



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**PERSONEL YETERLİLİK VE  
MEMNUNİYETİNİ DİKKATE ALAN ÇAĞRI  
MERKEZİ ÇALIŞANI ÇİZELGELEME  
PROBLEMİ ÇÖZÜMÜ**

**Betül KESKİNKILINÇ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Temmuz-2021  
KONYA  
Her Hakkı Saklıdır**

# ÖZET

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

### PERSONEL YETERLİLİK VE MEMNUNİYETİNİ DİKKATE ALAN ÇAĞRI MERKEZİ ÇALIŞANI ÇİZELGELEME PROBLEMİ ÇÖZÜMÜ

Betül KESKİNKILINÇ

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Reha BOTSALI

2021, 42 Sayfa

Jüri

Dr.Öğr.Üyesi A. Reha BOTSALI

Prof. Dr. Mehmet AKTAN

Dr.Öğr.Üyesi H. Oktay ALTUN

Bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişmesiyle beraber müşteri memnuniyeti ve devamlılığını önemseyen şirketler çağrı merkezlerinin hizmetlerinden yararlanarak verimlilik ve sürdürülebilirliği en yüksek seviyeye çıkarmayı hedeflemektedirler. Verimli bir iş gücü yönetimi, bir çağrı merkezinde karlılık elde etmek için oldukça önemli ancak karmaşık bir süreçtir. Yapılan çalışma, ortaya çıkan elektrik-su arızalarının giderilmesi amacıyla sadece gelen çağrıları cevaplayacak olan bir çağrı merkezinde vardiyalara atanacak kişilerin çizelgelenmesi tasarımıdır. Bu tez çalışmasında personel çizelgeleme problemi için, çalışma kalitesinin ve verimliliğinin artırılması adına çalışanın memnuniyeti göz önüne alınarak izin günlerini ayarlayabilme esnekliği, çalışabileceği yeterlilikteki departmana atanabilmesi ve toplam haftalık çalışma saatini geçmeyecek şekilde adil bir atama yapılması sağlanması amacıyla öncelikle matematiksel model oluşturulmuş ve sonrasında IBM ILOG OPL Optimization Studio yazılımı kullanılarak çözülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Çağrı Merkezleri, Matematiksel Model, Optimizasyon, Personel Çizelgeleme Problemi

**ABSTRACT**

**MS THESIS**

**CALL CENTER EMPLOYEE SCHEDULE PROBLEM SOLUTION WITH  
STAFF QUALIFICATION AND SATISFACTION IN CONSIDERATION**

**Betül KESKİNKİLİNÇ**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN INDUSTRIAL ENGINEERING**

**Advisor: Assist. Prof. Dr. Ahmet Reha BOTSALI**

**2021, 42 Pages**

**Jury**

**Asst.Prof.Dr.A.Reha BOTSALI**

**Prof. Dr. Mehmet AKTAN**

**Asst.Prof.Dr. H. Oktay ALTUN**

With the development of information and communication technologies, companies that care about customer satisfaction and loyalty aim to maximize efficiency and sustainability by using the services of call centers. Efficient workforce management is essential for achieving profitability in a call center, but this is a complex process. This study personnel scheduling model this model assigns the personnel to shifts in a call center that will only answer incoming calls in order to solve the electricity-water related problems. In this thesis, firstly, a mathematical model was created for the personnel scheduling problem, in order to increase the quality and productivity of the employee, to provide the flexibility to arrange the days off of the personnel, to assign the personnel to the most convenient department, and to ensure a fair assignment for the personnel within the limits of total weekly working hours. This model is solved by using IBM ILOG OPL Optimization Studio software with respect to different problem data.

**Keywords:** Call Centers, Mathematical Model, Optimization, Personnel Scheduling Problem

## ÖNSÖZ

Hazırlamış olduğum bu tez çalışmasının her aşamasında yardımını esirgemeyen danışmanım Sayın Ahmet Reha BOTSALI 'ya, hiçbir zaman desteğini eksik etmeyen anne ve babama ve her an yanımda olan sevgili eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Betül KESKİNKİLİNÇ  
KONYA-2021



# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>x</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Problemin Tanımı ve Önemi .....	2
1.2. Çalışmanın Amacı .....	4
1.3. Çalışmanın Kapsamı ve Adımları .....	4
1.4. Tezin Organizasyonu .....	5
<b>2. İŞ GÜCÜ ÇİZELGELEME PROBLEMİ</b> .....	<b>6</b>
2.1. İşgücü Çizelgeleme Problemlerinin Sınıflandırılması .....	7
2.1.1. Talep Modelleme .....	8
2.1.2. İzin günlerinin çizelgelenmesi (Days-off scheduling).....	8
2.1.3. Vardiya çizelgeleme (Shift scheduling).....	8
2.1.4. Tur çizelgeleme (Tour scheduling).....	8
2.2. İşgücü Çizelgeleme Problemlerinin Uygulama Alanları .....	9
2.2.1. Ulaştırma sistemleri .....	9
2.2.2. Çağrı merkezleri .....	9
2.2.3. Kamu Hizmeti Veren Sistemler .....	10
2.2.4. Sağlık ve bakım hizmetleri .....	10
2.2.5. Güvenlik birimleri ve acil servisler .....	10
2.3. İşgücü Çizelgeleme Problemlerinin Çözüm Teknikleri.....	11
2.3.1. Talep modelleme.....	11
2.3.2. Matematiksel programlama yaklaşımları.....	11
2.3.3. Yapay zeka yaklaşımları .....	12
2.3.4. Bulanık mantık (Fuzzy logic) .....	12
2.3.5. Bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli .....	13
2.3.6. Sezgiseller (Heuristics) .....	13
2.3.7. Meta sezgiseller (Metaheuristics) .....	14
2.3.8. Genetik algoritmalar (Genetic algorithms) .....	15
<b>3. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>16</b>

<b>4.MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>24</b>
4.1. Materyal .....	24
4.2. Yöntem.....	24
4.2.1. Tamsayılı Programlama Yaklaşımı .....	24
4.2.2. Matematiksel Model .....	26
4.2.3. İndisler ve kümeler .....	26
4.2.4. Kullanılan parametreler .....	26
4.2.5. Karar değişkenleri.....	27
4.2.6. Kısıtlar .....	27
4.3. IBM ILOG OPL Optimization Studio Yazılımında Kullanılan Model .....	29
4.4. IBM ILOG Cplex Optimization Studio Yazılımında Kullanılan Veriler .....	35
<b>5.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>37</b>
<b>6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>42</b>
<b>7. KAYNAKLAR .....</b>	<b>43</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>47</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Kısaltmalar

IP	: Integer Programming (Tamsayı Programlama)
GP	: Genetic Programming (Genetik Programlama)
ILP	: Integer Linear Programming (Tamsayı Doğrusal Programlama)
BT	: Bilgi Teknolojileri
PC	: Personal Computer (Kişisel Bilgisayar)
MIP	: Mixed Integer Programming (Karma Tamsayı Programlama)
LP	: Linear Programming (Doğrusal Programlama)
CP	: Constraint Programming (Kısıt Programlaması)
DEA	: Data Envelopment Analysis (Veri Zarflama Analizi)
AHP	: Analytical Hierarchy Process ( Analitik Hiyerarşi Süreci)
NN	: Neural Network (Sinir Ağı)
RM	: Regresyon Modelleri
BF	: Bayesian Forecast (Bayes Tahmin)

## ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 2. 1. Çözüm yöntemlerine göre çalışma yüzdeleri  
Şekil 2. 2. Uygulama alanlarına göre çalışma yüzdeleri  
Şekil 4. 1. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-I  
Şekil 4. 2. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-II  
Şekil 4. 3. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-III  
Şekil 4. 4. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-IV  
Şekil 4. 5. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-V  
Şekil 4. 6. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-VI  
Şekil 4. 7. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-VII  
Şekil 4. 8. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-VIII  
Şekil 4. 9. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-IX  
Şekil 4. 10. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-X  
Şekil 4. 11. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-XI  
Şekil 4. 12. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-XII  
Şekil 4. 13. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-XIII  
Şekil 4. 14. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-XIV  
Şekil 4. 15. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-XV  
Şekil 4. 16. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-XVI  
Şekil 4. 17. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-XVI  
Şekil 4. 18. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-XVIII  
Şekil 4. 19. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili verileri  
Şekil 5. 1. Örnek problemin çözüm çizelgesi (Senaryo 1)  
Şekil 5. 2. Örnek problemin çözüm çizelgesi (Senaryo 2)  
Şekil 5.3. Birinci ek kısıt ile oluşan atama sonuçlarının sağlaması  
Şekil 5.4. İkinci ek kısıt ile oluşan atama sonuçlarının sağlaması  
Şekil 5.5. Üçüncü ek kısıt ile oluşan atama sonuçlarının sağlaması

## ÇİZELGE LİSTESİ

- Çizelge 1. 1. Çalışanlar ve yeterlilikleri  
Çizelge 3. 1. Çağrı merkezlerindeki işgücü planlama çalışmalarının bazı özellikleri  
Çizelge 3. 2. Çağrı merkezlerindeki işgücü planlama çalışmalarının modelleme yaklaşımları  
Çizelge 4. 1. Minimum gerekli çalışan sayıları  
Çizelge 5. 1. Farklı varyantlar ile deneme sonuçları



## 1. GİRİŞ

Hizmet sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin, temel amaçları kaliteli hizmet sunmak ve müşteri memnuniyetini sağlamaktır. Günümüzde artan teknolojik gelişmelere bağlı olarak, müşterilerin de giderek arttığı hizmet sektörlerinden biri telekomünikasyon şebeke ve erişim sistemidir. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişmesiyle beraber müşteri memnuniyeti ve devamlılığını önemseyen şirketler çağrı merkezlerinin hizmetlerinden yararlanarak verimlilik ve sürdürülebilirliği en yüksek seviyeye çıkarmayı hedeflemektedirler. Stresli ve yoğun iş temposu olan çağrı merkezlerinde telefon görüşmeleri; temsilci ya da ajan olarak adlandırılan personel tarafından yönetilmektedir. Verimli bir iş gücü yönetimi bir çağrı merkezinde karlılık elde etmek için oldukça önemlidir ancak karmaşık bir süreçtir. Çağrı merkezleri, geniş anlamda bazı interaktif hizmetlerin telefon iletişimi yoluyla sunulmasını desteklemek için tasarlanmış tesisler olarak tanımlanabilir ( Gans, KooleMandelbaum, 2003).Tele pazarlama, müşteri hizmetleri, acil durum gönderimi ve yardım masası gibi konuları içeren çağrı merkezlerinin birincil görevi, müşteriler tarafından başlatılan telefon çağrılarını almak (inbound) olup gerektiğinde de müşteriye ulaşmak (outbound) için arama yapmaktır. Çalışmanın sürecinde; sadece inbound çağrılar göz önüne alınmış olup, haftada yedi gün, günde 24 saat bayram tatilleri dâhil aralıksız hizmet veren sürekli vardiyalı sistem ile çalışan bir işletme için işgücü çizelgelemesi tasarlanmıştır.

Telekomünikasyon hizmetleri, sağlık hizmetleri, üretimi aralıksız devam ettirmek zorunda olan işletmeler vb. vardiyalı sistem ile çalışmak zorundadırlar. Bu nedenle bu hizmet ve üretimi yapan kişilerin dikkat ve verimliliklerinin önemi büyüktür. Ancak vardiyalı çalışmanın çalışanlara fiziksel ve psikolojik açıdan zorlayıcı etkileri vardır. Yönetimi zor ve çalışanlar için birçok olumsuzluğu olan bu çalışma şeklinin olumsuzluklarını azaltmak için çalışma kalitesini ve verimliliği olumsuz etkilemeyecek şekilde çok dikkatli ve ergonomik olarak düzenlenme yapmak gereklidir.

Vardiya sisteminin etkinliğini arttırmanın yollarından birisi iyi bir çizelgelemedir. Çizelgeleme, hizmet sistemlerinde oldukça önemli rol oynayan bir karar verme yaklaşımıdır ve sınırlı kaynakların (işgücü, makine vb.) bu kaynaklara ihtiyacı olan değişik işlere tahsis edilmesini ilgilendiren bir karar verme sürecidir. Çizelge ise hangi işin ne zaman kim tarafından yapılacağını gösterir.

Yapılan çalışma, ortaya çıkan elektrik-su arızalarının giderilmesi amacıyla sadece gelen çağrıları cevaplayacak olan bir çağrı merkezinde vardiyalara atanacak kişilerin

çizelgelenmesi tasarımıdır. Bu çizelgelemeyi yaparken çalışma kalitesinin ve verimliliğinin artırılması adına çalışanın memnuniyeti göz önüne alınarak izin günlerini ayarlayabilme esnekliği ile Türk ve yabancı müşterilerle ilgilenebilecek dil seviyesine sahip personel düşünülerek, hiçbir vardiya hiçbir gün boş kalmayacak şekilde çizelgeleme amaçlanmıştır.

### 1.1. Problemin Tanımı ve Önemi

Vardiya planlamayla ilgili çalışmalar literatürde geniş yer tutmaktadır. Bir iş günü içinde vardiyalara personel ataması, vardiya süresi, başlaması, bitişi, molalar gibi alternatifleri de içine alarak tam sayılı programlama yaklaşımıyla literatürde yer alırken, izin günlerinin de planlama sürecine dâhil edilmesiyle problemin zorluğu nedeniyle sezgisel yaklaşımların da önerildiği görülmektedir. Çağrı merkezleri kar amacı olmadığı için iş gücü maliyetlerini minimize etmeye çalışan ve mümkün olduğunca tüm çağrılara cevap vermeyi amaçlayan oldukça hareketli organizasyonlar olup organizasyon içindeki işleyiş genel olarak aynıdır. Gelen çağrı ilk önce otomatik operatöre bağlanır ve müşterinin talebi ve isteği doğrultusunda yönlendirmeler yapılarak çağrılar çağrı personelleri arasında paylaştırılarak çizelgenir. Her çalışan kendi ekranından operatör kuyruğundaki gelen çağrı miktarını görür ve acil müşteri olarak sınıflandırılan çağrılar için mümkün olduğu kadar hızlı bir şekilde müşteri ihtiyacı karşılanmaya çalışılır. Çağrı merkezinde çalışan kişiler hem tam zamanlı hem de kısmi zamanlı vardiyalarda çalışabilecekleri için atanacak kişi sayısı, mola süresi gibi ihtiyaç duyulan periyotların belirlenmesi bir çizelgeleme problemini de beraberinde getirmektedir. Bu çizelgeleme sorumlu kişiler tarafından manüel olarak yapılırsa uzun bir çaba gerektirmekle birlikte iş gücü kaybı ve uygun olmayan atamaların yapılmasına da neden olmaktadır. Manüel çizelgelemenin objektif olmayan ve birçok kısıdı dikkate almaksızın atamasının olumsuz sonuçlarını en aza indirmenin bir yolu, matematiksel programlama tekniği kullanılarak uygun bilgisayar programı ile optimum çözümün bulunmasıdır.

Personelin memnuniyetini, tercihlerini dikkate alarak objektif kurallara dayalı bir çizelgeleme oluşturmak yöneylem teknikleri kullanılarak mümkündür.

Bu çalışmada Yöneylem Araştırması'nın

- Problemin tanımlanması,
- Modelin kurulması,
- Modelin çözülmesi,

- Modelin geçerliğinin onaylanması,
- Çözümün uygulanması ve yorumlanması,

aşamalarına göre, problem çözümü sonuçlandırılacaktır.

Her problemin birden fazla çözüm yolu olabileceği gibi bu çalışmada da problem birçok farklı algoritma kullanılarak çözülebilir. Literatürde, çizelgeleme problemlerinin spesifik özellikleri de dikkate alınarak uygun çözüm algoritmaları geliştirildiği görülmektedir.

Bu çalışmada bir çağrı merkezindeki personelin çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Çalışanların vardiyalara, ilgili departmanlara ve tatil günlerine atanmaları için tamsayılı lineer programlama modeli geliştirilmiştir. Modelde çalışan istekleri ve becerileri göz önünde bulundurulmuştur. Tasarımı yapılan sistemde 32 personel çalışmaktadır. Sabah, öğle ve akşam olmak üzere 3 ayrı vardiyanın çalışma saatleri;

Sabah vardiyası: 8 saat (08:00-16:00)

Öğlen vardiyası: 8 saat (16:00-00:00)

Akşam vardiyası: 8 saat (00:00-08:00)

şeklindedir.

İş gücü 2 ayrı departmanda çalışmakta olup bunlar Türk müşterilere ve yabancı müşterilere bakan personellerdir. Bazı çalışanlar ise her iki departmana da bakabilme yeterliliğinde dil seviyesine sahiptir.

**Çizelge 1.1.** Çalışanlar ve yeterlilikleri

Dil Seviyesi	Çalışabileceği Departman	Mevcut Çalışanlar
1	Sadece Türk Müşteriler ile ilgilenen çalışanlar	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,9, 10, 11, 12, 13, 14, 15
2	Sadece Yabancı Müşteriler ile ilgilenen çalışanlar	16, 17, 18, 19, 20,21, 22, 23, 24
1,2	Her İkisi ile de ilgilenen çalışanlar	25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32

Çalışan tercihleri ise şu şekilde tasarlanmıştır;

- İzin günü: Tüm çalışanlar haftanın iki günü izinlidir ve çalışanların bir haftalık çizelgeleme periyodunda bir günü izin için tercih etmeleri istenmektedir. Ek 1'de çalışanların izin almak istedikleri günler verilmiştir.
- Vardiyalar: Her bir çalışandan, çalışmak için uygun olmadığı vardiyayı belirlemesi beklenmektedir. Çalışanların uygun olmadıkları vardiyalarda çalışması durumu engellenmektedir. Her çalışmak istedikleri vardiyada

çalışmaları iş hukuku gereği mümkün değildir. Bu yüzden çalışmak istedikleri vardiyalar değil, çalışmak istemedikleri vardiyalar dikkate alınarak model kurulmuştur. Ek 2’de çalışanların çalışmak için uygun olmadığı gün ve vardiyalar verilmiştir.

Mevcut durumlarda çizelgeler el ile hazırlanmaktadır. Bu durum çizelge hazırlama süresinin uzamasına ve personel istekleriyle örtüşmeyen çizelgelere neden olmaktadır. Matematiksel bir yaklaşımla çizelge hazırlama süreci kısalmakta ve yüksek kalitede çizelgeler oluşturulmaktadır.

## 1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada oldukça karmaşık bir çalışma sistemine sahip çağrı merkezinde çizelgeleme problemine matematiksel programlama yaklaşımı ile çözüm aranmıştır. Literatürde ilgili alanda yapılmış çalışmalar baz alınarak varsayımlar üzerine model oluşturulmuş ve tespit edilen sınırlamalar modele yerleştirilerek kısıtlayıcı denklemler ifade edilmiştir. Problemin çözümündeki asıl amaç ise, çalışanın adaletli ve dengeli bir vardiya dağılımı ile iyi hizmet vermesi ve adil koşullarda çalışmasının sağlanmasıdır. Ancak bunu yaparken çalışanın yeterliliği ve kısmi olarak izin günlerini belirleyebilme esnekliği de probleme farklı bir boyut kazandırmıştır.

## 1.3. Çalışmanın Kapsamı ve Adımları

Bu çalışma, çağrı merkezlerinde çalışmakta olan personellerin objektif kurallara dayalı ve ergonomik olarak çalışma vardiyalarının belirlenmesi ve atanması kapsamında yapılmıştır.

Çalışmanın adımları şu şekildedir;

- 1) İş gücü ve vardiya çizelgeleme problemlerinin kullanım alanları ve çözüm yaklaşımlarının incelenmesi,
- 2) Çağrı merkezi kadrosu ve telefon operatörleri planlaması alanında literatürde yapılmış çalışmaların incelenmesi,
- 3) Belirlenen işgücü çizelgelemesine dayalı olarak belirlenen kısıtlar dâhilinde, yeterlilik ve memnuniyeti dikkate alarak personeli en uygun şekilde atayan temel matematiksel modelin geliştirilmesi, kurulan modelin uygulanması,

- 4) Uygulama çözümlerinin sonuçları ve yorumlanması,
- 5) Sonraki çalışmalar için önerilerin oluşturulmasıdır.

#### **1.4. Tezin Organizasyonu**

Bu bölüm sonrası konuyla ilgili yapılmış önceki çalışmalar hakkında literatür taraması incelenerek çalışmanın daha öncekilerden farkı değerlendirilmiştir. Materyal ve metot bölümünde model sunulmuş, matematiksel model kurulmuş ve matematiksel olarak gösterilmiştir. Ardından uygulanacak metot ile ilgili açıklama yapılmıştır. Bu geliştirilen matematiksel model, kişisel bir bilgisayarda, CPLEX 12.8 yazılımı kullanılarak 2.80 GHz işlemcide çözülmüştür. Son bölümde, bu çalışma ile elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve konu ile ilgili olarak yapılacak sonraki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

## 2. İŞ GÜCÜ ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Çizelgeleme problemi araştırmacılar tarafından oldukça fazla incelenen bir problem çeşididir. Özellikle iş gücü çizelgeleme problemi çizelgeleme problemleri arasında spesifik olarak karşımıza çıkan bir türdür.

İş gücü çizelgeleme probleminin doğuşuna bakıldığında günümüzdeki anlayış, Dantzig (1954) ve Edie'nin (1954) ortaya attığı problem yapısından farklılık göstermektedir. Bu dönemde problem daha çok gereken işçi sayısı kadar atama yapılmasını karşılıken günümüzde personel isteklerinin de karşılanması ve tatmin edici bir atamanın yapılması modelleri geliştirilmiştir. Talebin esnekliğine göre ya da personelin yer değişikliği durumunda belirli algoritmik çözümler olmasına rağmen kalıplaşmış bir iş gücü çizelgeleme modeli literatürde bulunmamaktadır.

İş gücü çizelgeleme oldukça vakit alan ve çoğu sektörde tecrübeli kişiler tarafından el ile yapılan ancak işçilerin istek ve tercihlerini; örneğin belirli kişi ile çalışma, belirli vardiyada çalışma ya da izin günlerini göz ardı edebilen uzun uğraşlar gerektiren bir iştir. Birçok kısıt (yaş, cinsiyet, tecrübe, çalışan sayısı, personel yeterliliği, izin günleri, iş yükü, özel istekler) ile çalışanın tamamının hoşnut olmasının istenmesi problemi daha da zor bir hale getirmektedir.

İş gücü çizelgelemenin ana hedefi kaynakların verimli kullanılmasını sağlayarak adil iş yükü dağılımı yapmak ve bireysel istekleri de maksimum düzeyde karşılayabilmektir. Bu amaç doğrultusunda personel istekleri ve memnuniyeti çizelgeleme probleminde önemli bir yer edinmektedir.

Vardiya çizelgeleme, işletmenin faaliyet gösterdiği iş kolu ve yapısına göre maliyetleri minimize ederek iş gücünün çalışma saatlerinin başlangıç ve bitişine göre çizelgelenmesini amaçlamaktadır.

Vardiya çizelgeleme konusunda ilk çalışmalar 1954 yılında George Bernard Dantzig tarafından tam sayılı matematiksel model olarak yapılmıştır ve amaç her grup için maliyetleri minimize ederek gerekli personel ihtiyacını sağlamaktır. Yapılan çalışmalardan ikincisi 1979 yılında Elbridge Keith tarafından geliştirilmiştir. Akademik literatürde vardiya çizelgeleme konusunda Dantzig tarafından geliştirilen model, ticari çalışmalarda ise Keith tarafından geliştirilen model daha fazla ilgi görmüştür

Vardiya sistemi; ulaştırma sistemleri (otobüs şoförleri), sağlık endüstrisi (hastane hemşireleri), çağrı merkezi operatörleri, güvenlik kolu (polis memurları), hizmet sektörü ya da üretim sürekliliği olan (fabrika çalışanları) birçok alanda tercih

edilen bir sistemdir. Etkili bir vardiya sistemi personelin performansını maksimum değere çıkarmakta ve iş kazalarını da önlemede önemli bir rol oynamaktadır.

Vardiya çizelgeleme probleminin çözümünde matematiksel modellerden doğrusal programlama, tam sayılı programlama, hedef programlama, dinamik programlama ve sezgisel algoritmalarından genetik algoritma, tabu arama yöntemi, stokastik programlama yöntemleri ve ya her ikisi de birden kullanılarak model oluşturulduğu literatürde görülmektedir. Kesin sonucu veren algoritmalar genellikle doğrusal programlamaya dayanırken ideale yakın çözümler sezgisel algoritmalar ile üretilir.

İş gücü çizelgeleme ve vardiya çizelgeleme arasındaki ilişki; iş gücü çizelgeleme temelde çalışanların belirli vardiyalara atanması problemidir. Zamana göre değişen talebi karşılamak amacıyla personel planlaması ya da iş gücü planlaması çalışanın memnuniyet seviyesini de dikkate alarak maliyetlerini minimize ettiği problem tipidir. Bir işyerinde çalışması gereken en az işçi sayısı, iş yükü dağılımı, minimum işgücü maliyeti ve mola süreleri iş gücü çizelgeleme ile belirlenmekte, hedeflenen üretim seviyeleri için minimum iş gücü hesaplanması amaçlanmaktadır.

Literatürde iş gücü çizelgeleme problemi üç gruba ayrılmıştır.

1. İzin Günü Çizelgeleme Problemleri (days-off scheduling), haftanın günlerinin (days-of-week) çizelgelemesi,
2. Vardiya Çizelgeleme Problemleri (shift scheduling), bir gün (time-of-day) çizelgelemesi,
3. Tur Çizelgeleme Problemleri (tour scheduling) hem bir gün hem de haftanın günlerinin (days-of-week and time-of-day) çizelgelemesidir.

Her üç problemin de amacı talebi karşılayacak iş gücü sayısını ve toplam iş gücü saatlerini minimize etmektir.

## **2.1.İşgücü Çizelgeleme Problemlerinin Sınıflandırılması**

İş gücü çizelgeleme problemleri talep modelleme, izin günleri, vardiya ve tur çizelgeleme başlıkları altında literatür çalışmalarında yer almaktadır.

### **2.1.1.Talep Modelleme**

Talep modelleme, her planlama periyodunda ihtiyaç duyulan iş gücü miktarının ve gerekli personel dağılımının belirlenmesidir. Şirket yapısına göre personel talebi değişiklik gösterebilmektedir. Üstelik planlama dönemi kısaldıkça personel gereksinimi kısıt sayısı da artacağından dağılımın düzgün yapılması daha zor olacaktır.

### **2.1.2.İzin günlerinin çizelgelenmesi (Days-off scheduling)**

İzin günü çizelgeleme problemleri, personelin çalıştığı ve izinde olduğu günlere atanması işlemidir. Her işçi için izin ihtiyaçlarını karşılayabilmek çizelge için oldukça önemlidir. Temel amaç, izin günlerinin hangi günler olacağına en iyi şekilde saptanmasıdır.

### **2.1.3.Vardiya çizelgeleme (Shift scheduling)**

Vardiya planlamayla ilgili çalışmalar literatürde geniş yer tutmaktadır. Bir iş günü içinde vardiyalara işçi ataması, vardiya süresi, başlaması, bitişi, molalar gibi alternatifleri de içine alarak tam sayılı programlama yaklaşımıyla literatürde yer alırken, izin günlerinin de planlama sürecine dahil edilmesiyle problemin zorluğu nedeniyle sezgisel yaklaşımların da önerildiği görülmektedir.

### **2.1.4.Tur çizelgeleme (Tour scheduling)**

Tur çizelgeleme problemleri, izin ve vardiya çizelgeleme problemlerinin bütünleştirilmiş şekli olarak düşünülebilir.

Tur planlama; bir haftalık, iki haftalık ya da aylık olarak yapılabilir. Ancak modellerde genel olarak planlama dönemi için bir hafta, planlama periyodu olarak da bir saatlik süre ele alınmaktadır. Tur planlamasında bir planlama periyodunda aylak işgücü miktarını en az yapacak ve işyeri yönetiminin isteklerini yerine getirecek işgücü büyüklüğünü belirlemek, çalışacak işçilerin hangi gün hangi vardiyada çalışması gerektiği ve hangi gün izin kullanacaklarının araştırıldığı bir problem şeklidir (Karaatlı, 2010). Tur çizelgeleme problemleri ise bir hafta ya da daha uzun planlama dönemini kapsayan bir çizelgeleme problemidir. Problemin ilk aşamasında, günlük talebin

karşılanması için işgücünün vardiyalara atandığı bir vardiya planlama modeli hazırlanmalı ikinci aşamasında ise, işgücünün her biri için izin günlerinin belirlenmesidir. Bu problem tipinde de küme örtüleme (set covering) probleminin farklı bir notasyonu kullanılır (SUNGUR, 2008).

Bilindiği üzere herhangi bir işletmenin çalışanlarına günlük ve haftalık molalar verilir. Bu nedenle her çalışan için haftanın gün ve günün saatleri için izin süresi ataması yani tur belirlenmesi gerekir.

Amaç, minimum işgücü ve minimum maliyet ile günün her saati için iş gücü talebini karşılamaktır. Tur çizelgeleme problemleri vardiya çizelgelemeye göre daha fazla değişken ve kısıt barındırdığından daha karmaşıktır. Dolayısıyla problemi doğrusal programlama teknikleriyle çözmek yerine değişik sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler geliştirilmiştir.

## **2.2. İşgücü Çizelgeleme Problemlerinin Uygulama Alanları**

İş gücü çizelgeleme problemleri; ulaştırma sistemleri (otobüs şoförleri), sağlık endüstrisi (hastane hemşireleri), çağrı merkezi operatörleri, güvenlik kolu (polis memurları), hizmet sektörü ya da üretim sürekliliği olan (fabrika çalışanları) birçok alanda tercih edilen bir sistemdir.

### **2.2.1.Ulaştırma sistemleri**

Ulaştırma sistemlerinden otobüs, metro, uçak gibi araçlarda görev alan mürettebatın araçlara atanması problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tip problemlerde literatürde . Scheduling(bir günlük periyotta çizelgeleme), rostering (daha uzun periyodu dikkate alan çizelgeleme)terimleri dikkat çekmektedir.

### **2.2.2.Çağrı merkezleri**

Çağrı merkezleri kar amacı olmadığı için iş gücü maliyetlerini minimize etmeye çalışan ve mümkün olduğunca tüm çağrılara cevap vermeyi amaçlayan oldukça hareketli organizasyonlar olup organizasyon içindeki işleyiş genel olarak aynıdır. Gelen çağrı ilk önce otomatik operatöre bağlanır ve müşterinin talebi ve isteği doğrultusunda yönlendirmeler yapılarak çağrılar işçiler arasında paylaştırılarak çizelgenir. Her

çalışan kendi ekranından operatör kuyruğundaki gelen çağrı miktarını görür ve acil müşteri olarak sınıflandırılan çağrılar için mümkün olduğu kadar hızlı bir şekilde müşteri ihtiyacı karşılanmaya çalışılır. Çağrı merkezinde çalışan işçiler hem tam zamanlı hem de kısmi zamanlı vardiyalarda çalışabilecekleri için atanacak işçilerin sayısı, mola süresi gibi ihtiyaç duyulan periyotların belirlenmesi bir çizelgeleme problemini de beraberinde getirmektedir.

### **2.2.3. Kamu Hizmeti Veren Sistemler**

Kamu hizmeti veren sistemler içerisinde kütüphaneler, posta dağıtım merkezleri, elektrik-su faturası dağıtım kuruluşları için çalışanın çizelgeleme problemi karşımıza çıkmaktadır.

### **2.2.4. Sağlık ve bakım hizmetleri**

Gerek özel gerekse devlet hastanelerinde yöneticiler daha kaliteli hizmet vermeyi amaçlarken maliyetlerini de minimum yapmak isterler. Hastanelerin 7 gün 24 saat kesintisiz hizmet verdiği ve özellikle hemşirelerin bayan yoğunluklu olduğu ve doğal olarak doğum izni, süt izni vs. gibi durumlardan kaynaklı tatil ihtiyaçları değişebilecek olan bu genel yapı düşünüldüğünde, hemşirelerin iş yükü çizelgelemesi en önemli sorunlardan biridir. Ana amacı, fazla mesailerin azaltılarak minimum iş gücü maliyetleri sağlanacak şekilde adil bir hemşire iş yükü ataması olan problem literatürde geniş araştırma konularından biridir.

### **2.2.5. Güvenlik birimleri ve acil servisler**

İtfaiye, ambulans ve polis merkezleri gibi kuruluşlarının olay yerine müdahale etmesi hayati önem taşıdığından ve acil durum günü belirsiz olacağından değişimleri karşılayabilecek personel seviyesi ve hizmet standardına uygun iş gücü çizelgelemesi oldukça önem arz etmektedir.

### 2.3. İşgücü Çizelgeleme Problemlerinin Çözüm Teknikleri

İşgücü çizelgeleme problemlerinde kullanılan çözüm teknikleri; talep modelleme, matematiksel programlama yaklaşımları, yapay zeka yaklaşımları, bulanık mantık, bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli, sezgiseller, meta sezgiseller ve genetik algoritmalar kullanılmaktadır.

#### 2.3.1. Talep modelleme

İş gücü çizelgelemesi yapılırken gerekli personel sayısını belirlemek için sayısal ve sayısal olmayan yöntemler kullanılabilir. Bu yöntemlerin tercihinde işletmenin büyüklüğü ve sektör oldukça önemlidir. Çünkü karmaşık yapısı olmayan işletmeler daha basit tekniklere sahipken kontrolü zor olan karmaşık yapılı işletmelerde daha çeşitli ve uğraştırıcı metotlar kullanılabilir.

Talep modellemede önemli olan unsur gerekli personel talebinin tahminidir. Örneğin hızlı tren mürettebat çizelgelemesinde talep açık bir şekilde belliyken acil serviste gerekli hemşire sayısı vaka durumuna göre değişken yapıdadır. Banka, süpermarket gibi sektörlerde ise müşteri memnuniyetinin sağlanması adına bekleme süreleri minimuma indirilmeye çalışılır. Bu yüzden özellikle bu alanlarda kuyruk sistemi ve simülasyon modelleri geliştirilmiştir. Kuyruk modelleri rassal talebe hizmet sunarken simülasyon modeller daha genel ve esnek bir teknik olup geniş alanda kullanılması mümkündür.

Bunun dışında yapay sinir ağları, regresyon gibi teknikler de talep tahmini için kullanılabilir.

#### 2.3.2. Matematiksel programlama yaklaşımları

Matematiksel programlamayla çözümü kolaylaştırmak için değişken ve kısıt sayısı azalmalıdır. Diğer bir deyişle; problemde değişken sayısı arttıkça matematiksel programlamayla çözmek oldukça zorlaşmaktadır. Optimizasyon amaçlı yaklaşımlar genellikle matematiksel programlamaya dayalıdır. Matematiksel programlamanın mümkün olmadığı durumlarda çeşitli sezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Ancak bunlar optimum çözümü garanti etmezler.

Çizelgeleme problemlerinde, birden fazla amacın olduğu durumlarda hedef programlama tekniği kullanılır. Hedef programlama tekniğinde amaç fonksiyonunun maksimizasyon ya da minimizasyonu yerine var olan her bir amaç birer kısıt haline dönüştürülür ve kısıtlar önem sıralamasına göre dizilir. Bu kısıtların amaçlardan sapması minimize edilerek hedefe ulaşmaya çalışılır.

Vardiya çizelgeleme problemlerinde kullanılan matematiksel modellerde ise atama, örtülü (implicit) küme örtüleme ve açık (explicit) küme örtüleme yöntemleri dikkat çekmektedir. Atama yönteminde her periyottaki her işçinin aktivitelere atanması için karar değişkenlerinden yararlanılır. Örtülü (implicit) küme örtüleme problemlerinde, vardiya tipi, başlama ve bitiş zamanları ilişkilendirilir. Açık (explicit) küme örtüleme problemleri ise olası tüm vardiyaları ele alan karar değişkenleri, talepleri karşılayan bir alt küme seçilerek ilişkilendirilir.

### **2.3.3.Yapay zeka yaklaşımları**

Yapay zeka, insana özgü olan düşünme, anlama, kavrama, yorumlama ve öğrenme gibi zeka olarak adlandırılan davranışların makineler tarafından yapılmasıdır. Yapay zeka, insan aklının nasıl çalıştığını gösteren bir model olarak düşünülebilir. Yapay zeka modelinin amacı insan zekasını taklit ederek belli bir ölçüde bilgisayarlara öğrenme yeteneği kazandırmaktır.

Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte karşımıza çıkan, sezgisel olarak çözülebilen ya da matematiksel tekniklerle çözülmesi mümkün olmayan gerçek hayat problemlerini çözmeye yönelik teknikleri içerir. Yapay zeka problemleri; oyunların modellenmesi, bilgilerin modellenmesi, örüntü tanıma, robotik ve doğal dilin işlenmesi gibi problem sınıflarında kullanılmaktadır.

### **2.3.4.Bulanık mantık (Fuzzy logic)**

Bulanık mantık insanın düşünme biçimini modellemeye çalışır. Klasik görüşte bir üye bir kümenin üyesidir ve ya üyesi değildir. Ancak bulanık küme teorisinde bir üyenin bir kümenin üyesi olup olmadığı üyelik fonksiyonları ile belirlenir. Yani üyelikten üye olmamaya geçiş derecelendirilir. Böylece belirsizliğin ölçülebilmesini anlamlı bir şekilde temsil eder. Bu mantığın en güçlü özelliği uzman bilgisinin

kullanılmasıdır ancak uzman bilgisi tam olmadığı zamanlarda dezavantaj oluşturmaktadır.

Vardiya çizelgelemede amaçların belli bir değerde ya da belli bir değer civarında olması isteniyorsa probleme bulanık çok amaçlı model metoduyla yaklaşılabilir.

### **2.3.5. Bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli**

Klasik doğrusal programlama yaklaşımında parametre değerleri kesin değerler alırken gerçek hayat problemlerinde her zaman kesin değerler verilmesi mümkün olmamaktadır. Bu amaçla ilk kez Belmann ve Zadeh tarafından geliştirilen modelde amaç fonksiyonun sol ve sağ taraf kat sayı sabitleri hepsi bulanık ya da tek tek bulanık olarak seçilerek programlanır.

Hedeflerin öncelik yapısına göre, bulanık hedef programlama modeli iki şekilde ele alınmaktadır. Birincisi, bütün hedeflerin aynı tercih önceliğinde yer aldığı bulanık hedef programlama modelidir. Bu modelde, bütün hedefleri eş zamanlı karşılayan bir çözüm belirlenir. İkincisi, hedeflerin farklı tercih önceliklerinde yer alabildiği tercih öncelikli bulanık hedef programlama modelidir. Bu modelde, problem çözücünün tercih özelliğini dikkate alan bir çözüm belirlenmeye çalışılır (Özkan 2003:181'den Aktaran, Karaatlı,2010)

### **2.3.6. Sezgiseller (Heuristics)**

Sezgisel yöntemler optimizasyonu sağlayan modellerin aksine optimalliği garanti etmezler. Yani uygulanan yöntemin doğruluğunun ispatı gerekmemektedir. Karmaşık bir problemin daha basit hale getirilerek algoritmanın tatmin edici bir sonuç bulması yeterlidir. Sezgisel algoritmalar günlük hayatımızda her gün kullandığımız yaklaşımlardır. Örneğin herhangi bir yerde yön duygumuzu kullanarak bilmediğimiz bir yolu tercih edip yol ayrımlarında sezgisel olarak seçim yapmak böyle bir iştir. Bunun dışında kesin formülasyonu ve çözüm yöntemi olmayan problemlerde, daha karmaşık problemlerin çözümünde sezgisel yaklaşımlara başvurulmaktadır. En temel sezgisel yöntemler ise karma (shuffling) ve aç gözlü karma (greddy shuffling) algoritmalarıdır.

### 2.3.7. Meta sezgiseller (Metaheuristics)

Meta-sezgisel kavramı, ismini Yunanca 'da bulmak anlamına gelen “heuriskein” ile üst seviye yöntem bilim anlamına gelen “meta” sözcüklerinin birleşiminden almaktadır. Meta-sezgisel yöntemler, sezgisel yöntemleri üst seviyede birleştirerek, arama uzayını etkin ve verimli bir şekilde incelemeyi amaçlar (Aytuğ, 2013).

Doğadan esinlenen meta-sezgisel yöntemler daha çok optimizasyon problemlerini çözmek için geliştirilmiştir. Doğada gerçekleşen bir olayı modelleyerek, eniyileme problemlerine uygun çözümler getirmeyi amaçlamaktadır. Meta-sezgisel yöntemler, farklı problemlere kolayca uyarlanabilirler. Bunlardan çizelgeleme, rotalama, zaman planlama, çizge boyama gibi birçok farklı probleme etkin çözümler getirebilmektedir. Meta-sezgisel yaklaşımlara literatürde tabu arama (tabu search), tavlama benzetimi (simulated annealing), sinir ağları (neural networks), genetik algoritmalar (genetic algorithms), makine öğrenme (machine learning), pekiştirmeli öğrenme (reinforcement learning) ve karınca kolonisi optimizasyonu (ant colony optimization) gibi modellerle karşımıza çıkmaktadır.

- **Tavlama benzetimi (Simulated annealing)**

Bu model ilk olarak Kirkpatrick (1983) tarafından gezgin satıcı problemiyle ortaya atılmıştır. Stokastik arama yöntemidir. Katıların fiziksel tavlama süreci ile olan benzerlikten ileri gelmektedir. Katıların ısıtılması ve sonra yavaş yavaş soğutulması esasına dayanır. Tavlama Benzetimi, İniş Algoritmasının (Descent Algorithm) iyileştirilmiş halidir. Tavlama benzetimindeki amaç; yeterince yüksek sıcaklıktaki bir çözümden başlayıp sıcaklığı aşamalı ve dikkatli olarak azaltarak iyi ve kötü çözümler arasında dolaşmak ve en sonunda en iyi çözüme ulaşmaktır. Aslında metallerin sıcaklığının kademeli olarak düşürülmesi ile katılaşabilme özelliğinin ve daha düşük enerjili dayanıklı malzeme oluşturulmasının taklididir.

- **Tabu arama (Tabu search)**

Tabu arama algoritması Glover tarafından 1986 yılında geliştirilen meta-sezgisel yöntemlerden biridir. Tabu arama algoritması yerel optimum tuzaklarından kaçarak global optimumu yani en iyi ya da en iyiye yakın çözümleri bulan yüksek seviyeli esnek yapıya sahip ve birçok optimizasyon problemlerinde kullanılacak bir sezgisel yöntemdir.

Tabu arama algoritmasının ilk aşamasında bile bir çok optimizasyon probleminde başarılı sonuçlar ürettiği literatürde yer almaktadır.

Algoritmanın kullanıldığı bazı uygulamalar:

- ✓ Employee scheduling (İş gücü çizelgeleme)
- ✓ Job shop scheduling (İş akış çizelgeleme)
- ✓ Machine scheduling (Makine çizelgeleme)
- ✓ Character recognition (Karakter tanımlama)
- ✓ Space planning and architectural design (Alan planlaması ve mimari tasarım)
- ✓ Nonlinear covering (Doğrusal olmayan kaplama)

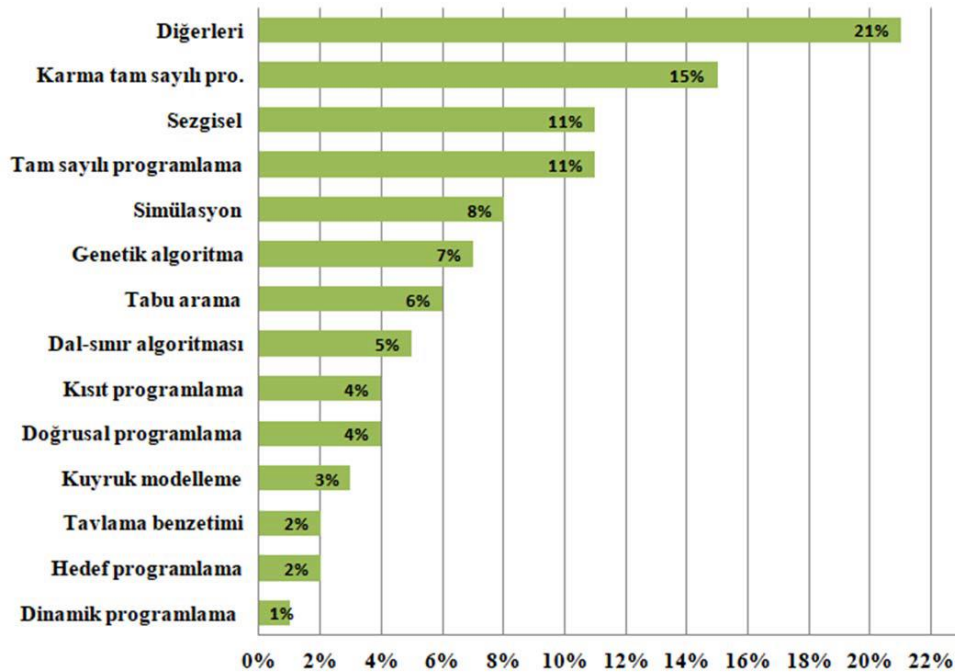
### **2.3.8. Genetik algoritmalar (Genetic algorithms)**

Doğada gözlemlenen mekanizmalara benzer şekilde, canlıların genetik yapısının sanal ortama aktarılmasıyla oluşan bir arama ve en iyileştirme yöntemi olan genetik algoritmalar çok boyutlu bir uzayda her iterasyonda en iyi sonucu üreten kromozomun hayatta kalması prensibiyle çalışan optimizasyon yöntemidir.

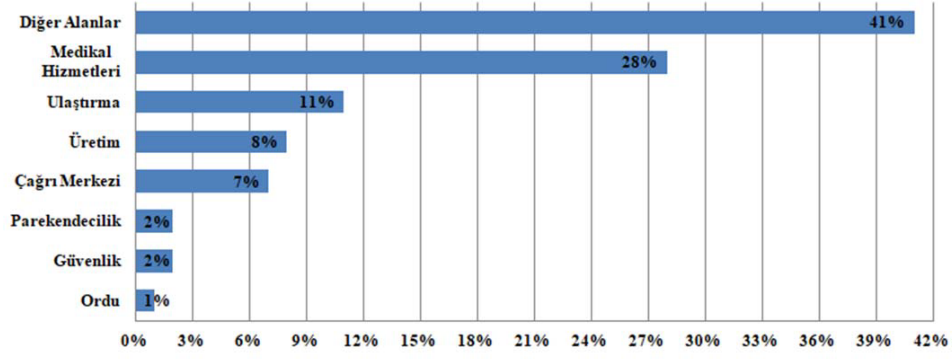
### 3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatür çalışmamızın odak noktası çağrı merkezi kadrosu ve telefon operatörü planlaması üzerine kullanılan son teknikleri kapsamaktadır. Çağrı merkezi endüstrisinin büyüklüğü ve operasyonlarıyla ilişkili karmaşıklık göz önüne alındığında, çağrı merkezleri Yöneylem Araştırması için bir temel olarak ortaya çıkmıştır.

Çağrı merkezleri üzerine yapılan araştırmaların çoğu, geleneksel olarak tek bir çağrı tipiyle tek beceri merkezlerine odaklanmıştır ve genellikle müşteri temsilcilerinin performansını etkileyen unsurlar ve çağrı merkezi servis kalitesi konuları üzerinde yoğunlaşmıştır. Çok yetenekli merkezler, yönlendirme kurallarını, öncelikleri vb. içerir ve analitik olarak tek bir müşteri türüne sahip tek bir kuyruktan çok daha karmaşıktır. Personel atama üzerine literatür araştırmaları analiz edildiğinde, çok sayıda çalışmada, tamsayı programlama, doğrusal programlama, dinamik programlama ve hedef programlama gibi matematiksel programlama yaklaşımlarına rastlanmaktadır (Bulut, 2019). Literatür taramasında bulunan bir araştırmaya göre personel atama ile ilgili yapılan çalışmalarda kullanılan yöntemler ve uygulama alanları ile ilgili yüzdeler Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Çözüm yöntemlerine göre çalışma yüzdeleri (Bulut, 2019)



Şekil 2.2. Uygulama alanlarına göre çalışma yüzdeleri (Bulut, 2019)

Literatürde çağrı merkezleri kadrosu adına yapılan çalışmalara bakıldığında ilk olarak (Willis Huxford, 1991), telefon operatörü kadroları oluşturmak için tamsayı programlama (IP) tekniği kullandığı görülmektedir. (Agnihotri Taylor, 1991), Lourdes Hastanesinde telefonla randevu sisteminde, bir gün içindeki çağrı gelişlerindeki değişimin üstesinden gelmek adına en uygun personel düzeylerini bulmak için ( M / M / c ) kuyruk modeline göre saatlik personel ihtiyacını belirlediler. (Andrews Parsons, 1993), personel düzeylerini belirlemek için hizmet düzeyi kriterleri kullanmak yerine ekonomik optimizasyonu kullandı. (Thompson, 1997), kıdem sırasına göre çalışan tercihlerini ve tüm talepleri karşılamayı amaçlayan New Brunswick Telefon Şirketi operatörlerini vardiyalara atamak için Genetik Programlama (GP) benzeri bir yöntem kullanırken, (Yamada T., 1999), bir telefon merkezinde değişken sayıdaki operatörü programlamak için işçi maliyetlerini düşürmekle birlikte hizmet kalitesini sürdürmeyi amaçlayan genetik bir algoritma yaklaşımı kullandı. (Brusco Jacobs, 2000), Motorola çağrı merkezindeki müşteri hizmetleri temsilcilerinin işgücü gereksinimi dağılımlarını kullanan büyük ölçekli sürekli tur planlama sorunları için kompakt bir örtük tamsayı programlama (IP) modeli sunarken, (Lin, LaiHung, 2000), 24 saatlik bir yardım hattı hizmetinde saatlik personel seviyelerini belirlemek için regresyon modeli ve simülasyon modelini birleştirerek karma bir tamsayı programlama yaklaşımı ile kıdemli ve kıdemsiz memurların eşit günlük ve aylık programlarını geliştirmek amacıyla entegre bir iş gücü yönetim sistemi geliştirdiler. (Çezik, Günlük,Luss, 2001), işgücü planlama ve çizelgeleme problemi için haftalık temsilci turlarının tasarlanması gereken izin günleri ve vardiya programlama kısıtlamalarını bir ağ akış çerçevesinde birleştirerek elde ettikleri bir tamsayı programlama modeli sunarken, (Saltzman Mehrotra, 2001), müşteri odaklı büyük bir yazılım şirketinde yeni bir ücrete dayalı teknik destek çağrı merkezi oluşturmak için animasyonlu bir simülasyon modeli geliştirdi. (Duder

Rosenwein, 2001), bir çağrı merkezinin toplam operasyon maliyetlerinin yarısından fazlasını oluşturan personel maliyetlerini, hizmet kalitesini iyileştirmek ve terkleri azaltmak amacıyla, terk etmenin maliyetini değerlendiren bazı "pratik kural" formüllerini optimum temsilci sayısını belirlemek için kullandılar. (Caprara, MonaciToth, 2003), bir acil durum çağrı merkezinde, ufuktaki tüm günlük görevleri yerine getirmek için gereken çalışan sayısını en aza indirmek amacıyla, çalışanlarının minimum çalışma ve dinlenme günlerini belirlemek için alternatif Tamsayı Doğrusal Programlama (ILP) modellerini ve bu modellerle ilişkilendirildiği dinamik programlama ve buluşsal yöntemleri kullanırken; (Linda V. Green, KolesarSoares, 2003),iş günü boyunca sınırlı çalışma saatlerine sahip telefon çağrı merkezlerinde personel düzeylerini belirlemek için kuyruk modelleri ve sezgisel yaklaşımlar kullandılar. (Koole van der Sluis, 2003), genel bir hizmet seviyesi hedefi olan çağrı merkezleri için bir vardiya planlama problemini yerel bir arama algoritmasının küresel olarak en uygun çözümlerle sona ermesini sağlayan çoklu modülerlik özelliğini kullanarak çözüme kavuşturdular. (Bard, 2004), talepleri oldukça değişken olan bir hizmet tesisinde, kalıcı bir işgücü seçmek için bir planlama modeli çalıştırırken kullanılacak en iyi verileri seçme konusunu araştırdı. Çalışmada IP'yı kullanarak tam zamanlı personel düzeyini belirlemeye çalıştı. (Atlason, EpelmanHenderson, 2004), bir hizmet sistemi olan çağrı merkezinde, personel maliyetlerini en aza indirmek için yinelemeli bir kesme düzlemi yöntemi ile hizmet seviyesinin belirlenmesi için simülasyon yöntemini kullandı. (Harrison Zeevi, 2005), kadrolama problemini çözmek için, stokastik akışkan modellerini kullanarak, doğrusal programlama ve Monte Carlo simülasyonunun bir kombinasyonu ile sayısal olarak çözülebilen çok boyutlu bir haber satıcısı problemine indirgeyen yöntem geliştirdiler. (Whitt, 2005), temel çağrı merkezi modelinde gereken personel düzeylerini tahmin etmek amacıyla Markov kuyruk modellerinin tahminlerini kullanırken, (Whitt, 2006) çalışmasında belirsiz varış oranı ve çalışanların devamsızlığı nedeniyle personel sayısı belirsiz olan tek sınıflı bir çağrı merkezinde personel oluşturmak için kuyruk analizi yöntemlerini kullandı ve çalışanın devamsızlığını modelledi. (Alfares, 2007), büyük bir petrokimya şirketi için BT yardım masası operatörlerinin, en iyi personel düzeyini ve 24 saatlik bir çalışma süresi boyunca değişen iş yükünü karşılamak için Tamsayı Programlama (IP) modeli geliştirdi. (Canon, 2007) ve (Avramidis, Chan, Gendreau, L'EcuyerPisacane, 2010), çağrı merkezi endüstrisinde ortaya çıkan çağrı merkezini boyutlandırma sorunu, yıllıklandırma sorunu ve son olarak vardiya tasarım problemi olmak üzere üç farklı sorunu ele aldı. (Linda V

Green, KolesarWhitt, 2007) müşteri talebinin gün içinde öngörülebilir bir şekilde değiştiği hizmet sistemlerinde personel gereksinimlerini belirlemek için sıraya alma teorisi yöntemlerini gözden geçirerek durağan olmayan ortamlarda kullanım için sabit kuyruk modellerinin nasıl uyarlanacağını ele aldılar.

(Aksin, ArmonyMehrotra, 2007), çağrı merkezi operasyon yönetimi ile ilgili güncel literatüre bir anket sunarak, geleneksel araştırma alanlarının yanı sıra, gelişen teknolojilerin neden olduğu yeni yönetim zorluklarına, hem çağrı merkezi temsilcileri hem de müşterilerle ilişkili davranış sorunlarına ve çağrı merkezi operasyonları ile satış ve pazarlama arasındaki ara yüze özel önem verdikleri çalışmalarıyla Modern Çağrı Merkezinde Yöneylem Yönetimi araştırmasına çok disiplinli bir bakış açısı kazandırdılar. (Weinberg, BrownStroud, 2007), bir ABD ticari bankasının çağrı merkezine gün içi varış oranlarını modellemek ve tahmin etmek için Markov zinciri Monte Carlo örnekleme yöntemleri kullanarak çarpımsal bir model önerdiler. (Atlason, EpelmanHenderson, 2008) , gelen çağrı merkezinde personel maliyetlerini en aza indirmek için simülasyon tabanlı bir analitik merkez kesme düzlemi yöntemi önerdiler. (Bhulai, KoolePot, 2008), çağrı merkezlerinde vardiya planlaması için doğrusal bir programlama modelini sundular. (Cezik L'Ecuyer, 2008), simülasyonla tahmin edilen hizmet düzeyi gereksinimlerine tabi olan çok yönlü bir çağrı merkezinin personel maliyetlerini en aza indirmek için bir tam sayı programında yinelemeli bir kesme düzlemi algoritması üzerinde çalışırken; (Ertogral Bamuqabel, 2008), yerel bir telekomünikasyon şirketinin iki dilli (Arapça ve İngilizce) bir çağrı merkezinde personel programlarını geliştirmek için bir kuyruk yaklaşımı olan veri analizi ve bir simülasyon modeli kullandılar. (Thomas R Robbins Harrison, 2008), çağrı merkezlerini planlamak için iki aşamalı bir algoritma geliştirdiler ve simülasyon tabanlı bir optimizasyon yaklaşımı ile çözüm aradılar. (Avramidis, ChanL'Ecuyer, 2009), tarafından bir çağrı merkezinde çok becerili bir personel sorunu ele alınırken, (Castillo, JoroLi, 2009), maliyet minimizasyonu ve hizmet seviyesi maksimizasyonunun diğer tamamlayıcı kriterlerle birlikte aynı anda ele alındığı alternatif bir çok boyutlu paradigma önerdiler. (S Liao, Van Delft, Koole, DalleryJouini, 2009), rastgele iş yükü ile çağrı merkezi kapasite tahsisini ele aldılar. (AbdulMalek Allahverdi, 2009), Kuveyt'teki bir mobil telekomünikasyon şirketinin 800'den fazla çalışanının PC veya yazılımla ilgili sorunlarını çözmek için aşırı bekleme süresi problemini, hem çalışanların boşta kalma süresinin maliyetini hem de teknisyen ücretlerini göz önünde bulundurarak şirkette toplam maliyeti en aza indirmek için ihtiyaç duyulan optimum

teknisyen sayısını belirlemek amacıyla simülasyon modelini kullandı. (Avramidis vd., 2010), bu yöntemi, çoklu görev çağrı merkezinde aracı planlama problemini çözmek için simülasyon tabanlı algoritmaları inceleyerek günlük görevlendirmeleri optimize edecek model olarak genişlettiler. Bu yöntemler aslında (Atlasonvd., 2004), yönteminin uyarlamaları ve genellemeleridir. (Hojati, 2010), New Brunswick telefon firmasının operatörlerinin haftalık vardiya atamalarına ilişkin literatürde yer alan verilere çözüm yöntemi uyguladı. (Ingolfsson, Campello, WuCabral, 2010), ise her zaman belirli bir minimumun üzerinde olan zamanla değişen bir hizmet düzeyi ile düşük maliyetli vardiya çizelgelerini bulmak için bir yöntem geliştirdiler. (Gurvich, LuedtkeTezcan, 2010), hizmet kalitesi kısıtlamaları ve talep oranı belirsizliği altında çalışan birden çok müşteri sınıfına ve temsilci türüne sahip çağrı merkezlerine personel atama sorununu ele aldılar. (Helber Henken, 2010), gelen çağrı merkezleri için kâr odaklı bir vardiya planlama yaklaşımı sunarak zamana bağlı varış oranları nedeniyle sistemin dinamiklerini yakalamak için ayrık zaman modelleme yaklaşımı kullandılar. (Thomas R. Robbins Harrison, 2010), çağrı merkezi planlama konusunu, geliş oranlarının oldukça değişken olduğu, toplam hacimlerin belirsiz olduğu ve çağrı merkezinin küresel bir hizmet düzeyi kısıtlamasına tabi olduğu bir ortamda ele aldılar. (Dietz, 2011), gelen çağrı merkezinde hizmet temsilcilerinin aday tur türlerine ve başlangıç zamanlarına en uygun tahsisini belirlemek için pratik bir elektronik tablo tabanlı planlama yöntemi geliştirdi. (Kygäs, NurmiKygäs, 2012), büyük ölçekli personel listeleme örneklerini optimize etmek için PEAST algoritması olarak adlandırılan sezgisel bir yöntem kullandılar. (Dudin, Kim, DudinaBaek, 2013), kayıp müşteri geri aramalı çağrı merkezi modeli olarak heterojen müşterili kuyruk sistemini incelediler. (Ibrahim L'Ecuyer, 2013), çağrı merkezi yöneticilerinin karşılaştığı gerçek hayattaki zorlukları taklit etmek için, haftalardan saatlere kadar değişen farklı teslim süreleri kullanarak tahmin doğruluğunu test ettiler. (Millán–Ruiz Hidalgo, 2013), çağrı merkezlerindeki çağrı varışlarının gün içi tahminine yönelik yeni bir sinir ağı tabanlı yaklaşım sundular. (Nah Kim, 2013), çağrı merkezi yönetimi için geleneksel kuyruk teorisi yöntemine güvenmek yerine, gelen-yük parametresini tanıtarak, beklenen arayan bekleme süresini ve beklenen terk oranını doğrudan elde eden bir yöntem sundular.

Çağrı merkezlerine kesin varış oranları genellikle bilinmemektedir ve birçok yazar bu belirsizliği yakalamak için stokastik optimizasyon yöntemini bir alternatif olarak düşünmektedir. (Shuangqing Liao, Koole, van DelftJouini, 2012) ve (S. Liao, van DelftVial, 2013), belirsiz geliş hızlarını ayrık olasılık dağılımları ile

modellemektedir. (Örmeci, SalmanYücel, 2014), çalışanların ulaşımını sağlayan bir çağrı merkezi için personel atama problemi modellediler. Model yönetim önceliklerine göre işletme maliyetleri, müşteri hizmetleri ve çalışan memnuniyeti hedeflerini dengelemeyi amaçlamaktadır. (Gong, Yu, TangLi, 2015), çağrı merkezi uygulamasıyla motive olarak, sabırsız ve tekrar arayan müşterilerle çok sunuculu kuyukların optimal kadrosunu incelediler. (Gansvd., 2015), çağrı merkezlerinde işgücü yönetimi için entegre bir tahmin ve stokastik programlama yaklaşımı geliştirerek senaryo üretimi için Gauss kuadratürünü araştırdılar.

(Ásgeirsson Sigurðardóttir, 2016) tüm katı kısıtlamaları karşılayan ve aynı zamanda yumuşak kısıtlama ihlallerini en aza indiren ve mümkün olduğunca çok sayıda çalışan talebini karşılayan uygulanabilir bir program bulmak için karma bir tamsayı programı (MIP) formüle ettiler. (Defraeye Van Nieuwenhuysse, 2016), durağan olmayan talep ve stokastik hizmet seviyesi kısıtlamaları ile vardiya çizelgeleme için bir şube ve sınır yaklaşımı sundular. (Excoffier, GicquelJouini, 2016), belirsiz çağrı varış tahminleri altında çağrı merkezlerinde ortaya çıkan bir işgücü yönetimi sorunu olan vardiya çizelgeleme sorununu çözmek için simülasyonu, karma tamsayı programlamayı ve kesim oluşturmayı birleştiren bir yöntem önerdiler. (Mattia, Rossi, ServilioSmriglio, 2017), iki aşamalı sağlam optimizasyonla esnek çağrı merkezlerinde personel oluşturma ve planlama üzerine çalışırken, (Restrepo, GendronRousseau, 2017), talep belirsizliği altında ve çalışanların aynı becerilere sahip olduğu durumlarda süreksiz birçok aktiviteli tur planlama problemini ele aldılar. (Kilincli Taskiran Zhang, 2017), çağrı merkezlerinde birden çok kategoride çapraz eğitim personeli planlamasını ele almak için matematiksel model ve çözüm yaklaşımı geliştirerek bir tamsayı programı önerdiler. (Ta, Chan, BastinL'Ecuyer, 2021), çağrı merkezlerinde varış oranı belirsizliği altında iki aşamalı personel optimizasyonu için simülasyon tabanlı bir ayrıştırma yaklaşımı geliştirdiler.

**Çizelge 3.1. Çağrı merkezlerindeki işgücü planlama çalışmalarının bazı özellikleri**

Literatür	Yıl	Ele alınan alt sorunlar			
		Çağrı Tahmini	Personel	Vardiya Çizelgesi	Kadro
Willis & Huxford	1991				✓
Agnihotri & Taylor	1991		✓		
Andrews & Parsons	1993		✓		
Thompson	1997			✓	
Yamada T.	1999		✓		
Brusco & Jacobs	2000		✓		
Lin, Lai, & Hung	2000		✓		
Çezik, Günlük, & Luss	2001			✓	
Saltzman & Mehrotra	2001		✓		
Duder & Rosenwein	2001		✓		
Caprara, Monaci, & Toth	2003		✓		
Green, Kolesar, & Soares	2003		✓		
Koole&van der Sluis	2003		✓	✓	
Bard	2004		✓		
Atlason vd.	2004			✓	
Harrison & Zeevi	2005				✓
Whitt	2005-2006		✓		
Alfares	2007		✓		✓
Canon	2007		✓	✓	✓
Green vd.	2007		✓		
Weinberg vd.	2007	✓			
Atlason vd.	2008		✓	✓	
Bhulai vd.	2008		✓	✓	
Cezik&L'Ecuyer	2008		✓		
Ertogral&Bamuqabel	2008		✓		
Robbins&Harrison	2008		✓	✓	
Avradimis vd.	2009		✓		
Castillo vd.	2009		✓	✓	
Liao vd.	2009		✓		
AbdulMalek & Allahverdi	2009		✓		
Avramidis et al.	2010			✓	
Hojati	2010				✓
Ingolfsson vd.	2010		✓		✓
Gurvich, Luedtke, & Tezcan,	2010		✓		
Helber&Henken	2010		✓	✓	
Robbins&Harrison	2010		✓		
Dietz	2011		✓		✓
Kyng'as vd.	2012				✓
Dudin vd.	2013		✓		
Ibrahim&L'Ecuyer	2013	✓			
Mill'an-Ruiz&Hidalgo	2013	✓			
Nah&Kim	2013		✓		✓
Ormeci vd.	2014				✓
Gong vd.	2015		✓		
Gans vd.	2015		✓		
A sgeirsson& Sigurðard'ottir	2016		✓		✓
Defraeye vd.	2016			✓	
Excoffier	2016			✓	
Mattia vd.	2017		✓	✓	
Restrepo	2017				✓
Taskiran&Zhang	2017				✓
Ta, Chan, Bastin, & L'Ecuyer	2021		✓		

**Çizelge 3.2. Çağrı merkezlerindeki işgücü planlama çalışmalarının modelleme yaklaşımları**

Literatür	Yıl	LP	IP	MIP	Kuyruk	Yapıcı Sezgisel	Diğer sezgisel	Simulasyon	CP	Diğer
Willis & Huxford	1991		✓							
Agnihotri & Taylor	1991				✓					
Andrews & Parsons	1993									Ekonomik Optimizasyon
Thompson	1997									NN
Yamada T.	1999									NN
Brusco & Jacobs	2000		✓							
Lin, Lai, & Hung	2000			✓				✓		Regresyon
Çezik, Günlük, & Luss	2001		✓							
Saltzman & Mehrotra	2001							✓		
Duder & Rosenwein	2001									Pratik Kural Formülleri
Caprara, Monaci, & Toth	2003	✓	✓							
Green, Kolesar, & Soares	2003				✓		✓			
Koole&van der Sluis	2003				✓	✓				
Bard	2004		✓							
Atlason vd.	2004			✓				✓		
Harrison & Zeevi	2005	✓					✓	✓		
Whitt	2005-2006				✓			✓		
Alfares	2007		✓		✓					
Canon	2007			✓			✓		✓	
Green vd.	2007				✓		✓	✓		
Weinberg vd.	2007									BF
Atlason vd.	2008			✓			✓	✓		
Bhulai vd.	2008			✓			✓	✓		
Çezik&L'Ecuyer	2008	✓					✓	✓		
Ertogral&Bamuqabel	2008		✓		✓			✓		AHP
Robbins&Harrison	2008					✓	✓	✓		
Avradimis vd.	2009			✓			✓	✓		
Castillo vd.	2009				✓	✓		✓		
Liao vd.	2009		✓					✓		SP
AbdulMalek & Allahverdi	2009							✓		
Avramidis et al.	2010							✓		
Hojati	2010					✓				
Ingolfsson vd.	2010			✓	✓		✓			
Gurvich, Luedtke, & Tezcan,	2010									
Helber&Henken	2010			✓				✓		
Robbins&Harrison	2010			✓			✓	✓		SP
Dietz	2011				✓					
Kyng'as vd.	2012						✓			
Dudin vd.	2013				✓					
Ibrahim&L'Ecuyer	2013									RM
Mill'an-Ruiz&Hidalgo	2013									NN
Nah&Kim	2013			✓						
Ormeci vd.	2014			✓						
Gong vd.	2015				✓					
Gans vd.	2015									Gauss Kuadratörü
'A sgeirsson& Sigurdard'otir	2016			✓						
Defraeye vd.	2016					✓				
Excoffier	2016			✓						SP
Mattia vd.	2017		✓			✓				
Restrepo	2017									SP
Taskiran&Zhang	2017		✓							
Ta, Chan, Bastin, & L'Ecuyer	2021							✓		

LP: doğrusal programlama, IP: tamsayı programlama, MIP: karma tamsayı programlama, CP: kısıt programlama,  
 DEA: veri zarflama analizi, AHP: analitik hiyerarşi süreci, SP-stokastik programlama, NN: sinir ağı, RM: regresyon modelleri, BF: bayesian tahmin.

## 4.MATERYAL VE YÖNTEM

### 4.1. Materyal

Çalışmada, çağrı merkezinde çalışan personeller için işgücü maliyetlerini minimize edecek, çalışan performansını yükseltecek, yasal düzenleme ve yükümlülöklere uyacak şekilde literatürde yapılan araştırmaların incelenmesi sonucu edinilen matematiğe dayalı kavramsal bilgilerin ve uygulamaların referans alınarak oluşturulduğu veri seti, kısıtlar kümesi ve amaç fonksiyonu tasarlanmıştır. Böylece gerek iş yeri kuralları gerekse personel tercihlerinin de göz önüne alınarak işin gereklerine uygun kalifikasyona sahip personelin atanması ve maliyetin minimizasyonu hedeflenmiştir.

### 4.2. Yöntem

#### 4.2.1. Tamsayılı Programlama Yaklaşımı

İşgücü çizelgeleme alanında yapılan çalışmalara bakıldığında en çok kullanılan yöntemlerden birinin matematiksel programlama yaklaşımı olduğu gözlemlenmiştir. Matematiksel programlama yaklaşımında amaç ve kısıtlayıcı etmenleri belirterek oluşturulan matematiksel model en iyi dediğimiz optimal çözümü sağlamak için kullanılır. Matematiksel model ise gerçek sistemi tarif eden denklemlerden oluşur.

Matematiksel programlama yaklaşımlarından biri de tam sayılı programlama tekniğidir. İşletme problemlerinden bazıları doğrusal programlama ile çözülebilirken bir fabrikanın kurulup kurulmaması, bir işçinin bir makineye atanıp atanmaması gibi tamsayılı sonuç alınması gerekebilecek problemlerde çoğu zaman karşımıza çıkmaktadır. Bu tip problemlerde girdi ve çıktıların bölünmezlik sorunu, karar değişkenlerinin tamsayılı olmasını gerektirir. Bir problemin çözüm değerlerinin tamsayılı olması istendiğinde, bu problem doğrusal programlama formatından tamsayılı programlama formatına dönüşür. Tamsayılı programlamada ise modeller üç sınıfta toplanırlar. Bunlar;

- Bütünüyle tamsayılı,
- Karma tamsayılı ve
- 0-1 tamsayılı programlama modelleridir.

Tüm değişkenlerin tamsayılı olması istendiğinde bütünüyle tamsayılı programlama, bazı değişkenlerin tamsayılı bazı değişkenlerin sürekli değişken olması istendiğinde karma tamsayılı programlama ve modelde yer alan tüm değişkenlerin 0-1 tamsayılı olmasının istendiği problemlerde ise 0-1 tamsayılı programlama modelleri devreye girmektedir. Pek çok çalışmaya konu olan bazı özel problemler klasik tamsayılı programlama sınıfına girmektedirler ve bunlar;

- Küme Örtme Problemi,
- Gezgin Satıcı Problemi,
- En Kısa Yol Problemi,
- Sırt antası Problemi'dir.

Tamsayılı programlama problemlerinin çözümü için geliştirilmiş yöntemlerden bazıları ise;

- Yuvarlama Yöntemi,
- Sayımlama Yöntemi,
- Dal-Sınır Yöntemi olup burada yer verilmeyen başka çözüm algoritmaları da bulunmaktadır.

Tamsayılı programlama yaklaşımı;

- Atama problemlerinde,
- Ulaştırma ve lojistik problemlerinde,
- Portföy seçimi problemlerinde,
- Personel izelgeleme problemlerinde,
- İş dağıtım problemlerinde,
- Havaalanlarında uçak çizelgeleme ya da tam sayı değerli değişken içeren bir çok alanda kullanılmakta olup genellikle büyük ölçekli planlama problemlerinin çözümünde tercih edilmektedir.

Çalışmada Tamsayılı Programlama modelinden yararlanıldığı için yüzeysel olarak Tamsayılı Programlama tekniğinden bahsedilmiştir ve çizelgeleme problemine ilişkin, probleme ait parametrelerin, indislerin, değişkenlerin, kısıtların ve amaç fonksiyonların tanımlandığı matematiksel model geliştirilmiştir. 2 tip senaryo üretilmiştir. Senaryoların farkı ise modele yeni kısıtların eklenmesidir. Aynı zamanda model farklı girdi değerleriyle çalıştırılıp amaç fonksiyonu ve çözüm süresi değerleri incelenmiştir. Personel izelgeleme probleminin çözümü için ise IBM ILOG Cplex Optimization Studio yazılımı kullanılmıştır.

#### 4.2.2. Matematiksel Model

Personel çizelgeleme problemi için oluşturulan matematiksel model mimarisi ve modeli oluşturulurken dikkate alınan parametreler, indisler, değişkenler, kısıtlar ve amaç fonksiyonu aşağıda tanımlanmıştır.

#### 4.2.3. İndisler ve kümeler

- n: Toplam personel sayısı  $n=32$
- m: Gün sayısı  $m=28$
- i: Personel indisi,
- j: Günler indisi,
- t: Vardiya sayısı  $t=3$
- k: Vardiya indisi
- p: Departman sayısı  $p=2$
- l: Departman indisi
- w: Haftalar indisi  $(w= 1, \dots, m/7)$

#### 4.2.4. Kullanılan parametreler

- $a_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{i. çalışanın j. gün k. vardiyada çalışma uygunluğu (uygun)} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$   
 $i=1,2,\dots,n \quad j=1,2,\dots,m \quad k=1,2,\dots,t$
- $p_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{i. çalışanın j. gün için izinli olmak istiyor} \\ 0, & \text{çalışan o gün izin almayı düşünmüyor} \end{cases}$
- $w_i = i$ . Çalışanın vardiya başına ücret oranı
- Çalışma yapılan günler { Pazartesi, Salı, Çarşamba, Perşembe, Cuma, Cumartesi, Pazar }
- Departmanlar { Türk müşterilere bakan personeller (1. Departman)  
Yabancı müşterilere bakan personeller (2. Departman)}
- $b_{jkl} =$  Departman l'de j.günde k. vardiyada minimum gerekli personel sayıları

**Çizelge 4.1.** Minimum gerekli çalışan sayıları

Günler		Pazartesi			Salı			Çarşamba			Perşembe			Cuma			Cumartesi			Pazar		
Vardiyalar		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Departmanlar	1. departman (Türk Müşteriler)	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	5	5	5	4	4	4	3	3	3
	2. departman (Yabancı Müşteriler)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

- Vardiya süresi= 8 saat
- Haftalık çalışma saati limiti:  $w_{enb}=40$  saat

#### 4.2.5.Karar değişkenleri

$x_{ijkl}$  { 1, i.personel j.gündeki k.vardiyaya l. departmana atanırsa  
0, diğer durumlarda

$i=1,2,\dots,n$

$j=1,2,\dots,m$

$k=1,2,\dots,t$

$l=1,2,\dots,p$

$H_{ij}$  { 1, i. personel j. günde izinli ise  
0, diğer durumlarda  
 $i=1,2,\dots,n$   $j=1,2,\dots,m$

- **Amaç Fonksiyonu:**  $\text{Min} = w_i \cdot x_{ijkl} \quad \forall(i, j, k, l)$

#### 4.2.6.Kısıtlar

- 1. Tip senaryo kısıtları şu şekildedir;

1. Her bir departmanın vardiyasında minimum eleman sayısının sağlanması gerekir;

$$\sum_i x_{ijkl} \geq b_{jkl} \quad \forall(j, k, l)$$

2. Bir çalışan aynı anda 2 departmana atanamaz;

$$\sum_{l=1}^2 x_{ijkl} \leq 1 \quad \forall(i, j, l)$$

3. Bir haftada her çalışan en fazla 40 saat çalışabilir;

$$\sum_{j \in w} \sum_k \sum_l 8 \cdot (x_{ijkl}) \leq 40 \quad \forall(i, w)$$

4. Her çalışan haftada en az 2 gün izinli;

$$\sum_{j \in hw} H_{ij} \geq 2 \quad \forall(i \in P, w)$$

5. Personeller izin gününde atanamaz;

$$\sum_k \sum_l x_{ijkl} \leq (1 - H_{ij}) \quad \forall(i, j)$$

6. Bir çalışan ard arda 2 vardiyaya atanamaz

$$\sum_l x_{ij1l} + \sum_l x_{ij2l} \leq 1 \quad \forall(i, j)$$

$$\sum_l x_{ij2l} + \sum_l x_{ij3l} \leq 1 \quad \forall(i, j)$$

$$\sum_l x_{i(j-1)3l} + \sum_l x_{ij1l} \leq 1 \quad \forall(i, j)$$

(Gece 23.59'da vardiyası biten ertesi günün gece 00:00 da başlayan vardiyasına atanamaz. )

7. Dil becerisi durumuna göre çalışanların atanmaması gereken departmanlar;

$$x_{ijk2} = 0 \quad i=1..15 \quad \forall(j, k)$$

$$x_{ijk1} = 0 \quad i=16..24 \quad \forall(j, k)$$

8. Çalışanların istemedikleri vardiyalara atanmamalıdır;

$$x_{ijkl} \leq a_{ijk} \quad \forall(l)$$

9. Çalışanların tercih ettikleri günde izinli olmalarını sağlama kısıtı;

$$p_{ij} \leq H_{ij} \quad \forall(i, j)$$

- 2. Tip senaryo kısıtlarına 1. Tipte kullanılan kısıtlara ek olarak 4 kısıt daha tanımlanmış olup şu şekildedir;

10. 2. ve 26. Çalışan gece vardiyasında çalışmadığından bunu engelleyen kısıt;

$$x_{2j3l} = 0 \quad \forall(j, l)$$

$$x_{26j3l}=0 \quad \forall(j, l)$$

11. 13. Çalışan gündüz vardiyasında olmamalıdır;

$$\sum_i x_{13j1l} = 0 \quad \forall(j, l)$$

12. 4. Çalışan 1-7 günler arası yıllık izin hakkını kullanmaktadır;

$$x_{4jkl}=0 \quad j=1..7 \quad \forall(k, l)$$

13. Gece vardiyasında olan ertesi gün gündüz ve öğle vardiyasında çalışmamalıdır.

$$x_{ij3l} + x_{i(j+1)2l} + x_{i(j+1)1l} \leq 1 \quad \forall(i, j, l)$$

### 4.3. IBM ILOG OPL Optimization Studio Yazılımında Kullanılan Model

IBM ILOG OPL Optimization Studio yazılımı kullanılarak ve matematiksel model referans alınarak optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Çizelge için gerekli parametrelerden olan personel sayısı, hafta sayısı, gün sayısı, vardiya sayısı, departman sayısı, vardiya süresi, çalışma uygunluğu değişkeni ve izin isteme durumu değişkeni bu çalışmada kullanılan yazılımdan alınan Şekil 4.1'de görüldüğü üzere tanımlanmıştır.

```
//parameters
int num_workers = 32;
int num_weeks = 4;
int num_days = num_weeks*7;
int num_shifts = 3;
int num_departments=2;
int shift_length=8;

int a[workers][days][shifts] ; //calisma uygunlugu degiskeni
int p[workers][days] ; // izin isteme durumu
```

Şekil 4. 1. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-I

Çalışan sayısının, hafta sayısının, gün sayısının, vardiya ve departman sayısının alt ve üst sınırları Şekil 4.2'de belirtilmiştir.

```

range workers = 1..num_workers;
range weeks=1..num_weeks;
range days=1..num_days;
range shifts=1..num_shifts;
range departments=1..num_departments;

```

Şekil 4. 2. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-II

Belirli bir çalışanın, belirli bir günde belirli bir vardiyada ve belirli bir departmanda çalışması durumunu ifade eden  $x_{ijkl}$  değişkeni ile; belirli bir çalışanın belirli bir gün izinli olmasını ifade eden  $h_{ij}$  karar değişkenleri Şekil 4.3'te belirtilmiştir.

```

//variables (karar degiskenleri)
dvar int x[workers][days][shifts][departments] in 0..1; //atama degiskeni
dvar int h[workers][days] in 0..1; //izin günleri degiskeni,

```

Şekil 4. 3. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-III

Personel çizelgeleme problemleri; ilgili işyerinin kuralları doğrultusunda, çalışanların çalışma tercihleri de dikkate alınarak adil ve nitelikli personellerin tahsis edilmesini gerektirdiğinden bazen çözülmesi güç, kısıtlı optimizasyon problemleridir. Ele aldığımız çalışmada optimizasyon hedefimiz, mevcut iş gücü miktarının aldığı ücret oranlarını göz önüne almak koşuluyla maliyeti en küçüklemektir. Bu durum şekil 4.4' de ki amaç fonksiyonu tanımında belirtilmiştir.

```

//objective (hedef)
minimize
sum (i in workers, j in days, k in shifts, l in departments) cost[i]*x[i][j][k][l];

```

Şekil 4. 4. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-IV

- Senaryo 1 e ait ilk 9 kısıt şu şekildedir;

Şekil 4,5'te belirtilen ilk kısıt her bir departmanın vardiyasında gerekli en az çalışan sayısının sağlanmasını garanti eder.

```

//Her bir departmanın vardiyasında minimum eleman sayısının sağlanması gerekir
forall(j in days)
  forall(k in shifts)
    forall(l in departments)
      sum (i in workers) x[i][j][k][l] >=
min_worker_requirement[j][k][l];

```

Şekil 4. 5. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-V

Şekil 4,6’da belirtilen ikinci kısıt bir çalışanın bir gün içerisinde yalnızca bir departmana atanmasını garanti eder.

```
//Bir çalışan aynı anda iki departmana atanamaz
forall(j in days)
  forall(i in workers)
    forall(k in shifts)
      sum (l in departments) x[i][j][k][l] <= 1;
```

Şekil 4. 6. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-VI

Şekil 4,7’de belirtilen üçüncü kısıt bir haftada her çalışanın en fazla 40 saat çalışabileceğini garanti eder.

```
//Bir haftada her kişi en fazla 40 saat çalışabilir
forall(w in weeks)
  forall(i in workers)
    sum (l in departments, k in shifts, j in (w-1)*7+1..w*7)
      shift_length*x[i][j][k][l] <= weekly_hour_limit[i];
```

Şekil 4. 7. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-VII

Şekil 4,8’de belirtilen dördüncü kısıt her çalışanın haftada en az iki gün izin kullanmasını garanti eder.

```
//Her çalışan haftada en az iki gün bos
forall(w in weeks)
  forall(i in workers)
    sum (j in (w-1)*7+1..w*7) h[i][j]>=2;
```

Şekil 4. 8. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-VIII

Şekil 4,9’da belirtilen beşinci kısıt izin günlerinde çalışanların herhangi bir vardiyaya atanmamasını garanti eder.

```
//izin günlerinde bir çalışan vardiyaya atanamaz
forall(j in days)
  forall(i in workers)
    forall(k in shifts)
      forall(l in departments)
        x[i][j][k][l] <= (1-h[i][j]);
```

Şekil 4. 9. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-IX

Şekil 4.10’da belirtilen altıncı kısıt bir çalışanın ard arda iki vardiyaya atanmamasını garanti eder.

```
//Bir çalışan ardı ardına iki vardiyaya atanamaz
forall(j in days)
  forall(i in workers)
    sum (l in departments) x[i][j][1][l]+sum (l in departments) x[i][j][2][l] <= 1;
forall(j in days)
  forall(i in workers)
    sum (l in departments) x[i][j][2][l]+sum (l in departments) x[i][j][3][l] <= 1;

forall(j in days)
  forall(i in workers)
    if (j<num_days){
      sum (l in departments) x[i][j][3][l]+sum (l in departments) x[i][j+1][1][l] <= 1;
```

Şekil 4. 10. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-X

Şekil 4.11’de belirtilen yedinci kısıt çalışanların yetkin olduğu departmanlara atanmasını garanti eder. İlk 15 çalışan sadece Türkçe bildiğinden 2. Departmana bakamaz, 16...24. Çalışanlar sadece Yabancı müşterilere bakabilirler, 25...32. Çalışanlar ise her iki departmanda da çalışmaya uygundurlar.

```
//çalışanların atanmaması gereken departmanlar
forall (k in shifts)
  forall (j in days)
    forall(i in 1..15)
      x[i][j][k][2]==0;
forall (k in shifts)
  forall (j in days)
    forall (i in 16..24)
      x[i][j][k][1]==0;
```

Şekil 4. 11. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-XI

Şekil 4.12’de belirtilen sekizinci kısıt çalışanların çalışmak istedikleri günler içinde istemedikleri vardiyalara atanmamasını garanti eder

```
//Çalışanların istedikleri günlerde istemedikleri vardiyalar atanmaması
forall (l in departments)
  forall (k in shifts)
    forall (j in days)
      forall (i in workers)
        x[i][j][k][l]<=a[i][j][k];
```

Şekil 4. 12. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-XII

Şekil 4.13'te belirtilen dokuzuncu kısıt ise personelin tercih ettiği günde izinli olmasını sağlayan kısıttır.

```
//Çalışanların tercih ettikleri günde izinli olmalarını sağlama kısıtı
forall (j in days)
  forall (i in workers)
    p[i][j]<=h[i][j];
```

Şekil 4. 13. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-XIII

- Senaryo 2 ye ait ek kısıtlar ise şu şekildedir;

Şekil 4.14'te belirtilen ek kısıt-1; 2. ve 26. çalışanın gece vardiyasına atanmasını engeller.

```
//2.senaryo
//ek kısıt 1
//2. ve 26. çalışan gece vardiyasında çalışmamalı
forall (l in departments)
  forall (j in days)
    x[2][j][3][l]==0;

forall (l in departments)
  forall (j in days)
    x[26][j][3][l]==0;
```

Şekil 4. 14. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-XIV

Şekil 4.15'te belirtilen ek kısıt-2; 13. çalışanın gündüz vardiyasında olmasını engeller.

```
//ek kısıt 2
//13.çalışan gündüz vardiyasında olmamalı
forall (l in departments)
  forall (j in days)
    x[13][j][1][l]==0;
```

Şekil 4. 15. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-XV

Şekil 4.16'te belirtilen ek kısıt-3; 4. Çalışana ayın ilk haftası yıllık izin kullanmasını sağlar.

```
//ek kısıt 3
//4. çalışan 1-7 günler arası yıllık izin hakkından kullanmaktadır
forall (l in departments)
  forall (k in shifts)
    forall (j in 1..7)
      x[4][j][k][l]==0;
```

Şekil 4. 16. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-XVI

Şekil 4.17'te belirtilen ek kısıt-4; gece vardiyasından çıkan çalışanların ertesi gün sabah ve öğle vardiyalarında çalışmamasını sağlayarak dinlenmeleri için gerekli kısıtlamadır.

```
//ek kısıt 4
//Gece vardiyasında olan ertesi gün gündüz ve öğle vardiyasında çalışmamalıdır
forall(j in days)
  forall(i in workers)
    if (j<num_days){
      sum (l in departments) x[i][j][3][l]+sum (l in departments)
x[i][j+1][2][l]+sum (l in departments) x[i][j+1][1][l] <= 1;
    }
}
```

Şekil 4. 17. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-XVII

Şekil 4.18'te tüm çalışanların, tüm gün ve zaman diliminde ve tüm vardiyalar için çalışma uygunluğu ile, tüm çalışanların, tüm gün ve zaman diliminde izin isteme durumunun atama işlemini göstermektedir.

```
execute{
  for(var i in workers)
    for(var j in days)
      for(var k in shifts)
        a[i][j][k]=1;
```

Şekil 4. 18. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili komutu-XVIII

#### 4.4. IBM ILOG Cplex Optimization Studio Yazılımında Kullanılan Veriler

IBM ILOG OPL Studio yazılımını kullanarak matematiksel model referans alınarak optimizasyon verileri oluşturuldu. Bir planlama dönemini oluşturan 28 günlük süreç içinde

- Personelin haftalık çalışma saat limiti,
- Departman ve vardiyalar için gerekli en az personel sayıları,
- Çalışanların ücret oranları,
- Çalışanların çalışmak için uygun olmadığı gün ve vardiyalar,
- Çalışanların izin almak istedikleri günler,

bilgilerinin tutulduğu verilerin veri dosyasından okutulması Şekil 4.19'da belirtilmiştir.



```

var f=new IloOplInputFile("./weekly_hour_limit.csv");
    while (!f.eof)
    {
        var str=f.readline();
// writeln(str);
        var ar=str.split(";");
        if (ar[1]!= null){
            weekly_hour_limit[Opl.intValue(ar[0])]=Opl.intValue(ar[1]);
        }
    }
f=new IloOplInputFile("./min_worker_requirement.csv");
while (!f.eof)
{
    var str=f.readline();
// writeln(str);
    var ar=str.split(";");
    if (ar[3]!= null){

        min_worker_requirement[Opl.intValue(ar[0])][Opl.intValue(ar[1])][Opl.intValue(
ar[2])]=Opl.intValue(ar[3]);
    }
}
var f=new IloOplInputFile("./cost.csv");
while (!f.eof)
{
    var str=f.readline();
// writeln(str);
    var ar=str.split(";");
    if (ar[1]!= null){
        cost[Opl.intValue(ar[0])]=Opl.intValue(ar[1]);
    }
}
var f=new IloOplInputFile("./calismama_bilgisi.csv");
while (!f.eof)
{
    var str=f.readline();
// writeln(str);
    var ar=str.split(";");
    if (ar[3]!= null){
a[Opl.intValue(ar[0])][Opl.intValue(ar[1])][Opl.intValue(ar[2])]=Opl.intValue(ar[
3]);
    }
}
var f=new IloOplInputFile("./izin_bilgisi.csv");
while (!f.eof)
{
    var str=f.readline();
// writeln(str);
    var ar=str.split(";");
    if (ar[2]!= null){

```

Şekil 4. 19. IBM ILOG Optimizasyon programlama dili verileri

## 5.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Personel Çizelgeleme Problemi için IBM ILOG OPL Optimization Studio yazılımı kullanılarak geliştirilen matematiksel programlama modelinde Seneryo-1 olarak tanımladığımız ve dokuz kısıttan oluşan model yaklaşık 3 dakika boyunca çalıştırılmıştır ve amaç fonksiyonu değeri 14004 olarak bulunmuştur. Bu değer toplam 32 çalışanın EK-4 de verilen vardiya başına ücret oranlarının ve ilk 9 kısıtın dikkate alınmasıyla hesaplanmış olup kişilerin en uygun vardiyalara atanmasını sağlayan minimum maliyet değeridir. Çalışan ücretlerinde kullanılan ağırlık değeri; kıdem ve dil becerisi dikkate alınarak öngörülmüştür. Çalışanların EK-1’de verilen tercih ettiği izin günlerinde izinli olmaları sağlanmıştır. Aynı şekilde EK-2’de verilen çalışanların çalışmak için uygun olmadığı gün ve vardiyalarda atama yapılmadığı tespit edilmiştir. EK-3’de verilen çalışan becerilerine göre yeterlilik sağladıkları departmanlara atamaları gerçekleşmiştir. Departman ve vardiyalara göre en az bulunması gereken personel sayılarının da sağlandığı görülmektedir. Atama değerleri Şekil 5. 1. Örnek problemin çözüm çizelgesi (Senaryo 1)’de belirtilmiştir.

Senaryo-2 olarak tanımladığımız ve ilk 9 kısıta 4 kısıt daha eklenmesiyle oluşan 2. modelimiz ise yaklaşık 2 dakikada sonuç vermiş ve amaç fonksiyonu değerini 14109 olarak hesaplamıştır. Burada belirlediğimiz eklenen kısıtlarla birlikte 13 kısıtın tamamının sağlandığı ancak problem boyutunun genişlemesiyle ve personel için çalışma şartlarının özelleşmesiyle birlikte maliyetin arttığı görülmektedir. Atama değerleri Şekil 5. 2. Örnek problemin çözüm çizelgesi (Senaryo 2)’de belirtilmiştir.





Ek kısıtlardan ilki olan 2. ve 26. çalışanın gece vardiyasına atanmadığı Şekil 5.3'te gösterilmiştir.

		Günler																													
		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		
Çalışan /Vardiya		S	Ö	A	S	Ö	A	S	Ö	A	S	Ö	A	S	Ö	A	S	Ö	A	S	Ö	A	S	Ö	A	S	Ö	A	S	Ö	A
2		0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
26		0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0

1 1. vardiya atanana     
 2 2. vardiya atanana     
 0 İzinli     
 S: Sabah Vardiyası    Ö: Öğle Vardiyası    A: Akşam Vardiyası

Şekil 5.3. Birinci ek kısıt ile oluşan atama sonuçlarının sağlaması

Ek kısıtlardan ikincisi olan 13. çalışanın gündüz vardiyasında olmadığı Şekil 5.4'te gösterilmiştir.

		Günler																														
		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			
Çalışan /Vardiya		S	Ö	A	S	Ö	A	S	Ö	A	S	Ö	A	S	Ö	A	S	Ö	A	S	Ö	A	S	Ö	A	S	Ö	A	S	Ö	A	
13		0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0

1 1. vardiya atanana     
 2 2. vardiya atanana     
 0 İzinli     
 S: Sabah Vardiyası    Ö: Öğle Vardiyası    A: Akşam Vardiyası

Şekil 5.4. İkinci ek kısıt ile oluşan atama sonuçlarının sağlaması

Ek kısıtlardan 3. sülü olan 4. çalışanın 1-7 günleri arasında yıllık izin kullandığı Şekil 5.5'te gösterilmiştir.

		Günler																														
		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			
Çalışan /Vardiya		S	Ö	A	S	Ö	A	S	Ö	A	S	Ö	A	S	Ö	A	S	Ö	A	S	Ö	A	S	Ö	A	S	Ö	A	S	Ö	A	
4		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0

1 1. vardiya atanana     
 2 2. vardiya atanana     
 0 İzinli     
 S: Sabah Vardiyası    Ö: Öğle Vardiyası    A: Akşam Vardiyası

Şekil 5.5. Üçüncü ek kısıt ile oluşan atama sonuçlarının sağlaması

Bu senaryolara ek olarak model farklı girdi değerleriyle de çalıştırılmıştır. İzin isteme, çalışmaya uygun olmama ve vardiya başına ücret değerleri rassal olarak 50 çalışana göre atanmış ve Seneryo-1ve 2 için yaklaşık ortalama 3 dakikada aynı değer olan 11.943 sonucunu çıkarmıştır. Model 28,29,30 çalışan olması durumuna göre çalıştırıldığında ise sonuç çözümsüz kalmıştır. Bu sonuçtan kişi başı haftalık 40 saat çalışma süresi kısıtına ve diğer kısıtlara uygun bir planlama yapılabilmesi için en az 31 çalışan olması gerektiği görülmüştür. Modelde 1 çalışan olduğunda ise yaklaşık 2 dakikada 14184 optimum değerine ulaşılmıştır. Bu varyantlar Çizelge 5. 1.'de verilmiştir.

**Çizelge 5. 1.** Farklı varyantlar ile deneme sonuçları

	28 çalışan 9 kısıtlı model	29 çalışan 9 kısıtlı model	30 çalışan 9 kısıtlı model	31 çalışan 9 kısıtlı model	32 çalışan 9 kısıtlı model	32 çalışan +4 kısıtlı model	50 çalışan 9 kısıtlı model	50 çalışan +4 kısıtlı model
Hesaplama Süresi	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	1,66 dk	2,85 dk	1,83 dk	2,86 dk	3,31 dk
Optimum Değer	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	14184	14004	14109	11943	11943

Modeli farklı girdiler ekleyerek, ya da girdi değerlerinde değişiklikler yaparak çalıştırmak mümkündür. Gerçek hayat problemlerine göre, vardiya sürelerinde ve ya sayılarında değişiklik, ücret değişikliği, aylık değil haftalık ya da daha uzun vadeli planlar denenebilir.

## 6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Literatürde iş gücü çizelgeleme konusunda pek çok çalışma olmasına rağmen çalışan tercihleri ve yetkinliklerini dikkate alan ve çağrı merkezlerinde tamsayılı programlama kullanılarak uygulanan bir modele rastlanmamıştır. Bu çalışmada tasarlanan model, çalışanları olabildiğince uygun oldukları vardiyalara, izin istedikleri günde izinli olmalarını sağlayarak ve becerilerine uygun bölümlere atanmalarını garanti ederek, minimum maliyetle ve en hızlı şekilde işgücü atmasını gerçekleştirmiştir. Çözülen problemin manüel şekilde yapılmasının oldukça vakit alacağı ve çalışan taleplerinin gözden kaçırılacağı aşikârdır.

Tez içeriğinde personel memnuniyeti sadece çalışanların talep ettikleri günlerde izin kullanabilmeleri kriterine dayandırılmıştır. Oysa ki çalışan memnuniyeti veya iş tatmini, basit bir şekilde, çalışanların işlerinden ve çalışma ortamlarından ne kadar mutlu veya memnun olduklarıdır. Geniş anlamda ise insan kaynakları endüstrisi tarafından çalışanların işleri, çalışan deneyimleri ve çalıştıkları kuruluşlar gibi unsurlardan ne kadar memnun olduklarını tanımlamak için kullanılan bir kavramdır. Çalışan memnuniyeti, bir kuruluşun genel sağlığını belirlemeye yardımcı olabilecek önemli bir metriktir, bu nedenle birçok kuruluş çalışan memnuniyetini ölçmek ve zaman içindeki memnuniyet eğilimlerini izlemek için düzenli anketler kullanır. Anketlerde ele alınan ve çalışan memnuniyetini etkileyen faktörler arasında tazminat, iş yükü, yönetim algısı, esneklik, takım çalışması, kaynaklar vb. sayılabilir. Bu yüzden ileriki çalışmalarda personel memnuniyetini artıracak, her bir çalışan için iş yükü dengesinin sağlanması , mola saatlerinin de eklenmesi, kişisel olarak istedikleri takım arkadaşları ile çalışabilme ya da istemedikleri kişilerle çalışmasının engellenmesi şeklinde spesifik kısıtlarla model geliştirilebilir.

Diğer bir durum da personelin müşteriye cevap verme hızı, diksiyonu, cevaplanan çağrı oranları dikkate alınarak kişilere göre ücret için ayrı bir ağırlıklandırma yapılarak model geliştirilebilir. Her bir özelleştirme problem boyutu ve çözüm sürecini uzatacağından meta-sezgisel yöntemlere ve ya karar destek sistemlerine başvurulabilir.

## 7. KAYNAKLAR

- Abdulmalek, F., Allahverdi, A., 2009, Optimising a help desk performance at a telecommunication company. *International Journal of Engineering Systems Modelling and Simulation*, 1(2-3), 160-164. doi:10.1504/ijesms.2009.027579
- Agnihotri, S. R., Taylor, P. F., 1991, Staffing a Centralized Appointment Scheduling Department in Lourdes Hospital. *INFORMS Journal on Applied Analytics*, 21(5), 1-11. doi:10.1287/inte.21.5.1
- Aksin, Z., Armony, M., Mehrotra, V., 2007, The Modern Call Center: A Multi-Disciplinary Perspective on Operations Management Research. *Production and Operations Management*, 16(6), 665-688. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2007.tb00288.x>
- Alfares, H. K., 2007, Operator staffing and scheduling for an IT-help call centre. *European Journal of Industrial Engineering*, 1(4), 414-430.
- Andrews, B., Parsons, H., 1993, Establishing Telephone-Agent Staffing Levels through Economic Optimization. *INFORMS Journal on Applied Analytics*, 23(2), 14-20. doi:10.1287/inte.23.2.14
- Ásgeirsson, E. I., Sigurðardóttir, G. L., 2016, Near-optimal MIP solutions for preference based self-scheduling. *Annals of Operations Research*, 239(1), 273-293.
- Atlason, J., Epelman, M., Henderson, S., 2004, Call Center Staffing with Simulation and Cutting Plane Methods. *Annals of Operations Research*, 127. doi:10.1023/B:ANOR.0000019095.91642.bb
- Atlason, J., Epelman, M. A., Henderson, S. G., 2008, Optimizing Call Center Staffing Using Simulation and Analytic Center Cutting-Plane Methods. *Management Science*, 54(2), 295-309. doi:10.1287/mnsc.1070.0774
- Avramidis, A. N., Chan, W., Gendreau, M., L'ecuyer, P., Pisacane, O., 2010, Optimizing daily agent scheduling in a multiskill call center. *European Journal of Operational Research*, 200(3), 822-832. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.01.042>
- Avramidis, A. N., Chan, W., L'ecuyer, P., 2009, Staffing multi-skill call centers via search methods and a performance approximation. *IIE Transactions*, 41(6), 483-497. doi:10.1080/07408170802322986
- Aytuğ, O., 2013, Metasezgisel Yöntemler ve Uygulama Alanları. *Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 17(2).
- Bard, J. F., 2004, Selecting the appropriate input data set when configuring a permanent workforce. *Computers & Industrial Engineering*, 47(4), 371-389. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2004.09.004>
- Bhulai, S., Koole, G., Pot, A., 2008, Simple methods for shift scheduling in multiskill call centers. *Manufacturing & Service Operations Management*, 10(3), 411-420.
- Brusco, M. J., Jacobs, L. W., 2000, Optimal Models for Meal-Break and Start-Time Flexibility in Continuous Tour Scheduling. *Management Science*, 46(12), 1630-1641. doi:10.1287/mnsc.46.12.1630.12074
- Bulut, A. 2019. *Personel Devamsızlığında Atama Ve Dengeleme Problemi İçin Karar Destek Sistemi Önerisi: Bir Uygulama*. (Yüksek Lisans Tezi), Kütahya Dumlupınar Üniversitesi. Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.12438/7914>
- Canon, C., 2007, Personnel scheduling in the Call Center industry. *4OR*, 5(1), 89-92. doi:10.1007/s10288-006-0008-2
- Caprara, A., Monaci, M., Toth, P., 2003, Models and algorithms for a staff scheduling problem. *Mathematical Programming*, 98(1), 445-476. doi:10.1007/s10107-003-0413-7
- Castillo, I., Joro, T., Li, Y. Y., 2009, Workforce scheduling with multiple objectives. *European Journal of Operational Research*, 196(1), 162-170.

- Cezik, M. T., L'ecuyer, P., 2008, Staffing Multiskill Call Centers via Linear Programming and Simulation. *Management Science*, 54(2), 310-323. doi:10.1287/mnsc.1070.0824
- Çezik, T., Günlük, O., Luss, H., 2001, An integer programming model for the weekly tour scheduling problem. *Naval Research Logistics (NRL)*, 48(7), 607-624. doi:<https://doi.org/10.1002/nav.1037>
- Defraeye, M., Van Nieuwenhuyse, I., 2016, A branch-and-bound algorithm for shift scheduling with stochastic nonstationary demand. *Computers & Operations Research*, 65, 149-162.
- Dietz, D. C., 2011, Practical scheduling for call center operations. *Omega*, 39(5), 550-557. doi:<https://doi.org/10.1016/j.omega.2010.12.001>
- Duder, J. C., Rosenwein, M. B., 2001, Towards "zero abandonments" in call center performance. *European Journal of Operational Research*, 135(1), 50-56. doi:[https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00289-7](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00289-7)
- Dudin, S., Kim, C., Dudina, O., Baek, J., 2013, Queueing system with heterogeneous customers as a model of a call center with a call-back for lost customers. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013.
- Ertogral, K., Bamuqabel, B., 2008, Developing staff schedules for a bilingual telecommunication call center with flexible workers. *Computers & Industrial Engineering*, 54(1), 118-127. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.06.040>
- Excoffier, M., Gicquel, C., Jouini, O., 2016, A joint chance-constrained programming approach for call center workforce scheduling under uncertain call arrival forecasts. *Computers & Industrial Engineering*, 96, 16-30. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.03.013>
- Gans, N., Koole, G., Mandelbaum, A., 2003, Telephone Call Centers: Tutorial, Review, and Research Prospects. *Manufacturing & Service Operations Management*, 5(2), 79-141. doi:10.1287/msom.5.2.79.16071
- Gans, N., Shen, H., Zhou, Y.-P., Korolev, N., Mccord, A., Ristock, H., 2015, Parametric Forecasting and Stochastic Programming Models for Call-Center Workforce Scheduling. *Manufacturing & Service Operations Management*, 17(4), 571-588. doi:10.1287/msom.2015.0546
- Gong, J., Yu, M., Tang, J., Li, M., 2015, Staffing to maximize profit for call centers with impatient and repeat-calling customers. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015.
- Green, L. V., Kolesar, P. J., Soares, J., 2003, An Improved Heuristic For Staffing Telephone Call Centers With Limited Operating Hours. *Production and Operations Management*, 12(1), 46-61. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2003.tb00197.x>
- Green, L. V., Kolesar, P. J., Whitt, W., 2007, Coping with time-varying demand when setting staffing requirements for a service system. *Production and Operations Management*, 16(1), 13-39.
- Gurvich, I., Luedtke, J., Tezcan, T., 2010, Staffing Call Centers with Uncertain Demand Forecasts: A Chance-Constrained Optimization Approach. *Management Science*, 56(7), 1093-1115. doi:10.1287/mnsc.1100.1173
- Harrison, J. M., Zeevi, A., 2005, A Method for Staffing Large Call Centers Based on Stochastic Fluid Models. *Manufacturing & Service Operations Management*, 7(1), 20-36. doi:10.1287/msom.1040.0052
- Helber, S., Henken, K., 2010, Profit-oriented shift scheduling of inbound contact centers with skills-based routing, impatient customers, and retrials. *OR Spectrum*, 32(1), 109-134. doi:10.1007/s00291-008-0141-8
- Hojati, M., 2010, Near-optimal solution to an employee assignment problem with seniority. *Annals of Operations Research*, 181(1), 539-557. doi:10.1007/s10479-010-0785-z
- Ibrahim, R., L'ecuyer, P., 2013, Forecasting call center arrivals: Fixed-effects, mixed-effects, and bivariate models. *Manufacturing & Service Operations Management*, 15(1), 72-85.

- Ingolfsson, A., Campello, F., Wu, X., Cabral, E., 2010, Combining integer programming and the randomization method to schedule employees. *European Journal of Operational Research*, 202(1), 153-163. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.04.026>
- Karaatlı, M. 2010. *Bulanık ortamda çok amaçlı işgücü çizelgeleme: hemşireler için bir uygulama*. Sosyal Bilimler.
- Kilincli Taskiran, G., Zhang, X., 2017, Mathematical models and solution approach for cross-training staff scheduling at call centers. *Computers & Operations Research*, 87, 258-269. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.07.001>
- Koole, G., Van Der Sluis, E., 2003, Optimal Shift Scheduling with a Global Service Level Constraint. *IIE Transactions*, 35(11), 1049-1055. doi:10.1080/07408170304398
- Kyngäs, N., Nurmi, K., Kyngäs, J. (2012). *Optimizing large-scale staff rostering instances*. Paper presented at the Lecture Notes in Engineering and Computer Science: Proceedings of The International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, Hong Kong.
- Liao, S., Koole, G., Van Delft, C., Jouini, O., 2012, Staffing a call center with uncertain non-stationary arrival rate and flexibility. *OR Spectrum*, 34(3), 691-721. doi:10.1007/s00291-011-0257-0
- Liao, S., Van Delft, C., Koole, G., Dallery, Y., Jouini, O. (2009). *Call center capacity allocation with random workload*. Paper presented at the 2009 International Conference on Computers & Industrial Engineering.
- Liao, S., Van Delft, C., Vial, J. P., 2013, Distributionally robust workforce scheduling in call centres with uncertain arrival rates. *Optimization Methods and Software*, 28(3), 501-522. doi:10.1080/10556788.2012.694166
- Lin, C. K. Y., Lai, K. F., Hung, S. L., 2000, Development of a workforce management system for a customer hotline service. *Computers & Operations Research*, 27(10), 987-1004. doi:[https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(99\)00072-6](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(99)00072-6)
- Mattia, S., Rossi, F., Servilio, M., Smriglio, S., 2017, Staffing and scheduling flexible call centers by two-stage robust optimization. *Omega*, 72, 25-37. doi:<https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.11.001>
- Millán-Ruiz, D., Hidalgo, J. I., 2013, Forecasting call centre arrivals. *Journal of Forecasting*, 32(7), 628-638.
- Nah, J. E., Kim, S., 2013, Workforce planning and deployment for a hospital reservation call center with abandonment cost and multiple tasks. *Computers & Industrial Engineering*, 65(2), 297-309.
- Örmeci, E. L., Salman, F. S., Yücel, E., 2014, Staff rostering in call centers providing employee transportation. *Omega*, 43, 41-53.
- Restrepo, M. I., Gendron, B., Rousseau, L.-M., 2017, A two-stage stochastic programming approach for multi-activity tour scheduling. *European Journal of Operational Research*, 262(2), 620-635.
- Robbins, T. R., Harrison, T. P. (2008). *A simulation based scheduling model for call centers with uncertain arrival rates*. Paper presented at the 2008 Winter Simulation Conference.
- Robbins, T. R., Harrison, T. P., 2010, A stochastic programming model for scheduling call centers with global Service Level Agreements. *European Journal of Operational Research*, 207(3), 1608-1619. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.06.013>
- Saltzman, R. M., Mehrotra, V., 2001, A Call Center Uses Simulation to Drive Strategic Change. *INFORMS Journal on Applied Analytics*, 31(3), 87-101. doi:10.1287/inte.31.3.87.9632
- Sungur, B., 2008, Bulanık Vardiya Çizelgeleme Problemleri İçin Tamsayı Programlama Modeli. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*(30), 211-227.
- Ta, T. A., Chan, W., Bastin, F., L'ecuyer, P., 2021, A simulation-based decomposition approach for two-stage staffing optimization in call centers under arrival rate uncertainty. *European Journal of Operational Research*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.12.049>

- Thompson, G. M., 1997, Labor staffing and scheduling models for controlling service levels. *Naval Research Logistics (NRL)*, 44(8), 719-740. doi:[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6750\(199712\)44:8<719::AID-NAV2>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6750(199712)44:8<719::AID-NAV2>3.0.CO;2-D)
- Weinberg, J., Brown, L. D., Stroud, J. R., 2007, Bayesian forecasting of an inhomogeneous Poisson process with applications to call center data. *Journal of the American Statistical Association*, 102(480), 1185-1198.
- Whitt, W., 2005, Engineering Solution of a Basic Call-Center Model. *Management Science*, 51(2), 221-235. doi:10.1287/mnsc.1040.0302
- Whitt, W., 2006, Staffing a Call Center with Uncertain Arrival Rate and Absenteeism. *Production and Operations Management*, 15(1), 88-102. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2006.tb00005.x>
- Willis, R. J., Huxford, S. B., 1991, Staffing Rosters with Breaks — A Case Study. *Journal of the Operational Research Society*, 42(9), 727-731. doi:10.1057/jors.1991.143
- Yamada T., Y. K., Nakano R., 1999. *Information Operator Scheduling by Genetic Algorithms* (Vol. 1585): Springer, Berlin, Heidelberg.





**EK-2** Çalışanların Çalışmak İçin Uygun Olmadığı Gün Ve Vardiyalar

(İlgili hücrede 0 olması çalışanın o gün ve vardiyada çalışmak istemediğini göstermektedir.)

Çalışan No	Gün	Vardiya	Değer
1.	12	1	0
2.	23	1	0
3.	21	3	0
4.	16	3	0
5.	7	2	0
6.	4	2	0
7.	6	2	0
8.	17	3	0
9.	27	2	0
10.	27	3	0
11.	14	2	0
12.	19	3	0
13.	27	3	0
14.	23	2	0
15.	12	1	0
16.	11	2	0
17.	16	3	0
18.	20	1	0
19.	2	3	0
20.	27	3	0
21.	7	2	0
22.	17	1	0
23.	14	2	0
24.	2	3	0
25.	19	1	0
26.	26	2	0
27.	17	1	0
28.	19	3	0
29.	6	3	0
30.	28	3	0
31.	15	2	0
32.	28	3	0

**EK-3 Çalışan Becerileri**

Tabloda her bir çalışanın dil becerisi verilmiştir. Hücrede 1 olması çalışanın ilgili dil seviyesine sahip olduğunu göstermektedir. 1. görev Türkçe bilme, 2. görev İngilizce bilme içindir.

Çalışanlar	1.Görev (Türkçe bilen)	2.Görev (Yabancı dil bilen)	Çalışanlar	1.Görev	2.Görev
1. Çalışan	1		17. Çalışan		1
2. Çalışan	1		18. Çalışan		1
3. Çalışan	1		19. Çalışan		1
4. Çalışan	1		20. Çalışan		1
5. Çalışan	1		21. Çalışan		1
6. Çalışan	1		22. Çalışan		1
7. Çalışan	1		23. Çalışan		1
8. Çalışan	1		24. Çalışan		1
9. Çalışan	1		25. Çalışan	1	1
10. Çalışan	1		26. Çalışan	1	1
11. Çalışan	1		27. Çalışan	1	1
12. Çalışan	1		28. Çalışan	1	1
13. Çalışan	1		29. Çalışan	1	1
14. Çalışan	1		30. Çalışan	1	1
15. Çalışan	1		31. Çalışan	1	1
16. Çalışan		1	32. Çalışan	1	1

**EK-4** Çalışan Ücret Oranları

Çalışanlar	Ücret Oranı	Çalışanlar	Ücret Oranı
1. Çalışan	25	17. Çalışan	24
2. Çalışan	28	18. Çalışan	29
3. Çalışan	17	19. Çalışan	22
4. Çalışan	17	20. Çalışan	22
5. Çalışan	38	21. Çalışan	31
6. Çalışan	38	22. Çalışan	24
7. Çalışan	21	23. Çalışan	32
8. Çalışan	15	24. Çalışan	38
9. Çalışan	24	25. Çalışan	14
10. Çalışan	21	26. Çalışan	13
11. Çalışan	25	27. Çalışan	19
12. Çalışan	16	28. Çalışan	26
13. Çalışan	23	29. Çalışan	18
14. Çalışan	22	30. Çalışan	20
15. Çalışan	17	31. Çalışan	21
16. Çalışan	22	32. Çalışan	29