

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Hedef Programlama ile Nöbet Çizelgeleme
Probleminin Çözümü

Fatih Mehmet ÜNAL

TEMMUZ 2015

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Fatih Mehmet ÜNAL tarafından hazırlanan ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ VE HEDEF PROGRAMLAMA İLE NÖBET ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Burak BİRGÖREN

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Doç. Dr. Tamer EREN

Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : (Doç. Dr. Metin DAĞDEVİREN)

Üye (Danışman) : (Doç. Dr. Tamer EREN)

Üye : (Yrd. Doç. Dr. Suna ÇETİN)

11/08/2015

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ VE HEDEF PROGRAMLAMA İLE NÖBET ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

ÜNAL, Fatih Mehmet

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Tamer EREN

Temmuz 2015, 71 sayfa

Nöbet çizelgeleme birçok üretim ve hizmet sektöründe kullanılmaktadır. Nöbet çizelgeleme yapılırken birçok kritere dikkat edilmesi ve nöbet tutacak personelin memnuniyetinin aynı anda sağlanmak istenmesi problemi daha karışık hale getirebilmektedir. Bu çalışmada hizmet sektöründeki bir devlet kurumunda nöbet çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Ele alınan problemde nöbet tutan personelin istekleri göz önüne alınarak ağırlıklı hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Hedef programlamanın ağırlıklarını belirlemek için çok kriterli karar verme yöntemlerinden analitik hiyerarşi prosesi kullanılmıştır. Problemin çözümleri GAMS 22.5 paket programı ile gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Nöbet Çizelgeleme, Hedef Programlama, Çok Kriterli Karar Verme, Analitik Hiyerarşi Prosesi.

ABSTRACT

THE SOLUTION OF SHIFT SCHEDULING PROBLEM BY USING ANALYTIC HIERACHY PROSESS AND GOAL PROGRAMMING METHOD

ÜNAL, Fatih Mehmet

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering, M.Sc. Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Tamer EREN

July 2015, 71 pages

Shift scheduling is being used in various production and service sectors. It makes it more complicated to consider many aspects while doing shift scheduling and also taking into account the gladness of the shift scheduling. In this study also we are looking at shift scheduling problem of a service sector which belongs to a goverment association. In this particular problem, goal programming model is developed by considering the wishes of shift scheduling. To find out the emphasis over goal programming, analytic hierarchy proses, which is one of the multi-criteria decision making methods is being used. The solution for the problem is aquired by GAMS 22.5 packet program.

Key Words: Shift Scheduling, Goal Programming, Multiple-Criteria Decision Making (MCDM), Analytic Hierachy Proses.

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında benden hiçbir yardımı esirgemeyen, beni yönlendiren, bilgilerini benimle paylaşan ve çalışmamın her aşamasında bana gerekli tavsiyelerini veren değerli tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Tamer EREN'e teşekkür ederim.

Ayrıca büyük fedakârlıklarla ve anlayışla bana her konuda olduğu gibi tezimi hazırlamam esnasında da yardımlarını esirgemeyen hayat arkadaşım Dr. Necla ÜNAL'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
KISALTMALAR DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. PERSONEL ÇİZELGELEME VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
3. HEDEF PROGRAMLAMA	13
3.1. Hedef Programlama ile İlgili Kavramlar	14
3.2. Hedef Programlama Varsayımları.....	16
3.3. Hedef Programlamanın Avantaj ve Dezavantajları.....	17
3.4. Hedef Programlamanın Algoritmaları	18
3.4.1. Tek Hedefli Programlama	18
3.4.2. Eşit Ağırlıklı Çok Hedefli Programlama	19
3.4.3. Ağırlıklı Çok Hedefli Programlama	19
3.4.4. Öncelikli Çok Hedefli Programlama	20
3.4.5. Ağırlıklı - Öncelikli Çok Hedefli Programlama.....	21
3.5. Hedef Programlamanın Uygulama Alanları	22
4. ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ	24
4.1. AHP'nin Adımları	25
4.2. AHP'nin Kullanım Alanları	32
5. UYGULAMA	33
5.1. Problemin Tanımı.....	33
5.1.1. Personel Sayısı ve Kıdem Seviyeleri	34
5.1.2. Gün Ağırlıklarının Belirlenmesi.....	35
5.1.3. Hedeflerin Ağırlıklarının Belirlenmesi	37
5.2. Geliştirilen Matematiksel Model.....	41
5.2.1. Modelde Kullanılan Parametreler.....	41

5.2.2.	Modelde Kullanılan Karar Değişkenleri.....	42
5.2.3.	Kısıtlar.....	42
5.2.4.	Hedefler.....	45
5.2.5.	Amaç Fonksiyonu.....	49
5.3.	Örnek Uygulama	49
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	56
	KAYNAKLAR.....	58
	EKLER.....	68
	EK.1.....	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Hedef Kısıtlayıcıları ile Sapmalar Arasındaki İlişki.....	14
4.1. Önem Skalası.....	27
4.2. Standart Düzeltme Değerleri.....	30
5.1. Personel Kıdem Seviyeleri.....	34
5.2. Gün Ağırlıkları	36
5.3. Hedefler Arası Karşılaştırma Matrisi.....	37
5.4. Hedeflerin Ağırlıkları.....	41
5.5. 4. Hedefin Kademelerinin Ağırlıkları.....	48
5.6. Personel Mazeret Çizelgesi.....	50
5.7. Personel İstek Çizelgesi	51
5.8. Personel Nöbet Çizelgesi	52
5.9. Mazeretsiz, İsteksiz ve Gün Ağırlıksız Personel Nöbet Çizelgesi	54
5.10. Mazeretsiz ve İsteksiz Personel Nöbet Çizelgesi	54
5.11. Çok Mazeret ve İstek İçeren Personel Nöbet Çizelgesi.....	55

KISALTMALAR DİZİNİ

AHP	Analitik Hiyerarşi Proses
ANP	Analitik Ağ Proses
CI	Tutarlılık Göstergesi
CR	Tutarlılık Oranı
ÇAKV	Çok Amaçlı Karar Verme
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
DP	Doğrusal Programlama
HP	Hedef Programlama
KV	Karar Verme
RI	Standart Düzeltme Değeri

1. GİRİŞ

Personel çizelgeleme, birçok üretim ve hizmet sektöründe sıkça uygulanmaktadır. Son yıllarda kurumlar özellikle ekonomik sebeplerden dolayı personel çizelgelemeye önem vermektedir. Çünkü birçok kurum için çalışan maliyeti en büyük giderdir. Ayrıca kaliteli çizelgeler, çalışan ve hizmet alanlar üzerinde olumlu etki yaratmaktadır. Personel isteklerini karşılayan çizelgeler, personelin moral motivasyonunu arttırmakta ve aynı zamanda kurum içi aidiyet duygusunu geliştirmektedir. Bunun sonucunda üretim ve hizmet kalitesi artmaktadır. Bu durum kurumun hedeflerine ulaşmasında önemli rol oynamaktadır.

Gerçek hayatta karşılaşılan karar problemlerin çoğu tek bir amaca sahip olmayıp içerisinde birçok amaç barındırmaktadır. Yani karşılaşılan durumlar, gerek kişiler gerekse kurumlar için aynı anda birden fazla amaca sahip olup, aynı zamanda bu amaçlar birbiriyle çatışabilir. Karar verici bu ve benzeri problemlerde optimum çözümü elde etmeye çalışır. Ancak problemin tüm kısıtlarının sağlanması oldukça zordur. Bu tarz karar problemlerinin çözümünde çok amaçlı karar verme (ÇAKV) tekniklerinden hedef programlama (HP) kullanılabilir.

Karar verme (KV), en basit tanımı ile mevcut seçenekler arasından bizim için en uygun olanın seçilme sürecidir. Çok kriterli karar verme (ÇKKV) ise, karar vericinin birden fazla sayıdaki seçenektan, en az iki farklı kriter kullanarak yaptığı değerlendirme sonucundaki seçim işlemidir. Literatürde birçok farklı ÇKKV yöntemi olup, analitik hiyerarşi proses (AHP) yöntemi, önceden tanımlanmış bir önem skalası kullanılarak, hem kararı etkileyen kriterlerin hemde seçeneklerin birbirlerine göre önem değerlerinin karşılaştırılması sonucunda elde edilen yüzde önem dağılımlarına dayanan bir KV ve tahminleme yöntemidir.

Bu çalışmada bir devlet kurumunda personel çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Çalışmanın amacı personelin görevi gereği zorunlu olarak tutacağı nöbetleri, kurumu ve diğer çalışanları zarara uğratmadan, mümkün olduğunca personelin istediği günlere planlamaktır. Bu amaç gerçekleştirilirken, yasal düzenlemelerin ve kurumun

amaçlarının sağlanması zorunlu kılınmıştır. Ayrıca her personele eşit sayıda ve ağırlıkta nöbet planlanması ve bu nöbetlerin personeli yormamak için mümkün olduğunca aralıklı olarak yazılması hedeflenmiştir. Bundan dolayı problemimizin çözümü için çok amaçlı ağırlıklı hedef programlama kullanılmıştır.

Hedeflerin ağırlıkları sonucu doğrudan etkileyeceği için ağırlıkların ne olacağına vereceğimiz karar önem arz etmektedir. Bu maksatla ağırlıkların belirlenmesi için ÇKKV tekniklerinden AHP yöntemi kullanılmıştır. Çalışanların kıdem seviyeleri de amaca eklenerek, hedefler doğrultusunda aylık nöbet çizelgeleri oluşturulmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde personel çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Burada personel çizelgelemenin tanımı yapılarak, önemi ve kullanım alanları anlatılmıştır. Daha sonra literatür araştırması yapılarak, literatürde incelenmiş olan çizelgeleme problemleri sunulmuştur.

Çalışmanın üçüncü bölümünde HP anlatılmıştır. HP ile ilgili kavramlar, HP'nin varsayımları, avantajları ve dezavantajları anlatılmış olup, HP'nin algoritmaları maddeler halinde sunulmuştur. Ayrıca HP ile ilgili kısa literatür araştırması yapılarak uygulama alanları listelenmiştir.

Problemimizin çözümü için kullandığımız HP'nin üçüncü bölümde anlatılmasından sonra, dördüncü bölümde, amaç fonksiyonumuzdaki 4 adet hedefin ağırlıklarının belirlenmesi için kullanacağımız AHP yöntemi anlatılmıştır. Burada bir KV probleminin AHP yöntemiyle çözülebilmesi için gerçekleştirilmesi gereken bütün aşamalar ilgili formülleriyle birlikte detaylı açıklanmıştır.

Personel çizelgeleme problemi ve ÇAKV yöntemlerinden HP ile ÇKKV yöntemlerinden AHP yönteminin anlatıldığı ilk 4 bölümden sonra, çalışmanın beşinci bölümünde örnek uygulama yapılmıştır. Öncelikle problemin tanımı yapılarak, personelin kıdem seviyeleri ve günlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra AHP yöntemi ile hedeflerin ağırlıklandırılması yapılmış olup adımlar ayrıntılı anlatılmıştır. Geliştirilen matematiksel modelin formülasyonu yapıp, parametreler,

karar değişkenleri, kısıtlar, hedefler ve amaç fonksiyonu anlatılmıştır. Geliştirilen model bir devlet kurumunda uygulanarak sonuçlar yorumlanmıştır.

Son olarak altıncı bölümde çalışmanın sonuçları değerlendirilmiş olup, ileride yapılabilecek çalışmalarla ilgili önerilerde bulunulmuştur.

2. PERSONEL ÇİZELGELEME VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Günümüzdeki personel çizelgeleme problemleri, Edie (1954) ve Dantzig (1954)'nin 1950'lerde tanımladığı problemlerden çok farklıdır. Personel çizelgeleme problemlerinde çalışanların ihtiyaçlarını karşılamamanın önemi artmaktadır. Kurumlar personel çizelgeleme yaparken çalışanların isteklerini dikkate almaktadırlar (Bergh vd, 2013).

Personel çizelgeleme, yasal düzenlemelere ve kurumların amaçlarına uygun kısıtların sağlanmasının yanında, personel isteklerini karşılayarak onların memnuniyetlerini arttıracak aynı zamanda hizmet alanların ihtiyaçlarını karşılayacak işgücü planlarını ve çizelgeleri oluşturmaktır.

Personel çizelgeleme, hastane, havayolu, otel, telekomünikasyon merkezi, çağrı merkezi ve güvenlik sektörü gibi geniş çaplı alanlarda sıkça uygulanmaktadır. Bu tarz hizmet sektörlerinde genellikle yıl boyunca 7 gün 24 saat hizmet esası bulunmaktadır. Bunun için kurumlar personelinden 24 saat esasına göre hizmet istemekte ve personellerini kurumlarının özel ihtiyaçlarına göre çizelgelemektedirler. Çizelgeler günlük, haftalık, aylık gibi birçok şekilde düzenlenmektedir.

Personel çizelgelemede temel amaç; kaynaklardan etkili bir biçimde yararlanmak, dengeli iş yükü dağılımını sağlamak ve mümkün olduğunca bireysel istekleri karşılamaktır. İyi bir çizelge, çalışanların ve hizmet alanların ihtiyaçları ile kurumun görevlerini dengeler, gerekli olan iş yükünü personele adaletli ve uygun bir şekilde planlar.

Çizelgeler eğer zayıf bir şekilde yapılırsa bu kurum ve çalışanlar için iyi olmayan sonuçlar doğurabilir. Çizelgeleme ile ilgili ortaya çıkan sorunlar daha çok çizelgeleme kısıtlarının yetersizliğinden veya zayıf bir şekilde yapılmış çizelgelerden kaynaklanmaktadır. Zayıf bir şekilde yapılmış olan çizelgeler, vardiyalar arasındaki araların azlığı ya da fazla vardiyalar gibi etmenler içerebilir. Bu, çalışan moralinin azalması ve yorgunluk kaynaklı olarak verimin düşmesine, ayrıca çalışanların aşırı

yorgunluğu yüzünden ortaya çıkabilecek kazalara ya da yapılacak olan hatalara sebep olabilir (Labadi vd, 2014).

Son yıllarda personel çizelgeleme problemleri üzerine geniş çaplı çalışmalar yapılmaktadır. Ekonomik sebepler bu alandaki araştırmaların artmasına neden olmaktadır. Birçok şirket için, çalışan maliyeti en büyük maliyet girdisidir. Yeni bir personel planlaması uygulamaya koyarak bu maliyeti bir miktar düşürmek şirketler için çok yararlı olmaktadır (Bergh vd, 2013).

İşgücü, vardiya ve görevlere atanırken çalışan tercihlerine dikkat etmek önemlidir. Çünkü çalışanların tercihlerine dikkat edildiği zaman, personel daha verimli olmakta ve bunun sonucunda hizmet kalitesi artmaktadır. İşletmeler, işgücü yoğunluğunun fazla olduğu hizmet sektörünün artan önemi sonucunda, işgücünün etkin kullanımına daha fazla önem vermeye başlamışlardır (Bektur ve Hasgül, 2013).

Personel çizelgeleme çok zahmetli ve vakit harcayan bir iştir. Çizelgeleme yapılırken birçok zorunlu kısıt ile personelin ve hizmet alanların memnuniyetinin aynı anda sağlanmak istenmesi problemi daha karışık hale getirebilmektedir. Genellikle el ile hazırlanan ve göz önünde bulundurulacak çok sayıda kısıtın olmasından dolayı hazırlanması uzun ve zahmetli olan çizelgelerin, uygulanan yenilikçi sistematikler sayesinde, çok kısa sürelerde ve daha etkin şekilde oluşturulması sağlanabilmektedir. Gün geçtikçe kurumlar arasında yenilikçi sistematiklerin uygulanması artmaktadır.

Literatürde personel ve vardiya özelliklerine göre birçok farklı çizelgeleme problemi bulunmaktadır. Ancak unutulmamalıdır ki oluşturulan çizelgeleme modeli kurumun amaçlarının yanında personel isteklerini ve hizmet alanların memnuniyetini aynı anda sağlamalıdır.

Güngör (2002) çalışmasında Isparta Kadın Hastalıkları ve Doğum Hastanesinde hemşire çizelgeleme problemi için bir tamsayılı doğrusal model önermiştir. Önerilen model iki aşamalı olup birinci aşamada gerekli olan hemşire sayısı ve bunların kaç tanesinin öğrenci hemşire olabileceği belirlenmiştir. İkinci aşamada ise 2 haftalık bir dönem için personel çizelgeleme yapılmıştır.

Bard vd. (2003) yaptıkları çalışmada Amerika Birleşik Devletleri posta servisinde tur planlama problemini ele almışlardır. Problemin tam ölçekli modelini göstererek, işgücünün büyüklüğünü azaltmayı amaçlayan çeşitli senaryoları incelemişlerdir. Problemi tamsayılı doğrusal programlama (DP) olarak formüle etmiş ve CPLEX ile çözmüşlerdir. Kısıtlar, çalışan sözleşmelerini, değişken günlük işe başlama saatlerini, yarı zamanlı ve tam zamanlı çalışanların kullanımını içermektedir. Yöntemle eskiye göre, daha kısa zamanda ve daha tasarruflu çizelgeler elde edilebileceğini göstermişlerdir.

Blochliker (2004) yaptığı çalışmada, personel çizelgeleme problemlerine yeni başlayanlara yardımcı olabilmek, modellemede bir ön izlenim edinebilmelerini ve basit bir yol bulabilmelerini sağlamak için personel çizelgeleme probleminin modelleme kısmına odaklanmıştır.

Ernst vd. (2004) yaptıkları çalışmada personel çizelgeleme problemi ile ilgili yapılan çalışmaları, uygulama alanlarına göre sınıflandırarak, bunların modellerini ve çözüm algoritmalarını incelemişlerdir.

Gordon ve Erkut (2004) yaptıkları çalışmada Edmonton halk müzik festivali için çeşitli kısıtlara ve tercihlere göre gönüllü personelin çizelgenmesi için bir program geliştirmişlerdir.

Topaloğlu ve Ozkarahan (2004) yapmış oldukları çalışmada, tur çizelgeleme için bir HP modeli önermişlerdir. Burada personel isteklerine de dikkat edilerek, ikinci bir adıma gerek kalmaksızın, HP ile her bir çalışan için çalışma planı oluşturulmuştur.

Güneş vd. (2005) yaptıkları çalışmada, genetik algoritma (GA) kullanarak bir yazılım geliştirmiş ve çok zaman alan askeri nöbet çizelgesi hazırlama işlemlerinin, harcanan süre sağlanan doğruluk yönü ile en iyilenmesini amaçlamışlardır.

Seçkiner ve Kurt (2005) yaptıkları çalışmada, bir hastanedeki radyografi teknisyenlerini en az radyasyona maruz bırakacak bir personel çizelgesini oluşturmayı hedeflemişlerdir. Bunun için en fazla hizmetin en az zorlanma ile

karşılanması için tur çizelgelerine, rotasyon çizelgelerinin entegre edilmesine dayalı bir tamsayı programlama modeli önermişlerdir.

Azaies ve Al-Sharif (2005) yaptıkları çalışmada Riyadh Al-Kharj hastanesinde hemşire çizelgeleme problemini ele almışlardır. Burada el ile yapılan çizelgeler yerine 0-1 HP yaklaşımı ile bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen model hastanenin amaçlarını sağlamanın yanında hemşire isteklerine de cevap vermektedir. Hastanenin amacı, uygun yetenekteki hemşirelerle kesintisiz hizmeti sağlamak ve gereksiz fazla mesai ücretinden kaçınmaktır. Hemşire istekleri ise haftasonu ve gece vardiyalarının adil olmasıdır.

Thompsona ve Goodale (2006) yapmış oldukları çalışmada farklı üretkenliklere sahip çalışanların çizelgelemesini yapmışlardır. Bu problemin doğrusal çözümünün, yüksek bağlantılı hizmet sektörlerinde genellikle hatalı olduğu, çünkü müşteri taleplerinin olasılıksal doğasının göz ardı edildiği belirtilmiştir. Bundan dolayı bahse konu çalışmada problemin doğrusal olmayan çözümü sunulmuştur.

Topaloğlu (2006) yaptığı çalışmada acil tıp çalışanları çizelgeleme problemini ele almıştır. Çalışmasında bu sektörün stresli bir ortam olduğunu, bu nedenle personel çizelgelemenin bu sektörde, personelin fiziksel, psikolojik ve sosyal anlamda negatif yükünü azaltmak için önemli olduğunu belirtmiştir. Problemin çözümünde zorunlu kısıtların yanında yumuşak kısıtların da optimize edildiği HP modeli kullanmıştır.

Chu (2007) yaptığı çalışmada Hong Kong uluslararası havaalanının bir biriminde personel çizelgeleme problemini incelemiştir. Burada HP'nın personel çizelgelemede çok kullanışlı ve yararlı olduğunu vurgulamıştır.

Horn vd. (2007) yaptıkları çalışmada Avustralya Kraliyet Donanmasında karakol botları ve mürettebatını çizelgeleme problemini incelemişlerdir.

Çetin vd. (2008) yaptıkları çalışmada tamsayı programlama ile uçuş ekibi planlaması üzerinde durmuşlardır. Ekip planlamanın iki aşaması olan, ekip eşleştirme ve ekip atama problemlerini bütünlük bir yapıda ele almışlardır. Elde edilen

sonuçları, uygulamanın yapıldığı havayolu şirketinin ekip planlama uzmanının gerçekleştirdiği atamalar ile karşılaştırmışlardır. Sonuçta, elde edilen atama planıyla maliyetler açısından tasarruf sağlamışlardır.

Kabak vd. (2008), giyim üzerine bir perakende mağazada personel çizelgelemesi yapmışlardır. Etkin ve verimli bir işgücü çizelgelemenin mağaza karı ve müşteri memnuniyeti açısından önemli olduğu vurgulanmıştır. Çalışmada öncelikle saatlik satış durumuna göre personel ihtiyaçları belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen ihtiyaçlara göre karışık tamsayı programlama ile personel ataması yapılmıştır. Son olarak simülasyon teknikleri ile model kontrol edilerek revize edilmiştir.

Ertogral ve Bamuqabel (2008) yaptıkları çalışmada bir telekomünikasyon şirketinin, 2 dilde hizmet veren çağrı merkezi için personel çizelgeleme problemini ele almışlardır. Burada, günümüzde müşteri memnuniyetinin, şirketler için performans ölçütü haline geldiği, çağrı merkezlerinin ise müşteriler ile temel iletişim aracı olduğu, bundan dolayı çağrı merkezlerinin ekonomide önemli ve büyüyen bir yere sahip olduğu vurgulanmıştır. Bahse konu çalışma haftalık olarak her saat için gerekli olan personel sayısı belirlenmiştir. Bunun için veri analizleri, kuyruk yaklaşımı ve simülasyon modeli kullanmışlardır. Daha sonra personel çizelgeleme için model geliştirmişlerdir.

Sungur (2008) yaptığı çalışmada bir güzellik salonunda, tur çizelgeleme problemi için karma tamsayı programlama modeli geliştirmiştir.

Tsai ve Li (2009) yapmış oldukları çalışmada GA ile hemşire çizelgeleme problemini ele almışlardır. Bunun için hastane yönetiminin taleplerinin, kanunların ve hemşirelerin isteklerinin dâhil edildiği iki aşamalı bir matematiksel model geliştirmişlerdir.

Carrasco (2010) çalışmasında İspanya hastanelerindeki hekimlerin nöbet çizelgeleme problemini ele almıştır. Burada ideal personel çizelgelerinin hazırlanmasında ayrıntılı sayısal yöntemlerin kullanılmasının yanında, çok zorlu olmayan durumlarda, basit

yaklaşımlarla etkili sonuçların elde edilebileceği belirtilmiştir. Çalışmada sezgisel yöntemler ile rastgele ve zorlu stratejileri içeren basit bir prosedür kullanılmıştır.

Rong (2010) yaptığı çalışmada hizmet sektöründe, üretim sektöründen farklı olarak yılın her günü kesintisiz hizmetin sürdüğünü, burada çalışan personelin moral ve verimliliğini iyileştirmenin faydalı olacağını belirtmiştir. Bu maksatla çalışmasında çalışan tercihlerine de dikkat ederek aylık tur çizelgeleme yapmıştır.

Zolfaghari vd. (2010) yapmış oldukları çalışmada perakende sektöründe, personel çizelgeleme problemi için bir GA modeli geliştirmişlerdir.

Brucker vd. (2011) yaptıkları çalışmada personel çizelgelemenin, son on yılda birçok zorlu özelliğine rağmen yeterince incelendiğini ancak modelleme ve karmaşıklığının yeterince araştırılmadığını belirtmişlerdir. Bu maksatla çalışmalarında personel özelliklerini içeren matematiksel modeller sunmuşlardır.

Sadjadi vd. (2011) yaptıkları çalışmada, doğrusal olmayan stokastik personel çizelgeleme modeli sunmuşlardır. Burada genel olasılık dağılımı ile birlikte, belirsizlik altında işgücü taleplerinin olduğu yeni bir karışık tamsayılı doğrusal olmayan stokastik personel çizelgeleme modeli tanımlamışlardır.

Fırat ve Hurkens (2011) yaptıkları çalışmada karışık tamsayılı programlama ile farklı yetenek isteyen işlere uygun yetenekli teknisyenleri atamışlardır.

Atmaca vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada Ankara Güven Hastanesinde hemşire çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Yapılan çalışmada 0-1 HP modeli temel alınmış olup hastane yönetimi açısından, en az maliyetli, müşteriler açısından en yüksek memnuniyeti sağlayan, hemşireler açısından da en adil ve dengeli bir dağılım sağlayan çizelgeler oluşturulmaya çalışılmıştır.

Bağ vd. (2012) çalışmalarında Kırıkkale'de bir devlet hastanesinde hemşire çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Problemi çözmek için 0-1 HP yöntemini

kullanmışlardır. Hedeflerinin ağırlıklarının belirlenmesi için ise analitik ağ proses (ANP) yöntemini kullanmışlardır.

Hung-Tsu vd. (2012) yapmış oldukları çalışmada Güney Tayvan'da bir mağazada personel çizelgeleme problemini ele almışlardır. Burada işçi-iş uygunluğu ve işçi-işçi uyumluluğu ile işçi-yönetim ile ilgili hedeflerin sağlanması için üç aşamalı bir yaklaşımla HP modeli geliştirmişler ve hedeflerin optimizasyonu sağlamışlardır.

Li vd. (2012) birçok zorunlu ve yumuşak kısıttan oluşan HP ile sezgisel yöntemleri bir arada kullanarak, melez bir yaklaşımla personel çizelgelemesi yapmışlardır. Sadece zorunlu kısıtların sağlanması ile pratikte kullanılmayan çizelgelerin oluştuğu, bunun yerine HP ile yumuşak kısıtlarında optimal değere ulaştığı çizelgelerin daha kullanışlı olduğunu vurgulamışlardır.

Bektur ve Hasgöl (2013) geliştirmiş olduğu HP modeli ile bir restoranda personel çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Çalışmada çalışanların kıdem seviyeleri, becerileri ve istekleri ile sistemin talepleri dikkate alınarak çalışanların çizelgelemesi yapılmıştır.

Bergh vd. (2013) yapmış oldukları çalışmada personel çizelgeleme problemleri üzerine yapılan çalışmaları incelemişlerdir. Öncelikle daha önce yapılan inceleme makalelerini inceleyerek sınıflandırma yöntemlerini oluşturmuşlardır. Daha sonra 300'e yakın çalışmayı inceleyerek, oluşturmuş oldukları sınıflandırma yöntemlerine göre bu çalışmaları sınıflandırmışlardır.

Louly (2013) tarafından yapılan çalışmada bir telekomünikasyon merkezinde vardiya çizelgeleme problemi için HP modeli geliştirilmiştir. Amaç, telekomünikasyon merkezinin kurallarının sağlanmasının yanında çalışan tercihlerinin ve vardiya eşitliğinin sağlanmasıdır. Çalışmada mevcut haftalık program yerine 6 haftalık çizelgeleme periyodu kullanılmıştır.

Maenhouta ve Vanhoucke (2013) yaptıkları çalışmada etkin ve verimli bir hemşire çizelgelemenin, hastane yönetimlerince maliyet açısından önemli bir yere sahip

olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca bu tarz çizelgelerin hemşirelerin çalışma koşullarını iyileştirdiği ve hizmet kalitesini arttırdığı vurgulanmıştır. Bu maksatla çalışmada hemşire kadro ve vardiya çizelgelemesi yapmışlardır.

Shahrezaei vd. (2013) yapmış oldukları çalışmada, personel çizelgelemenin, işveren hedeflerini sağlama, personel isteklerini karşılama ve adil çizelgeler oluşturma açısından karmaşık bir problem olduğunu belirtmişlerdir. Burada bazen hedef ve isteklerin tam olarak belirlenemeyeceğini belirterek bu tarz problemler için yeni bir bulanık çok amaçlı HP modeli önermişlerdir.

Labadi vd. (2014) Banka Bilgi Teknolojileri personeli çizelgelemesi üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında işyerinin kurallarına uyarken aynı zamanda çalışan tercihlerine dikkat etmişler ve uygun kalifiye personelin uygun vardiyalara atanmasını sağlamışlardır. Bunun için çok amaçlı HP modeli geliştirmişler ve aylık çizelgeler oluşturmuşlardır.

Öztürkoğlu ve Çalışan (2014) çalışmalarında hemşire çizelgeleme problemi için tam sayılı matematiksel bir model oluşturmuşlardır. Oluşturulan modelde, klasik çizelgeleme modellerinin aksine hemşirelerin işe başlama saatlerine esneklik getirilmiştir.

Syberfeldt vd. (2015) çalışmalarında personel çizelgeleme için evrimsel çok amaçlı simülasyon-optimizasyon sistemi sunmuşlardır. Geliştirdikleri sistemi İsveç posta hizmetleri için uygulamışlar ve sistemin başarılı olduğunu göstermişlerdir.

Todovic vd. (2015) çalışmalarında HP modeli ile Bosna Hersek'deki bir polis karakolunda, polis memurları çizelgeleme problemini incelemişlerdir.

Görüldüğü üzere yapılan çalışmalarda farklı personel ve vardiya özelliklerine göre değişik çözüm yöntemleriyle birçok personel çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Ele alınan birçok problemde kurumların zorunlu kısıtlarının sağlanmasının yanında personel isteklerine de önem verilmektedir. Ancak personelin normal mesai saatleri

haricinde mesaiye sırayla nöbetçi olarak devam etmesi gibi durumlarda doğrudan personelin istekleri sorularak yapılan bir çizelgeleme bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, ağırlıklı HP ile aylık dönemler halinde personel çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Hedeflerin ağırlıklandırılmasında AHP yöntemi kullanılmıştır. Hedeflerden sapmalar kıdem seviyelerine göre en küçüklenmektedir. Yaptığımız bu çalışmada, personele görevi gereği zorunlu olarak tutacağı nöbetlerini, kurumu ve diğer çalışanları zarara uğratmadan imkânlar dâhilinde seçme imkânı tanıdık ve personeli mümkün olduğunca belirttiği günlere nöbetçi olarak atamaya çalıştık. Bununla birlikte tüm personele kıdem seviyelerine göre eşit sayıda ve ağırlıkta nöbet planlamayı hedefledik. Ayrıca planlanan bu nöbetlerin, personeli yormamak için mümkün olduğunca aralıklı olmasını amaçladık.

3. HEDEF PROGRAMLAMA

ÇAKV problemlerinin en önemli özelliği, karar vericinin birbiriyle çelişen birden çok amaca aynı anda ulaşmak istemesi ve bu amaçların aynı ölçü biriminden olmamasıdır. Bir ÇAKV probleminde karar değişkenleri vektörü, amaç fonksiyonu, zorunlu ve yumuşak kısıtlar bulunmaktadır. Karar verici, amaç fonksiyonunu en büyükmeyi veya en küçükmeyi hedeflemektedir. Bu problemin çok nadiren de olsa özel çözümlerinin olması sebebiyle karar vericilerin uygun çözümler seti arasından bir çözüm seçmesi beklenmektedir (Lu vd, 2007).

HP'nın temeli Charnes'in 1955 yılında yazdığı makaleye dayanmakta olup, 1961 yılında Charnes ve Cooper yaptıkları çalışmada ilk defa HP terimini kullanmışlardır. HP 1970'lerde Lee ve Ignizio tarafından geliştirilerek yorumlanmıştır. DP'dan farklı bir bakış açısıyla HP, amaç fonksiyonun en büyükmesi ya da en küçükmesi yerine var olan kısıtlar doğrultusunda belirlenen hedeflerden sapmaların en küçükmesi veya en büyükmesidir. Bu sapmalar pozitif sapma ve negatif sapma olarak gösterilmektedir. Bu değişkenlerin amaç fonksiyonu katsayıları sıfır olduğundan çözümü etkilemezler. Yani HP'da sorunun amacı, sapmayı ifade eden değişkenlerin toplamının en küçükmesidir (Tütek ve Gümüšoğlu, 2008).

Geleneksel matematiksel modellerle karar vericiler, problemlerinin türlerine göre amaçlarının en büyükmesi veya en küçükmesi gibi tek ölçütlü amaçlarını gerçekleştirebilirler. Ancak günümüz iş dünyasında yöneticiler çoklu hedefler kullanırlar yani birden fazla hedefin aynı anda gerçekleşmesini isterler. Tüm bu hedeflerin aynı anda tamamen sağlanması zor olduğundan, problemdeki arzu edilen değerler kümesini en iyi tatmin eden çözümü elde etmeye çalışırlar. Bu tarz problemlerin çözümünde en tatminkâr çözümü bulmak için HP kullanılabilir. HP'da karar vericiler öncelikle hedeflerini ve bu hedefleri için kabul edilen öncelikleri belirler. Daha sonra sıralamada her bir öncelik düzeyindeki hedef için öncelikli ağırlıkları belirler. Ağırlıklar kodlarla veya sayısal değerlerle yapılabilir. Ayrıca yüksek öncelikli hedeflerin, daha düşük düzeydeki hedeflerden daha önce tatmin edilmesi gerekmektedir (Öztürk, 2004).

3.1. Hedef Programlama ile İlgili Kavramlar

HP'nın ana yapısını oluşturan temel kavramlar aşağıda açıklanmıştır (Cinemre, 2011).

Hedef kısıtlayıcıları: HP'da iki çeşit kısıtlayıcı vardır. Bunlar DP'da olduğu gibi sistem kısıtlayıcıları ve karar verici tarafından belirlenmiş olan hedef değerlerini gösteren hedef kısıtlayıcılarıdır. Sistem kısıtlayıcıları değiştirilmesi imkânsız yani kesin, değişmez kısıtlayıcılarıdır. Hedef kısıtlayıcıları ise değiştirilemez olmayıp hedeflenen değerlerden sapmaları göstermektedir. Hedeflenen değerlerin gerçekleşmesi halinde sapma sıfır olur. İlgili hedefe tam olarak ulaşılammışsa negatif yönlü, hedef geçilmiş ise pozitif yönlü sapma gerçekleşir. Bunların gerçekleştirilmesi sistem kısıtlayıcılarının sağlanmasından sonra gelir.

Sapmalar: Hedeflenen başarı ile gerçekleşen başarı arasındaki farklara sapma denir. Hedef tam olarak sağlanmış ise sapma değeri sıfırdır. Hedef değer altında kalmış ise negatif sapma, hedef değer üzerinde bir değere ulaşılmış ise pozitif sapma oluşmuştur. Pozitif sapma d_i^+ , negatif sapma ise d_i^- sembolüyle gösterilmektedir. Sapma değişkenleri (d_i^-, d_i^+) negatif değerler olamaz. Söz konusu sapmalar ya istenirler yada istenmezler. İstenen ve istenmeyen sapmalara karar verirken dikkatli olunmalıdır. Çünkü çözüm bu kararlarımıza doğrudan bağlıdır. Çizelge 3.1.'de yer alan hedef kısıtlayıcıları ile sapmalar arasındaki ilişkiler pek çok durumda geçerlidir.

Çizelge 3.1. Hedef Kısıtlayıcıları ile Sapmalar Arasındaki İlişki

Hedef Kısıtlayıcı Tipi	İstenmeyen Sapmalar
\geq	d_i^-
\leq	d_i^+
$=$	d_i^-, d_i^+

Çizelge 3.1.'de görüldüğü üzere “ \geq ” durumunda hedefi yakalayamamak, “ \leq ” durumunda ise hedefi aşmak istenmeyen durumlardır. “ $=$ ” durumunda ise hem hedefi aşmak hem de hedefi yakalamamak istenmeyen durumdur.

Hedefin Önceliklendirilmesi: Karar verici tercihleri doğrultusunda hedeflerini önceliklendirebilir. Hedef önceliklerinin belirlenmesinde kullanılan üç yaklaşım olup bu yaklaşımlar aşağıda açıklanmıştır.

1. Ordinal sıralama: Bu yöntemde hedefler önem derecelerine göre sıralanır. İlk sırada en önemli hedef olmak üzere daha önemsiz hedefler ard arda sıralanır ve son sırada en az önemi olan hedef yer alır. Hedeflerin önem öncelik dereceleri P_i sembolü ile gösterilmektedir. Hedefler arasında en önemli öncelik P_1 olmak üzere sonrakiler P_2, \dots, P_n olacak şekilde “n” tane hedef önem derecesine göre derecelendirilir. Burada silsile takip edilerek birinci hedef önceliği olan P_1 gerçekleştirilmeden sonraki hedeflere geçilmez.

2. Kardinal sıralama: Bu yöntemde istenmeyen her bir sapmaya karar vericinin belirlediği bir ağırlık verilir. Bu ağırlıklar her bir sapmanın önem değerini gösterir. Bu yaklaşım, özellikle sapmaların boyutları birbirinden farklı olduğunda uygulanır. Burada hedeflerin nisbi önemleri ve sapmalar arasındaki boyut ilişkisinin açıklaması zor olduğundan, hedeflerinde ağırlıklandırılması zordur. Hedefler karar vericinin istek ve amaçları doğrultusunda ağırlıklandırılır. Bu nedenle ağırlıklandırmalar karar vericilere göre farklı olabilir. Burada hedeflere ait ağırlıklar “ w_i ” sembolü ile gösterilmekte olup w_i pozitif değerler alır.

3. Ordinal ve Kardinal Sıralamanın Karması: Ordinal ve kardinal sıralamanın birlikte kullanılması, belirli bir hedef için kullanılan sapmaların ikisinin birden istenmemeleri durumunda ordinal sıralamanın genişletilmiş bir biçimi olarak açıklanabilir.

Hedeflerin Boyutları: HP'nın amaç fonksiyonu, önemleri ölçüsünde ağırlıklandırılmış istenmeyen sapmaların toplam olarak en küçüklenmesidir.

Sapmaların boyutları farklı olduğunda amaç fonksiyonunu oluşturan toplam anlamlı olmaz. Bunun için boyut probleminin çözümünde ağırlık kullanılması uygun olur.

Hedef Oluşturma: Karar verici, problemde karşılaştığı her hedefe aynı önemi vermeyebilir. Yani karar verici için bir hedefe ulaşmak diğer bir hedefe ulaşmaktan daha önemli olabilir. Böyle durumlarda karar verici hedefleri için öncelik veya ağırlık belirleyebileceği gibi her ikisini birlikte de kullanabilir. Doğrusal HP, çözüm sürecinde karar vericinin belirlediği öncelikleri veya ağırlıkları dikkate alarak bir uzlaşık çözüm elde eder. Böyle durumlarda hedeflerin tamamını içeren başka bir amaç fonksiyonunun araştırılması da uygun olur.

3.2. Hedef Programlama Varsayımları

HP modeli ile en uygun çözümün bulunabilmesi, bazı varsayımların sağlanmasına bağlı olup bunlar aşağıda açıklanmıştır (Ergün, 2006).

Doğrusallık varsayımı: Bu varsayımda girdiler ve çıktılar arasında doğrusal bir ilişki söz konusudur. Örneğin girdiler artıyorsa çıktılar da aynı oranda artmakta olup girdiler azalıyorsa çıktılar da aynı oranda azalmaktadır.

Toplanabilirlik varsayımı: Her bir faaliyet tarafından ayrı olarak kullanılan kaynakların toplamı ve bunların ayrı olarak yarattıkları katkıların toplamı, kaynakların toplam kullanımına ve sağlanan toplam katkıya eşittir.

Sınırlılık varsayımı: Sınırlı kaynakların en uygun kullanımını sağlama amacı vardır. Ancak problemin çözümünde kullanılacak kaynaklar sonsuz değildir. Bundan dolayı probleme giren kaynaklar kısıtlanmak zorundadır.

Negatif olmama varsayımı: Modelde kullanılan tüm değişkenler (karar ve sapma değişkenleri) sifıra eşit veya sıfırdan büyük olmak zorundadır.

Amaçlara öncelik verilmesi varsayımı: HP modelinde her bir amaca öncelik değeri atanmalıdır.

3.3. Hedef Programlamanın Avantaj ve Dezavantajları

HP'nın avantajları ve dezavantajları aşağıda gösterildiği gibi maddelenebilir (Bilgin, 2013).

Avantajları

- Bu yöntemle iki veya daha fazla amaca sahip olan karar problemlerinin çözümü yapılabilir.
- HP, amacın öncelikleri bakımından karar vericiye etkin bir çözüm sunar.
- Birbirine zıt amaçların amaç fonksiyonunda yer almasına izin verir.
- Gevşek kısıtlara (pozitif veya negatif sapmalara izin verilen kısıtlar) izin verilir.
- DP problemlerinin çözümünde kullanılan simpleks yöntemi aynı zamanda HP problemlerinin çözümünde de kullanılabilir. Böylece kısa hesaplama sürelerinde etkin sonuçlar elde edilir.
- HP, DP'da "Uygun çözüm olmayan" problemlerde bir çözüm geliştirmek için yardımcı bir teknik olarak kullanılabilir.
- HP'da aynı öncelik düzeyleri haricinde, standart bir ölçü birimine gerek duyulmaz.
- HP sadece amaçların niteliklerini bildirmekle kalmayıp aynı zamanda bunların karşılaştırılmalarını ve hedeflerini de bildirir. Bunları bildirirken de çok karmaşık yöntemler içermez.
- Doğrusal HP modeli, mevcut DP modelleri tarafından basit bir şekilde çözülebilir.

Dezavantajları

- Amaç fonksiyonu çok sayıda hedefin birleştirilmesi ile olduğundan karmaşık bir yapıya sahip olabilir.

- Hedef değerleri karar vericiler tarafından belirlenmektedir. Bu nedenle subjektif bir nitelik taşır.
- Ayrıca hedeflerin ağırlık ve öncelik seviyelerini de karar vericiler belirlemektedir. Bu da yine subjektif bir durum oluşturmaktadır.
- Hedeflerin ağırlık ve öncelik seviyelerini bağdaşık hale getirecek bir yöntem bulunmalıdır.
- Problemin çözümlü neticesinde bulunan sonucun, karar vericiler tarafından her zaman tatmin edici bulunmasını garanti edemez.
- Karar vericiler yüksek öncelikli bir hedeften biraz daha sapmaya izin vererek, düşük öncelikli bir hedefe daha fazla yaklaşmak isteyebilir. HP böyle bir değişime izin vermemektedir.

3.4. Hedef Programlamanın Algoritmaları

HP modelleri geliştirilen amaç fonksiyonunun yapısına göre 5 farklı şekilde incelenebilir (Bilgin, 2013).

- Tek Hedefli Programlama
- Eşit Ağırlıklı Çok Hedefli Programlama
- Ağırlıklı Çok Hedefli Programlama
- Öncelikli Çok Hedefli Programlama
- Ağırlıklı Öncelikli Çok Hedefli Programlama

3.4.1. Tek Hedefli Programlama

Modelin kurulması ve çözümlü açısından ele alındığında diğer yöntemlere kıyasla en basit HP problemleridir. Ele alınan problemin tek hedefi vardır ve karar vericinin amacı bu hedefe ulaşmaktır. Tek hedefli programlamanın amaç fonksiyonunun genel formülü (3.1)'de gösterildiği gibidir.

$$\text{Min } Z = C^+ * d_h^+ - C^- * d_h^- \quad (3.1)$$

C^- ve C^+ sabitleri alt ve üst sapmalara atanmış farklı etkileri belirtmektedir.

3.4.2. Eşit Ağırlıklı Çok Hedefli Programlama

Probleme ilişkin hedefler eşit önemli ise, amaç fonksiyonu istenmeyen sapma değişkenlerinin toplamı biçiminde ifade edilip, en küçüklenmeye çalışılır. Ancak buradaki amaç fonksiyonunun anlamlı olabilmesi için sapma değişkenlerinin aynı birimde olması gerekmektedir.

$$\text{Min } Z = d_1^+ + d_2^+ + d_3^- \quad (3.2)$$

Örneğin (3.2)'de gösterilen amaç fonksiyonunun anlamlı olabilmesi için üç sapma değişkeninin de aynı ölçü birimiyle ifade edilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde amaç fonksiyonunun değeri bir anlam ifade etmez. Böyle bir durumda amaç fonksiyonunun yorumlanması için her bir sapma değişkeninin ayrı ayrı incelenmesi ve yorumlanması gerekmektedir. Bunun istenmemesi halinde, sapma değişkenlerinin ölçü birim farklılığını gidermek için her bir değişkene ağırlık verilmesi gerekmektedir.

3.4.3. Ağırlıklı Çok Hedefli Programlama

Burada amaç fonksiyonundaki sapma değişkenlerine ağırlık değeri verilir ve hedeflerden sapmaların ağırlıklı toplamı en küçüklenir. Karar vericinin belirlediği hedeflerin önem değerleri, ilgili sapmaların ağırlıklarını ifade etmektedir. Bu yöntem genellikle, eşit ağırlıklı çok hedefli problemlerin sapma değişkenlerinin ölçü birimleri farklı olduğunda veya hedeflerin göreceli önemi sayılandırılabilirdiğinde tercih edilir.

Karar vericiler hedefler arasındaki farklı önemleri belirtmek için de ağırlıklandırma yapabilirler. Ancak ağırlıkların belirlenmesi karar vericiler için kolay bir işlem değildir. Çünkü ağırlıkların belirlenmesi genel olarak karar vericinin tercih yapısına,

kararı etkileyen faktörler ile karar alanı ve amaçlar arasındaki ilişkilere bağlıdır. n hedefli bir HP modelinin ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak oluşturulmuş amaç fonksiyonu (3.3)'de gösterildiği gibidir.

$$\text{Min } Z = W_1 * G_1 + W_2 * G_2 + \dots + W_n * G_n \quad (3.3)$$

Burada W_i ($i = 1, 2, \dots, n$) değeri karar vericinin her bir hedefe verdiği önemi yansıtan pozitif ağırlıklardır. Hedeflerin ağırlıkları genellikle öznel yöntemlerle belirlenir.

3.4.4. Öncelikli Çok Hedefli Programlama

Karar vericiler, matematiksel optimizasyon modellerini kullanırken amaç fonksiyonunu en iyi yapan birden fazla çok seçenekli çözümlerin birini seçme durumu ile karşılaşabilir. Böyle kararlara ilişkin problemler öncelikli HP ile çözülebilir.

Öncelikli HP hedefler arasındaki önceliklerin kendi içerisinde sıralanmasına dayanmaktadır. Burada amaç fonksiyonunu oluşturmak için ulaşılmaması gereken hedeflerin hiyerarşik bir yapıda verilmesi gerekmektedir. Karar verici istekleri doğrultusunda hedeflerini en önemliden daha az önemliye doğru sıralar. Bu sıralama işlemini sayısal veya sözel olarak yapabilir.

Birinci öncelikli hedef tam olarak sağlanmadan ikinci öncelikli hedefe, ikinci öncelikli hedef tam olarak sağlanmadan üçüncü öncelikli hedefe geçilmez. Kısacası daha öncelikli hedef gerçekleşmeden daha düşük öncelikli hedefe geçilmez. Bu açıklama (3.4)'de gösterildiği gibi matematiksel olarak ifade edilmiştir.

$$P_1 \gg P_2 \gg P_3 \gg \dots \gg P_n \quad (3.4)$$

Burada P_1 hedefinin P_2 hedefinden çok daha büyük önem derecesine sahip olduğu belirtilmektedir. Bundan dolayı P_1 hedefi gerçekleşmediği sürece P_2 hedefinin, P_2 hedefi gerçekleşmediği sürece de P_3 hedefinin gerçekleşmesi sağlanmaz.

Hedefler arasındaki ilişkilere verilen ağırlık değerleri ile de hedeflerin öncelik sıralaması yapılabilir. Çünkü $P_1 \gg P_2$ gösteriminde ilgili sapma değişkenlerinin $k > 0$ olma koşuluyla, bir k sayısı ile çarpılacağı anlatılmaktadır. Burada çarpılacak olan bu sayı ne kadar büyük olsa da, P_1 'in öneminin, P_2 'nin öneminden her zaman daha fazla olacağı unutulmamalıdır.

Bazen tüm hedeflerde istenilen düzeyde bir doyum sağlanamayabilir. Burada önemli olan, karar vericinin istekleri doğrultusunda öncelikli hedeflerden başlanarak istenilen doyumun sağlanmaya çalışılmasıdır. Hedeflerin öncelikleri karar verici tarafından değiştirilebildiği gibi, bu değişikliğin çözüm üzerindeki etkisi de belirlenebilir.

Ayrıca karar vericiler hedeflerin önceliklerini tam olarak belirleyemiyorlarsa, ağırlıklı HP yerine öncelikli HP'yı kullanmalıdırlar. Öncelikli HP'da karar verici hedefleri farklı önceliklendirerek çok sayıda farklı çözüm elde edebilir ve bunlar arasından istediği çözümü seçebilir.

3.4.5. Ağırlıklı - Öncelikli Çok Hedefli Programlama

Bazı HP problemlerinin amaç fonksiyonunda, aynı hedefe ilişkin iki veya daha fazla sapma değişkeni bulunabilir. Sapma değişkenlerinin önceliğinin aynı olduğu böyle durumlarda, bahse konu bu sapma değişkenlerinde ağırlıklar kullanılarak hangi sapmanın daha önemli olduğu belirlenir.

$$\text{Min } Z = P_1 \times d_1^+ + P_2 \times d_2^- + P_2 \times 2 \times d_2^+ + P_3 \times d_3^+ \quad (3.5)$$

(3.5)'de görülen amaç fonksiyonuna baktığımızda, ikinci hedefin pozitif sapmalı değişkeninin, negatif sapmalı değişkeninden 2 kat daha önemli olduğu anlaşılmaktadır. Böyle bir durum, birden fazla farklı hedefin aynı öncelik düzeyinde olduğu durumlarda da uygulanabilir.

3.5. Hedef Programlamanın Uygulama Alanları

Literatüre kısa bir göz attığımızda, HP'nin birçok alanda sıkça kullanıldığını görmekteyiz. Özyörük ve Erol (2001) yaptığı çalışmada bir üretim sisteminde üretilecek parti büyüklüklerinin belirlenmesi için HP kullanılmışlardır. Gülenç ve Karabulut (2005) yaptıkları çalışmada bir üretim planlama probleminin çözümü için doğrusal HP kullanmışlardır. Turanlı ve Köse (2005) HP ile sigorta şirketlerinin performans değerlendirmesini yapmışlardır. Terzi vd. (2006) yaptıkları çalışmada AHP ve HP yöntemlerini, bir otomobil markasının modelleri arasında seçim yapmak için kullanmışlardır. Kağnıcıoğlu ve Yıldız (2006) yaptığı çalışmada 0-1 tamsayılı bulanık HP ile atama problemlerinin çözümü için bir model geliştirmiştir. Alp (2008) yaptığı çalışmada doğrusal HP yöntemini dağıtım problemlerinde kullanmıştır. Ayan (2009) yaptığı çalışmada toplam üretim planlaması problemi için HP modeli geliştirmiştir. Girginer ve Kaygısız (2009) yaptıkları çalışmada bir karar verme problemi için AHP ve 0-1 HP yöntemlerini birlikte kullanmışlardır. Atan vd. (2010) yaptıkları çalışmada İMKB 100 endeksinde bulunan şirketler için çok amaçlı HP yöntemi kullanılarak portföy seçimi yapmışlardır. Dünder ve Zerenler (2011) bir un fabrikası için HP ile üretim planlaması yapmışlardır. Körpeli vd. (2012) yaptıkları çalışmada HP ile menü çalışması yapmıştır. Sofyaloğlu ve Öztürk (2013) yaptıkları çalışmada HP ile tedarik zinciri dağıtım planlaması yapmışlardır. Hamzaçebi ve İmamoğlu (2014) yer seçimi problemi için HP kullanmışlardır. Güçlü ve Özdemir (2015) çalışmasında belirsiz talep koşullarında faaliyet gösteren bir işletmenin tedarik zincirinin modellenmesi ve optimizasyonu amacıyla bulanık HP modeli oluşturmuşlardır.

Görüldüğü üzere HP'ya son zamanlarda ilgi artmış ve bunun sonucunda çok değişik alanlarda ve çok sayıda uygulama yapılmıştır. Bu alanlardan bir kısmı genel olarak aşağıda sıralanmıştır (Bilgin, 2013).

- Akademik Kaynak Ataması,
- Belediyelerin Ekonomik Planlaması,
- Beslenme Problemleri,
- Çok amaçlı Tesislerin Yerleştirilmesi,

- Enerji/Su Kaynakları,
- Finansal Analiz,
- Güneş Enerjisiyle Isıtma/Soğutma,
- Hastane Yönetimi,
- İşgücü Planlaması,
- Kuruluş Yeri Seçimi,
- Maliyet Tahmin Tekniklerinin Geliştirilmesi,
- Nakliye Problemleri,
- Orman Ürünleri Planlaması,
- Program Seçimi,
- Radar Sistemi ve Deniz Radarı Sistemi Projeleri,
- Reklam Medyası Planlaması,
- Sağlık Hizmetlerinin Planlanması,
- Tedarikçi Firma Seçimi,
- Üretim Planlaması,
- Yatırım Planlaması,
- Zaman Standartlarının Belirlenmesi.

4. ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ

KV, günlük yaşamımızın içinde sık sık başvurduğumuz bir süreçtir. Kişiler yaşamları boyunca, hem özel hemde meslek hayatında sık sık karar problemleriyle karşı karşıya kalmaktadır. Karşılaşılan problemler çoğu zaman bizim için çok basit olabileceği gibi aynı zamanda birçok faktörün etkisi altında çok daha karmaşık problemler de olabilmektedir. KV, basit olarak alternatif seçenekler arasından en uygun olanı belirlemek olarak tanımlanabilir.

KV, karar organının farklı seçeneklerle karşı karşıya kaldığı durumlarda bunlar arasından kendi amaçlarına en uygun olan seçeneğin tercih edilme işlemi olup, karar süreci de bu işlemlerin sırasıyla yapılmasıyla gerçekleşen süreçtir (Tekin, 1999).

Ayrıca KV, bir seçenek kümesinden en az bir amaç veya ölçüte göre en uygun olanını seçme işlemi şeklinde tanımlanabilir. Burada, karar verici, seçenekler, kriterler, sonuçlar, çevre ve karar vericinin öncelikleri karar probleminin elemanlarını oluşturmaktadır. En basit haliyle karar problemi, belirli bir amaç veya kritere göre mevcut seçenekler arasından uygun olanını seçme gibi düşünülebilir (Dağdeviren ve Eren, 2001).

Araştırmalar, günlük yaşantımızdaki birçok kararın sezgisel olarak alınmasının yeterli olduğunu ancak, karmaşık ve doğuracağı sonuçlar açısından önemli olan kararlar için bu yolun tek başına yeterli olmadığını göstermektedir (Saaty, 1994a).

ÇKKV, karar verici veya karar vericilerin en az iki kriter kullanarak yaptığı seçim işlemi olarak tanımlanabilir. ÇKKV'de karar verici kriterler arasındaki farklılıkları göz önüne alarak en uygun kararı vermeyi amaçlar. Burada her bir kriter sonuca pozitif katkı sağlayacak şekilde alternatifleri değerlendirir ve ÇKKV yöntemleri mevcut alternatifleri sonuçlara göre sıralar (Stern vd, 2000).

ÇKKV problemlerinde AHP, ANP, ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality English), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) gibi yöntemler çözüm yöntemi olarak literatürde yer almaktadır.

AHP, ilk olarak 1968 yılında Myers ve Alpert ikilisi tarafından ortaya atılmıştır. Daha sonra 1977 yılında Saaty tarafından bir model olarak geliştirilmiş ve karar verme problemlerinin çözümünde kullanılabilir hale getirilmiştir (Yaralıoğlu, 2001).

AHP, karar hiyerarşisinin tanımlanabilmesi durumunda kullanılabilen, kararı etkileyen faktörlerin değerlendirilmesi sonucunda, karar noktalarının yüzde dağılımlarını veren bir karar verme ve tahminleme yöntemi olarak açıklanabilir (Saaty, 1994b).

AHP bir karar hiyerarşisi üzerinde, daha önceden belirlenmiş olan bir karşılaştırma skalası kullanılarak, gerek kararı etkileyen faktörler ve gerekse bu faktörler açısından karar noktalarının önem değerleri doğrultusunda, birebir karşılaştırmalara dayanmaktadır. Sonuç olarak önem farklılıkları, karar noktaları üzerinde yüzde dağılımlara dönüşmekte ve karar verici bu doğrultuda seçim yapmaktadır (Aydın, 2008).

Bir KV probleminin AHP yöntemi ile çözümlenebilmesi için gerçekleştirilmesi gereken adımlar olup bu adımlar aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır. Her bir adımda, yapılacak işlemler açıklanarak ilgili formüller verilmiştir (Yaralıoğlu, 2004).

4.1. AHP'nin Adımları

Adım 1: Karar Verme Problemi Tanımlanır

KV probleminin tanımlanması, iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada karar kaç sonuç üzerinden değerlendirilecektir, sorusunun cevabı aranır. Yani karar noktaları saptanır. İkinci aşamada ise karar noktalarını etkileyen faktörler belirlenir. Burada karar noktalarının sayısı m , karar noktalarını etkileyen faktör sayısı ise n ile

sembolize edilmiştir. İkili karşılaştırmaların tutarlı ve mantıklı yapılabilmesi için sonucu etkileyecek faktörlerin sayısının doğru belirlenmesi ve her bir faktörün detaylı tanımlarının yapılması önemlidir.

Adım 2: Faktörler Arası Karşılaştırma Matrisi Oluşturulur

Faktörler arası karşılaştırma matrisi (4.1)'de görüldüğü üzere $n \times n$ boyutlu bir kare matristir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Karşılaştırma matrisinin köşegeni üzerindeki bileşenler, yani $i = j$ olduğunda, ilgili bileşenler 1 değerini alır. Çünkü bu durumda ilgili faktör kendisi ile karşılaştırılmakta ve her hangi bir önem durumu oluşmamaktadır. Faktörler birbirlerine göre sahip oldukları önem değerlerine göre birebir ve karşılıklı olarak karşılaştırılırlar. Burada faktörlerin birebir ve karşılıklı olarak karşılaştırılmasında Çizelge 4.1.'deki önem skalası kullanılır.

Örneğin birinci faktör ikinci faktöre göre karşılaştırmayı yapan tarafından çok önemli görünüyorsa, bu durumda karşılaştırma matrisinin birinci satır ikinci sütun bileşeni ($i = 1, j = 2$), 5 değerini alacaktır. Aksi durumda yani birinci faktörün ikinci faktörle karşılaştırılmasında, çok önemli tercihi ikinci faktörden yana kullanılacaksa bu durumda karşılaştırma matrisinin birinci satır ikinci sütun bileşeni $1/5$ değerini alacaktır. Aynı karşılaştırmada birinci faktörle ikinci faktörün karşılaştırılmasında faktörler eşit öneme sahip oldukları yönünde tercih kullanılıyorsa bu durumda bileşen 1 değerini alacaktır.

Çizelge 4.1. Önem Skalası

Önem Değerleri	Değer Tanımları
1	Her iki faktörün eşit öneme sahip olması durumu
3	1. Faktörün 2. faktörden daha önemli olması durumu
5	1. Faktörün 2. faktörden çok önemli olması durumu
7	1. Faktörün 2. faktöre nazaran çok güçlü bir öneme sahip olması durumu
9	1. Faktörün 2. faktöre nazaran mutlak üstün bir öneme sahip olması durumu
2,4,6,8	Ara değerler

Karşılaştırmalar, karşılaştırma matrisinin tüm değerleri 1 olan köşegeninin üstünde kalan bileşenler için yapılır. Köşegenin altında kalan bileşenler için ise (4.2) formülünü kullanmak yeterli olacaktır.

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (4.2)$$

Yukarıda verilen örnek dikkate alınırsa karşılaştırma matrisinin birinci satır ikinci sütun bileşeni ($i = 1, j = 2$) 5 değerini alıyorsa, karşılaştırma matrisinin ikinci satır birinci sütun bileşeni ($i = 2, j = 1$), (4.2) formülünden $1/5$ değerini alacaktır.

Adım 3: Faktörlerin Yüzde Önem Dağılımları Belirlenir

Karşılaştırma matrisi (4.1), faktörlerin birbirlerine göre önem seviyelerini belirli bir mantık içerisinde göstermektedir. Bu faktörlerin bütün içerisindeki ağırlıklarını, yani yüzde önem dağılımlarını belirlemek için karşılaştırma matrisinden yararlanılarak, (4.3) formülü kullanılır ve C matrisi (4.4) oluşturulur.

$$c_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (4.3)$$

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

C matrisinden yararlanarak, faktörlerin birbirlerine göre önem değerlerini gösteren yüzde önem dağılımları, (4.5) formülü kullanılarak elde edilebilir. Burada (4.5) formülünde gösterildiği gibi C matrisini oluşturan satır bileşenlerinin aritmetik ortalaması alınır ve Öncelik Vektörü olarak adlandırılan W sütun vektörü (4.6) elde edilir.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad (4.5)$$

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Adım 4: Faktör Kıyaslamalarındaki Tutarlılık Ölçülür

AHP yöntemi kendi içinde ne kadar tutarlı bir sistematığe sahip olsa da sonuçların doğruluğu, karar vericinin faktörler arasında yaptığı birebir karşılaştırmalardaki tutarlılığa bağlıdır. AHP yöntemi, bu karşılaştırmalardaki tutarlılığın test edilebilmesi için bir süreç önermektedir. Burada elde edilecek olan Tutarlılık Oranı (CR) ile bulunan öncelik vektörünün ve dolayısıyla faktörler arasında yapılan birebir

karşılaştırmaların tutarlılığını test edilebilme imkânı sağlanmaktadır. AHP, CR'nin hesaplamasını, faktör sayısı ile Temel Değer adı verilen (λ) bir katsayının karşılaştırılması ile açıklamaktadır. λ 'nın hesaplanması için öncelikle (4.7)'de gösterildiği üzere A karşılaştırma matrisi ile W öncelik vektörünün matris çarpımından D sütun vektörü elde edilir.

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ d_n \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

(4.8) formülünde gösterildiği gibi, bulunan D sütun vektörü ile W sütun vektörünün karşılıklı elemanlarının bölümünden her bir değerlendirme faktörüne ilişkin E temel değer vektörü (4.9) elde edilir.

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} \quad (4.8)$$

$$E = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ e_n \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

Formül (4.10) yardımı ile E temel değer vektöründen, karşılaştırmaya ilişkin temel değer (λ) hesaplanır.

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (4.10)$$

λ hesaplandıktan sonra Tutarlılık Göstergesi (CI), (4.11) formülü kullanılarak hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (4.11)$$

Son aşamada ise CR, (4.12) formülü kullanılarak bir önceki aşamada bulunmuş olduğumuz CI'nin, Çizelge 4.2.'de gösterilen standart düzeltme değerine (RI) bölünmesiyle hesaplanır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4.12)$$

Çizelge 4.2. Standart Düzeltme Değerleri

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48

Sonuç olarak hesaplanan CR değerinin 0,10'dan küçük olması karar vericinin yaptığı karşılaştırmaların tutarlı olduğunu gösterir. CR değerinin 0,10'dan büyük olması ise yöntemdeki bir hesaplama hatasını veya karar vericinin karşılaştırmalarındaki tutarsızlığını gösterir.

Adım 5: Her Bir Faktör için, m Karar Noktasındaki Yüzde Önem Dağılımları Bulunur

Bu aşama ilk 4 adımda anlatıldığı gibi ancak bu kez, her bir faktör açısından karar noktalarının yüzde önem dağılımları belirlenir. Yani birebir karşılaştırmalar ve matris işlemleri faktör sayısı kadar (n kez) tekrarlanır. Ancak burada her bir faktör için karar noktalarında kullanılacak G karşılaştırma matrislerinin boyutu $m \times m$ olacaktır. Her bir karşılaştırma işleminden sonra $m \times 1$ boyutlu ve değerlendirilen faktörün karar noktalarına göre yüzde dağılımlarını gösteren S sütun vektörleri (4.13)'de gösterildiği gibi elde edilir.

$$S_i = \begin{bmatrix} s_{11} \\ s_{21} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ s_{m1} \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

Adım 6: Karar Noktalarındaki Sonuç Dağılımının Bulunması

Bu aşamada öncelikle, yukarıda anlatılan n tane $m \times 1$ boyutlu S sütun vektöründen meydana gelen, $m \times n$ boyutlu K karar matrisi (4.14)'de gösterildiği gibi oluşturulur.

$$K = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ s_{m1} & s_{m2} & \dots & s_{mn} \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

Sonuçta karar matrisi, W sütun vektörü (öncelik vektörü) ile (4.15)'de gösterildiği gibi çarpıldığında ise m elemanlı L sütun vektörü elde edilir. L sütun vektörü karar noktalarının yüzde dağılımlarını göstermektedir. Yani vektörün elemanlarının toplamı 1'dir. Bu dağılım aynı zamanda karar vericiye, karar noktalarının önem sırasını da göstermektedir.

$$L = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ s_{m1} & s_{m2} & \dots & s_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{11} \\ l_{21} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ l_{m1} \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

4.2. AHP'nin Kullanım Alanları

Literatüre kısa bir göz attığımızda AHP'nin yönetsel, ekonomik, politik, sosyal ve teknolojik konular gibi birçok KV probleminde kullanıldığını görmekteyiz.

Ülegin (1994) yaptığı çalışmada İstanbul'daki trafik sorunu ile ilgili olarak güzergâh seçimi için AHP yöntemini kullanmıştır. İç ve Yurdakul (2000) üretim firmalarının kredibilitésinin belirlenmesinde AHP yöntemini kullanmışlardır. Dağdeviren ve Eren (2001) tedarikçi firma seçimi için AHP yöntemini kullanmışlardır. Özdemir (2002) AHP yöntemini kullanarak bir işletmede performans değerlendirme sistemi tasarlamıştır. Burdurlu ve Ejder (2003) kuruluş yeri seçimi için AHP yöntemini kullanmışlardır. Büyüközkan (2004) yaptığı çalışmada bulanık AHP yöntemini kullanarak e-ticaret siteleri için bir seçim modeli oluşturmuştur. Dağdeviren vd. (2004) AHP yöntemi ile bir iş değerlendirme sistemi tasarlamışlardır. Eraslan ve Algün (2005) AHP ile performans değerlendirme yöntemlerini incelemiş ve ideal bir performans değerlendirme formu tasarlamışlardır. Palaz ve Kovancı (2008) Türk Deniz Kuvvetlerinin ihtiyaç duyduğu denizaltı tipinin seçimi için AHP yöntemini kullanmışlardır. Özden (2008) çalışmasında en iyi eğitim ve öğretimi sağlayacak ilkokul seçimi için AHP yöntemini kullanmıştır. Aydın vd. (2009) Ankara'da hastane yeri seçimi için AHP yöntemini kullanmışlardır. Demirtaş (2009) yaptığı çalışmada AHP yöntemi ile performans değerlendirmesi yapmıştır. Abadi vd. (2012) bursiyer seçimi için AHP yöntemini kullanmışlardır. Göktolga ve Gökcalp (2012) yaptığı çalışmada AHP yöntemi ile iş seçim problemini incelemişlerdir. Özbek ve Eren (2013) hizmet sağlayıcı seçimi için AHP yöntemini kullanmışlardır.

5. UYGULAMA

5.1. Problemin Tanımı

Bu çalışmada bir devlet kurumunda personel çizelgeleme problemi incelenmiştir. Kurum, görevleri kapsamında çalışanlarından her gün bir kişiyi, normal mesai saatleri dışında nöbetçi olarak görevlendirmektedir. Hâlihazır durumda nöbet çizelgeleri aylık dönemler halinde, görevlendirilen bir personel tarafından el ile hazırlanmaktadır. Görevlendirilen personel bulunulan aylık dönemin son haftası, çizelgeleme yapılacak bir sonraki dönem için personel mazeretlerini toplamakta ve çizelgeleri oluşturmaktadır.

Çizelgeler oluşturulurken personel mazeretlerine ve kıdem seviyelerine dikkat edilmekte ve bütün personele hafta sonu ve hafta içi dağılımı adil olmak üzere eşit sayıda nöbet yazılmak istenmektedir. Ancak ayın bütün günlerinin aynı ağırlıkta olmaması ve bazı ayların gün olarak fazla olmasından kaynaklı olarak, bu hedefler tam olarak sağlanamayabilmektedir. Böyle durumlarda her personele eşit sayıda ve ağırlıkta nöbet yazıldıktan sonra artık günler öncelikle kıdemsiz personelden kıdemliye doğru yazılmak istenmektedir. Ayrıca personelin gün aşırı veya yakın tarihli nöbetler tutması personeli olumsuz olarak etkilemekte ve nöbetlerin arasının gün olarak uzun olmasının istenmesi problemi daha karmaşık hale getirmektedir. Bu gibi etkenler sonucu el ile hazırlanan çizelgelerin hazırlanma süresi artmakta ve personel isteklerini tam olarak karşılayan yani istenilen seviyede çizelgeler hazırlanamamaktadır.

Ayrıca çalışanlar birtakım özel sebeplerinden dolayı ayın belirli günlerinde nöbet tutmaya istekli olabiliyorlar. Yani görevi gereği zorunlu olarak tutacağı nöbeti, kurumu ve diğer çalışanları zarara uğratmadan imkânlar dâhilinde kendi belirttiği günlerde tutmak isteyebilmektedirler. Örneğin eşi de nöbet tutulan bir kurumda çalışan personel, eşi ile aynı gün nöbet tutmak isteyebilmekte veya personel ayın ilk iki haftası özel bir kursa katılacağı için bütün nöbetlerini ayın son iki haftasında tutmak isteyebilmektedir. Bu isteklere cevap vermenin personel üzerinde olumlu etki

yarattığı, moral motivasyonu ve verimliliği arttırdığı görülmüştür. Ancak isteklerin de çözüme dâhil edilmesi problemin çözümlüğünü daha da zorlaştırmaktadır.

Matematiksel bir model ile nöbet çizelgelerinin hazırlanma süresinin azalacağı ve istenilen seviyede çizelgelerin hazırlanacağı öngörülmüştür. Fakat oluşturulacak olan model ile kurumun zorunlu kısıtlarının sağlanmasının yanında tüm personele 1 aylık dönemde eşit sayıda ve ağırlıkta nöbet yazılması ile örtüşen personel istekleri sonucu bu isteklerin tam olarak sağlanamayacağı değerlendirilmiştir. Bu sebepten dolayı problemin çözümü için HP yöntemi seçilmiştir. HP yöntemi ile zorunlu kısıtların sağlanmasının yanında amaçlardan sapmaların en küçüklenmesi ve istek belirtilen günlere nöbet atanmasının en büyüklenmesi sağlanabilmektedir.

5.1.1. Personel Sayısı ve Kıdem Seviyeleri

Kurumda kıdem seviyeleri farklı toplam 10 personel çalışmaktadır. İlgili nöbet döneminde hiçbir personelin nöbet grubundan ay başladıktan sonra çıkmadığı ve başka hiçbir personelin nöbet grubuna sonradan dâhil olmadığı, ayrıca hiçbir personelin kıdem seviyesinin ilgili dönem içerisinde değişmediği varsayılmıştır. Modelimizde her personelin kıdem seviyesi, kurumda çalıştığı toplam yıl olarak alınmış olup Çizelge 5.1.'de sunulduğu gibidir.

Çizelge 5.1. Personel Kıdem Seviyeleri

Personel	Kıdem Seviyesi
1, 2	9
3, 4	8
5, 6	7
7, 8	6
9, 10	5

Çizelge 5.1.'de görüldüğü üzere 1 ve 2 numaralı personelin kıdem seviyesi ilgili kurumda toplam 9 yıl çalıştığı için 9 olarak kabul edilmiştir. Aynı şekilde 3 ve 4 numaralı personelin kurumda çalıştığı toplam yıl göz önünde bulundurularak kıdem seviyesi 8, 5 ve 6 numaralı personelin kıdem seviyesi 7, 7 ve 8 numaralı personelin kıdem seviyesi 6, 9 ve 10 numaralı personelin kıdem seviyesi 5 olarak kabul edilmiştir. Burada farklı çalışan özelliklerine göre değişik seviyelendirme yapılabilir. Personel sayısının ve kurumda çalışılan toplam yıl sayısının çok artması durumunda, seviyeler 2'şer veya 3'er yıllık dönemler olarak alınabilir. Ancak toplam nöbet dengesinin bozulmaması için çalışanların kıdem katsayıları arasındaki oranın 2'den küçük olması gerektiği unutulmamalıdır.

5.1.2. Gün Ağırlıklarının Belirlenmesi

Hafta içi nöbetleri saat 17:00 ile ertesi sabah saat 08:00 arasını kapsamaktadır. Yani hafta içi tutulan bir nöbet 15 saat sürmektedir. Cuma günü nöbetleri ise saat 17:00'da başlamakta ve ertesi sabah 09:00'da son bulmaktadır. Bu nöbet 16 saatlik bir süreyi kapsamakta ve personelin ilgili hafta sonu tatilini kısıtlamaktadır. Hafta sonu nöbetleri ise sabah 09:00'da başlamakta ve ertesi sabah 09:00'da son bulmakta olup toplam 24 saat sürmektedir. Görüldüğü üzere farklı günlerdeki nöbetlerin ağırlıkları aynı değildir. Bundan dolayı gün ağırlıklarının belirlenmesi için günler, çalışanların ortak düşünceleri doğrultusunda zorluk derecelerine göre birbiriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen karşılaştırma kısıtları doğrultusunda matematiksel bir model oluşturulmuş ve belirlenen toplam ağırlık değerine göre gün ağırlıkları, birbirine yakınsanarak bulunmuştur. Oluşturulan modelde her personelin aylık toplam nöbet ağırlığının eşitlenmesi istenmektedir.

$$\max z = \text{haftaiçi} \times \text{cuma} \times \text{cumartesi} \times \text{pazar} \quad (5.1)$$

$$\text{cuma} > \text{haftaiçi} \quad (5.2)$$

$$\text{pazar} > \text{cuma} \quad (5.3)$$

$$\text{cumartesi} > \text{pazar} \quad (5.4)$$

$$\text{cumartesi} > 2 \times \text{haftaiçi} \quad (5.5)$$

$$pazar > 2 \times haftaiçi \quad (5.6)$$

$$2 \times haftaiçi > cuma \quad (5.7)$$

$$cuma + pazar > haftaiçi + cumartesi \quad (5.8)$$

$$haftaiçi + cuma + cumartesi + pazar = 25 \quad (5.9)$$

Burada (5.1) numaralı denklem amaç fonksiyonu olup günlerin ağırlıklarının birbirine göre çok üstün olmaması amaçlanmıştır. Bu maksatla belirlenen toplam ağırlık değerine göre birbiriyle çarpılarak yakınsanması sağlanmıştır. Denklem (5.2) cuma gününün ağırlığının hafta içi bir nöbetten daha fazla olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde denklem (5.3), (5.4), (5.5), (5.6), (5.7) ve (5.8) günlerin ağırlıklarının birbiriyle karşılaştırmaları ile ilgilidir. Denklem (5.9) ise belirlenmiş olan toplam ağırlık değeridir. Burada her bir değişkenin 0'dan büyük bir tamsayı olduğu düşünülerek, oluşturulan model GAMS 22.5 paket programı ile çözülmüş ve Çizelge 5.2.'de görüldüğü gibi günlerin ağırlığı hesaplanmıştır. Ayrıca ilgili nöbet döneminde hiçbir günün ağırlığının ay başladıktan sonra değişmediği varsayılmıştır.

Çizelge 5.2. Gün Ağırlıkları

Günler	Ağırlıkları
Haftaiçi	3
Cuma	5
Cumartesi	9
Pazar	8

Geliştirilen model çalışmamıza başladığımız tarih olan Kasım 2014 ayı için uygulanmıştır. Farklı aylarda yapılacak olan çizelgelemeler için eğer ilgili ayda resmi bayram olması durumunda, ilgili günün ağırlığı pazar nöbetinden bir düşük yani 7, dini bayram olması durumunda, ilgili günün ağırlığı cumartesi nöbetinden 1 fazla yani 10 olarak alınmasının nöbetlerin zorluk durumuna göre uygun olacağı çalışanların ortak düşüncelerine göre belirlenmiştir.

5.1.3. Hedeflerin Ağırlıklarının Belirlenmesi

Oluşturulacak olan ağırlıklı HP modelinde 4 adet hedef bulunmaktadır. Hedeflerin ağırlıkları sonucu doğrudan etkileyeceğinden, bu hedeflerin ağırlıklarının ne olacağına vereceğimiz karar önem arz etmektedir. Bu maksatla hedeflerimizin ağırlıkları ÇKKV yöntemlerinden AHP yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır.

Adım 1: Karar verme problemi tanımlanır

Karar verme problemimiz, amacımızdaki mevcut 4 hedefin ağırlıklarının belirlenmesidir.

Hedef 1: Her personele eşit sayıda nöbet yazılmalıdır.

Hedef 2: Her personelin toplam nöbet ağırlığı eşit olmalıdır.

Hedef 3: Her personelin nöbetleri, nöbet tutmak için istek belirttiği günlere planlanmalıdır.

Hedef 4: Her personelin nöbetler arası mesafesi, mümkün olduğunca gün olarak uzun olmalıdır.

Adım 2: Faktörler arası karşılaştırma matrisi oluşturulur

Burada faktörlerin yani hedeflerin karşılaştırılması, birbirlerine göre sahip oldukları önem değerlerine göre birebir ve karşılıklı olarak yapılır. Hedeflerimizin birebir karşılıklı karşılaştırılmasında Çizelge 4.1.'deki önem skalası kullanılmıştır.

Çizelge 5.3. Hedefler Arası Karşılaştırma Matrisi

HEDEFLER	Hedef 1	Hedef 2	Hedef 3	Hedef 4
Hedef 1	1	3	5	9
Hedef 2	1/3	1	3	9
Hedef 3	1/5	1/3	1	5
Hedef 4	1/9	1/9	1/5	1

Çizelge 5.3.'de köşegen üzerindeki bileşenler, yani $i = j$ olduğunda 1 değerini almıştır. Hedef 1, Hedef 2'den ($i = 1, j = 2$) daha önemli olduğundan ilgili bileşen 3, Hedef 3'den ($i = 1, j = 3$) çok önemli olduğu için ilgili bileşen 5, Hedef 4'e ($i = 1, j = 4$) nazaran mutlak bir üstünlüğü olduğundan ilgili bileşen 9 değerini almıştır. Hedef 2, Hedef 3'den ($i = 2, j = 3$) daha önemli olduğundan ilgili bileşen 3, Hedef 4'e ($i = 2, j = 4$) nazaran mutlak bir üstünlüğü olduğundan ilgili bileşen 9 değerini almıştır. Aynı şekilde Hedef 3, Hedef 4'den ($i = 3, j = 4$) çok önemli olduğu için ilgili bileşen 5 değerini almıştır.

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (5.10)$$

Köşegenin altında kalan bileşenler ise (5.10) formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak karşılaştırma matrisimiz (5.11)'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 9 \\ 1/3 & 1 & 3 & 9 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 5 \\ 1/9 & 1/9 & 1/5 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.11)$$

Adım 3: Faktörlerin yüzde önem dağılımları belirlenir

$$c_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (5.12)$$

A karşılaştırma matrisinden formül (5.12) kullanılarak, (5.13)'de görüldüğü üzere C matrisi oluşturulmuştur.

$$C = \begin{bmatrix} 0,608 & 0,675 & 0,543 & 0,375 \\ 0,203 & 0,225 & 0,326 & 0,375 \\ 0,122 & 0,075 & 0,109 & 0,208 \\ 0,067 & 0,025 & 0,022 & 0,042 \end{bmatrix} \quad (5.13)$$

C matrisinden yararlanarak, faktörlerin birbirlerine göre önem değerlerini gösteren yüzde önem dağılımları, (5.14) formülü kullanılarak elde edilebilir. Burada (5.14) formülünde gösterildiği gibi C matrisini oluşturan satır bileşenlerinin aritmetik ortalaması alınmıştır ve Öncelik Vektörü olarak adlandırılan W sütun vektörü (5.15) elde edilmiştir

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad (5.14)$$

$$W = \begin{bmatrix} 0,550 \\ 0,282 \\ 0,128 \\ 0,040 \end{bmatrix} \quad (5.15)$$

Her 4 hedefin birbirine göre değerlendirilmesi sonucunda W öncelik vektörü (5.15) görüldüğü gibi hesaplanmıştır. Burada Hedef 1'in % 55, Hedef 2'nin % 28,2, Hedef 3'ün % 12,8, Hedef 4'ün % 4 öneme sahip olduğu hesaplanmıştır.

Adım 4: Faktör kıyaslamalarındaki tutarlılık ölçülür

AHP yöntemi kendi içinde ne kadar tutarlı bir sistematığe sahip olsa da sonuçların doğruluğu, faktörler arasında yaptığımız birebir karşılaştırmalardaki tutarlılığa bağlıdır. Bu adımda karşılaştırmalarımızdaki tutarlılığı, yöntemin önerdiği süreçle kontrol edeceğiz. İlk önce formül (5.16) kullanılarak, D sütun vektörü (5.17) elde edilmiştir.

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} \quad (5.16)$$

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 9 \\ 1/3 & 1 & 3 & 9 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 5 \\ 1/9 & 1/9 & 1/5 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,550 \\ 0,282 \\ 0,128 \\ 0,040 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,389 \\ 1,201 \\ 0,527 \\ 0,157 \end{bmatrix} \quad (5.17)$$

Formül (5.18) kullanılarak bulunan D sütun vektörü (5.17) ile W öncelik vektörünün (5.15) karşılıklı elemanlarının bölümünden her bir değerlendirme faktörüne ilişkin E temel değer vektörü (5.19) elde edilmiştir.

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} \quad (5.18)$$

$$E = \begin{bmatrix} 4,342 \\ 4,258 \\ 4,108 \\ 4,031 \end{bmatrix} \quad (5.19)$$

Formül (5.20) ile E temel değer vektöründen (5.19) karşılaştırmaya ilişkin temel değer $\lambda = 4,158$ olarak hesaplanmıştır.

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (5.20)$$

λ hesaplandıktan sonra, (5.21) formülünden yararlanılarak $CI = 0,061$ olarak hesaplanmıştır.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (5.21)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5.22)$$

Son aşamada ise (5.22) formülü kullanılarak bir önceki aşamada bulmuş olduğumuz CI, Çizelge 4.2.'de gösterilen RI değerine bölünerek $CR = 0,068$ olarak hesaplanmıştır.

Hesaplanan $CR = 0,068 < 0,10$ olduğu için yapmış olduğumuz karşılaştırmalar tutarlıdır. Sonuç olarak adım 3’de bulduğumuz hedeflerin birbirine göre olan yüzde önemleri Çizelge 5.4.’de gösterildiği gibi hedeflerin ağırlıkları olarak kullanılacaktır.

Çizelge 5.4. Hedeflerin Ağırlıkları

Hedefler	Sembol	Ağırlıkları
Hedef 1	W_1	0,55
Hedef 2	W_2	0,282
Hedef 3	W_3	0,128
Hedef 4	W_4	0,04

5.2. Geliştirilen Matematiksel Model

Zorunlu ve gevşek kısıtlardan oluşan HP modeli ile personel nöbetlere atanmaktadır. Amaç fonksiyonu zorunlu kısıtların sağlanmasının yanında kıdem seviyelerine göre gevşek kısıtların en küçüklenmesi ve nöbet tutmak için istekli olunan günlere nöbet yazılmasının en büyüklenmesidir. Problemden kullanılan parametreler, karar değişkenleri, hedefler ve matematiksel model aşağıda verilmiştir.

5.2.1. Modelde Kullanılan Parametreler

$i \rightarrow$ Personel, $i = 1,2, \dots, 10$

$ic \rightarrow$ Personel, $ic \in i$

$j \rightarrow$ Çizelgeleme yapılan günler, $j = 1,2, \dots, 30$

$k_i \rightarrow i.$ personelin kıdem katsayısı, $i = 1,2, \dots, 10$

$g_j \rightarrow j.$ günün ağırlığı, $j = 1,2, \dots, 30$

$W_l \rightarrow l.$ hedefin ağırlığı, $l = 1,2,3,4,1,4,2, \dots, 47,48$

$M_{ij} = \begin{cases} 1, i. \text{ personel } j. \text{ gün mazeret belirtmiş} \\ 0, d. d. \end{cases}$

$$T_{ij} = \begin{cases} 1, i. \text{ personel } j. \text{ gün nöbet tutmak için istekli} \\ 0, d. d. \end{cases}$$

5.2.2. Modelde Kullanılan Karar Değişkenleri

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, i. \text{ personel } j. \text{ gün nöbetçi} \\ 0, d. d. \end{cases}$$

$$v_{i,ic}^{+1} = 1. \text{ Gevşek kısıtın pozitif yönde sapma değişkeni}$$

$$v_{i,ic}^{-1} = 1. \text{ Gevşek kısıtın negatif yönde sapma değişkeni}$$

$$v_{i,ic}^{+2} = 2. \text{ Gevşek kısıtın pozitif yönde sapma değişkeni}$$

$$v_{i,ic}^{-2} = 2. \text{ Gevşek kısıtın negatif yönde sapma değişkeni}$$

$$v_i^{+3} = 3. \text{ Gevşek kısıtın pozitif yönde sapma değişkeni}$$

$$v_i^{-3} = 3. \text{ Gevşek kısıtın negatif yönde sapma değişkeni}$$

$$v_{i,j}^{+4a} = 4. \text{ Gevşek kısıtın pozitif yönde sapma değişkeni, } a = 1, 2, \dots, 8$$

$$v_{i,j}^{-4a} = 4. \text{ Gevşek kısıtın negatif yönde sapma değişkeni, } a = 1, 2, \dots, 8$$

5.2.3. Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^{10} x_{i,j} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, 30 \quad (5.23)$$

$$\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{30} x_{i,j} = 30, \quad (5.24)$$

$$x_{i,j} + x_{i,j+1} \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, 10, \quad j = 1, 2, \dots, 29 \quad (5.25)$$

$$\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{30} x_{i,j} \times M_{i,j} = 0, \quad (5.26)$$

$$\sum_{j=1}^{30} x_{i,j} - \sum_{j=1}^{30} x_{ic,j} - v_{i,ic}^{+1} + v_{i,ic}^{-1} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, 9, \quad ic = (i+1), \dots, 10 \quad (5.27)$$

$$\sum_{j=1}^{30} x_{i,j} \times g_j - \sum_{j=1}^{30} x_{ic,j} \times g_j - v_{i,ic}^{+2} + v_{i,ic}^{-2} = 0, i = 1, 2, \dots, 9, ic = (i+1), \dots, 10 \quad (5.28)$$

$$\sum_{j=1}^{30} x_{i,j} \times T_{i,j} - v_i^{+3} + v_i^{-3} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, 10 \quad (5.29)$$

$$x_{i,j} + x_{i,j+1} + x_{i,j+2} - v_{i,j}^{+41} + v_{i,j}^{-41} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, 10, j = 1, 2, \dots, 28 \quad (5.30)$$

$$x_{i,j} + x_{i,j+1} + x_{i,j+2} + x_{i,j+3} - v_{i,j}^{+42} + v_{i,j}^{-42} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, 10, j = 1, 2, \dots, 27 \quad (5.31)$$

$$x_{i,j} + x_{i,j+1} + x_{i,j+2} + x_{i,j+3} + x_{i,j+4} - v_{i,j}^{+43} + v_{i,j}^{-43} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, 10, j = 1, 2, \dots, 26 \quad (5.32)$$

$$x_{i,j} + x_{i,j+1} + x_{i,j+2} + x_{i,j+3} + x_{i,j+4} + x_{i,j+5} - v_{i,j}^{+44} + v_{i,j}^{-44} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, 10, j = 1, 2, \dots, 25 \quad (5.33)$$

$$x_{i,j} + x_{i,j+1} + x_{i,j+2} + x_{i,j+3} + x_{i,j+4} + x_{i,j+5} + x_{i,j+6} - v_{i,j}^{+45} + v_{i,j}^{-45} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, 10, j = 1, 2, \dots, 24 \quad (5.34)$$

$$x_{i,j} + x_{i,j+1} + x_{i,j+2} + x_{i,j+3} + x_{i,j+4} + x_{i,j+5} + x_{i,j+6} + x_{i,j+7} - v_{i,j}^{+46} + v_{i,j}^{-46} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, 10, j = 1, 2, \dots, 23 \quad (5.35)$$

$$x_{i,j} + x_{i,j+1} + x_{i,j+2} + x_{i,j+3} + x_{i,j+4} + x_{i,j+5} + x_{i,j+6} + x_{i,j+7} + x_{i,j+8} - v_{i,j}^{+47} + v_{i,j}^{-47} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, 10, j = 1, 2, \dots, 22 \quad (5.36)$$

$$x_{i,j} + x_{i,j+1} + x_{i,j+2} + x_{i,j+3} + x_{i,j+4} + x_{i,j+5} + x_{i,j+6} + x_{i,j+7} + x_{i,j+8} + x_{i,j+9} - v_{i,j}^{+48} + v_{i,j}^{-48} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, 10, j = 1, 2, \dots, 21 \quad (5.37)$$

$$x_{i,j} \in \{0,1\} \quad i = 1, 2, \dots, 10, j = 1, 2, \dots, 30 \quad (5.38)$$

$$\begin{aligned}
&v_{i,ic}^{+1}, v_{i,ic}^{-1}, v_{i,ic}^{+2}, v_{i,ic}^{-2}, v_i^{+3}, v_i^{-3}, v_{i,j}^{+41}, v_{i,j}^{-41}, v_{i,j}^{+42}, v_{i,j}^{-42}, v_{i,j}^{+43}, v_{i,j}^{-43}, \\
&v_{i,j}^{+44}, v_{i,j}^{-44}, v_{i,j}^{+45}, v_{i,j}^{-45}, v_{i,j}^{+46}, v_{i,j}^{-46}, v_{i,j}^{+47}, v_{i,j}^{-47}, v_{i,j}^{+48}, v_{i,j}^{-48} \geq 0
\end{aligned} \tag{5.39}$$

(5.23) numaralı kısıt her gün sadece bir personelin nöbetçi olarak atanmasını sağlamaktadır. Farklı kurumların farklı sayıdaki nöbetçi isteklerine göre denklem değiştirilebilir. (5.24) numaralı kısıt çizelgeleme yapılan ayın her gününe nöbetçi atanmasını sağlamaktadır. (5.25) numaralı kısıt her personel için ardışık nöbet yazılmasını engellemektedir. Modelimizde zorunlu olarak ardışık nöbetlere izin verilmemektedir. (5.26) numaralı kısıt personelin mazeret belirttiği günlere nöbet yazılmasını engellemektedir. Personel bir takım özel sebeplerden dolayı ayın bazı günlerinde nöbet tutmak istemeyebilmektedir. Örneğin ayın son 15 günü izne ayrılacak olan personel, ayın son 15 gününde mazeret belirtmektedir veya sağlık nedenlerinden dolayı belirli günler tedavi gören personel ilgili günlerde mazeret belirtmektedir.

Kısıt (5.27), (5.28), (5.29) ve (5.30-37) gevşek kısıtlardır. Kısıt (5.27) ile her personel ikili olarak karşılaştırılarak aylık toplam nöbet sayıları arasındaki fark bulunmaktadır. Kısıt (5.28) ile yine her personel ikili olarak karşılaştırılarak aylık toplam nöbet ağırlıkları arasındaki fark bulunmaktadır. Her 2 kısıtta da her personel kıdem olarak kendisinden sonra gelen her personelle karşılaştırılmaktadır. Böylece her personelin gereksiz yere 2 defa kıyaslanması engellenmiştir. Pozitif sapmalar kıdemli personelin fazla nöbet sayısını ve fazla nöbet ağırlığını, negatif sapmalar ise kıdemsiz personelin fazla nöbet sayısını ve fazla nöbet ağırlığını göstermektedir. Kısıt (5.29) her personelin nöbet tutmak için istek belirttiği günlere, kaç adet nöbetinin yazıldığını tespit etmek için geliştirilmiştir.

Kısıt (5.30-37) serisi personel nöbetlerinin ne kadar ara ile yazıldığını kontrol etmektedir. Her personelin; kısıt (5.30) ile her ardışık 3 günde 1'den fazla nöbetinin olup olmadığı, kısıt (5.31) ile her ardışık 4 günde 1'den fazla nöbetinin olup olmadığı, kısıt (5.32) ile her ardışık 5 günde 1'den fazla nöbetinin olup olmadığı, kısıt (5.33) ile her ardışık 6 günde 1'den fazla nöbetinin olup olmadığı, kısıt (5.34) ile her ardışık 7 günde 1'den fazla nöbetinin olup olmadığı, kısıt (5.35) ile her ardışık

8 günde 1'den fazla nöbetinin olup olmadığı, kısıt (5.36) ile her ardışık 9 günde 1'den fazla nöbetinin olup olmadığı, son olarak kısıt (5.37) ile her ardışık 10 günde 1'den fazla nöbetinin olup olmadığı kontrol edilmektedir.

(5.38) numaralı kısıt ile $x_{i,j}$ değişkeninin 0 veya 1 değerlerinden herhangi birini alabileceği belirtilmiştir. Son olarak kısıt (5.39) ise ilgili karar değişkenlerinin 0'a büyük veya eşit olabileceğini göstermektedir.

5.2.4. Hedefler

Hedef 1: Her personele eşit sayıda nöbet yazılmalıdır.

$$W_1 \times \left(\sum_{i=1}^9 \sum_{ic=i+1}^{10} v_{i,ic}^{+1} \times k(i) + \sum_{i=1}^9 \sum_{ic=i+1}^{10} v_{i,ic}^{-1} \times k(ic) \right) \quad (5.40)$$

Denklem (5.40), kısıt (5.27)'in sapmalarını en küçüklemek için geliştirilmiştir. Yani her personelin aylık toplam nöbet sayısı eşitlenmek istenmektedir. Ancak farklı aylarda toplam gün sayısının, toplam personel sayısının tam katları olmayan dönemler ile karşılaşabiliriz. Böyle durumlarda her personelin toplam nöbet sayısını eşitlememiz mümkün olmayacaktır. Her personelin toplam nöbet sayısını eşitleyemediğimizde artık nöbetlerin öncelikle kıdemsiz personelden kıdemliye doğru yazılması için pozitif sapmalar kıdemli personelin kıdem katsayısı, negatif sapmalar ise kıdemsiz personelin kıdem katsayısı ile çarpılmıştır. Böylece amacımız en küçüklemek olduğu için artık bir nöbet olduğunda öncelikle nöbetin kıdem katsayısı daha düşük olan kıdemsiz personele yazılması sağlanmıştır.

Hedef 2: Her personelin toplam nöbet ağırlığı eşit olmalıdır.

$$W_2 \times \left(\sum_{i=1}^9 \sum_{ic=i+1}^{10} v_{i,ic}^{+2} \times k(i) + \sum_{i=1}^9 \sum_{ic=i+1}^{10} v_{i,ic}^{-2} \times k(ic) \right) \quad (5.41)$$

Denklem (5.41), kısıt (5.28)'in sapmalarını en küçüklemek için geliştirilmiştir. Burada amaç her personele toplamda eşit ağırlıkta nöbet atayabilmektir. Ancak her günün ağırlığının aynı olmaması kaynaklı olarak her personelin toplam nöbet ağırlığını eşitleyememe durumumuz oluşabilmektedir. Böyle durumlarda toplam nöbet ağırlığının öncelikle kıdemli personelden kıdemsiz doğru artması için pozitif sapmalar kıdemli personelin kıdem katsayısı, negatif sapmalar ise kıdemsiz personelin kıdem katsayısı ile çarpılmıştır. Böylece her personelin toplam nöbet ağırlığının eşitlenemediği durumlarda, daha yüksek ağırlıklı nöbetlerin öncelikle kıdem katsayısı daha düşük olan kıdemsiz personele yazılması sağlanmıştır.

Hedef 3: Her personelin nöbetleri, nöbet tutmak için istek belirttiği günlere planlanmalıdır.

$$W_3 \times \left(\sum_{i=1}^{10} v_i^{+3} \times k(i) \right) \quad (5.42)$$

Denklem (5.42), kısıt (5.29)'nın sapmalarını en büyüklemek için geliştirilmiştir. Buradaki her bir v_i^{+3} değeri i . personelin kaç tane nöbetinin, personelin nöbet tutmak için istek belirttiği günlere atandığını göstermektedir. Ayrıca v_i^{+3} değeri ilgili personelin kıdem katsayısıyla çarpılarak öncelikle kıdemli personelden itibaren, kıdemsiz personele doğru istekler karşılanmaktadır.

Hedef 4: Her personelin nöbetler arası mesafesi, mümkün olduğunca gün olarak uzun olmalıdır.

$$W_{41} \times \left(\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{28} v_{i,j}^{+41} \times k(i) \right) \quad (5.43)$$

$$W_{42} \times \left(\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{27} v_{i,j}^{+42} \times k(i) \right) \quad (5.44)$$

$$W_{43} \times \left(\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{26} v_{i,j}^{+43} \times k(i) \right) \quad (5.45)$$

$$W_{44} \times \left(\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{25} v_{i,j}^{+44} \times k(i) \right) \quad (5.46)$$

$$W_{45} \times \left(\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{24} v_{i,j}^{+45} \times k(i) \right) \quad (5.47)$$

$$W_{46} \times \left(\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{23} v_{i,j}^{+46} \times k(i) \right) \quad (5.48)$$

$$W_{47} \times \left(\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{22} v_{i,j}^{+47} \times k(i) \right) \quad (5.49)$$

$$W_{48} \times \left(\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{21} v_{i,j}^{+48} \times k(i) \right) \quad (5.50)$$

Denklem (5.43-50) serisi ile (5.30-37) serisi kısıtların pozitif sapmaları en küçüklenmektedir. Bahse konu nöbet grubunda 10 personel olduğu için 1 aylık çizelgeleme döneminde her personele ortalama 3 nöbet düşmektedir. Bundan dolayı her personelin ortalama 10 günde 1 nöbet tutması hedeflenmiştir. Ancak bu hedefimizi tek kısıt olarak (5.37) yazmamız halinde, ilgili gevşek kısıtımızın sağlanamaması durumunda 1 veya 2 gün gibi yakın aralıklı nöbetlerle karşılaşabilme durumumuz oluşabilmektedir. Bunun engellenmesi için bu kısıtımız kendi içinde kademelendirilmiş ve her personel için nöbetler arasının gün olarak mümkün olduğunca uzun olması sağlanmıştır.

Hatırlanacağı üzere Bölüm 5.1.3.'de 4. Hedefin ağırlığı $W_4 = 0,040$ olarak hesaplanmıştır. Ancak burada ilgili hedefimiz kendi içerisinde kademelendirildiği için bu ağırlık, toplamı 0.04 olacak şekilde 8 alt kademeye oranlanmıştır. En istenmeyen durum personele 3 günde 2 nöbet yazılması olup her bir kademenin bir önceki kademeye göre 2 kat öneme sahip olduğu düşünülerek W_4 değeri 2'ye bölünerek W_{41} değeri elde edilmiştir. Aynı şekilde W_{41} değeri 2'ye bölünerek W_{42} , W_{42} değeri 2'ye

bölünerek W_{43} , W_{43} değeri 2'ye bölünerek W_{44} , W_{44} değeri 2'ye bölünerek W_{45} , W_{45} değeri 2'ye bölünerek W_{46} , W_{46} değeri 2'ye bölünerek W_{47} , son olarak W_{47} değeri 2'ye bölünerek W_{48} değeri yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Çizelge 5.5.'de sunulmuştur. Bu değerlerin toplamı yaklaşık olarak $W_4 = 0,040$ değerine eşittir. Yani personele 3 günde 2 nöbet yazıldığı zaman ilgili bütün hedefler sağlanamamış ve toplamda $W_4 = 0,040$ değerine ulaşılmış olmaktadır.

Çizelge 5.5. 4. Hedefin Kademelerinin Ağırlıkları

Hedef	W_4	W_{41}	W_{42}	W_{43}	W_{44}	W_{45}	W_{46}	W_{47}	W_{48}
Ağırlık	0,04	0,02	0,01	0,005	0,0025	0,0013	0,0007	0,0004	0,0002

Bu kademelendirmeyi yapmamızın temel nedeni ilgili hedefimiz olan personelin nöbet aralarının mümkün olduğunca uzun olmasının sağlanmasıdır. Bu maksatla kademelendirilmiş olan ağırlıklar zorluk seviyelerine göre denklem (5.43-50) serisi ile çarpılmıştır. En düşük ağırlığa sahip denklem (5.50) ile ilk olarak her personelin 10 günde 1 nöbet tutması hedeflenmiştir. İlgili hedefimiz sağlanamadığı takdirde 2 kat daha fazla ağırlığa sahip olan denklem (5.49) ile personelin 9 günde 1 nöbet tutması, sağlanamıyorsa 2 kat daha fazla ağırlığa sahip olan denklem (5.48) ile personelin 8 günde 1 nöbet tutması, sağlanamıyorsa 2 kat daha fazla ağırlığa sahip olan denklem (5.47) ile personelin 7 günde 1 nöbet tutması, sağlanamıyorsa 2 kat daha fazla ağırlığa sahip olan denklem (5.46) ile personelin 6 günde 1 nöbet tutması, sağlanamıyorsa 2 kat daha fazla ağırlığa sahip olan denklem (5.45) ile personelin 5 günde 1 nöbet tutması, sağlanamıyorsa 2 kat daha fazla ağırlığa sahip olan denklem (5.44) ile personelin 4 günde 1 nöbet tutması, sağlanamıyorsa son olarak 2 kat daha fazla ağırlığa sahip olan denklem (5.43) ile personelin 3 günde 1 nöbet tutması ilgili denklemlerin en küçüklenmesi ile sağlanmıştır.

Modelimiz zorunlu olarak ardışık nöbet tutmaya izin vermediği için (5.25) 2 günde 1 nöbet tutma kısıtı eklenmemiştir. Ayrıca sapmalar kıdem katsayıları ile çarpılarak

öncelikli olarak kıdemli personelden kıdemsiz personele doğru nöbet aralarının açılması hedeflenmiştir.

5.2.5. Amaç Fonksiyonu

$$\begin{aligned}
\min = & 0,550 \times \left(\sum_{i=1}^9 \sum_{ic=i+1}^{10} v_{i,ic}^{+1} \times k(i) + \sum_{i=1}^9 \sum_{ic=i+1}^{10} v_{i,ic}^{-1} \times k(ic) \right) + \\
& 0,282 \times \left(\sum_{i=1}^9 \sum_{ic=i+1}^{10} v_{i,ic}^{+2} \times k(i) + \sum_{i=1}^9 \sum_{ic=i+1}^{10} v_{i,ic}^{-2} \times k(ic) \right) - 0,128 \times \left(\sum_{i=1}^{10} v_i^{+3} \times k(i) \right) + \\
& 0,020 \times \left(\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{28} v_{i,j}^{+41} \times k(i) \right) + 0,010 \times \left(\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{27} v_{i,j}^{+42} \times k(i) \right) + \\
& 0,005 \times \left(\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{26} v_{i,j}^{+43} \times k(i) \right) + 0,0025 \times \left(\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{25} v_{i,j}^{+44} \times k(i) \right) + \\
& 0,0013 \times \left(\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{24} v_{i,j}^{+45} \times k(i) \right) + 0,0007 \times \left(\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{23} v_{i,j}^{+46} \times k(i) \right) + \\
& 0,0004 \times \left(\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{22} v_{i,j}^{+47} \times k(i) \right) + 0,0002 \times \left(\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{21} v_{i,j}^{+48} \times k(i) \right)
\end{aligned} \tag{5.51}$$

(5.51) numaralı denklem, gevşek kısıtlarımız olan (5.27), (5.28) ve (5.30-37)'nin sapmalarının kıdem seviyelerine göre en küçüklenmesi ile (5.29) numaralı kısıtlarımızın kıdem seviyelerine göre en büyüklenmesi olan modelin amaç fonksiyonudur. İlgili değerler Bölüm 5.1.3.'de hesaplanan ağırlıklarla çarpılmış olup 4. hedefimiz için bu ağırlık daha önce anlatıldığı gibi kademelendirilmiş olarak uygulanmıştır.

5.3. Örnek Uygulama

Geliştirilen çok amaçlı ağırlıklı HP modeli GAMS 22.5 paket programında kodlanarak, 'Intel® Core™ i3-380M' işlemcisi, 3 GB belleği olan Windows 8 işletim sistemine sahip bilgisayar ile çözülmüştür. Ek 1.'de bahse konu matematiksel modelin GAMS paket programındaki kodları gösterilmiştir.

Aylık nöbet çizelgesi hazırlanırken ilk önce her personelden mazeretli olduğu günler istenmektedir. Çalışanlar her hangi bir sebepten dolayı mazeretli olarak nöbet tutamayacakları günleri bildirmektedirler. Çizelge 5.6.'da sunulmuş olan excel sayfasına personelin mazeret durumları girilmektedir. *i.* çalışan *j.* gün mazeret belirtmiş ise ilgili çizelgede ilgili değişken 1 değerini almaktadır. Mazeret belirtilmeyen diğer günler ise 0 değerini almaktadır.

Çizelge 5.6. Personel Mazeret Çizelgesi

Gün/ Personel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1. Personel	1	1											1						1											1
2. Personel							1				1	1						1				1								
3. Personel					1					1											1		1				1			
4. Personel								1					1						1									1	1	
5. Personel			1	1										1	1	1														
6. Personel						1			1													1				1	1			
7. Personel	1									1	1						1	1												
8. Personel			1	1	1																				1	1				
9. Personel								1				1					1			1							1			
10. Personel						1									1					1				1		1				

Çizelge 5.6.'da görüldüğü gibi 1. Personel ilgili ayın 1, 2, 13, 19 ve 30. günleri geçerli özel sebeplerinden dolayı mazeret belirtmiştir. Diğer çalışanların da mazeret belirttiği günler çizelgede görüldüğü gibidir. Modelimiz hiçbir personele mazeret belirttiği günlerde nöbet ataması yapmamaktadır.

İkinci olarak her personelden nöbet tutmak için istekli olduğu günleri belirtmeleri istenmektedir. Çizelge 5.7.'de sunulmuş olan excel sayfasına personelin nöbet tutmak için istek belirttiği günler girilmektedir. *i.* çalışan *j.* gün nöbet tutmak için

İstek belirtmiş ise ilgili çizelgede ilgili değişken 1 değerini almaktadır. İstek belirtilmeyen diğer günler ise 0 değerini almaktadır.

Çizelge 5.7. Personel İstek Çizelgesi

Gün/ Personel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1. Personel			1			1										1							1	1						
2. Personel	1	1								1											1				1					
3. Personel								1					1						1	1									1	
4. Personel				1	1										1											1	1			
5. Personel						1						1										1					1	1		
6. Personel								1									1					1					1			1
7. Personel				1										1									1	1				1		
8. Personel		1								1						1						1					1			
9. Personel								1				1					1				1						1			
10. Personel						1									1						1			1	1					

Çizelge 5.7.'de görüldüğü gibi 1. Personel nöbetlerini ilgili ayın 3, 6, 16, 23 ve 24. günlerinde tutmak için istek belirtmiştir. Diğer çalışanların da nöbetlerini tutmak için istek belirttiği günler çizelgede görüldüğü gibidir. Burada modelimiz kurumun zorunlu kısıtlarından, örtüşen nöbet istek günlerinden veya amaç fonksiyonumuzdaki diğer hedeflerle olan kesişimlerden dolayı her isteğe cevap veremeyebilir. Kısacası geliştirilen model her isteğe cevap veremeyebilir ama istekleri optimize etmektedir.

Oluşturulan excel sayfaları ile modelimizin çözümü için gerekli olan M_{ij} ve T_{ij} parametreleri personelden toplanmış olup; yapılan kodlamalar ile GAMS paket programının bu parametreleri tablolar halinde doğrudan ilgili excel sayfalarından alması sağlanmıştır. GAMS paket programı ile çözülen problemin optimum sonuçları Çizelge 5.10.'da sunulmuştur.

Çizelge 5.8. Personel Nöbet Çizelgesi

Gün/ Personel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1. Personel			X													X							X	X							
2. Personel	X									X											X				X						
3. Personel					X								X						X								X				
4. Personel				X											X										X	X					
5. Personel			X			X						X										X									
6. Personel								X									X					X					X				
7. Personel	X			X										X									X								
8. Personel		X									X											X									
9. Personel						X												X													X
10. Personel									X											X									X		

	Personel İlgili Gün Mazeret Belirtmiş
	Personel İlgili Gün Nöbet Tutmak için İstek Belirtmiş
X	Personel İlgili Gün Nöbetçi Olarak Atanmış

Çizelge 5.8. personel mazeret ve isteklerinin de belirtildiği problemimizin optimal çözümüdür. Burada personel mazeretleri kırmızı, istekleri ise yeşil renk tonları ile gösterilmiştir. i . personelin j . gün nöbetçi olarak atanması halinde ilgili değişken 'X' işareti ile belirtilmiştir. Örneğin 1. personel ayın 3, 16 ve 24. günleri nöbetçi olarak atanmış olup, bu günler ilgili çizelgede 'X' işareti ile belirtilmiştir. Diğer çalışanların atandıkları nöbet günleri çizelgede gösterildiği gibidir.

Burada modelimizin zorunlu kısıtlarının sağlandığı görülmektedir. Her gün bir kişi olacak şekilde ayın bütün günlerine nöbetçi atanmıştır. Hiçbir personele gün aşırı nöbet atanmamıştır.

Yine ilgili çizelgemizde görüldüğü üzere amaç fonksiyonumuzla uyumlu olarak her personelin toplam nöbet sayısı eşitlenmiş olup, toplamda her personel 3 gün nöbetçi olarak atanmıştır.

Her günün ağırlığı eşit olmadığı için her personelin nöbet ağırlığı eşitlenememiştir. Fakat toplam nöbet ağırlıkları kıdem seviyelerine göre optimumdur. Her personele sadece 1 hafta sonu nöbeti atandığı görülmekte olup en kıdemli personelin toplam nöbet ağırlığının en az olması modelimizle uyumludur.

Nöbetlerin % 93 oranında personelin istek belirttiği günlere atandığı görülmektedir. İstek dışı atanan 2 nöbet olmakla birlikte bu günlerde zaten hiçbir personelin istek belirtmediği çizelgede görülmektedir. Burada istek dışı nöbetlerin öncelikle kıdemsiz personele atanması modelimizle uyumludur.

Nöbetler arası mesafeler, mazeret ve istek günleri ile toplam nöbet sayısını ve ağırlığını eşitleme hedefleriyle birlikte değerlendirildiği için tüm personele 10 günde 1 nöbet yazılamamıştır. Ancak nöbetlerin genel olarak en az 7 gün arayla atandığı, sadece 5. Personele 6 gün aralıklı bir nöbet atandığı görülmekte olup sonuçlar çalışanlar için çok iyi seviyede bulunmuştur.

Nöbetler arası mesafenin diğer hedeflerle nasıl etkilendiğini daha iyi değerlendirebilmek amacıyla modelimiz mazeretsiz, isteksiz ve gün ağırlıkları hesaba katılmadan çözülmüş olup sonuç Çizelge 5.9.'da sunulmuştur.

Burada her personele toplamda 3 adet olmak üzere 10 günde 1 nöbet atandığı, yani sonuçların optimum olduğu görülmektedir. Ancak unutulmamalıdır ki gün ağırlıkları dikkate alınmadığı için bazı personele 2 hafta sonu ve 1 hafta içi olmak üzere toplamda 3 nöbet atanırken, bazı personele sadece 3 hafta içi nöbet atandığı görülmektedir. Bundan dolayı modelimiz mazeret ve istekler göz ardı edilirken, gün ağırlıkları dikkate alınarak tekrar çözülmüş olup sonuç Çizelge 5.10.'da sunulmuştur.

Çizelge 5.9. Mazeretsiz, İsteksiz ve Gün Ağırlıksız Personel Nöbet Çizelgesi

Gün/ Personel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1. Personel		X										X										X								
2. Personel					X										X										X					
3. Personel				X										X										X						
4. Personel								X									X										X			
5. Personel	X										X										X									
6. Personel							X										X										X			
7. Personel									X										X									X		
8. Personel										X										X									X	
9. Personel						X										X										X				
10. Personel			X										X										X							

Çizelge 5.10. Mazeretsiz ve İsteksiz Personel Nöbet Çizelgesi

Gün/ Personel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1. Personel					X										X										X					
2. Personel										X										X										X
3. Personel						X													X									X		
4. Personel	X										X													X						
5. Personel								X									X										X			
6. Personel			X										X										X							
7. Personel									X									X										X		
8. Personel				X											X									X						
9. Personel		X										X									X									
10. Personel							X									X										X				

Nöbetler arası mesafelerin çoğunlukla 10 gün olduğu sadece 6 nöbetin 9 gün arayla atandığı görülmektedir. Ayrıca her personelin toplam nöbet sayısı eşit olmakla birlikte toplam nöbet ağırlığının kıdem seviyelerine göre optimum olduğu görülmektedir. Son olarak çok fazla miktarda mazeret ve isteğin çizelgeyi nasıl etkilediği incelenmiştir.

Çizelge 5.11. çok fazla mazeret ve istek içeren personel nöbet çizelgesidir. Personel mazeretleri kırmızı, istekleri ise yeşil renk tonlarıyla belirtilmiştir. Çok sayıdaki mazeret ve isteğin personele eşit sayıda ve eşit ağırlıkta nöbet yazılmasına engel olmadığı görülmüştür. Ancak artan personel mazeret ve isteklerinin nöbetler arası mesafenin azalmasına sebep olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.11. Çok Mazeret ve İstek İçeren Personel Nöbet Çizelgesi

Gün/ Personel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1. Personel																	X								X					X
2. Personel								X											X								X			
3. Personel				X											X									X						
4. Personel	X									X																X				
5. Personel											X						X											X		
6. Personel			X								X												X							
7. Personel		X					X													X										
8. Personel					X									X									X							
9. Personel						X										X												X		
10. Personel									X				X								X									

	Personel İlgili Gün Mazeret Belirtmiş
	Personel İlgili Gün Nöbet Tutmak için İstek Belirtmiş
X	Personel İlgili Gün Nöbetçi Olarak Atanmış

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada, 24 saat esasına göre hizmet veren bir devlet kurumunda personel çizelgeleme problemi incelenmiştir. Literatürde personel çizelgeleme üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Ancak yasal ve kurumsal kısıtların sağlanmasının yanında, çalışanlara kıdem seviyelerine göre eşit sayıda ve ağırlıkta nöbet yazılması hedeflenirken aynı zamanda ilgili nöbetlerin çalışanların istediği günlere planlanmasını hedefleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Geliştirilen çok amaçlı hedef programlama modeli ile personel, kıdem durumlarına göre eşit sayıda ve ağırlıkta olmak üzere, kurumu ve diğer çalışanları zarara uğratmadan, öncelikle kendi belirttiği günlere nöbetçi olarak atanmaktadır. Aynı zamanda personeli yormamak için nöbetler arası mesafelerin, mümkün olduğunca fazla olması hedeflenmiştir. Çalışmada 4 ana hedef belirlenmiş olup hedeflerin ağırlıkları ÇKKV yöntemlerinden AHP tekniği ile belirlenmiştir.

Model GAMS 22.5 paket programında kodlanarak, farklı kıdem seviyelerinde 10 personelin çalıştığı bir kurumda uygulanmış olup, sonuçlar el ile hazırlanan çizelgelerle karşılaştırılmıştır. Öncelikle daha kısa sürelerde daha etkili çizelgelerin hazırlandığı görülmüştür. Oluşturulan nöbet çizelgesi ise çalışanlar için son derece tatminkâr bulunmuştur. Özellikle personelin görevi gereği zorunlu olarak tutacağı nöbetlerin, imkânlar dâhilinde personelin kendi belirttiği günlere atanması, personel üzerinde çok büyük olumlu etki yaratmıştır. Personelin moral ve motivasyonda artış gözlemlenmiş olup, bu durum kurumsal aidiyet duygusunun gelişmesinde de katkı sağlamıştır.

Ayrıca personel isteklerinin nöbet çizelgesini nasıl etkilediğini değerlendirmek amacıyla, personel mazeret ve istekleri göz ardı edilerek problem çözülmüştür. Daha sonra personel mazeret ve istekleri arttırılarak problem tekrar çözülmüş olup sonuçlar değerlendirilmiştir. Artan personel istek ve mazeretlerinin nöbetler arası mesafeyi azalttığı görülmüştür. Ancak nöbetler personelin istek belirttiği günlere atandığı için personelde olumsuz bir etki oluşmamıştır.

İlerideki çalışmalarda model geliştirilerek iki aşamalı bir yapıya dönüştürölüp, her personelin yıllık toplam nöbet sayısının ve ağırlığının eşitlenmesi amaçlanabilir. Model yeni kısıtlar eklenerek veya mevcut kısıtlar değiştirilerek farklı kurumlar için kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Abalı, Y.A., Kutlu, B.S., Eren, T., Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Bursiyer Seçimi: Bir Öğretim Kurumunda Uygulama. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi 26, 259-272, 2012.
- Alp, S., Doğrusal Hedef Programlama Yönteminin Otobüsle Kent İçi Toplu Taşıma Sisteminde Kullanılması. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 13, 73-91, 2008.
- Atan, S., Mete, S., Altan, Ş., Atan, M., İMKB 100 Endeksi için Optimal Portföy Seçimi Model Önerisi. Aksaray Üniversitesi İİBF Dergisi 2, 21-32, 2010.
- Atmaca, E., Pehlivan, C., Aydoğdu, C.B., Yakıcı, M., Hemşire Çizelgeleme Problemi ve Uygulaması. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 28, 351-358, 2012.
- Ayan, T.Y., Toplam Üretim Planlaması Problemi için Bir Bulanık Hedef Programlama Yaklaşımı. Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 34, 69-90, 2009.
- Aydın, G., Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve bir sanayi işletmesinde uygulanması. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 2008.
- Aydın, Ö., Öznehir, S., Akçalı, E., Ankara İçin Optimal Hastane Yeri seçiminin Analitik Hiyerarşi Süreci İle Modellenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 14, 69-86, 2009.
- Azaiez, M.N. ve Al-Sharif, S.S., A 0–1 goal programming model for nurse scheduling. Computers and Operations Research 32, 491–507, 2005.

- Bağ, N., Özdemir, N.M., Eren, T., 0-1 Hedef Programlama ve ANP Yöntemi ile Hemşire Çizelgeleme Problemi Çözümü. *International Journal of Engineering Research and Development* 4, 2-6, 2012.
- Bard, J.F., Binici, C., DeSilva, A.H., Staff scheduling at the United States Postal Service. *Computers and Operations Research* 30, 745–771, 2003.
- Bektur, G. ve Hasgöl, S., Kıdem seviyelerine göre işgücü çizelgeleme problemi: Hizmet sektöründe bir uygulama. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari ve Bilimler Fakültesi Dergisi* 15, 385-402, 2013.
- Bergh, J.V., Beliën, J., Bruecker, P., Demeulemeester, E., Boeck, L., Personnel scheduling: A literature review. *European Journal of Operational Research* 226, 367–385, 2013.
- Bilgin, H.Ö., Bir Bankada Şube Yeri Seçiminde Hedef Programlama Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2013.
- Blochlinger, I., Modeling staff scheduling problems. A tutorial. *European Journal of Operational Research* 158, 533–542, 2004.
- Brucker, P., Qu, R., Burke, E., Personnel scheduling: models and complexity. *European Journal of Operational Research* 210, 467–473, 2011.
- Burdurlu, E. ve Ejder, E., Location Choice For Furniture Industry Firms By Using Analytic Hierarchy Process Method. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 16, 369-373, 2003.
- Büyüközkan, G., Multi-criteria decision making for e-marketplace selection. *Internet Research* 14, 139-154, 2004.
- Carrasco, R.C., Long-term staff scheduling with regular temporal distribution. *Computers Methods Programs In Biomedicine* 100, 191–199, 2010.

- Chu, S.C.K., Generating, scheduling and rostering of shift crew-duties: Applications at the Hong Kong International Airport. *European Journal of Operational Research* 177, 1764–1778, 2007.
- Cinemre, N., Doğrusal Programlama, Evrim Yayınevi, İkinci Baskı, İstanbul, 2011.
- Çetin, E.İ., Kuruüzüm, A., Irmak, S., Ekip Çizelgeleme Probleminin Küme Bölme Modeli ile Çözümü. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi* 3, 47-54, 2008.
- Dağdeviren, M. ve Eren, T., Tedarikçi Firma Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve 0-1 Hedef Programlama Yöntemlerinin Kullanılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 16, 41-52, 2001.
- Dağdeviren, M., Akay, D., Kurt, M., İş Değerlendirme Sürecinde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Uygulaması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 19, 131-138, 2004.
- Dantzig, B.G., Letter to the Editor—A Comment on Edie’s “Traffic Delays at Toll Booths”. *Journal of the Operations Research Society of America* 2, 339–341, 1954.
- Demirtaş, Ö., Askeri Fabrikalarda Çalışan Mühendis Subaylara Yönelik Yeni Bir Performans Değerlendirme Modeli Önerisi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 34, 381-396, 2009.
- Dündar, A.O. ve Zerenler, M., Bir Un Fabrikasında Hedef Programlama Uygulaması. *Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi* 21, 73-94, 2011.
- Edie, L.C., Traffic delays at toll booths. *Journal of the Operations Research Society of America* 2, 107–138, 1954.

- Eraslan, E. ve Algün, O., İdeal Performans Değerlendirme Formu Tasarımında Analitik Hiyerarşi Yöntemi Yaklaşımı. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi 20, 95-106, 2005.
- Ergün, D., Hedef Programlama ile Üretim Planlama, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2006.
- Ernst, A.T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., Sier, D., Staff scheduling and rostering: a review of applications, methods and models. European Journal of Operational Research 153, 3–27, 2004.
- Ertogral, K. ve Bamuqabel, B., Developing staff schedules for a bilingual telecommunication call center with flexible workers. Computers & Industrial Engineering 54, 118–127, 2008.
- Fırat, M. ve Hurkens, C.A.J., An improved MIP-based approach for a multi-skill workforce scheduling problem. Journal of Scheduling 15, 363–380, 2011.
- Girginer, N. ve Kaygısız, Z., İstatistiksel Yazılım Seçiminde Analitik Hiyerarşi Süreci ve 0–1 Hedef Programlama Yöntemlerinin Birlikte Kullanımı. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 10, 211-233, 2009.
- Gordon, L. ve Erkut, E., Improving volunteer scheduling for the Edmonton folk festival. Interfaces 34, 367–376, 2004.
- Göktolga, Z.G. ve Gökçalp, B., İş Seçimini Etkileyen Kriterlerin ve Alternatiflerin AHP Metodu ile Belirlenmesi. Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi 13, 71-86, 2012.
- Güçlü, P. ve Özdemir, A., Bulanık Hedef Programlama ile Tedarik Zinciri Optimizasyonu: Tekstil Sektöründe Bir Uygulama. Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 33, 79-100, 2015.

- Gülenç, İ.F. ve Karabulut, B., Doğrusal Hedef Programlama İle Bir Üretim Planlama Probleminin Çözümü. Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 9, 55-68, 2005.
- Güneş, A., Kahvecioğlu, A., Tuncel, H., Askeri nöbet çizelgelerinin genetik algoritma kullanılarak en iyilenmesi. Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 11'inci Ulusal Kongresi ve Fuarı, 470-474, 2005.
- Güngör, İ., Hemşire Görevlendirme ve Çizelgeleme Sorununa Bir Model Önerisi. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 7, 77-94, 2002.
- Hamzaçebi, C. ve İmamoğlu, G., Tr90 Bölgesi Lojistik Merkezi Yer Seçimi İçin Hedef Programlama Tekniği Uygulaması. Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Elektronik Dergisi 11, 154-170, 2014.
- Horn, M., Jiang, H., Kilby, P., Scheduling patrol boats and crews for the Royal Australian Navy. Journal of the Operational Research Society 58, 1284-1293, 2007.
- Hung-Tso, L., Yen-Ting, C., Tsung-Yu, C., Yi-Chun, L., Crew rostering with multiple goals: an empirical study. Computers and Industrial Engineering 63, 483-493, 2012.
- İç, Y.T. ve Yurdakul, M., Üretim Firmalarının Kredibilitesinin Belirlenmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin Kullanılması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 13, 1007-1023, 2000.
- Kabak, O., Ulengin, F., Aktas, E., Onsel, S., Topcu, Y.I., Efficient shift scheduling in the retail sector through two-stage optimization. European Journal of Operational Research 184, 76-90, 2008.

- Kağnıcıoğlu, C.H. ve Yıldız, A., 0-1 Tamsayılı Bulanık Hedef Programlama Yaklaşımı ile Sınav Görevi Atama Probleminin Çözümü. Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 7, 413-429, 2006.
- Körpeli, S., Şahin, B., Eren, T., Hedef programlama ile menü planlaması: Bir örnek uygulama. Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 2, 121-142, 2012.
- Labidi, M., Mrad, M., Gharbi, A., Louly, M.A., Scheduling IT Staff at a Bank: A Mathematical Programming Approach. The Scientific World Journal, Article ID 768374, 10 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2014/768374>, 2014.
- Li, J., Burke, E.K., Curtois, T., Petrovic, S., Rong, Q., The falling tide algorithm: a new multi-objective approach for complex workforce scheduling. Omega 40, 283–293, 2012.
- Louly, M.A., A goal programming model for staff scheduling at a telecommunications center. Journal of Mathematical Modelling and Algorithms in Operations Research 12, 167-178, 2013.
- Lu, J., Zhang, G., Ruan, D., Multi-Objective Group Decision Making: Methods, Software and Applications with Fuzzy Set Techniques. Series in Electrical and Computer Engineering, Vol.6, London, Imperial College Press, 2007.
- Maenhout, B. ve Vanhoucke, M., An integrated nurse staffing and scheduling analysis for longerterm nursing staff allocation problems. Omega 41, 485-499, 2013.
- Özbek, A. ve Eren, T., Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri ile Hizmet Sağlayıcı Seçimi. Akademik Bakış Dergisi 36, 1-22, 2013.
- Özdemir, M.S., Bir İşletmede Analitik Hiyerarşi Süreci Kullanılarak Performans Değerleme Sistemi Tasarımı. Endüstri Mühendisliği Dergisi 2, 2-11, 2002.

- Özden, H.Ü., Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile İlkokul Seçimi. Marmara Üni. İ.İ.B.F. Dergisi 24, 299-320, 2008.
- Öztürk, A., Yöneylem Araştırması, Ekin Kitabevi, 9.Baskı, Bursa, 2004.
- Öztürkoğlu, Y. ve Çalışkan, F., Hemşire Çizelgelemesinde Esnek Vardiya Planlaması ve Hastane Uygulaması. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 16, 115-133, 2014.
- Özyörük, B. ve Erol, S., Tek Aşamalı Hazırlık Zamanlı Parti Büyüklüğü Problemlerinin Çözümü için Doğrusal Hedef Programlama Modeli. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Birimler Fakültesi 6, 185-191, 2001.
- Palaz, H. ve Kovancı, A., Türk Deniz Kuvvetleri Denizaltılarının Seçiminin AHP ile Değerlendirilmesi. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi 3, 53-60, 2008.
- Rong, A., Monthly tour scheduling models with mixed skills considering weekend off requirements. Computers and Industrial Engineering 59, 334–343, 2010.
- Saaty, T.L., Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process. RWS Publications, Pittsburgh, 1994a.
- Saaty, T.L., How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. Interfaces 24, 19-43, 1994b.
- Sadjadi, S.J., Soltani, R., Izadkhah, M., Saberian, F., Darayi, M., A new nonlinear stochastic staff scheduling model. Scientia Iranica 18, 699–710, 2011.
- Seçkiner, S.U. ve Kurt, M., Bütünleşik Tur-Rotasyon Çizelgeleme Yaklaşımı İle İşyükü Minimizasyonu. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 20, 161-169, 2005.

- Shahnazari-Shahrezaei, P., Tavakkoli-Moghaddam, T., Kazemipoor, H., Solving a new fuzzy multi-objective model for a multi-skilled manpower scheduling problem by particle swarm optimization and elite tabu search. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 64, 1517-1540, 2013.
- Sofyalıoğlu, Ç. ve Öztürk, Ş., Hedef Programlama ile Tedarik Zincirinde Dağıtım Planlaması ve Bütçe Ayrıştırması. *Niğde Üniversitesi İİBF Dergisi* 6, 1-16, 2013.
- Stern, Z.S., Mehrez, A., ve Hadad, Y., An AHP/DEA methodology for ranking decision making units. *International Transactions in Operational Research* 7, 109-124, 2000.
- Sungur, B., Bir güzellik salonunun tur çizelgeleme problemi için karma tamsayılı hedef programlama modelinin geliştirilmesi. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi* 37, 49-64, 2008.
- Syberfeldt, A., Andersson, M., Ng, A., Bengtsson, V., Multi-Objective Evolutionary Simulation-Optimization Of Personnel Scheduling. *International Journal of Artificial Intelligence and Applications* 6, 41-52, 2015.
- Tekin, M., *Kantitatif Karar Verme Teknikleri*. 4. Baskı, Kuzucular Ofset, Konya, 1999.
- Terzi, Ü., Hacaloglu, S.E., Aladağ, Z., Otomobil satın alma problemi için bir karar destek modeli. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 5, 43-49, 2006.
- Thompson, G.M. ve Goodale, J.C., Variable employee productivity in workforce scheduling. *European Journal of Operational Research* 170, 376–390, 2006.

- Todovic, D., Makajic-Nikolic, D., Kostic-Stankovic, M., Martic, M., Police officer scheduling using goal programming. *Policing: An International Journal of Police Strategies and Management* 38, 295-313, 2015.
- Topaloglu, S. ve Ozkarahan, I., An implicit goal programming model for the tour scheduling problem considering the employee work preferences. *Annals of Operations Research* 128, 135–158, 2004.
- Topaloglu, S., A multi-objective programming model for scheduling emergency medicine residents. *Computers and Industrial Engineering* 51, 375–388, 2006.
- Tsai, C.C. ve Li, S.H.A., A two-stage modeling with genetic algorithms for the nurse scheduling problem. *Expert Systems with Applications* 36, 9506–9512, 2009.
- Turanlı, M. ve Köse, A., Doğrusal Hedef Programlama Yöntemi ile Türkiye'deki Sigorta Şirketlerinin Performanslarının Değerlendirilmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 7, 19-39, 2005.
- Tütek, H. ve Gümüšoğlu, Ş., Sayısal Yöntemler: Yönetmel Yaklaşım, Beta Basım Yayın, 5. Baskı, İstanbul 2008.
- Ülegin, F., Easing the Traffic in Istanbul: At What Price? *The Journal of the Operational Research Society* 45, 771-785, 1994.
- Yaralıoğlu, K., Performans değerlendirmede Analitik Hiyerarşi Prosesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi* 16, 129-142, 2001.
- Yaralıoğlu, K., “Analitik Hiyerarşi Proses”. *Dokuz Eylül Üniversitesi* (2004).
http://www.deu.edu.tr/userweb/k.yaralioglu/dosyalar/Analitik_Hiyerarshi_Prose_s.doc (Erişim tarihi: 15.01.2015)

Zolfaghari, S., Quan, V., El-Bouri, A., Khashayardoust, M., Application of a genetic algorithm to staff scheduling in retail sector. *International Journal of Industrial and Systems Engineering* 5, 20–47, 2010.

EKLER

EK 1. Matematiksel Modelin GAMS Dilinde Yazılışı

```
sets i kisiler/
$call =xls2gms r=mazeret!B3:B12 i=C:\Users\Desktop\liste.xls o=seti.inc
$include seti.inc
/;
sets j günler/
$call =xls2gms r=mazeret!C2:AF2 s="," i=C:\Users\Desktop\liste.xls o=setj.inc
$include setj.inc
/;
table M(i,j)
$call =xls2gms r=mazeret!B2:AF12 i=C:\Users\Desktop\liste.xls o=parM.inc
$include parM.inc
;
table T(i,j)
$call =xls2gms r=mazeret!B17:AF27 i=C:\Users\Desktop\liste.xls o=parT.inc
$include parT.inc
;
alias (i,ic)
;
parameter g (j) /
                g01 9, g02 8,
                g03 3, g04 3, g05 3, g06 3, g07 5, g08 9, g09 8,
                g10 3, g11 3, g12 3, g13 3, g14 5, g15 9, g16 8,
                g17 3, g18 3, g19 3, g20 3, g21 5, g22 9, g23 8,
                g24 3, g25 3, g26 3, g27 3, g28 5, g29 9, g30 8 /
;
parameter k (i) /p01 9, p02 9, p03 8, p04 8, p05 7, p06 7, p07 6, p08 6, p09 5, p10 05/
;
variable z
;
```

```

binary variables x(i,j)
;
positive variable
vp1(i,ic),vn1(i,ic),
vp2(i,ic),vn2(i,ic),
vp3(i),vn3(i),
vp41(i,j),vn41(i,j),vp42(i,j),vn42(i,j),vp43(i,j),vn43(i,j),vp44(i,j),vn44(i,j),vp45(i,j),
vn45(i,j),vp46(i,j),vn46(i,j),vp47(i,j),vn47(i,j),vp48(i,j),vn48(i,j),vp49(i,j),vn49(i,j)
;
equations
amac
hergun_birkisi
hergun_nobetci
ardisik_olmamali
mazerete_yazilmamali
nobet_sayisi_esit
nobet_agirligi_esit
isteklere_yazilmali
nobetler_arasi_2gun
nobetler_arasi_3gun
nobetler_arasi_4gun
nobetler_arasi_5gun
nobetler_arasi_6gun
nobetler_arasi_7gun
nobetler_arasi_8gun
nobetler_arasi_9gun
;

```

$$\begin{aligned}
\text{amac.. } z = e = & + 0.550 * (\text{sum}((i,ic)\$(\text{ord}(i) < \text{ord}(ic)), \text{vp1}(i,ic) * k(i)) + \\
& \text{sum}((i,ic)\$(\text{ord}(i) < \text{ord}(ic)), \text{vn1}(i,ic) * k(ic))) \\
& + 0.282 * (\text{sum}((i,ic)\$(\text{ord}(i) < \text{ord}(ic)), \text{vp2}(i,ic) * k(i)) + \\
& \text{sum}((i,ic)\$(\text{ord}(i) < \text{ord}(ic)), \text{vn2}(i,ic) * k(ic)))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - 0.128 * (\text{sum}(i, \text{vp3}(i)*k(i)) - \text{sum}(i, \text{vn3}(i)*k(i))) \\
& + 0.0200 * (\text{sum}((i,j), \text{vp41}(i,j-2)*k(i))) \\
& + 0.0100 * (\text{sum}((i,j), \text{vp42}(i,j-3)*k(i))) \\
& + 0.0050 * (\text{sum}((i,j), \text{vp43}(i,j-4)*k(i))) \\
& + 0.0025 * (\text{sum}((i,j), \text{vp44}(i,j-5)*k(i))) \\
& + 0.0013 * (\text{sum}((i,j), \text{vp45}(i,j-6)*k(i))) \\
& + 0.0007 * (\text{sum}((i,j), \text{vp46}(i,j-7)*k(i))) \\
& + 0.0004 * (\text{sum}((i,j), \text{vp47}(i,j-8)*k(i))) \\
& + 0.0002 * (\text{sum}((i,j), \text{vp48}(i,j-9)*k(i)))
\end{aligned}$$

;

$$\begin{aligned}
\text{hergun_birkisi}(j).. & \text{sum}(i, x(i,j)) = e= 1; \\
\text{hergun_nobetci}.. & \text{sum}((i,j), x(i,j)) = e= 30; \\
\text{ardisik_olmamali}(i,j+1).. & (x(i,j) + x(i,j+1)) = 1; \\
\text{mazerete_yazilmamali}.. & \text{sum}((i,j), x(i,j)*M(i,j)) = e= 0; \\
\text{nobet_sayisi_esit}(i,ic)\$(ord(i)<ord(ic)).. & \text{sum}(j, x(i,j)) - \text{sum}(j, x(ic, j)) - \text{vp1}(i,ic) \\
& + \text{vn1}(i,ic) = e= 0; \\
\text{nobet_agirliigi_esit}(i,ic)\$(ord(i)<ord(ic)).. & (\text{sum}(j, x(i,j)*g(j)) - \text{sum}(j, \\
& x(ic,j)*g(j)) - \text{vp2}(i,ic) + \text{vn2}(i,ic)) = e= 0; \\
\text{isteklere_yazilmali}(i).. & (\text{sum}(j, x(i,j)*T(i,j))) - \text{vp3}(i) + \text{vn3}(i) = e= 0; \\
\text{nobetler_arasi_2gun}(i,j+2).. & (x(i,j)+x(i,j+1)+x(i,j+2)) - \\
& \text{vp41}(i,j) + \text{vn41}(i,j) = e= 1; \\
\text{nobetler_arasi_3gun}(i,j+3).. & (x(i,j)+x(i,j+1)+x(i,j+2)+x(i,j+3)) - \\
& \text{vp42}(i,j) + \text{vn42}(i,j) = e= 1; \\
\text{nobetler_arasi_4gun}(i,j+4).. & (x(i,j)+x(i,j+1)+x(i,j+2)+x(i,j+3)+x(i,j+4)) - \\
& \text{vp43}(i,j) + \text{vn43}(i,j) = e= 1; \\
\text{nobetler_arasi_5gun}(i,j+5).. & (x(i,j)+x(i,j+1)+x(i,j+2)+x(i,j+3)+x(i,j+4)+ \\
& x(i,j+5)) - \text{vp44}(i,j) + \text{vn44}(i,j) = e= 1; \\
\text{nobetler_arasi_6gun}(i,j+6).. & (x(i,j)+x(i,j+1)+x(i,j+2)+x(i,j+3)+x(i,j+4)+ \\
& x(i,j+5)+x(i,j+6)) - \text{vp45}(i,j) + \text{vn45}(i,j) = e= 1; \\
\text{nobetler_arasi_7gun}(i,j+7).. & (x(i,j)+x(i,j+1)+x(i,j+2)+x(i,j+3)+x(i,j+4)+ \\
& x(i,j+5)+x(i,j+6)+x(i,j+7)) - \text{vp46}(i,j) + \text{vn46}(i,j) = e= 1; \\
\text{nobetler_arasi_8gun}(i,j+8).. & (x(i,j)+x(i,j+1)+x(i,j+2)+x(i,j+3)+x(i,j+4)+
\end{aligned}$$

```
x(i,j+5)+x(i,j+6)+x(i,j+7)+x(i,j+8))-vp47(i,j)+vn47(i,j) =e=1 ;  
nobetler_arasi_9gun(i,j+9).. (x(i,j)+x(i,j+1)+x(i,j+2)+x(i,j+3)+x(i,j+4)+  
x(i,j+5)+x(i,j+6)+x(i,j+7)+x(i,j+8)+x(i,j+9))-vp48(i,j)+vn48(i,j) =e=1 ;
```

```
model nobet_yaz /all/;
```

```
option limrow=1000;
```

```
solve nobet_yaz using mip minimizing z;
```