

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR DEVLET HASTANESİNİN ACİL SERVİS BİRİMİNDE ÇALIŞAN
DOKTORLARIN VARDİYALARININ ÇİZELGELENMESİ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özgür YANMAZ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR DEVLET HASTANESİNİN ACİL SERVİS BİRİMİNDE ÇALIŞAN
DOKTORLARIN VARDİYALARININ ÇİZELGELENMESİ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Özgür YANMAZ
507131123**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Özgür KABAK

ARALIK 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507131123 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Özgür YANMAZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “BİR DEVLET HASTANESİNİN ACİL SERVİS BİRİMİNDE ÇALIŞAN DOKTORLARIN VARDİYALARININ ÇİZELGELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Özgür KABAK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Cafer Erhan BOZDAĞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Özay ÖZAYDIN
Doğuş Üniversitesi

Teslim Tarihi : **25 Kasım 2016**
Savunma Tarihi : **29 Aralık 2016**





Umut dolu güneşli günlere,



ÖNSÖZ

Çalışmalarım esnasında bana yol gösteren, yardımcı ve destek olan danışman hocam Doç. Dr. Özgür Kabak’a teşekkürlerimi bir borç bilirim. Tüm eğitimim süresince bana güvenen, destek olan aileme ve bu süreçte yardımlarını esirgemeyen, çalışmama motive olmam için çabalayan arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2016

Özgür YANMAZ





İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
3. METODOLOJİ.....	11
3.1 Matematiksel Model.....	12
3.2 Simülasyon.....	15
4. UYGULAMA	19
4.1 Mevcut Durum Analizi.....	19
4.2 Farklı Hizmet Seviyelerine Göre Durum Analizi	21
4.3 Simülasyon.....	24
4.4 Uygulama Bulguları	28
5. SONUÇ.....	31
KAYNAKLAR.....	33
EKLER.....	35
ÖZGEÇMİŞ.....	43



KISALTMALAR

MIP : Mixed Integer Programming
GAMS : General Algebraic Modeling System
ED : Emergency Department





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Günlük 1. vardiya (8 saat) ve 2. vardiyaya (24 saat) gelen hasta sayısı	20
Çizelge 4.2 : Günlük vardiya başı gereken doktor sayısını hesaplama örneği. ..	20
Çizelge 4.3 : 1. ve 2. vardiyalarda gereken doktor sayısı	20
Çizelge 4.4 : İhtiyaç duyulan doktor sayısı ve ek doktor atamaları.....	21
Çizelge 4.5: %75 hizmet seviyesinde acil serviste ihtiyaç duyulan doktor sayısı	22
Çizelge 4.6 : %99 hizmet seviyesinde acil servise başvuran hasta sayısı.	22
Çizelge 4.7 : Hizmet seviyeleri için optimum doktor sayıları.....	24
Çizelge 4.8 : %50 hizmet düzeyinde ortalama karşılanamayan tedavi süreleri.	25
Çizelge 4.9 : Hizmet seviyelerine göre fazla mesai süreleri.	25
Çizelge 4.10 : Rassal oluşturulan acil servise başvuran hasta sayıları.....	26
Çizelge 4.11 : Simülasyon uygulamasında üretilen hastaların tedavi süreleri ...	28
Çizelge 4.12 : Hizmet Seviyelerine Göre Maliyet Analizi	29
Çizelge 4.13 : %75 hizmet seviyesine göre vardiya çizelgesi.	30
Çizelge A.1 : Rassal Sayı Üretimi için Kullanılan Excel Fonksiyonları.....	38
Çizelge A.2 : Rassal Tedavi Süresi Üretimi ve Hizmet Seviyeleriyle Karşılaştırma Örneği	40
Çizelge A.3 : Simülasyon Bulguları ve Hizmet Seviyelerinin Karşılaştırılması Sonucu Elde Edilen Tedavi için Karşılanamayan Süreler.....	41
Çizelge A.4 : Gün ve Vardiya bazında Doktor Sayısının Hesaplanması	41



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Önerilen modelin çerçevesi.....	12
Şekil 3.2 : Simülasyon akış şeması.....	17
Şekil 4.1 : Hasta sayılarının yüzde ellisinin kapsandığı normal dağılım.	22
Şekil 4.2 : Hasta sayılarının yüzde yetmiş beşinin kapsandığı normal dağılım..	23
Şekil 4.3 : Hasta sayılarının yüzde doksanınin kapsandığı normal dağılım.	23
Şekil A.1 : %50 Hizmet Seviyesi için Optimum Doktor Sayısı.	36
Şekil A.2 : %75 Hizmet Seviyesi için Optimum Doktor Sayısı.	36
Şekil A.3 : %90 Hizmet Seviyesi için Optimum Doktor Sayısı.	37
Şekil A.4 : %95 Hizmet Sevitesi için Optimum Doktor Sayısı.	37
Şekil A.5 : %99 Hizmet Sevitesi için Optimum Doktor Sayısı.	38



BİR DEVLET HASTANESİNİN ACİL SERVİSİN BİRİMİNDE ÇALIŞAN DOKTORLARIN VARDİYALARININ ÇİZELGELENMESİ

ÖZET

Personel çizelgeleme problemleri, çalışanların belirli vardiyalara atanması problemidir. Bu problem tipi genellikle ekonomik açıdan ele alınmaktadır. Personel maliyetlerinin işletmeler için önemli bir gider olması sebebiyle, bu konuda yapılan çalışmaların ekonomik açıdan yararlı olduğuna inanılmaktadır.

Sağlık alanında yapılan çizelgeleme problemi çalışmaları genellikle hemşire ve doktor vardiyalarının çizelgelenmesi üzerine yapılmaktadır. Literatürde, hemşire vardiyalarının çizelgelenmesi problemi üzerine daha çok çalışma yapıldığı görülmektedir. Doktor vardiya çizelgeleme probleminde hemşire çizelgelemeye göre daha fazla değişken ve belirsizlik söz konusu olduğu için modellenmesi ve çözümü daha zordur. Genel olarak bu problemlerde, çalışan tercihlerinin enbüyüklenmesi ve çalışan maliyetlerinin enküçüklenmesi amaçlanmaktadır. Problem, çalışma koşullarının belirlendiği yönetmelik veya sözleşmelerin ve hastane yönetimi tarafından belirlenen kuralların sağlanmaya çalışıldığı kısıtları içermektedir. Bu problem tipi hedef programlama, doğrusal programlama, dinamik programlama ve simülasyon gibi yöntemlerle çözülmektedir.

Sağlık alanında yapılan çalışmalarda, üzerinde en çok durulan faktör çalışan maliyetleridir. Ancak doktorların çalışma koşulları ve verilen sağlık hizmetinin kalitesi gibi daha fazla dikkat edilmesi gereken unsurlar da vardır. Doktorların çalışma koşulları ne kadar iyi olursa çalışma verimi o oranda artacak ve verilen sağlık hizmeti de o kadar iyi olacaktır. Özellikle, ölüm ve yaşam arasında hayati bir rol oynayan acil servis biriminde çalışma koşulları ve doktorların sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi çok önemlidir.

Bu çalışmada, acil servis biriminde çalışan doktorların vardiyaları incelemiştir ve 2 aşamalı bir çözüm önerisi getirilmiştir. Birinci aşamada matematiksel bir model önerilmiş ve ikinci aşamada simülasyon ile farklı durumlarda modelin nasıl sonuç verdiği incelenmiştir. Matematiksel model ile acil servis biriminde çalışan doktorların acil servis birimine başvuran hastaların tedavilerini gerçekleştirip gerçekleştirilemedikleri incelenmiş ve acil servise başvuran hasta sayısı ve tedavi süresi göz önüne alınarak geliştirilen hizmet seviyeleri için optimum doktor sayıları belirlenmiştir. Matematiksel modelde kullanılan veriler deterministiktir. Ancak acil servis biriminde beklenmedik durumlar ve değişkenlikler olmaktadır. Acil servise başvuran hasta sayıları ve hastaların tedavi süreleri bilinmediği için bu gibi durumlarda simülasyon kullanmak daha avantajlıdır. Simülasyon modeli ile her vardiya için gelen hasta sayıları ve tedavi süreleri rassal olarak üretilerek belirsiz bir durumda sistemin nasıl tepki vereceği araştırılmıştır.

Önerilen matematiksel model GAMS (*General Algebraic Modelling System*) programı ile çözülmüş ve optimum sonuçlar bulunmuştur. Simülasyon modeli ise MS Excel kullanılarak oluşturulmuştur. Simülasyon ile her gün için 30 farklı rassal durum oluşturularak kararlı bir model kurulmaya çalışılmıştır. Simülasyon modelinde elde edilen sonuçlar, matematiksel model ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda en iyi hizmet seviyesine karar verilerek optimum sayıda çalışacak doktor sayısı ve bu doktorların çalışacakları günler ve vardiyalar

belirlenmiştir. Böylece acil servise başvuran hastalara en iyi hizmet verebilecek durum tespit edilmiştir.

Acil servis biriminde çalışam mevcut doktor sayısı ile acil servise başvuran hastaların tedavisinin nitelikli bir şekilde yapılamayacağı görülmüştür. Hasta talebi seviyesi, simülasyon bulgularıyla yapılan analizler sonucunda %75 olarak belirlenmiştir. Acil servis biriminde 26 doktor olması gerektiği bulunmuştur.

Anahtar Sözcükler: Doktor Vardiya Çizelgeleme, Karma Tamsayı Programlama, Simülasyon



PHYSICIAN SCHEDULING PROBLEM IN A PUBLIC HOSPITAL EMERGENCY DEPARTMENT

SUMMARY

Personnel scheduling problem deals with the assignment of shifts or tasks to workers with regard to several requirements. Different stages are involved in the papers about personnel scheduling and these are demand modelling, days off scheduling, shift scheduling, staff assignment (Ernst et al., 2004). In the last years, there have been several studies on personnel scheduling problem where most of them is dealing with this problem in terms of economic considerations. Due to being a significant part of the total cost, personnel cost is being considered by the majority of researchers.

Studies on health service scheduling are mainly related to nurse and physician scheduling problems. The various constraints, which are considered in physician scheduling problem, are not the subject of nurse scheduling. The terms of employment contracts differs, and also physicians have to examine patients, where the number of patients changes day to day. All these differences make the physician scheduling problem harder than nurse scheduling.

For physician scheduling problem, a flexible model which is getting into different situations is introduced by Bruni and Detti (2014). In this study, two objectives, which are assigning the fixed number of shifts to a group of physicians without calling an additional one and distributing the workload in inconvenient shifts to the physicians evenly, are determined to ensure service requirements, contractual agreements, and physicians' preferences using mixed integer programming. The research addresses physician scheduling problem in the emergency department of a Canadian hospital with 20 physicians offers a model to ensure several rules such as limits on the number of consecutive shifts or weekly hours, special rules for weekends and night shifts, seniority rules and physicians' preferences by using mathematical programming approach (Beaulie et al., 2000). Another paper deals with physician shift scheduling in the emergency department by using mathematical programming in order to minimize unmet demand (Savage et al., 2015). In this study, historical data obtaining from the hospital are analyzed and a flexible mathematical model is provided and run under different starting times of shifts. A flexible shift schedule is proposed for fortnightly physicians using different shift starting times and lengths to minimize paid out and overtime cost (Stolletz and Brunner, 2012).

Emergency departments work 24 hours a day, 7 days a week. This department offers the required health services to the patients with urgent conditions, so it is very crucial for saving life. Recklessness, lack of attention and interest are intolerable behaviors considering a little mistake causes a vital consequences for patients. Thus, it must be an obligation to provide appropriate conditions in emergency department in terms of both physical and working conditions. But, improving these conditions and providing better service for patients cannot be performed through increasing the working hours of physicians. If the physicians are forced to work beyond the legally determined working hours, they may suffer from several physical and mental illnesses such as fatigue, burn out syndrome, etc.

Beginning with marketization of health service area, new problems like competition between physicians, alienation to profession are arisen. Besides, administration of hospitals try to increase their income and find ways to reduce the examination costs.

Thus, increasing the profit becomes the only important thing for health care service and health of patients is seen as a source of money. The authorities and top managers in this area must focus on giving a proper health service to patients and providing convenient conditions for physicians.

In this study, the objective is to make a contribution to health care service area and offer a model for the authorities to provide good conditions for physicians and give a qualified and reachable health care service to people. Besides all the people oriented approaches including an improvement in the working conditions of physicians and a qualified service for patients, the total demand should be met. Being able to meet the demand does not mean exceeding the legal limitations on working hours. Also, excessive workload should be reduced to its normal level. A mathematical programming model is used to obtain optimal schedules under different scenarios of patient demand. In the mathematical model, first conditions of the hospital performed the implementation are analyzed. It is tried to determine that the physicians in the hospital are either adequate or not for patient demand and then what the optimal number of physicians for every shift must be is determined under different patient demand scenarios. In the mathematical model, data is deterministic but in the real world, nothing is deterministic. Therefore, a simulation is used for determining the best demand level in uncertain situations in this study.

Some investigated constraints are as follows;

- One physician cannot be assigned to more than one shift per day
- Each physician cannot exceed the legal working hour limits
- A physician assigned to a night shift cannot be assigned any shifts on the 2 successive days
- Daily physician demand must be met
- A physician can be assigned to at most ten night shifts
- A physician can be assigned to at least two weekend shifts
- A physician must be assigned to at least one weekend shift

The model is implemented in an emergency department of a public hospital. Emergency departments provide care to patients 7 days a week, 24 hours a day. Two types of shifts, 8-hour shifts and 24-hour shifts, and 1-month scheduling period are determined. 15 physicians are working at the related emergency department (ED). Average number of patients applying to hospital is obtained from hospital database. The first step in the implementation seeks for whether the related ED department enables to provide health care service to patients or not with its existing 15 physicians. Secondly, optimal number of physicians are determined for different scenarios of patient demand. These scenarios are created with regard to appropriate probability distribution as identifying different confidence intervals (i.e. 75%, 90%, 95%, and 99%). At the last step, simulation model is developed for uncertain number of patients and for varying length of treatment period per patient. Number of patients for each day and length of treatment period for each patient are generated as random numbers considering appropriate probability distributions. This session is carrying on for 30 monthly periods to steadiness of model. Then, required length of treatment period is computed for each day and replication, average length of treatment period of 30 replication is calculated for each day. By doing these calculations, total overtime for each scenario is determined and the best scenario is chosen.

In conclusion, it is seen that 15 physicians are not enough for meeting patient demand. Optimal number of physicians is 25 for 50% patient demand, 26 for 75%, 29 for 90%, 30 for %95 and 32 for %99. When optimal number of physicians for all patient demand

compare with findings of simulation and analysis of staffing cost, the best patient demand level is determined as 75% patient demand level with 26 physicians.

Keywords: Physician Shift Scheduling, Mixed Integer Programming, Simulation





1. GİRİŞ

Personel çizelgeleme problemleri basit olarak çalışanların belirli vardiyalara atanması problemidir. Genellikle çalışan tercihlerini enbüyükleyen (Bruni ve Detti, 2014) ve maliyeti enküçükleyen (Brunner ve Edenharter, 2011; Yılmaz, 2012; Bagheri ve Devin, 2016) çalışmalar olarak kurgulanmıştır.

Sağlık alanında personel çizelgeleme problemi doktor ve hemşire vardiyalarının çizelgelenmesi şeklinde gruplanabilir. Hemşirelerle ilgili çalışmalar literatürde daha fazla dikkat çekmektedir (Ernst ve diğ., 2004). Ancak doktor vardiyalarının çizelgelenmesinde daha farklı durumlar söz konusu olduğundan hemşire vardiyaları için önerilen çalışmalar doktorlara uygulanamamaktadır (Brunner ve Edenharter, 2011). Doktor çizelgeleme probleminde daha fazla değişken söz konusu olduğu için hemşire çizelgeleme problemlerine göre yapılandırılması ve çözülmesi daha zor problemlerdir.

Bu çalışma, bir devlet hastanesinin acil servis biriminde yapılmıştır. Acil servis birimleri 7 gün 24 saat kesintisiz çalışan birimlerdir. Bu birimlerde, hayati önem taşıyan ve acil çözüm bekleyen durumlara müdahale edilmektedir. Hastayı yeniden hayata döndürme noktasında acil servis birimindeki fiziki koşullar ve çalışma koşulları büyük önem arz etmektedir.

Çalışanların, dolayısıyla acil servis biriminde çalışanların da, normal çalışma sürelerinin azami sınırları uluslararası sözleşmelerle belirlenmiştir (European Parliament, 2003). Ancak mesai dışı çalışmaya ilişkin bir üst sınır düzenlemesi bulunmadığından bu süreler genellikle aşılmaktadır ve doktorlar gereğinden fazla çalışmak zorunda kalmaktadırlar. Fazla çalışmanın yanında, acil servise başvuran hasta sayısı çok fazla olduğu zamanlarda sağlık çalışanlarının üzerine gereğinden fazla iş yükü binmekte ve dinlenecek zaman bile bulamamaktadırlar. Gereğinden fazla çalışan doktorların, yapılan çalışmalarda fiziki ve psikolojik yönden yıprandığı, hatta çeşitli hastalıklara yakalandıkları tespit edilmiştir (Aylaz, R. ve Aydın, S., 2014; Çevik, A. A., 2000; Serinken, M., 2003). Doktorlara fazla iş yükü yüklemek aynı zamanda halkın sağlık hizmetine ulaşabilmesi noktasında da sıkıntılara neden

olmaktadır. Bu yüzden çalışma sürelerinin insani koşullarda olması hem çalışanların sağlığı açısından hem de çalışmanın verimi yani toplum yarar açısından önemli ve gereklidir.

Sağlık alanının piyasalaşmasıyla birlikte, hekimlerin birbirlerini rakip olarak görmeleri ve kendi mesleklerine yabancılaşması gibi yeni sorunlar ortaya çıkmaktadır. Sadece elde edilen gelirleri artırmanın, maliyetleri düşürmenin yolları aranmakta ve yüksek performans elde etmek için çalışanların hastaları maddi kaynak olarak görmesi sağlanmaktadır. Böylece, sağlık hizmeti vermenin amacına “En kısa zamanda ne kadar fazla hastaya bakabilirim?” mantığı hakim olmaktadır. Bu koşullarda, halka eşit, nitelikli, ulaşılabilir bir sağlık hizmeti verebilmenin olanakları da yok olmaktadır. Bu durum doğrudan sağlık politikalarıyla ilgilidir. Sağlık alanına ilişkin yürütülecek politikalar, atılacak adımlar belirlenirken bu işin öznelere de sürece dahil olup, doğrudan bir etkiye sahip olmaları gerekmektedir ve toplumun nitelikli sağlık hizmeti alma ve insani koşullarda çalışma hakkı bütünlüklü olarak değerlendirilmelidir. Bunun dışında atılacak adımlar sorunları çözmekten uzak ve yeni sorunlara da gebe olacaktır.

Bu tezin amacı, acil servis biriminde çalışan doktorların insani koşullarda çalışmasına ve halkın nitelikli, ulaşılabilir bir sağlık hizmeti almasına katkı sağlamaktır. Acil servis birimine başvuran tüm hastaların, sağlık hizmetini düzgün bir şekilde almaları gerekmektedir. Bu yüzden, hasta talebinin en iyi şekilde karşılanması ve nitelikli bir sağlık hizmeti verilebilmesi gerekmektedir. Doktorların çalışma sürelerinin de haftalık ve aylık olarak çalışılması gereken yasal süreden fazla olmaması gerekmektedir. Doktorların üzerine binen fazla iş yükü de gereğinden fazla olmamalıdır. Hastanenin bulunduğu bölgenin şartlarına göre yeterli seviyede olması gerekmektedir. Bu çalışmada önerilen matematiksel modelde, bu kısıtlar sağlanmaya çalışılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde literatür taraması, üçüncü bölümünde metodoloji, dördüncü bölümünde uygulama, beşinci bölümünde ise sonuç kısmına yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Çalışma kapsamında, doktor vardiya çizelgeleme problemine yönelik literatür taraması yapılmış, hemşire vardiyalarının çizelgelenmesine yönelik çalışmalar da örnek teşkil etmesi açısından incelenmiştir.

Doktor vardiyalarının çizelgelenmesi üzerine yapılan iki çalışmada karma tamsayılı programlama kullanılmıştır. Bruni ve Detti tarafından hazırlanan hizmet gereklilikleri, sözleşme şartları ve çalışan tercihlerinin dikkate alındığı çalışmada önerilen model farklı durumlara kolay uyum sağlayabilmektedir (Bruni ve Detti, 2014). Diğer çalışma ise iki farklı deneyim seviyesindeki doktorların istihdamına göre uzun vadeli bir planlama yapılması üzerinedir (Brunner ve Edenharter, 2011). Planlama yapılırken talebin karşılanması amaçlanmış, karma tamsayılı programlamaya ek olarak sütun üretme yöntemi de kullanılmıştır. Vardiya çizelgeleme problemine farklı açılardan yaklaşan bu çalışmalarda, eşitlik (2.1) ve (2.2)'de görüldüğü gibi, amaçlar doktorların üzerine düşen iş yükünü dengelemek (Bruni ve Detti, 2014) ve personel giderlerini enküçüklemek (Brunner ve Edenharter, 2011) olarak göze çarpmaktadır.

İstihdam edilen doktor maliyetini enküçüklemeye yönelik amaç fonksiyonu (Brunner ve Edenharter, 2011):

$$\sum_w \sum_e \sum_i c(e) * y(eiw) \quad (2.1)$$

Bu fonksiyonda c_e , e deneyimine sahip doktor maliyeti iken, y_{eiw} , e deneyimine sahip i doktoru w haftasında kiralanırsa 1 değilse 0 değerini alan karar değişkenidir.

Aynı grupta bulunan doktorların üzerine düşen iş yükünü dengelemek amacıyla doktorlara atanabilecek maksimum vardiya sayısını ve doktorların atanmaması gereken maksimum vardiya sayısını enküçüklemeye yönelik aşağıdaki fonksiyon tanımlanır (Bruni ve Detti, 2014):

$$b1 \sum_k y(k) + b2 \sum_k z(k) \quad (2.2)$$

y_k : doktorlara atanabilecek maksimum vardiya sayısı

z_k : doktorlara atanabilecek uygun olmayan maksimum vardiya katsayısı

b : amaçların ağırlık katsayısı

Bir hastanenin acil servis biriminde, kapasite üstündeki hasta talebi karşılayamama sorununu çözmek için hasta geliş zamanları analiz edilerek daha iyi bir vardiya planlaması yapılmaya çalışılmıştır (Savage ve diğ., 2015). Geçmiş veriler incelenerek analiz yapılmış, esnek vardiya başlangıç zamanları belirlenerek karma tamsayıli bir model oluşturulmuş ve karşılanamayan hasta talebi enküçüklenmeye çalışılmıştır (Savage ve diğ., 2015). Esnek vardiya başlangıç saatleri kullanılarak fazla mesai maliyetinin enküçüklenmeye çalışıldığı farklı çalışmalar da yapılmış ve kısıt olarak yasal ve kurumsal sözleşmeler göz önüne alınmıştır (Stolletz ve Brunner, 2012; Brunner ve diğ., 2009; Brunner ve diğ., 2010).

Acil servis biriminde yapılan iki çalışmada, katı (*hard*) ve gevşek (*soft*) kısıtların sağlanmasıyla oluşturulan esnek modeller 1 aylık bir çizelgeleme periyodu için çözülmeye çalışılmıştır (Topaloglu, 2006; Puente ve diğ., 2009). Çalışmada, bir doktorun bir günde tek bir vardiyaya atanması, gece vardiyasında çalışan bir doktorun ertesi gün gündüz vardiyasında çalışmaması gibi katı kısıtlar; bir doktorun 2 gün üst üste gece vardiyasında çalışmaması, 3 gün üst üste gündüz vardiyasında çalışmaması gibi gevşek kısıtlar sağlanmaya çalışılarak hedef programlama ile problem çözülmeye çalışılmıştır (Topaloglu, 2006).

Fransa'daki Montreal hastanesinin acil servisinde çalışan 20 doktorun vardiyalarını belirleyebilmek için hedeflerden sapmaların enküçüklediği bir model kurulmuş, dalsınır algortmasıyla çözülmüştür (Beaulieu ve diğ., 2000). Her vardiyaya mutlaka bir doktor atanması, bir doktorun günde birden fazla vardiyaya atanmaması, öğleden sonra vardiyasına atanan bir doktorun takip eden gündeki gündüz vardiyasına atanmaması, doktor tarafından talep edilen yıllık izin ve izin günü gibi **zorunlu kısıtlar**, haftalık maksimum çalışma saatinin aşılması, atama yapılan ardışık gün sayısının sınırlandırılması, hafta sonu çalışan bir doktora takip eden Pazartesi günü atama yapılmaması ve gece-gündüz vardiyalarına ardışık atanma ile ilgili hastane kurallarını sağlamaya yönelik **ergonomik kısıtlar**, doktorların vardiyalara dağılımıyla ilgili **dağıtım kısıtları** altında doktorun yasalarla ve hastane kurallarıyla belirlenen haftalık çalışma saati ve vardiya tiplerinin doktorlara mümkün olduğunca eşit dağılacak şekilde atama yapılması gibi hedeflerden sapmalar enküçüklenecek şekilde model kurulmuş ve çözülmüştür (Beaulieu ve diğ., 2000).

Hemşire vardiyalarına yönelik çalışmalarda maliyetlerin enküçüklenmesi (Jaumard ve diğ., 1998; Bard ve Purnomo, 2005; He ve Qu, 2012; Baeklund, 2014; Bagheri ve diğ.,

2016) ve toplam boş bekleme sürelerinin enküçüklenmesi (Yilmaz, 2012) olmak üzere amaçların farklılaştığı görülmektedir. Eşitlik (2.3)-(2.6)'da amaç fonksiyonları verilmiş ve kullanılan karar değişkenleri açıklanmıştır.

Tamsayı programlama kullanılarak sezgisellere dayalı sütun üretme yöntemi ile çözülen modelde çalışan motivasyonunu yükseltmek ve çalışanları elde tutabilmek hedeflenmektedir (Bard ve Purnomo, 2005). Bu çalışmada, mevcut personelin kullanımını enbüyükleyecek şekilde yeterli boş zaman varsa düşük kalitede yeteneklere sahip hemşirelerin yüksek kalitede yeteneklere sahip olanlarla ikame edilerek atama yapılmakta ve aylık vardiyalar düzenlenirken hemşire tercihleri de dikkate alınmaktadır. Eşitlik (2.3)'te verilen amaç fonksiyonu, atanan hemşireler ile açığı kapamak için dışarıdan istihdam edilen hemşirelerin maliyetlerini ağırlıklandırarak enküçüklemek üzerine kurulmuştur (Bard ve Purnomo, 2005):

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in S_i} c_{ij} x_{ij} + M \sum_{d \in D} \sum_{p \in P} y_{dp} \quad (2.3)$$

M , hemşirelerin tercihleri ile mevcut talebi karşılayabilmek adına dışarıdan hemşire görevlendirerek ek maliyet yaratma arasındaki ödünleşimi temsil eden bir katsayıdır. i hemşiresi j aday çizelgesine atanırsa x_{ij} 1, diğer durumda 0 değerini alacaktır. d haftanın günü ve p talep periyodunu gösterir. y_{dp} , d günü p periyodunda dışarıdan ek hemşire atanırsa 1, diğer durumda 0 değerini alacaktır.

Hemşirelerin maksimum toplam boş bekleme zamanını enküçüklemeye yönelik fonksiyon (Yilmaz, 2012):

$$WH * TN - (8 * (\sum_i \sum_j x(ij))) \quad (2.4)$$

WH : Hemşirelerin haftalık maksimum çalışma zamanı

TN : Toplam hemşire sayısı

X_{ij} : i hemşiresi j vardiyasına atanırsa 1 değilse 0

Maliyetlerin enküçüklenmesi amacıyla yapılan çalışmada tanımlanan amaç fonksiyonu (Baeklund, 2014):

$$\sum_n \sum_s c(ns) * v(ns) + \sum_i p(i) * y(i) + \sum_j q(j) * z(j) \quad (2.5)$$

C_{ns} : n hemşiresinin s çizelgesinde çalışmasının maliyeti

V_{ns} : n hemşiresi s çizelgesine atanırsa 1 değilse 0

Y_i : Gereken ile atanan hemşire sayısı arasındaki fark

P_i : Talebi karşılanamayan hemşire için ceza maliyeti

Z_j : Çakışan vardiyaların sayısı

Q_j : Çakışan vardiyalar için ceza maliyeti

Normal ve fazla mesai maliyetlerini enküçüklemek için örneklem ortalama yakınsaması ile optimum sonuç elde etmeye yönelik tanımlanan fonksiyon (Bagheri ve diğ., 2016):

$$\sum_i \sum_j \sum_t p(j) * x(ijt) + \sum_i \sum_j \sum_t \varphi(\zeta) * O(j) * V(jt) \quad (2.6)$$

P_j : Normal mesai maliyeti

x_{ijt} : i hemşiresi t gününde j vardiyasına atanırsa 1 değilse 0

o_j : Fazla mesai maliyeti

V_{jt} : t gününde j vardiyasına atanan fazladan hemşire sayısı

$\varphi(\zeta)$: olasılık senaryoları ($\zeta = 1, 2, 3, \dots$)

Toplam maliyetin enküçüklenmesine yönelik çalışmada kısıt programlama ve dal-ücret yöntemi beraber kullanılmıştır (Baeklund, 2014). Buna göre, alt problemler ücretlendirilerek oluşan olurlu çözümler kısıt programlama ile çözülmüştür. Temelde, doktor vardiya çizelgeleme problemine istihdam edilen doktor maliyetini enküçüklemek üzere yaklaşan (Brunner ve Edenharter, 2011) çalışmaya paralel şekilde personel giderleri enküçüklenmeye çalışılmış ve 2 haftalık bir plan üzerinden hareket edilmiştir. Hemşirelerin toplam boş bekleme zamanını enküçüklemeyi amaçlayan çalışmada ise haftalık bazda ve günde üç vardiya (08:00-16:00, 16:00-00:00, 00:00-08:00) şeklinde çalışılacak şekilde model kurulmuştur (Yilmaz, 2012). Bruner ve Edenharter, çalışma günlerini pazartesi cumaya 5 gün olarak kabul etmiş ve talebe göre farklı anestezi uzmanlarını istihdam etmeye odaklanmıştır (Brunner ve Edenharter, 2011).

Bruni ve Detti, işyükü dengeleme problemini çözerken belirli varsayımlar altında çalışmıştır (Bruni ve Detti, 2014). Takip eden bölümde çalışmaya yönelik varsayımlar açıklanmaktadır. Doktorlar belirli kurallara göre belirli departmanlarda olmak zorundadır. Doktorların dinlenme zamanları ve aralarındaki iş yükü dengesi önemlidir. Modeli daha da karmaşık hale getirmemek ve karşılaşılabilecek problemlerin önüne geçebilmek adına doktorların tercihleri dikkate alınmamıştır. Model, tercihler

açısından gerekli esnekliği sağlamaktadır. Planlamanın 6 aylık ya da 1 yıllık hazırlanması, doktorların önceden yapacaklarını bilmeleri açısından önemlidir. Vardiyalar pazartesi cumartesiye 12'şer saatlik iki vardiya şeklinde düşünülmektedir. Pazar günleri de 12 saatlik gece ve gündüz vardiyası vardır. Tatil günlerinde gece ya da gündüz 12 saatlik tek vardiya vardır. Farklı departmanlar ve doktorlar kümesi oluşturulmuştur. Atamalar yapılırken her departmana belli sayıda doktor atanması, doktorların uzmanlık alanları dikkate alınmıştır. Buna göre her doktor uzmanlığına göre belli bölüm ve vardiyaya atanmaktadır. Doktorlar atandığı vardiyaya göre dinlenme periyotlarına sahiptirler. 12 saatlik normal bir vardiyadan sonra 48 saat dinlenme söz konusudur. Hafta sonu vardiyasına atanan bir doktor ancak 14 gün sonra tekrar bir hafta sonu vardiyasına atanabilir. Doktorlar 30 günlük yıllık izne sahiptir. Bazı doktorlar, kendileriyle yapılan sözleşmeler gereği belirli vardiyalara atanamamaktadır. Bazı doktorlar yönetim görevleri yüzünden bazı vardiyalara atanamazlar. Doktorların iş yükleri de dengeli bir biçimde düzenlenmelidir. Bir doktora atanan gece, gündüz, hafta sonu vardiyalarının sayısı birbirine denk olmalıdır. Vardiya çizelgeleme problemlerinde yasal düzenlemeler ve hastanelerin yönetimi de göz önünde bulundurulacak faktörler arasındadır. Örneğin, toplam maliyetin enküçüklenmesine yönelik kurulan model hukuki yapı ve hastane yönetiminin yaklaşımı benzer olduğundan Danimarka'daki çoğu hastanede uygulanabilecektir (Baeklund, 2014). Bu çalışmadaki varsayımlar takip eden bölümde açıklanmaktadır. Buna göre salıdan cumaya 3 vardiya, cumartesi ve pazartesi 4 vardiya, pazar günü ise 5 vardiya şeklinde çalışma sistemi kullanılmaktadır. Bazı hemşirelerin yönetim ile ilgili işleri de vardır. Bazı vardiyalar bir gün başlar ve ertesi gün sona ererken bazıları ise normal çalışma saatleri içindedir. Üç vardiyalı sistemde 8'er saatlik gündüz, akşam ve gece vardiyaları vardır. 4 vardiyalı sistemde 12'şer saatlik 2 vardiya vardır. İki vardiya ise çalışılmayan gün ve serbest vardiya olarak tanımlanmıştır. Beş vardiyalı sistemde ise 4 vardiyalı sisteme ek olarak en az 35 saatlik bir dinlenme zamanı söz konusudur. Çalışılan 2 vardiya arasında en az 11 saatlik fark olması gerekmektedir. En az 2 gün art arda çalışılması zorunludur. Her hemşire, art arda iki hafta sonu olmamak kaydıyla hafta sonu mutlaka çalışmalıdır. Toplam çalışma süresi hafta sonu vardiyaların süresi 1.4 ile, resmi tatiller ise 1.5 ile çarpılarak bulunur. Yani vardiyalara iş yükünün dengelenmesi için katsayı getirilmiştir.

Hemşirelerin vardiyalarının düzenlenmesine yönelik başka bir çalışmada, 24 saat boyunca 7 farklı vardiya tipi için maaş maliyetini enküçükleyecek ve çalışan tercihleri ile ekip dengesini sağlayacak bir model önerilmiş ve işyükü, dinlenme ve izin zamanları, rotasyon gibi konular göz önünde bulundurularak 0-1 sütun üretme yaklaşımı ile çözülmüştür (Jaumard ve diğ., 1998).

Amaçlar ve varsayımları karşılamak dışında, bütün bu modellerin belirli kısıtları salayacak şekilde çalışması beklenmektedir. Örneğin, yasal sürelerin çizelgeleme problemlerinde mutlaka yer alması gerekmektedir.

Doktorun haftalık atandığı vardiya sayısı x , haftalık maksimum çalışma miktarı y , ve y doktoru bahs geçen hafta çalışıyorsa doktorun istihdam edildiğini gösterir karar değişkeninin yer aldığı kısıt eşitlik (2.7)'de verilmektedir (Brunner ve Edenharter, 2011):

$$\sum_p x(eiwp) \leq r(e) * y(eiw) \quad (2.7)$$

i doktorunun j periyodunda atandığı toplam vardiya sayısı, x 'in, maksimum atanabilecek vardiya miktarı, y 'den küçük olması gerektiğine dair kısıt eşitlik (2.8)'de verilmektedir (Bruni ve Detti, 2014):

$$\sum_j x(ij) \leq y(k) \quad (2.8)$$

Aynı mantıkla, toplam vardiya sayısının, maksimum atanabilecek vardiya sayısından küçük olması gerektiğini adet yerine saatlik ifade eden çalışmada, vardiya süresi 8 saat ile atama yapılan vardiya adedi çarpılmış ve kısıt aşağıdaki gibi kurgulanmıştır (Yilmaz, 2012):

$$8 * \sum_j x(ij) \leq WH \quad (2.9)$$

k günündeki g vardiyasının çalışma süresinin haftalık maksimum çalışma süresi, K 'den küçük olması gerektiği aşağıdaki gibi ifade edilmiştir (Baeklund, 2014):

$$\sum_k WH(g(k)) \leq K \quad (2.10)$$

Son olarak, atanması gereken minimum vardiya sayısı üzerinden hareket eden çalışmada, dinleme ve tatil zamanı da dikkate alınarak mümkün olan en fazla çalışma zamanını sağlanmak üzere aşağıdaki kısıt tanımlanmıştır (Bagheri ve diğ., 2016):

$$\sum_j \sum_t x(ijt) + 2 \sum_t x(i3t) \geq 26 \quad (2.11)$$

Gereken doktor ya da hemşire miktarını talebe göre karşılamaya ilişkin kısıtlar söz konusudur.

d , e deneyim seviyesine göre p periyodunda w haftasında gerekli doktor sayısı ve x ise atanan doktorların toplamını göstermek üzere (Brunner ve Edenharter, 2011):

$$\sum_e \sum_i x(eiwp) \geq \sum_e d(ewp) \quad (2.12)$$

Atanan doktor sayısının h departmanında gerekli doktor sayısına eşit olması (2.13)'te verilen kısıtla temsil edilmektedir (Bruni ve Detti, 2014):

$$\sum_{i,k} x(ij) = c(lh) \quad (2.13)$$

Gereken hemşire sayısının, $x(ij)$, alt ve üst limitler arasında olması (Yılmaz, 2012):

$$N_{j(\min)} \leq \sum_i x_{ij} \leq N_{j(\max)} \quad (2.14)$$

Atanan hemşire sayısı, $v(ns)$, d talebini karşılayamadığında ekstra hemşire atanması (Baeklund, 2014):

$$\sum_n \sum_s a(nsi) * v(ns) + y(i) \geq d(i) \quad (2.15)$$

Atanan hemşire sayısı toplamının gereken hemşire sayısından büyük ya da bu sayıya eşit olması gerektiği (Bagheri ve diğ., 2016):

$$R(jt) \leq \sum_i X(ijt) \quad (2.16)$$

Dinlenme zamanları, gerek hemşire gerekse doktorlar için çalıştıkları vardiyaları takiben yasal gerekliliktir.

Aşağıdaki ilk kısıt normal mesaiden sonraki dinlenme süresini verir ve aynı gün tek bir vardiyada çalışmasıyla ilgilidir. İkinci kısıt ise doktor bir hafta sonu vardiyasına atanmışsa takip eden hafta sonu vardiyasına atanamayacağını gösterir (Bruni ve Detti, 2014)

$$\sum_{r(j,p1)} x(ir) \leq 1 \quad (2.17)$$

$$\sum_{r(j,p2)} x(ir) \leq 1 \quad (2.18)$$

Bir hemşire eğer bir vardiyaya atanmışsa yeniden atanması için en az 2 vardiya geçmesi gerekmektedir (Yılmaz, 2012).

$$\sum_{j=(1,3)} x(ij) \leq 1, \dots, \sum_{j=(19,21)} x(ij) \leq 1 \quad (2.19)$$

İki vardiya arasında en az 11 saatlik dinlenme zamanı olması gerektiği de tanımlanan başka bir kısıttır (Baeklund, 2014):

$$\begin{aligned} \min ET(i) + MTB &> ST(j) \\ ET(i) &> \max ST(j) - MTB \end{aligned} \quad (2.20)$$

Bu ortak kısıtlar dışında tanımlanan problemlerin karakteristiklerine göre kendine özel kısıtlar vardır. Kurulan modeller ILOG OPL, LINGO ve CPLEX gibi yazılımlar yardımıyla çözülmüştür.

Literatürde yapılan çalışmalarda, mevcut hastane koşulları göz önüne alınarak daha iyi ve daha kolay bir biçimde çizelgeleme yapmak, doktorların görece üzerine binen iş yükünü azaltmak ve daha fazla hastaya bakılmasını sağlamak üzerine çalışılmıştır. Ancak, fazla iş yükü ve yoğun çalışma nedeniyle fizyolojik ve psikolojik yönden zarar gören doktorların durumları gözetilmemiştir. Acil servise başvuran hastaların sadece tedavi görmesi üzerine çalışılmış ama nitelikli bir sağlık hizmeti almasına dikkat edilmemiştir. Yapılan çalışmada, hem doktorların gereğinden fazla çalışmasını engelleyecek hem de hastaların nitelikli bir sağlık hizmeti almasını sağlayacak bir model geliştirilmiştir.

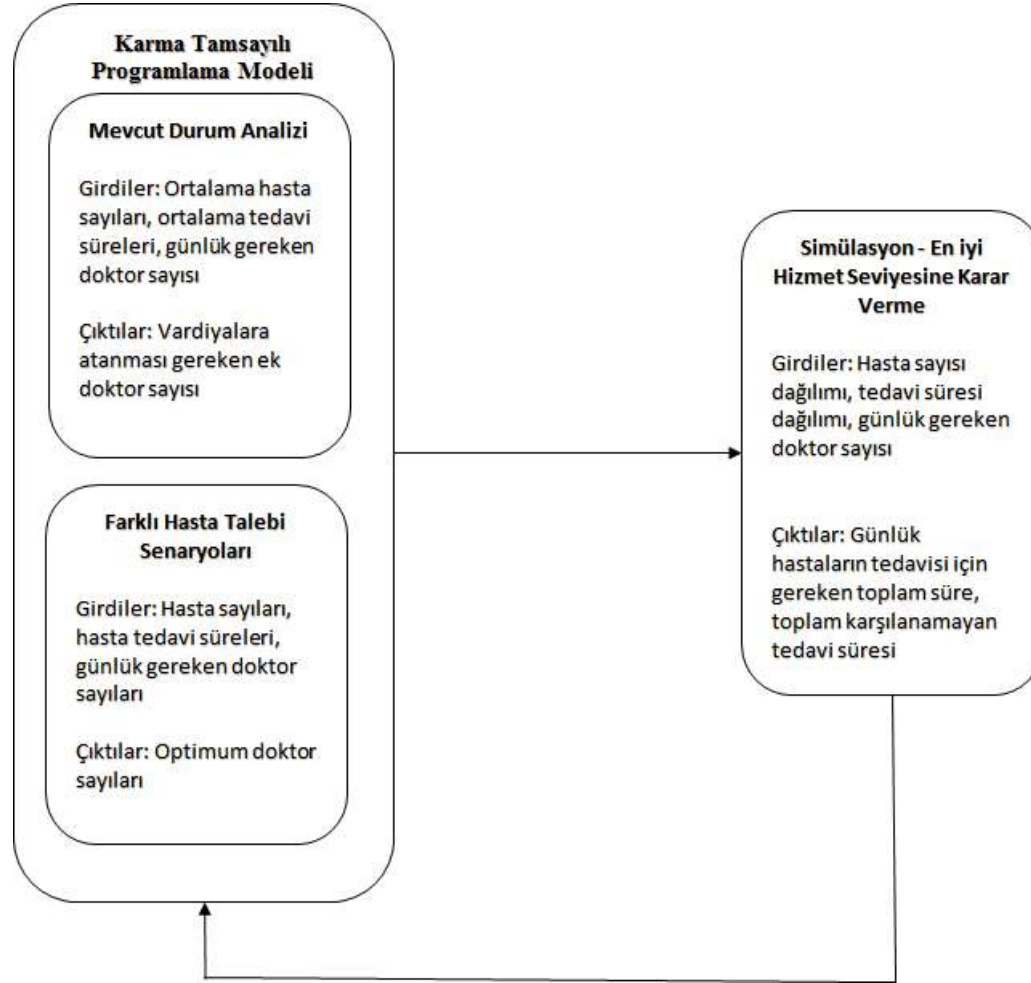
3. METODOLOJİ

Doktor vardiya çizelgeleme problemleri, günlük gereken doktor ihtiyacının ya da hasta talebinin belli olduğu durumlarda doktorların belirli kısıtlar temelinde uygun vardiyalara atanmasını sağlayan problemlerdir. Uygun atama yapılabilmesini sağlayan bu belirli kısıtlar şunlardır; günlük ihtiyaç duyulan doktor sayısını sağlama kısıtı yani talep kısıtı, aylık çalışma süresi kısıtı, doktorların makul seviyede vardiyalara atanmasını, iş yüklerinin daha dengeli olmasını ve doktorların kendilerini yeniden üretebilmeleri için tanımlanan atama kısıtlarıdır. Bu kısıtlar hastane kuralları, uluslararası sözleşmeler, çalışma koşulları dikkate alınarak yazılmıştır. Çalışmada, bu kısıtlar sağlanacak şekilde problem çözülmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada, doktor vardiya çizelgeleme probleminin çözümüne yönelik iki aşamalı bir model önerilmiştir. İlk aşamada mevcut durum ve farklı hizmet seviyelerine (farklı hasta talebi seviyeleri) göre durumlar karma tamsayılı programlama (*Mixed Integer Programming-MIP*) kullanılarak en iyi çözüm elde edilmeye çalışılmıştır. İkinci aşamada ise simulasyon teknikleri ile belirsiz durumlar altında değişkenlik gösteren hasta sayıları ve tedavi süreleri tespit edilmiş ve bulgular matematiksel model ile karşılaştırılarak atama yapılacak en iyi hizmet seviyesi tespit edilmiştir. Önerilen modelin genel çerçevesi Şekil 3.1’ de gösterilmiştir.

Önerilen mevcut durum analizi modelinde; ortalama hasta sayılarının, ortalama tedavi sürelerinin ve günlük gereken doktor sayısının belli olduğu durumda vardiyalara atanması gereken mevcut doktorlar ve gerekiyorsa vardiyalara ek doktor atanması sağlanmaya çalışılmıştır. Farklı hasta taleplerine göre oluşturulan modelde ise hasta sayıları uygun bir dağılım belirlenerek her gün için ortalamaların ve standart sapmanın, günlük gereken doktor sayılarının belli olduğu durumda hasta talebini karşılayabilecek optimum doktor sayıları bulunmaya çalışılmıştır. Simülasyon uygulamasında hasta sayılarının ve tedavi sürelerinin uygun dağılımlara göre belirlendiği ve günlük gereken sayısının belli olduğu durumda günlük acil servise başvuran hastaların tedavisi için gereken toplam süre belirlenmiştir. Toplam gereken tedavi süresi farklı hasta talep

seviyeleri ile karşılaştırılarak günlük toplam karşılanamayan süre bulunarak en iyi hizmet seviyesine karar verilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.1 : Önerilen modelin çerçevesi.

3.1 Matematiksel Model

Bu çalışmada, mevcut durumdaki doktor sayısının gelen talebi karşılamaya yeterli olup olmadığını analiz etmek ve farklı hizmet seviyelerinde (*farklı hasta talebi seviyeleri*) acil servise başvuran hasta talebini karşılamak için gereken optimum doktor sayısını bulmak üzere 2 farklı model önerilmiştir. Bu modeller ile doktorların hangi gün hangi vardiyaya atanacağı da belirlenmektedir.

Matematiksel modeldeki kısıtlar ve amaç fonksiyonu hastane kuralları, uluslararası sözleşmeler, doktorların insani çalışma koşulları ve halkın nitelikli bir sağlık hizmeti

alma hakkı göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur. Bazı kurallar ise hastane çalışanlarıyla görüşülerek belirlenmiştir.

Uygulanan kurallar;

- Hastanede 8 ve 24 saatlik iki farklı vardiya sistemi kullanılmaktadır. Hafta içi 8 ve 24 saatlik vardiyalar, hafta sonu ise sadece 24 saatlik vardiya uygulanmaktadır.
- Doktorların günlük çalışma süreleri, günlük vardiya sürelerini aşmamalıdır.
- Doktorların aylık toplam çalışma süresi 160 saattir.
- 24 saatlik bir vardiyada çalışan doktor, takip eden 48 saat boyunca dinlenmelidir.
- Doktorlar bir ay içinde hafta sonları en fazla 2 kere çalışabilir.
- Doktorlar aynı gün içinde yalnızca bir vardiyaya atanabilirler.
- Hastanın tedavi süresi, yaralanma (veya hastalık) derecelerine göre belirlenmektedir.

Notasyonlar:

i : doktor sayısı ($i=1, \dots, I$)

j : vardiya tipi ($j=1, \dots, J$)

g : gün ($g=1, \dots, G$)

$hs(g)$: ayın hafta sonuna denk gelen günleri indisi (*gün alt indisi*)
($hs(g)=5,6,12,13,19,20,26,27$)

T_{jg} : j vardiyasında g gününde ihtiyaç duyulan doktor sayısı

V_j : j vardiyasındaki çalışma süresi

Karar değişkenleri:

D_{ijg} : Eğer i doktoru g gününde j vardiyasına atanırsa 1, diğer durumlarda 0

k_{jg} : g gününde j vardiyasına ihtiyacı karşılamak için atanan ek doktor sayısı

y_{ig} : i doktoru g gününde 24 saatlik vardiyada çalışıyorsa 0, çalışmıyorsa 1

Dok_i : Eğer bir doktor herhangi bir gün herhangi bir vardiyada çalışıyorsa 1, diğer durumlarda 0

Amaç Fonksiyonu:

Bu çalışmada, mevcut durumu analiz etmekte kullanılan amaç fonksiyonu, acil servise günlük başvuran hastaların, vardiyalara atanan ek doktor sayısını enküçükleyerek minimum sayıda doktor ile sağlık hizmetini almasını sağlamaktır.

$$\text{Min} \quad \sum_j^J \sum_g^G k_{jg} \quad (3.1)$$

Eşitlik 3.1 ile vardiyalara atanacak ek doktor sayısını bularak mevcut durumda çalışmakta olan doktorlar ile acil servise gelen hastalara yeterli hizmetin verilir verilmediği analiz edilir (3.1).

$$\text{Min} \quad \sum_i^I Dok_i \quad (3.2)$$

Eşitlik 3.2 ile, minimum sayıda doktorla acil servise başvuran hasta talebini karşılamak amaçlanmıştır.

Kısıtlar:

Talep kısıtı:

$$\sum_i^I D_{ijg} + k_{jg} \geq T_{jg} \quad \forall j, g \quad (3.3)$$

Acil servise başvuran hasta sayısına göre, ihtiyaç duyulan günlük doktor sayısını sağlama kısıtıdır. Hastane bünyesinde çalışan doktorların o günkü talebi karşılamasını ve karşılayamadığı durumda ek doktor atanmasını sağlar.

Aylık çalışma süresi kısıtı:

$$\sum_j^J \sum_g^G D_{ijg} * V_j \leq 160 \quad \forall i \quad (3.4)$$

Bu kısıt (3.4) , doktorların aylık 160 saatlik toplam çalışma süresini aşmamasını sağlamaktadır.

Atama kısıtları:

$$\sum_j^J D_{ijg} \leq 1 \quad \forall i, g \quad (3.5)$$

Bir doktor bir günde sadece bir vardiyaya atanabilir (3.5).

$$\sum_g^G D_{i2g} \leq 10 \quad \forall i \quad (3.6)$$

Bir doktor bir ayda en fazla 10 kez 24 saatlik vardiyaya atanabilir (3.6).

$$\sum_{hs(g)}^{HS} D_{izg} \leq 2 \quad \forall i \quad (3.7)$$

Bir doktor bir ay içinde en fazla 2 defa hafta sonu 24 saatlik vardiyasına atanabilir (3.7).

$$\sum_{hs(g)}^{HS} D_{izg} \geq 1 \quad \forall i \quad (3.8)$$

Bir doktor bir ay içinde en az 1 defa hafta sonu gece vardiyasına atanabilir (3.8).

Dinlenme kısıtı:

$$D_{izg} \leq M * (1 - y_{ig}) \quad \forall i, g \quad (3.9)$$

$$\sum_j^J D_{ij(g+1)} + D_{ij(g+2)} \leq M * y_{ig} \quad \forall i, g \quad (3.10)$$

Bir doktor eğer 24 saatlik bir vardiyada çalışıyorsa takip eden 2 gün boyunca dinlenmelidir (3.9 ve 3.10).

Farklı hizmet seviyelerinde gereken optimum doktor sayısını bulmak için önerilen modelde ise üstteki kısıtlara ek olarak bir kısıt daha kullanılmaktadır. Bu kısıt aşağıdaki gibidir;

$$\sum_j^J \sum_g^G D_{ijg} \leq M * Dok_i \quad \forall i \quad (3.11)$$

Eğer bir doktor herhangi bir gün herhangi bir vardiyaya atanmışsa hastanede istihdam ediliyor demektir (3.11).

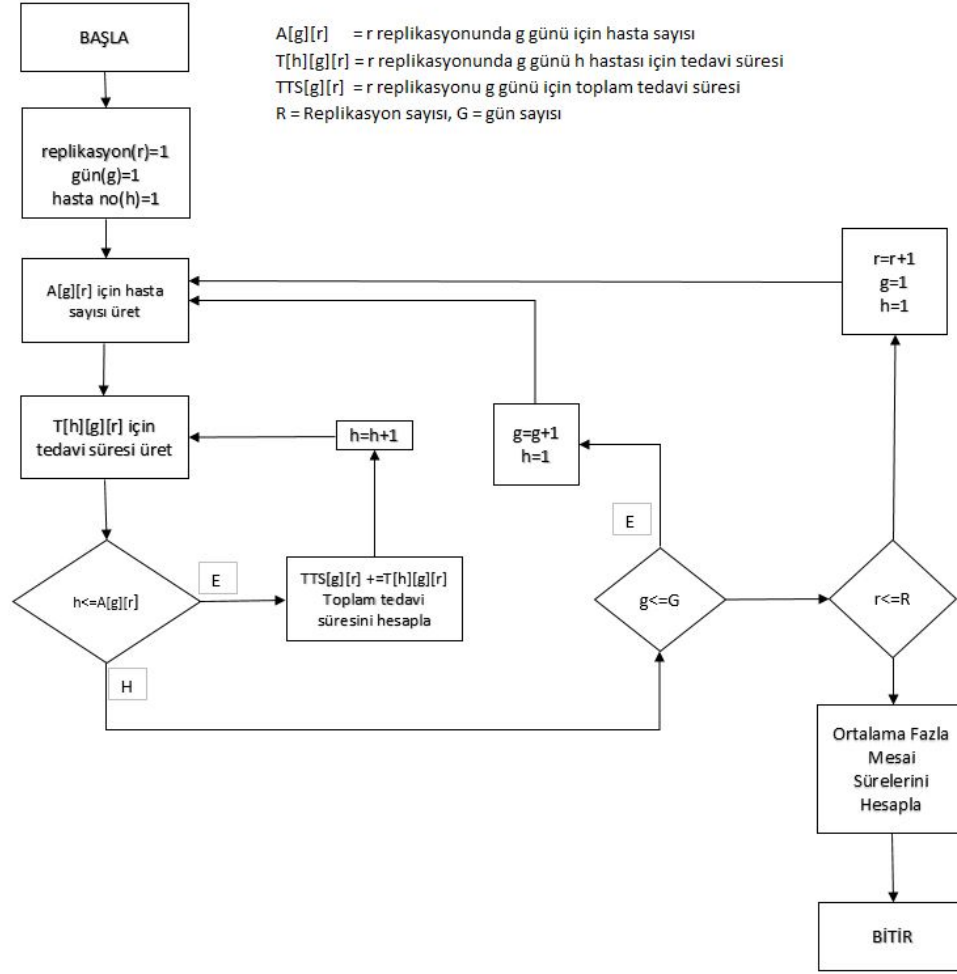
3.2 Simülasyon

Bu çalışmada simülasyon kullanılmasının nedeni, belirsiz durumlar için gereken esnekliğin sadece matematiksel model kullanılarak sağlanamamasıdır. Matematiksel modelde günlük gelen hasta sayıları, eldeki verilerin ortalamaları ve farklı hizmet seviyeleri (*farklı hasta talebi seviyeleri*) alınarak deterministik olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda hasta bakım süreleri de deterministik olarak alınmıştır. Ancak gerçek hayatta, acil servise gelen hasta sayısı ve tedavi süreleri tam olarak tahmin edilememektedir. Farklı gün ve saatlerde hastaneye gelen hasta sayısı ve tedavi süreleri değişiklik göstermektedir. Bu gibi karmaşık ve belirsiz durumlarda simülasyon kullanmak daha avantajlı olmaktadır ve sağlık hizmetinin kalitesini de artıran bir yöntemdir. Acil servis biriminde de gelen hasta sayıları ve hastaların tedavi süreleri belirsizdir. Bu yüzden, simülasyon kullanılarak bir ay boyunca her gün acil servise

başvuran hasta sayıları ve bu hastaların bakım süreleri uygun dağılımlara göre rassal olarak belirlenmektedir. Aynı zamanda, acil servis biriminde oluşabilecek farklı durumlar karşısında sistemin nasıl tepki vereceğini anlamak için de simülasyon iyi bir yöntemdir. Gelen hasta sayısı ve her hastanın tedavi süresi için farklı rassal sayılar kullanılarak uygun dağılıma göre gelen hasta sayısı ve tedavi süresi belirlenmektedir. Böylece herhangi bir zamanda acil serviste meydana gelebilecek farklı durumlar karşısında daha esnek bir modelin hastane sisteminde kullanılmasını sağlamak amaçlanmaktadır.

Önerilen simülasyon modelinin akış şeması Şekil 3.2’de gösterilmektedir. Öncelikle ilk gün için acil servise başvuran hasta sayısı uygun dağılıma göre belirlenmektedir. Daha sonra ise, bu hastaların tedavi süreleri belirlenen dağılıma uygun olarak üretilmektedir. O gün için gereken tedavi süresi tespit edilmektedir. Bunun akabinde, ertesi gün için hasta sayısı belirlenerek bu hastaların tedavi süreleri rassal olarak üretilmektedir. Aylık periyot tamamlanana kadar bu işlemler sürmektedir. Aylık periyot tamamlandığında ikinci replikasyona geçilerek aynı işlemler tekrarlanmaktadır. Replikasyonlar tamamlandıktan sonra, tüm günler için fazla mesai süreleri hesaplanmaktadır ve gün bazında ortalamalar alınmaktadır. Bu ortalamalar önerilen matematiksel modellerle tespit edilen doktor sayılarıyla karşılaştırılarak en iyi hizmet seviyesine karar verilmeye çalışılmaktadır.

Simülasyon modelinde kullanılan parametreler; hasta sayısı ve tedavi süreleri için belirlenen dağılımlar, günlük ihtiyaç duyulan doktor sayılarıdır, değişkenler; hasta sayıları ve hastaların tedavi süreleridir.



Şekil 3.2 : Simülasyon akış şeması



4. UYGULAMA

Uygulama bir devlet hastanesinin acil servis biriminde yapılmıştır. Hastanede toplam 15 doktor bulunmaktadır. Vardiyalar hafta içi günde iki vardiya, hafta sonları günde tek vardiya üzerinden düzenlenmektedir. Hafta içi hergün 08.00-16.00 ve 08.00-08.00 saatleri arasında olmak üzere 8 ve 24 saatlik vardiyalar uygulanmaktadır. Hafta sonu ve resmi tatillerde sadece 24 saatlik vardiya uygulanmaktadır. Acil servis 7 gün 24 saat çalıştığı için çalışma saatleri içinde resmi olarak belirlenmiş bir dinlenme zamanı da bulunmamaktadır. Çizelgeleme yapılırken bir ay 31 gün kabul edilmiş ve bütün hesaplamalar bu doğrultuda yapılmıştır.

4.1 Mevcut Durum Analizi

Bu aşamada, mevcut durumdaki doktor sayısının mevcut hasta talebini karşılamaya yeterli olup olmadığı analiz edilmiştir. Günlük gelen hasta sayıları belirlenirken, ayın her günü için hastane çalışanlarının tuttukları verilerden elde ettikleri günlük ortalama hasta sayıları göz önüne alınmıştır. Hasta tedavi süreleri, hastanın durumunun aciliyetine göre az acil, acil ve çok acil olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflandırmaya triaj yöntemi denilmektedir. Triaj yöntemi ile hastanın tedavi edilme öncelikleri belirlenmektedir. Hastane çalışanları tarafından bu üç sınıfın tedavi sürelerinin belli bir zaman aralığında gerçekleştiği varsayılmaktadır. Örneğin, durumu az acil olan hastaların tedavi sürelerinin 5-10 dakika arasında olduğu varsayılmaktadır. Günlük gelen hasta sayısı ve hastaların tedavi süreleri dikkate alınarak günlük doktor ihtiyacı belirlenmiş ve matematiksel model çözülmüştür. Çizelge 4.1’de 13 gün için gelen hasta sayılarının 8 (1. Vardiya) ve 24 (2. Vardiya) saatlik vardiyalara dağılımı gösterilmektedir. Çizelge 4.2’de günlük vardiya başına gereken doktor sayılarının hesaplanması örnek üzerinden açıklanmaktadır. Çizelge 4.3’te günlük doktor ihtiyacı gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 : Günlük 1. vardiya (8 saat) ve 2. vardiyaya (24 saat) gelen hasta sayısı.

Gün	1	2
Salı	188	468
Çarşamba	160	399
Perşembe	179	447
Cuma	177	441
Cumartesi		426
Pazar		502
Pazartesi	204	510
Salı	196	488
Çarşamba	170	423
Perşembe	178	445
Cuma	176	440
Cumartesi		444
Pazar		491

Çizelge 4.2 : Günlük vardiya başı gereken doktor sayısını hesaplama örneği.

	Hafif	İkincil	Acil
Hastanın aciliyetine göre sayısı	64	12	4
Ortalama Bakım süreleri (dk)	7,5	25	80
Bakım için gereken süre	$64*7,5=480$	$12*25=300$	$80*4=320$
Toplam süre	1100 dk		
1. vardiyası ise	$1100/480=2,29$		
Gereken doktor sayısı	3		
2. vardiya ise	$1100/1440=0,76$		
Gereken doktor sayısı	1		

Çizelge 4.3 : 1. ve 2. vardiyalarda gereken doktor sayısı .

VARDİYA	GÜN												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	2	2	0	0	1	1	1	2	2	0	0
2	5	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4	5	5

Günlük doktor ihtiyacı belirlendikten sonra matematiksel model çözülmüştür. 15 doktor ile günlük acil servise başvuran hastalara sağlık hizmetinin düzgün bir şekilde verilebileceği ya da verilemeyeceği incelenmiştir.

4.1.1 Mevcut Duruma Ait Matematiksel Modelin Bulgular

Matematiksel model General Algebraic Modeling System (GAMS) programı ile çözülmüştür. Optimum çözüm i7-6700HQ CPU bir bilgisayarda 3 saniyede elde edilmiştir. Çizelge 4.4'te ihtiyaç duyulan doktor sayıları ve ihtiyacın karşılanamadığı durumda atanan ek doktor sayıları gün bazında verilmiştir.

Çizelge 4.4 : İhtiyaç duyulan doktor sayısı ve ek doktor atamaları

		GÜN																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Vardiya	1	1	1	2	2	0	0	1	1	1	2	2	0	0	2	2	1	2	1	0
	2	5	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4	5	5	5	4	4	4	4	5
	Ek doktor	2	0	1	1	4	0	0	2	4	2	4	1	5	2	3	1	0	0	0

Elde edilen sonuç Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Bu sonuç, mevcut durumdaki doktor sayısı ile acil servise başvuran hasta talebinin karşılanamadığını göstermektedir. 31 günlük çalışma süresinde vardiyalara 58 tane ek doktor (k(j,g)) atanması gerekmektedir.

4.2 Farklı Hizmet Seviyelerine Göre Durum Analizi

Farklı hizmet seviyelerine (*farklı hasta sayısı talebi seviyelerine*) göre gelen hasta sayılarına ait veriler gün bazında incelenmiştir. Diğer bir deyişle, Pazartesi günü için sadece Pazartesi günü verileri Salı günü için sadece Salı günü verileri dikkate alınmıştır. Acil servise başvuran hasta sayısının tüm günler için normal dağılıma uygun olduğu varsayılmıştır. Ortalama hasta sayıları baz alındığında, normal dağılıma göre tüm sistemin yaklaşık olarak %50'si, yani farklı zamanlarda acil servise başvuran hasta sayılarının %50'sinin kapsandığı durum dışında uygun dağılım fonksiyonu kullanılarak hizmet seviyesinin %75, %90, %95 ve %99 olduğu durumlar incelenmiştir. Bu durumlar, normal dağılıma göre standart sapmanın 65 ve gün bazında ortalamaların (*mean*) ise %50 hizmet seviyesinde kullanılan hasta sayıları baz alınarak belirlenmiştir. Farklı hizmet seviyelerindeki optimum doktor sayısı –gelen

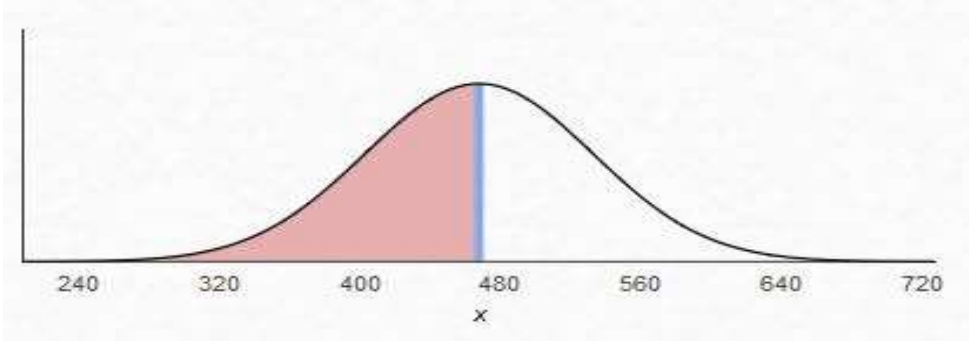
hasta talebinin tümünü karşılayan doktor sayısı- matematiksel modelle çözümlere bulunmuştur. Günlük her vardiya için gereken doktor sayısı Çizelge 4.2'deki gibi hesaplanmaktadır. Çizelge 4.5'te %75 hizmet seviyesinde acil servise başvuran hasta sayılarına göre belirlenen her vardiya ve gün için gereken doktor sayısını göstermektedir. Çizelge 4.6'de ise %99 hizmet seviyesinde gereken doktor sayısı verilmektedir. Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 normal dağılımda tüm sistemin hasta sayısının sırasıyla %50, %75, %90'lık kısmının kapsayabileceği alanı göstermektedir.

Çizelge 4.5 : %75 hizmet seviyesinde acil serviste ihtiyaç duyulan doktor sayısı

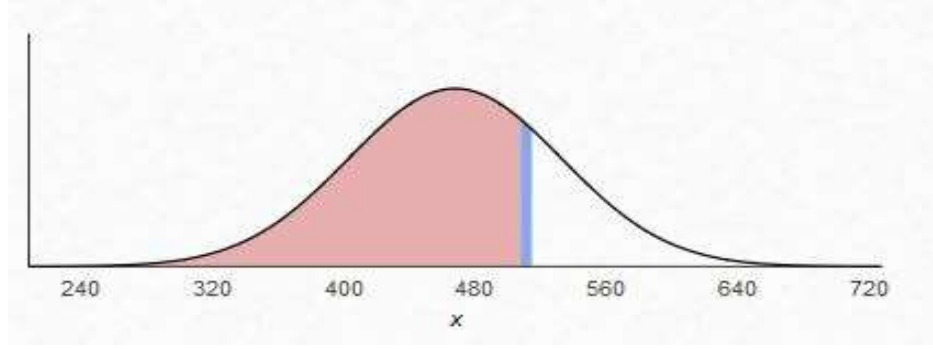
VARDİYA	GÜN												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	2	1	1	0	0	2	2	1	1	1	0	0
2	5	4	5	5	5	6	5	5	5	5	5	5	6

Çizelge 4.6 : %99 hizmet seviyesinde acil servise başvuran hasta sayısı.

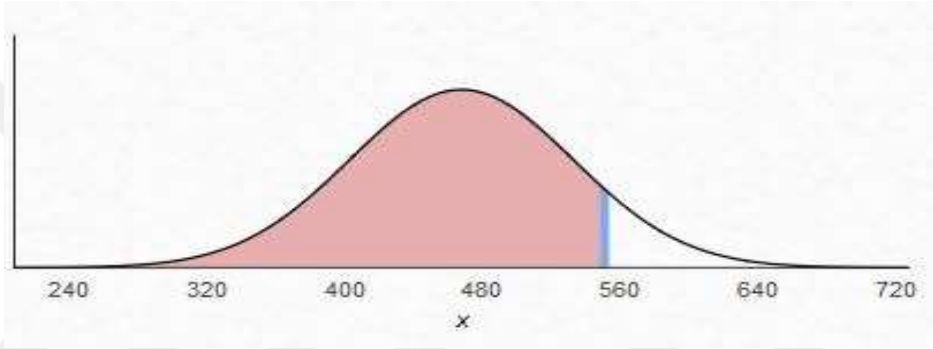
VARDİYA	GÜN												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	2	2	1	1	0	0	2	2	2	1	1	0	0
2	6	5	6	6	6	7	6	6	5	6	6	6	7



Şekil 4.1 : Hasta sayılarının yüzde ellisinin kapsandığı normal dağılım.



Şekil 4.2 : Hasta sayılarının yüzde yetmiş beşinin kapsandığı normal dağılım.



Şekil 4.3 : Hasta sayılarının yüzde doksanının kapsandığı normal dağılım.

4.2.1 Farklı Hizmet Seviyelerine Ait Matematiksel Modelin Bulguları

Belirlenen hasta sayılarına göre tüm talebin karşılanmasını sağlayacak optimum doktor sayıları için yazılan matematiksel model GAMS programı kullanılarak çözülmüştür.

Optimum çözüm i7-6700HQ CPU bir bilgisayarda yaklaşık olarak 3 saniyede elde edilmiştir. Optimum çözüm tüm hizmet seviyeleri için yaklaşık olarak benzerdir.

Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6'da gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre; %50 hizmet seviyesi için gereken optimum doktor sayısı 25, %75 için 26, %90 için 29, %95 için 30 ve %99 için 32 doktor şeklindedir.

Çizelge 4.7 : Hizmet seviyeleri için optimum doktor sayıları

Hizmet Seviyesi	Optimum doktor sayısı
50%	25
75%	26
90%	29
95%	30
99%	32

4.3 Simülasyon

Simülasyon uygulamasında hasta sayıları normal dağılıma göre her gün için, hasta tedavi süreleri ise üçgen dağılıma göre her hasta için rassal olarak belirlenmiştir. Her gün ve her vardiyada acil servise başvuran toplam hasta sayısı için 30 farklı aylık çalışma periyodu oluşturulmuştur. Bu farklı periyotlarda, hastaneye tedavi için gelen her hasta için tedavi süreleri ayrı ayrı rassal olarak üretilmiştir. Sistemin daha kararlı bir duruma gelebilmesi için 30 adet aylık çalışma periyodu üretilmiştir. Bu periyotların ortalamaları alınarak en uygun hizmet seviyesi belirlenmeye çalışılmıştır. Çizelge 4.10’da oluşturulan farklı replikasyonlarda acil servise başvuran hasta sayılarını göstermektedir. Çizelge 4.11 ise üçgen dağılıma göre üretilen hasta bakım sürelerini göstermektedir.

Hastane çalışanlarından temin edilen ortalama hasta sayıları normal dağılıma göre ortalama olarak alınmıştır. Standart sapma ise 65 olarak bulunmuştur. Ortalamalar baz alındığında, normal dağılıma göre olasılığın 0.5 olduğu durum dikkate alınmaktadır. Simülasyon ile rassal olarak olasılık değerleri üretilerek günlük hasta sayıları belirlenmiştir. Tedavi süreleri belirlenirken ise üçgen dağılımın uygun olduğu varsayılmıştır. Günlük hasta sayısı üretilirken kullanılan yöntem gibi tedavi süreleri için de rassal olarak olasılık değerleri üretilerek tedavi süreleri belirlenmiştir. Mevcut veriler sayesinde, günlük acil servise başvuran hastaların %80’inin az acil, %15’inin acil, %5’inin çok acil durumda olduğu bilinmektedir. Üretilen olasılık değerleri ile - olasılığın 0.83 olduğu durumda hasta tedavi süresi 10-40 dakika arasında gerçekleşmesi gerekmekte- tedavi sürelerinin hangi aralıkta olacağı belirlenmiştir. Sonraki aşamada, üretilen rassal değerler ile tedavi süresinin 10-40 dakika aralığında tam olarak ne olacağı simülasyon ile belirlenmiştir. Her hasta için tedavi süreleri

belirlendikten sonra, o vardiya için gereken toplam tedavi süresi bulunmuştur. Matematiksel model ile belirlenen vardiyalardaki doktor sayılarının, simülasyon ile elde edilen toplam tedavi sürelerini karşılayıp karşılayamadığı tüm hizmet seviyeleri için analiz edilmiştir. Böylece, atama yapılacak en iyi hizmet seviyesi belirlenmeye çalışılmıştır.

4.3.1 Simülasyon Bulguları

Simülasyon uygulaması, Visual Basic programlama dili ile Excel programı kullanılarak yapılmıştır. Simulasyon sonucunda, 30 replikasyonda elde edilen sonuçların ortalamaları alınmıştır. Her gün ve her vardiya için ortalamalar bulunmuştur. Çizelge 4.8’de her vardiya ve her gün için %50 hizmet seviyesi baz alındığında karşılanamayan toplam tedavi süresi gösterilmiştir.

Çizelge 4.8 : %50 hizmet düzeyinde ortalama karşılanamayan tedavi süreleri

Vardiya	GÜN																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	79	141	46	41	0	0	268	183	270	26	31	0	0	34	99	61	46	258	0
2	33	69	285	337	64	556	67	34	181	225	223	43	526	116	421	53	325	263	241

Matematiksel modelde elde edilen tüm hizmet seviyeleri için optimum doktor sayıları ile simulasyondan elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda %75’lik hizmet seviyesine göre kurulan modelin en az doktor ile acil servise başvuran hasta talebini karşıladığı en iyi şekilde karşılayabildiği görülmüştür. Çizelge 4.9 ‘da hizmet seviyelerine göre 1 doktorun vardiya başına fazla mesai yaptığı süre gösterilmiştir.

Çizelge 4.9 : Hizmet seviyelerine göre fazla mesai süreleri.

Hasta Talebi Seviyeleri	Optimum Doktor Sayısı	Toplam Fazla Mesai Ort. (dk)	Toplam Fazla Mesai Standart Sapma	1 doktor için Fazla Mesai(dk)	1 Vardiya için Fazla Mesai(dk)
0,99	32	25	53	1	0
0,95	30	192	292	6	1
0,90	29	604	588	21	3
0,75	26	2696	1245	104	15
0,50	25	8523	2247	341	49

Çizelge 4.10 : Rassal oluşturulan acil servise başvuran hasta sayıları.

Replikasyon no	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	31	
1	474	477	499	580	474	474	520	496	495	669	527	511	494	515	469	546	566	494	475	490	542	478	476	472	505	511	489	482	513	490	532	
2	400	430	586	469	420	437	451	485	434	482	460	462	407	465	404	441	424	494	486	433	417	417	444	445	452	511	440	508	460	510	437	
3	568	464	531	529	526	464	459	458	457	492	495	535	467	546	492	484	479	460	498	514	549	473	560	450	462	518	474	470	477	482	579	
4	577	530	491	464	449	452	483	459	495	547	552	506	531	481	486	445	508	474	441	506	538	539	504	467	530	457	465	472	455	447	458	
5	468	471	466	467	472	430	428	428	462	537	489	529	470	433	443	426	454	449	489	443	509	586	433	512	547	458	468	496	427	455	450	
6	556	506	570	509	521	645	640	534	526	525	533	542	540	539	568	614	649	596	517	543	559	588	520	573	536	510	539	524	555	543	524	
7	612	546	552	562	565	513	581	551	592	524	543	514	525	673	521	554	551	596	548	552	603	528	547	589	552	526	537	585	524	526	528	
8	488	529	552	585	599	591	509	512	568	506	573	528	536	607	515	588	532	540	546	586	569	509	588	515	492	505	505	496	533	553	555	
9	432	467	425	561	495	464	510	488	428	490	487	492	531	468	467	424	490	529	610	449	469	533	461	467	426	494	461	458	503	477	425	
10	461	463	495	504	486	469	474	450	453	480	453	489	569	487	535	532	489	476	452	456	477	497	480	452	512	469	551	461	536	450	453	
11	469	456	512	451	459	508	488	508	457	549	457	471	583	452	456	483	490	471	452	459	471	563	464	441	496	517	556	450	466	487	452	
12	467	468	491	475	521	470	489	542	464	445	458	450	462	470	531	451	507	487	550	498	489	487	551	531	477	531	457	467	503	449	470	
13	527	544	579	567	514	569	509	541	492	629	520	494	533	539	658	609	583	579	513	577	575	620	524	545	497	501	663	535	595	524	504	
14	713	548	553	572	548	618	576	551	601	529	563	528	591	570	545	526	533	575	541	554	616	559	609	529	596	631	604	526	576	529	546	
15	505	488	506	508	523	477	514	593	559	447	453	609	487	504	591	476	492	484	453	532	528	530	517	485	614	495	450	469	643	533	444	
16	460	440	413	368	372	400	391	446	541	470	376	410	382	432	395	374	511	427	366	391	390	423	364	383	410	525	397	426	395	375	406	
17	493	524	518	463	465	524	536	468	473	532	559	533	485	499	518	553	458	528	532	464	463	523	477	484	513	477	483	514	557	547	520	
18	443	428	555	440	538	476	523	430	537	539	485	454	456	425	478	453	435	513	469	525	485	448	432	483	552	497	458	486	499	610	499	
19	561	492	558	582	585	458	506	494	486	526	533	569	561	484	485	460	557	544	455	463	488	523	468	562	476	535	533	458	537	482	534	
20	665	588	572	618	534	549	528	536	595	573	551	537	621	604	634	538	596	613	547	574	605	604	548	530	617	589	599	564	574	589	582	
21	611	551	554	515	546	551	622	606	536	648	617	513	626	634	581	550	517	561	648	573	529	541	530	510	557	539	677	515	574	525	583	
22	505	507	533	496	643	534	527	497	627	592	562	582	547	589	501	544	520	554	497	581	577	517	499	519	512	580	498	574	534	607	511	

Çizelge 4.10(devam) : Rassal oluşturulan acil servise başvuran hasta sayıları.

Replikasyon no	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	31	
23	465	430	487	423	422	446	434	460	470	426	468	432	449	563	431	442	423	451	453	544	472	437	461	441	466	428	422	441	426	435	430	
24	485	449	517	443	531	485	563	470	469	514	446	495	464	525	483	472	442	451	545	455	448	484	525	504	456	462	496	458	443	468	473	
25	483	484	565	507	487	526	455	519	560	544	476	454	453	463	459	488	503	515	517	494	470	511	460	456	501	497	464	549	512	451	498	
26	445	461	527	511	453	586	470	455	477	465	434	477	524	449	537	458	486	508	571	465	473	461	483	522	447	482	476	486	447	477	440	
27	573	512	532	515	556	519	563	570	508	618	589	525	534	614	525	558	561	558	582	520	596	565	548	554	551	512	680	564	576	510	582	
28	512	549	622	525	524	534	599	531	535	604	572	571	533	506	531	538	581	636	555	515	535	665	560	550	581	525	543	525	593	547	525	
29	534	489	546	477	483	543	546	501	545	642	491	483	479	491	489	497	487	486	492	532	485	524	549	613	528	484	480	487	589	547	545	
30	442	568	485	487	445	446	502	458	464	455	457	532	532	467	496	487	495	509	547	488	480	510	440	464	469	500	445	436	510	444	525	

Çizelge 4.11 : Simulasyon uygulamasında üretilen hastaların tedavi süreleri

Hasta No.	Tedavi Süresi (dk)	Hasta No.	Tedavi Süresi (dk)
1	8	26	33
2	9	27	30
3	8	28	31
4	7	29	30
5	7	30	25
6	7	31	37
7	8	32	17
8	8	33	33
9	8	34	22
10	7	35	30
11	20	36	24
12	36	37	17
13	22	38	35
14	27	39	19
15	24	40	26
16	15	41	78
17	76	42	55
18	23	43	110
19	16	44	88
20	34	45	79
21	17	46	93
22	18	47	75
23	15	48	86
24	16	49	84
25	16	50	78

4.4 Uygulama Bulguları

Uygulama sonucunda, mevcut durumda hastanede çalışan 15 doktor ile acil servise başvuran hastaların tedavilerinin gerektiği şekilde yapılamayacağı tespit edilmiştir. 1 aylık süreçte tüm vardiyalara, matematiksel model sonucunda toplamda 58 ek doktor atanması ve 83520 dakikalık iş gücü gerektiği bulunmuştur. Matematiksel programlamanın 2. aşamasında ise acil servise başvuran hasta talebini karşılamak için optimum doktor sayısını bulmak amaçlanmıştır. Farklı hizmet seviyelerine göre oluşturulan hasta sayıları ile matematiksel model çözülmüştür. Bunun sonucunda ise optimum doktor sayıları şöyledir; %50 hizmet seviyesi için gereken optimum doktor

sayısı 25, %75 için 26, %90 için 29, %95 için 30 ve %99 için 32 doktor gerekmektedir. Simülasyon uygulamasında ise rassal olarak belirlenen hasta sayısı ve tedavi sürelerine göre en iyi hizmet seviyesine karar verilmeye çalışılmıştır. Rassal olarak üretilen bu değerler sonucunda ayın her günü için gereken tedavi süreleri bulunmuş ve matematiksel modelin 2. aşamasında belirlenen vardiya başı doktor ihtiyaçları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda optimum doktor sayıları ve 1 doktorun vardiya başı fazla mesai süresi göz önüne alınarak %75 hizmet seviyesine göre doktorları vardiyalara atamanın hem doktorların çalışma koşulları hem de hastaların daha nitelikli bir sağlık hizmeti alması açısından en uygun seçenek olduğunu karar verilmiştir. Yapılan çalışmada, sağlık alanı ile ilgilenildiğinden dolayı maliyet ana unsur değildir ve olmamalıdır ama bütçe kısıtı açısından da çıkan sonuçlar değerlendirildiğinde %75 hizmet seviyesi atama yapılabilecek en uygun seviye olduğu ortaya çıkmıştır. Çizelge 4.12’de hizmet seviyelerine göre yapılan maliyet analizini gösterilmektedir. Çizelge 4.13’de %75 hasta talebi seviyesine göre matematiksel model çözdürüldüğünde oluşan doktor vardiya çizelgesinden bir kesit gösterilmektedir.

Çizelge 4.12 : Hizmet Seviyelerine Göre Maliyet Analizi

Hasta Talebi Seviyeleri	Optimum Doktor Say	Toplam Fazla Mesai(dk)	Doktor İstihdam Maliyeti	Fazla Mesai Maliyeti	Toplam Maliyet
0,99	32	25	105000	500	105500
0,95	30	192	75000	3840	78840
0,90	29	604	60000	12080	72080
0,75	26	2696	15000	53920	68920
0,50	25	8523	0	170460	170460

Çizelge 4.13 : %75 hizmet seviyesine göre vardiya çizelgesi.

Doktor	Vardiya	Gün																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
4	1								1											
4	2									1				1				1		
5	1		1																1	
5	2								1					1						
6	1																			
6	2						1				1					1				1
7	1																			
7	2				1					1					1					
8	1																1			
8	2								1					1					1	
9	1																			
9	2					1							1			1			1	
10	1																			
10	2	1			1					1			1						1	
11	1																			
11	2			1				1			1			1			1			

5. SONUÇ

Bu çalışmada, kesintisiz hizmet verilen acil servis biriminde çalışan doktorların vardiya çizelgeleme problemi incelenmiştir. Uygulama bir devlet hastanesinin acil servis biriminde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı, acil servis biriminde çalışan doktorlar için insani koşullarda bir çalışma ortamının yaratılmasına ve toplumun daha ulaşılabilir ve nitelikli bir sağlık hizmeti almasına katkı sağlamaktır. Bir anlamda, doktorların uluslararası çalışma sözleşmelerinde belirtilen çalışma sürelerini geçmemesi ve hastaların sağlık hizmetini zamanında, düzgün bir şekilde alması sağlanmak istenmiştir.

Acil servis biriminde çalışan 15 doktor bulunmaktadır. Acil servise başvuran hasta sayısı verileri incelenmiştir. Mevcut durumda 15 doktorun, bu hasta talebi için yeterli gelemeyeceği matematiksel model ile tespit edilmiştir. Daha sonra, farklı hizmet seviyeleri için optimum doktor sayısı bulunmuştur. %75'lik hizmet seviyesi için 26, %90 için 29, %95 için 30 , %99 için 32 ve hasta sayısı ortalamaları yani %50 hizmet seviyesi için 25 doktor gerekmektedir. Son olarak da hasta sayısının ve tedavi sürelerinin rassal olarak belirlendiği bir simulasyon modeli geliştirilmiştir. Simulasyonda 30 replikasyon sonucunda elde edilen ortalama sonuçlar, farklı hizmet seviyelerindeki optimum doktor sayıları ile vardiya bazında karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak optimum doktor sayısının 26 olması gerektiği ve en uygun hizmet seviyesinin %75 olduğu durumda hizmet kalitesinin daha iyi bir seviyede olduğu ortaya çıkmıştır.

Önerilen model ve çözüm yöntemleri, literatürde yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında, doktor vardiya çizelgeleme problemi için matematik modelleme ve simülasyon uygulaması bir arada kullanılarak daha esnek bir çözüm önerisi geliştirilmiştir.

İlerleyen çalışmalarda, acil servise gelen hastaların geliş zamanları da dikkate alınarak vardiya başlangıç saatlerinin esnek olduğu daha dinamik bir model geliştirilebilir. İş yükünün dengelendiği ve doktor tercihlerinin dikkate alındığı çok amaçlı bir model geliştirilebilir.



KAYNAKLAR

- Aylaz, R., Aydın, S.** (2014). Acil ve diğer servislerde görev yapan sağlık çalışanlarının vardiyalı çalışmasının yaşam kalitesi üzerine etkisi, *Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Hemşirelik E-Dergisi*, 2(3).
- Baeklund, J.** (2014). Nurse Rostering at a Danish Ward, *Annals of Operations Research*, 222(1), 107-123.
- Bagheri, M., Devin, A. G. & Izanloo, A.** (2016). An Application of Stochastic Programming Method for Nurse Scheduling Problem in Real World Hospital, *Computers & Industrial Engineering*, 96, 192-200.
- Bard, J. F. & Purnomo, H. W.** (2005). A Column Generation-Based Approach to Solve the Preference Scheduling Problem for Nurses with Downgrading, *Socio-Economic Planning Sciences*, 39, 193–213.
- Beaulieu, H., Ferland, J. A., Gendron, B. & Michelon, P.** (2000). A Mathematical Programming Approach for Scheduling Physicians in the Emergency Room, *Health Care Management Science*, 3, 193–200.
- Bruni, R. & Detti, P.** (2014). A Flexible Discrete Optimization Approach to the Physician Scheduling Problem, *Operations Research for Health Care*, 3(4), 191-199.
- Brunner, J. O. & Edenharter, G. M.** (2011). Long Term Staff Scheduling of Physicians with Different Experience Levels in Hospitals Using Column Generation, *Health Care Management Science*, 14(2), 189-202.
- Brunner J. O., Bard J. F., Kolish R.** (2009). Flexible shift scheduling of physicians, *Health Care Manag. Sci.*, 12, 285-305.
- Çevik, A. A.** (2000). Acil Servis Hekimleri ve “Burn Out” Sendromu, *Acil Tıp Dergisi* 3. Acil Tıp Sempozyumu Özel Sayısı.g
- Directive 2003/88/EC of European Parliament and of the Council** (2003), 4 November 2003.
- Ernst, A.T., Jiang, H., Krishnamoorthy M., Owens, B., Sier, D.** (2004). An Annotated Bibliography of Personnel Scheduling and Rostering, *Ann. Oper. Res.*, 127, 144-211.
- He, F. & Qu, R.** (2012). A Constraint Programming Based Column Generation Approach to Nurse Rostering Problems, *Computers & Operations Research*, 39, 3331–3343.
- Jaumard, B., Semet, F. & Vovor, T.** (1998). A Generalized Linear Programming Model for Nurse Scheduling, *European Journal of Operational Research*, 107, 1-18.

- Puente J., Gomez A., Fernandez I., Priore P.** (2009) Medical doctor rostering problem in a hospital emergency department by means of genetic algorithms, *Computers & Industrial Engineering*, 56, 1232-1242.
- Sawage D. W., Woolford D. G., Weaver B., Wood D.** (2015). Developing emergency department physician shift schedules optimized to meet patient demand, *CJEM*, 17(1), 3-12.
- Serinken, M., Tomruk Ö., Erdur B., Soysal S., Çımrın A.H.** (2003). Acil Servis Hekimlerinin İş Stres Faktörleri, *Akademik Acil Tıp Dergisi*, 48-51.
- Topaloglu, S.** (2006). A multi-objective programming model for scheduling emergency medicine residents, *Computers & Industrial Engineering*, 51, 375-388.
- Stolletz R. & Brunner J. O.** (2012). Fair optimization of fortnightly physician schedules with flexible shifts, *European Journal of Operational Research*, 219, 622-629.
- Yilmaz, E.** (2012). A Mathematical Programming Model for Scheduling of Nurses' Labor Shifts, *Journal of Medical Systems*, 36(2), 491-496.
- Türkiye Kamu Hastaneleri Kurumuna Bağlı Sağlık Tesislerinde Görevli Personele Ek ödeme Yapılmasına Dair Yönetmelik (2013).** *T. C. Resmi Gazete*, 28559, 14 Şubat 2013.

EKLER



```

Fixed MIP status(1): optimal

Solution satisfies tolerances.

MIP Solution:          25.000000      (4567 iterations, 0 nodes)
Final Solve:           25.000000      (0 iterations)

Best possible:         22.850000
Absolute gap:          2.150000
Relative gap:          0.086000

--- Restarting execution
--- ideal dok.gms(80) 2 Mb
--- Reading solution for model tez
--- ideal dok.gms(80) 3 Mb
--- Executing after solve: elapsed 0:00:01.821
--- ideal dok.gms(83) 3 Mb

GDXXRW      Mar 17, 2012 23.8.2 WIN 31442.32372 VS8 x86/MS Windows
Input file : C:\Users\camilo\Documents\gamsdir\projdir\idealdok.gdx
Output file: C:\Users\camilo\Documents\gamsdir\projdir\idealdok.xlsx
Total time = 500 Ms
*** Status: Normal completion
--- Job ideal dok.gms Stop 12/26/16 22:59:08 elapsed 0:00:02.403

```

Şekil A.1 : %50 Hizmet Seviyesi için Optimum Doktor Sayısı.

```

Fixed MIP status(1): optimal

Solution satisfies tolerances.

MIP Solution:          26.000000      (4031 iterations, 0 nodes)
Final Solve:           26.000000      (0 iterations)

Best possible:         24.850000
Absolute gap:          1.150000
Relative gap:          0.044231

--- Restarting execution
--- 75idealdok.gms(80) 2 Mb
--- Reading solution for model tez
--- 75idealdok.gms(80) 3 Mb
--- Executing after solve: elapsed 0:00:01.844
--- 75idealdok.gms(83) 3 Mb

GDXXRW      Mar 17, 2012 23.8.2 WIN 31442.32372 VS8 x86/MS Windows
Input file : C:\Users\camilo\Documents\gamsdir\projdir\75gvidealdok.gdx
Output file: C:\Users\camilo\Documents\gamsdir\projdir\75gvidealdok.xlsx
Total time = 469 Ms
*** Status: Normal completion
--- Job 75idealdok.gms Stop 12/26/16 22:58:36 elapsed 0:00:02.389

```

Şekil A.2 : %75 Hizmet Seviyesi için Optimum Doktor Sayısı.

```

Fixed MIP status(1): optimal

Solution satisfies tolerances.

MIP Solution:          29.000000      (3948 iterations, 0 nodes)
Final Solve:           29.000000      (0 iterations)

Best possible:          26.650000
Absolute gap:           2.350000
Relative gap:           0.081034

--- Restarting execution
--- 90gvidealdok.gms(77) 2 Mb
--- Reading solution for model tez
--- 90gvidealdok.gms(77) 3 Mb
--- Executing after solve: elapsed 0:00:01.938
--- 90gvidealdok.gms(80) 3 Mb

GDXXRW          Mar 17, 2012 23.8.2 WIN 31442.32372 VS8 x86/MS Windows
Input file : C:\Users\camilo\Documents\gamssdir\projdir\90gvidealdok.gdx
Output file: C:\Users\camilo\Documents\gamssdir\projdir\90gvidealdok.xlsx
Total time = 500 Ms
*** Status: Normal completion
--- Job 90gvidealdok.gms Stop 12/26/16 23:18:20 elapsed 0:00:02.512

```

Şekil A.3 : %90 Hizmet Seviyesi için Optimum Doktor Sayısı.

```

Fixed MIP status(1): optimal

Solution satisfies tolerances.

MIP Solution:          30.000000      (4520 iterations, 0 nodes)
Final Solve:           30.000000      (0 iterations)

Best possible:          27.750000
Absolute gap:           2.250000
Relative gap:           0.075000

--- Restarting execution
--- 95gvidealdok.gms(77) 2 Mb
--- Reading solution for model tez
--- 95gvidealdok.gms(77) 3 Mb
--- Executing after solve: elapsed 0:00:01.654
--- 95gvidealdok.gms(80) 3 Mb

GDXXRW          Mar 17, 2012 23.8.2 WIN 31442.32372 VS8 x86/MS Windows
Input file : C:\Users\camilo\Documents\gamssdir\projdir\95gvidealdok.gdx
Output file: C:\Users\camilo\Documents\gamssdir\projdir\95gvidealdok.xlsx
Total time = 515 Ms
*** Status: Normal completion
--- Job 95gvidealdok.gms Stop 12/26/16 22:58:57 elapsed 0:00:02.254

```

Şekil A.4 : %95 Hizmet Seviyesi için Optimum Doktor Sayısı.

```

Fixed MIP status(1): optimal

Solution satisfies tolerances.

MIP Solution:          32.000000      (4079 iterations, 0 nodes)
Final Solve:          32.000000      (0 iterations)

Best possible:         29.550000
Absolute gap:          2.450000
Relative gap:          0.076562

--- Restarting execution
--- 99gvidealdok.gms (77) 2 Mb
--- Reading solution for model tez
--- 99gvidealdok.gms (77) 3 Mb
--- Executing after solve: elapsed 0:00:02.020
--- 99gvidealdok.gms (80) 3 Mb

GDXXRW      Mar 17, 2012 23.8.2 WIN 31442.32372 VS8 x86/MS Windows
Input file : C:\Users\camilo\Documents\gamsdir\projdir\99gvidealdok.gdx
Output file: C:\Users\camilo\Documents\gamsdir\projdir\99gvidealdok.xlsx
Total time = 485 Ms
*** Status: Normal completion
--- Job 99gvidealdok.gms Stop 12/26/16 22:59:03 elapsed 0:00:02.582

```

Şekil A.5 : %99 Hizmet Sevitesi için Optimum Doktor Sayısı.

Çizelge A.1 : Rassal Sayı Üretimi için Kullanılan Excel Fonksiyonları.

Normal Dağılım	NORM.INV(probability; mean ; standard_dev)	
Üçgen Dağılım	$x = l + \sqrt{p \cdot (m-l) \cdot (h-l)}$	$0 \leq p < (m-l)/(h-l)$
	$x = h - \sqrt{(1-p) \cdot (h-m) \cdot (h-l)}$	$(m-l)/(h-l) \leq p \leq 1$
x = rassal sayı		
h = en büyük		
l = en küçük		
m = en sık gerçekleşen		
p = rassal olasılık değeri		

```

set
i doktor /1*50/;

set j vardiya /1*2/ ;

set g gün /1*31/
    hs(g) /5,6,12,13,19,20,26,27/

table T(j,g) g gününde j vardiyasında gereken doktor sayısı
$call xls2gms r=90gv!D3:AI5 i=tez2.xlsx o=tet.inc
$include tet.inc
;
parameter V(j) j vardiyasi çalışma süresi /1 8,2 24/ ;

scalar Max /10000000/;

binary variables
D(i,j,g)
y(i,g)
Dok(i)
;
variables sonuc;

equations
amacfonk
kisit1
kisit2
kisit3
kisit4
kisit5
kisit6
kisit7
kisit8

amacfonk.. sonuc =e= sum(i,Dok(i));
kisit1(j,g).. sum(i, D(i,j,g)) =g= T(j,g);
kisit2(i).. sum((j,g), D(i,j,g)*V(j)) =l= 160;
kisit3(i,g).. sum(j,D(i,j,g)) =l= 1;
kisit4(i).. sum(g, D(i,"2",g)) =l= 10;
kisit5(i).. sum(hs(g),D(i,"2",g)) =l= 2;
kisit6(i).. sum((j,g),D(i,j,g)) =l= Max*Dok(i);
kisit7(i,g).. D(i,"2",g) =l= Max* (1-y(i,g));
kisit8(i,g).. sum(j, D(i,j,g+1)+ D(i,j,g+2)) =l= Max*y(i,g);
;
model tez /all/ ;
solve tez using MIP minimizing sonuc;
display D.l,Dok.l;
execute _unload "90gvidealdok.gdx" D.l
execute 'gdxrw.exe 90gvidealdok.gdx var=D.L '

```

**Çizelge A.2 : Rassal Tedavi Süresi Üretimi ve Hizmet Seviyeleriyle Karşılaştırma
Örneği**

Rassal Sayı	Tedavi Süresi (dk)	Rassal Sayı	Tedavi Süresi (dk)	Üçgen Dağılım		
0,65	5-10 dk	0,62	8	En küçük	En sık ger.	En büyük
0,95	40-120 dk	0,06	43	5	7,5	10
0,20	5-10 dk	0,48	7	10	25	40
0,27	5-10 dk	0,68	8	40	80	120
0,41	5-10 dk	0,80	8			
0,75	5-10 dk	0,13	6			
0,61	5-10 dk	0,41	7			
0,70	5-10 dk	0,26	7			
0,16	5-10 dk	0,90	9			
0,85	10-40 dk	0,94	33			
0,89	10-40 dk	0,76	25			
0,97	40-120 dk	0,87	91			
0,49	5-10 dk	0,66	8			
0,65	5-10 dk	0,14	6			
0,77	5-10 dk	0,76	8			
0,28	5-10 dk	0,64	8			
0,49	5-10 dk	0,29	7			
0,88	10-40 dk	0,31	15			

Hasta Talebi Seviyeleri	Vardiyaya Atanan Doktor Sayısı	Vardiya Süresi	Toplam Karşılanaabilecek Tedavi Süresi (dk)	Toplam Tedavi Süresi (dk)	Tedavi için Karşılanamayan Süre
99%	3 doktor	120 dk	360	305	0
95%	3 doktor	120 dk	360	305	0
90%	3 doktor	120 dk	360	305	0
75%	2 doktor	120 dk	240	305	65
50%	1 doktor	120 dk	120	305	185

Çizelge A.3 : Simülasyon Bulguları ve Hizmet Seviyelerinin Karşılaştırılması Sonucu Elde Edilen Tedavi için Karşılanamayan Süreler.

Hasta Talep Seviyeleri	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	31	
99	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95	1	15	13	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	3	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0
	2	33	2	0	0	0	38	0	0	0	0	3	0	20	2	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
90	1	15	13	0	0	0	0	27	2	28	0	0	0	0	3	13	4	0	23	0	0	25	11	13	0	0	0	0	26	16	0	0
	2	33	2	0	0	64	38	0	34	0	0	3	0	20	2	21	53	0	0	0	24	0	0	0	0	0	44	0	0	41	0	5
75	1	79	13	46	398	0	0	27	2	28	26	31	0	0	34	99	61	46	23	0	0	25	11	13	16	30	0	0	26	16	19	35
	2	33	69	0	337	64	38	67	34	0	0	3	43	20	116	21	53	0	0	241	24	116	54	79	0	0	44	0	89	41	0	5
50	1	79	141	46	41	0	0	268	183	270	26	31	0	0	34	99	61	46	258	0	0	276	178	146	16	30	0	0	245	102	19	35
	2	33	69	285	337	64	556	67	34	181	225	223	43	526	116	421	53	325	263	241	24	116	54	79	221	279	44	435	89	41	185	263

Çizelge A.4 : Gün ve Vardiya bazında Gereken Doktor Sayısının Hesaplanması

Vardiya başına Gereken Doktor Sayısının Hesaplanması (2 gün)				
Gün.Vardiya	1.1	1.2	2.1	2.2
Hasta Sayısı (gün)	552		483	
Vardiya Başı Hasta Sayısı	221	331	194	289
Çok Acil Hasta Sayısı	12	17	10	15
Acil Hasta Sayısı	33	49	29	43
Az Acil Hasta Sayısı	176	265	155	231
Tedavi için Gereken Süre (dk/vardiya)	3105	4573	2688	4008
Gereken Doktor Sayısı (Tedavi süresi/ Vardiya süresi)	7,00	5,00	6,00	5,00



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Özgür YANMAZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 1989 / Denizli
E-posta : ozguryanmz@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, İzmir Ekonomi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği