Uncertain Demand

Seyit Hamza Cavga^a, Nezir Aydın^b

Submitted: 31.03.2023 Revised: 30.10.2023 Accepted: 17.11.2023 doi:10.30855/gmbd.0705082

ABSTRACT

Keywords: Shift scheduling, goal programming, stochastic modeling

^a Istanbul Gelisim University,
Vocational School of Health Services,
Dept. of Biomedical Device Technology
34310 - İstanbul, Türkiye
Orcid: 0000-0001-6784-5698
e mail: shcavga@gelisim.edu.tr

^b Yıldız Technical University,
Machine Faculty,
Dept. of Industrial Engineering
34349 - İstanbul, Türkiye
Orcid: 0000-0003-3621-0619

*Corresponding author:
shcavga@gelisim.edu.tr

Shift scheduling, which has a direct impact on the productivity of enterprises, is a problem that should always be considered. On the basis of the problem, it is aimed to assign people to shifts according to their competencies, to have a fair distribution of overtime expected from each other and to have minimum deviation from each other. In this study, nurse scheduling chose for the assignment problem. In determining the constraints, the mandatory situations determined by the law, the needs determined by the hospital, the competencies/responsibilities of the employees and annual leave situations taken into consideration. Goal programming has been used in order to achieve multiple goals that may conflict with each other, where all the constraints are met, with minimum deviation. In addition, stochastic parameters were added to the model in order to respond to the demands in different scenarios based on probabilistic real-life data. In the content of the selected problem, a modeling that provides fair distribution by providing the necessary constraints for twenty-eight nurses with different competencies working in two different units and can provide the appropriate response to uncertainty situations has been made. The model was solved by using mixed integer programming (MIP) with GAMS program.

Belirsiz Taleplerle Hemşire Çizelgeleme Problemi için Stokastik Hedef Programlama

ÖZ

İşletmelerin verimliliklerine direkt etkili olan vardiya çizelgeleme daima göz önünde bulundurulması gereken bir problemdir. Problemin temelinde kişilerin yetkinliklerine göre vardiyalara atanması, kişilerden beklenen mesailerin birbirinden minimum sapmada olması ve adil bir dağıtım olması amaçlanmaktadır. Bu çalışmada vardiya çizelgeleme probleminin modellenmesi için atama problemi türlerinden sıklıkla kullanılan hemşire çizelgeleme alanı seçilmiştir. Kısıtların belirlenmesinde yasaların belirlediği zorunlu durumlar, hastanenin belirlediği ihtiyaçlar, çalışanların yetkinlik/sorumlulukları ve izin durumları göz önünde bulundurulmuştur. Bunun yanında adil bir çizelgeleme olması için personellerin vardiyalara eşit dağıtımın sağlanması ve izin günlerinin mümkün olduğunda art arda olması hedeflenmiştir. Tüm kısıtların sağlandığı ve birden fazla sayıdaki birbiriyle çelişebilecek hedeflerin minimum sapma ile gerçekleştirilebilmesi için hedef programlamadan yararlanılmıştır. Bunların yanında gerçek hayat verileri içeren olasılık temelli farklı senaryolardaki taleplere cevap verilebilmesi için stokastik parametreler de modele eklenmiştir. Seçilen problemin içeriğinde iki farklı birimde çalışan farklı yetkinlikteki yirmi sekiz hemşire için gerekli kısıtları sağlayarak adil dağıtımı sağlayan ve belirsizlik durumlarına uygun cevabı verebilecek bir modelleme yapılmıştır. Kurulan model, GAMS programı ile stokastik karma tam sayılı hedef programlama (MIP) kullanılarak çözüm aranmıştır.

Anahtar Kelimeler: Vardiya çizelgeleme, hedef programlama, stokastik modelleme

1. Giriş (Introduction)

Vardiya çizelgeleme personel veya iş gücü çizelgelemenin bir alt dalıdır. Tanım olarak; belirli periyotta yasal, sosyal ve organizasyonel kısıtlar altında iş gücü ile işlerin karşılanması sağlayan atama planının yapılmasıdır [1]. Personellere uygun olan atamaların yapılması için personel tercihleri ve yeterlilikleri, işin gereklilikleri gibi pek çok kriter kullanılmaktadır. Bu sebeple de analitik yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Doğru planlamanın yapılması sağlanarak personel verimi, dolayısıyla işin/hizmetin verimi artırılıp ve müşteri ihtiyaçları daha hızlı ve kaliteli şekilde karşılanabilmektedir [2].

Doğrusal programlama modellerinde bir amaç fonksiyonu belirlenerek bu optimize edilmeye çalışılmaktadır. Ancak idealize edilmemiş problemlerde birbiri ile çelişen ve birden fazla amaç fonksiyonunun kullanılması gereken durumlar oluşabilmektedir. Bu ihtiyaca hedef programlama cevap vermektedir. Hedef programlama ile bir ya da daha fazla amacı içeren problemler, hedeflerden sapmaları minimize edecek kısıtları amaç edinerek çözülebilmektedir [3].

Çalışmamızda; yasal kısıtlar, karar vericilerin sürekli ve değişken ihtiyaçları, çalışanların adaletli vardiya çizelgelenmesi probleminin optimize edilmesi amaçlanmıştır. Adil dağıtım için hedef programlama, değişken durumlara göre optimizasyon yapılması için de stokastik programlama kullanılmıştır. Bu iki yapının birlikte kullanılması bu çalışmanın özgün yönünü oluşturmaktadır.

2. Materyal ve Metot (Material and Method)

Çalışmada vardiyalama problemi için birden fazla amaç göz önünde bulundurularak çözüm aranması durumu incelenmiştir. Vardiyalama için zorunlu kısıtların yanında adil dağılımın da sağlanması için hedef programlama metodu kullanılmıştır. Bununla birlikte çizelgelemenin gerekliliklerinde rastlantısal olarak değişen durumlar söz konusu olduğundan stokastik programlama metodundan da faydalanılmıştır. Her iki metot da birçok çalışmada farklı problemlerin çözümünde kullanılmıştır. Çalışmada iki metodun birlikte kullanılmasıyla elde edilen hibrit yapı sayesinde gerçek hayat problemlerinin belirsizliği ve birden fazla amaç güdülmesi gereken problemlerin daha doğru ve optimal çözülmesi amaçlanmıştır.

Hedef programlama yönteminin temelleri 1955 yılında Charles ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmaya dayanmaktadır. Doğrusal programlama modellerinde tek bir amaç kullanılmaktadır fakat ideal olmayan veya gerçek hayat problemlerinde birçok amacın göz önünde bulundurularak çözüm aranması gerekmektedir. Hedef programlama bu ihtiyaca çözüm sunmak için geliştirilmiştir. Bu yöntemde problemin gerekliliklerine göre hazırlanmış amaç fonksiyonundaki ağırlık ve öncelikler ile birbiriyle çelişen hedeflerden sapmaların minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Hedef programlama modelinin kısıtlarında, herhangi bir şekilde ihlalin istenmediği durumlar modellenerek hedeflerin minimum sapma ile karşılanması sağlanır. Modellerin çözümlerinde doğrusal programla teknikleri kullanılır. Modelin matematiksel gösterim aşağıdaki eşitlik (1 a-c)' de paylaşılmıştır [4].

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^t d_i^+ + d_i^- \quad (1a)$$

$$\sum_{j=1}^n W_{ij} * X_j - d_i^+ + d_i^- = k_i \quad (1b)$$

$$X_j, d_i^+, d_i^- \geq 0 \quad i = 1 \dots t \quad j = 1 \dots n \quad (1c)$$

Yukarıdaki denklemlerdeki değişkenlerin anlamları şöyledir;

X_j ; i . karar değişkenini,
 W_{ij} ; i . hedefin j . karar değişkeni katsayısını,
 k_i ; i . hedef için ulaşılmak istenen değeri,
 d_i^+ ; i . hedefin pozitif yönlü sapma değişkeni,
 d_i^- ; i . hedefin negatif yönlü sapma değişkeni,

Bu çalışmada hedeflerden minimum sapmanın gerçekleştirilebilmesi için kullanılan matematiksel model 2.4. bölümdeki problem çözümünde açıklanmıştır.

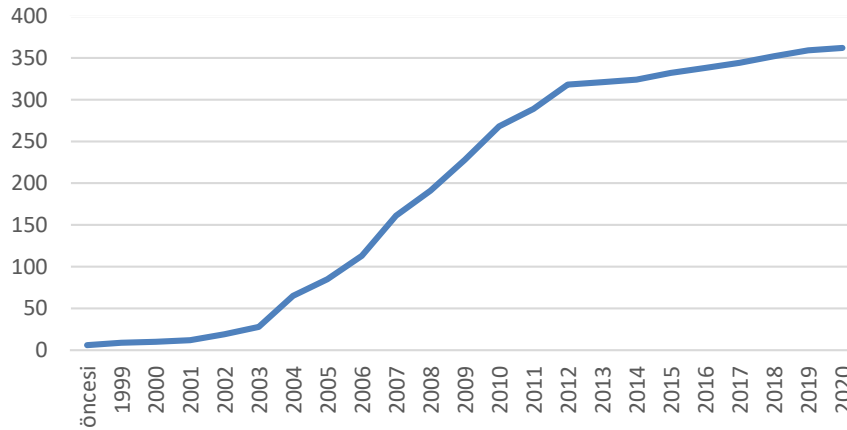
Matematiksel programlamanın bir diğer dalı olan stokastik programlamadaki modellerde,

parametrelerin rassal değişkenlerle tanımlandığı durumlara optimal çözüm aranır. Bu yöntem, parametrelerin belirlenmesinin zor olduğu veya gerçek hayat problemlerinde sıklıkla kullanılır. Stokastik programlamanın temelinde 3 yaklaşım vardır. Bunlar; probabilistik, çok aşamalı ve senaryo tabanlı yaklaşımdır.

Probabilistik veya diğer adıyla şans kısıtlı yaklaşımda, olaylar veya şartlarla ilgili belirsizlikler gerçekleşme olasılıklarıyla birlikte kısıta eklenir. Bu durum konveks olmayan kısıtlar kümesiyle karşılaşılmasına neden olabilir ki bu durumda çözüm oldukça zor bir hal almaktadır. Çok aşamalı veya diğer adıyla telafi yaklaşımında, gelecekteki bir durumun modellenmesi amaçlanır. Bu tip durumlar rassal olaylar kümesini gerçekleşmesinden sonra süreç hakkında bilgi alınmasını da içermektedir. Gözlemlenen çıktı grubu için bir yanıt modellenmeye çalışılır. Rassal çıktılar gözlemlenmeden önce proaktif olan birinci aşama kararlarıyla eşleştirilen çıktılara dayalı kararlar, reaktif kararlar veya ikinci aşama kararlar olarak adlandırılır. Bu tür problemlerdeki temel güçlük telafi (ikinci aşama) fonksiyonunun beklenen değerinin hesaplanmasında çok boyutlu integral hesabı gerekmesidir. Daha da zor olanı, ayrıık rassal değişken içeren stokastik programlama modellerinde söz konusu fonksiyon diferansiyellenememektedir. Son yaklaşım türü stokastik problemin çözümünde senaryo tabanlı analizi içeren yaklaşımdır. Senaryo kökeni, bilinen ayrıık bir olasılık dağılımından, sınırlı örnek bilgisinden, bazı yaklaşım tiplerinden ya da bir uzman fikrine dayandırılan olasılıksal önceki analizlerden elde edilebilir. Senaryo yaklaşımında ikiden fazla senaryo oluşabilmektedir [5].

2.1. Literatür taraması (Literature review)

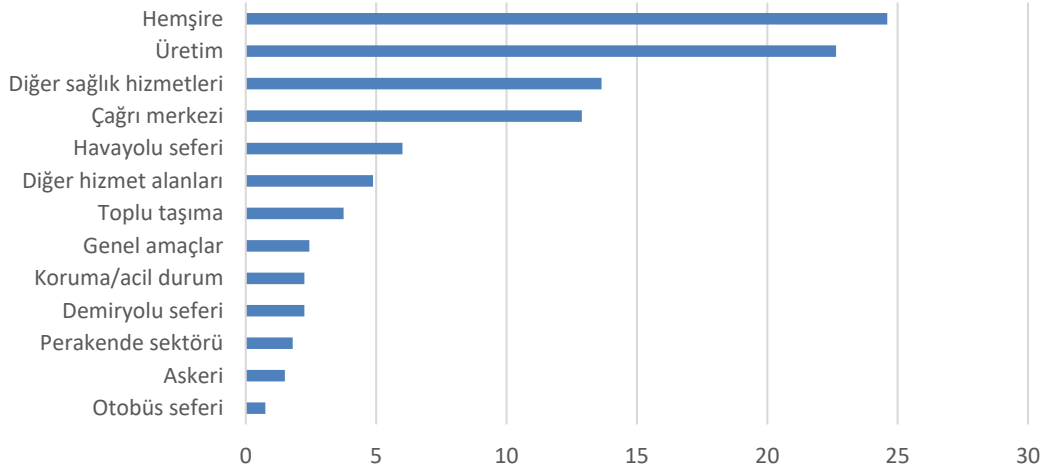
Vardiya çizelgeleme çalışmaları; kamu kurumları, turizm, otelcilik, ulaşım, çağrı merkezleri, askeri sistemler ve hastanecilik gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Bu problemlerin çözümünde sezgisel yöntemlerden, matematiksel modellerden veya farklı hibrit modellerden faydalanılabilir. Personel çizelgeleme problemleri yıllar içinde güncelliğini korumuştur ve bu alandaki çalışmalara olan ihtiyaç artmıştır. Bu sebeple literatürde sıklıkla çalışılmaktadır. Şekil 1'de bu alandaki çalışmaların sayıları paylaşılmıştır [6].



Şekil 1. Personel çizelgeleme çalışmalarında yıllara göre kümülatif dağılım (Cumulative distribution by years in personnel scheduling studies) [6]

Personel çizelgeleme problemleri farklı uygulama alanlarını içermektedir. Bu alandaki çalışmalar şekil 2'de yüzdelerle dağılımlarıyla birlikte paylaşılmıştır.

Vardiya çizelgeleme problemi çözümü amaçlayan bir çalışmada, stajyer doktorların onkoloji ve hematoloji bölümlerine dengeli şekilde dağıtımını sağlayan 7 kısıttan oluşan matematiksel model kurulmuştur [7]. Tayvan'daki bir mağazada müşteri hizmetleri bölümündeki çalışanlar için ekip çizelgeleme yapılmıştır. Müşterilerle ilgilenme süresi için bulanık mantık kullanılmış ve çözüm hedef programlama ile yapılmıştır [8]. Hemşirelerin farklı mesai saatlerine göre 11 personelin 3 vardiyada çizelgenmesinin modellendiği bir çalışmada 11 farklı kısıt ile dengeli çalışma süresinin sağlanması için hedef programlama kullanılmıştır [9]. Farklı kliniklerde çalışan stajyer doktorların tecrübe seviyeleri göz önünde bulundurularak, karışık tam sayılı matematiksel modelleme yapılmıştır [10].



Şekil 2. Personel çizelgeleme uygulama alanları (Personnel scheduling application areas) [6]

Türkiye’de bir devlet hastanesindeki 11 hemşire ve 4 sağlık memurunun üroloji ve kulak burun boğaz servislerinde 3 vardiya için çizelgenmesi operasyonel kısıtlara göre ağırlıklı hedef programlama kullanılarak çözülmüştür. Ağırlıkların bulunması için analitik ağ prosesi yöntemi kullanılmıştır [11]. Hemşire çizelgenmesi problemi için mesai saatlerinin başlangıçlarında ve farklı çalışma/mola seçenekleriyle esneklik sağlayan 0-1 tam sayılı programlama ile çözüm sunulmuştur [12]. 3 vardiyada üretim yapan bir firmada çalışan şeflerin kıdem seviyelerine göre vardiya ihtiyaçlarına göre çalışmalarının çizelgenmesini yapan sistemde analitik hiyerarşik prosesi ve hedef programlama kullanılarak modelleme yapılmıştır [13]. Hastanenin yönetsel/operasyonel kararları, değişken ve sabit koşullar dikkate alınarak 0-1 tam sayılı modelde 4 haftalık periyot için çalışan çizelgelemesi yapılmıştır [14]. Çalışan memnuniyetini maksimum seviyede tutmaya çalışan bir modelde hemşirelerin vardiya ve izin günü tercihleri göz önünde bulundurularak çalışılmıştır. Tam sayılı programlama ve genetik algoritma kullanılarak iki model oluşturulup sonuçlar incelenmiştir [15].

Vardiyalama problemi gerçek hayat verileriyle düzeltilmeden çalışıldığında belirsiz durumlarla karşılaşabilmektedir. Bu durumda farklı senaryoların gerekliliklerine cevap verebilecek modeller oluşturulmalıdır. Sürekli çalışan ve değişken durumda ihtiyaca cevap verebilecek şekilde icapçı çalışan olarak iki hemşire grubunun çalışmasını programlamak için çok amaçlı sezgisel yaklaşım önerilmiştir. Çalışmanın önerdiği model CPLEX kullanılarak çözümlenerek, manuel ve matematiksel modelden elde edilen çözümlerle; eşitlik, kısıtların sağlanması, eşitlik, çalışan tercihlerin karşılanması, alternatif vardiya sayısı ve ergonomi başlıkları kistas kabul edilerek karşılaştırılmıştır [16]. Hemşire taleplerini göz önünde bulundurarak makul seviyede talep ettikleri vardiyada çalışmasını sağlayıp, fazla mesainin en küçüklenmeye çalışıldığı modelde, bu belirsizliklere göre çizelgeleme yapılmıştır. Çözüm için 4 farklı bulanık mantık yaklaşım türü kullanılmıştır; minimum, ağırlıklı ortalama, bulanık ve operatör yaklaşımı, iki fazlı yaklaşım [17].

Ortalama yaklaşım yöntemi kullanılarak oluşturulan modelde, hemşire ihtiyacındaki, hemşirelerin tercihlerindeki, hasta sayılarındaki, hastaların kalma süreleri ve beklenmeyen durumdaki belirsizlikler göz önünde bulundurularak maliyeti en küçüklemeye çalışılmıştır [18]. 2 farklı birimdeki 3 vardiyada çalışması planlanan hemşireler için hedef programlama kullanılarak çizelgeleme yapılmıştır [19]. İlk adımında Augmecon2 adlı epsilon tekniği kullanılarak oluşturulan çok amaçlı matematiksel model ile ikinci adımda oluşturulan planlayıcı ve yönetimin belirlediği parametreler ile çizelgeleme yapılmıştır [20]. Organizasyonel kısıtlamalar ve genel kabul görmüş kurallara ek olarak hemşire tercihleri, izin talepleri ve hemşire hasta oranı kullanılarak hazırlanan model çok amaçlı karma tam sayılı hedef programlama ile çözülmüştür [21]. Bir hastanenin acil bölümündeki hemşirelerin mesai süresi ve iş yüklerinin adil şekilde dağıtılması için üç farklı gruba ayrılan hemşireler yönetimin ve hemşire taleplerinin doğrultusunda mesai ücretlerinin en küçüklenmesi amaç edinilerek çizelgelendirilmiştir [22].

Bir çizelgeleme probleminde; doğumhanedeki çalışanlar hemşire, yarı zamanlı çalışan özel durumlarda kullanılan çalışan olarak gruplandırıp, çalışma günlerini normal, icapçı ve izin günü olarak düzenlenmiştir. Modelin amacı bir bölümdeki eksikliğin diğer bölümlerden tamamlanmasını en aza

indirmektir. Çalışmada ayrıca periyodun sonunda iş yükü hesaplanmakta ve bu bilgi diğer periyodun girdisi olmaktadır, bununla modele dinamik bir yapı kazandırılmıştır [23]. Personel ihtiyacının belirsizliği durumu için iki aşamalı stokastik bir çözüm yolu izlenen modelde, birinci aşamada personel atamaları yapıp ikinci aşamada ise yeni talep bilgilerine göre beklenti dışı (non-anticipativity) kriterine göre karar değişkenleri düzenlenmiştir [24]. Bir sağlık hizmet sağlayıcısının filyasyon ekibi personellerinin hedef programlama ile modeli kurulmuştur. Model GAMS paket programı kullanılarak CPLEX çözücü ile başarılı şekilde çözülmüştür [25]. Türkiye'deki bir devlet hastanesinin çocuk acil departmanındaki çalışanlar için yapılan çizelgeleme çalışmasında, 20 hemşire için 2 aylık periyotta, tam sayılı hedef programlama ile dinamik modelleme yapılmıştır. Modelin çözümünde GAMS programı aracılığıyla Gurobi çözücü kullanılmıştır. [26].

Literatür taramasında da görüldüğü gibi ilgilenilen vardiya çizelgeleme (hemşire çizelgeleme) probleminin için pek çok model denenmiştir. Yukarıda incelenen tam sayılı veya karışık sayılı doğrusal programlama, hedef programlama gibi modellere ek olarak yapay zekâ teknikleri [27-29] veya genetik algoritma [30-32], tabu arama [32-34] vs. gibi sezgisel yaklaşımlar ile oluşturulmuş modeller de mevcuttur.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde vardiyalama çizelgeleme için yapılan birçok çalışma olduğu görülmektedir. Bu problemin farklı tipleri için farklı çözüm yöntemleri denenmiştir. İhtiyaçlar ve kaynaklar farklı olduğundan her çözüm probleme özel kısıtlar gerektirmektedir. Bu çalışmada ele alınan problemin literatürdekilerden farkı hem adil dağılım hem de belirsizlik içeren durumlara da cevap verebilecek şekilde çizelgeleme istenmesidir. Bu problemin çözümünde; adil dağılımın sağlanması için hedef programlama, belirsizlik içeren senaryolar için de stokastik programlama kullanılmıştır. Çalışma bu yönüyle literatürden ayrılmaktadır.

2.2. Problemin tanımlanması (Defining the problem)

Bir hastane artan talebi karşılamak için yeni bir hizmet binası açmıştır. Poliklinikleri büyüterek veya sayısını artırarak hasta talebine cevap vermeye çalışmıştır. Fakat bu durum ameliyathane çalışanlarının vardiya dağıtımında sıkıntılara yol açmıştır. Hali hazırda yapılan sistemde ameliyathane sorumlu hemşireleri fazladan mesai harcayarak hemşirelerini vardiyalara dağıtmakta ve bu durum da hemşireler adaletili dağıtılmadığını iddia etmektedir. Bu soruna çözüm bulabilmek adına vardiya dağıtımının matematiksel modelleme ile düzenlenmesi istenmektedir. Gerekli kısıtlar aşağıdaki gibi bildirilmiştir;

- Haftalık çalışma saati 45 saattir.
- Günlük hemşire ihtiyacı kesinlikle karşılanmalıdır. Hemşire ihtiyaçları için literatürdeki bir çalışma seçilmiştir [19].
- Her bir hemşire bir günde yalnızca tek vardiyada (vardiya detayları Tablo 1 ve Tablo 2'de paylaşılmıştır) çalışabilir.
- Tam vardiyada çalışan hemşire vardiya bitiminden itibaren 48 saat izinli olmak zorundadır.
- Hemşireler her bir hafta sonunda en fazla bir gün çalışmalıdırlar.
- Aml1 ve Aml2 ameliyathane sorumlu hemşireleri sadece hafta içi sabah vardiyalarında çalışmalıdırlar (Aml: Ameliyathanenin kısaltmasıdır. Modelde 1. ve 2. hemşireler sorumlu hemşirelerdir).
- 3 no'lu hemşire 15-22 günlerinde yıllık izinlidir (Ay pazartesi ile başlayacak ve 4 hafta sürecektir)
- 4,5,6 no'lu hemşireler sadece Aml1 ve 7,8 no'lu hemşireler sadece Aml2 ameliyathanelerinde çalışacaktır (Demirbaş hemşiresi olduklarından envanter hakimiyetleri olması istenmektedir).
- Tam ve gece vardiyasında minimum sayıda hemşire çalışmalıdır.

Hemşireler şu an ki vardiya programlarının adaletli olmadığını iddia ettiğinden bu modele aşağıdaki kısıtlar eklenmelidir;

- Tam vardiya atamaları eşit olmalı.
- Gece vardiya atamaları eşit olmalı.
- Toplam vardiya atamaları eşit olmalı.

Bu kısıtlar dışında hastane bazı hafta sonları Aml1 ameliyathanesini dışarıdan gelen saç ekimi veya estetik operasyonları gibi küçük işlerde de ameliyathane malzemesi ve hemşire desteği vermektedir.

Bu işlem süreklilik arz etmediğinden programda aksamalara yol açmaması için dışarıdan hemşire alınabilmektedir. Bu olayın gerçekleşme olasılığını %50 ve gerekebilecek hemşire sayısının 5 artabildiğini bildirmiştir.

2.3. Problemin çözümü (Solution of the problem)

Problem; tam sayılı hedef programlama stokastik parametrelerle desteklenerek modelleme kullanılmıştır. Çözümün matematiksel modeli aşağıdaki gibidir. Çözümde kullanılan GAMS programı için hazırlanan kod Ek1.'de paylaşılmıştır.

- İndisler, Sabitler ve Parametreler

a : İlgili bölümde çalışan toplam hemşire sayısı $a = 28$

b : Gün sayısı (4 hafta) $b = 28$

c : Vardiya sayısı (sabah, tam, gece) $c = 3$

d : Bölüm sayısı (aml1, aml2) $d = 2$

i : Hemşire indisi $i = 1, 2, \dots, a$

j : Gün indisi $j = 1, 2 \dots b$

k : Vardiya indisi $k = 1, 2 \dots c$

l : Bölüm indisi $l = 1, 2 \dots d$

$|C_t|$ = Toplam tam vardiya atama sayısı; maks 3, min 2 (toplam tam vardiyası sayısı / sorumlular hariç toplam hemşire sayısı)

$|C_g|$ = Toplam gece vardiya atama sayısı; maks 5, min 4 (toplam gece vardiyası sayısı / sorumlular hariç toplam hemşire sayısı)

T = Toplam atama sayısı; 13 (toplam vardiya sayısı / toplam hemşire sayısı)

X_c = Hastane çalışanı olan hemşirenin maliyeti; 1

Q_c = Dışarıdan çağırılan hemşirenin maliyeti; 1

W_k = k . vardiyanın çalışma süresi; sabah 8, tam 16, gece 8

P_{1jk} = 1. senaryoda Aml1'in j . gün k . vardiyada gerekli hemşire sayısı

P_{2jk} = 2. senaryoda Aml1'in j . Gün k . vardiyada gerekli hemşire sayısı

r_{jk} = Aml2'nin j . gün k . vardiyada gerekli hemşire sayısı

$Q_{P(s)}$ = Senaryolar için ek operasyon yapılma ihtimali; 1. senaryo (S_1) 0,5; 2. senaryo (S_2) 0,5

Tablo 1. Günlük hemşire ihtiyaçları (Daily nurse needs)

Günler	Vardiyalar					
	Aml1			Aml2		
	Sabah	Tam	Gece	Sabah	Tam	Gece
Pazartesi	3	1	2	3	1	2
Salı	3	1	2	3	1	2
Çarşamba	3	1	2	3	1	2
Perşembe	3	1	2	3	1	2
Cuma	3	1	2	3	1	2
Cumartesi	2 (S_2+3)	2	2	2	2	2
Pazar	2 (S_2+3)	2	2	2	2	2

Tablo 2. Vardiya saat ve süreleri (Shift hours and times)

Vardiyalar	Saatler	Toplam Süre
Sabah	08:00 - 16:00	8 saat
Tam	20:00 - 12:00	16 saat
Gece	16:00 - 00:00	8 saat

- Karar değişkenleri

X_{ijkl} = Hastanedeki i . hemşire, j . gün, k . vardiya, l . bölüme atanırsa '1', aksi durumda '0'

$Q_j = j.$ gün dışarıdan çağırılan hemşire sayısı
 $|M_i|$: Gece vardiya atamaları sapma değişkeni
 $|N_i|$: Tam vardiya atamaları sapma değişkeni
 $|Y_{ij}|$: Hemşirelere verilen izinlerin sapma değişkeni
 $|Z_i|$: Toplam vardiya atamaları sapma değişkeni

- Kısıtlar

Bu bölümde problemin tanımlanması bölümünde açıklanan kısıtların modelleri ve gerekçeleri paylaşılmıştır.

$$\sum_{j=1}^7 W_1 * X_{ij1l} + W_2 * X_{ij2l} + W_3 * X_{ij3l} \leq 45 \quad \forall i, l \quad (2a)$$

$$\sum_{j=8}^{14} W_1 * X_{ij1l} + W_2 * X_{ij2l} + W_3 * X_{ij3l} \leq 45 \quad \forall i, l \quad (2b)$$

$$\sum_{j=15}^{21} W_1 * X_{ij1l} + W_2 * X_{ij2l} + W_3 * X_{ij3l} \leq 45 \quad \forall i, l \quad (2c)$$

$$\sum_{j=22}^{28} W_1 * X_{ij1l} + W_2 * X_{ij2l} + W_3 * X_{ij3l} \leq 45 \quad \forall i, l \quad (2d)$$

Eşitlik (2 a-d) ile her bir hemşirenin yasal limit olan haftalık 45 saat çalışma limitini aşmaması sağlanmıştır.

$$\sum_{i=1}^a X_{ijk1} = p1_{jk} \quad \forall j, k = 2,3 \quad (3a)$$

$$\sum_{i=1}^a X_{ijk2} = r_{jk} \quad \forall j, k \quad (3b)$$

$$\sum_{i=1}^a X_{ij11} + Q_j = p2_{j1} \quad \forall j \quad (3c)$$

Eşitlik (3 a-c) ile kurumun olası tüm durumlar için ihtiyaç duyduğu hemşire sayısının karşılanması sağlanmıştır.

$$\sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d X_{ijkl} \leq 1 \quad \forall i, j \quad (4)$$

Eşitlik (4) ile her bir hemşirenin çalıştığı her bir gün için yalnızca bir vardiyada çalışması sağlanmıştır.

$$\sum_{l=1}^d X_{ij2l} + X_{i(j+1)1l} + X_{i(j+1)3l} + X_{i(j+2)1l} + X_{i(j+2)2l} + X_{i(j+2)3l} \leq 1 \quad \forall i; j = 1, 2, \dots, (b-2) \quad (5)$$

Eşitlik (5) ile tam vardiyada çalışan hemşirelerin mesai bitiminden itibaren 48 saat izinli olması sağlanmıştır.

$$\sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d X_{i6kl} + X_{i7kl} \leq 1 \quad \forall i \quad (6a)$$

$$\sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d X_{i13kl} + X_{i14l} \leq 1 \quad \forall i \quad (6b)$$

$$\sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d X_{i20kl} + X_{i21l} \leq 1 \quad \forall i \quad (6c)$$

$$\sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d X_{i27kl} + X_{i28kl} \leq 1 \quad \forall i \quad (6d)$$

Eşitlik (6 a-d) ile hafta sonları çalışan hemşirelerin art arda hafta sonu çalışmaması sağlanmıştır.

$$X_{1jk1} = 0 \quad j = 1, 2, \dots, b; \quad k = 2,3; \quad X_{2jk1} = 0 \quad j = 1, 2, \dots, b; \quad k = 1, 2, \dots, c \quad (7a)$$

$$X_{1jk2} = 0 \quad j = 1, 2, \dots, b; \quad k = 1, 2, \dots, c \quad X_{2jk2} = 0 \quad j = 1, 2, \dots, b; \quad k = 2, 3; \quad (7b)$$

$$X_{1j11} = 0 \quad j = 6, 7, 13, 14, 20, 21, 27, 28 \quad X_{2j12} = 0 \quad j = 6, 7, 13, 14, 20, 21, 27, 28 \quad (7c)$$

Eşitlik (7 a-c) ile sorumlu hemşirelerin hafta içi, sabah vardiyasında ve kendi ameliyathanelerinde çalışması sağlanmıştır.

$$Q_j = 0 \quad j = b - \{6, 7, 13, 14, 20, 21, 27, 28\} \quad (8)$$

Eşitlik (8) ile dışarıdan sadece hafta sonları operasyonları için hemşire çağırılabilmesi sağlanmıştır.

$$X_{3jkl} = 0 \quad j = 15, 16, \dots, 22; \quad k = 1, 2, \dots, c; \quad l = 1, 2, \dots, d \quad (9)$$

Eşitlik (9) ile 3. hemşirenin 15-22 günleri arasında yıllık izinli olması sağlanmıştır.

$$X_{ijk2} = 0 \quad i = 4, 5, 6; \quad j = 1, 2, \dots, b; \quad k = 1, 2, \dots, c \quad (10a)$$

$$X_{ijk1} = 0 \quad i = 7, 8; \quad j = 1, 2, \dots, b; \quad k = 1, 2, \dots, c \quad (10b)$$

Eşitlik (10 a-b) ile 4,5,6 hemşirelerin Aml1, 7,8 numaralı hemşirelerin Aml2'de çalışması sağlanmıştır.

$$\sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^d X_{ij2l} \leq Ct \quad i = 3, 4, \dots, a \quad (11a)$$

$$\sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^d X_{ij3l} \leq Cg \quad i = 3, 4, \dots, a \quad (11b)$$

Eşitlik (11 a-b) ile tam ve gece vardiyasında minimum sayıda hemşirenin çalışması sağlanmıştır.

- Adil Çizelgeleme Sağlayan Kısıtlar

$$\sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^d X_{ij2l} + |n_i| = Ct \quad i = 3, 4, \dots, a \quad (12)$$

Eşitlik (12) ile tam vardiya atamalarının eşit olması sağlanmıştır.

$$\sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^d X_{ij3l} + |m_i| = Cg \quad i = 3, 4, \dots, a \quad (13)$$

Eşitlik (13) ile gece vardiya atamalarının eşit olması sağlanmıştır.

$$\sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^d X_{ij1l} + X_{ij2l} + X_{ij3l} + |z_i| = 1 \quad \forall i \quad (14)$$

Eşitlik (14) ile toplam vardiya atamalarının eşit olması sağlanmıştır.

- Amaç Fonksiyonu: Eşitlik (15) ile tam/gece/toplam vardiya sayılarının eşitlikten sapması, dışarıdan çağrılan hemşirelerin maliyet değerlerinin en küçüklenmesi sağlanmıştır.

$$\text{Min}(z) = \sum_{i=3}^a (|n_i| + |m_i|) + \sum_{i=1}^a |z_i| + Q_{P(1)} * Q_C * \sum_{j=1}^b Q_j + Q_{P(2)} * Q_C * \sum_{j=1}^b Q_j$$

$$X_{ijkl} : 0, 1; \quad Q_j, |M_i|, |N_i|, |Y_{ij}|, |Z_i| \geq 0 \quad (15)$$

Tam ve gece vardiyalarındaki sapmaların hesaplanmasında sorumlu hemşireler sadece sabah vardiyasında çalıştığı için hariç tutulmuştur. Bunun yanında her bir hemşirenin toplam vardiya atamalarının eşit olması hedef kısıtı olduğundan bu değerdeki sapmanın da amaç fonksiyonuyla minimize edilmesi amaçlanmıştır. Bunlar dışında maliyet kısıtı için dışarıdan çağrılan hemşire sayısının en küçüklenmesi amaçlanmıştır. Dışarıdan çağrılan hemşire sayısı değişkeni, senaryo olasılığı ve ücret parametreleriyle çarpılarak amaç fonksiyonuna eklenmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

Modelin GAMS kodu Ek1'de, optimizasyon sonuçları Ek2'de verilen Tablo'da paylaşılmıştır. Aynı şekilde elle yapılan çizelgeleme sonucu Ek3'de verilen Tablo'da paylaşılmıştır. Amaç fonksiyonu parametreleri olan tam vardiya atama sayısı sapması, gece vardiya atama sayısı sapması, toplam vardiya atama sayısı ve dışarıdan çağrılan hemşire sayısı parametrelerine göre değişim Tablo 3'de paylaşılmıştır.

Tablo 3. Optimizasyonun Değerlendirilmesi (Evaluation of optimization)

Parametreler	Elle Yapılan Çizelgeleme	Optimizasyon Sonucu
Tam Vardiyası Atama Sayısı Sapması	69	13
Gece Vardiyası Atama Sayısı Sapması	128	15
Toplam Vardiya Atama Sayısı Sapması	159	32
Dışarıdan Çağrılan Hemşire Sayısı	40	25

Elle hazırlanan hemşire çizelgesi için ilgili parametrelere göre hesaplanan amaç fonksiyonu değeri yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere 396'dır. Bunun yanında optimizasyon sonucu oluşturulan çizelgeleme için amaç fonksiyonu değeri 85 bulunmuştur. Hazırlanan değerlendirme tablosuna göre elde edilen faydalar; tam vardiya sapması için 5,3, gece vardiya ataması sapması için 8,5, toplam vardiya atama sapması için 4,9 ve dışarıdan çağrılan hemşire sayısı için 1,6 olmuştur. Buna göre amaç fonksiyonu değerindeki toplam fayda yaklaşık 4,7 'dir.

Hedef programlamanın çizelgeleme probleminin çözümünde kullanılmasına ek olarak gerçek hayat problemlerinin dinamikliği ve belirsizliğinin çözümü için bu çalışmada stokastik modelleme parametrelerinin kullanılması önerilmiştir. Sonraki çalışmalar için önceki ayın çizelgelemesini de göz önünde bulundurarak sonraki ayları çizelgeleyen modeller kurulabilir.

Çıkar Çatışması Beyanı (Conflict of Interest Statement)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar (References)

- [1] Q-K. Pan, P. N. Suganthan, T. J. Chua, and T. X. Cai, "Solving manpower scheduling problem in manufacturing using mixed-integer programming with a two-stage heuristic algorithm," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 46, no. 9-12, pp. 1229-1237, Jul. 2009. doi:10.1007/s00170-009-2175-8
- [2] S. Topaloglu and I. Ozkarahan, "An Implicit Goal Programming Model for the Tour Scheduling Problem Considering the Employee Work Preferences," *Annals of Operations Research*, vol. 128, no. 1-4, pp. 135-158, Apr. 2004. doi:10.1023/b:anor.0000019102.68222.df
- [3] U. Ozcan and B. Toklu, "Multiple-criteria decision-making in two-sided assembly line balancing: A goal programming and a fuzzy goal programming models," *Computers & Operations Research*, vol. 36, no. 6, pp. 1955-1965, Jun. 2009.

doi:10.1016/j.cor.2008.06.009

- [4] M. Timor, *Yöneylem Araştırması*. Turkmen Kitabevi, Istanbul, 2010
- [5] O. Onalan, *Stokastik Süreçler*. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2022
- [6] E. H. Ozder, E. Ozcan, and T. Eren, "A Systematic Literature Review for Personnel Scheduling Problems," *International Journal of Information Technology & Decision Making*, vol. 19, no. 06, pp. 1695–1735, Oct. 2020. doi:10.1142/s0219622020300050
- [7] Adel Elomri, S. Elthlatiny, and Zainab Sidi Mohamed, "A Goal Programming Model for Fairly Scheduling Medicine Residents," *International Journal of Supply Chain Management*, vol. 4, no. 2, Jun. 2015.
- [8] H.-T. Lin, Y.-T. Chen, T.-Y. Chou, and Y.-C. Liao, "Crew rostering with multiple goals: An empirical study," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 63, no. 2, pp. 483–493, Sep. 2012. doi:10.1016/j.cie.2012.04.013
- [9] H. Sulak and Mustafa Bayhan, "A Model Suggestion and an Application for Nurse Scheduling Problem," *Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research)*, Apr. 2016. doi:10.5281/zenodo.3965502
- [10] S. Topaloglu, "A shift scheduling model for employees with different seniority levels and an application in healthcare," *European Journal of Operational Research*, vol. 198, no. 3, pp. 943–957, Nov. 2009. doi:10.1016/j.ejor.2008.10.032
- [11] Nurgül Bag, Necati Ozdemir, and T. Eren, "Solving A 0-1 Goal Programming and ANP Methods with Nurse Scheduling Problem," *International Journal of Engineering Research and Development*, Jan. 2012.
- [12] Y. Ozturkoglu and F. Caliskan, "Hemşire Çizelgelemesinde Esnek Vardiya Planlamasi ve Hastane Uygulamasi," *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, vol. 16, no. 1, p. 115, Apr. 2014. doi:10.16953/deusbed.07850
- [13] E. Varli and T. Eren, "Vardiya Cizelgeleme Problemi ve Bir Örnek Uygulama," *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, pp. 185–185, Apr. 2017. doi:10.17671/gazibtd.309302
- [14] Ediz Atmaca, Ceydanur Pehlivan, C. Begum Aydogdu, and Mehmet Yakici, "Hemşire çizelgeleme problemi ve uygulaması," *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 28, no. 4, pp. 351–358, Aug. 2012.
- [15] C.-C. Lin, J.-R. Kang, D.-J. Chiang, and C.-L. Chen, "Nurse Scheduling with Joint Normalized Shift and Day-Off Preference Satisfaction Using a Genetic Algorithm with Immigrant Scheme," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 11, no. 7, p. 595419, Jul. 2015. doi:10.1155/2015/595419
- [16] A. Legrain, H. Bouarab, and N. Lahrichi, "The Nurse Scheduling Problem in Real-Life," *Journal of Medical Systems*, vol. 39, no. 1, Dec. 2014. doi:10.1007/s10916-014-0160-8
- [17] H. Jafari, S. Bateni, P. Daneshvar, S. Bateni, and H. Mahdioun, "Fuzzy Mathematical Modeling Approach for the Nurse Scheduling Problem: A Case Study," *International Journal of Fuzzy Systems*, vol. 18, no. 2, pp. 320–332, Jul. 2015. doi:10.1007/s40815-015-0051-2
- [18] M. Bagheri, A. Gholinejad Devin, and A. Izanloo, "An application of stochastic programming method for nurse scheduling problem in real word hospital," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 96, pp. 192–200, Jun. 2016. doi:10.1016/j.cie.2016.02.023
- [19] E. Varli, B. Ergisi, and T. Eren, "Özel Kısıtlı Hemsire Cizelgeleme Problemi: Hedef Programlama Yaklasimi," *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 0, no. 49, pp. 189–189, Jun. 2017. doi:10.18070/erciyesiibd.323910
- [20] M. M. Nasiri and M. Rahvar, "A two-step multi-objective mathematical model for nurse scheduling problem considering nurse preferences and consecutive shifts," *International Journal of Services and Operations Management*, vol. 27, no. 1, p. 83, 2017. doi:10.1504/ijssom.2017.083338
- [21] B. Y. Ang, S. W. S. Lam, Y. Pasupathy, and M. E. H. Ong, "Nurse workforce scheduling in the emergency department: A sequential decision support system considering multiple objectives," *Journal of Nursing Management*, vol. 26, no. 4, pp. 432–441, Dec. 2017. doi:10.1111/jonm.12560
- [22] Nasr Al-Hinai, Noor Al-Yazidy, Anfal Al-Hooti, and Ekhlal Al-Shereiqli, "A goal programming model for nurse scheduling at emergency department," *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, pp. 99–103, Jan. 2018.
- [23] S. Zanda, P. Zuddas, and C. Seatzu, "Long term nurse scheduling via a decision support system based on linear integer programming: A case study at the University Hospital in Cagliari," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 126, pp. 337–347, Dec. 2018. doi:10.1016/j.cie.2018.09.027
- [24] S. Batun and E. Karpuz, "Belirsizlik Varken Hemsire Cizelgeleme Problemi," *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 38, no. 1, pp. 75–95, Mar. 2020. doi:10.17065/huniibf.483986
- [25] M. Arslan and B. Ozcan, "Hemsire Cizelgeleme Problemi ve Bir Saglik Kurulusunda Uygulama," *Balikesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Nov. 2021. doi:10.25092/baunfbf.947636
- [26] E. Bayraktar and E. A. Adali, "Hemsire Cizelgeleme Probleminde Tam Sayili Hedef Programlama Modeli ve Cocuk Acil Bolumunde Bir Uygulama," *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 15, no. 2, pp. 246–260,

Apr. 2022. doi:10.25287/ohuiibf.855824

[27] H. Li, A. Lim, and B. Rodrigues, "A hybrid AI approach for nurse rostering problem," Mar. 2003. doi:10.1145/952532.952675

[28] L.H. Tein, R. Ramli, "Recent advancements of nurse scheduling models and a potential path," in *Proceedings of the 6th IMT-GT Conference on Mathematics, Statistics and its Applications (ICMSA2010)*, Citeseer, 2009, pp. 395-409.

[29] C. Chang, H. Jen, and W. Su, "Trends in artificial intelligence in nursing: Impacts on nursing management," *Journal of Nursing Management*, vol. 30, no. 8, Aug. 2022. doi:10.1111/jonm.13770

[30] U. Aickelin and K. A. Dowsland, "An indirect Genetic Algorithm for a nurse-scheduling problem," *Computers & Operations Research*, vol. 31, no. 5, pp. 761-778, Apr. 2004. doi:10.1016/s0305-0548(03)00034-0

[31] A. Amindoust, M. Asadpour, and S. Shirmohammadi, "A Hybrid Genetic Algorithm for Nurse Scheduling Problem considering the Fatigue Factor," *Journal of Healthcare Engineering*, vol. 2021, pp. 1-11, Mar. 2021. doi:10.1155/2021/5563651

[32] J. Schrack, R. Ortega, K. Dabu, D. Truong, M. Aibin, and A. Aibin, "Combining Tabu Search and Genetic Algorithm to Determine Optimal Nurse Schedules," *IEEE Xplore*, Sep. 01, 2021. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9569111> [accessed Jan. 27, 2023].

[33] R. Ramli, S. N. I. Ahmad, S. Abdul-Rahman, and A. Wibowo, "A tabu search approach with embedded nurse preferences for solving nurse rostering problem," *International Journal for Simulation and Multidisciplinary Design Optimization*, vol. 11, p. 10, 2020. doi:10.1051/smdo/2020002

[34] A. A. Abayomi-Alli, F. O. Uzede, S. Misra, O. O. Abayomi-Alli, and O. T. Arogundade, "Hybrid model of genetic algorithms and Tabu search memory for Nurse Scheduling Systems," *International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology*, vol. 13, no. 1, pp. 1-20, 2022. doi:10.4018/ijssmet.297494

This is an open access article under the CC-BY license



Ek-1. (Annex-1.)

Hemşire vardiyalama probleminin çözümü için önerilen modelin GAMS kodu aşağıda paylaşılmıştır.

```
sets
i hemşireler /1*28/
j günler /1*28/
k vardiyalar /sabah, tam, gece/
l bölüm /aml1, aml2/
```

s senaryo /s1, s2/;
 scalar
 a toplam hemşire /28/
 b toplam gün /28/
 c toplam vardiya /3/
 d toplam bölüm /2/
 xc hast hemş maliyet /1/
 qc dışarıdan hemş maliyet /1/
 Cti toplam tam vardiya /3/
 Cgi toplam gece vardiya /5/
 Cte toplam tam vardiya /2/
 Cge toplam gece vardiya /4/
 T toplam atama /13/;
 parameters
 W(k) vardiyaların mesai süresi /sabah 8, tam 16, gece 8/
 qp(s) senaryoların olasılığı /s1 0.5, s2 0.5/;

Table p1(j,k) 1. senaryo için aml1 gerekli hemşire

	sabah	tam	gece
1	3	1	2
2	3	1	2
3	3	1	2
4	3	1	2
5	3	1	2
6	2	2	2
7	2	2	2
8	3	1	2
9	3	1	2
10	3	1	2
11	3	1	2
12	3	1	2
13	2	2	2
14	2	2	2
15	3	1	2
16	3	1	2
17	3	1	2
18	3	1	2
19	3	1	2
20	2	2	2
21	2	2	2
22	3	1	2
23	3	1	2
24	3	1	2
25	3	1	2
26	3	1	2
27	2	2	2
28	2	2	2;

Table p2(j,k) 2. senaryo için aml1 gerekli hemşire

	sabah	tam	gece
1	3	1	2
2	3	1	2
3	3	1	2
4	3	1	2
5	3	1	2
6	5	2	2
7	5	2	2
8	3	1	2
9	3	1	2
10	3	1	2
11	3	1	2
12	3	1	2
13	5	2	2
14	5	2	2
15	3	1	2
16	3	1	2
17	3	1	2
18	3	1	2
19	3	1	2
20	5	2	2
21	5	2	2
22	3	1	2
23	3	1	2
24	3	1	2

25 3 1 2
 26 3 1 2
 27 5 2 2
 28 5 2 2;

Table r(j,k) aml2 gerekli hemşire

	sabah	tam	gece
1	3	1	2
2	3	1	2
3	3	1	2
4	3	1	2
5	3	1	2
6	2	2	2
7	2	2	2
8	3	1	2
9	3	1	2
10	3	1	2
11	3	1	2
12	3	1	2
13	2	2	2
14	2	2	2
15	3	1	2
16	3	1	2
17	3	1	2
18	3	1	2
19	3	1	2
20	2	2	2
21	2	2	2
22	3	1	2
23	3	1	2
24	3	1	2
25	3	1	2
26	3	1	2
27	2	2	2
28	2	2	2

binary variables

$x(i,j,k,l)$

positive variables

$q(j), ny(i), ne(i), my(i), me(i), yy(i,j), ye(i,j), zy(i), ze(i);$

variables $z;$

equations

amac, kis1, kis2, kis3, kis4, kis6, kis7, kis8, kis10, kis11, kis12, kis13, kis14, kis15, kis16, kis17, kis18, kis19, kis20, kis21, kis22, kis23, kis24, kis25, kis26, kis27, kis28, kis30, kis31, kis32, kis33, kis34, kis35, kis36;

amac.. $z=e=\sum((i)\$(ord(i) ge 3), ne(i)+me(i))+\sum(i, zy(i)+ ze(i))+qp('s1')*qc*\sum(j,q(j))+qp('s2')*qc*\sum(j,q(j));$
 kis1(i,l).. $\sum((j)\$(ord(j) le 7), W('sabah')*X(i,j,'sabah',l)+ W('tam')*X(i,j,'tam',l)+ W('gece')*X(i,j,'gece',l))=l=45;$
 kis2(i,l).. $\sum((j)\$(ord(j) ge 8 and ord(j) le 14), W('sabah')*X(i,j,'sabah',l)+ W('tam')*X(i,j,'tam',l)+ W('gece')*X(i,j,'gece',l))=l=45;$
 kis3(i,l).. $\sum((j)\$(ord(j) ge 15 and ord(j) le 21), W('sabah')*X(i,j,'sabah',l)+ W('tam')*X(i,j,'tam',l)+ W('gece')*X(i,j,'gece',l))=l=45;$
 kis4(i,l).. $\sum((j)\$(ord(j) ge 22 and ord(j) le 28), W('sabah')*X(i,j,'sabah',l)+ W('tam')*X(i,j,'tam',l)+ W('gece')*X(i,j,'gece',l))=l=45;$
 kis6(j,k).. $\sum(i, X(i,j,k,'aml2'))=e=r(j,k);$
 kis7(i,j).. $\sum((k,l), X(i,j,k,l))=l=1;$
 kis8(i,j)\$ $(ord(j) le 26).. \sum(l), X(i,j,'tam',l)+X(i,j+1,'sabah',l)+X(i,j+1,'tam',l)+X(i,j+1,'gece',l)+X(i,j+2,'sabah',l)+X(i,j+2,'tam',l)+X(i,j+2,'gece',l))=l=1;$
 kis10(i).. $\sum((k,l), X(i,'6',k,l)+X(i,'7',k,l))=l=1;$
 kis11(i).. $\sum((k,l), X(i,'13',k,l)+X(i,'14',k,l))=l=1;$
 kis12(i).. $\sum((k,l), X(i,'20',k,l)+X(i,'21',k,l))=l=1;$
 kis13(i).. $\sum((k,l), X(i,'27',k,l)+X(i,'28',k,l))=l=1;$
 kis14(j,k)\$ $(ord(k) ge 2).. X('1',j,k,'aml1')=e=0;$
 kis15(j,k).. $X('1',j,k,'aml2')=e=0;$
 kis16..
 $X('1',6,'sabah',aml1')+X('1',7,'sabah',aml1')+X('1',13,'sabah',aml1')+X('1',14,'sabah',aml1')+X('1',20,'sabah',aml1')+X('1',21,'sabah',aml1')+X('1',27,'sabah',aml1')+X('1',28,'sabah',aml1')=e=0;$
 kis17(j,k)\$ $(ord(k) ge 2).. X('2',j,k,'aml2')=e=0;$
 kis18(j,k).. $X('2',j,k,'aml1')=e=0;$
 kis19..
 $X('2',6,'sabah',aml2')+X('2',7,'sabah',aml2')+X('2',13,'sabah',aml2')+X('2',14,'sabah',aml2')+X('2',20,'sabah',aml2')+X('2',21,'sabah',aml2')+X('2',27,'sabah',aml2')+X('2',28,'sabah',aml2')=e=0;$
 kis20(j,k,l)\$ $(ord(j) ge 15 and ord(j) le 22).. X('3',j,k,l)=e=0;$
 kis21(i,j,k)\$ $(ord(i) ge 4 and ord(i) le 6).. X(i,j,k,'aml2')=e=0;$
 kis22(i,j,k)\$ $(ord(i) ge 7 and ord(i) le 8).. X(i,j,k,'aml1')=e=0;$
 kis23(i)\$ $(ord(i) ge 3).. \sum((j,l),X(i,j,'tam',l))=l=Cti;$

```
kis24(i)$ (ord(i) ge 3).. sum((j,l),X(i,j,'gece',l))=l=Cgi;
kis25(i)$ (ord(i) ge 3).. sum((j,l),X(i,j,'tam',l))=g=Cte;
kis26(i)$ (ord(i) ge 3).. sum((j,l),X(i,j,'gece',l))=g=Cge;
kis27(i)$ (ord(i) ge 3).. sum((j,l),X(i,j,'tam',l)+ny(i)-ne(i))=e=Cte;
kis28(i)$ (ord(i) ge 3).. sum((j,l),X(i,j,'gece',l)+my(i)-me(i))=e=Cge;
kis30(i).. sum((j,l),X(i,j,'sabah',l)+X(i,j,'tam',l)+X(i,j,'gece',l)+ zy(i)-ze(i))=e=T;
kis31(j).. sum(i, X(i,j,'sabah', 'aml1'))+q(j)=e=p2(j,'sabah');
kis32(j)$ (ord(j) le 5).. q(j)=e=0;
kis33(j)$ (ord(j) ge 8 and ord(j) le 12).. q(j)=e=0;
kis34(j)$ (ord(j) ge 15 and ord(j) le 19).. q(j)=e=0;
kis35(j)$ (ord(j) ge 22 and ord(j) le 26).. q(j)=e=0;
kis36(j,k)$ (ord(k) ge 2).. sum(i, X(i,j,k,'aml1'))=e=p1(j,k);
model ori/all/;
solve ori using mip minimizing z;
display z,l,x,l;
```

Ek-2. (Annex-2.)

Önerilen modelin sonuçlarına göre hazırlanan aylık hemşire vardiyalama sonuçları aşağıdaki tabloda paylaşılmıştır. Tabloda “S”, “G”, “T” ile sembolize edilen vardiyalar sırasıyla “sabah”, “gece” ve “tam” vardiyalara karşılık gelmektedir. “Aml1” ve “Aml2” ifadeleri ise hemşirelerin çalışacağı bölümleri yani “ameliyathane 1” ve “ameliyathane 2” için kullanılan kısaltmalardır.

Hemşire	Bölüm	1. Gün	2. Gün	3. Gün	4. Gün	5. Gün	6. Gün	7. Gün	8. Gün	9. Gün	10. Gün	11. Gün	12. Gün	13. Gün	14. Gün	15. Gün	16. Gün	17. Gün	18. Gün	19. Gün	20. Gün	21. Gün	22. Gün	23. Gün	24. Gün	25. Gün	26. Gün	27. Gün	28. Gün
1.	Aml1	S	S			S			S		S		S			S		S		S			S		S		S		
	Aml2																												
2.	Aml1																												
	Aml2	S	S		S				S		S		S			S		S		S			S		S		S		
3.	Aml1									S			G		T										G		T		G
	Aml2				T			G																					
4.	Aml1			G		T			S		G		S		G		S		S		S		G		G		T		
	Aml2																												
5.	Aml1	S	S		S		G		T					G		T				T			S		G		G		S
	Aml2																												
6.	Aml1		G				S			G		T			T				G		G		T			S			S
	Aml2																												
7.	Aml1																												
	Aml2	G		T			S		S		G			G		G		S		S		T			T			G	
8.	Aml1																												
	Aml2			S			T			S		G		S		G		G		T			G		G		S		T
9.	Aml1	G		S						T					G										S				
	Aml2					S		S					S				S		G		S						G		T
10.	Aml1		S							G				S			S		T									G	
	Aml2				G		T					S										G		T					S
11.	Aml1			G							S		T						T										
	Aml2					S		T								S					S		G		S		G		G
12.	Aml1					G		G				S		T							S		S		T				
	Aml2			G						G						S		S											S
13.	Aml1																	S									S		
	Aml2		T			G		G		T			G		T						G		S		S				G

Hemşire	Bölüm	1. Gün	2. Gün	3. Gün	4. Gün	5. Gün	6. Gün	7. Gün	8. Gün	9. Gün	10. Gün	11. Gün	12. Gün	13. Gün	14. Gün	15. Gün	16. Gün	17. Gün	18. Gün	19. Gün	20. Gün	21. Gün	22. Gün	23. Gün	24. Gün	25. Gün	26. Gün	27. Gün	28. Gün	
14.	Aml1					G		G				G		T			G		S											S
	Aml2			S						S											T			G		T				
15.	Aml1					S									S						G		T							
	Aml2	S		G				T			S		G				G		G							S		S		
16.	Aml1						S		G								S		G		T							T		
	Aml2		G		S						S		T											S		G				
17.	Aml1	T							S			S				S		G				T					S			
	Aml2				G		G						G								S				G				T	
18.	Aml1						G				S		G							S						G				
	Aml2		S		S				G						S		T					S		G				T		
19.	Aml1			T			S		G		T			S		G								G		S				
	Aml2																		T			G						S		
20.	Aml1				G											S										G		G		
	Aml2	T					S		S		S		T					S		G		T								
21.	Aml1		G		S		T			S			G					S			T			S					T	
	Aml2										G				S												G			
22.	Aml1																G							S				T		
	Aml2			S		T			G		G		S		G				S		T					S				
23.	Aml1	S		S				S				G								S		G		T						
	Aml2					G				S				T			G											T		
24.	Aml1				G																	G							T	
	Aml2	S					G		T			T			G		S		S				S		S		S			
25.	Aml1	G		S		S		T						S		G								G		S		S	S	
	Aml2										T											G								
26.	Aml1		T														T			G		G							G	
	Aml2					S		S		G		S		T										S						
27.	Aml1				T			T			G		S						S		S					S				
	Aml2		G											S		G								S				G		
28.	Aml1				S		T			S		S							G									G		
	Aml2	G	S										S		T							G		T		S				

Ek-3. (Annex-3.)

Önerilen modelin kıyaslanması için elle hazırlanan aylık hemşire vardiyaları aşağıdaki tabloda paylaşılmıştır. Tabloda “S”, “G”, “T” ile sembolize edilen vardiyalar sırasıyla “sabah”, “gece” ve “tam” vardiyalara karşılık gelmektedir. “Aml1” ve “Aml2” ifadeleri ise hemşirelerin çalışacağı bölümleri yani “ameliyathane 1” ve “ameliyathane 2” için kullanılan kısaltmalardır.

Hemşire	Bölüm	1. Gün	2. Gün	3. Gün	4. Gün	5. Gün	6. Gün	7. Gün	8. Gün	9. Gün	10. Gün	11. Gün	12. Gün	13. Gün	14. Gün	15. Gün	16. Gün	17. Gün	18. Gün	19. Gün	20. Gün	21. Gün	22. Gün	23. Gün	24. Gün	25. Gün	26. Gün	27. Gün	28. Gün	
1.	Aml1	S	S	S	S	S			S	S	S	S	S			S	S	S	S	S			S	S	S	S	S	S		
	Aml2																													
2.	Aml1																													
	Aml2	S	S	S	S	S			S	S	S	S	S			S	S	S	S	S			S	S	S	S	S	S		
3.	Aml1																													G
	Aml2	S	S	S	S	S			S	S		S	S	G																
4.	Aml1	S	S	S	S	S			S	S	S	S	S			S	S	S	S	S			S	S	S	S	S	S		
	Aml2																													
5.	Aml1	S	S	S	S	S			S	S	S	S	S			S	S	S	S	S			S	S	S	S	S	S		
	Aml2																													
6.	Aml1	T			T			G						G							G									
	Aml2																													
7.	Aml1																													
	Aml2	S		S	S	S		S	S	S		S	S	S		S	S	S	S		S		S	S	S	S	S		S	
8.	Aml1																													
	Aml2	G	G		G	G		G	G	G		G	G	S		S	S	S	S		S		S	S	S	S	S		S	
9.	Aml1																													
	Aml2	G		G	G	G	G		G	G	G	G	G			G	G	G	G		G		G	G	G	G	G		G	
10.	Aml1																					G								
	Aml2	T			T			T			T			G		G	G		G	G			G	G	G	G		G		
11.	Aml1																													
	Aml2		T			T			T			T						T			T				T			T		
12.	Aml1																													
	Aml2			T			T			T			T			T			T				T			T			T	

Hemşire	Bölüm	1. Gün	2. Gün	3. Gün	4. Gün	5. Gün	6. Gün	7. Gün	8. Gün	9. Gün	10. Gün	11. Gün	12. Gün	13. Gün	14. Gün	15. Gün	16. Gün	17. Gün	18. Gün	19. Gün	20. Gün	21. Gün	22. Gün	23. Gün	24. Gün	25. Gün	26. Gün	27. Gün	28. Gün		
13.	Aml1		T																												
	Aml2						T							T			T				T			T			T			T	
14.	Aml1			T																											
	Aml2							T						T								T							T		
15.	Aml1																														
	Aml2		G					G							T						G		T					G		T	
16.	Aml1																														
	Aml2			G			S				S				G							G						G		G	
17.	Aml1																														
	Aml2		S				S				S				G						S		G					S		G	
18.	Aml1																														
	Aml2							S			G				S						S		S					S		S	
19.	Aml1					T																									
	Aml2														S								S							S	
20.	Aml1						G		T			T			G	T				T				T			T				
	Aml2																														
21.	Aml1						T			T			T				T				T				T			T			
	Aml2																														
22.	Aml1						T				T											T				T			T		
	Aml2														T																
23.	Aml1							T																							
	Aml2																													T	
24.	Aml1							T							T															T	
	Aml2																														
25.	Aml1				G	G		G				G	G		T					G	G							G	G		T
	Aml2																														
26.	Aml1				G	G		G				G	G		T					G	G						G	G		G	
	Aml2																														
27.	Aml1	G	G	G			G		G	G	G				G	G	G	G								G	G	G	G		G
	Aml2																														
28.	Aml1	G	G	G			G		G	G	G				G		G	G												G	
	Aml2																														