

**HİZMET SEKTÖRÜNDE ÇOĞUL BECERİLİ İŞ GÜCÜ VARDIYA
ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN ÇOK AMAÇLI ÇÖZÜM
YAKLAŞIMLARI**

MAHLAGHA TAGHİZADEHALVANDİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi ZEHRA KAMIŞLI ÖZTÜRK

Eskişehir

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mayıs 2018

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Mahlagha TAGHIZADEHALVANDI'nın , “Hizmet Sektöründe Çoğul Becerili İş Gücü Vardiya Çizelgeleme Problemlerinin Çözümü İçin Çok Amaçlı Çözüm Yaklaşımları” başlıklı tezi, 21/05/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, Endüstri Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

	<u>Unvanı - Adı Soyadı</u>	İmza
Üye (Tez Danışmanı) :	Dr. Öğr. Üyesi Zehra KAMIŞLI ÖZTÜRK
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Neslihan İYİT
Üye:	Doç. Dr. Ezgi AKTAR DEMİRTAŞ

Prof. Dr. Ersin YÜCEL

Enstitü Müdürü

ÖZET

HİZMET SEKTÖRÜNDE ÇOĞUL BECERİLİ İŞ GÜCÜ VARDIYA ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN ÇOK AMAÇLI ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

Mahlagha TAGHIZADEHALVANDI

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Şubat 2018

DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi ZEHRA KAMIŞLI ÖZTÜRK

Günümüzde birçok üretim ve hizmet merkezinde iş gücü vardiya çizelgelemesi yapılmaktadır. Bu sektörler verimliliklerini artırmak için personelinin istek ve tercihlerini dikkate alarak müşterilerine daha kaliteli ürün ve/veya hizmet sağlayabilirler. Bu çalışmada, hizmet sektöründeki bir vardiya çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Problemden, personelin toplam iş yükü miktarının en küçüklenmesi ve personelin isteklerinin sağlanması amaçları dikkate alınmıştır. Çok amaçlı yapıda olan bu problemde, personelin istekleri göz önüne alınarak çok amaçlı bir karar modeli geliştirilmiştir. Yönetici ve çalışanların yargılarını dikkate alacak çok ölçütlü bir karar verme modeli kurulmuş ve amaç fonksiyonlarının ağırlıkları elde edilmiştir. Elde edilen bu ağırlıklar kullanılarak Toplam Ağırlıklı Skalerleştirme (WSS) yöntemi ile problem skalerleştirilmiştir. Konik Skalerleştirme (CS) yöntemi ile problem skalerleştirilerek tekrar çözülmüştür. Pareto çözümler karşılaştırıldığında CS yöntemi ile daha fazla Pareto çözüm elde edildiği görülmüştür. Ayrıca, işletmede manuel hazırlanan çizelgeye göre çözüm kalitesi açısından daha iyi çizelgeler çok kısa sürelerde elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Vardiya Çizelgeleme, Çok Amaçlı Optimizasyon, Toplam Ağırlıklı Skalerleştirme, Konik Skalerleştirme

ABSTRACT

MULTI-PURPOSE SOLUTION APPROACHES FOR THE SOLUTION OF MULTI-SKILLED WORK POWER SHIFT SCHEDULING PROBLEMS IN THE SERVICE SECTOR

MAHLAGHA TAGHİZADEHALVANDİ

Department of Industrial Engineering

Anadolu University, Graduate School of Sciences February 2018

Supervisor: Asst. Assoc. Dr. ZEHRA KAMIŞLI ÖZTÜRK

Today, workforce shift programs are being implemented in many production and service centers. These sectors can provide better quality products and/or services to their customers, taking into account their desires and preferences in order to increase their productivity. In this study, a shift scheduling problem in the service sector is discussed. In the problem, the aim is to minimize the total amount of workload of the staff and to provide the requests of the staff. In this multi-purpose problem, by taking into account the needs of staff, a multi-purpose decision model has been developed. A multi-criteria decision-making model has been established to take account of the executives and employees' judgments and the weight of the objective functions has been achieved. Using these obtained weights, the problem is scaled by the Weighted Sum Scalarization (WSS) method. The problem is resolved by scaling with Conic Scalarization (CS) method. When Pareto solutions are compared, it is seen that more Pareto solution is obtained with CS method. Additionally, better charts have been obtained in a very short time in terms of the quality of the solution according to the manually prepared chart.

Keywords: Shift Scheduling, Multiobjective Optimization, Weighted Sum Scalarization, Conic Scalarization

ÖNSÖZ

Bugüne kadar her zaman yanımda olan sevgili aileme, yüksek lisans eğitimim boyunca akademik çalışmaları, bilgi ve tecrübeleri ve yüksek enerjisi ile bana destek olan, beni yönlendiren, destekleyen ve sabırla dinleyen değerli tez danışmanım Sn. Dr. Öğr. Üyesi ZEHRA KAMIŞLI ÖZTÜRK'e en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım. Ayrıca eğitim hayatım boyunca bana bilgi ve tecrübelerini aktaran tüm hocalarıma, manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim sevgili arkadaşım Neslihan TEKELİ'ye sonsuz teşekkür ederim.

Mayıs 2018

Mahlagha TAGHIZADEHALVANDI

21/05/2018

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Mahlagha Taghizadehalvandi

İÇİNDEKİLER

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	2
2.1. Vardiya çizelgeleme problemleri	2
2.2. Çok ölçütlü vardiya çizelgeleme problemleri	10
2.3. Çok Amaçlı skalerleştirme yöntemleri	11
3. ÇOK AMAÇLI VARDİYA ÇİZELGELEME PROBLEMİ İÇİN MATEMATİKSEL ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI	13
3.1. Vardiya çizelgeleme problemi matematiksel modeli	14
3.2. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi ile amaç fonksiyonu ağırlıklarının elde edilmesi	17
3.2.1. AHP'nin teknik alt yapısı	18
3.2.2. Vardiya çizelgeleme probleminin amaç fonksiyonlarının ağırlıklandırılması	21
3.3. Ağırlıklandırılmış toplam yöntemi ile çözüm	24

3.4. Konik skalerleştirme yöntemi ile çözüm	25
3.5. Sayısal sonuçların yorumlanması	28
4. SONUÇLAR	30
KAYNAKÇA	32
EK-1. Gams kodu	37
EK-2. Ana ölçütler temelinde yapılan ikili karşılaştırmalar	40
EK-3. Personellerin haftalık mevcut vardiya çizelgesi	43
EK-4. Personellerin izin günü tercihleri	44
EK-5. Personellerin istekleri doğrultusunda oluşturulan günlük çizelgesi	45
EK-6. Personellerin istekleri doğrultusunda oluşturulan haftalık vardiya çizelgesi $W1=50$, $W2=0$	46
EK-7. Personellere ait toplam iş yükü çizelgesi	47
ÖZGEÇMİŞ	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Skalerleştirme Yöntemleri Kıyaslama	13
Çizelge 3.1. AHP Önem Değerleri	18
Çizelge 3.2. İkili Karşılaştırma Matrisi	18
Çizelge 3.3. İkili karşılaştırma matrisinin genel gösterimi	19
Çizelge 3.4. 1-15 boyutundaki matrisler için rassallık göstergeleri	20
Çizelge 3.5. Mevcut durumdaki çizelge ile sonuçlar çizelgenin karşılaştırması	29

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Hiyerarşik yapı	17
Şekil 3.2. Amaç fonksiyonlarının ağırlığını belirleme probleminin hiyerarşik yapısı	21
Şekil 3.3. Alternatiflerin ağırlığını belirlemek için satış ve müşteri cinsiyet arasında ikili karşılaştırma	22
Şekil 3.4. Satış ölçütünü dikkate alarak 2 alternatif arasında ikili karşılaştırma	22
Şekil 3.5. Amaçlarımızın ağırlıkları ve tutarlılık oranı	23
Şekil 3.6. Ölçütler ve alternatiflerin önem dereceleri	23
Şekil 3.7. Ağırlıklandırılmış toplam yöntemi iki boyutlu gösterim. a dışbükey objektif uzay, b dışbükey olmayan objektif uzay	24
Şekil 3.8. WSS ile elde edilen pareto çözüm	25
Şekil 3.9. Konik skalerleştirme yöntemi grafik gösterimi	26
Şekil 3.10. İki amaçlı örnek bir problem için dışbükey olmayan geometrik görüntü	27
Şekil 3.11. WSS ile konik skalerleştirme yöntemleri ile elde edilen çözümler	28
Şekil 3.12. Müşteri cinsiyetini dikkate alarak 2 alternatif arasında ikili karşılaştırma	40
Şekil 3.13. Müşteri yaş grubunu dikkate alarak 2 alternatif arasında ikili karşılaştırm	40
Şekil 3.14. Mağaza büyüklüğünü dikkate alarak 2 alternatif arasında ikili karşılaştırma	41
Şekil 3.15. Müşteri memnuniyetini dikkate alarak 2 alternatif arasında ikili karşılaştırma	41
Şekil 3.16. Personel performansını dikkate alarak 2 alternatif arasında ikili karşılaştırma	42

1. GİRİŞ

Çizelgeleme, üretim, sağlık, turizm ve otelcilik, taşıma ve ulaştırma gibi birçok üretim ve hizmet sektöründe karşılaşılan bir karar verme sürecidir. Zaman çizelgeleme problemi bir dizi faaliyetin, kişi, malzeme veya sermayenin belirli kısıtlar altında, önceden tanımlanmış zaman dilimlerine atandığı problemlerdir. Karmaşık yapısından dolayı zaman çizelgeleme problemleri yıllardır üzerinde çalışılan bir konu olmuştur (Kamışlı Öztürk ve Sağır, 2005). Eğitim kurumlarında karşılaşılan ders/sınav çizelgeleme problemi, farklı konfigürasyonlardaki makine çizelgeleme problemleri, tren seferlerinin çizelgelenmesi, hemşirelerin çalışma saatlerinin çizelgelenmesi gibi farklı problem türleri zaman çizelgeleme problemi başlığı altında incelenebilir.

İş gücü çizelgeleme problemi, genel olarak, doğru kişinin doğru yere doğru zamanda atanması problemidir. İşletme kısıtları işletmeden işletmeye değişmekle birlikte, elde edilen çizelgeler ile personelin hangi günler ve hangi saatlerde çalışacağı ve günler izin kullanacağı belirlenir. Özellikle hizmet sektöründe, bu süreçte personelin büyük bir önemi bulunmaktadır. Çünkü müşteri memnuniyetini sağlamak için önce çalışan personelin memnuniyetini sağlamak gerekmektedir. İş gücü çizelgeleme probleminin bir alt problemi vardiya çizelgeleme problemidir (Topaloglu, 2008). Vardiya çizelgeleme problemi birçok yerde karşımıza çıkmaktadır. Bu problem müşterilere daha iyi bir hizmet vermek için personelin vardiyalara dengeli atanmasını sağlamaktadır.

Kamışlı Öztürk ve Sağır'ın (2005) yapmış olduğu literatür taramasında da belirtildiği üzere, 1950'lerde başlayan çizelgeleme çalışmalarının 1980'lere kadar tek amaçlı olduğu görülmektedir. Çizelgeleme konusunda literatürde sayısız çalışma yer almaktadır. Ancak bu çalışmalardan sadece bir grubu çok amaçlı olarak ele alınmıştır.

Bu çalışmada, bir alışveriş merkezinde yer alan bir teknoloji mağazasında karşılan vardiya çizelgeleme problemi çok amaçlı olarak ele alınmıştır. Amaçlardan ilki mağaza personelinin iş yüklerinin dengelenmesi, ikincisi de izin günlerine dair isteklerin olabildiğince karşılanmasıdır. Bu doğrultuda, en iyi vardiya çizelgesini elde edebilmek için işletme kısıtlarını dikkate alan ağırlıklı hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Hedef ağırlıklarını belirlemek için de çok ölçütlü karar verme tekniklerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile çok ölçütlü bir model geliştirilmiştir.

Ardından, önerilen model çok amaçlı skalerleştirme tekniklerinden Toplam Ağırlıklı Yöntem ve Konik Skalerleştirme ile farklı ağırlıklar ile skalerleştirilmiş ve farklı Pareto çözümler elde edilmiştir.

Yapılan bu çalışmada, ikinci bölümde vardiya çizelgeleme problemlerine ilişkin literatür taraması, üçüncü bölümde ele alınan ve önerilen çözüm yaklaşımları ile sayısal sonuçlar ve son olarak dördüncü bölümde de yapılan uygulamanın sonuçları verilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde üretim, hizmet, işletme, hastane, turizm ve otelcilik, havayolu ve çağrı merkezlerinde karşılaşılan vardiya çizelgeleme problemleri ve çözüm yaklaşımlarından Tamsayılı Programlama, Analitik Hiyerarşi Prosesi, Hedef Programlama, Toplam Ağırlıklı Skalerleştirme yöntemi ve Konik Skalerleştirme yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalar ele alınmıştır.

2.1. Vardiya Çizelgeleme Problemleri

Mason vd. (1998) yaptıkları çalışmalarında Yeni Zelanda'daki Auckland Uluslararası Havalimanı'nda gümrük personelinin personel çizelgelemesi için yeni bir simülasyon ve optimizasyon tabanlı sistem önermiştir. Sistem, ilk olarak giriş ve çıkış çalışma alanları için gerekli en az personel seviyesini bir simülasyon modeli ile belirlemektedir. Ardından, tam gün ve yarı zamanlı çalışacak personelin vardiya çizelgesi önerilen tamsayı programlama modeli ile edilmektedir.

Lagodimos ve Leopoulos (2000) çalışmalarında bir işgücü vardiya planlama (MSP) problemini ele alınmıştır. Bu problemde, bireysel üretim hatları ile ilgili önceden belirlenmiş üretim hedeflerini tamamlamak için belirli bir planlama üzerinde her iş günü vardiyasında gereken minimum işgücü aranmıştır. MSP, bir tamsayılı doğrusal programla problemi olarak formüle edilmiş ve paralel bağımsız makine programlama problemine olan güçlü benzerliği gösterilmiştir. Ardından, MSP'yi çözmek için biri tek ve diğeri çoklu iş günü vardiyaları için iki açgözlü sezgisel algoritma önerilmiştir. Elde edilen sonuçları kullanarak, çeşitli çalışma ortamları için çoklu vardiya sezgiselinin performansı test edilmiştir. Sezgisel çözümler, Visual Basic for Applications yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçlar hem çözüm süresi hem de kalite açısından çok tatmin edici bir

performans göstermiştir.

Croci, Perona ve Pozzetti'nin (2000) yaptıkları çalışmanın amacı, otomatik bir montaj sisteminin çalışma performansları üzerindeki iş gücü ve ilgili yönetim politikalarının değerlendirilmesidir. Bu amaçla, farklı iş gücü yönetimi kurallarının verimliliğini test etmek için gerçek bir otomatik PCB montaj sisteminin bir simülasyon modeli kullanılmıştır. PCB montajı çoğu zaman ilgili teknolojik sorunların ele alınması gereken üretim sürecinin kritik aşamasını temsil eder. Elde edilen sonuçlara göre, otomatik sistemlerde iş gücü yönetimine ilişkin faydalı yönleri açıklamamıza izin vererek, verimsiz üretim felsefesinin tipik iş büyütme sorunlarının, en iyi iş gücü yönetim politikalarını belirlemede büyük önemi olduğu gösterilmiştir.

Campbell ve Diaby (2001) tarafından yapılan çalışma, hastanede çalışan hemşirelerin karşılaştığı gibi çok bölümlü bir hizmet ortamı modelinin matematiksel programlama probleminin çözümü ile ilgilidir. Bu çalışma, vardiya başlangıcı ataması problemini çözmek için yeni bir sezgisel algoritmanın değerlendirilmesi üzerine odaklanmıştır. Bu tür atamalarda dikkat edilmesi gereken faktörler, çeşitli departmanlardaki talep seviyeleri ve mevcut çalışanların yetenekleridir. Atamaların yapılış şekli, hizmet kalitesini ve çalışan memnuniyetini etkileyebilir. Biri Lagrangian sezgisel ve diğeri açgözlü bir sezgisel olmak üzere iki klasik çözüm yaklaşımı uygulanmıştır. Mevcut çalışma optimal çözümlerin bulunmasını garanti etmemektedir. Çünkü, bu tür çok amaçlı problemler Pareto çözümlere sahiptir.

Ulusam Seçkiner ve Kurt (2005) çalışmalarında, bir haftada radyografi teknisyenlerini en az radyasyona maruz bırakacak işgücü çizelgesini elde etmiştir. Bu çalışmada geliştirilen çizelgenin amacı, hizmet gören hastaların her personele dengeli bir şekilde dağıtılmasını sağlamaktır. Dolayısıyla, işyükünün en küçüklenmesi için teknisyenlerin birimler arası rotasyonun oluşturulması gerekmektedir. Bu çalışmada, maksimum hizmetin minimum zorlanma ile karşılanması amacıyla bir tamsayılı programlama modeli önerilmiştir.

2006 yılında Sungur tarafından yapılan çalışmada, vardiya başlama saatlerinde, uzunluğunda ve mola saatlerinde esnekliğe ihtiyacı olan problemler için tam zamanlı ve yarı zamanlı tamsayılı matematiksel modeller önerilmiştir. Geliştirilen modeller; Kayseri Fevzi Çakmak Türk Telekom Müdürlüğü Operatörlü Servisler Uzmanlığı'nın vardiya

çizelgeleme problemine uygulanmıştır.

Öztürkoğlu (2006) tarafından yapılan çalışmada, hizmet sektörleri arasında önemli bir yeri olan hastanelerde çalışan hemşirelerin vardiya problemini çözmek için ve çalışma saatlerine esneklik sağlamak için bir matematiksel model geliştirilmiş ve bir hastanenin genel cerrahi yoğun bakım bölümünde uygulanmıştır.

Ulusam Seçkiner, Gökçen ve Kurt (2007) çalışmalarında, çalışanların niteliklerini dikkate alan hiyerarşik işgücü problemi için Billionnet'in (1999) önermiş olduğu modeli temel alarak bir tamsayı programlama modeli geliştirmiştir. Bu modelin amacı, işgücü maliyetlerini azaltmaktır. Önerilen model, karar vericiye esneklik sağlamıştır. Bu esneklik, hem işe gidip gelme indirimi hem de işçilere daha fazla boş zamanı kazandırmıştır.

Kabak, Ülengin, Aktaş vd.'nin (2008) yaptıkları çalışmada bir konfeksiyon sektörünün perakende zincirindeki üç mağaza için iki aşamalı bir işgücü planlaması karar destek modeli önermiştir. Amacı, mağaza kârını en büyükleyen bir planlama yöntemi geliştirmek olan bu çalışmada ilk olarak saatlik personel gereksinimlerini belirlemek için bir satış yanıt modeli kullanılmıştır. Ardından, bu modelin çıktısı bir hafta içinde personelin günlük vardiyalara atanması için önerilen karma tamsayı programlama (MIP) modelinin parametresi haline getirilmiştir.

İpekçi Çetin, Kuruüzüm ve Irmak (2008) yaptıkları çalışmada, özel bir havayolu şirketinin İzmir merkezli yaz dönemi yurtiçi ve yurtdışı uçuşlarını dikkate alarak bir haftalık süre için uçuş ekibinin çizelgeleme problemini ele almıştır. Problemin çözümü için en küçük maliyet ve ekip memnuniyetinin sağlanması amaçlarıyla tamsayılı bir programlama modeli önerilmiştir. Havayolu şirketinin mevcut çizelgesi, geliştirilen küme bölme modeliyle elde edilen çözüm ile karşılaştırılmıştır.

Sungur (2008), işgücü çizelgeleme ile ilgili bulanık bir matematiksel model önermiştir. Bu çalışmada bulanıklaştırılan model, Aykin'in (1996) çalışmasındaki vardiya çizelgeleme modelidir. Aykin (1996), çalışmasında tam sayılı bir matematiksel model geliştirmiştir. Modelde işgücü, hem vardiyalara hem de önceden belirlenmiş bir saatlik yemek ve dinlenme molalarına atanmıştır. Bu atamalar yapılırken de amaç, toplam işgücü maliyetinin en küçüklenmesidir.

Sungur (2008) bir diğerk çalışmasında, sıkıştırılmış çalışma haftalarını içeren işgücü çizelgeleme problemi ele almıştır. Hung'un (1993) çalışmasına dayanarak, çalışanlar haftada üç gün ve çoklu vardiyalara atanmıştır. Bu problem de 0-1 tamsayılı programlama modeli ile modellenmiştir. Modelin özümü, LINDO optimizasyon yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

Sungur (2009), haftalık çalışma süresi 5-gün, 4-gün veya 3-gün olan bir hiyerarşik işgücü çizelgeleme problemi için Billionnet'nin (1999) tamsayılı programlama modelini esas alarak bir tamsayılı programlama modeli geliştirmiştir. Model Billionnet'nin çalışmasındaki örnek bir problem için kurulmuş ve çözülmüştür. özm sonuçları Billionnet Modeli'nin çözümüyle karşılaştırılmıştır. Önerilen model ile toplam maliyette azalma sağlanmıştır.

Topaloglu (2009), bir hastanenin farklı klinik bölümlerinde çalışan personelin çizelgeleme sorununu ele almıştır. Çalışmada, birçok kısıtlamaya rağmen, vardiya programı oluşturma sürecini otomatik hale getirmek için bir çok amaçlı programlama modeli önerilmiştir. Bu model ile, ardışık ve ağrılıklandırılmış yöntemlerle 6 ay içinde lokal bir hastanenin pulmoner ünitesinde gerçek bir vaka için çözüm aranmıştır.

Rong ve Grunow (2009) tarafından yapılan çalışmada, işgücü maliyetlerini en kklemek amacıyla hava kargo terminalinde birim yük cihazlarının (ULD'lerin) personel ihtiyaçları ve vardiyasını belirlemek için entegre bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Bu yöntemin gerçek hayatta uygulanabilirliğini göstermek için gerçek bir vaka çalışması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, geleneksel iki aşamalı bir yaklaşım ile karşılaştırıldığında önemli lde işgücü maliyetlerin azalttığını göstermiştir.

Vicente, Pe'rez ve Quintanilla (2009), proje çizelgeleme problemini zmek için melez bir genetik algoritma önermiştir. Nitelikli Işgc Projesi izelgeleme Sorunu (SWPSP) adı verilen modelin temel amacı, belirlenmiş tarihlere ve işçi kısıtlamalarına göre uygun bir eylem planını elde etmektir. Işlerin belirlenen aciliyet seviyeleri de dikkate alınarak, geliştirilen algoritma ile uzmanların dengeli iş yükleri olacak şekilde verimli bir şekilde atanması sağlanmıştır.

Topaloglu ve Selim (2010), hastane yönetiminin ve hemşirelerin tercihlerinin hedef değerlerindeki belirsizlikleri çözmek için hemşire vardiya çizelgeleme problemi üzerinde bir araştırma yapmışlar ve problem için çok amaçlı bir tamsayı programlama modeli geliştirmişlerdir. Önerilen modellerin uygulanabilirliğini göstermek için gerçek bir vaka çalışması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre birbirinden farklı hemşirelerin bireysel tercihlerinin bulanık modelleme yaklaşımı ile etkili olduğunu, aksi halde matematiksel programlama yöntemleri tarafından mümkün olmadığını belirtmişlerdir.

Sawik (2010) çalışmasında, radyo aktif veya kimyasal maddelerle kirlenmiş bir alanda çalışan personel tarafından yapılan işlerin programlanması için bir tamsayı programlama modeli önermiştir. Önerilen iki seviyeli iş yükü dengeleme ve çizelgeleme yaklaşımı, büyük boyutlu farklı programlama problemleri için dengeli çizelgeleri bulmak için de uygulanabilir. Hesaplama deneyleri AMPL programlama dili ve CPLEX v.11 çözücü ile gerçekleştirilmiştir. Hesaplama deneyleri, çalışılan amaç fonksiyonları için en iyi programların, personel arasında iş dağılımını düzeltmeyi amaçladıklarını göstermiştir.

Tomàs Olivé (2010) tarafından yapılan çalışmada, çok ürünlü bir imalat şirketinde personel çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Bu firmanın personel ve üretim planlamasını çözmek için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Bu problemde düzenli çalışma saatleri elde etmek için karma tamsayılı doğrusal programlama modeli iki farklı durumda geliştirilmiş, çözülmüş ve doğrulanmıştır.

Karaatli (2010) yaptığı çalışmada, Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesinde Genel Cerrahi biriminde 7 gün 24 saat çalışan hemşirelerin çizelgeleme problemini ele almıştır. Çalışan hemşire sayısı ve iş yoğunlukları dikkate alınarak, bulanık çok amaçlı doğrusal bir model önerilmiştir. Problemde belirlenen kısıtlarla bir bilgisayar programı yazılmış ve aynı programda genetik algoritma yöntemi uygulanmıştır. Her iki yöntemin atama planı kıyaslanarak Genetik algoritma yönteminin başarılı olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak sonuçlar tatmin edici düzeyde olmadığından üç adımlı sezgisel bir atama algoritması önerilmiştir.

Manap Davras (2010) yaptığı çalışmada, optimal vardiya çizelgeleme modeli kullanılarak Antalya Belek Bölgesinde 5 yıldızlı bir otel işletmesindeki personelin vardiya planlamasını ele almıştır. Çalışmanın amacı işgücünün çalışmaya başlama saatlerinde, çalışma sürelerinde ve mola saatlerinde optimum vardiya çizelgelemesi yapmaktır. Bu amaca ulaşmak için tamsayı matematiksel bir model kullanılmıştır. Daha sonra WINQSB paket programında ilgili model çözülmüştür.

Hojati ve Patil (2011) çalışmasında, sınırlı kullanılabilirliğe sahip, heterojen, yarı zamanlı çalışanlar için personel çizelgeleme sorununu çözmek için iki aşamalı bir prosedür tanımlamıştır. İlk olarak, her gün ve her görev için bir tamsayı doğrusal program kullanılarak vardiyalar belirlenmiştir. Daha sonra, personeli bu vardiyalara atamak için, bir çalışanın belirlenmesi için doğrusal programlama temelli bir sezgisel kullanılmıştır. Bu çalışmada, örnekleme olarak McDonald's restoranlarının çoğunun genel uygulaması kullanılmıştır. Her vardiya 3 ila 8 saat arasında ve haftadaki iş günlerinin sayısı 5 ile sınırlandırılmıştır. Kullanılan yöntem, her personel için tüm kısıtları dikkate almıştır. Birçok problem çözülerek, bu yöntemin kabul edilebilir çözümler sunduğu gösterilmiştir. Her seferinde optimal bir çözüm elde edilmiştir.

Teksan (2011) tarafından yapılan çalışma, Türkiye'deki büyük bir temizlik kağıdı üreticisinde üretim planlama, vardiya planlama ve çizelgeleme uygulaması üzerinedir. Bu çalışmanın ana amacı işletim maliyetleri en aza indirmek, müşteri servis seviyesini artırmaktır. Firmanın planlama problemi üç aşamadan oluşturulmuştur: kapasite planlaması, vardiya planlaması ve çizelgeleme. Kapasite planlamasında, doğrusal programlama modeli, vardiya planlamasında karma tamsayı programlama modeli kullanılmıştır. Çizelgeleme problemi ise iki adımda çözülmüştür. İlk adımda, karma tamsayı programlama modeli ve ikinci adımda bir sezgisel prosedür kullanılmıştır.

Özçelik'in (2011) yaptığı çalışmanın amacı, üretim sistemlerinde çalışan personellerin performansını ve kabiliyetini değerlendirmek ve işgücü kaynaklarının en iyi şekilde kullanılarak aylık müşteri taleplerinin karşılanması ve anlaşılan tarihlerde teslimat yapılması için düz montaj hatlarına aylık personel atamasını sağlamaktır. Personel ataması hattın hızını doğrudan etkilemektedir. Personelin performanslarını değerlendirmek için AHP yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra nitel ve nicel alt ölçütlere dayanarak alfa kesme yöntemi ile personel performans değerleri elde edilmiş ve bu performansa dayalı personel kategorileri oluşturulmuştur. Son olarak karışık tamsayılı doğrusallaştırılmış programlama modeli ile üretim hatlarına optimum personel ve ürün ataması gerçekleştirilmiştir.

Atmaca vd., (2012) tarafından yapılan çalışmada, bir hastanede hemşire çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Müşteri memnuniyetini sağlamak, hastane verimliliğini artırmak ve maliyetleri en küçükmek için, her vardiyada çalışması gereken hemşire sayıları Azaiez ve Sharif (2005) tarafından geliştirilen hemşire çizelgeleme modeli temel alınarak geliştirilen model ile bulunmuştur.

Zekeriya Gür (2013) yaptığı çalışmada, güvenlik görevlisi görevlendirme ve çizelgeleme sorunlarını birlikte ele almıştır. Çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi kampüsü içerisinde uygulanmıştır. Önerilen model, tüm amaçları en iyileyen bir tamsayılı doğrusal programlama modelidir. Modelin çözümü için WINQSB programı kullanılmıştır. Geliştirilen model iki aşamalıdır. Birinci aşamasında güvenlik hizmetlerini yerine getirmesi için görevlendirilmesi gereken minimum güvenlik görevlisi sayısı belirlenmiştir. İkinci aşamada ise birinci aşamada görevlendirilen güvenlik görevlilerinin haftalık çalışma günleri, çalışma saatleri ve tatil günleri belirlenerek bir çalışma çizelgesi hazırlanmıştır.

Çöl (2013), çalışanların becerilerini, kıdem seviyelerini, tercihlerini ve sistemin taleplerini dikkate alarak işgücünün görevlere, vardiyalara ve izin günlerine hedef programlama modeli ile atanması sağlanmıştır. Modelin amaç fonksiyonu kıdem seviyelerine göre esnek kısıtlardan sapmanın en küçükmesidir. Önerilen model, farklı boyutlardaki problemlerle, önceliklendirilmiş ve ağırlıklandırılmış hedef programlama yaklaşımlarının kullanımıyla 30 çalışanın olduğu bir servis sisteminde uygulanmıştır.

Yağcioğlu (2014) tarafından yapılan çalışmada, bir üniversitede bulunan Kredi ve Yurtlar Kurumu'nda çalışan güvenlik görevlilerinin vardiya çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Bu kurumda uygulanmakta olan kurallara göre, kız öğrencilerin kaldığı yurtlarda sadece kadın güvenlik görevlileri, erkek öğrencilerin kaldığı yurtlarda sadece erkek güvenlik görevlileri, dış kapıda ise hem erkek hem de kadın güvenlik görevlileri bulunmaktadır. Çalışmada kaç güvenlik görevlisine ihtiyaç duyulduğunu belirleyen ve bu görevlilerin izin günlerini belirleyerek adaletli bir vardiya ataması oluşturan tamsayılı programlama modeli önerilmiştir.

Smet ve arkadaşları 2014 yılındaki çalışmalarında, çalışma zamanları önceden belirlenmiş olan çok yetenekli personelin vardiya çizelgeleme problemi için, çok yönlü iki aşamalı bir yaklaşım önermiştir. Amaç, tüm görevler atanırken personel sayısını en aza indirmektir. Önerilen yaklaşımın her iki aşamasında karma tamsayılı programlama modeli sezgisel arama ile birleştirilerek, verimli bir genel optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Yeni melez algoritma, ilk defa, 137 örnek için en uygun çözümleri en az hesaplama süresinde bulmuştur. Çalışmanın ilk önemli katkısı, bu alanda melez sezgisel yaklaşımın tanıtımı olmuştur.

Yücesan (2015), personel çizelgeleme problemlerinden biri olan askeri nöbet çizelgelerinin çözümü için-genetik algoritma ve karınca kolonisi algoritmalarından melez bir algoritma geliştirmiştir. Bunun için C# programlama dili ile kullanıcı etkileşimli bir grafik arayüzü geliştirilmiş ve deneysel çalışmalar yapılmıştır.

2016 yılında Yanmaz tarafından yapılan çalışmada, bir devlet hastanesinin acil servis bölümünde çalışan doktorların vardiyaları incelemiştir ve 2 aşamalı bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Birinci aşamada matematiksel bir model önerilmiş ve ikinci aşamada simülasyon ile farklı durumlarda modelin nasıl sonuç verdiği incelenmiştir. Önerilen matematiksel model GAMS (General Algebraic Modelling System) programı ile çözülmüş ve optimum sonuçlar elde edilmiştir. Simülasyon modeli ise MS Excel kullanılarak oluşturulmuştur.

Ağralı, Taşkın ve Ünal (2016), bir grup sağlık kuruluşunda sıkça karşılaşılan, esnek talebi ve çalışanların erişilebilirliğini kapsayan bir personel çizelgeleme problemini ele almıştır. Personel çizelgeleme problemini çözmek için bir tamsayı programlama modeli önerilmiştir. Çalışmanın amacı, yeterli olmayan hizmet ihtiyaçlarını en küçükmek, anlaşılabilir saatlerin kullanımını ve çalışanların memnuniyetini en büyükmek ve tatiller sırasında dengeli iş atamaları yaparak çalışanlar arasındaki adaleti en üst düzeye çıkarılmasıdır.

Küçük (2016) tarafından yapılan çalışmada, hemşire çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Çalışma, Buca Seyfi Demirsoy Devlet Hastanesi'nden alınan gerçek verilerle yapılmıştır. Hemşirelerin en uygun çalışma saatlerini bulmak için oluşturulan modelin çözümünde MATLAB programından yararlanılmıştır. Modelin kısıtlarının doğrusal yapısından dolayı problem, genetik algoritmadan önce karma tamsayı programlama ile çözülmüştür. Karma tamsayı programlama, uygun bir sonuç vermiştir fakat genetik algoritma ile elde edilen amaç fonksiyonu değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Son olarak, elde edilen sonuçlarla hastanenin gerçek nöbet çizelgeleri karşılaştırılarak çalışma tamamlanmıştır.

2.2 Çok Ölçütlü Vardiya Çizelgeleme Problemleri

Lin vd., (2012) tarafından yapılan çalışmada, güney Tayvan'daki bir mağazanın müşteri hizmetleri bölümünde bir ekip çizelgeleme sorunu ele alınmıştır. Çalışma üç aşamadan oluşturulmuştur. Aşama 1'de bulanık tahminler ve işçi-işveren uyumluluğu ile işçi-iş uygunluğu için sınıflandırmalar yapılmıştır. İkinci aşamada, yönetim amaçlarını sağlamak için doğrusal hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Aşama 3'te ise işçiler için ayrı ayrı çizelgeler yapmak için bir doğrusal hedef programlama modeli geliştirilmiştir.

Shahnazari-Shahrezaei, Tavakkoli-Moghaddam ve Kazemipoors (2013) çalışmalarında, işverenlerin hedeflerini ve çalışanların tercihlerini sağlamak için çok amaçlı bir işgücü çizelgeleme modeli önermiştir. Önerilen bu model için bulanık hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Ardından, geliştirilen bu model her iki amaç için iki ayrı modele dönüştürülmüştür. Tek amaçlı modellerle elde edilen sonuçları birbiriyle kıyaslayarak istenilen sonuçlar sağlanmıştır.

Ünal ve Eren (2016) yaptıkları 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. Problemin çözümleri GAMS programı ile gerçekleştirilmiştir. Önerilen modelin en önemli özelliği, personele nöbetlerini seçme imkânı tanınmasıdır ve bu imkan personel üzerinde çok büyük olumlu etki yaratmıştır. Personelin moral ve motivasyonda artış görülmüştür.

Bağ, Özdemir ve Eren (2012), hemşire çizelgeleme problemini ele almıştır. Problemi çözmek için 0-1 hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Hedef programlamanın ağırlıklarını belirlemek için analitik ağ prosesi (ANP) kullanılmıştır. Kurulan model Kırıkkale’de bir devlet hastanesinde uygulanmıştır. Bu çalışmanın amacı, hasta memnuniyetini ve çalışanların tercihlerini dikkate alarak çalışanların memnuniyetini ve verimliliğini arttırmaktır.

Varlı ve Eren (2017) tarafından yapılan çalışmada, bir fabrikada çalışan şefleri Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) tekniğiyle kıdem seviyelerine ayırdıktan sonra fabrikanın vardiyalarına ihtiyaç olan işgücünü karşılamak, planlanan dönem içerisinde şeflere verilen izin günlerini düzenlemek ve her şefin toplam işgücünü dengeli bir şekilde atanması için bir model geliştirilmiştir. Çalışmanın çözümü için tamsayılı programlama ve hedef programlama kullanılmıştır. Çalışan şeflere uygun bir planlama yapmak için personel tercihleri ve nitelikleri de hesaba katılmıştır.

Yapılan literatür araştırmasından da görüleceği üzere, vardiya çizelgeleme problemleri ile ilgili literatürde çokça çalışma olmasına rağmen, çok amaçlı vardiya çizelgeleme problemi çalışması oldukça azdır.

2.3. Çok Amaçlı Skalerleştirme Yöntemleri

Vardiya çizelgeleme problemi çok amaçlı olarak ele alındığında, çözümü için problemin skalerleştirilmesi gerekmektedir. Literatürde çeşitli en iyileme problemlerinin çözümü için kullanılan farklı skalerleştirme teknikleri bulunmaktadır.

Mavrotas'ın (2009) çalışmasında, çok amaçlı matematiksel programlama probleminde Pareto optimal çözümlerini elde etmek için ε -kısıt yöntemi uygulanmıştır. ε -kısıt yönteminde, amaç fonksiyonlardan biri, diğer amaç fonksiyonları kısıt olarak modele eklenerek, optimize edilir. Bu çalışmada ε -kısıt yönteminin yeni bir versiyonu olan artırılmış ε -kısıt (AUGMECON) yönteminin kullanılması önerilmiş ve karar vericinin birkaç tercihinden sonra en çok tercih ettiği Pareto optimal çözümünü tanımlamasına yardımcı olunmuştur.

Eichfelder (2009) tarafından yapılan çalışmada doğrusal olmayan çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümü için, kapalı sivri dışbükey koni ile neden olan hedef alanında, rastgele bir kısmını düzenleyerek yeni bir yöntem sunulmuştur. Bu algoritma, Pascoletti ve Serafini skalarizasyon yöntemine dayanır. Bu yöntemde hesaplanan noktalar, tüm Pareto yüzeyin hemen hemen eşit uzaklıktaki bir yaklaşımı sağlar. Bu yöntemin etkinliği çeşitli test problemleri ile gösterilmiştir.

Sipahioğlu ve Saraç (2010) çalışmalarında, çok amaçlı Sırt Çantası Problemini (SCP) ele almıştır. Bu çalışmada, hem 0-1 çok amaçlı sırt çantası problemin hem de çok amaçlı ve çok sırt çantalı problemin çözümü için daha önce kullanmayan konik skalerleştirme yöntemi uygulanmıştır ve ağırlıklandırma yöntemiyle çözülmesi mümkün olmayan içbükey Pareto çözümlerin bu yöntemle bulunabileceği gösterilmiştir.

Uluel'in (2016) yaptığı çalışmada Çok Amaçlı Karesel Atama Problemi (mQAP) için test problemleri ele alınmış ve özellikle doğrusal olmayan çok amaçlı problemlerin çözümünde Konik Skalerleştirme yöntemi ve çok amaçlı evrimsel algoritmalarından biri olan NSGA-II algoritması ile mQAP problemlerine çözüm aranmıştır. Çalışma sonucunda ayrıca evrimsel algoritma ve skalerleştirme yöntemlerinin etkili yönleri bir araya getirilerek melez bir algoritma geliştirilmiştir.

Karasay (2016) tarafından yapılan çalışmada İstanbul'da bir otopark tesisi için yer seçimi problemi ele alınmıştır. Bu vaka çalışması İstanbul'da otopark sorununun en çok yaşandığı ilçelerden biri olan Şişli İlçesinde yapılmıştır. Çalışma alanı Mahmut Şevket Paşa Mahallesi'nde yer alan 18.870 m² büyüklüğünde bir alandır. Bu alan 81 bina içermektedir. İstanbul'da otopark sorunu çözmek için otopark arz ve talebinin

dengelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada arzın artırılmasına yönelik yeni otopark alanlarının tesisi planlanmıştır. Tezde model oluşturulurken genetik algoritmalar, doğrusal programlama, ağırlıklı toplam yöntemi ve ceza fonksiyonları kullanılmıştır. Sonuç olarak en uygun otopark sistemlerinin en az alanda en çok aracı kapsayan otomatik otopark sistemleri olduğu ortaya çıkmıştır.

Kasimbeyli vd., (2017) çalışmalarında, çok amaçlı optimizasyonda kullanılan altı farklı skalarizasyon yönteminin analizi, karakterizasyonları ve karşılaştırması ve ek olarak bu yöntemler ve aralarındaki ilişkiler için yeni özellikler sunmuştur. Bu makalede, Konik Skalerleştirme yönteminin Ağırlıklandırılmış Toplam yöntemi, Benson ve Pascoletti-Serafini Skalarizasyon yöntemlerinin geliştirilmesi olduğu gösterilmiştir. Altı farklı skalarizasyon yöntemi arasındaki kıyaslama Çizelge 2.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Skalerleştirme Yöntemleri Kıyaslama (Kasimbeyli vd., 2017)

Skalerleştirme Yöntemleri	Referans Noktası	Amaç Fonksiyonu Ağırlıkları	Konveks	Konveks Olmayan	Parametre
Ağırlıklandırılmış Toplam	-	+	+	-	w
ϵ -kısıt	-	-	+	+	ϵ
Benson	-	-	+	+	x^0
Ağırlıklı Chebyshev	-	+	+	+	z_i^*
Pascoletti-Serafini	-	-	+	+	a,r
Konik Skalerleştirme	+	+	+	+	w ,a ,b

3. ÇOK AMAÇLI VARDİYA ÇİZELGELEME PROBLEMİ İÇİN MATEMATİKSEL ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

Tez kapsamında, Teknosa Neomarin AVM’de karşılaşılan vardiya çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Vardiya planlarının haftalık olarak hazırlandığı mağazada, toplam 13 kişi çalışmakta ve her gün 10.00-18.00 ve 14.00-22.00 saatleri arasında olmak üzere 8 saatlik vardiyalar uygulanmaktadır. Her bir çalışanın hafta içi sadece bir gün izin kullanma hakkı bulunmaktadır. Hafta sonu ise hiç bir çalışanın izin kullanmasına

müsaade edilmemektedir. Ayrıca, mağazada 5 farklı reyon bulunmaktadır (1-TV ve TV ürünleri, 2-Notebook, Tablet ve bilgisayar ürünleri, 3-Telefon ve telefona ait aksesuar, 4-Kişisel bakım, Küçük ev aletleri ve Beyaz eşya, 5- Disney collection). Sabah ve gündüz vardiyasında her reyona en az bir kişinin atanması gerekirken, her bir kişi de sabah ve gündüz vardiyasında en fazla 5 reyona atanabilmektedir.

Yukarıda belirtilen bu durumlar sisteme ait zorunlu kısıtlardır. Daha önceki çalışmalarda çalışanların yük dengesinin sağlanması ve izin günlerine ilişkin tercihleri çok dikkate alınmamıştır. Bu çalışmada, dikkate alınmayan bu iki amacın aynı anda en iyilenmesi, en büyük yükün en küçüklenmesi ve istenmeyen izin günlerine yapılan vardiya atamalarının en küçüklenmesi ile sağlanmaktadır.

Bu bölümde ilk olarak uygulama yerinin mevcut vardiya sistemine ait iki amaçlı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin amaç fonksiyonunu skalerleştirmek için gerekli olan ağırlık parametreleri bir çok ölçütlü karar verme tekniği olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ile belirlenmiştir. Bu ağırlıklara ek olarak farklı ağırlıklar da kullanılarak toplam ağırlıklı ve konik skalerleştirme yöntemleri ile iki adet skalerleştirilmiş model elde edilmiştir. Elde edilen Pareto çözümler de bölüm sonunda değerlendirilmiştir. Geliştirilen model ve kullanılan yöntemler sırasıyla bu bölümde verilmiştir.

3.1 Vardiya Çizelgeleme Problemi Matematiksel Modeli

Bu çalışmada mağaza kuralları dikkate alınarak, personel izin günü ve dengeli iş yükü isteklerinin karşılanması amacıyla iki amaçlı matematiksel bir model oluşturulmuştur. Önerilen modeldeki kısıt ve amaç fonksiyonları mağaza yöneticisi ve personeli ile görüşülerek belirlenmiştir.

Küme ve parametreler

H : hafta içi günler kümesi $H: \{i | i = 1, \dots, 5\}$

S : haftasonu günler kümesi $S: \{i | i = 6, 7\}$

n : Bir çizelgedeki gün sayısı ($n = 1, \dots, 7$)

p : Bir çizelgedeki personel sayısı ($p = 1, \dots, 13$)

i : gün indisi, $i = 1, 2, \dots, n$

j : personel indisi, $j = 1, 2, \dots, p$

k : reyon indisi, $k = 1, \dots, 5$

a_k : k . reyonun ağırlığı, $k = 1, \dots, 5$

w_1 : birinci amacın ağırlığı

w_2 : ikinci amacın ağırlığı

$r_{i,j} : \begin{cases} 0 & j. \text{ personel izin için } i. \text{ günü tercih ediyorsa} \\ 1 & \text{d. d.} \end{cases}$

d_i : i . gündeki gündüz vardiyası için gerekli personel sayısı $i = 1, 2, \dots, n$

m_i : i . gündeki sabah vardiyası için gerekli personel sayısı $i = 1, 2, \dots, n$

Karar Değişkenleri

$xd_{i,j} : \begin{cases} 1, & j. \text{ personel } i. \text{ gündeki gündüz vardiyasına atanırsa} \\ 0, & \text{d. d.} \end{cases}$

$xm_{i,j} : \begin{cases} 1, & j. \text{ personel } i. \text{ gündeki sabah vardiyasına atanırsa} \\ 0, & \text{d. d.} \end{cases}$

$xr_{i,j} : \begin{cases} 1, & j. \text{ personel } i. \text{ günde izinli ise} \\ 0, & \text{d. d.} \end{cases}$

$yd_{i,j,k} : \begin{cases} 1, & i. \text{ günde } j. \text{ personel } \text{gündüz vardiyasında } k. \text{ reyona atanırsa} \\ 0, & \text{d. d.} \end{cases}$

$ym_{i,j,k} : \begin{cases} 1, & i. \text{ günde } j. \text{ personel } \text{sabah vardiyasında } k. \text{ reyona atanırsa} \\ 0, & \text{d. d.} \end{cases}$

t : personelin toplam iş yükü miktarı

q : istenmeyen izin gününe atamaların toplamı

Model

$$xd_{i,j} + xm_{i,j} + xr_{i,j} = 1 \quad \forall (i \in H), \forall j \quad (1)$$

$$xd_{i,j} + xm_{i,j} = 1 \quad \forall (i \in S), \forall j \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^5 xr_{i,j} = 1 \quad \forall j \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{13} yd_{i,j,k} \geq 1 \quad \forall i \in S \cup H, \forall k \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{13} ym_{i,j,k} \geq 1 \quad \forall i \in S \cup H, \forall k \quad (5)$$

$$xd_{i,j} \leq \sum_{k=1}^5 yd_{i,j,k} \quad \forall i \in S \cup H, \forall j \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^5 yd_{i,j,k} \leq M \cdot xd_{i,j} \quad \forall i \in S \cup H, \forall j \quad (7)$$

$$xm_{i,j} \leq \sum_{k=1}^5 ym_{i,j,k} \quad \forall i \in S \cup H, \forall j \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^5 ym_{i,j,k} \leq M \cdot xm_{i,j} \quad \forall i \in S \cup H, \forall j \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^7 \sum_{k=1}^5 (a_k \cdot yd_{i,j,k} + a_k \cdot ym_{i,j,k}) \leq t_j \quad \forall j \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^5 (xd_{i,j} + xm_{i,j}) \cdot r_{i,j} \leq q_j \quad \forall j \quad (11)$$

$$\min z = w_1 \cdot (\sum_{j=1}^{13} t_j) / 780 + w_2 \cdot (\sum_{j=1}^{13} q_j) / 13 \quad (12)$$

Kısıt grubu (1) ile, bir kişinin hafta içi bir günde izinli olacağı; izinli değilse de ya sabah ya da öğleden sonra vardiyasında çalışacağı garantilenir.

Kısıt grubu (2) ile, bir kişinin haftasonu bir günde ya sabah ya da öğleden sonra vardiyasında çalışması garantilenir.

Kısıt grubu (3) ile her bir kişinin haftada sadece bir gün izin kullanması sağlanır.

Kısıt grubu (4) ve (5) ile sabah ve gündüz vardiyasında her reyonun en az bir kişinin atanması sağlanır.

Kısıt grupları (6), (7), (8) ve (9)'da bir günde her kişinin sabah ve gündüz vardiyalarında en fazla 5 grup ürün reyonuna atanması $xd_{i,j}$ ile $yd_{i,j,k}$ ve $xm_{i,j}$ ile $ym_{i,j,k}$ karar değişkenleri arasındaki ilişki kısıtları ile korunur.

(10) nolu kısıt grubu dengeli iş yükü sağlamak için gereken kısıttır. Kişi başına düşen yük en fazla t_j değerini alabilir. Amaç fonksiyonunda da tüm kişiler için toplam t_j en küçüklenerek dengeli yük atama gerçekleştirilir. Kısıt grubu (11) ise personelin istenmeyen izin gününe atanmasını en küçükleme için gereken kısıttır. İstenmeyen günlere yapılan atamalar her kişi için en fazla q_j değerini alacaktır. Bir diğer amaç fonksiyonunda da tüm kişiler için toplam q_j en küçüklenerek istenmeyen günlere yapılan atamalar en küçüklendir.

Amaç (12) iki amacın toplamının enküçüklendiği eşitliklidir. Böylece, tüm çalışanların memnuniyet seviyesinin artırılması amaçlanmaktadır.

3.2 Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Yöntemi ile Amaç Fonksiyonu Ağırlıklarının Elde Edilmesi

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), 1970’li yıllarda Thomas L. Saaty tarafından, birden çok ölçüt içeren karmaşık karar verme problemlerinin çözümü için tasarlanmıştır. AHP, problemi amaç, ölçütler, alt ölçütler ve seçeneklerden oluşan hiyerarşik bir modelle analiz edilmesini ve uygun çözüme ulaşılmasını sağlar. Büyük ölçekli, dinamik ve karmaşık çok ölçütlü karar verme problemlerine çözüm getirebilen bir yaklaşımdır. AHP, çok sayıda alternatif arasında seçim ya da sıralama yaparken, çok sayıda karar vericinin bulunabildiği, çok ölçütlü, çok amaçlı, belirlilik ya da belirsizlik durumunda karar vermede kullanılır (Özçelik, 2011).

AHP’de çözüm adımları şu şekilde sıralanır (Göksu ve Güngör, 2008):

Adım 1: Problem ortaya konur, hiyerarşide en üstte yer alacak hedef belirlenir.

Adım 2: Hiyerarşi oluşturulur. Oluşturulan hiyerarşide; en üstte amaç olmak üzere ölçütler, alt ölçütler ve alternatifler belirlenir.

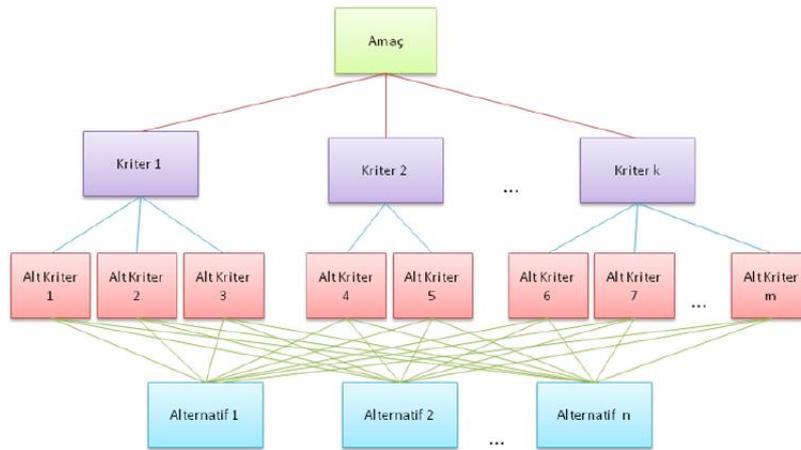
Adım 3: İkili karşılaştırma matrisi oluşturulur.

Adım 4: Oluşturulan ikili karşılaştırma matrisinden yararlanarak göreceli önem vektörü (ağırlık vektörü) bulunur.

Adım 5: Tutarlılık oranı hesaplanır. Tutarlılık durumunda karar verilir.

Tutarsızlık oranının 0,10’ dan daha büyük çıkması durumunda ikili karşılaştırma değerleri tekrar gözden geçirilerek hesaplamalar yeniden yapılır ve tutarlı sonuç elde edilinceye kadar devam edilir.

Amaç, ölçütler, alt ölçütler ve alternatiflerden oluşan hiyerarşi yapısı Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Hiyerarşik Yapı (Özçelik, 2011)

Hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra her bir ölçüt temelinde alternatiflerin karşılaştırılması ve ölçütlerin kendi aralarında karşılaştırılması için ikili karşılaştırma karar matrisleri oluşturulur. Bu matrislerin oluşturulmasında Saaty tarafından önerilen 1-9 önem skalası Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. Önem derecesinde yer almayan 2, 4, 6, 8 gibi değerler ara değerlerdir. Örneğin karar verici 1 ve 3 arasında kararsız kalırsa 2 değerini kullanabilir. İkili karşılaştırmalar, AHP’nin en önemli aşamasıdır (Dağdeviren ve Eren, 2001).

Çizelge 3.1. AHP önem değerleri (Özçelik, 2011)

Önem Derecesi	Tanım	Değer Tanımları
1	Eşit önem	Her iki faktörün eşit öneme sahip olması durumu
3	Biraz daha fazla önem	1. faktörün 2. faktörden biraz daha fazla önemli olması durumu
5	Kuvvetli derecede önem	1. faktörün 2. faktörden kuvvetli derecede önemli olması durumu
7	Çok kuvvetli derecede önem	1. faktörün 2. faktöre nazaran çok kuvvetli bir öneme sahip olması durumu
9	Aşırı derecede önemli	1. faktörün 2. faktöre nazaran mutlak üstün bir öneme sahip olması durumu
2,4,6,8	Ara değerler	iki ardışık yargı arasına düşen değerler

3.2.1 AHP ‘nin teknik alt yapısı

Doğru ve tutarlı bir sonuç elde etmek için ölçütler ve alternatifler arasında ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur ve ölçütlerin ağırlıkları hesaplanır.

İkili karşılaştırma sürecinde kullanılan matris simetrik olup, a_{ij} i . elemanın j . elemana göre üstünlük, tercih edilirlilik derecesi olarak tanımlanırsa, örnek olarak 3x3’lük bir matris Çizelge 3.2’deki gibi gösterilebilir (Sağır vd., 2015).

Çizelge 3.2. İkili Karşılaştırma Matrisi (Sağır vd., 2015)

	A1	A2	A3
A1	1	a_{12}	a_{13}
A2	a_{21}	1	a_{23}
A3	a_{31}	a_{32}	1

Buna göre a_{12} değeri, A1 elemanın, A2 elemanına göre kaç kat daha tercih edilir olduğunu temsil etmektedir. Bağlı olarak a_{21} değeri de, A2 elemanın, A1 elemanına göre kaç kat daha tercih edilir olduğunu göstermektedir. Bu durumda $a_{12} = 1/a_{21}$ olmaktadır. Bir başka deyişle, A1, A2'ye 3 kat tercih edilir ise ($a_{12} = 3$) A2, A1'e 1/3 kat tercih edilir ($a_{21} = 1/3$) demektir (Sağır vd., 2015).

İkili karşılaştırma matrisinin genel gösterimi çizelge 3.3'teki gibidir.

Çizelge 3.3. İkili karşılaştırma matrisinin genel gösterimi (Sağır vd., 2015)

	A1	A2	...	An
A1	w_1/w_1	w_1/w_2	...	w_1/w_n
A2	w_2/w_1	w_2/w_2	...	w_2/w_n
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
An	w_n/w_1	w_n/w_2	...	w_n/w_n

Burada $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$, değeri bulunmak istenen ağırlık vektörüdür. Matrisin sağdan w vektörü ile çarpımı sonucu $Aw = nw$ denklemi elde edilir. w vektörünü elde edebilmek için bu denklemi çözmek gerekmektedir. Çözüm, matris boyutu n 'nin A matrisinin bir özdeğeri olması halinde vardır. Yanı sıra, elde edilen çözümün tutarlı olması da gerekmektedir. Örnek olarak karar verici, A ölçütü B ölçütünden 2 kat önemli, B ölçütü de C ölçütünden 3 kat önemli şeklinde yargıda bulunmuşsa, dolaylı olarak A ölçütü C ölçütünden 6 kat önemli yargısında bulunmuştur. Bu sonucun A ve C ikili karşılaştırmasıyla da uyumlu olması gerekmektedir. Karar verici A , C 'den örneğin 2, 3, 8 veya 9 kat daha önemlidir, ya da, C , A 'dan daha önemlidir şeklinde bir yargıda bulunursa tutarsızlık ortaya çıkar. Tutarlılık, matrisin en büyük özdeğeri λ_{max} 'ın n 'e eşit olması durumunda sağlanmaktadır (Sağır vd., 2015).

$$Aw = \begin{matrix} A_1 & \dots & A_n \\ M \begin{bmatrix} w_1/w_1 \\ M \\ w_n/w_1 \end{bmatrix} & \dots & \begin{bmatrix} w_1/w_n \\ M \\ w_n/w_n \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ M \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ M \\ w_n \end{bmatrix} = nw \quad (13)$$

İnsan beyninin yanılma payı düşünüldüğünde, karşılaştırmalarda her zaman bir tutarsızlık payı olduğu da unutulmamalıdır. Öte yandan belirli oranda yanılma kabul edilebilir. A, B'den 2 kat; B, C'den 3 kat önemli olduğunda dolaylı olarak A, C'den 6 kat önemlidir yargısına varılır. Bu ikili karşılaştırma değeri için 6 veya 6'ya yakın bir değer belirtildiğinde tutarlı olunduğu kabul edilebilir. Öte yandan bu durumda A, C'den 2 kat veya 9 kat önemli veya hatta C, A'dan önemli şeklindeki yargılar tutarsız kabul edilir.

Bir ikili karşılaştırma matrisi için tutarsızlık oranı (tutarlılık oranı da denir fakat kavramsal olarak tutarsızlık daha kolay anlaşılır bir ifadedir) denen bir gösterge ile bu tür sapmaların kabul edilebilir düzeyde olup olmadığı sınılanır. İlgili işlemler aşağıdaki gibidir:

Tutarsızlık oranı, CR,

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (14)$$

ile hesaplanır.

CI, tutarsızlık indeksi, RI ise rassallık göstergesidir. Tutarsızlık indeksi CI,

$$\frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (15)$$

ifadesi ile hesaplanır. λ_{max} , ikili karşılaştırma matrisinin en büyük özdeğerine denir. n, matrisin boyutu olup rassallık göstergesi, matris boyutuna göre aşağıdaki çizelgeden seçilir ve sabit bir değerdir (Saaty, 1987).

Çizelge 3.4. 1-15 boyutundaki matrisler için rassallık göstergeleri (Saaty, 1987)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

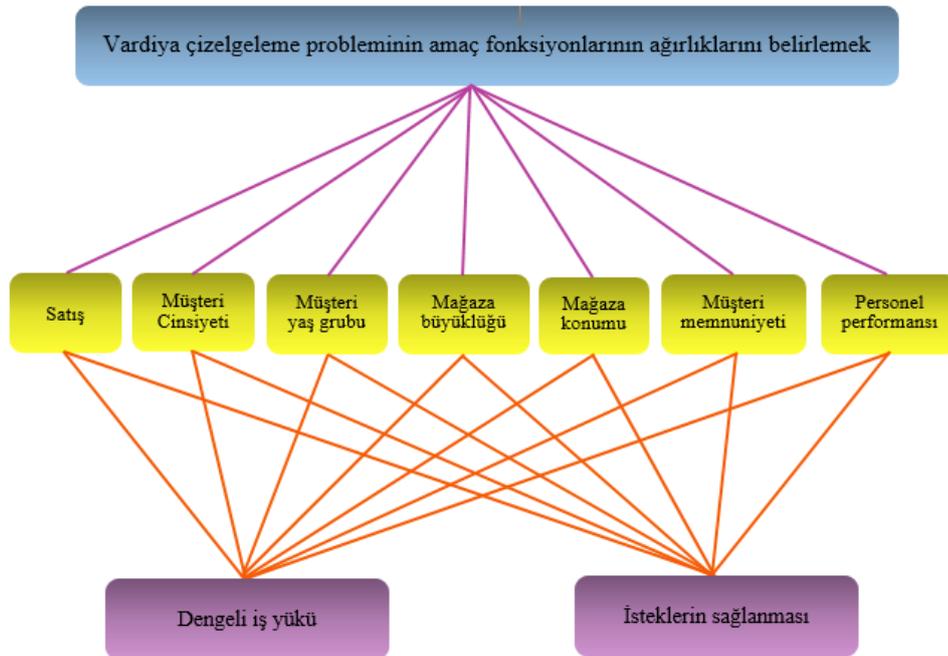
Tutarlı bir matriste, matrisin en büyük özdeğeri olan λ_{max} 'ın matris boyutuna eşit olması gerektiği belirtilmişti. Tutarsızlık oranı ise, bu eşitlikten sapma göstergesi olan CI, aynı büyüklükte, rassal elemanlı matrislerden elde edilmiş ortalama gösterge değerine (RI) oranı ile elde edilir. İstenen tutarsızlık oranı bu şekilde hesaplanır. λ_{max} değeri ise, aşağıdaki ifade ile hesaplanmaktadır (a_{ij} : matriste i. satır j. sütun değeri, w_j : j. ölçütün göreceli önem değeri) (Sağır vd., 2015).

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i} \quad (16)$$

Tutarlılık oranı eğer 0.10'dan küçük olursa, bu elde edilen karşılaştırmaların tutarlı olduğunu göstermektedir. Eğer 0.10'dan büyük çıkarsa o zaman karşılaştırma matrislerinde bir tutarsızlık olduğunu ve yukarıdaki adımları tekrar gözden geçirilerek tutarlılık sağlanır.

3.2.2 Vardiya çizelgeleme probleminin amaç fonksiyonlarının ağırlıklandırılması

Problemimize ait ölçütler ve alternatiflerden oluşan hiyerarşik yapı Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Bu ölçütler işletme yöneticileri ve çalışanlarının yargıları dikkate alınarak belirlenmiştir. Örnek olarak beyaz eşya, bilgisayar, kişisel bakım ve Disney collection reyonları müşteri cinsiyet ve müşteri yaş grubu ile ilişkilidir. Mağaza büyüklüğü ve mağaza konumu satış miktarını etkileyerek dengeli iş yükünü etkilemektedir. Satış miktarı her reyonda mağaza konumu ve büyüklüğü, müşteri cinsiyet ve yaş grubuna göre değişmektedir ve bu şekilde dengeli iş yükünü de etkilemektedir. Personelin her gün yaptığı satışlarla ilgili performansı ve müşterilerin memnuniyetini sağlaması ile izin günleri isteklerinin sağlanması ilişkilendirilebilir. Geliştirilen AHP modelindeki alternatifler, vardiya çizelgeleme probleminin amaç fonksiyonlarıdır.



Şekil 3.2. Amaç fonksiyonlarının ağırlığını belirleme probleminin hiyerarşik yapısı

Ölçütler ve alternatiflerin önem değerlerini belirlemek için ikili karşılaştırma matrisi Şekil 3.3'te oluşturulmuştur. Örnek olarak birinci satırda satış ve müşteri cinsiyet arasındaki ilişkiyi gösteren değer 3 olduğuna göre satış elemanının 3 kat daha tercih edildiğini göstermektedir. Bu şekilde ölçütler arasında diğer ikili karşılaştırmalar da yapılmaktadır.

Expert Choice F:\Hizmet sektorunde cogul becerili is gucu vardiya cizelgeleme problemlerinin cozumu icin cok amaclı cozum ...

File Edit Assessment Inconsistency Go Tools Help

satis 9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9 musterı cinsiyet

Compare the relative importance with respect to: Goal: Alternatiflerin ağırlığını belirlemek

	satis	musteri cin	musteri ya	magaza bu	musteri me	magaza ko	personel p
satis		3.0	5.0	7.0	1.0	5.0	1.0
musteri cinsiyet			1.0	3.0	3.0	5.0	5.0
musteri yas grubu				5.0	5.0	3.0	7.0
magaza buyukluk					7.0	3.0	7.0
musteri memnuniyeti						7.0	3.0
magaza konum							7.0
personel performansi							

Incon: 0.08

Şekil 3.3. Alternatiflerin ağırlığını belirlemek için satış ve müşteri cinsiyet arasında ikili karşılaştırma

Şekil 3.4'te görüldüğü gibi satış ölçütü temelinde iki alternatif arasında ikili karşılaştırma yapılmış ve buna göre dengeli iş yükünün, isteklerin sağlanmasına göre 3 kat daha önemli olduğu gösterilmiştir. Ana ölçütler temelinde yapılan diğer ikili karşılaştırmalar EK-2'de verilmiştir.

Expert Choice F:\Hizmet sektorunde cogul becerili is gucu vardiya cizelgeleme problemlerinin cozumu icin cok amaclı cozum ...

File Edit Assessment Inconsistency Go Tools Help

dengeli is yuku (Amac 1) 9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9 isteklerin saglanmasi (Amac 2)

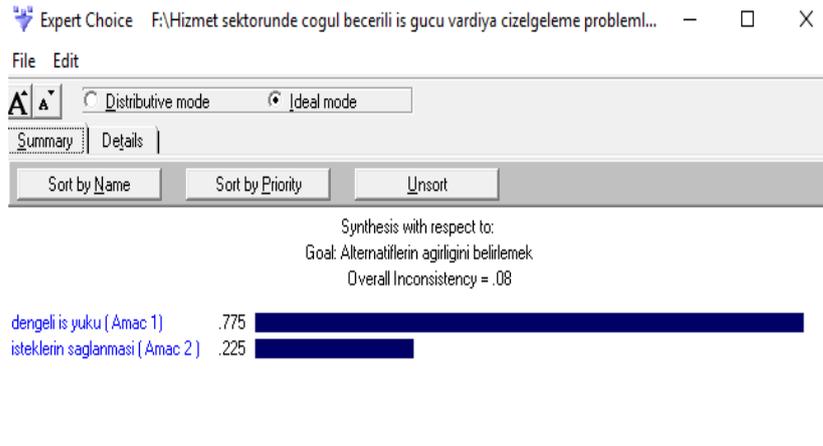
Compare the relative preference with respect to: satis

	dengeli is yuku (Amac 1)	isteklerin s
dengeli is yuku (Amac 1)		3.0
isteklerin saglanmasi (Amac 2)		

Incon: 0.00

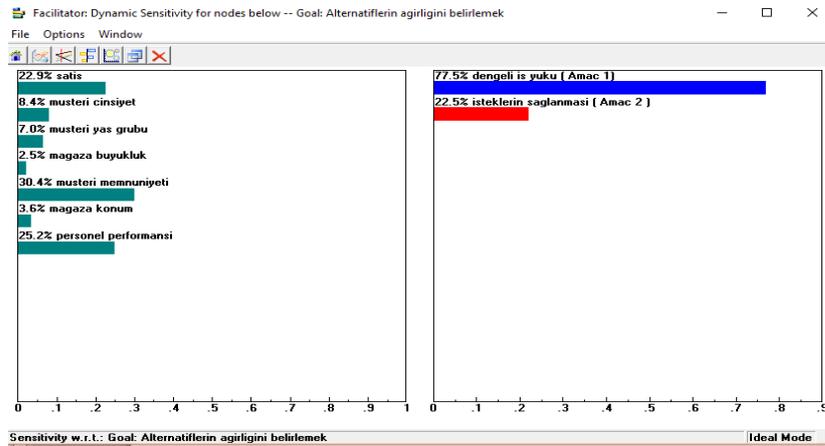
Şekil 3.4. Satış ölçütünü dikkate alarak 2 alternatif arasında ikili karşılaştırma

Bu çalışmada ikili karşılaştırma karar matrisleri, tutarlılıkların ölçülmesi ve amaçların önem ağırlıkları Expert Choice programıyla elde edilmiştir. Karşılaştırma matrisinden elde edilen değerlerin tutarlı olup olmadığını belirlemek için tutarlılık oranı hesaplanır. İkili karşılaştırmaların tutarlı olabilmesi için tutarlılık oranının 0.10'dan küçük olması gerekmektedir. Bu çalışmada, her bir karşılaştırma matrisinde tutarlılık oranları 0.10'dan küçük çıkmıştır. Expert Choice ile elde edilen tutarlılık oranı ve amaçlarımız için elde edilen ağırlıklar Şekil 3.5'de gösterilmiştir ($w_1=0.775$, $w_2=0.225$).



Şekil 3.5. Amaçlarımızın ağırlıkları ve tutarlılık oranı

Çıkan sonuçlara göre, ölçütlerin ve alternatiflerin önem dereceleri yüzde olarak Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Buna göre, ölçütler arasında en önemli olanlar müşteri memnuniyeti 30.4% ve daha sonra sırayla, personel performansı 25.2% ve satış 22.9% olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.6. Ölçütler ve alternatiflerin önem dereceleri

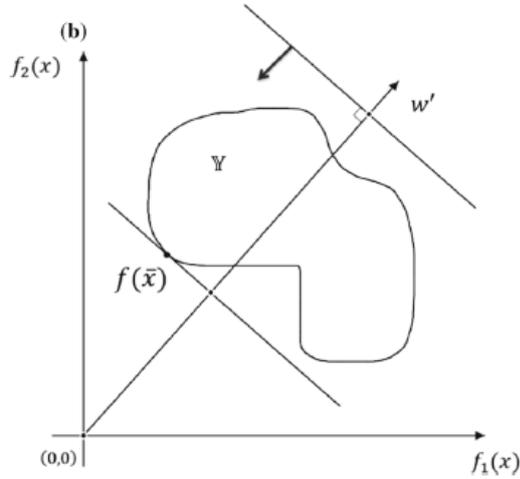
3.3 Ağırlıklandırılmış Toplam Yöntemi ile Çözüm

Ağırlıklandırılmış Toplam Yöntemi (WSS) 1955 yılında Gass ve Saaty tarafından geliştirilmiş ve çok amaçlı problemlerin (ÇOP) çözümleri için en çok kullanılan skalerleştirme yöntemidir. Ağırlıklandırılmış toplam yöntemi karar verici tarafından belirlenen ağırlık katsayıları ile her bir amacı ilişkilendirir ve amaçların ağırlıklandırılmış toplam fonksiyonunu optimize eder. $w' = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ ağırlık vektörü olmak üzere her w_i değeri bir $f_i(x)$, $i=1, \dots, n$ amaç fonksiyonu ile ilişkilendirilir. Verilen ağırlık vektörü için yazılmış skaler problem (17) nolu WSS (w) probleminde verilmiştir.

$$\min_{x \in X} \sum_{i=1}^n w_i f_i(x) \quad (WSS(w)) \quad (17)$$

(WSS (w)) skaler probleminin çözümler kümesi $Sol(WSS(w))$ ile gösterilecektir.

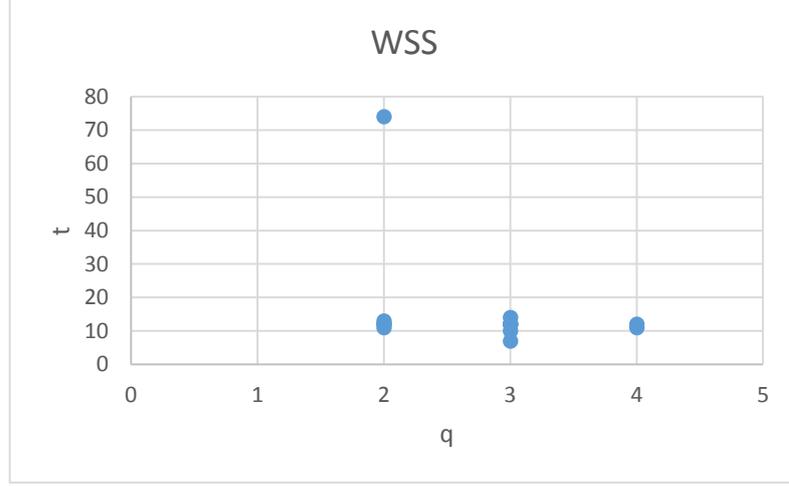
(WSS (w)) probleminin iki boyutlu grafiksel gösterimi Şekil 3.7'de gösterilmektedir (Kasimbeyli vd., 2017).



Şekil 3.7. Ağırlıklandırılmış Toplam Yöntemi İki Boyutlu Gösterim. Dışbükey olmayan objektif uzay (Kasimbeyli vd., 2017)

Bölüm 3.1'de geliştirilen matematiksel model, GAMS paket programı ile çözülmüştür. GAMS kodu EK-1'de verilmiştir. Ağırlıklar toplamı 50 olacak şekilde w_1 ve w_2 1'den 50'ye kadar değer almış ve WSS ile farklı Pareto çözümler sonuçta elde edilmiştir.

Ağırlıklandırılmış toplam yöntemi ile bulunan 2 amaçlı bu problemin sonuçları Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. WSS ile elde edilen Pareto çözüm

Ağırlıklandırılmış toplam yöntemi ile pareto yüzeyler elde edilmiştir. Fakat elde edilen sonuçların iyi olup olmadığı, konik skalerleştirme yöntemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında yorumlanacaktır.

3.4 Konik Skalerleştirme Yöntemi ile Çözüm

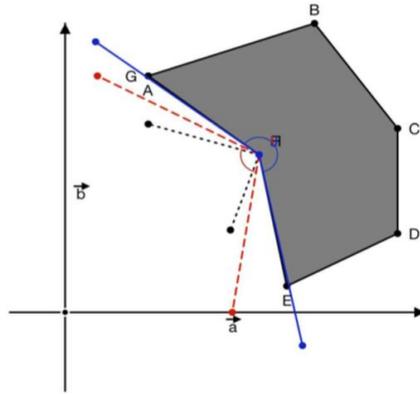
Gasimov tarafından 2001 yılında geliştirilen konik skalerleştirme yaklaşımı kullanılışlığı, bir referans noktasına yakın çözümlerin araştırılmasına olanak tanınması, çok geniş bir problem sınıfına uygulanabilmesi ve en önemlisi de hiper düzlemlerle desteklenmesi mümkün olmayan noktaların desteklenmesine olanak tanınmasıyla öne çıkmaktadır (Sipahioğlu ve Saraç, 2010).

Klasik ağırlıklandırılmış yöntemi ile bulunması mümkün olmayan Pareto çözümlerin, bu yöntemle elde edilmesi mümkündür.

Geliştirilen konik skalerleştirme yönteminin (CS) mantığı oldukça basittir: $w \in c^\#$ ağırlık vektörü, $a \in R^n$ referans noktasından oluşan tercih parametreleri seçilir ve l_1 -normunun kullanıldığı $(w, \alpha) \in C^{a^*}$ (ya da $(w, \alpha) \in C^{a^0}$ ya da $(w, \alpha) \in C^{a^\#}$) şeklinde bir α genişletme parametresi belirlenir ve (18) nolu CS skaler problem çözülür (Uluel, 2016).

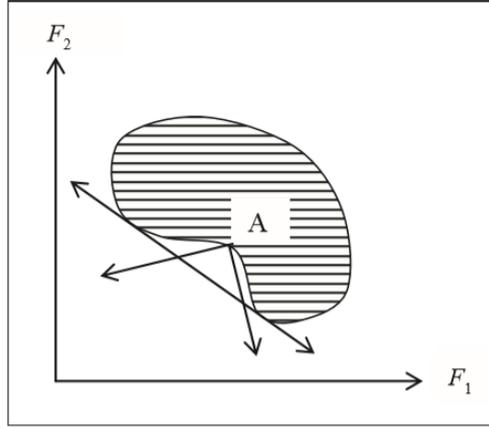
$$\min \sum_{i=1}^n w_i (f_i(x) - r_i) + \alpha \sum_{i=1}^n |f_i(x) - r_i| \quad (CS(w, \alpha, a)) \quad (18)$$

Skaler problem $(CS(w, \alpha, a))$ 'nin çözümler kümesi $Sol(CS(w, \alpha, a))$ şeklinde gösterilmiştir. $a = (a_1, \dots, a_n)$ referans noktası, bazı noktalara yakın olan minimal elementlerin bulunmasını istediği durumlarda karar verici tarafından belirlenebilir. Konik skalerleştirme yöntemi referans noktasının belirlenmesi için herhangi bir kısıtlama koymamaktadır. Bu noktalar keyfi olarak seçilebilir. Açıkça görülmektedir ki $\alpha=0$ olduğu durumda (veya $f(X) \subseteq \{r\} \pm R_+^n$) konik skalerleştirme yönteminin amaç fonksiyonu ağırlıklandırılmış toplam yönteminin amaç fonksiyonuna dönüşür. Uygun çözüm kümesi üzerinden böyle bir amaç fonksiyonunun minimizasyonu sadece amaç uzayını destekleyen destek hiper düzlem üzerindeki noktaları elde edebilecektir. α arttıkça koni küçülecektir. α , 1 olarak seçildiğinde ise konik skalerleştirmenin ağırlıklandırılmış toplam yönteminden bir farkı olmayacaktır. Konik skalerleştirmenin çözüm uzayı Şekil 3.9'da gösterilmektedir (Uluel, 2016).



Şekil 3.9. Konik Skalerleştirme Yöntemi Grafik Gösterimi (Kasımbeyli vd., 2017)

Klasik ağırlıklandırma yöntemi ile çözüm uzayında hiper düzlemlerle desteklenemeyen Pareto etkin çözümleri elde etmek mümkün değildir. Şekil 3.10'da iki amaçlı bir örnek problemin dışbükey olmayan görüntü kümesi yer almaktadır. Bu dışbükey olmayan kümedeki A noktasının bir doğru ile desteklenmesi mümkün değildir. Ama aynı nokta bir koni ile desteklenebilir. Konik skalerleştirme yönteminde noktalar hiper düzlemlerle değil konilerle desteklendiğinden, klasik ağırlıklandırma ile bulunması mümkün olmayan Pareto etkin çözümlerin elde edilmesi mümkün olabilmektedir. Konik skalerleştirme yöntemi, dışbükeylik koşulu gerektirmedikinden çok geniş bir problem sınıfına başarıyla uygulanabilmektedir (Sipahioğlu ve Saraç, 2010).



Şekil 3.10. İki Amaçlı Örnek Bir Problem İçin Dışbükey Olmayan Geometrik Görüntü (Sipahioğlu ve Saraç, 2010)

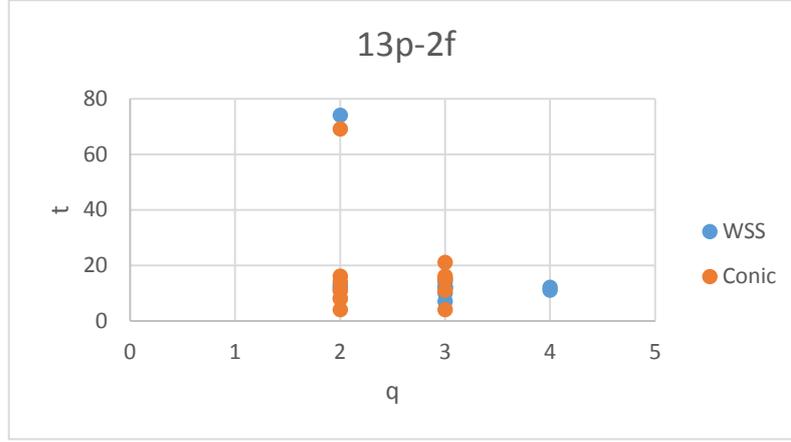
Vardiya çizelgeleme problemin Konik Skalerleştirme yöntemi ile çözüldüğünde elde edilen skaler amaç fonksiyonu (19) nolu fonksiyon ile verilmiştir.

$$\min \sum_{j=1}^{13} w_1 (t_j - r_1) + \sum_{j=1}^{13} w_2 (q_j - r_2) + \alpha \sum_{j=1}^{13} |t_j - r_1| + \alpha \sum_{j=1}^{13} |q_j - r_2| \quad (19)$$

Ağırlıklandırılmış toplam yönteminden elde edilen sonuçlarla konik skalerleştirme yöntemi için GAMS kodu yazılmış ve çözülmüştür. 13 kişiden oluşan 2 amaçlı vardiya çizelgeleme problemin Ağırlıklandırılmış Toplam yöntemi ile çözüm süresi 23.558 saniye ve Konik Skalerleştirme yöntemi ile elde edilen süresi 10 dakika 12.873 saniye sürmüştür.

Yazılan programda w_i 'ler ağırlıklandırılmış toplam yöntemindeki gibi 1 ile 50 arasında alınmıştır. r_i 'ler ağırlıklandırılmış toplam yönteminde bulunan t_j ve q_j değerlerinin ortalaması alınarak referans noktası olarak belirlenmiştir. α ise karar verici tarafından belirlenen bir değişken olarak tanımlanmıştır.

Konik skalerleştirme ile elde edilen sonuçlar ağırlıklandırılmış toplam yöntemi ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma grafikleri Şekil 3.11’de gösterilmektedir.



Şekil 3.11. WSS ile Konik Skalerleştirme yöntemleri ile elde edilen Çözümler

3.5 Sayısal Sonuçların Yorumlanması

Şekil 3.11’de farklı ağırlıklara karşı gelen çözümler verilmiş ancak bu çözümlerin hepsinin Pareto çözüm olmadığı görülmüştür. Konik skalerleştirme ile elde edilen çözümler ile Pareto yüzey oluşmaktadır. WSS ile daha iyi çözümler elde edilememiştir. Ayrıca GAMS ile elde edilen optimum amaç fonksiyonu (Z) WSS yöntemi için 10600 ve CS yöntemi için 10299.398 olarak sonuçlanmıştır.

Personelin haftalık mevcut çizelgesi EK-3’de verilmiştir. Personelin izin günü tercihlerinin göz önünde bulundurularak oluşturulan çizelge EK-4’te ve bu tercihler dikkate alınarak, GAMS ile elde edilen sonuçlardan ortaya çıkan günlük ve haftalık vardiya çizelgesi de EK-5 ve EK-6’da gösterilmiştir. Mevcut durumdaki çizelge ile sonuçlar doğrultusunda oluşturulan çizelgenin karşılaştırılması sonucunda, mevcut durumda 5 personel izin için tercih ettiği günlerden birine atanmışken, elde edilen sonuçlarda 9 personelin istekleri doğrultusundaki günlere atanmış oldukları ve 4 personelin istedikleri zaman dilimine atanamamış oldukları sonucuna ulaşılmıştır. Sonuçlar Çizelge 3.5’de karşılaştırmıştır.

Çizelge 3.5. *Mevcut durumdaki çizelge ile optimal çizelgenin karşılaştırılması*

Personel	İzin için tercih edilen günler	Çizelge sonucunda atanmış oldukları günler
Onur	Salı/Cuma	Salı
Doğukan	Salı/Perşembe	Cuma
Remziye	Pazartesi/Çarşamba	Çarşamba
Yunus	Çarşamba/Cuma	Cuma
Akın	Pazartesi/Perşembe	Çarşamba
İlker	Pazartesi/Perşembe	Perşembe
Sedat	Çarşamba/Cuma	Salı
Didem	Pazartesi/Perşembe	Pazartesi
Yalçın	Salı/Çarşamba	Perşembe
Mehmet	Perşembe/Cuma	Cuma
Ahmet	Salı/Cuma	Salı
Mustafa	Çarşamba/Cuma	Çarşamba
Hüseyin	Pazartesi/Perşembe	Perşembe

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada hizmet sektöründe faaliyet gösteren bir işletme için personel istek ve tercihleri göz önünde bulundurularak iş gücü vardiya çizelgelemesi yapılmıştır. Çalışma sonucunda oluşturulan vardiya çizelgeleme ile dengeli iş yükü sağlanarak çalışan memnuniyetinin artırılması, daha kaliteli ürün ve/veya hizmet sağlanması ve işletmenin verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır.

Çok amaçlı yapıda olan bu problemde, personelin istekleri göz önüne alınarak çok amaçlı bir karar modeli geliştirilmiştir. Yönetici ve çalışanların yargılarını dikkate alacak çok ölçütlü bir karar verme modeli kurulmuş ve amaç fonksiyonlarının ağırlıkları elde edilmiştir. Elde edilen bu ağırlıklar kullanılarak Toplam Ağırlıklı Skalerleştirme (WSS) yöntemi ile problem skalerleştirilmiştir. Konik Skalerleştirme (CS) yöntemi ile problem skalerleştirilerek tekrar çözülmüştür. Pareto çözümler karşılaştırıldığında CS yöntemi ile daha fazla Pareto çözüm elde edildiği görülmüştür. Ayrıca, işletmede manuel hazırlanan çizelgeye göre çözüm kalitesi açısından daha iyi çizelgeler çok kısa sürelerde elde edilmiştir.

Çalışmada, çok amaçlı problemlerde amaç fonksiyonlarının ağırlıklarını belirlemek için çok ölçütlü karar verme tekniklerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile çok ölçütlü bir model geliştirilmiştir. Problemimize ait hiyerarşik yapıyı oluşturmak için ölçütler işletme yöneticileri ve çalışanlarının yargıları dikkate alınarak; satış, mağaza konumu, mağaza büyüklüğü, müşteri cinsiyeti, müşteri yaş grubu, müşteri memnuniyeti ve personel performansı olarak belirlenmiştir. Belirlenen ölçütlerin ikili karşılaştırmaları ve aynı zamanda bu ölçütlerin her birinin alternatiflerle karşılaştırmaları işletme yöneticilerine sorulmuştur, alınan cevaplar Expert Choise programına aktarılarak ölçütlerin önem dereceleri ve alternatiflerin ağırlıkları toplamı 1 olacak şekilde belirlenmiştir. Geliştirilen AHP modelindeki alternatifler, vardiya çizelgeleme probleminin amaç fonksiyonlarıdır.

Pareto çözüme ulaşmak için ağırlıklar toplamı 50 olacak şekilde w_1 ve w_2 1'den 50'ye kadar değer almış ve WSS ile farklı Pareto çözümler elde edilmiştir. Daha sonra çözüm yöntemi olarak kullanılan çok amaçlı skalerleştirme tekniklerinden Toplam Ağırlıklı Yöntem ve Konik Skalerleştirme ile farklı ağırlıklar ile skalerleştirilmiş ve birden fazla Pareto optimal çözüme ulaşılmıştır. Sonuçta Konik Skalerleştirmenin daha iyi sonuç verebildiği görülmüştür.

Daha önce literatürde vardiya çizelgeleme üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Ancak çalışanların isteklerini göz önünde bulunduran bir çalışmaya rastlanamamıştır. Bu çalışmada çalışanların istekleri göz önünde bulundurulmuş ve her bir reyonun iş yükü farklı olduğu için çalışanların iş yükü açısından da dengeli ataması ele alınmıştır. Mevcut durumda sadece kişi sayısına bakarak atama yapılırken önerilen sistemle reyonların çalışan gereksinime göre atama yapılmıştır.

Bundan sonraki çalışmalarda, çalışanların tercihleri online bir sistem üzerinden toplanabilir ve atamalar otomatik olarak bu sistem üzerinden yapılabilir.

KAYNAKÇA

- Agrali, S., Taskin, Z. ve Unal, A. (2016). Employee scheduling in service industries with flexible employee availability and demand. *Omega*, 66 (PartA), 159-169.
- Atmaca, E., Pehlivan, C., Aydogdu, C. ve Yakici, M. (2012). Hemşire çizelgeleme problemi ve uygulaması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 28(4), 351-358.
- Bag, N., Ozdemir, N. ve Eren, T. (2012). 0-1 Hedef Programlama ve ANP Yöntemi ile Hemşire Çizelgeleme Problemi Çözümü. *International Journal of Engineering Research and Development*, 4(1), 2-6.
- Campbell, G. ve Diaby, M. (2002). Development and evaluation of an assignment heuristic for allocating cross-trained workers. *European Journal of Operational Research*, 138(1), 9-20.
- Croci, F., Perona, M. ve Pozzetti, A. (2000). Work-force management in automated assembly systems. *International Journal of Production Economics*, 64(1-3), 243-255.
- Col, G. (2013). *Kıdem Seviyelerine Göre İşgücü Çizelgeleme Problemine Hedef Programlama Yaklaşımı*. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir: Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dagdeviren, M. ve Eren, T. (2001). Tedarikçi Firma Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesive 0-1 Hedef Programlama Yöntemlerinin Kullanılması. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 16(2), 41-52.
- Eichfelder, G. (2009). An adaptive scalarization method in multiobjective Optimization. *SIAM Journal on Optimization*, 19(4), 1694–1718.
- Göksu, A. ve Güngör, İ. (2008). Bulanık Analitik Hiyerarşik proses ve üniversite tercih sıralamasında uygulanması. *İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(3), 1-26.
- Gür, Z. (2013). *Güvenlik görevlilerinin vardiya planlamasi ve süleyman demirel üniversitesinde bir uygulama*. Yüksek Lisans Tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Hojati, M. ve Patil, A. (2011). An integer linear programming-based heuristic for scheduling heterogeneous, part-time service employees. *European Journal of Operational Research*, 209(1), 37-50.

- İpekçi Çetin, E., Kuruüzüm, A. ve Irmak, S. (2008). Ekip çizelgeleme probleminin küme bölme modeli ile çözümü. *Havacılık ve uzay teknolojileri dergisi*, 3(4), 47-54.
- Kabak, Ö., Ülengin, F., Aktaş, E., Önsel, Ş. ve Topcu, Y. (2008). Efficient shift scheduling in the retail sector through two-stage optimization, *European Journal of Operational Research*, 184(1), 76-90.
- Kamisli, Z. ve Sagir, M. (2005). Çok ölçütlü çizelgeleme problemleri: gelinen nokta ve potansiyel araştırma alanları, *V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul Ticaret Üniversitesi*, 237-242.
- Karaatlı, M. (2010). *Bulanık ortamda çok amaçlı İşgücü çizelgeleme: hemşireler için bir uygulama*, Doktora Tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Karasay, T. (2016). *Mekanik otopark tesislerinin yer seçimi ve boyutlandırılması için genetik algoritma tabanlı bir yaklaşım*, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kasimbeyli, R., Kamaşlı, Z., Kasimbeyli, N., Dinc, G. ve İcmen, B. (2017). Comparison of Some Scalarization Methods in Multiobjective Optimization, *Bulletin of the Malaysian Mathematical Sciences Society*, 1-31.
- Küçük, A. (2016). *Hemşire çizelgeleme problemlerinin genetik algoritmalarla optimizasyonu ve bir uygulama*, Yüksek Lisans Tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Lagodimos, A. ve Leopoulos, V. (2000). Greedy heuristic algorithms for manpower shift planning, *International Journal of Production Economics*, 68(1), 95-106.
- Lin, H., Chen, Y., Chou, T. ve Liao, Y. (2012). Crew rostering with multiple goals: An empirical study, *Computers & Industrial Engineering*, 63(2), 483-493.
- Manap, G. (2010). *Turizm işletmelerinde vardiya planlaması beş yıldızlı bir otelde uygulama*, Doktora Tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Mason, A., Ryan, D. ve Panton, D. (1998). Integrated Simulation, Heuristic and Optimisation Approaches to Staff Scheduling, *Operations Research*, 46(2), 161-175.
- Mavrotas, G. (2009). Effective implementation of the e-constraint method in Multi-Objective Mathematical Programming problems, *Applied Mathematics and Computation*, 213(2), 455-465.

- Özçelik, S. (2011). *Çok yönlü personellerin değerlendirilmesi ve üretim hattı personel atama problemi için bir optimizasyon modeli*, Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Öztürkoğlu, Y. (2006). *Modern çalışma saatleri: esnek Vardiya planlamasi ve bir matematiksel model*, Yüksek Lisans Tezi. Kayseri: Erciyes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Rong, A. ve Grunow, M. (2009). Shift designs for freight handling personnel at air cargo terminals, *Transportation Research Part E*, 45(5), 725–739.
- Sağır, M., Öztürk, A. ve Öztürk, Ö. (2015). *Yöneylem Araştırması-II*. (2). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.
- Sawik, T. (2010). An integer programming approach to scheduling in a contaminated area, *Omega*, 38(3-4), 179-191.
- Shahnazari-Shahrezaei, P., Tavakkoli-Moghaddam, R. ve Kazemipoors, H. (2013). Solving a multi-objective multi-skilled manpower scheduling model by a fuzzy goal programming approach, *Applied Mathematical Modelling*, 37(7), 5424-5443.
- Sipahioğlu, A. ve Saraç, T. (2010). Çok amaçlı sırt çantası probleminin çözümüne yeni bir yaklaşım: konik skalerleştirme, *Endüstri mühendisliği dergisi*, 21(4), 2-12.
- Smet, P., Wauters, T., Mihaylov, M. ve Berghe, G. (2014). The shift minimisation personnel task scheduling problem: A new hybrid approach and computational insights, *Omega*, 46, 64-73.
- Sungur, B. (2006). *Esnek vardiya çizelgeleme problemleri için model önerileri ve bir işletmede uygulama*, Doktora Tezi. Kayseri: Erciyes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Sungur, B. (2008 a). Bulanık vardiya çizelgeleme problemleri için tamsayılı programlama modeli, *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 30, 211-227.
- Sungur, B. (2008 b). Haftada üç gün çalışan işgörenleri ve çoklu vardiyaları olan organizasyonların çizelgeleme problemleri için sıfır bir programlama modeli, *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 31, 187-197.
- Sungur, B. (2009). Hiyerarşik İşgücü Çizelgeleme Problemi İçin Tamsayılı Programlama Modeli, *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 24(2), 23-31.

- Teksan, Z. (2011). Integrated production planning, shift planning and detailed Scheduling in a tissue paper manufacturer, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tomas, J. (2010). A proposed mathematical model for the personnel scheduling problem in a manufacturing company, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Topaloğlu, S. (2009). A shift scheduling model for employees with different seniority levels and an application in healthcare, *European Journal of Operational Research*, 198(3), 943–957.
- Topaloğlu, S. ve Selim, H. (2010). Nurse scheduling using fuzzy modeling approach, *Fuzzy Sets and Systems*, 161(11), 1543-1563.
- Uluel, M. (2016). Çok amaçlı karesel atama problemlerinde matematiksel ve sezgisel çözüm yaklaşımları, Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ulusam, S., Gökçen, H. ve Kurt, M. (2007). An integer programming model for hierarchical workforce scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, 183(2), 694-699.
- Ulusam, S. ve Kurt, M. (2005). Bütünleşik tur-rotasyon çizelgeleme yaklaşımı ile işyükü minimizasyonu, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(2), 161-169.
- Ünal, F. ve Eren, T. (2016). Hedef Programlama ile Nöbet Çizelgeleme Probleminin Çözümü, *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 28-37.
- Varlı, E. ve Eren, T. (2017). Vardiya Çizelgeleme Problemi ve Bir Örnek Uygulama, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(2), 185 – 197.
- Vicente, V., Pe´rez, A. ve Quintanilla, S. (2009). Skilled workforce scheduling in Service Centres, *European Journal of Operational Research*, 193(3), 791-804.
- Yağcıoğlu, Ş. (2014). Doğrusal programlama ile vardiya planlaması, kredi ve yurtlar kurumu’nda bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi. Antalya: Akdeniz Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü.
- Yanmaz, Ö. (2016). Bir devlet hastanesinin acil servis biriminde çalışan doktorların vardiyalarının çizelgenmesi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yücesan, Ö. (2015). *Personel çizelgeleme probleminin sezgisel algoritmalarla gerçekleştirimi*, Yüksek Lisans Tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.

EK-1: GAMS KODU

```

*workforce-shift-scheduling assignment
Weighted Sum Scalarization Method
sets
i /1*7/
j /1*13/
k /1*5/
ii /1*1000000/;
parameters
w1,w2,results(ii,*),rf1,rf2
m(i) /1 3,2 3,3 3,4 3,5 3,6 5,7 5/
d(i) /1 7,2 7,3 7,4 7,5 7,6 9,7 9/
a(k) /1 1,2 2,3 3,4 4,5 5/;
table r(i,j)
  1  2  3  4  5  6  7  8  9  10 11 12 13
1  1  1  0  1  0  0  1  0  1  1  1  1  0
2  0  0  1  1  1  1  1  1  0  1  0  1  1
3  1  1  0  0  1  1  0  1  0  1  1  0  1
4  1  0  1  1  0  0  1  0  1  0  1  1  0
5  0  1  1  0  1  1  0  1  1  0  0  0  1
6  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1
7  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1;
variables
z;
positive variables
t(j)
q(j);
binary variables
xd(i,j)
xm(i,j)
yd(i,j,k)
ym(i,j,k)
xr(i,j);
equations
obj
co1(i,j)
co2(i,j)
co3(i,k)
co4(i,k)
co5(i,k)
co6(i,j)
co7(i,j)
co8(i,j)
co9(j)
co10(j)
co11(j);
obj.. z=e= w1*( sum(j), t(j) ) /780 +w2*( sum(j), q(j) ) /13 ;
co1(i,j)$((ord(i) ne 6)and (ord(i) ne 7)).. xd(i,j)+xm(i,j)+xr(i,j))=e=1;
co2(i,j)$((ord(i) eq 6)and (ord(i) eq 7)).. xd(i,j)+xm(i,j))=e=1;
co3(j) .. sum(i$((ord(i) ne 6)and (ord(i) ne 7)),xr(i,j))=e=1;
co4(i,k) .. sum(j,yd(i,j,k))=g=1;
co5(i,k) .. sum(j,ym(i,j,k))=g=1;
co6(i,j) .. xd(i,j)=l=sum(k,yd(i,j,k));
co7(i,j) .. 50*xd(i,j)=g=sum(k,yd(i,j,k));
co8(i,j) .. xm(i,j)=l=sum(k,ym(i,j,k));
co9(i,j) .. 50*xm(i,j)=g=sum(k,ym(i,j,k));
co10(j) .. sum(i,sum(k,(a(k)*yd(i,j,k)+a(k)*ym(i,j,k))))=l=t(j);
co11(j) ..sum(i$((ord(i)ne6)and(ord(i)ne7)),(xd(i,j)+xm(i,j))*r(i,j))=l=q(j);
model shiftscheduling /all/;
scalar o;
for (o=1 to 50,
  w1=o; w2=50-o;
  solve shiftscheduling using mip minimizing z;

  rf1= sum(j, t.l(j));
  rf2= sum(j, q.l(j));
  results(ii,"w1")$(ord(ii)=o)=w1;
  results(ii,"w2")$(ord(ii)=o)=w2;
  results(ii,"f1")$(ord(ii)=o)=rf1;
  results(ii,"f2")$(ord(ii)=o)=rf2

```

);

***workforce-shift-scheduling assignment**

Conic Scalarization Method

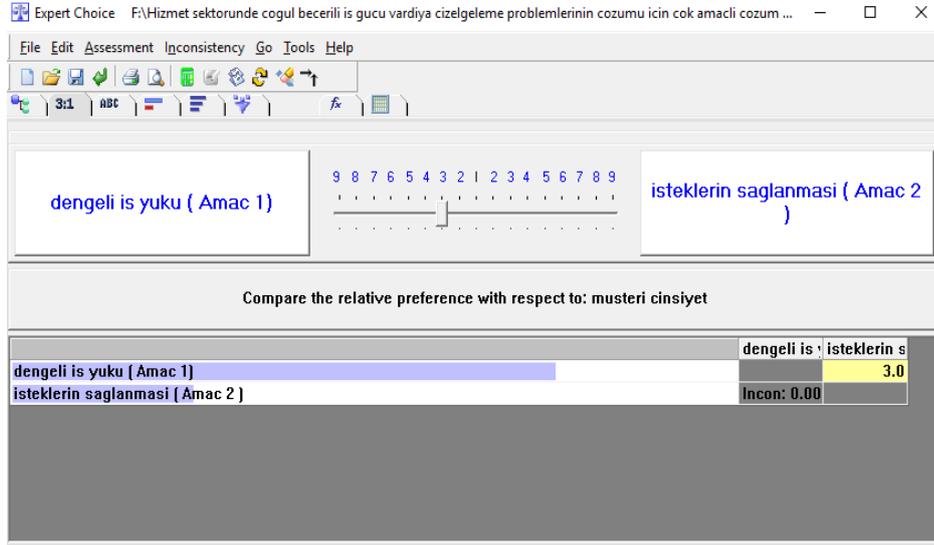
```
sets
i /1*7/
j /1*13/
k /1*5/
ii /1*1000000/
parameters
w1,w2,rf1,rf2,f1,f2,alfa /1/, alfaus,r1 /2.769/,r2 /16.307/,results(ii,*) ,sayac/1/
m(i) /1 3,2 3,3 3,4 3,5 3,6 5,7 5/
d(i) /1 7,2 7,3 7,4 7,5 7,6 9,7 9/
a(k) /1 1,2 2,3 3,4 4,5 5/;
table r(i,j)
  1  2  3  4  5  6  7  8  9  10 11 12 13
1  1  1  0  1  0  0  1  0  1  1  1  1  0
2  0  0  1  1  1  1  1  1  0  1  0  1  1
3  1  1  0  0  1  1  0  1  0  1  1  0  1
4  1  0  1  1  0  0  1  0  1  0  1  1  0
5  0  1  1  0  1  1  0  1  1  0  0  0  1
6  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1
7  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1 ;

variables
z;
positive variables
t(j)
q(j);
binary variables
xd(i,j)
xm(i,j)
yd(i,j,k)
ym(i,j,k)
xr(i,j);
equations
obj
co1(i,j)
co2(i,j)
co3(i,k)
co4(i,k)
co5(i,j)
co6(i,j)
co7(i,j)
co8(i,j)
co9(j)
co10(j)
co11(j);
obj.. z=e-w1*(sum((j),t(j))-r1)+
      w2*(sum((j),q(j))-r2)+
      alfa*(abs(sum((j),t(j))-r1)+abs(sum((j),q(j))-r2));
co1(i,j)$((ord(i) ne 6)and (ord(i) ne 7)).. xd(i,j)+xm(i,j)+xr(i,j)=e=1;
co2(i,j)$((ord(i) eq 6)and (ord(i) eq 7)).. xd(i,j)+xm(i,j)=e=1;
co3(j) .. sum(i$((ord(i) ne 6)and (ord(i) ne 7)),xr(i,j))=e=1;
co4(i,k) .. sum(j,yd(i,j,k))=g=1;
co5(i,k) .. sum(j,ym(i,j,k))=g=1;
co6(i,j) .. xd(i,j)=l=sum(k,yd(i,j,k));
co7(i,j) .. 50*xd(i,j)=g=sum(k,yd(i,j,k));
co8(i,j) .. xm(i,j)=l=sum(k,ym(i,j,k));
co9(j) .. 50*xm(i,j)=g=sum(k,ym(i,j,k));
co10(j) .. sum(i,sum(k,(a(k)*yd(i,j,k)+a(k)*ym(i,j,k))))=l=t(j);
co11(j) ..sum(i$( (ord(i)ne6)and(ord(i)ne7)),(xd(i,j)+xm(i,j))*r(i,j))=l=q(j);
model shiftscheduling /all/;
scalar o;
sayac=1;
for (o=1 to 50,
  w1=o; w2=50-o;
  alfaus= min (w1,w2);
  alfa=1;
  while ( alfa<alfaus),
    solve shiftscheduling using minlp minimizing z;

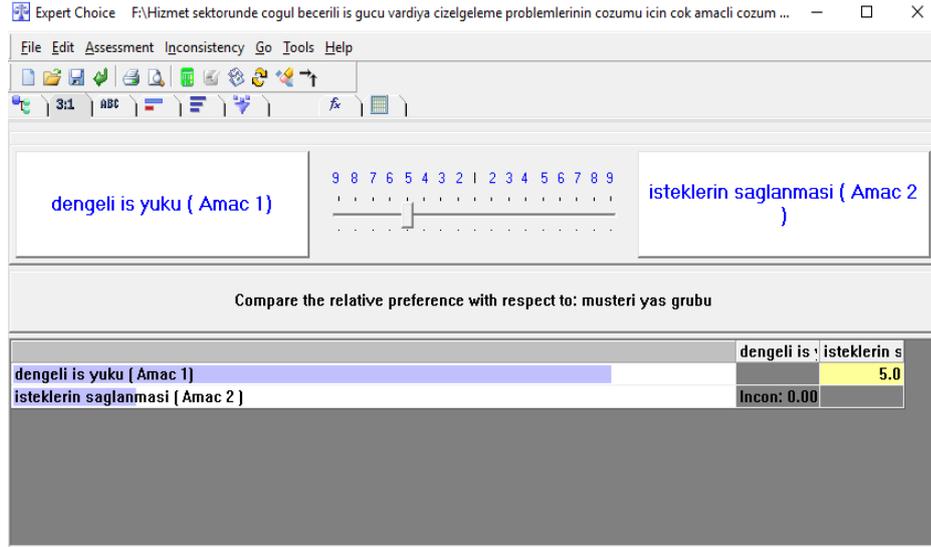
    rf1= sum(j, t.l(j));
```

```
        rf2= sum(j, q.l(j));
        results(ii,"w1")$(ord(ii)=sayac)=w1;
        results(ii,"w2")$(ord(ii)=sayac)=w2;
        results(ii,"alfa")$(ord(ii)=sayac)=alfa;
        results(ii,"f1")$(ord(ii)=sayac)=rf1;
        results(ii,"f2")$(ord(ii)=sayac)=rf2;
        sayac=sayac+1;
        alfa=alfa+1;
    );
);
```

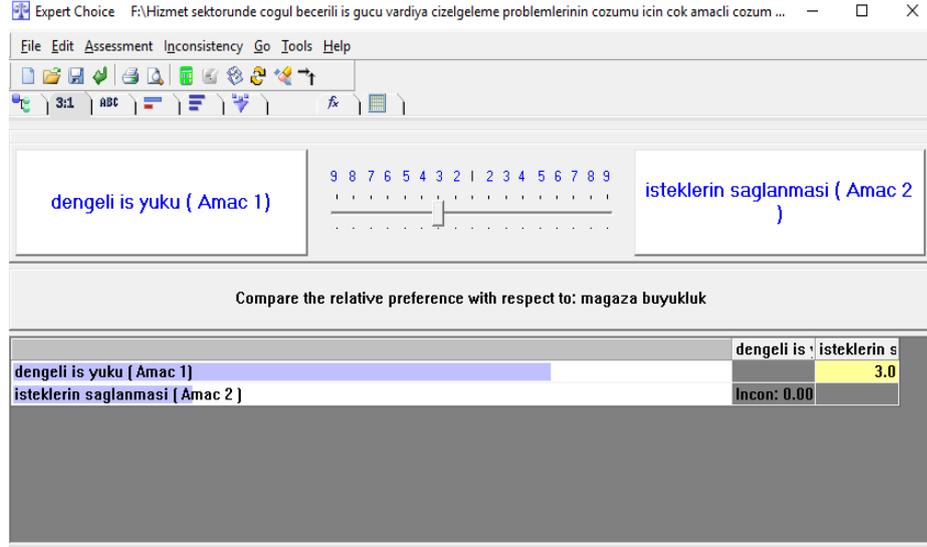
EK-2: ANA ÖLÇÜTLER TEMELİNDE YAPILAN İKİLİ KARŞILAŞTIRMALAR



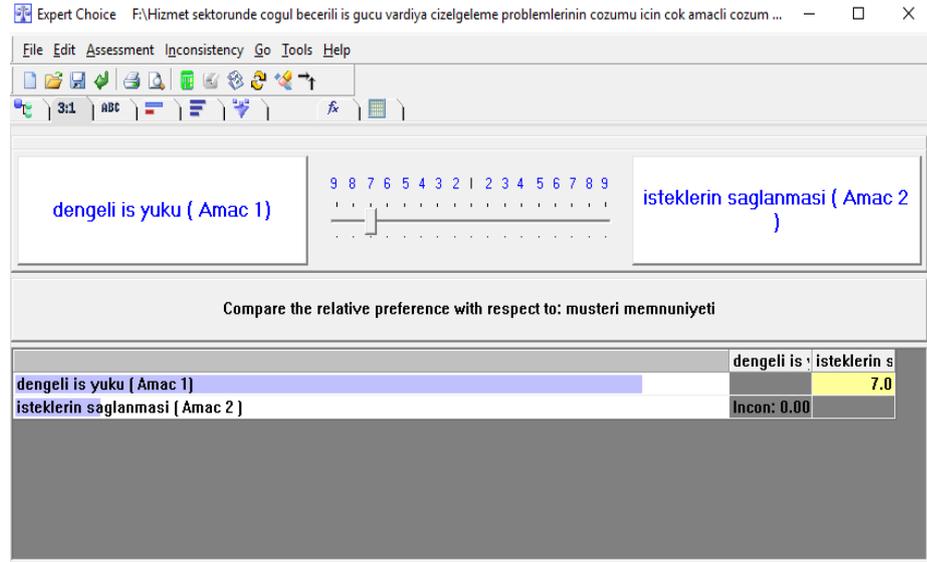
Şekil 3.12. Müşteri cinsiyetini dikkate alarak 2 alternatif arasında ikili karşılaştırma



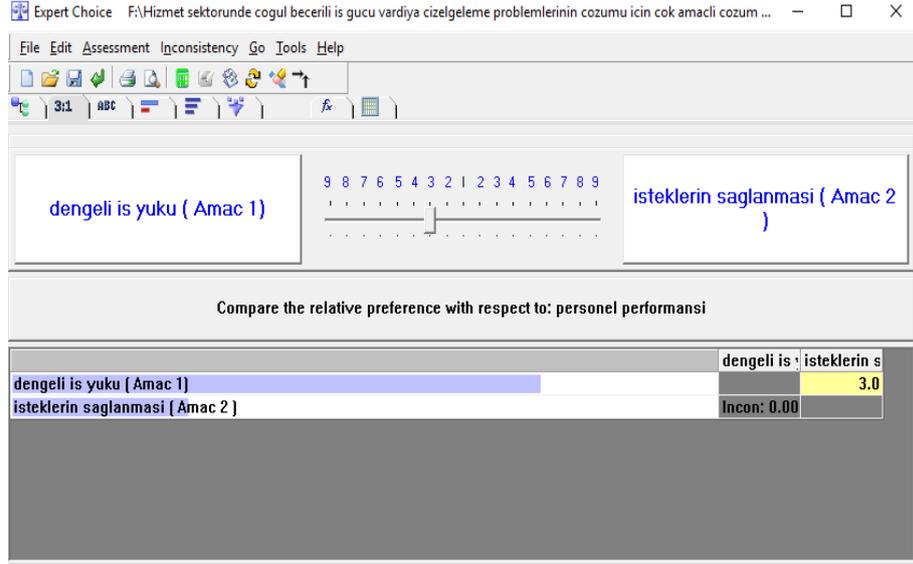
Şekil 3.13. Müşteri yaş grubunu dikkate alarak 2 alternatif arasında ikili karşılaştırma



Şekil 3.14. Mağaza büyüklüğünü dikkate alarak 2 alternatif arasında ikili karşılaştırma



Şekil 3.15. Müşteri memnuniyetini dikkate alarak 2 alternatif arasında ikili karşılaştırma



Şekil 3.16. Personel performansını dikkate alarak 2 alternatif arasında ikili karşılaştırma

EK-3: PERSONELLERİN HAFTALIK MEVCUT VARDİYA ÇİZELGESİ

Personel	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
Onur	1	1	0	1	1	1	1
Doğukan	1	0	1	1	1	1	1
Remziye	1	1	1	0	1	1	1
Yunus	1	1	1	1	0	1	1
Akın	1	0	1	1	1	1	1
İlker	1	1	0	1	1	1	1
Sedat	1	0	1	1	1	1	1
Didem	1	1	0	1	1	1	1
Yalçın	1	1	1	1	0	1	1
Mehmet	1	1	1	0	1	1	1
Ahmet	0	1	1	1	1	1	1
Mustafa	1	1	1	1	0	1	1
Hüseyin	0	1	1	1	1	1	1

EK-4: PERSONELLERİN İZİN GÜNÜ TERCİHLERİ

$r_{i,j} : \begin{cases} 0 & j. \text{ personel izin için } i. \text{ günü tercih ediyorsa} \\ 1 & d. d. \end{cases}$

Personel	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
Onur	1	0	1	1	0	1	1
Doğukan	1	0	1	0	1	1	1
Remziye	0	1	0	1	1	1	1
Yunus	1	1	0	1	0	1	1
Akın	0	1	1	0	1	1	1
İlker	0	1	1	0	1	1	1
Sedat	1	1	0	1	0	1	1
Didem	0	1	1	0	1	1	1
Yalçın	1	0	0	1	1	1	1
Mehmet	1	1	1	0	0	1	1
Ahmet	1	0	1	1	0	1	1
Mustafa	1	1	0	1	0	1	1
Hüseyin	0	1	1	0	1	1	1

EK-5: PERSONELLERİN İSTEKLERİ DOĞRULTUSUNDA OLUŞTURULAN GÜNLÜK ÇİZELGESİ

Personel	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
Onur	1	0	1	1	1	1	1
Doğukan	1	1	1	1	0	1	1
Remziye	1	1	0	1	1	1	1
Yunus	1	1	1	1	0	1	1
Akın	1	1	0	1	1	1	1
İlker	1	1	1	0	1	1	1
Sedat	1	0	1	1	1	1	1
Didem	0	1	1	1	1	1	1
Yalçın	1	1	1	0	1	1	1
Mehmet	1	1	1	1	0	1	1
Ahmet	1	0	1	1	1	1	1
Mustafa	1	1	0	1	1	1	1
Hüseyin	1	1	1	0	1	1	1

EK-6: PERSONELLERİN İSTEKLERİ DOĞRULTUSUNDA OLUŞTURULAN HAFTALIK VARDIYA ÇİZELGESİ W1=50, W2=0

Günler Vardiya Personel	Pazartesi		Salı		Çarşamba		Perşembe		Cuma		Cumartesi		Pazar	
	Xm	Xd	Xm	Xd	Xm	Xd	Xm	Xd	Xm	Xd	Xm	Xd	Xm	Xd
Onur	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Doğukan	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0
Remziye	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0
Yunus	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1
Akın	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1
İlker	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0
Sedat	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1
Didem	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0
Yalçın	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0
Mehmet	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0
Ahmet	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1
Mustafa	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1
Hüseyin	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1

EK-7: PERSONELLERE AİT TOPLAM İŞ YÜKÜ ÇİZELGESİ

Personel	Toplam iş yükü miktarı
Onur	74
Doğukan	12
Remziye	11
Yunus	7
Akın	10
İlker	14
Sedat	12
Didem	12
Yalçın	12
Mehmet	13
Ahmet	12
Mustafa	11
Hüseyin	12