ÇOK YÖNLÜ PERSONELLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÜRETİM HATTI PERSONEL ATAMA PROBLEMİ İÇİN BİR OPTİMİZASYON MODELİ

Sema ÖZÇELİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAZİRAN 2011
ANKARA

Sema ÖZÇELİK tarafından hazırlanan "ÇOK YÖNLÜ PERSONELLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÜRETİM HATTI PERSONEL ATAMA PROBLEMİ İÇİN BİR OPTİMİZASYON MODELİ" adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Metin DAĞDEVİREN ……

Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oybirliği ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Cevriye Gencer ……

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Metin DAĞDEVİREN ……

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Ergün Eraslan ……

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Başkent Üniversitesi

Tarih: 29/06/2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU ……

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Sema ÖZÇELİK

ÇOK YÖNLÜ PERSONELLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÜRETİM HATTI PERSONEL ATAMA PROBLEMİ İÇİN BİR OPTİMİZASYON MODELİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Sema ÖZÇELİK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran, 2011

ÖZET

Personel atama, emek yoğun üretim sistemlerinde verimliliği, dolayısıyla karlılığı etkileyen önemli kararlardan birisidir. Emek yoğun üretim sistemleri genellikle küçük, basit ve ucuz makine ve ekipmanlar gerektirir. Bu sistemlerde üretim personeli, makine yoğun üretim sistemlere göre sayıca daha fazladır ve personel ataması hattın hızını direkt olarak etkilemektedir. Pratik uygulamalarda üretim faaliyetlerini gerçekleştirmek üzere personelin performansı, kabiliyeti önemli bir kısıt iken; literatürde personel atama problemlerinde bu kısıt göz ardı edilmektedir. Personel atama kararlarının niteliği ve doğruluğu büyük ölçüde atanan personelin deneyimine, yetkinliğine, işe uyumuna, performansına ve kişisel özelliğine bağlıdır. Personel atama problemi için önerilen yaklaşım 3 aşamadan oluşmaktadır: Birinci aşama; personel performanslarının değerlendirilmesinde kullanılacak kriter/alt kriter önceliklerinin bulanık AHP yöntemi kullanılarak belirlenmesi. İkinci aşama; nitel ve nicel alt kriterler temelinde personellerin performansını değerlendirirerek alfa kesme yöntemi ile personel performans değerlerinin elde edilmesi ve performansa dayalı personel kategorilerinin oluşturulması. Üçüncü aşama; karışık tamsayılı doğrusallaştırılmış programlama modeli kurarak aylık ürün talebini karşılamak üzere üretim hatlarına optimum personel ve ürün

atamasının gerçekleştirilmesi. Personel atama optimizasyonunda amaç, yetenek seviyesi ile atanan personel miktarı çarpımını minimize etmek olarak belirlenmiştir. Böylece yetkin personel ataması minimize edilecek ve daha sonraki atamalarda esneklik sağlanacaktır. Metodolojinin, gerçek yaşamda uygulanabilirliğine perspektif oluşturmak için bir elektronik firmasında uygulaması yapılmıştır. Yapılan tezde, tüm üretim zamanları ve talepler deterministiktir, bir üretim hattına sadece bir çeşit ürün atanabilirken, talep bölünebilmektedir.

Bilim Kodu : 906.1.141
Anahtar Kelimeler : Personel Değerlendirme, Personel Atama, Çok Ölçütlü Karar Verme, Bulanık AHP, Alfa Kesme Yöntemi, Karışık Tamsayılı Programlama
Sayfa Adedi : 128
Tez Danışmanı :Doç. Dr. Metin DAĞDEVİREN

EVALUATION OF EMPLOYEES WITH MULTIPLE SKILLS AND OPTIMIZATION OF MULTI-LINE EMPLOYEE ALLOCATION PROBLEM

(M.Sc. Thesis)

Sema ÖZÇELİK

GAZI UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

June, 2011

ABSTRACT

Employee allocation is one of the most important decision that can achieve productivity gains in a labor-intensive manufacturing system. Labor-intensive manufacturing systems usually consist of small, simple and inexpensive machines and equipments. The employee involvement in labor-intensive manufacturing line is greater than in machine-intensive manufacturing lines and indeed employee allocation directly affects the output rate of the line. Literature focusing on the employee allocation problem does not consider the difference in operation skill requirement, which is often a constraint for practical applications. The quality of employee allocation decision is largely depending on experiences, qualifications, job orientation, performance, personal characteristics of the allocated employee. The proposed approach which is motivated by this strong relationship between performance of employees and the final allocation decision has three phases; first phase is weightining the employee evaluation criteria by using Fuzzy AHP, second phase is evaluating of the multi-skilled employees based on both qualitative and quantitative criteria and determining the categories by using a combination of the alpha cut analysis and a non-parametric statistical test_Kruskal Wallis, third phase is determining the optimal solution of the multi-line employee allocation problem by formulating the linearized nonlinear MIP model. The optimization problem of finding an allocation of workers to the line minimizes the multiplication of

staffing and skill levels and determines the minimum number of workers which satisfies the monthly demand. An actual application in an Turkish Defense Industry firm is also represented to prove the practicality of the method in reality. In application, all processing times and demands are deterministic and in an manufacturing line there is only one kind of product, but for a product lot-splitting is allowed.

Science Code : 906.1.141
Key Words : Employee Evaluation, Employee Allocation, Multiple Criteria Desicion Making, Fuzzy AHP, Alpha Cut Method, Mixed Integer Programming
Page Number : 128
Adviser : Assoc. Prof. Dr. Metin DAĞDEVİREN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca kıymetli bilgi ve tecrübelerini aktaran, eğitimim süresince yardımlarını esirgemeyen, beni yönlendiren, destekleyen ve sabırla dinleyen değerli Hocam Doç. Dr. Metin DAĞDEVİREN'e en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Personel değerlendirme süresince kıymetli zaman ve tecrübelerinden faydalandığım çalışma arkadaşlarıma ve çalışmalarımda her türlü kolaylığı sağlayan değerli amirim Sedat BAYAR'a,

Bana çalışmanın tüm aşamalarında destek olan ve yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarıma,

Tez projemi destekleyerek bana maddi olanak sağlayan bilimin ve bilim insanının destekçisi TÜBİTAK'a,

Canım aileme, özellikle annem Ayşe ÖZÇELİK'e ve maddi manevi bana her türlü desteği sağlayan GÜNDÜZ ailesine ve Yüksel TÜZÜNER'e gösterdikleri özveri ve desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT vi

TEŞEKKÜR viii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ xii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xiv

SİMGELER VE KISALTMALAR xv

1. GİRİŞ 1

2. PERFORMANS DEĞERLENDİRME VE PERSONEL ÇİZELGELEME 5

2.1. Performans Değerlendirme 5

2.2. Personel Çizelgeleme Kavramı 7

2.2.1. Personel çizelgeleme problemi 8

2.2.2. Personel çizelgelemesinin aşamaları 10

2.2.3. Personel çizelgelemede sınıflandırma 13

2.2.4. Personel çizelgelemede yeni yaklaşımlar 20

3. LİTERATÜR TARAMASI 25

3.1. Uygulama Alanları Bakımından Literatür Taraması 25

3.2. Personel Çizelgeleme Problemleri İçin Çözüm Metotları 33

3.2.1. Talep tahmin yaklaşımları 33

3.2.2. Yapay zeka yaklaşımları 33

3.2.3. Meta sezgiseller 34

3.2.4. Matematiksel programlama yaklaşımları 35

Sayfa

4. PROBLEMİN TANIMI VE ESİNLENİLEN YÖNTEMLER 37
4.1. Problemin Tanımı 37
4.2. Karar Verme Süreci ve AHP 38
4.2.1. Hiyerarşik yapının oluşturulması 40
4.2.2. İkili karşılaştırma ve üstünlüklerin belirlenmesi 41
4.2.3. Tutarlılık 43
4.2.4. AHP aksiyomları 44
4.2.5. AHP'nin avantajları ve sınırlamalar 44
4.3. Bulanık Mantık ve Karar Verme 46
4.3.1. Bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları 48
4.3.2. Üçgensel bulanık sayılarda temel işlemler 51
4.3.3. Bulanık küme teorisinin uygulama alanları 52
4.4. Bulanık AHP Yöntemi 53
4.4.1. Genişletilmiş bulanık AHP yöntemi 54
4.4.2. Toplam entegral değer yöntemi 57
4.4.3. BAHP'de tutarlılık 59
4.5. Performans Önceliklerinde Durulaştırma: α Kesme Yöntemi 61
4.6. Parametrik Olmayan İstatistiksel Model: Kruskal-Wallis Testi 62
4.7. Tamsayılı Doğrusal Programlama Modelleri 64
5. ÖNERİLEN YÖNTEM 66
5.1. Birinci Aşama: BAHP ile Kriter/Alt Kriter Ağırlıklarının Elde Edilmesi 67
5.2. İkinci Aşama: Personel Performanslarının Değerlendirilmesi 68

Sayfa

5.3. Üçüncü Aşama: Modelin Kurulması ve Personel Atamalarının Elde Edilmesi 69

6. UYGULAMA 74

6.1. Birinci Aşama: BAHP ile Kriter/Alt Kriter Ağırlıklarının Elde Edilmesi ... 74

6.2. İkinci Aşama: Personel Performanslarının Değerlendirilmesi 83

6.3. Üçüncü Aşama: Modelin Kurulması ve Personel Atamalarının Elde Edilmesi 88

7. SONUÇ 92

KAYNAKLAR 95

EKLER 104
EK-1. Personel 1-5 için Yapılan Değerlendirmeler 105
EK-2. Modelin GAMS Dilinde Kodlanması 110
EK-3. Modelin Açık Yazımı 113
EK-4. Modelin Çözümü 119

ÖZGEÇMİŞ 128

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.1. AHP önem değerleri 42

Çizelge 4.2. Klasik mantık ile bulanık mantık arasındaki temel farklılıklar 47

Çizelge 4.3. Bulanık AHP'nin uygulama alanları 53

Çizelge 4.4. Rassal indeks değerleri 61

Çizelge 5.1. Üçgensel bulanık sayılar 68

Çizelge 5.2. Personel değerlendirmede kullanılan dilsel değişlenler skalası 69

Çizelge 6.1. Personel değerlendirmede kullanılacak kriter ve alt kriterler 76

Çizelge 6.2. Ana kriterler için bulanık karşılaştırma matrisi 77

Çizelge 6.3. "Kişisel özellikler" alt kriterlerinin ikili karşılaştırılması 80

Çizelge 6.4. "Deneyim" alt kriterlerinin ikili karşılaştırılması 80

Çizelge 6.5. "Yetkinlik" alt kriterlerinin ikili karşılaştırılması 81

Çizelge 6.6. "İşe uyum" alt kriterlerinin ikili karşılaştırılması 81

Çizelge 6.7. "Montaj kabiliyeti" alt kriterlerinin ikili karşılaştırılması 81

Çizelge 6.8. "Kontrol kabiliyeti" alt kriterlerinin ikili karşılaştırılması 82

Çizelge 6.9. "Test kabiliyeti" alt kriterlerinin ikili karşılaştırılması 82

Çizelge 6.10. Alt kriterlere ait global ağırlıklar 83

Çizelge 6.11. Eğitim seviyesi için değerlendirme skalası 84

Çizelge 6.12. Birinci personel için yapılan durulaştırma 85

Çizelge 6.13. Kategorilenmiş personel kümesi 86

Çizelge 6.14. Personel datası 89

Çizelge 6.15. Birim üretim zamanı ve talep miktarı 90

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 6.16. Kategorilerdeki personelin ataması(b_k) ve amaç fonksiyonu (a_k*b_k) .. 90

Çizelge 6.17. Aylık üretilebilecek miktar ve hattın hızı(r_{il})..... 91

Çizelge 6.18. Aylık personel atama çizelgesi 91

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Performans değerlendirme süreci 6

Şekil 3.1. Havayolu ekip planlamanın çizelgeleme içindeki yeri 27

Şekil 4.1. Düz montaj hatları..... 37

Şekil 4.2. Analitik hiyerarşi yapısı örneği..... 40

Şekil 4.3. İkili karşılaştırma matrislerinin gösterimi..... 42

Şekil 4.4. Sayıların komşuluğu 50

Şekil 4.5. Yamuk sayı komşuluğu 51

Şekil 4.7. M_1 ve M_2 üçgen bulanık sayılarının kesişimi 56

Şekil 5.1. Problemin çözümünde kullanılacak prosedür..... 66

Şekil 6.1. Personeller için alt ve üst öncelik değerlerinin grafiksel gösterimi..... 85

Şekil 6.2. Hipotes testi için SPSS'e veri girişi..... 87

Şekil 6.3. Kruskal Wallis testi _SPSS çıktısı..... 88

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu tezde kullanılmış bazı kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	**Açıklama**
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
BAHP	Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi
ÇKKK	Çok Kriterli Karar Verme
KWT	Kruskal Wallis Testi
NP	Nonliner Programlama
RI	Rassal İndeks
TI	Tutarlılık İndeksi
TO	Tutarlılık Oranı
WIP	Work In Proses

1. GİRİŞ

Çizelgeleme, birçok üretim ve hizmet endüstrisinde düzenli olarak kullanılan bir karar verme sürecidir. Kıt kaynakların, görevlere zamanı gözeterek amaçları optimize edecek şekilde tahsisine denir.

Personel çizelgeleme, işletmelerin mal üretimi ve hizmetlerini sağlayabilmek için personelin çalışma sürelerini planlama sürecidir. Bu sürecin ilk aşaması talep edilen hizmeti sağlayacak şekilde belirli özellikteki çalışan sayısının belirlenmesini içerir. Çizelgeleme problemi, bir personel çizelgesinde her personelin çalıştığı ya da çalışmadığı günleri gösterir ve günlük personel ihtiyacını karşılayacak gerekli işgücü miktarını sağlar. Amaç, uygun sayıda personeli minimum işgücü maliyeti ile yerleştirmektir [1].

Hizmet endüstrilerinde personel çizelgeleme probleminin bazı ayırt edici özellikleri vardır. İlk özellik, talebin kısa vadede çok fazla dalgalanma ve haftanın 7 günü meydana gelme eğiliminde olmasıdır. İkinci bir özellik; insan performansının, hizmetinin stoklanamamasıdır. Üçüncü bir özellik ise müşteri memnuniyetinin önemli olmasıdır. Personel sayısındaki azalmanın, hizmet kalitesini kötüleştirebileceği, uzun bekleme hatları oluşturabileceği ve sonucunda müşteri memnuniyetsizliğine yol açabileceği görülmektedir [2].

Personel atama problemlerinde dağıtım işlemi yapılırken;

- İş kanunlarının emredici hükümleri,
- Yapılacak işin özelliği,
- Fazla mesai ücretinin maliyet yükü,
- Personelin tam zamanlı veya kısmi zamanlı çalışıp çalışmadığı,
- Tam zamanlı çalışan personelin haftada en az çalışma süresi,
- Tam zamanlı çalışan personelin haftalık çalışma sürelerinin eşit (veya eşite yakın) olması

- Personelin özel istekleri,
- İşyeri yönetiminin özel istekleri gibi unsurlar dikkate alınmaktadır [3]. Bu özellikleriyle personel çizelgeleme problemleri birçok kısıtın bir arada ele alınması gerektirmektedir.

Üretimde çizelgeleme kavramı 4 başlık altında incelenebilir:

- ✓ Atölye tipi - akış tipi çizelgeleme
- ✓ İş gücü çizelgeleme
- ✓ Tezgah çizelgeleme (Esnek üretim sistemleri)
- ✓ AGV çizelgeleme ve rotalama (Esnek üretim sistemleri)

İşgücü çizelgeleme, üretim ortamlarındaki üretim iş emirlerine ait operasyonların işgücü kaynakları tarafından işlenme zamanlamalarının veya sıralamalarının belirlenme faaliyetleridir. Amaç, en özet şekliyle işgücü kaynaklarının en iyi şekilde kullanılarak müşteri ile anlaşılan teslimat tarihlerine uyulmasını sağlamaktır. Çizelgeleme süreci sonucu oluşturulan çizelge, her bir talebin ilk ürününün beklenen başlama zamanı ile son ürününün tüm üretim operasyonları için beklenen bitiş zamanlarını içerir.

Personel çizelgeleme literatürde çok uğraşılmış bir NP-zor optimizasyon problemidir. İlgili optimal çizelgeyi oluşturmak sanıldığı kadar kolay değildir. Değişken varsayımlar ve katı kısıtlar altında uygun çözümlerin bulunması bile çoğu kez uzun bir çalışma gerektirmektedir. Personel çizelgeleme geniş bir uygulama alanına sahip olması uygulandığı alana göre değişen varsayımların ve kısıtların dikkate alınmasına yol açmaktadır. Personel çizelgeleme problemi için önerilen modeller, kesin matematiksel modeller ve zeki arama sezgiselleri olarak 2 grupta incelenebilir. Genellikle küçük boyutlu problemlerde kaliteli çözümleri, kısa zamanda kesin matematiksel modeller vermektedir. Personel çizelgeleme probleminin tamsayılı programlama yaklaşımında kullanılan LINGO, MINTO, GAMS gibi birçok ticari yazılımlar mevcuttur. Uygulamalarda yüzlerce personelli büyük boyutlu problemlerde sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Genetik algoritma,

tavlama benzetimi, karınca kolonileri algoritması gibi sezgiseller uygun yöre arama kuralları, hafıza yapıları, çözümlerin kombinasyonu gibi kendilerine özgü özellikleri kullanarak çözüm uzayını sistematik olarak ayrıştıran iyileştirici sezgisellerdir.

Bu tezin amacı, emek yoğun üretim yapan üretim sistemlerinde çalışan personellerinin değerlendirilmesi ve işgücü kaynaklarının en iyi şekilde kullanılarak aylık taleplerin karşılanması için düz montaj hatlarına aylık personel atamasının sağlanmasıdır.

Tezde, ilgilenilen konu performans değerlendirme ve personel çizelgeleme problemi olduğundan, ikinci bölümde performans değerlendirme ve personel çizelgeleme ile temel kavramlar, personel çizelgelemenin önemi, aşamaları ve sınıflandırılması incelenmiştir.

Üçüncü bölümde, literatürde konuyla ilgili yapılmış çalışmalar özetlenmiştir. Bu bölümde öncelikle uygulama alanları bakımından problem ile ilgili detaylı literatür çalışması yer almaktadır. Daha sonra personel çizelgeleme problemleri için çözüm metodları anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde ise, ilk olarak performans değerlendirmesinde kullanılacak bulanık AHP tekniği incelenmiştir. Bu bölümde, öncelikle problemin belirli sayıda personel (54 üretim personeli) ve alt kriter (27 adet) içermesi nedeniyle, çözüm için çok kriterli karar verme (ÇKKV) teknikleri üzerinde durulmuştur. Daha sonra sırasıyla personel kategorilerinin oluşturulmasında kullanılan parametrik olmayan istatistiksel modellerden biri olan Kruskal-Wallis Testi (KWT) ve personel çizelgelemede kullanılacak tamsayılı doğrusal programlama üzerinde durulmuştur. Ve son olarak problemin tanımına yer verilmiştir.

Beşinci bölümde, problemin çözümüne ilişkin önerilen yöntem anlatılmıştır. Önerilen yöntem, 3 aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, BAHP ile kriter/alt kriter ağırlıklarının elde edilmektedir; ikinci aşamada, personel performanslarının değerlendirilmesi yapılmakta ve personel kategorileri oluşturulmaktadır; üçüncü

aşamada ise personel aylık çizelgelemesi için karışık tamsayılı doğrusallaştırılmış programlama modeli oluşturulmaktadır.

Altıncı bölümde, önerilen yöntem Ankara'da elektronik cihaz üreten bir fabrikadaki personel değerlendirme ve çizelgeleme problemine uyarlanmıştır. Fabrikanın mevcut çizelgelemesi incelenmiş ve bu konudaki problemi tanımlanmıştır. Fabrika için, önerilen modellerin çözüm olarak getirdiği personel atamaları ve aylık çizelgelemeleri sunulmuştur.

Sonuç ve öneriler bölümünde, çalışmanın sonuçları değerlendirilmiş ve ileriki çalışmalar için bir takım önerilerde bulunulmuştur.

2. PERFORMANS DEĞERLENDİRME VE PERSONEL ÇİZELGELEME

2.1. Performans Değerlendirme

Performans, bir kişinin sahip olduğu potansiyel veya reel bilgi, maharet ve kabiliyetlerini hedeflerine veya beklentilerine ulaşabilmek için ne ölçüde kullanabildiğini tanımlayan bir kavramdır. Bir başka ifadeyle insanın sahip olduğu kapasitesini, bir işi belli zaman dilimi içinde başarıyla tamamlamada kullanabilme yüzdesidir [4].

Performans değerlendirme kavramı ise değişik kaynaklarda farklı terimlerle tanımlanmakla birlikte, genel olarak sınıflandırma (rating), değerlendirme (evaluation) ve ölçme (apprasial) sözcükleri ile birlikte kullanılmaktadır. Performans değerlendirme için literatürde yer alan bazı tanımlarda sadece kişinin özelliklerinin değerlendirildiği belirtilmektedir [5]. Performans değerlendirme, Cascio [6] tarafından kişi veya grubun iş ile ilgili özelliklerinin değerlendirilmesi, Şenatalar [7] tarafından işgörenin işinde sağladığı başarı ve gelişme yeteneğinin sistematik olarak değerlendirilmesi, Mondy [8] tarafından bireyin iş performansının periyodik ve sistematik olarak değerlendirilmesi olarak tanımlanmıştır.

Performans, kişinin kendi potansiyelini geliştirmeye ve kullanmaya ne ölçüde kararlı olduğuna bağlıdır. Kişinin sahip olduğu potansiyel gücün sınırları belirsiz olduğundan sürekli iyileştirilmeye ve geliştirilmeye açıktır. Bu noktadan hareketle, sürekli kendini iyileştirme ve geliştirme duygusunu taşıyan kişinin performansının da artacağı kabul edilmektedir. Ayrıca çalışanlar kendini geliştirmedikçe, dışarıdan müdahalelerle veya sistem değişiklikleriyle kalıcı performans iyileştirmeleri yapmak mümkün değildir [9].

Performans değerlendirme sürecinin planlanması ve uygulanmasına yönelik farklı yöntemlerden bahsetmek mümkündür. Önemli olan, işletmenin yapısına ve kültürüne uygun olan bir değerlendirme sürecinin planlanmasıdır. Performans değerlendirme süreci, değerlendirmede kullanılacak kriterlerin belirlenmesi ile başlayıp

değerlendirme sonuçlarının uygulanmaya alınması ile sonuçlanan bilimsel bir süreçtir. Bu bilgiler ışığında performans değerlendirme süreci Şekil 2.1'de gösterilebilir.



Şekil 2.1. Performans değerlendirme süreci[10]

Literatürde değişik performans değerleme yöntemleri vardır. Klasik ve modern yöntemler olarak iki gruba ayrılır [9]:

Klasik performans değerlendirme yöntemleri sadece kişilik özelliklerini ve yeteneklerini temel alan belli standartlar üzerine kurulmuş yöntemleri kapsamaktadır. Bu yöntemlerin ortak özelliği; değerlendirmenin gizliliği, değerlendirilenlerin değerleme sürecine aktif olarak katılmamaları ve değerlendirmelerin denetim, ceza ve ödüllendirmeye yönelik olmasıdır.

Modern performans değerlendirme yöntemleri de, modern yönetim düşüncesi doğrultusunda klasik performans değerlendirme yöntemlerinin uygulamadaki sakıncalarını ortadan kaldırmak, objektif değerlendirmeler yapabilmek ve ortaya

konulmuş performans ile çalışanın gelecekte göstereceği performans potansiyelini belirlemek için geliştirilmiştir.

Klasik ve modern performans değerlendirme yöntemlerinin dışında geliştirilen analitik performans değerlendirme yöntemlerinde ise tamamen yapılan iş miktarı veya çalışma koşulları temel alınarak değerlendirme yapılmış, işgörenin kişisel özellikleri değerlendirme dışında tutulmuştur. Performans değerlendirme sürecinde yukarıda açıklanan yöntemlerin dışında kalite yönetimi, bulanık küme teorisi, analitik hiyerarşi prosesi gibi yöntemler de kullanılmıştır [9].

2.2. Personel Çizelgeleme Kavramı

Personel çizelgelemesi ise, bir iş yerinde çalıştırılması gereken en az personel sayısının ve uygulanacak çalışma çizelgesinin belirlenmesi demektir [11]. Personel çizelgeleme, genel olarak vardiya çizelgeleme, iş çizelgeleme, izin çizelgeleme, tur çizelgeleme, takım çizelgeleme, görev atama, personel atama, rotasyon çizelgeleme, çevrimsel ve çevrimsel olmayan çizelgeleme vb. çizelgeleme türlerinin genel adıdır. Hangi çizelge türünden bahsedilirse bahsedilsin eğer yapılan iş, bir çalışma çizelgesi oluşturmak ise bu temelde personel çizelgelemedir.

Tüketici talebi değişkendir. İşletmeler, değişen bu talebi karşılayacak kadar personeli her zaman hazır bulundurmak zorundadır. Elde gerekenden daha fazla personel bulundurmak işlem marjını düşürürken, gerekenden daha az personel bulundurmak ise şimdiki ya da gelecekteki talep kaybına neden olur. Personel kapasitesi ile talebi dengede tutma işi personel çizelgelemesi ile mümkün olur [12].

Personel çizelgeleme konusunda ilk tamsayılı matematiksel model George Dantzig [13] tarafından oluşturulmuştur. Bu tezde her bir periyotta ihtiyaç duyulana eşit ya da ondan daha fazla personel bulundurmak şartı ile çizelgeleme maliyeti minimize edilmektedir. Dantzig'in bu modeli önerdiği 1954 yılından günümüze kadar personel çizelgeleme üzerinde en fazla durulan problemlerden birisi olmuştur. Uygulama alanının çok geniş olmasının yanı sıra problemin NP-zor olması personel çizelgeleme

problemine duyulan bu ilgiyi arttırmıştır. Günümüz iş ortamında tüketici talebini mümkün olan en düşük sayıda personel ile karşılayabilme isteği personel çizelgelemesine gittikçe artan bir önem kazandırmaktadır.

2.2.1. Personel çizelgeleme problemi

Personel çizelgeleme problemi, işgücü kaynaklarının bazı kısıtlar altında işletmenin ihtiyaçlarını karşılamak üzere en iyi şekilde tahsis edilmesi olarak tanımlanabilir. Bu problemin çözümünde belirli bir planlama aralığında her bir personel için belirlenmiş çalışma ve izin çizelgeleri elde edilebilir. Personel çizelgeleme problemi, insan kaynağının yoğun çalıştığı tüm işletmelerde baş edilmesi gereken önemli bir planlama ve çizelgeleme problemidir.

Personel çizelgelemede kullanılacak bazı önemli kavramların tanımları aşağıda verilmiştir.

- *Periyod:* Personel ihtiyacının tanımlandığı en küçük zaman aralığı. Genelde 15, 30 ya da 60 dakika olarak belirlenir.
- *Vardiya:* Bir personelin spesifik bir günde atandığı iş çizelgesi.
- *Tur:* ayrı vardiyalardan oluşan ve her çalışan için tanımlanan bir haftalık iş çizelgesi.

Çizelge ile ilgili kararlar alınırken dikkate alınması gereken çizelge karakteristikleri şunlardır:

- ✓ *Örtüleme:* Her planlama periyodu için ihtiyaç duyulan minimum personel sayısı,
- ✓ *Kalite:* İşleri yerine getirecek personelin memnuniyetinin ölçüsü,
- ✓ *Stabilite:* Personelin gelecek günlerdeki görev yerlerinin, görev zamanlarının ve izinlerinin doğruluğu ve devamlılığı,
- ✓ *Esneklik:* Acil personel gereksinimlerine ve değişimlere karşı çizelgenin kolaylıkla yeniden düzenlenebilmesi,

- ✓ *Eşitlik ilkesi:* bütün çalışanların çizelgeden etkileneceği gerçeği ve uygun olmayan vardiya tasarımından kaçınma.

Personel çizelgeleme problemi çok aşamalı planlama ve kontrol prosesi gerektiren karmaşık bir problemdir. İşletmenin politikalarına ve koşullarına bağlı olarak planlama prosesinde dikkate alınması gereken çevresel koşullar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- *Personel talebi:* Gün içinde sabit ya da değişken, çevrimsel olabilir ya da çevrimsel olmayabilir.
- *Kullanılan iş çizelgelemesi tipi:* En yaygın çalışma biçimi haftada 5 gün ya da 40 saattir. Diğer yaklaşımlar içerisinde en çok rağbet göreni sıkılaştırılmış iş çizelgeleridir. Sıkılaştırılmış iş çizelgeleri verimliliği ve personel moralini arttırırken devamsızlığı azaltmaktadır. Bir diğer yaklaşım ise esnek zaman uygulamasıdır. Bu sayede personel işe başlama ve bitiş saatlerini seçebilme şansına sabittir.
- *Günlük vardiya uygulamaları ve sayıları:* Alternatif işe başlama zamanları, işi bitirme zamanları ve mola zamanlarının planlandığı uygulama biçimleridir. Gündüz, akşam ve gece vardiyaları olabilir.
- *İzin verilen maksimum iş uzunluğu:* Yasalarla belirlenmiş en fazla çalışılacak ardışık günlerin sayısı.
- *Personel özellikleri:* İşin gerektirdiği özelliklere bağlı olarak personel seçme. Örneğin part-time çalışan personeller, kalifiye personeller, kalifiye olmayan personeller.

Tüm bu faktörler göz önünde bulundurularak en düşük maliyeti verecek uygun bir çizelge elde edilmeye çalışılır. Uygun bir çizelgenin bulunmasını güçleştiren en önemli faktörler personelle ilgili olanlardır. Özellikle bireysel önceliklerin çizelgede karşılanması önemli bir kısıt oluşturmaktadır. Bunların ötesinde iş çizelgeleri hazırlanırken eğitim giderleri, fazla mesai ücretleri, sağlık ve güvenlik faktörleri mutlaka dikkate alınmalıdır.

2.2.2. Personel çizelgelemesinin aşamaları

Thompson, personel çizelgelemesinin aşağıda belirtildiği gibi dört aşamada gerçekleştiğini belirtmiştir [14]:

1) Müşteri talebinin tahmin edilmesi,
2) İhtiyaç duyulan personel miktarının belirlenmesi,
3) Çizelgenin oluşturulması,
4) Kontrol

Talep tahmini

Personel çizelgelemesinin kapsadığı dört aşamadan ilki, müşteri talebinin tahminidir. Çizelgelemedeki bu ilk adım, zaman içinde değişen müşteri talebinin özelliklerinin tahmin edilmesidir. Talep tahmini sekiz adımdan oluşur. Bunlar:

1) İşin özelliğinin tanımlanması: İşin doğasının tahmin edilmesidir. Bu adımda, işler yapılış süresi kontrol edilebilen işler ve kontrol edilemeyen işler olarak ikiye ayrılır. Kontrol edilemeyen işler, zaman esnekliğinin çok olduğu durumlarda söz konusudur. Kontrol edilemeyen işlere klasik örnek tam pansiyon otellerde sipariş verilen yemeklerin hazırlanmasıdır. Kontrol edilemeyen işlere bir başka örnek de lokanta hizmetleridir. Lokantada hizmet müşteri geldiği zaman başlar. Müşterinin gelme zamanında da esneklik söz konusudur. Kontrol edilebilen işlerde ise zaman esnekliği daha azdır. Bu işlere de bir otelde misafir odalarının hazırlanması örnek gösterilebilir. Odalar misafirin gelmesi beklenmeden hazırlanabilir.

2) Personel miktarını ve özelliklerini etkileyen faktörlerin tespit edilmesi: İş ölçüm çalışmaları işin yapılma süresinin belirlenmesini sağlar. İşin yapılma süresi belirlendikten sonra da ihtiyaç duyulan personel sayısı ve özellikleri belirlenir.

3) Personellerin performanslarının zaman içinde değişip değişmediğinin belirlenmesi: Uzun dönemde teknolojik değişmeler vb. nedenlerle bütün personelin

performansında değişiklik olabilir. Önemli olan planlama periyodundaki performans değişikliklerinin belirlenmesidir.

4) Personel performanslarının değişimi söz konusu ise performanslarıyla ilgili değişim aralıklarının belirlenmesi,

5) Performansları zaman içinde değişen personellerin değişen performanslarını da dikkate alarak ortaya konabilecek iş miktarının tahmin edilmesi,

6) Kısa vadede değişiklik gösteren müşteri talebini belli bir düzene koyarak talepteki rassallığın azaltılması: Bazı talep değişiklikleri önceden tahmin edilebilir. Bazı değişiklikler ise tesadüfidir ve önceden tahmin edilemez. Amaç, her iki durumda da talebi karşılayabilecek personel sayısına sahip olmaktır. Geçmişte elde edilen veriler kullanılarak müşteri talebinin en yüksek ve en düşük olduğu aralıklar bulunur ve personel ihtiyacı buna göre belirlenir.

7) Tahminin doğruluk derecesinin sınanması: Talep tahmininin doğruluğunun ölçülmesinde istatistiksel yöntemler kullanılarak tahmin hataları belirlenir.

8) Çalışma zamanının tanımlanması [14].

Personel ihtiyacının belirlenmesi

İhtiyaç duyulan personel miktarının belirlenmesi, işin kontrol edilebilir bir iş olup olmadığına bağlıdır. Kontrol edilemeyen işler için her bir planlama dönemine ideal sayıda personelin atanması gerekir. Kontrol edilebilir işlerde ise, o planlama periyodunun iş yüküne göre atama yapılır.

Talep tahminlerinden hareketle ihtiyaç duyulan personelin belirlenmesinde üç temel yaklaşım vardır. Bu yaklaşımlar; verimlilik standartlarının, hizmet standartlarının ve ekonomik standartların kullanılması yaklaşımlarıdır.

Verimlilik standartlarının kullanıldığı yaklaşımda amaç, personel verimliliğinin tutarlılığını sağlamaktır. Örneğin, bir restoranda verimlilik standardı bir garsonun bir saatte 14 müşteriye hizmet vermesi gerektiği olabilir. Personel ihtiyaçlarının belirlenmesinde en kolay yaklaşım verimlilik yaklaşımıdır. Özellikle kontrol edilebilir işlerde bu yaklaşımın kullanılması daha da kolaydır. Çünkü kontrol edilebilir işlerde işçiler hiç aralıksız çalışabilirler. Müşterinin gelmesini beklemeleri gerekmez. Kontrol edilemeyen işlerde, yani müşterinin ne zaman geleceğinin önceden belli olmadığı işlerde çalışanların boş oturacağı zamanların olacağı kabul edilmelidir. Örneğin, böyle bir durumda bir garson saatte 16 müşteriye hizmet verebilecekken verimlilik standartlarına göre her bir garsonun saatte 14 müşteriye hizmet vermesi gerektiği belirlenmiş olabilir. Maksimum hizmet oranı ile verimlilik standartları arasındaki bu fark planlanmış boş zamandır. Kontrol edilemeyen işlerde bu yaklaşımın kullanılmasının avantajı bu boş zamanın olmasıdır. Bu boş zamanda beklenenden daha fazla müşteri gelmesi durumunda boş bekleyen personel bu müşteriye hizmet verebilir. Bu da kuşkusuz hizmetin esnekliğini artıracaktır.

Personel ihtiyaçlarının belirlenmesinde ikinci yol olan servis standartlarının kullanıldığı yaklaşımda ise amaç, müşteri hizmet seviyesinin tutarlı olmasının sağlanmasıdır. Müşteri hizmet oranı birçok yolla ölçülebilir. Bu yollardan bazıları müşterinin servis için ortalama bekleme süresi, servis bekleyen ortalama müşteri sayısı ve belli bir bekleme süresinden daha fazla beklemek zorunda kalan müşterilerin yüzdesidir. Bu yaklaşımda zor olan uygun müşteri hizmet seviyesinin belirlenmesidir. Müşteri araştırmaları, yüz yüze görüşmeler ve tecrübeler standartların oluşturulmasına yardım edebilir.

Personel ihtiyaçlarının belirlenmesinde üçüncü yaklaşım olan ekonomik standartlarının kullanıldığı yaklaşımda ise amaç, hizmetin en ekonomik şekilde sunulmasıdır. Bu, en iyi hizmetin talebin çok olduğu zamanlarda sunulduğu anlamına gelir. En iyi hizmet talebin çok olduğu zamanlardadır. Çünkü daha çok müşteriye hizmet verilebilir. Talebin az olduğu zamanlarda ise, az sayıdaki müşteriye yüksek hizmet sunmak karı düşürecektir. Ekonomik standartların kullanıldığı yaklaşımın uygulanmasında en kolay yol müşteri bekleme maliyetlerinin hesaplanmasıdır.

Müşteri bekleme maliyetlerinin en düşük olduğu personel sayısı ihtiyaç duyulan personel sayısı olarak belirlenir [15].

Çizelgenin oluşturulması

Personel çizelgeleme, talep ile personel gereksinimleri arasında denge kurmaya çalışır. Bu denge kurulurken bazı faktörlerin hesaba katılması gerekmektedir. Bu faktörler: personelin yetenekleri, istekleri, çalışmaya hazır oldukları zamanlar ve emeklerinin maliyetleridir.

Personel çizelgelemesi dengeyi sağlarken aynı zamanda maliyetleri de aşağı çekmelidir. Personel çizelgeleme genellikle ya personel maliyetlerini minimize etmeye ya da çizelgelemenin işletmeye sağlayacağı karlılığı maksimize etmeye çalışır. Çizelge oluşturulurken çalışılanların çalışma saatlerinin zamanlamasının ve uzunluğunun hem yasalara hem de çalışanların durumlarına uygun olmasına da dikkat edilmelidir. Aksi halde, minimum maliyetli ya da maksimum karlı bir çizelgeleme yasaların uygun gördüğü duruma ya da çalışanların isteklerine ters düşebilir [16].

Kontrol

Personel çizelgelemesinin son aşaması kontroldür. Planlanan çizelge gerçek çalışma ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırma müşteri talebini karşılayabilmek için yapılması gereken son görevdir. Planlanan çizelgelemenin gerçek hayatta isleyişi kontrol edilir [17].

2.2.3. Personel çizelgelemede sınıflandırma

Personel çizelgelemenin sınıflandırılması katı sınırlarla belirlenememektedir ve birçok iç içe girmiş uygulama alanı vardır. Personel çizelgeleme problemlerinde sınıflandırma problem çeşitliliği bakımından yapıldığında 30'un üstünde değişik problem tipi ortaya çıkmaktadır. Ernst ve ark. [1] tarafından yapılan çalışmada, tüm

değişik personel çizelgeleme prosesleri modüller halinde tanımlanarak personel çizelgeleme probleminin sınıflandırması yapılmış ve her modül içerisinde spesifik uygulama alanları gösterilmiştir.

Birinci modül: işgücü talebini modelleme

Bir çizelge hazırlanırken ilk olarak planlama periyotları için ihtiyaç duyulan personel miktarları belirlenir. Planlama süresince meydana gelen yeni durumlar personel miktarını belirlemeye yardımcı olur. Talep modelleme görevlerle ilgili olayların tahmin edilerek talebe dönüştürülmesi işlemidir. Personel ihtiyacının belirlemesinde üç farklı olaydan yararlanılabilir. Bunlardan ilki görev esaslı ihtiyaçtır. Gerçekleştirilen bireysel görevlerin rapor edildiği listelerden yararlanılarak personel ihtiyacı belirlenir. İkincisi esnek taleptir. Bu genelde ileriki zamanlarda ihtiyaç duyulacak görev sayılarının bilinemediği durumlarda tahmin tekniklerinin kullanılmasıyla belirlenir. Personel ihtiyacı müşterilerin rassal geliş hızlarından veya rassal hizmet sürelerinden faydalanılarak esnek bir şekilde belirlenebilir. Son olarak vardiya bazlı talep. Bu talep, farklı vardiyalarda farklı görevleri gerçekleştirecek personel sayısının belirlenmesiyle elde edilir [1].

İkinci modül: izin günü çizelgeleme

Bu modül iş günleri arasında dinlenme ve izin sürelerini çizelgeler. Genelde esnek ve vardiya esaslı ihtiyaçların yardımıyla hazırlanan çizelgelerde uygulanabilen bir modüldür. İzin günü çizelgeleme problemleri, personellerin çalışılan ve izinde olunan günlere atanması problemidir. Asıl amaç, çalışanların izin günlerinin hangi günler olduğunun belirlenmesidir. Hafta boyunca sürekli hizmet veren işletmeler yasal sorumluluklar ve personel hakları nedeniyle personellerin izin günlerini ayarlamak zorundadır [1].

Genellikle çalışanın ardışık günlerden oluşan bir zaman aralığında tam bir dinlenme alması amaçlanır. Geleneksel sistemlerde 5 gün çalışma, 2 gün izin uygulaması geçerlidir. Ancak sürekli sistemlerde talebin karşılanması için alternatif iş günlerinin

oluşturulması gerekmektedir. İzin günü çizelgeleme problemi havaalanı, hastaneler, lokantalar gibi haftanın yedi günü çalışan işletmeler için önemli bir problemdir. İzin günü çizelgeleme problemlerinde genellikle bir haftanın beş çalışma günü ve iki izin günü içerdiği varsayılmıştır. Son zamanlarda bir haftanın üç çalışma gününü veya dört çalışma gününü içerdiğini varsayan çalışmalar da yapılmaktadır [18].

Çizelgeleme problemlerini çözebilmek için aşağıdaki küme örtüleme formülü kullanılır [19]:

$$\text{minimize } Z=\sum_{j=1}^{n} X_j \tag{2.1}$$

kısıtlar

$$\sum_{j=1}^{n} a_{tj} \cdot X_j = r_t \qquad t = 1, 2, ..., m \tag{2.2}$$

$$X_j \geq 0 \quad \text{ve tamsayı} \quad j = 1, 2, ..., n \tag{2.3}$$

İzin günü çizelgeleme problemi için modelin notasyonu:

X_j: j. şablonuna atanan personel sayısı

r_t: haftanın t. gününde ihtiyaç duyulan personel sayısı

n: dikkate alınan şablon sayısı

m: sistemin çalıştığı haftalık gün sayısı

$$a_{tj} = \begin{cases} 1, & \text{eğer t. gün j. şablonda çalışılan gün ise} \\ 0, & \text{d.d.} \end{cases}$$

İzin çizelgeleme probleminde ana sorun personelin ardışık gün izin yapabilmesini sağlamaktır. Çünkü değişen talebi karşılamak üzere minimum sayıda personel çalıştırılması hedefi, ardışık günlere izin atanması hedefi ile çatışmaktadır. Literatürde, en fazla sayıda personelin ardışık izin kullanabileceği çizelgeleri bulabilen çözüm yaklaşımları oldukça fazladır. Literatürde izin çizelgelemenin çözümü ile ilgili birçok kurucu sezgisel mevcuttur [20].

Üçüncü modül: vardiya çizelgeleme

Sistemin ihtiyaç duyduğu personeli karşılamak için vardiya çizelgeleme modülü ile personel vardiyalara atanır. Bu modül, iş ve yemek molası planlaması gibi bazı hedeflerin yasal iş kurallarına sadık kalınarak yapılmasını da içerir.

Vardiya çizelgeleme problemleri, çalışılan günün seyrine göre talep değişmelerini karşılamak amacıyla işgücünün çizelgelenmesini kapsar. Bu problemler personellerin herhangi bir çalışma gününde hangi vardiyada çalışacaklarının ve hangi mola periyotlarına atanacaklarının belirlendiği problemlerdir. Personeller vardiya çeşitleri, vardiya uzunlukları, vardiya başlama saatleri, mola sayıları, mola uzunlukları gibi önceden bilinen vardiya özelliklerine göre vardiyalara atanırlar. Vardiya çizelgeleme problemlerinde her bir vardiyaya atanan personel sayısı belirlenirken verilecek molaların zamanları da belirlenir [21].

Genelde çizelgeler bir hafta için planlanır. Vardiya çizelgelemede personel ihtiyaçları zamana göre karşılanırken en önemli hedef minimum personel maliyetini verecek ideal vardiya çizelgesini bulmaktır. Burada ortaya çıkan problem, haftanın günlerine standart biçimde personel atamasının yapılamamasıdır. İstenilen zamanda personel bulundurma ile minimum maliyetle personel çalıştırma hedefleri çatışmaktadır. Bu problemin çözümüne yönelik olarak kesin matematiksel modeller ve sezgisel yönteme dayalı tekniklerle çok çeşitli yöntem önerilmiştir.

Vardiya çizelgeleme problemlerini çözebilmek için de izin günü çizelgeleme problemlerini çözmek için kullanılan küme örtüleme formülü kullanılır. Sadece modelin notasyonu farklıdır [19].

Vardiya çizelgeleme problemleri için modelin notasyonu:

X_j: vardiya j'ye atanan personel sayısı

r_t : t. zaman periyodunda ihtiyaç duyulan personel sayısı

n: bir çalışma gününde belirlenmiş vardiya sayısı

m: bir çalışma gününde çizelgelenecek toplam periyot sayısı

$$a_{tj} = \begin{cases} 1, & \text{eğer t. periyot j. vardiya çalışılan periyot ise} \\ 0, & \text{d.d.} \end{cases}$$

Dördüncü modül: tur çizelgeleme

Tur çizelgeleme problemleri, çizelgeleme süresi bir hafta veya daha uzun olan çizelgeleme problemleridir. Tur çizelgeleme problemleri, iki aşamalı olarak düşünülebilir. Birinci aşama, günlük talebi karşılayabilmek için personelin günlük vardiyalara atanmasıdır. İkinci aşama ise, her bir personelin haftalık izin günlerinin belirlenmesidir [22].

Tur çizelgeleme problemlerinde işgücünün hem günlük vardiyalara atanması hem de haftalık izin günlerinin belirlenmesi istenmektedir. Bu nedenle, izin günü çizelgeleme ve vardiya çizelgeleme problemleri tur çizelgeleme probleminin alt problemleri olarak düşünülebilir [23].

Tur çizelgeleme problemlerini çözebilmek için de izin günü ve vardiya çizelgeleme problemlerini çözmek için kullanılan küme örtüleme formülasyonu kullanılır [19]:

Tur çizelgeleme problemi için modelin notasyonu:

X_j: j. tura atanan personel sayısı

r_t : t. zaman periyodunda ihtiyaç duyulan personel sayısı

n : dikkate alınan tur sayısı

m: çizelgelemesi yapılacak bir haftalık toplam periyot sayısı

$$a_{tj} = \begin{cases} 1, & \text{eğer t. periyot j. turda çalışılan periyot ise} \\ 0, & \text{d.d.} \end{cases}$$

Tur çizelgeleme problemlerinde her tur bir değişken olarak tanımlanır. Easton ve Rossin [24] milyonlarca tur bulan iş kuralları oluşturmuşlardır. Bu tip problemlerin

formülasyonu zor olduğundan çok fazla kullanılmamışlardır. Hizmet sistemlerinde, gün boyunca değişik vardiyalar uygulanabileceğinden mümkün olduğunca yarı-zamanlı personel tercih edilir. Bu politikanın sonucu olarak mümkün turların sayısı artar. Uygun tur sayısının artması, optimal çözümün bulunmasını zorlaştırır.

Tur çizelgeleme problemlerinde uygun çözüm bulabilmek için sezgisel yaklaşımlar kullanılmıştır. Hizmet sistemlerinde tur çizelgeleme problemini çözme, üretim sektörüne göre daha zordur. Çünkü hizmet sistemlerinde, talebin yoğun olduğu zamanlarda yeterli personel bulundurmak için üst üste gelen vardiyalar tasarlanır. Buna karşın üretim sistemlerinde vardiyalar ardışık tasarlanır. Buna ek olarak, üretim sistemlerinde çoğunlukla tam zamanlı işçi çalıştırılırken hizmet sistemlerinde hem tam zamanlı hem de yarı zamanlı personel çalıştırılmasına daha sık rastlanır. Bu yüzden hizmet sistemlerinde mümkün iş çizelgelerinin sayısı artar. Bu nedenle bazı alternatif çözümleri kabullenmek mümkündür. Örneğin, problemi doğrusal programlama ile çözüp, tamsayı olmayan çözümler sezgisel bir yöntemle tamsayılı sonuçlara çevrilebilir [25].

Çoğunlukla araştırmacılar, daha kısa periyotların çizelgelenmesinde optimal çözümler bulmada zorlanıldığından periyotları 30 dakika veya üzerinde tutmaktadırlar. Buna rağmen daha kısa süreli periyotlar kullanmanın bazı avantajları vardır; örneğin kısa periyotlar müşteri taleplerine cevap vermede daha etkin çözümler üretir. Ayrıca kısa periyotlar dinlenme molalarını çizelgelemeye yardımcı olur.

Beşinci modül: görev atama

Her bir vardiya boyunca bir veya daha fazla görevin ataması gerekebilir. Bu görevler belli başlı özellikleri olan kişiler tarafından gerçekleştirilmesi gerektiğinde görev ataması yapılır. Bir kişiye birden fazla görev atanabilir [1]. Klasik atama probleminde ise yapılması gereken (m) adet görev vardır. Bu görevleri yapmaları için de (m) ayrı kişi bulunmaktadır. Herhangi bir (i) kişisinin (j) görevine verilmesi durumunda (c_{ij}) maliyeti doğar. Her göreve mutlaka bir kişinin verilmesi ve bir

kişinin sadece tek bir göreve atanması koşuluyla en küçük toplam maliyetle bir görevlendirme planı yapılması istenir. Diğer bir deyişle, en küçük toplam maliyeti doğuracak birebir kişi-görev eşleşmesinin bulunması istenmektedir. Bu problemin matematiksel modeli:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer i. personel j. göreve atanacaksa} \\ 0, & \text{eğer i. personel j. göreve atanmayacaksa} \end{cases}$$

$$\min \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{m} c_{ij} \cdot x_{ij} \qquad (2.4)$$

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij} = 1 \qquad \text{j=1, 2, ..., m,} \qquad (2.5)$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = 1 \qquad \text{i=1, 2, ..., m,} \qquad (2.6)$$

$$x_{ij} = 0 \; ya \; da \; 1 \qquad \text{i=1, 2, ..., m; j=1, 2, ..., m} \qquad (2.7)$$

Altıncı modül: personel atama

Bu modül, bir hattaki işlere personelin bireysel olarak atanmasını sağlar. Personel atamaları genellikle üretim hatları yapılandırması yapıldığında gerçekleştirilir [1].

Personel atama modellerinin amacı işe en uygun kişiyi atayarak en düşük maliyetli (optimum) yerleştirmeyi sağlamaktır. Kaynakları işçiler, hedefleri de işler olan özel bir ulaşım modeli olarak düşünülebilir. Klasik atama probleminde kaynaklardaki arz miktarları ile hedeflerdeki talep miktarları daima birbirine eşit ve 1 olarak kabul edilir.

Yukarıda açıklanan altı modül personel çizelgeleme literatürünün genel yapısını ortaya koymaktadır. Farklı çizelgelerin, algoritmaların ve modellerin oluşumunda yukarıda sayılan 6 modül genel bir taslak oluşturmaktadır.

2.2.4. Personel çizelgelemede yeni yaklaşımlar

İş rotasyonu çizelgeleme problemi

Vardiya çizelgelemenin bir türü olan iş rotasyonu çizelgeleri, klasik rotasyon olayından farklıdır. John Sullivan iş rotasyonunu, çalışanların sistematik olarak bir işten diğerine, bir projeden diğerine kaydırılması ve çeşitli insan kaynakları hedeflerinin başarılması olarak tanımlanmıştır. Bu hedefler:

- İş kadrolarının düzenlenmesi,
- Aletlerin muhafaza edilmesi,
- Yeni çalışanların oryantasyonu,
- İşten sıkılmanın önlenmesi,
- Çalışanların eğitilmesi,
- Kariyer gelişimine faydada bulunmak,
- Çalışanların ödüllendirilmesidir.

Thomas A. Faulhaber iş rotasyonunu; "çalışanların geçici olarak yan işlerdeki gölge pozisyonlara kayarak kariyerlerini geliştirme stratejisidir" olarak tanımlanmıştır. Rotasyona tabi tutulan çalışandan, daha çok iş aktivitesi beklenir. Çünkü her iş farklı görevler içerir. İş rotasyonu iş aralıklarını artırır. İş rotasyonu çapraz eğitim rotasyonları ile karıştırılmamalıdır. Çapraz eğitim, çalışanın haftada bir kez farklı bir departmanda çalışması için gönderilmesidir. Çalışan daha sonra kendi işine döner. İş rotasyonu, çapraz eğitimin daha gelişmiş halidir ve bir ile altı aylık periyodu içerir. İş rotasyonunda kişi, kendisini kanıtlaması gereken bütün işlerden sorumludur. Bu işletme için büyük bir motivasyon unsurudur [26].

İş rotasyonu çzielgeleme problemi, terfi ile karıştırılmamalıdır. Terfide sorumluluk ve statü artar. Terfi görevlerin değişimini içerir veya içermeyebilir. Rotasyonda mutlaka görev değişimi vardır [26]. Klasik rotasyon anlayışına ek olarak İprobleminin çözümünün sisteme faydaları şöyle özetlenebilir:

- Kariyer gelişimi,
- Eğitim,
- Global düşünebilen çalışanlar geliştirmek,
- İşe katılmayan personellerin verimliliğinin artması,
- Performansın yükselmesi,
- Takım oluşturma,
- İş yerinin cazibesinin artması ve mevcut çalışanların korunması,
- Devamsızlığın azalması,
- İş memnuniyeti,
- İş yerindeki tekrarlı gerilmeye bağlı incinmelerin yönetimsel kontrolüdür.

İş rotasyonu çizelgeleme problemini çözmek için başlangıçta yapılması gereken adım mevcut sistemin incelenmesidir. İşin özelliklerinin ve işin sebep olduğu en önemli problemin ne olduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Örneğin malzeme taşıyan işçi için en önemli sorun taşınan malzemenin ağırlığı ve biçimidir [27]. Son yıllarda işe bağlı maruziyetler sistematik olarak değerlendirilebilmekte ve sağlığı olumsuz etkileyen en önemli iş faktörü kolayca belirlenebilmektedir. Sonuç olarak işin türüne göre faktörler çeşitlenmekte kimi zaman tek bir faktör kimi zamanda onlarca faktör "çok önemli" kategorisine dahil edilmektedir.

Esnek vardiya planları

Tüm dünyada sabit iş çizelgelerinin yerini dinamik ve esnek biçimleri almaktadır. 1970'li yıllardan itibaren sıkıştırılmış iş çizelgeleri istenilen esnekliği ve dinamizmi sağlayabilmiştir.

Ayrıca çoklu vardiya uygulamaları da esnekliğin başlıca yardımcılarından birisidir. Böylece çalışanın gün boyunca daha fazla saat çalışarak haftalık olarak daha az gün çalışması mümkün olmaktadır. Araştırmalar, esnek çalışma çizelgelerinin personel üzerinde olumlu etki bıraktığını bu sayede motivasyonun arttığını, işgücü devrinin ve

devamsızlığın azaldığını ayrıca fazla mesainin engellenebildiğini ortaya koymuştur [20].

Esnek vardiya planları işverene ve çalışana birçok avantaj sağlamaktadır. İşveren açısından daha uzun hizmet süreleri, hizmet kapasitenin talebe göre ayarlanabilmesi, üretkenlikte artış, personel niteliğinin gelişmesi, motivasyonun artması ve personel açısından daha kısa mesai süreleri, personel ihtiyacına zamansal uyum ve daha bağımsız olmak sayılabilir.

Vardiya başlama zamanları, bitiş zamanları ve mola planlamasının değişkenliğinden dolayı birçok alternatif vardiya tasarlanabilir. Vardiya tipi zenginleşirken personelden beklenen fayda artar. Ancak bu arada çözülecek çizelgeleme probleminin karmaşıklığı da artmaktadır [28].

Çizelgede yüksek seviyeli esneklik istenildiğinde optimali veren yaklaşımlar yetersiz kalmaktadır. Molaların esnek olması isteniyorsa mümkünse sezgisel yaklaşımlara başvurulmalıdır. Dantzing [13] 1954'te tamsayılı programlama ile optimal çözümler elde etmiştir, fakat geliştirdiği modelde mola esnekliği söz konusu değildir.

Ne yazık ki, mola planlaması küme örtüleme formülasyonu (set-covering) ile modellendiğinden çok fazla değişken içermektedir. Örneğin, bir telefon operatörü vardiya çizelgeleme probleminde, 7 120 vardiya değişkenden yaklaşık %98'i esnek mola planlaması ile ilgili değişkendir [29]. Bazı durumlarda küme örtüleme formülasyonu optimal tamsayı çözüm elde etmede yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle esnek çizelgeler oluşturmak isteyenler, büyük boyutlu problemler için sezgiselleri tercih etmelidir. Halen gerçek dünyada vardiya çizelgeleme problemlerinin model formülasyonu ve zaman gereksinimi büyük bir sorun oluşturmaktadır.

Üretim hedeflerinde ve iş güvenliğinde dengeli bir gelişmeyi yansıtacak tek bir optimal vardiya sisteminden bahsetmek mümkün değildir. Alan araştırmalarının da gösterdiği gibi performansın düşüklüğü vardiya faktörüyle açıklanabilmektedir. Bu problem bir buzdağına benzetilecek olursa, yüzeyde görünen vardiya faktörünün

altında, yönetimsel ve organizasyonel ilgisizlikler yatmaktadır. Performansı düşüren diğer nedenler arasında uyku bozukluğu, beslenme, karakter yapısı, işe uyum kabiliyetinde fizyolojik ve kişisel farklılıklar verilebilir. Bu nedenle vardiya tasarımında performans verimliliği ve iş güvenliğine en uygun vardiya modelinin kurulması önceliklidir.

Vardiyalı çalışan aile bireyi, kendi rolünü tam anlamıyla üstlenememesinin getirdiği baskı ve eziklik karşısında kendine olan saygısını yitirmekte, hatta psikolojik bunalıma girmektedir. Günümüzde nezleden kansere kadar, neredeyse her türlü hastalığın altında psikolojik gerilimlerin varlığına dikkat çekilmektedir. İşte bu bağlamda vardiya çalışması bir "risk faktörü" olarak değerlendirilmelidir [30]. Alternatif iş çizelgesi olarak uygulanabilecek birkaç yaklaşım şunlar olabilir:

Esnek Zaman: Bu alternatifte, işe başlama ve bitirme zamanını personel, yönetimin belirlediği sınırlar içinde seçer. 10:00-14:00 arası işe başlayabilme ve 06:00-18:00 saatleri arasında işi bırakma esnekliğine sahiptirler.

Esnek Tur: Personel esnek bir zaman aralığında işe başlama ve bitirme zamanı seçebilir. Bununla birlikte, personel bir günde 8 saat çalışmayı tamamlamalıdır.

Farklı Başlangıç Zamanı: Personel, günlük başlama ve bitirme zamanlarını değiştirme hakkına sahiptir.

Değişken Gün: Personelin çalışma günleri değişebilir. Fakat bir periyot içinde çalışacağı saat değişemez. Her periyotta personel tamamlanması gereken süre kadar çalışmalıdır.

En Büyük Esneklik: Günlük çalışma saati değişiklik gösterebilir. Burada önemli olan işlerin yerine getirilmesidir.

İş Yoğunluğu: Personel haftada 30 saatten az çalışır. Personel, iş yoğunluğunun fazla olduğu zamanlarda daha fazla çalışır. Böylece iş yoğunluğunun az olduğu zamanlarda daha çok boş zamana sahip olur.

Ayrı Ayrı Zamanlara Göre Düzenleme: Alternatif işe başlama zamanları ve çalışma süreleri mevcut vardiya çizelgelerinden seçilir ve düzenlenir.

Esnek Vardiya: 6, 8 veya 10 saatlik çalışma süreleri ve farklı işe başlama zamanlarını içeren çalışma alternatifleri söz konusudur.

Sıkıştırılmış Çalışma Zamanları: Personel, 5 günden daha az çalışabilir. Bu durumda aşağıdaki çizelgelerden birisi takip edilir.

- ✓ 1-4 gün, günde 10 saat, 3 gün izin;
- ✓ 2-3 gün, günde 12 saat;
- ✓ 3-4 gün, günde 9 saat ve bir günde 4 saat.

Çalışanların farklı çalışma biçimlerine yabancılaşmasını önlemek için haftalık iş çizelgeleri arasında mutlaka tutarlılık sağlanmalıdır. Alternatif çalışma biçimleri, bağımsız işlere ve bağımsız kişilere bağlı olarak oluşturulmalıdır. İyi bir vardiya çizelgesine ilişkin Laporte [31]'da bir dizi kural oluşmuştur. Bunlar kısaca;

- Vardiya tipi en az bir günlük dinlenmeden sonra değişmelidir.
- Ardışık iş günü sayısı 6-7'nin üstüne, 2-3'ün altına düşmemelidir.
- Dinlenmek için ardışık gün sayısı 6-7'nin üstüne 2-3'ün altına düşmemelidir.
- Uzun iş periyotlarını uzun dinlenme periyotları takip etmelidir.
- Çizelgeler mümkün olduğunca tam günlü ve izinler hafta sonuna denk gelen şekilde olmalıdır.
- Takım halinde çalışanları, mümkün olduğunca birbirinden ayırmamak gerekmektedir.
- İleri doğru dönüşümler (gündüz, akşam, gece) geriye doğru dönüşümlere (gündüz, gece, akşam) tercih edilmelidir.

3. LİTERATÜR TARAMASI

Bu tezde personel çizelgeleme ile ilgili literatür çalışmaları 2 ana başlık altında toplanacaktır. Birinci ana başlıkta uygulama alanları bakımından personel çizelgeleme problemi ile ilgili, ikinci ana başlıkta ise bu problemlerin çözümüne yönelik geliştirilen yöntemler ile ilgili kaynak taraması yapılmıştır.

3.1. Uygulama Alanları Bakımından Literatür Taraması

Personel çizelgeleme, potansiyel olarak geniş bir uygulama alanına sahiptir. 1954 yılından bu yana pek çok farklı alanda uygulama imkanı bulmuştur. Bu uygulama alanları arasında en belirgin olanları; ulaşım sistemleri, sağlık sistemleri, çağrı merkezleri, otel, restaurant gibi servis sistemleri ile turizm sektörü, polis, ambulans, itfaiyenin dahil edilebileceği acil durum sitemleri, finansal sektör, kamu yönetimi ve üretim sistemleri sayılabilir [1].

Ulaştırma sektöründe personel çizelgeleme problemi

Ulaştırma sistemlerini karakterize eden en yaygın özellik görevin “başlangıç zamanı ve yeri” ve “bitiş zamanı ve yeri”nin bilinmesi gereğidir. Personelin tüm görevleri bir zaman çizelgesi ile atanır. Bu tür problemlerde görevler çizelgenin en küçük elemanıdır. Havaalanlarının, tren istasyonlarının veya otobüs işletmelerinin çalışma prensipleri genelde birbirine benzerdir. Görevler iki veya daha çok bölümden ya da daha çok moladan oluşur. Ekonomik nedenlerden dolayı ulaşım sektöründe çalışanların çizelgelenmesi diğer sektörlere nazaran her zaman daha önemli olmuştur.

Ulaşım sektöründe ilk orijinal personel çizelgeleme çalışması Edie [32] tarafından yapılmıştır. Çalışma, trafik yoğunluğuna sebep olan geçiş ücreti ödeme noktalarının incelemesi ile ilgilidir. Bu tarihten günümüze kadar ulaşım sektöründe pek çok çizelgeleme metotları geliştirilmiştir.

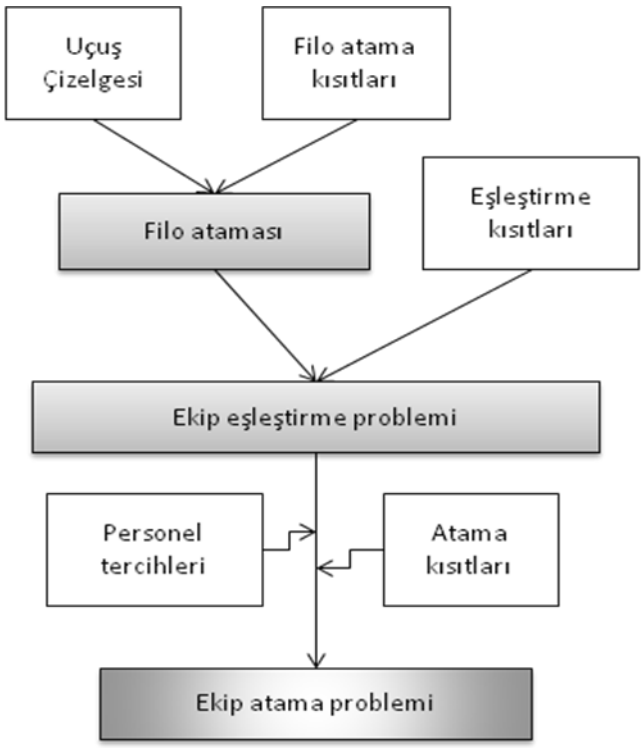
Havayolu ekip planlamanın çizelgeleme içindeki yeri Şekil 3.1'de gösterildiği gibidir. Ekip atama ve çizelgeleme problemi, hava yolu planlamasında karşılaşılan zor ve kapsamlı problemlerden biridir. Ekip çizelgeleme probleminde, her uçuş seferinin en az bir ekip eşleştirmesi tarafından kapsandığı minimum maliyetli eşleştirmeler kümesi bulunmaya çalışılır. Uçuş personeli çizelgelemesiyle ilgili ilk çalışma Arabeyre ve ark. [33] tarafından yapılmıştır. ABD ve Avrupa'da uçuş planlarına bakıldığında ekiplerin niteliği, yasal kurallar ve düzenlemeler, maliyet yapıları, filo tarzları ve ağ yapıları arasında büyük farklılıklar mevcuttur.

Uçuş personelinin çizelgelenmesinde en popüler yöntemlerde birisi ayrıştırma tekniğidir. Ayrıştırma tekniğe göre problem üç aşamada çözülür: a)ekip oluşturma, b)ekip optimizasyonu ve c)ekip çizelgeleme. Ekip oluşturmada zaman çizelgesi kullanılarak uygun kişiler görevlere atanır. Daha sonra uçuşların varış merkezine en düşük maliyetle ulaşması sağlanır. Son olarak ekip çifti (kişi-görev) çizelgede sıralanır. Ekip oluşturma ve ekip optimizasyonu üzerine birçok çalışma yapılmıştır.

Hava alanında operasyonel ekip çizelgeleme Stojkovic ve ark.[34] tarafından yapılmıştır. Bu problem, gerekli olması durumunda aylık olarak belirlenmiş kişisel uçuş beklenmeyen olaylara karşı tedbir almayı da içermektedir. Düzensiz uçuşlarda yolcu memnuniyetini sağlamak ve uçuş ekibinin görevlere atanmasında yaşanılan yönetimsel sorunları çözmek amacıyla Klabjan ve ark. [35] bazı araştırmalar yapmıştır. Ayrıca ekip çizelgeleme ile araç çizelgelemenin tek bir kalemde yapılabildiği bütünleştirilmiş modeller Ferling ve ark. [36] ve Huisman ve ark. [37] tarafından incelenmiştir. Cordeau ve ark. [38], ekip çizelgeleme ve uçak rotalama problemlerini eş zamanlı olarak çözebilmek için önerdikleri yaklaşımda, sütun oluşturma algoritmasından faydalanmışlardır.

Halk ulaşım sistemleri için de oldukça fazla çalışma mevcuttur. Özellikle bilgisayar destekli çizelgeleme teknikleri Daduna ve Voss [39], Desrochers ve Rousseau [40], Wilson [41], tarafından geliştirilmiştir. Bu alandan karar destek sistemleri ile otobüs personeli çizelgelemesinde önemli katkıda bulunmuşlardır.

Tren istasyonlarındaki personel çizelgelemesinde farklı ülkelere ait gerçek yaşam problemleri ile ilgili çalışmalar Ernst ve ark. [42], Margado ve Martins [43] ve daha bir çok akademisyen tarafından yapılmıştır.



Şekil 3.1. Havayolu ekip planlamanın çizelgeleme içindeki yeri

Telefon operatörlerinin çizelgelenmesi

Servis sektörünün müşteriyle direk iletişime bağlı olan temel yapısı düşünüldüğünde yüzlerce operatörün çalıştığı ve günde binlerce çağrının karşılandığı çağrı merkezlerinde planlamanın çok daha kritik bir konu olduğu açıktır. Çağrı merkezlerindeki işgücü çizelgeleme problemleri genellikle 3 aşamada çözülür: belirli süreler (genellikle yarım saat yada 15 dakika) için personel ihtiyacının belirlenmesi (işgücü ihtiyacı), her vardiyada kaç kişinin çalışması gerektiği (vardiya çizelgelemesi) ve her çalışan için çalışma takviminin uzun bir süre (genellikle 4 hafta) için belirlenmesi (personel-vardiya ataması) [44].

Benzetim modelleri çağrı merkezlerinde her zaman aralığı için gerekli olan uygun personel sayısını elde etmek ve verilen bir vardiya planının performansını ölçmek için son zamanlarda sıklıkla başvurulan bir yöntemdir. Yine yaygın bir yöntem olan kuyruk modelleri, analitik sonuç verseler de, genelde gerçek sistemi basitleştiren varsayımlar yapmaktadırlar [44].

Araştırmacıların bir bölümü matematiksel modelleme yöntemiyle sistemi optimize eden yaklaşımlar geliştirirken, bir diğer alternatif de benzetim uygulamaları olarak öne çıkmaktadır.

Chokshi [45], Miller ve Bapat [46] benzetim teknikleri kullanılarak çağrı yoğunluğu tahmini, işgücü planlaması ve çizelgelemesine yönelik uygulamalar yapmışlardır. Gulati ve Malcom [47], ulaşılan müşteri sayısını en büyükleyecek (sistemden kaçan müşteri sayısını en küçükleyecek) bir benzetim modeli ve çözüm algoritması geliştirmiştir. Atlason ve ark. [48], çağrı merkezlerinde işgücü planlaması için optimizasyon ve benzetim tekniklerinin bir arada kullanıldığı bir sistem geliştirmişlerdir.

Sağlık sistemlerinde personel çizelgeleme

Sağlık hizmetleri sistemlerine bakıldığında en dikkat çekici çizelgeleme problemi hemşire içindir. Hem klinik hem de maliyet kısıtlarından dolayı hemşirelerin nöbetlerinin çizelgelenmesi her zaman popüler bir çalışma konusu olmuştur. Hemşirelerin nöbetlerinin düzenlenmesi, onların niteliklerine, gece veya gündüz çalışmasına, izin ve dinlenme olanaklarına ve tercihlerine, özel isteklerine, ergonomik pek çok prensibe, hasta sayısına ve daha birçok nedene bağlı olarak oldukça karmaşık bir problem olarak ele alınmasına sebep olmuştur. 1970 ve 1980'li yıllarda sayısız formülasyon ve çözüm tekniği geliştirilmiştir. Özellikle son yıllarda elle nöbet çizelgelerinin hazırlanmasını önleyen birçok teknik mevcuttur. Burada Maier ve Wolfe [49], Norby ve ark. [50], Ryan ve ark. [51] gibi araştırmacıların yaptığı çalışmalar kaynak olarak gösterilebilir. Matematiksel programlama teknikleri, dal-sınır yaklaşımı veya hedef programlama gibi yaklaşımlar Arthur ve Ravindran

[52], Özkarahan ve Bailey [53] tarafından kullanılmıştır. Çevrimsel nöbet çizelgelerinin oluşturulmasında iteratif yaklaşımlar Smith [54] tarafından uygulanmıştır. 1990'lı yıllarda Bradley ve Martin [55], Siferd ve Benton[56] hemşire çizelgeleme problemlerini sınıflandırmışlardır. Daha ileriki yıllarda doğrusal programlama, karışık tamsayılı programlama, şebeke optimizasyonu ve kısıt programlama teknikleri kullanılmıştır. Hemşire nöbet çizelgelemesinde hastanelerin farklı çalışma biçimleri problemin çözümünü zorlaştıran bir başka kısıt olmuştur.

Daha karmaşık hemşire nöbet çizelgeleme problemlerinde sezgisel ve benzetim tekniklerine başvurulmuştur. Yapay zeka yaklaşımları veya karar destek sistemiyle çizelgeleme metotları araştırmacıların günümüzde en çok rağbet gösterdiği araçlardır. Modern sezgisel tekniklerden birisi olan tavlama benzetimi, büyük boyutlu küme örtüleme formülasyonu nöbet çizelgelemede kullanılmıştır. Nöbet çizelgelemede karışık tabu arama sezgiseli ve tamsayılı programlama yaklaşımı içinde bulunduğumuz yıllar içerisinde yapılmış en yeni çalışmalardır. Bu yaklaşımlarla karmaşık vardiya düzenleme kurallarına uyum, maliyet minimizasyonu, hemşire sınıflandırılması veya personel öncelik kısıtlarına uyum gibi konularla baş edilebilmektedir. Bunlardan başka melez bir tabu arama algoritması ve memetik algoritması (evrimsel benzetim) önemli sezgisel çözümleme yaklaşımları literatüre girmiştir.

Turizm sektöründe personel çizelgeleme

Turizm sektöründe, personelin işletme giderlerine önemli oranda etkisi vardır. Bir otelin işletme maliyetinin %30'unu personel çalıştırma maliyeti oluşturmaktadır. Çok çeşitli özelliklere sahip kişiler doğru kararlarla spesifik görevlerde çalıştırıldığında maliyetin düşürülmesi mümkün olmaktadır. Özellikle karar destek sisteminin en faydalı olacağı problemlerden birisi turizm sektörü çalışanlarını çizelgelemektir. Özel kısıtlar altında yapılan bu çalışmalar için Loucks ve Jacops [57] ve Poliac ve ark.[58]'nin araştırmalarına bakılabilir.

Kamuda personel çizelgeleme

Hükümetlerin her seviyede verdikleri hizmetleri gerçekleştiren personelin çizelgelenmesi ve uygulamada yer almış problemlerden birisidir. İhtiyaç duyulan personel sayısının fazlalığı hem maliyetin düşürülmesini hem de beklenilen hizmetin karşılanmasını zorlaştırmaktadır. Minimum maliyetle maksimum hizmetin verilebilmesi için personel vardiya, nöbet çizelgelerinin en iyilenmesi gerekmektedir.

Posta hizmetinin verilmesi ile ilgili personel çizelgeleme yaklaşımı Ritzman'a [59], ordudaki personelin görevlere atanması ile ilgili çalışma ile yaklaşık 500000 personeli çizelgeleyen Freling'e [36] aittir. Kütüphane görevlilerinin çizelgelenmesi Ashley [60] tarafından ele alınmıştır. Jeton toplayan görevlilerin çizelgelenmesi için oluşturulan ilk çizelgeleme modeli, Dantzig [13] tarafından geliştirilmiştir.

Acil durum sistemlerinde çalışan personelin çizelgelenmesi

Acil servis çalışanlarının, polislerin, itfaiye ve güvenlik görevlilerinin nöbet çizelgelerinin hazırlanması önemli yer tutmaktadır. Çünkü bu tür sistemlerden beklenen bir hizmet düzeyi bulunmakta ve standart beklentiler toplumun yaşam kalitesine önemli ölçüde etki etmektedir. Bu sistemlerde çalışanların çizelgelenmesi oldukça karmaşık ve zordur. Bu nedenle literatürde çok fazla incelenmemiş bir alanı teşkil etmektedir.

Örneğin acil servisin hizmet verme zamanları gün içinde oldukça düzensizdir. Böylece belirlenemeyen talep profilleri bulanık bir hal almaktadır. Butler ve Maydel [61], vardiya başlangıç zamanlarını optimize etmek amacıyla bir yerel arama sezgiseli geliştirmiştir. Ernst [42] ambulans memurlarının nöbet çizelgelerini yani uygun çalışma biçimlerini vardiyaları dikkate alarak eniyilemiştir.

Sinuany-Stern ve Teomi, güvenlik görevlileri için çok amaçlı tamsayılı programlama modeli ve sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Model, talebi karşılayacak minimum görevli sayısı ve görevlilerin önceliklerini birlikte eniyilemeye çalışmaktadır. Tam

zamanlı ve yarı-zamanlı çalışan görevlilerin çalışacakları vardiya ve ayrılacakları vardiya bu modelle belirlenebilmektedir. Sonuç olarak geniş bir perspektifte karışık dal-sınır tekniği ve sezgisel yöntemle bu problemi çözmüşlerdir [62].

Finansal sektörde çalışanların çizelgelenmesi

Finansal sektörde çalışanların çizelgelenmesi de bir hayli ilgi duyulan konulardan birisi olmuştur. Bu tür sistemlerde en büyük zorluk gün boyunca hizmet talebinin değişkenlik göstermesidir ve bu sebeple doğru yerde ve zamanda doğru personeli çalıştırmak zorlaşmaktadır. Ayrıca farklı kabiliyetleri olan banka çalışanlarının istihdamı güç olmaktadır. Bu tür problemler Mabert [63], Moondra [64] ve Dodin [65] tarafından çalışılmıştır.

Üretimde personel çizelgeleme

Dinamik üretim ortamlarında maliyet kalemini oluşturan girdiler genelde üretimin asıl giderleri ile iş gücü maliyetidir. Üretim talep ve arzı dengeleyecek biçimde çalışmalıdır ki bu da büyük oranda işgücü kapasitesine bağlıdır. İş gücü ve malzeme çizelgelemenin bütünleşik olarak ele alındığı önemli bir çalışma Faaland ve Schmitt [66], tarafından montaj hattı dengeleme problemi için gerçekleştirilmiştir. Bu problem malzemenin, stokun, işçinin ve geç kalma maliyetlerinin ayrı veya çok amaçlı olarak en iyilemesi ile ilgilidir.

Bilgisayar destekli planlama ve çizelgeleme yöntemi ile üretimde yarı zamanlı çalışan personellerin çizelgelenmesi Gopalagrishnan ve ark. [67] tarafından yapılmıştır.

Alfares ve Bailey [68], proje görevleri ile iş gücünün birlikte planlanabildiği bütünleşik bir model geliştirmişlerdir.

Azarmi ve Abdulhameed [69], kısıt programlama yaklaşımı ile mühendislerin iş, dinlenme ve izin çizelgelerini oluşturmuştur.

Kuo ve Yang [70], personel atama probleminin çözümü için karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli önermiştir. Amaç karışık yetenekli personellerin istasyonlara atanmasını, ürün gruplarının düz üretim hatlarına atanmasını sağlamaktadır.

Chauvet ve ark. [71], işlem zamanlarının atanan operatöre ve atanan işe bağlı olduğu problem için iki operatör atama modeli önermişlerdir. Önerilen birinci modelde, operatör sayısının görev sayısından fazla olduğu ve bir operatöre sadece bir işin atanabildiği varsayımı altında tüm görevlerin tamamlanma zamanını enküçükleyemeye çalışmışlardır. Önerilen ikinci modelde ise operatör sayısının görev sayısından fazla olduğu ve bir operatöre birden fazla işin atanabildiği varsayımı altında tüm görevlerin tamamlanma zamanını enküçükleyemeye çalışmışlardır.

U tipi montaj hatlarında çok fonksiyonlu işçiler görev almaktadır. Çok fonksiyonlu işçi birden çok makineyle işlem yapabilir ve bir çevrim zamanı içerisinde istasyondaki tüm makineleri dolaşır. İşçi bu makinelerden birine gittiği zaman eğer parçanın işlemi devam ediyorsa işlemin bitmesini bekler daha sonra parçayı bir sonraki makineye gönderir. Yeni parçayı boşalan makineye yerleştirir işlemi başlatır ve sonraki makineye gider. Burada işçinin çevrim zamanı onun ilk makineye art arda varışları arasındaki zaman aralığıdır. Bu zaman aralığı bekleme zamanı, işlem zamanı ve yürüme zamanını içerir. Ohno ve Nakade [72], görev zamanlarının ve yürüme zamanlarının deterministlik olduğu varsayımı altında U tipi montaj hattı operatör atama problemi için optimizasyon modeli önermiştir.

Ertay ve Ruan [73] çalışmalarında, en verimli operatör sayısını ve hücresel üretim sisteminde işgücü atamalarının etkin ölçütünü belirlemek için veri zarflama analizine dayalı karar verme yaklaşımını sunmaktadır. Veri zarflama analizi yaklaşımında, ortalama temin süresi ve ortalama operatör kullanım oranını çıktı değişkenleri; operatör sayısını, transfer parti büyüklüğünü ve talep düzeyini de girdi değişkenleri olarak belirlemiştir. Girdiler ve çıktılar hücresel imalat sisteminin simülasyonu ile

elde edilmiştir. Tezin amacı hücresel imalat sisteminde işgücü atamalarını belirlemektir.

Süer ve Bera[74] işgücü yoğun üretim süreçlerinde toplam işgücü gereksinimini minimize etmek için karışık tamsayılı doğrusal programlama formülasyonunu kullanarak iki fazlı bir sezgisel önermişlerdir. Bu problemde üretim tesisinde birçok hücre bulunmaktadır, her bir üretim hücresinde üretimin gerçekleşmesini sağlayacak düzeyde istasyon bulunmaktadır. Modelde hücreler arasında imalat kafilesi bölünmesine izin vermektedir, fakat personellerin yetenek kategorilerine ayrıştırılmamıştır, personellerin eş yetenekli olduğu düşünülmüştür.

3.2. Personel Çizelgeleme Problemleri İçin Çözüm Metotları

3.2.1. Talep tahmin yaklaşımları

Personel talebinin oluşumu rassal olduğundan en yaygın talep modelleri, Poisson, Erlang veya diğer genel dağılımlara uydurulmuştur. Müşteri geliş oranları, hizmet süresi ve olay sıklığı bu dağılımlara uydurulabilir. Kuyruk teorisi ve benzetim teknikleri belirli bir hizmet standardını yakalamaya çalışan sistemlerde en çok kullanılan yaklaşımlardır. Basit ortalama, üstel dağılım, regresyon gibi teknikler talep tahmininde kullanılan diğer yaklaşımlardır.

3.2.2. Yapay zeka yaklaşımları

Bulanık küme teorisi, zeki arama prosedürleri ve uzman sistem yaklaşımları nöbet çizelgelemede kullanılan yapay zeka yaklaşımlarıdır.

Personel çizelgeleme konusunda birkaç tane önemli karar destek sistemi bulundurmaktadır. Bunlar kullanıcı ile etkileşimlidir ve programın alt yapısı komşu yöre arama stratejisi ile geliştirilmiştir. Benzer bir felsefe olan uzman sistemler nöbet çizelgelerinin hazırlanmasında kullanılmıştır. Geliştirilen karar destek sistemleri ne kadar yararlı olsa da gerçek yaşam problemlerini çözmede yetersiz kalmaktadır.

Personel çizelgeleme problemlerine uygun çözümler bulmada en güçlü araçlardan birisi kısıt programlamadır. Bu teknik zor kısıtlar altında optimal olmasa da kabul edilebilir çözümler bulmada üstündür. Kısıt programlamayı kullanan bazı araştırmacılar kendi kısıtlarını oluşturarak arama algoritmalarını çok kolay biçimde geliştirmişlerdir. Bir başka uygulama alanı hemşirelerin nöbetlerini çizelgeleme olmuştur. Özellikle tamsayılı programlama ile zor modellenen çizelgeleme problemleri kısıt problemleri kısıt programlama ile kolayca modellenebilmektedir.

3.2.3. Meta sezgiseller

Kombinatoryal/kesikli problemlerin çözümünde meta sezgiseller önemli bir sınıfı oluşturmaktadır. Geleneksel sezgisel yöntemlerden tepe tırmanma, nesil arama ve aç gözlü arama yaklaşımları zor problemler için kullanılırlar. Problemin çözümü ya kendi yapısından ya da gerçek hayata uyarlanmasındaki sıkıntılardan dolayı zordur. Benzetim tavlaması, tabu arama, genetik algoritmalar, karınca kolonileri optimizasyonu, problem yüzeyi arama, uyarlanmış aç gözlü arama prosedürleri, makine öğrenimi, güçlendirilmiş öğrenme ve yapay sinir ağları modern meta sezgisellerdir

Sezgiseller ve meta sezgiseller personel çizelgeleme problemleri için oldukça fazla kullanılmıştır. Bunun nedenleri bilgisayarın kabul edilir sınırlar içerisinde uygun çözümler üretmemesi veya diğer yaklaşımlarla amaçların ve kısıtların modellemesinin karmaşık olması sayılabilir.

Yerel arama ve uyarlanmış/rassal arama metotları personel çizelgelemede kullanılmıştır. Bir başka özel problem olan otobüs sürücüsü çizelgeleme problemlerinde yerel arama metotları kullanılmıştır. Tabu arama personel çizelgelemede en çok kabul gören yaklaşımdır ve hemşire, uçuş ekibi ve otobüs sürücü çizelgelemede kullanılmıştır. Melez tabu arama yaklaşımı ve memetic algoritması hemşire çizelgelemede kullanılan diğer sezgisellerdir.

Çevrimsel personel çizelgeleme, havaalanı çalışanları çizelgeleme, izin, vardiya ve tur planlarının oluşturulmasında benzetim tavlaması kullanılmıştır. Bunlardan başka genetik algoritma ve benzetim tavlamasının birlikte başarıyla kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur.

3.2.4. Matematiksel programlama yaklaşımları

Matematiksel programlama yaklaşımları arasında doğrusal programlama ve tamsayılı programlama başlıca sayılabilir. En ünlü personel çizelgeleme yaklaşımı daha öncede belirtildiği gibi Dantzing'in [13] küme örtüleme yaklaşımıdır. Bu algoritmalar genelde maliyetin en küçüklenmesine dayalıdır. Buna karşın uygulamada birçok eksik noktaları vardır. Örneğin algoritmaların kullanımı için çok fazla değişken tanımlanması gereklidir ve bu problemin karmaşıklığını arttırır. Matematiksel modellerin gerçek yaşam problemlerinde kullanımı oldukça maliyetlidir. Ayrıca problemin çözümünde kullanılması gerekli kısıtların ve verilerin kolayca modellenmesi ve uygun zamanda çözülmesi çoğu zaman mümkün değildir. Bu sebeple genelde sezgisel olarak çözülürler.

Küme örtüleme (set covering) ve küme bölme (set partitioning) yaklaşımları, izin çizelgeleme, tur çizelgeleme ve vardiya çizelgelemede sayısız yazar tarafından kullanılmıştır. Gerçek personel çizelgeleme problemlerinde milyon hatta milyar sayıda değişkenden söz etmek mümkün ve küme örtüleme yaklaşımının yetersizliği literatürde araştırmacıların baş etmeye çalıştıkları temel sorunlardan birisi olmuştur. Bu nedenle küme örtüleme yaklaşımı, kesin modellemelerle veya sezgisel tekniklerle çözülebilir. En iyi bilinen kesin modelleme tekniği tam sayılı doğrusal programlama yaklaşımı olan dal-sınır metodudur. Üst sınırlar basit veya ileri sezgisellerle belirlenebilir. Alt sınırlar ise doğrusal programlamada kullanılan gevşetme teknikleri veya Lagrange gevşetme yöntemi ile elde edilebilir. Tur çizelgeleme, izin çizelgeleme ve görev çizelgelemenin bütünleşik haline uygulanacak doğru bir gevşetme yaklaşımı modelin karmaşıklığını azaltır.

Dal sınır tekniğinde çözüm zaman sınırı aşıldığında çözüm için sezgisel yaklaşımlar kullanılabilir. Burada çoğunlukla kısmi arama ile ilk uygun çözümü bulmaya veya iyi bir çözüm bulmaya odaklanılır.

Bunlardan başka amaç programlama, ağ modelleri, dinamik modeller, stokastik programlama yaklaşımları uygulamada yer almıştır.

Ayrıştırma (decomposition) tekniği problemin çözümünde sağladığı kolaylıklar nedeniyle literatürde sıkça karşımıza çıkmaktadır. Problemin alt gruplara ayrıştırılması ve aktivitelerin öncelik sıralarına göre çizelgelenmesi çözümün kalitesini arttırmaktadır.

4. PROBLEMİN TANIMI VE ESİNLENİLEN YÖNTEMLER

4.1. Problemin Tanımı

Üretim tesisinde şu anda fonksiyonel (atölye tipi) yerleşim mevcuttur, spesifik olarak p ürün grubunun üretimi gerçekleştirilmektedir. İş gücü ve ekipman genel amaçlı ve esnek, yetenekli iş gücü olarak mevcuttur. İş akışı kesikli ve yavaş, planlama ve çizelgeleme zor, WIP (work-in-process) yüksektir.

Fonksiyonel yapılanma gereği, Şekil 4.1'de gösterildiği gibi ürün gruplarını üretmek üzere spesifikleşecek düz montaj hatları oluşturulacaktır. Ürün grubuna göre yerleşimin yüksek oranda çıktı, özelleşmiş işgücü, eğitim gereksiniminin azlığı, düşük malzeme taşıma maliyeti, işçi ve ekipmanın yüksek kullanım oranı, belirlenmiş iş sırası ve çizelgeleme kolaylığı gibi avantajlarından faydalanmış olunacaktır.



Şekil 4.1. Düz montaj hatları

Emek yoğun üretim sistemleri genellikle küçük, basit ve ucuz makine ve ekipmanlar gerektirir. Bu sistemlerde üretim personeli, makine yoğun üretim sistemlere göre sayıca daha fazladır ve personel ataması hattın hızını direkt olarak etkilemektedir. Pratik uygulamalarda üretim faaliyetlerini gerçekleştirmek üzere personelin performansı/kabiliyeti önemli bir kısıttır ve personel atama kararlarının niteliği ve doğruluğu büyük ölçüde atanan personelin deneyimine, yetkinliğine, işe uyumuna, performansına ve kişisel özelliğine bağlıdır.

Dolayısıyla problemimiz, emek yoğun üretim sistemlerinde çalışan personellerin kalifiye düzeyini belirleyip, aylık üretim talebini gerçekleştirmek üzere belirli kısıtlar altında ürüne özgü düz üretim hatlarına atanmasını sağlamaktır. Bu bölümde, bundan sonraki alt başlıklarda; problemin çözümü için geliştirilen metodolojide esinlenilen yöntemlerden bahsedilecektir.

4.2. Karar Verme Süreci ve AHP

Yöneticiler verecekleri kararlar için doğru ve güvenilir tahminlere ihtiyaç duyarlar. Bunu yaparken bilimsel ölçütleri dikkate almaları daha iyi karar vermelerini sağlar. Karar verme problemi en genel anlamda; bir seçenek kümesinden en az bir amaç veya ölçüte göre en uygun seçeneğin seçimi seklinde tanımlanabilir. Buna göre bir karar probleminin elemanlarını karar verici, seçenekler, kriterler, sonuçlar, çevre ve karar vericinin öncelikleri oluşturur. En basit şekliyle bir karar problemi bir amaç veya ölçüte göre seçenekler arasından bir seçim yapma gibi düşünülebilir [75].

Bir karar verme yaklaşımı aşağıdaki karakteristiklere sahip olmalıdır:

• Yapılandırması basit olmalı,
• Hem gruplara hem bireysellere uyum sağlayabilir olmalı,
• Sezgilerimiz ve genel düşüncemiz için doğal olmalı,
• Uzlaşma ve oy birliğine teşvik edici olmalı,
• Konu hakkında aşırı detayda uzmanlaşmayı ve iletişimi gerektirmemeli,
• Karar verme proseslerinin detayları kolayca gözden geçirilebilir olmalıdır [76].

Pek çok işletmede karar süreci bilginin toplanması ve analizi için yoğun bir çaba ve zamanı gerektirir. Alternatif eylem planlarının değerlendirilmesinde ise çok daha kısa bir zaman harcanmaktadır. Analizlerin sonuçları, bir karara varmak için sezgisel olarak değerlendirilmektedir. Araştırmalar, pek çok günlük kararın sezgisel olarak alınmasının yeterli olmasına rağmen, karmaşık ve hayati kararlar için bu yolun tek başına yeterli olmadığını göstermektedir. Modern karar destek yöntemlerini kullanan işletmeler, globalleşen iş ilişkilerine öncülük etmekte ve bu ilişkiler ağını yönetmekte

rekabetçi avantaj sahibi olabilmektedir. Son yıllarda artan modern karar destek yöntemlerinden biri Analitik Hiyerarşi Yöntemidir [77].

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), 1970'li yıllarda Thomas L. Saaty tarafından, çoklu kriter içeren karmaşık karar verme problemlerinin çözümü için tasarlanmıştır. AHP, problemi amaç, kriterler, alt kriterler ve alternatiflerden oluşan hiyerarşik bir modelle analiz edilmesini ve uygun çözüme ulaşılmasını sağlar. Büyük ölçekli, dinamik ve karmaşık çok kriterli karar verme problemlerine çözüm getirebilen bir yaklaşımdır.

AHP, çok sayıda alternatif arasında seçim ya da sıralama yaparken, çok sayıda karar vericinin bulunabildiği, çok kriterli, çok amaçlı, belirlilik ya da belirsizlik durumunda karar vermede kullanılır. AHP, karar teorisinde zengin uygulamaları olan, nitel ve nicel faktörleri birleştirme olanağı sunan güçlü ve kolay anlaşılır bir yöntemdir. AHP, objektif kriterlerin yanında sübjektif kriterleri de ele alıp değerlendirebilen bir yaklaşımdır.

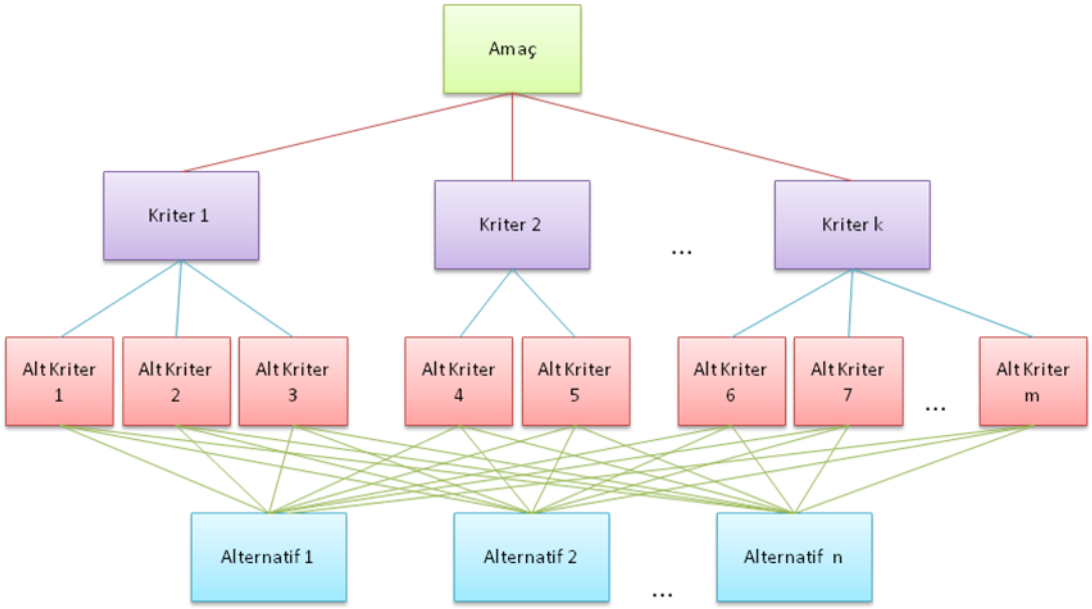
Bu ikili karsılaştırmalarda bu iki durumdan hangisi daha önemli ya da hangisi diğerine göre daha çok tercih edilir. Bunlar belirlenerek bunların sayısal olarak değerlendirilmesi esasına dayanır. AHP karar verme durumunda olan insan için en iyi seçeneği belirlemenin yanında, seçenekler arasında sıralama yapmaya da imkan verir. Bu yöntem hem nicel hem de nitel faktörleri dikkate alması, kolay kullanılır olması ve basit uygulanabilir olması nedeniyle çok karmaşık problemlerde bile kolaylıkla uygulanabilmektedir. AHP esnek ve kolay uygulanabilir olması yönüyle karar vericiye çok büyük bir kolaylık sağlar [78].

AHP; her sorun için amaç, kriter, olası alt kriter seviyeleri ve seçeneklerden oluşan hiyerarşik bir model kullanır. Karışık, anlaşılması güç veya yapısallaşmamış sorunlar için genel bir yöntemdir ve üç temel prensip üzerine kurulmuştur [79]:

1. Hiyerarşilerin oluşturulması prensibi
2. Üstünlüklerin belirlenmesi prensibi
3. Mantıksal ve sayısal tutarlılık prensibi

4.2.1. Hiyerarşik yapının oluşturulması

AHP'nin ilk adımı, bir karar probleminin daha kolay kavranmasını, analiz edilmesini ve değerlendirilmesini sağlayacak hiyerarşik bir yapının oluşturulma sürecidir. Bu aşamada, kararı etkileyecek tüm faktörleri içeren ve genel hedeften kriterlere daha sonra alt kriterlere ve en sonunda alternatiflere kadar yukarıdan aşağıya uzanan bir hiyerarşik yapı geliştirilir. Hiyerarşik yapı örneği Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Analitik hiyerarşi yapısı örneği

Hiyerarşinin tepesinde ana hedef yer almaktadır. Bir alt kademesinde, kararı etkileyecek ana kriterler ve onların altlarında da ana kriterlere etki eden alt kriterler yer alır. Hiyerarşinin en alt bölümünde ise karar alternatifleri yer alır.

Hiyerarşik yapının oluşturulmasında dikkat edilmesi geren en önemli hususlar [80]:

1. Hiyerarşik yapı problemi en iyi şekilde temsil etmelidir.
2. Problemi etkileyen tüm yan faktörler göz önüne alınmalıdır.
3. Çözüme ışık tutabilecek tüm yayın ve belgeler dikkate alınmalıdır.
4. Problemin içerisinde rol alacak katılımcılar belirlenmelidir.

Hiyerarşi tasarımı, problem alanıyla ilgili bilgi ve tecrübe gerektirir. İki karar vericinin aynı problem için iki farklı hiyerarşi yapısı kurması normaldir. Hiyerarşi tek bir yapı değildir, kişiden kişiye değişir. Diğer yandan eğer iki kişi aynı problem için aynı yapıyı kursalar bile, tercihlerinde farklılıklar olabilecektir. Bu nedenle bir problemle karşılaşıldığında insanlar yargılarda, değerlendirmelerde ve hiyerarşi yapısında fikir birliği oluşturmak için bir arada çalışmalıdır.

4.2.2. İkili karşılaştırma ve üstünlüklerin belirlenmesi

Hiyerarşilerin oluşturulmasıyla birlikte karar verici, her düzeydeki öğelerin göreli üstünlüklerini belirlemek için ikili karşılaştırma işlemine baslar. Karar verici bu öğeler hakkında bilgi sahibi olması, hatta uzman olması gerekmektedir. Karar verici, her düzeydeki öğeleri, bir üst düzeydeki öğeye karsı önem derecelerine göre ikili olarak karşılaştırır. İkili karşılaştırma, hiyerarşinin en tepesinden baslar ve her düzeydeki karşılaştırmalarla kare matrisler oluşturulur.

Hiyerarşinin bir düzeyini oluşturan öğelerin birbirlerine olan göreli önemleri, ikili karşılaştırmalar yoluyla belirli bir ölçeğe göre puanlandırılıp, matristeki yerine yazılır. AHP'de kullanılan nominal ölçek karar vericinin tecrübe ve bilgisini de sezgisel olarak karara katmasını sağlamaktadır.

Karar verici iki öğe arasında tercihini belirtirken sözel olarak "Eşit Önem", "Biraz Daha Fazla Önemli", "Kuvvetli Derecede Önemli", "Çok Kuvvetli Derecede Önemli" ve "Aşırı Önemli" kelimelerini kullanır. Bu tanımlayıcı tercihler sayısal oranlara çevrilirse; bu ifadelere karsı 1, 3, 5, 7 ve 9 rakamları karşılık gelmektedir. Beş adet temel puana denk gelmeyen ve iki ardışık önem derecesi arasına düşen 2, 4, 6 ve 8 gibi ortalama değerler de kullanılabilir (Bkz. Çizelge 4.1). Eğer ikili karşılaştırma sırasında satırdaki faaliyet sütundaki faaliyetten daha az tercih ediliyorsa, başka bir ifadeyle, sütundaki faaliyet satırdakinden daha önemli ise, iki taraflı uygun sayılar olan 1/3, 1/5, 1/7 ve 1/9 matristeki yerine yazılabilir.

Çizelge 4.1. AHP önem değerleri

Önem Değerleri	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	İki ardışık yargı arasına düşen değerler

n karşılaştırılan eleman sayısını, i matristeki satırı, j sütunu belirtmek üzere, ikili karşılaştırma matrisi A ile gösterilirse a_{ij}, karşılaştırılan elemanların birbirlerine göre önemlerini belirtir. İkili karşılaştırmalar matrisi Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

$$A=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ . & & & . \\ . & & & . \\ . & & & . \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \Rightarrow A=\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ . & & & . \\ . & & & . \\ . & & & . \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Şekil 4.3. İkili karşılaştırma matrislerinin gösterimi

Öncelik vektörü karar vermede, ikili karşılaştırma matrislerinden önceliklerin elde edilmesinde kullanılan önemli bir kavramdır. Her bir kriter için bir alt seviyesini oluşturan alternatiflerin ikili karşılaştırmalar matrisinden ilgili kriterin özvektörü (öncelik vektörü) elde edilir. Bu öncelik vektörleri, bir üst seviyede yer alan kriterlerin ağırlık vektörleri ile çarpılarak en üst seviyede olan amaç için genel öncelik vektörü bulunur [82].

AHP problemlerini çözmek için bilgisayarda Expert Choice ya da Microsoft Excel programları kullanılarak çözüm yapılabilir. Bu programların bulunmadığı durumlarda, göreli önem vektörlerinin bulunması için en kaba yöntem, daha iyi yöntem, bölmeli iyi yöntem ve çarpmalı iyi yöntem olarak dört yöntem geliştirilmiştir [83].

1. *En Kaba Yöntem:* Her satırın toplamı ayrı ayrı alınarak her toplam değeri söz konusu toplamların toplamına bölünür. Cevapların toplamı 1'e eşitlenir ve önem vektörü normalize edilmiş olur. Elde edilen vektörde 1. eleman birinci faaliyetin göreli önemini, 2. eleman ikinci faaliyetin göreli önemini vb. verir.

2. *Daha İyi Yöntem:* Her sütunda elemanlar toplanarak eşlenikleri bulunur. Bulunan her eşlenik, eşlenikler toplamına bölünmek suretiyle normalize edilir.

3. *Bölmeli İyi Yöntem:* Her sütunda elemanlar, o sütun toplamına bölünür. Elde edilen değerlerin satır toplamı bulunur ve bu toplam satırda bulunan eleman sayısına bölünür. Elde edilen değerler normalize edilir.

4. *Çarpmalı İyi Yöntem:* Her satırda n adet eleman birbirleriyle çarpılarak çarpım sonucunun n. dereceden kökü alınır. Elde edilen değerler normalize edilir.

Bu yöntemler ya da bilgisayar programları kullanılarak göreli önem değerleri hesaplanır. Karşılaştırma matrisinde alınan değerlerin tutarlı olup olmadığı tutarlılık oranına bakarak tespit edilir.

4.2.3. Tutarlılık

Tutarlılık, ikili karsılaştırmalar sonucunda bulunan değerlerin yani önceliklerin birbirleriyle olan mantıksal ve matematiksel ilişkisi olarak tanımlanabilir. İkili karşılaştırma matrisinin göreli önem vektörü bulunduktan sonra, bulunan bu değerlerin tutarlı olup olmadığını belirlemek amacıyla tutarlılık oranı hesaplanır.

Tutarlılık hesaplamaları "Bulanık AHP'de Tutarlılık" bölüm başlığı altında anlatılmıştır.

4.2.4. AHP aksiyomları

AHP'nin temelini oluşturan dört aksiyom bulunmaktadır [84]:

Birinci aksiyom_Ters karşılaştırma: Bu aksiyoma göre, A kriteri B kriterine göre m kat önemli ise, B kriteri A kriterine göre 1/m kat önemlidir. Yani A kriteri B kriterinden 3 kat önemli ise B kriteri de A kriterinden 1/3 kat önemli olmalıdır.

İkinci aksiyom_Homojenlik: Karşılaştırılacak olan elemanlar arasında çok fazla farklılığın bulunmaması gerekir. Burada tercihler arasında çok ciddi bir fark bulunmaması esastır

Üçüncü Aksiyom_Beklentiler: Beklentilere cevap verebilmesi için hiyerarşide tüm kriterler ve alternatiflerin yer alması gerekir. Yani alınacak kriterler amaca yönelik olmalıdır.

Dördüncü Aksiyom_Bağımsızlık: Karşılaştırılan seçenekler ve kriterlerin birbirinden bağımsız olduğu varsayılır.

4.2.5. AHP'nin avantajları ve sınırlamalar

Analitik hiyerarşik proses içinde çeşitli eleştiriler ve sağladığı yararlar değişik kaynaklarda farklı şekillerde dile getirilmiştir [77].

Analitik hiyerarşi prosesinin avantajları aşağıdaki şekilde dile getirilebilir:

- Çok karmaşık problemleri bile basitleştirebilen bir yapısının olması,
- Uygulamasının kolay olması,

- Karar vericinin kararlarının tutarlılık derecesini ölçebilmesine imkân vermesi
- Bir karar probleminde hem objektif hem de sübjektif veriler kullanılarak karar verilebilmesi. AHP, kompleks karar süreçlerini, bir sistem alanında ve sistematik usulündeki karar hakkındaki bütün var olan bilgiler sentezinde daha rasyonel olması,
- Grup kararlarında uygulanabilir olması sayılabilir.

Ayrıca AHP veri sentezleme faaliyetinin, Microsoft Excel programı üzerinden kolaylıkla yapılabilmesinin yanında; AHP'ye ait yazılım paketi Expert Choice, karar vericinin, hiyerarşik yapının oluşturulması, ikili karşılaştırma, sentezleme ve bir karar verme süreci için önemli bir yere sahip duyarlılık analizinin hızlı ve doğru bir şekilde gerçekleştirmesine imkan vermektedir.

Teorik ve uygulamaya yönelik olarak tekniğin aldığı eleştiriler aşağıdaki gibi sıralanabilir[85]:

- *Bilgi eksikliği:* Karşılaştırılan alternatifler ile ilgili az bilgi mevcut veya hiç mevcut değilse, yargılar rastgele ve yüksek tutarsızlığa sahip olacaktır.

- *Yoğunlaşma eksikliği:* Yoğunlaşma eksikliği, genellikle yargıda bulunan karar vericilerin yorgunluğu veya karar üzerine yeterli ilgiyi göstermemelerinden ileri gelmektedir.

- *Geçişlilik özelliğinin bulunmaması:* ikili karşılaştırmalarda geçişlilik özelliğinin bulunmaması tutarsızlık kavramı içinde değerlendirilebilmektedir. Alternatif j alternatif k'ya, alternatif k da alternatif l'ye tercih edilir durumunda iken, alternatif l alternatif j'ye tercih edilir olabilmektedir. Geleneksel karar verme kuramına göre, geçişlilik özelliğinin bulunmaması, yargılardaki bir tutarsızlığı temsil etmektedir.

- *Sıralama değişimi:* AHP için en fazla karşıt görüş bildirilen husus, ilk olarak Belton, Gear tarafından ortaya atılan *sıralama değişimi* kavramıdır. AHP tekniğinin güvenilirlik ve geçerliliği konusunda önemli şüpheler uyandıran sıralama değişimi

olgusu, AHP uygulamalarında dikkat edilmesi gereken bir konu olmuştur. Sıralama değişimi, mevcut alternatifler değerlendirildikten sonra, mevcut alternatiflerden bir veya daha fazlası tarafından baskın olan alternatifin dahil olması veya değerlendirme dışı bırakılması ile sıralamanın değişmesi ile ortaya çıkmaktadır.

- *Tutarsızlık:* Nihai kararın kalitesi bakımından önemli bir konu, ikili karşılaştırma süreci esnasında karar verici tarafından formüle edilen yargıların tutarsızlığıdır. Tutarlı olmak rasyonel düşünüşün bir ön koşulu olarak kabul edilmektedir. Ancak uygulamada tam anlamıyla tutarlı olmak neredeyse imkansızdır. AHP ise mükemmel bir tutarlılık talep etmemektedir. Tutarsızlığa izin vermekte ancak her bir yargılamada tutarsızlığın ölçümünü sağlamaktadır. İkili karşılaştırma yargılarının tutarlılığını ölçmek için Saaty tarafından önerilen bir tutarsızlık oranı kullanılmaktadır. Tutarsızlık oranı her bir ikili karşılaştırma matrisi için hesaplanmaktadır.

- *Veri girişindeki hatalar:* En çok karşılaşılan tutarsızlık sebebi olarak, bilgisayara yargılarla ilgili yanlış değerin ve tam tersi bilginin girilmesi sayılabilir.

Geçişlilik ve tutarsızlığın çok kriterli/nitelikli problemler için kabul edilebilir olması, AHP'nin tutarsızlığı belirli bir oranda çözüme dahil etmesi ve düşük tutarsızlık oranının karar verme süreci için amaç olarak değerlendirilmemesi gerektiği, sözel ifadelerden kaynaklanan belirsizlik için Bulanık AHP'nin kullanılmış olması ve AHP'ye yöneltilen sıralama değişimleri, geçişlilik ve tutarsızlık üzerine yapılan eleştiriler, tekniğin problemimizde kullanılması için bir engel teşkil etmemektedir.

4.3. Bulanık Mantık ve Karar Verme

Gerçek hayatta karşılaşılan karar verme problemleri belirli seviyelerde karmaşıklık içermektedir. Bu karmaşıklık, genel olarak belirsizlik, kesin düşünceden yoksunluk ve karar verilemeyişten kaynaklanmaktadır. Gerçek bir olayın kavranılması, insan bilgisinin yetersizliği sebebiyle tam anlamı ile mümkün olmadığından, insan,

düşünce sisteminde ve zihninde karmaşık olayları yaklaşık olarak canlandırarak yorumlarda bulunmaktadır [86].

Karar vericiler hangi şartlarda ve boyutlarda karar verirlerse versinler, bir belirsizlik ortamı içinde bu işlevlerini yerine getirmek zorundadırlar. Verilen kararların doğruluğu ise, söz konusu belirsizliğin riske dönüştürülebildiği ölçüde sağlanacaktır. Ancak karar vericiler karar sürecinde klasik bilimsel yaklaşım ve bu yaklaşımın içerdiği yöntemleri kullanıyorlarsa, sonuçta verilen kararlar, iyi-kötü, güzel-çirkin, doğru-yanlış, evet-hayır, siyah-beyaz ya da 0-1 gibi çift yönlü kararlar olacaktır. Oysa gerçek yaşam mutlak ayrım üzerine kurulu değildir. Diğer bir deyişle karar ortamlarında mutlak siyah ve mutlak beyazın yanında binlerce gri tonunun varlığı unutulmamalıdır.

İnsan düşünce ve algılarındaki belirsizlikle ve bu belirsizliğin sayısallaştırılması ile ilgilenmek amacıyla 1965 yılında L.A. Zadeh tarafından Bulanık Küme Teorisi geliştirilmiştir. Bu teori, kesin olmayan ve şüpheli kaynaklar ışığında insanların tutarlı ve doğru kararlar vermelerini sağlayan düşünme ve karar verme mekanizmalarının modellenmesi ile ilgilenmektedir [87].

Klasik mantık ile bulanık mantık arasındaki temel farklılıklar Çizelge 4.2'de gösterilmiştir [88].

Çizelge 4.2. Klasik mantık ile bulanık mantık arasındaki temel farklılıklar

Klasik Mantık	Bulanık Mantık
A veya A Değil	A ve A Değil
Kesin	Kısmi
Hepsi veya Hiçbiri	Belirli Derecelerde
0 veya 1	0 ve 1 Arasında Süreklilik
İkili Birimler	Bulanık Birimler

Bulanık mantığın başlıca özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- "doğru" , "çok doğru" , "az çok doğru" v.b. gibi sözel olarak ifade edilen (linguistik-dilsel-değişkenli)doğruluk derecelerine sahip olması,
- Geçerliliği kesin değil fakat yaklaşık olan çıkarım kurallarına sahip olması,
- Her kavramın bir derecesi olması,
- Her mantıksal sistemin bulanıklaştırılabilmesi,
- Bulanık mantıkta bilginin, bulanık kısıtlara ait değişkenlerin esnekliği veya denkliğiyle yorumlanması.

4.3.1. Bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları

Bulanık küme teorisi ile kesin sınırları olmayan problemleri tanımlamak ve çözmek amaçlanmıştır. Bilgi eksikliğinden kaynaklanan net olmayan ve bulanık bilgiyi ifade etmek için bir esneklik sağlamaktadır. Genellikle net değerlerden çok belirsiz durumlar ile karşılaşıldığından, nitel tercihlerin noktasal tahminlere dönüştürülmesi için kullanılmaktadır.

Bulanık mantık, sayıların komşuluğu felsefesine dayanır. Karar sürecinde bir durum bir sayıyla ifade ediliyorsa, söz konusu durumun kabul edilirliği o sayının gerçekleşmesinde sağlanacaktır. Ancak söz konusu sayıya yakın sayılar karar sürecinin bir parçası olarak algılanmayacaktır. Oysa belirli bir güven katsayısında bu sayıların farklı popülasyonların üyeleri olduğunu öne sürmek de istatistiksel açıdan yanlış olacaktır. Örneğin bir tezgahta işlenen bir parçanın sıcaklığının 39 C^0'ye ulaşması, tezgahın bakım sürecini başlatan bir durumsa belki de sıcaklığın 36 C^0'ye ulaşması da aynı bakım sürecinin başlaması için bir ön şart olarak kabul edilebilir. Bu durumda aynı temel amaca hizmet eden sayıların komşuluğundan söz etmek mümkündür [88].

Eğer A, $R \in (-\infty,+\infty)$' da, söz konusu kümenin bir elemanı ise $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu $R \to [0,1]$ aralığında oluşur. Diğer bir deyişle A kümesi, A= [a_1, a_3]

aralığında ise genel olarak $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu Eş. 4.1'de belirtildiği gibi gösterilebilir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ 1, & a_1 \le x \le a_3 \\ 0 & x > a_3 \end{cases} \tag{4.1}$$

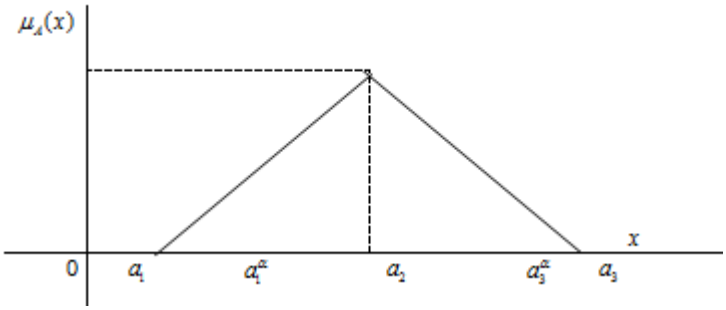
Bulanık sayılarda üyelik fonksiyonu birçok farklı şekillerde olabilmektedir. Özel bir şeklin uygun olup olmayacağı, çalışılan uygulama alanı tarafından elde edilen verilerle belirlenir. Fakat birçok uygulama bu tür şekil değişikliklerine karşı çok fazla duyarlılık göstermezler. Hesaplama açısından getirdiği kolaylıklar göz önüne alınarak istenilen şekilde üyelik fonksiyonunun seçilmesi, bulanık küme teorisinin esnekliğini yansıtmasında öne çıkan bir durumdur [89].

Üyelik fonksiyonları genellikle, üçgensel üyelik fonksiyonları ve yamuk üyelik fonksiyonları olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir. Bu tezde ise *basitliği* nedeniyle üçgensel bulanık sayılar üzerinde durulacaktır [88].

$\mu_A(x)$ üçgensel üyelik fonksiyonu, Eş. 4.2'deki gibi tanımlanmıştır.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \dfrac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \le x \le a_2 \\ \dfrac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, & a_2 \le x \le a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \tag{4.2}$$

Eş. 4.2'ye göre küme, $A = (a_1, a_2, a_3)$ olmalıdır. Burada a_2 normal değerli üyelik olarak tanımlanabilir. Bulanık Mantık bu noktada bir α katsayısına bağlı olarak a_2'ye yakın değerlerin, bu değere yüklenen anlam ile temsil edileceğini varsaymaktadır. Diğer bir deyişle a_2'deki belirsizlik, varsayılacak ya da dağılıma göre bulunabilecek bir α katsayısı ile tolere edilebilir. Söz konusu komşuluk Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Sayıların komşuluğu

α değeri bulanık mantık terminolojisinde kesim katsayısı olarak adlandırılır. a_1^α ve a_3^α sayıları ise a_2 normal değerinin komşuluğunu oluşturan aralığın alt ve üst sınır değerleridir. Diğer bir deyişle a_1^α ve a_3^α aralığındaki tüm sayılar a_2 normal değeri ile aynı anlama sahiptir. a_1^α ve a_3^α değerleri Eş. 4.3 ve Eş. 4.4 yardımıyla bulunabilir.

$$\frac{a_1^\alpha - a_1}{a_2 - a_1} = \alpha \tag{4.3}$$

$$\frac{a_3 - a_3^\alpha}{a_3 - a_2} = \alpha \tag{4.4}$$

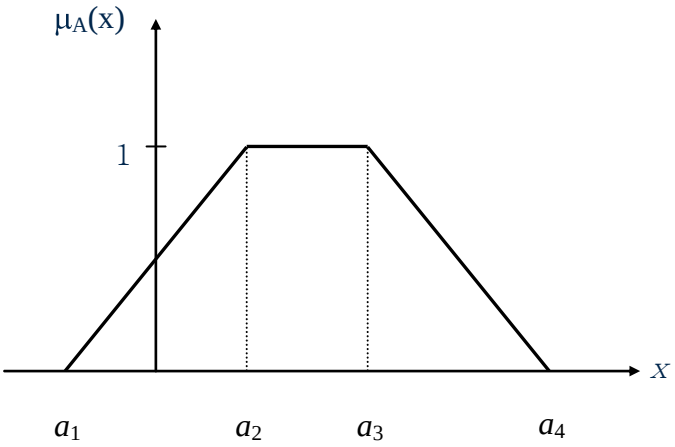
Eş. 4.3 ve 4.4 ile $\forall\alpha \in [0,1]$ için $A_\alpha = [a_1^\alpha, a_3^\alpha]$ aralığı oluşturulabilir. a_1^α ve a_3^α değerleri Eş. 4.5 ve 4.6'te gösterilmiştir.

$$a_1^\alpha = \alpha(a_2 - a_1) + a_1 \tag{4.5}$$

$$a_3^\alpha = a_3 - (a_3 - a_2)\alpha \tag{4.6}$$

Eğer bulanık mantık sayılarına ilişkin kümede normal kabul edilen iki değer varsa diğer bir deyişle küme, $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ şeklinde dört belirleyici değerden oluşuyorsa bu durumda üyelik fonksiyonu yamuk üyelik fonksiyonu tipinde oluşacaktır. Yamuk üyelik fonksiyonu Eş. 4.7'de gösterilmiştir. Söz konusu komşuluk Şekil 4.5' teki gibi oluşacaktır.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \dfrac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \le x \le a_2 \\ 1, & a_2 \le x \le a_3 \\ \dfrac{a_4 - x}{a_4 - a_3}, & a_3 \le x \le a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases} \tag{4.7}$$



Şekil 4.5. Yamuk sayı komşuluğu

4.3.2. Üçgensel bulanık sayılarda temel işlemler

Bulanık kümelerde işlem kolaylığı sağlamak için bulanık sayılar kullanılır. Yapılan çalışmalarda bu amaçla büyük oranda üçgensel bulanık sayılar kullanılır. Üçgensel bulanık sayılar, bulanık sayıların özel bir sınıfıdır, üçgensel bir bulanık sayı ($\tilde{A}$) üç gerçek sayı *(l≤m≤u)* ile ifade edilir.

(l, m, u) olarak ifade edilen $\tilde{A}$ bulanık sayısında, *m* bulanık sayının en olası değerini, *l* ve *u* değerleri sırasıyla alt ve üst sınırları yani bulanıklığın kapsamını göstermektedir. $\tilde{A}=(l_a, m_a, u_a)$ ve $\tilde{B}=(l_b, m_b, u_b)$ iki bulanık sayı iken bulanık sayılar üzerindeki temel bulanık operasyonlar şu şekilde tanımlanır.

- ✓ Toplama: $\tilde{A} \oplus \tilde{B} = (l_a + l_b,\ m_a + m_b, u_a + u_b)$
- ✓ Çıkarma: $\tilde{A} - \tilde{B} = (l_a - l_b,\ m_a - m_b, u_a - u_b)$

- ✓ Çarpma: $\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (l_a * l_b,\ m_a * m_b,\ u_a * u_b)$
- ✓ Bölme: $\tilde{A} / \tilde{B} = \left[\frac{l_a}{u_b},\ \frac{m_a}{m_b},\ \frac{u_a}{l_b} \right]$
- ✓ Tersini alma: $\tilde{A}^{-1} = \left[\frac{1}{u_a},\ \frac{1}{m_a},\ \frac{1}{l_a} \right]$
- ✓ α-kesme: $\tilde{A} = (l_a, m_a, u_a)$ bulanık sayısından farklı α değerleri için kapalı değerler kümesi elde etmek için kullanılır. A bulanık kümesinin α-kesmesi şu şekilde tanımlanır: $\tilde{A}_\alpha = \alpha \in [0,1] \,|\, \mu_A \ x \ \geq \ \alpha$

4.3.3. Bulanık küme teorisinin uygulama alanları

Bulanık AHP tekniğinin temelini oluşturan Bulanık Küme Teorisi, potansiyel olarak geniş bir uygulama alanına sahiptir. Başlangıçta sadece teorik bir araştırma alanı olarak ortaya çıkmış olan bulanık küme yaklaşımı, izleyen yıllarda pek çok farklı alanda uygulama imkanı bulmuştur. Bu uygulama alanları arasında en belirgin olanları; bilgisayar bilimleri, kontrol, meteoroloji, tıp, sosyal bilimler, psikoloji, yapay zeka ve uzman sistemler yanında yönetim bilimleri ve karar verme sayılabilmektedir.

Kahraman ve ark., bulanık küme teorisinin Endüstri Mühendisliği (EM) alanındaki 1972-2005 yılları arası uygulamalarını sınıflandırmışlardır [90]. Bu gruplandırmada yapay zeka, grup karar verme, çok kriterli karar verme, karar destek sistemi bilgi sistemleri, istatistiksel karar verme, üretim yönetimi, imalat, üretim sistemleri, sınıflandırma, optimizasyon, genel modelleme, proje yönetimi, teknoloji yönetimi, kalite yönetimi, uzman sistemler, tahmin, simülasyon, kontrol, risk değerlendirmesi, ergonomi, doğrusal programlama, matematiksel programlama**,** mühendislik ekonomisi konuları yer almaktadır.

4.4. Bulanık AHP Yöntemi

Çok kriterli karar verme metotlarından biri olan analitik hiyerarşik proses belirsizlik durumunda karar vermeye tam uygun olmadığından, bulanık mantıkla AHP birleştirilerek bulanık analitik hiyerarşik proses ortaya konmuştur. Karar verici genellikle kesin değerler içeren değerlendirme yapmak yerine, aralıklı değerlendirme yapmayı daha güvenilir bulacaktır. Literatürde yer alan çeşitli yazarlar tarafından ortaya konmuş olan bir çok bulanık analitik hiyerarşik proses metodu bulunmaktadır. Bulanık AHP'nin uygulama alanları Çizelge 4.3'te gösterilmiştir [82].

Bu tezde genişletilmiş analiz yöntemi ile toplam entegral değer yöntemi ayrıntılarıyla anlatılacaktır.

Çizelge 4.3. Bulanık AHP'nin uygulama alanları

İşletme Organizasyonu İle İlgili Karar Verme Sorunları	İşletme Yönetimi İle İlgili Kararlar Verme	İşletme Fonksiyonları İle İlgili Karar Verme Sorunları	Milli Politiklar - Hükümet Kararları	Halk Yönetimi (Federal ve Yerel)
Reklam Kampanyaları	Stratejik Planlama	Ürün Yaşam Eğrisi Analizi	Nükleer Silazsızlanma	Kaynak Belirleme
Müşteri İlişkileri	Kazanç Arttırma Planları	Satış Gücünü Teşvik Planları	Bütçe Düzenleme	Talep Değerlendirme
İşgücü Ve Terfi Kararları	Ortaklık Kurma	Talep Değerlendirme	Uluslar arası Krizler	Uygulanabilir Projeler
İşveren İlişkileri	Pazarlama	Hukuki Kararlar	Destek Olma Karşı Çıkma Kararları	Yasal Kararlar
Fizibilite	Yeni Ürün Geliştirme	Zaman Planlaması	Askeri Kararlar	Bütçe Düzenleme
Pazarlama		İşe Alma ve İşten Çıkarma		
Leassing Kararları		Sağlık- Eğitim Planlaması		

4.4.1. Genişletilmiş bulanık AHP yöntemi

Bulanık AHP'nin uygulandığı birçok problemde Chang [91] tarafından önerilen genişletilmiş bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem sentetik derece değerlerini kullanmasının yanında basit seviye sıralaması ve karma toplam sıralaması ile öne çıkmaktadır. Chang'in BAHP analizinde geliştirdiği Genişletilmiş Bulanık AHP Yöntemi'nin algoritması aşağıdaki gibidir.

Adım 0: X={x_1, x_2, ...x_n}ölçütler kümesi ve U={u_1,u_2, ...u_n}hedefler kümesi olsun. Chang'in genişletilmiş analiz yöntemine göre, her ölçüt ele alınarak g_i değerleri oluşturulur.

Böylece, her bir ölçüt için m adet genişletilmiş analiz değerleri;

$$M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, ..., M_{g_i}^m \qquad \text{i=1,2,...,n} \tag{4.8}$$

şeklinde elde edilebilir. Burada tüm $M_{g_i}^j$ (j = 1, 2, …, m)'ler üçgensel bulanık sayıdır.

Adım 1: i ölçütüne ilişkin bulanık sentetik derece değeri;

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^j \right]^{-1} \tag{4.9}$$

olarak tanımlanır. Burada (l_i, m_i, u_i) üçgensel bir bulanık sayı olmak üzere, $\sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^j$ değerini elde etmek için m mertebe analiz değerine Eş. 4.10'da görüldüğü gibi bulanık toplama işlemi uygulanır.

$$\sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^j = (\sum_{j=1}^{m} l_j, \sum_{j=1}^{m} m_j, \sum_{j=1}^{m} u_j) \tag{4.10}$$

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^j = (\sum_{i=1}^{m} l_i, \sum_{i=1}^{m} m_i, \sum_{i=1}^{m} u_i) \tag{4.11}$$

Daha sonra Eş. 4.11'deki vektörün tersi şu şekilde elde edilir.

$$\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j}\right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} l_i}\right) \qquad (4.12)$$

Adım 2: $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ üçgensel (konveks) bulanık sayılar olmak üzere, $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ifadesinin olasılık derecesi aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x}\left[\min \mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y)\right] \qquad (4.13)$$

Denk olarak Eş 4.14'teki gibi de ifade edilebilir:

$$V(M_2 \geq M_{1)} = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1 & \text{eğer } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{eğer } l_1 \geq u_1 \\ \dfrac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_{2)}) - (m_1 - l_1)} & \text{d.d.} \end{cases} \qquad (4.14)$$

Şekil 4.6' da görüldüğü gibi $V(M_2 \geq M_1)$ ifadesi $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ üçgensel bulanık sayılarının kesişim noktasının ordinatıdır. Başka bir deyişle üyelik fonksiyonunun değeridir. M_2 ve M_1'i karşılaştırmak için $V(M_1 \geq M_2)$ ve $V(M_2 \geq M_1)$ değerlerinin her ikisinin de bulunması gerekmektedir.

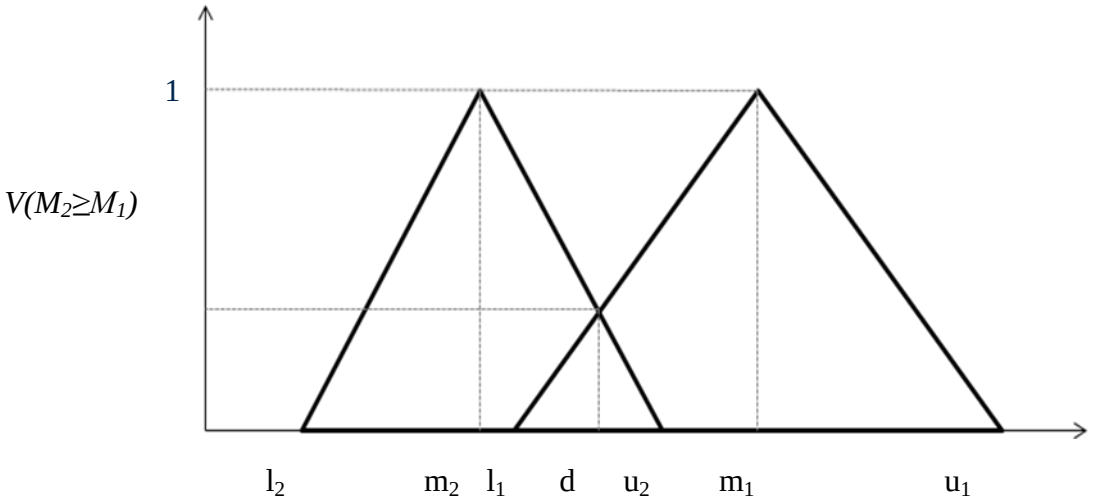
Adım 3: Bir konveks bulanık sayının k tane konveks bulanık sayıdan M_i (i=1, 2,…, k) büyük olmasının olabilirlik derecesi şu şekilde tanımlanır:

$$\begin{aligned} V(M \geq M_1, M_2, ..., M_k) &= V\ (M \geq M_1), (M \geq M_2), ..., (M \geq M_k) \\ &= \min V(M \geq M_i) \qquad i = 1, 2, ..., k \end{aligned} \qquad (4.15)$$

$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$ k=1,2,…,n ve k≠i olarak alınırsa ağırlık vektörü,

$$W' = d'(A_1), d'(A_2), ..., d'(A_n)^T \quad (4.16)$$

şeklinde elde edilmiş olur.



Şekil 4.6. M_1 ve M_2 üçgen bulanık sayılarının kesişimi

Adım 4: Yukarıda Eş. 4.16' da verilen ağırlık vektörü normalize edildiğinde W vektörü aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$W = d(A_1), d(A_2), ..., d(A_n)^T \quad (4.17)$$

Üçgensel bulanık sayılar ile elde edilen karşılaştırma matrisine dayanarak hesaplanan bulanık olmayan W ağırlık vektörü ile klasik AHP yaklaşımının hiyerarşik yapısına uygun biçimde nihai karara ulaşılır.

Fakat, Wang'a göre, genişletilmiş analiz yönteminden elde edilen olabilirlik derecesi iki üçgensel bulanık sayının göreli önem derecesini hesaplamaktan çok onları karşılaştırmak için bir indekstir. Bu nedenle 4. adımda elde edilen normalize edilmiş ağırlık vektörü bir üçgensel sayının diğerlerinden ne kadar büyük olduğunu gösterir, göreli önem derecesini göstermek için kullanılmaz. Bu problem genişletilmiş bulanık

AHP yönteminin 2. adımından sonra Liou ve Wang [92] tarafından geliştirilen toplam entegral değer yöntemi kullanılarak ortadan kaldırılabilir.

4.4.2. Toplam entegral değer yöntemi

Bu metotlarda Chang'in algoritmasının birinci adımından sonra sentetik değerler bulunur ve sentetik değerler için ağırlık vektörü bulunur. Daha sonra bu vektör normalize edilerek en son kriterlerin göreli önemleri hesaplanmış olur.

Liou ve Wang'ın toplam entegral değer yönteminde [92];

Adım 0: X={x_1, x_2, ...x_n}ölçütler kümesi ve U={u_1,u_2, ...u_n}hedefler kümesi olsun. Chang'in genişletilmiş analiz yöntemine göre, her ölçüt ele alınarak g_i değerleri oluşturulur.

Böylece, her bir ölçüt için m adet genişletilmiş analiz değerleri;

$$M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, ..., M_{g_i}^m \qquad i=1,2,...,n \tag{4.18}$$

şeklinde elde edilebilir. Burada tüm $M_{g_i}^j$ (j = 1, 2, …, m)'ler üçgensel bulanık sayıdır.

Adım 1: i ölçütüne ilişkin bulanık sentetik derece değeri;

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^j \right]^{-1} \tag{4.19}$$

olarak tanımlanır. Burada (l_i, m_i, u_i) üçgensel bir bulanık sayı olmak üzere, $\sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^j$ değerini elde etmek için m mertebe analiz değerine Eş. 4.20'de görüldüğü gibi bulanık toplama işlemi uygulanır.

$$\sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} = (\sum_{j=1}^{m} l_j, \sum_{j=1}^{m} m_j, \sum_{j=1}^{m} u_j) \tag{4.20}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} = (\sum_{i=1}^{m} l_i, \sum_{i=1}^{m} m_i, \sum_{i=1}^{m} u_i) \tag{4.21}$$

Daha sonra Eş. 4.21'deki vektörün tersi şu şekilde elde edilir.

$$\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j}\right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} l_i}\right) \tag{4.22}$$

Böylece $S_i = (S_1, S_2, \ldots, S_n)$, i=1,2,…, n değerleri bulunur.
Buraya kadar Chang'in genişletilmiş analiz yönteminin 0. ve 1.adımı gösterilmiştir [91].

Adım 2: $\alpha \in 0,1$ iyimserlik endeksi olmak üzere; $S_i = (S_1, S_2, \ldots, S_n)$, $i=1,2,\ldots, n$ sentetik değerleri kullanılarak toplam entegral değer şu şekilde hesaplanır:

Liou ve Wang'ın yöntemine göre; burada bulanık sayılar üçgensel bulanık sayılar olarak alınacak ve ona göre hesaplama yapılacaktır.

$S_i=s_{ij}$, i=1,2,…,n ve j=1,2,3 olmak üzere, toplam entegral deger;

$$\begin{aligned} I_T^{\alpha}(S_i) &= \frac{1}{2}\alpha(s_{i2}+s_{i3}) + \frac{1}{2}(1-\alpha)(s_{i1}+s_{i2}) \\ &= \frac{1}{2}(\alpha s_{i3} + s_{i2} + (1-\alpha)s_{i1}) \\ &= w_i \end{aligned} \tag{4.23}$$

Adım 3: Yukarıda Eş. 4.23'te verilen ağırlık vektörü normalize edildiğinde W vektörü aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$W = d(A_1), d(A_2), ..., d(A_n)^T \quad (4.24)$$

Karar vericinin iyimserlik endeksi olarak tanımlanan α; $0 \leq \alpha \leq 1$ dir. α büyüdükçe iyimser bir karar verici, küçüldükçe de karamsar bir karar verici söz konusudur.

$\tilde{A}i$ ve $\tilde{A}j$ bulanık sayıları için;

$$\text{eğer} \quad \begin{cases} I_T^\alpha(A_i) < I_T^\alpha(A_j) & \text{ise } A_i < A_j \\ I_T^\alpha(A_i) = I_T^\alpha(A_j) & \text{ise } A_i = A_j \\ I_T^\alpha(A_i) > I_T^\alpha(A_j) & \text{ise } A_i > A_j \end{cases} \quad \text{koşullu eşitsizlikleri elde edilir.}$$

4.4.3. BAHP'de tutarlılık

Tutarlılık, ikili karsılaştırmalar sonucunda bulunan değerlerin yani önceliklerin birbirleriyle olan mantıksal ve matematiksel ilişkisi olarak tanımlanabilir. İkili karşılaştırma matrisinin göreli önem vektörü bulunduktan sonra, bulunan bu değerlerin tutarlı olup olmadığını belirlemek amacıyla tutarlılık oranı hesaplanır. İnsan yargılarındaki yanılmalar, ikili karşılaştırmalarda tutarsızlığa sebep olabilmektedir. Eğer karar verici kriterler arası veya bir kritere göre seçenekler arasında kıyaslamaları yaparken tutarsız davranmışsa, tekrar ikişerli karşılaştırmaları gözden geçirmelidir.

Literatür taraması sonucu bulanık analitik hiyerarşik proseste tutarlılık oranı ile ilgili çok fazla bir bilgiye ulaşılamamıştır. Ancak Kwong ve Bai tutarlılığın hesaplanması için bulanık sayıların durulaştırıldıktan sonra AHP'de olduğu gibi hesaplanacağından bahsetmiştir [93]. Ancak literatürde değerlendirme sonucunda, çalışmalarda tutarlılığın kontrol edilmediği görülmüştür.

Chang tarafından önerilen genişletilmiş analiz yönteminde tutarlılığın hesaplanması bazı durumlarda mümkün görülmemektedir. Bulanık AHP sonucunda toplam ağırlık

vektöründe bazı kriterlerin ağırlıkları sıfır çıkmaktadır. Tutarlılık indeksi hesaplarken, durulaştırılmış ikili karşılaştırma matrisi ile ağırlık vektörü çarpılıp, bulunan vektörün ağırlık vektörünün her bir elemanına tek tek bölünmesi gerekmektedir. Ağırlık vektörünün elemanlarından birisi sıfır olduğu durumlarda sayının sıfıra bölünmesi söz konusu olmaktadır. Bu durum ise matematikte tanımsızlık belirtmektedir. Yine bu problem de genişletilmiş bulanık AHP yönteminin 2. adımından sonra Liou ve Wang [92] tarafından geliştirilen toplam entegral değer yöntemi kullanılarak ortadan kaldırılabilir.

Bu tezde üçgensel bulanık sayılarla ifade edilen ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılıklarının incelenmesi Kwong ve Bai'nin yaklaşımı kullanılarak yapılmıştır. M= (l,m,u) şeklinde verilen üçgensel bulanık sayı için durulaştırma işlemi;

$$M_d = \frac{(4 \cdot m + l + u)}{6} \tag{4.25}$$

formülü ile gerçekleştirilir. Tutarlılık kontrolü klasik AHP'de olduğu gibi yapılır. Klasik AHP'de tutarlılık kontrolü aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

Adım 1: İkili karşılaştırma matrisini oluşturan bulanık sayıların durulaştırılması yapılır.

Adım 2: Normalize edilmiş ağırlık vektörü elde edilir.

Adım 3: İkili karşılaştırma matrisinin ilk sütununda bulunan elemanlar ilk kriterin önceliği ile, ikinci sütundaki elemanlar ikinci kriterin önceliği ile çarpılır. Bu şekilde tüm sütunlardaki elemanlar kriter öncelikleri ile çarpılmış olur. Sütunların toplamları hesaplanır.

Adım 4: Elde edilen vektörde yer alan elemanlar, kriterlerin önceliklerine bölünüp aritmetik ortalamasının alınmasıyla λ_{max} elde edilir.

Adım 5: n matris boyutunu göstermek üzere, tutarlılık indeksi (TI) ve tutarlılık oranı (TO)

$$TI = \frac{\lambda \max - n}{n-1}$$

$$TO = \frac{TI}{RI}$$

formülü ile hesaplanır.

Formülde yer alan *RI* değerleri Çizelge 4.4'te sunulan her *n* boyuttaki matris için rassal olarak Saaty [80] tarafından üretilmiş ve matrislerin ortalama tutarlılık indeksini gösteren rassal indeks (*RI*) değerleridir.

Çizelge 4.4. Rassal indeks değerleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Tutarlılık 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.

4.5. Performans Önceliklerinde Durulaştırma: α Kesme Yöntemi

Durulaştırma işlemi aşağıda adımları verilen durulaştırma algoritması kullanılarak yapılacaktır [9]. Kullanılacak olan bu algoritmada bulanık sayı farkı α-kesme seviyeleri ile α kesme işlemine tabi tutulacaktır. Bu sayede durulaştırılmış değerin bulanık sayıyı temsil etme derecesi arttırılmıştır.

Adım 1: Bulanık öncelik değerlerine farklı α_l, l=1,2,…L değerleri için α kesme operasyonu uygulanarak alt ve üst sınır öncelik değerleri belirlenir.

k. alternatif için bulanık öncelik değeri (l,m,u) olarak alındığında alt ve üst sınır öncelik değerli aşağıdaki eşitlikler kullanılarak bulunabilir.

$$AS = \alpha \cdot (m - l) + l$$
$$\ddot{U}S = u - \alpha \cdot (u - m)$$

Adım 2: Elde edilen alt ve üst sınır öncelik değerleri Eş. 4.26 ve Eş. 4.27 ifadeleri ile birleştirilir [94].

W_{kA}: k. alternetif için alt sınır öncelik değeri
$W_{k\ddot{U}}$: k. alternetif için üst sınır öncelik değeri

$$W_{kA} = \frac{\sum_{l=1}^{L} \alpha_l (AS_k)_l}{\sum_{l=1}^{L} \alpha_l} \tag{4.26}$$

$$W_{k\ddot{U}} = \frac{\sum_{l=1}^{L} \alpha_l (\ddot{U}S_k)_l}{\sum_{l=1}^{L} \alpha_l} \tag{4.27}$$

4.6. Parametrik Olmayan İstatistiksel Model: Kruskal-Wallis Testi

Ana kütle dağılımının şekli ile ilgili bir varsayım gerektirmeyen(distribution free) yöntemler parametrik olmayan testler(nonparametric tests) olarak adlandırılır. Bu başlık altında toplanan testler parametrelere ilişkin olsalar bile, ana kütle dağılımının şekli hakkında bir varsayım gerektirmeksizin bir genelleme yapmayı sağlarlar.

Kruskal Wallis Testi parametrik olmayan tek yönlü varyans analizi yöntemidir. "Varyans Analizi" parametrik test varsayımları (normallik ve varyansların homojenliği) yerine getirildiğinde ölçümle belirtilen sürekli bir değişken yönünden ikiden çok bağımsız grup arasında farklılık olup olmadığını incelemek için kullanılır. Parametrik varsayımlar sağlanmadan varyans analizinin uygulanması verilecek kararın hatalı olmasına neden olabilir. Bu nedenle veri sayısal olarak belirtilen

kesikli bir değişkense (doğan, ölen, hastalanan, yaşayan sayısı gibi), ölçümle belirtildiği halde denek sayısı yeterli değilse ya da denek sayısı yeterli olduğu halde veri parametrik varsayımları yerine getiremiyorsa "Varyans Analizi" yerine Kruskal Wallis Varyans Analizi kullanılmalıdır [95].

Kruskal-Wallis H testi, bir değişkene ilişkin iki yada daha fazla grubun karşılaştırılması amacı ile kullanılır. Kruskal-Wallis H testi, birbirinden bağımsız iki ya da daha fazla grubun (örneklemin) bağımlı bir değişkene ilişkin ölçümlerinin karsılaştırılarak iki ya da daha fazla dağılım arasında anlamlı bir fark olup olmadığını test etmek amacı ile kullanılır. Bu testte ve parametrik olmayan diğer testlerde, gruplara ait ölçümlerin karşılaştırılmasında aritmetik ortalama yerine ortanca (medyan) değer esas alınır. Ortanca (medyan), büyükten küçüğe ya da küçükten büyüğe doğru sıralanan bir serinin orta değeridir [95].
Kruskal-Wallis H testinde, bağımsız değişkene ait veriler;

- ✓ Sayısal karakterler ile ifade edilmelidir.
- ✓ Birbirinden bağımsız rastgele örneklem üzerinden elde edilmelidir.
- ✓ Bağımlı değişkene ilişkin ölçümler aralık veya oran ölçeğindedir.

Test için hipotezler şu şekilde oluşturulur:

H_0: Ana kütleler birbirine benzer yapıdadır (Bütün k popülasyonları aynı dağılıma sahiptir).
H_1: Ana kütleler birbirine benzer yapıda değildir (Bütün k popülasyonları aynı dağılıma sahip değildir).

Ana kütlelerden alınan bağımsız örnekler bir araya getirilerek sıralanır ve her örneğin sıra toplamıyla H istatistiği hesaplanır [96].

$$H = \frac{12}{n.(n+1)} \sum_{i=1}^{k} \frac{W_i^2}{n_i} - 3(n+1)$$

Formülde,

n: Örneklerdeki toplam birim sayılarını,

W_i: Her örneğin sıraları toplamını,

n_i: her örnekteki birim sayısını göstermektedir.

4.7. Tamsayılı Doğrusal Programlama Modelleri

Yöneticilerin karar almaları gereken birçok durumda alınan kararların tamsayılı olarak ifade edilmeleri gerekir. Örneğin, bir montaj hattında montajı bitirilecek otomobil miktarının, kullanılacak işgücü sayısının, nakliye araçlarının yapacağı sefer sayılarının, güzergahlara atanacak otobüs sayılarının tamsayılı değerler alması gerekir. Bazı durumlarda da yöneticiler; "evet/hayır", "uygula/uygulama", "üret/üretme" gibi sadece iki seçenekten oluşan kararlar da almak durumunda kalırlar. Örneğin, belirli bir kuruluş yerinde fabrika kurup/kurmamak, a işinin 2 nolu tezgaha atanması/atanmaması, b işinin 3 nolu kalıba alınması/alınmaması gibi. İşte bu tip karar durumlarında, değişkenler sadece iki tamsayılı değeri 0-1 değerlerini alabilirler. Değişkenlerin tümünün veya bir kısmının tamsayılı değerler aldığı, doğrusal programlama modellerinin uzantısı olan modellere tamsayılı doğrusal programlama modelleri denir.

Tamsayılı doğrusal programlama modelleri: saf pozitif, karma pozitif, saf sıfır-bir, karma sıfır-bir olmak üzere dört sınıfa ayrılırlar. Önce tamsayılı olma şartının değişkenlerin tümünün mü bir kısmının mı üzerine konulduğuna bağlı olarak saf ve karma modeller; sonra da bu modellerin tamsayılı olan değişkenlerinin alabilecekleri değerler itibariyle de tekrar ikiye ayrılırlar [97]. Tamsayılı değişkenler sadece 0-1 değerlerini alabiliyorsa 0-1 modeller olarak; her pozitif tamsayı değerini alabiliyorlarsa pozitif tamsayılı doğrusal programlama modelleri olarak sınıflandırılırlar.

Doğrusal programlama modellerinde değişkenler sürekli değerler alırken; tamsayılı programlama modellerinde kesikli değerler alabilmektedirler. Bu modeller de, doğrusal programlama modellerine benzer şekilde kurulurlar. Tek fark: pozitiflik

sınırının yerini, tamsayılı pozitif değerler alma sınırının almış olmasıdır. Ancak bu ufak farklılık, tamsayılı programlama modellerinin çözümünü doğrusal programlama modellerine göre oldukça fazla zorlaştırır. Bu sebeple tamsayılı değişkenler kullanırken, bunların gerekliliği iyi irdelenmeli, fazladan hesap yüküne katlanmamak için sayıları mümkün olduğunca az tutulmalıdır [97].

Tamsayılı programlama modellerinin çözümünde, 2 veya 3 değişkenli küçük modeller için grafik yöntemi kullanılabilmesine rağmen; simpleks yöntemi yetersiz kalmaktadır. Bunun temel sebebi, simpleks yönteminin optimum çözümü uygun çözüm alanının sadece köşe noktalarında aramasıdır. Oysa, bir tamsayılı programlama modelinde optimum çözüm (tamsayılılık şartı sebebiyle) sadece köşe noktalarda yer almayabilir. Bu sebeple, tamsayılı programlama modellerinin çözümünde, bir çok optimizasyon paket programlarının da temelinde kullanılan, Dal-Sınır Yöntemi etkinlikle kullanılmaktadır. Bu yöntemde, modelin uygun çözüm alanında yer alan tamsayılı çözümler (ana küme olarak ifade edebiliriz) hiç biri ziyan edilmeden parçalara (alt kümeler) ayrılır ve her bir alt kümeye denk gelen doğrusal programlama modelleri teker teker çözülerek optimum çözüm elde edilir [97]. Her alt kümenin çözümünde de yine simpleks yönteminden faydalanılmaktadır.

Bu tezde dikkate alınan problem, kaynakların en etkin kullanımının amaçlandığı, istasyonlara işçilerin atanmasını sağlayan personel atama problemidir.

Probleme ilişkin karışık tamsayılı doğrusal olmayan programlama model, Süer ve Bera [74] ile Kuo ve Yang [70] tarafından önerilen matematiksel modeller dikkate alınarak geliştirilmiştir.

5. ÖNERİLEN YÖNTEM

Problemin çözümünü için geliştirilen yöntem 3 aşamadan oluşmaktadır:

- Birinci aşama: BAHP ile kriter/alt kriter ağırlıklarının elde edilmesi,
- İkinci aşama: personel performanslarının değerlendirilmesi,
- Üçüncü aşama: modelin kurulması ve personel atamalarının elde edilmesi,

Her bir aşamada yapılacak işlemler ve her bir aşamanın sonucunda problemin çözümüne yönelik elde edilen katkı Şekil 5.1' de özetlenmiştir.



Şekil 5.1. Problemin çözümünde kullanılacak prosedür

5.1. Birinci Aşama: BAHP ile Kriter/Alt Kriter Ağırlıklarının Elde Edilmesi

BAHP ile kriter/alt kriter ağırlıklarının eldesi ve ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılıklarının hesaplanması için önerilen algoritma şu adımlardan oluşmaktadır:

Adım 1.1: Karar verme ekibi kurulur.

Adım 1.2: Personel değerlendirme sürecinde kullanılacak kriter ve alt kriterler belirlenir ve hiyerarşik AHP modeli yapılandırılır.

Adım 1.3: Kriter/alt kriter bulanık ağırlıkları hesaplanır.

Adım 1.3.1: Kriter ve alt kriter ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla ikili karşılaştırma matrisleri düzenlenir.

Adım 1.3.2: Chang'in genişletilmiş bulanık AHP Yöntemi ile bulanık sentetik derece değeri elde edilir.

Adım 1.3.3: Liou ve Wang'ın toplam entegral değer yöntemi kullanılarak entegral değerleri hesaplanır.

Adım 1.3.4: Adım 1.3.3'te elde edilen entegral değerlerin normalize edilmesiyle normalleştirilmiş ağırlık vektörünün elde edilmesi. Bu aşamada karşılaştırmalar Çizelge 5.1'de verilen üçgensel bulanık sayılar kullanılarak yapılacaktır.

Adım 1.4: Kwong ve Bai'nin yaklaşımı kullanılarak üçgensel bulanık sayılarla ifade edilen ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılıkları incelenir. Bulanık sayılar durulaştırılarak gerçek sayılara dönüştürülür ve tutarlılık kontrolü klasik AHP'de olduğu gibi yapılır.

Çizelge 5.1. Üçgensel bulanık sayılar

SÖZEL ÖNEM	BULANIK ÖLÇEK	KARŞILIK ÖLÇEK
Eşit önem	(1,1,1)	(1/1,1/1,1/1)
	(1,2,3)	(1/3,1/2,1)
Biraz daha fazla önemli	(2,3,4)	(1/4,1/3,1/2)
	(3,4,5)	(1/5,1/4,1/3)
Kuvvetli derecede önemli	(4,5,6)	(1/6,1/5,1/4)
	(5,6,7)	(1/7,1/6,1/5)
Çok kuvvetli derecede önemli	(6,7,8)	(1/8,1/7,1/6)
	(7,8,9)	(1/9,1/8,1/7)
Tamamıyla önemli	(8,9,9)	(1/9,1/9,1/8)

Adım 1.5: Kriterler ve alt kriterler için belirlenen ağırlıklar kullanılarak alt kriterler için global ağırlıklar hesaplanır. Global ağırlıklar alt kriterin ağırlığı ile ait olduğu kriterin ağırlığının çarpılması ile hesaplanır.

5.2. İkinci Aşama: Personel Performanslarının Değerlendirilmesi

Adım 2.1: Belirlenen alt kriterler temelinde tüm personel, karar verme ekibi tarafından değerlendirilir. Personellerin alt faktörler temelinde değerlendirilmesinde Çizelge 5.2'de gösterilen dilsel değişkenler ve bu dilsel değişkenler için tanımlanan üçgensel bulanık sayılar kullanılacaktır. Bu skala baz alınarak her bir alt kriter temelinde karar verme ekibi üyeleri tarafından her bir personel değerlendirilir, bu değerlendirmelerin geometrik ortalaması alınır. Personel için alt kriter bulanık ağırlıkları, alt kriterin global ağırlığı ile bulanık geometrik ortalamalarının çarpılması ile elde edilir. Her personel için bulanık öncelik değeri, alt kriterler temelinde elde edilen bulanık ağırlıkların toplanmasıyla elde edilir.

Adım 2.2: Personeller için belirlenen bulanık öncelikler durulaştırılır. Durulaştırma işlemi α kesme yöntemi kullanılarak yapılacaktır. Farklı α-kesme seviyelerinde bulanık sayının durulaştırması sağlanarak durulaştırılmış değerin bulanık sayıyı temsil etme derecesi artırılmaktadır. Böylece her bir personel için alt ve üst öncelik değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 5.2. Personel değerlendirmede kullanılan dilsel değişlenler skalası

DİLSEL DEĞİŞKEN	ORAN	ÜÇGENSEL BULANIK SAYI
Çok Düşük	ÇD1	(1,1,1)
	ÇD2	(1,2,3)
Düşük	D1	(2,3,4)
	D2	(3,4,5)
Orta	O1	(4,5,6)
	O2	(5,6,7)
İyi	İ1	(6,7,8)
	İ2	(7,8,9)
Çok İyi	Çİ	(8,9,9)

Adım 2.3 Bir önceki adımda elde edilen her bir personelin alt ve üst öncelik değerleri koordinat sisteminde grafiksel olarak gösterilir. Karar vericiler sezgisel olarak alternatif personel kategorilerini belirler. Önerilen metotta bağımsız k adet personel kategorisinin aynı dağılıma sahip olup olmadığını test etmek için parametrik olmayan istatistiksel model, Kruskal-Wallis Testi kullanılır.

5.3. Üçüncü Aşama: Modelin Kurulması ve Personel Atamalarının Elde Edilmesi

L adet üretim hattına sahip olan bir üretim organizasyonu dikkate alınmıştır. Her hatta N adet istasyon bulunmaktadır ve üretim hatları benzerdir. Ancak farklı istasyonlara personel atama, personel değerlendirme adımında elde edilen personel kategorilerinin kalifiye düzeyine bağlı olarak yapılacaktır. Yani, istasyonlarda yapılan işlerin karmaşıklık derecesine ve atanacak personelin kalifiye düzeyine bağlı olarak her bir istasyona hangi kategorideki personellerin atanabileceği belirlenmiştir.

Personel kategorileri, Fuzzy AHP yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Genelde yüksek kalifiye düzeyine sahip olan personel daha yüksek maaş almaktadır. Bu tezde, ilk önce düşük kalifiye düzeyine sahip personelin öncelikli atanmasına yönelik olarak amaç fonksiyonu tanımlanmıştır, daha sonra toplam işgücü maliyeti minimize edilmeye çalışılacaktır. Böylece kalifiye düzeyi düşük olan personelin atanmasına

öncelik verilerek, daha sonraki personel atama kararları için esneklik oluşturulabilecektir.

Modelde amaç fonksiyonu olarak kalifiye düzeyi ile her bir kategoriden atanmış personel sayısının çarpımı minimize edilmeye çalışılmıştır. Kalifiye düzeyi, bir kategorideki personelin atanabileceği hat sayısı toplamı olarak belirlenmiştir. Modelde kullanılabilecek kalifiye düzeyine bağlı personel kategorileri, her bir kategorideki personel sayısı, istasyonun yerleşim düzeyine bağlı olarak atanabilecek maksimum personel sayısı, talep miktarı göz önüne alınmakta, sonuç olarak üretim dönemindeki çalışılabilir zamana bağlı olarak personel atamaları gerçekleştirilmektedir.

Bu problemde kullanılan notasyonlar ve problemin matematiksel modeli aşağıda belirtilmiştir.

İndisler:

i = Ürün indisi (i=1,2,…,P),
j = İstasyon indisi (j=1,2,…,N),
k = Personelin dahil olduğu kategori indisi (k=1,2,…,K),
l = Hat indisi (l=1,2,3,…,L),

Parametreler:

p_{ij} = i ürününün j istasyonundaki üretim zamanı,
T_j = j. istasyona atanabilecek maksimum personel sayısı,
D_k = k kategorisindeki personel sayısı,
Q_i = Planlama periyodunda i ürününe olan talep miktarı,
H = Planlama periyodundaki mümkün operasyon zamanı (saat),
c_{jk} = k kategorisindeki personelin j istasyonuna atanıp atamayacağını belirtir. Karar vericiler tarafından belirlenen bir parametredir. k kategorisindeki personel, j istasyonuna atanabiliyorsa c_{jk},1 değerini alır, atanamıyorsa 0 değerini alır.

Karar Değişkenleri:

x_{jkl} = l hattının j istasyonuna atanmış k kategorisindeki personel sayısı,

r_{il} = l hattında i ürünün üretim hızı (adet/saat),

b_k = k kategorisindeki personelden istasyonlara atanan miktar,

$$y_{il} = \begin{cases} 1, & \text{l hattına i ürünü atanmışsa} \\ 0, & \text{d.d.} \end{cases}$$

Karışık tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli:

$$\text{minimize} \sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{L} c_{jk} b_k \tag{5.1}$$

$$b_k = \sum_{j=1}^{N}\sum_{l=1}^{L} x_{jkl} \qquad k = 1,2,...,K \tag{5.2}$$

$$\sum_{k=1}^{K} x_{jkl} \le T_j, \qquad j = 1,2,...,N;\ l = 1,2,...,L \tag{5.3}$$

$$\sum_{j=1}^{N}\sum_{l=1}^{L} x_{jkl} \le D_k, \qquad k = 1,2,...,K \tag{5.4}$$

$$\sum_{k=1}^{K} x_{jkl} c_{jk} \ge r_{il} p_{ij}, \qquad i = 1,2,...,P;\ j = 1,2,...,N;\ l = 1,2,...,L \tag{5.5}$$

$$\sum_{l=1}^{L} r_{il} y_{il} H \ge Q_i, \qquad i = 1,2,...,P \tag{5.6}$$

$$\sum_{i=1}^{p} y_{il} \le 1, \qquad l = 1,2,...,L \tag{5.7}$$

$$r_{il} \ge 0, \qquad i = 1,2,...,P;\ l = 1,2,...L \tag{5.8}$$

$$y_{il} \in \{0,1\} \qquad i = 1,2,...,P;\ l = 1,2,...L \tag{5.9}$$

$$x_{jkl} = \textit{positif tamsayı}, \qquad j = 1,2,..,N;\ K = 1,2,...,K;\ l = 1,2,...,L \tag{5.10}$$

Önerilen modelde amaç fonksiyonunda (5.1), k kategorisinden istasyonlara atanmış toplam personel sayısı ile k kategorisinin kalifiye düzeyinin çarpımı minimize

edilmeye çalışılmıştır. Her bir kategorinin kalifiye düzeyi $a_k = \sum_{j=1}^{N} c_{jk}$ formülü ile belirlenmiştir.

Kısıt (5.2), k kategorisindeki personellerden istasyonlara kaç tanesinin atandığını göstermektedir.

Kısıt (5.3), her bir istasyona atanan personel sayısı, o istasyonun maksimum personel kapasitesinden küçük olmasını gerektirir.

Kısıt (5.4), bir kategoriden istasyonlara atanacak personel sayısının o kategorideki toplam personel sayısını aşamayacağını göstermektedir.

r_{il}, i ürününün l hattında birim zamandaki üretim miktarını göstermektedir. Kısıt (5.5), en yavaş istasyonun hattın darboğaz istasyonu olacağını ve hattın hızının bu istasyona bağlı olacağını göstermektedir.

Kısıt (5.6), bir planlama periyodunda en az i ürününe olan talep kadar üretim yapılmasını sağlamaktadır. Planlama periyodundaki mümkün işgücü zamanı, en az periyottaki her bir ürüne olan talebin üretimini gerçekleştirecek düzeyde olmalıdır.

Kısıt (5.7), her bir hatta sadece bir tip ürünün üretilmesini sağlamaktadır.

Kısıt (5.8) istasyonlara atanan personel sayısına bağlı olarak bir ürünün bir hatta birim zamandaki çıktı hızını göstermektedir.

Kısıt (5.9) ve (5.10) ise işaret kısıtlarıdır.

Kısıt (5.6)'yı doğrusallaştırmak için $r_{il} * y_{il} = u_{il}$ kabulünü yaparsak kısıt (5.6) aşağıdaki şekle dönüşür.

$$\sum_{l=1}^{L} u_{il} H \geq Q_i, \qquad i = 1, 2, ..., P \tag{5.11}$$

Ayrıca modele ilave olarak şu kısıtları da eklememiz gerekmektedir.

$$u_{il} \leq r_{il} \tag{5.12}$$

$$u_{il} - 10000 \cdot y_{il} \leq 0 \tag{5.13}$$

$$u_{il} - 10000 \cdot (y_{il} - 1) - r_{i,l} \geq 0 \tag{5.14}$$

Böylece doğrusallaştırılmış Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama modeli elde edilmiş olur.

6. UYGULAMA

BAHP ile personel değerlendirme ve atama algoritmasının uygulaması uluslararası pazarda faaliyet gösteren askeri ve elektronik cihaz üreten bir işletmede yapılmıştır. İşletmede üretim bölümündeki 54 personel değerlendirmeye tabi tutulmuştur, ürüne özgü üretim hatları oluşturulmaya çalışılarak personel atamaları gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 5'te verilen önerilen metodolojiye yönelik adımların uygulanmasıyla gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, BAHP ile kriter/alt kriter ağırlıkları elde edilmiştir. Liou ve Wang tarafından önerilen yöntem, genişletilmiş analiz yönteminin 2. adımından sonra bulanık sayıların sıralanması esasına dayanmaktadır. Bu yöntem uygulanarak hem ana kriterlerin göreli önemleri hem de alt kriterlere ait göreli önem vektörleri bulunmuştur ve göreli önem vektörünün her biri için tutarlılık oranı hesaplanarak matrislerin tutarlılığına bakılmıştır. İkinci aşamada, alt kriterler temelinde 54 personelin değerlendirmesi yapılmış, her bir personel için elde edilen performans göstergeleri (öncelik değerleri) dikkate alınarak 6 adet personel kategorisi belirlenmiş, bu kategoriler arasında anlamlı bir fark olup olmadığına Kruskal-Wallis Testi ile bakılmıştır. Son aşamada ise Bölüm 5.3'te detayları anlatılan karışık tamsayılı doğrusallaştırılmış model kullanılarak 54 personelin çok istasyonlu düz üretim hatları oluşturacak şekilde ataması aylık olarak gerçekleştirilmiştir.

6.1. Birinci Aşama: BAHP ile Kriter/Alt Kriter Ağırlıklarının Elde Edilmesi

Adım 1: Bu adımda karar verme sürecinde görev alacak 3 kişilik ekip (şef mühendis, mühendis, şef teknisyen) belirlenmiştir. Kriter/alt kriterlerin belirlenmesi, bulanık sayılar kullanılarak kriter/alt kriterlerin karşılaştırılması, global alt kriter ağırlıklarının belirlenmesi ve bu kriterler temelinde adayların değerlendirilmesi bu ekip tarafından gerçekleştirilmiştir. Değerlendirmelerin tek kişi yerine 3 kişilik bir grup tarafından yapılması ile subjektiflik önlenmeye çalışılmıştır

Adım 2: Çalışmanın ikinci adımında personel değerlendirme sürecinde kullanılacak kriter ve alt kriterler belirlenmiş ve Çizelge 6.1'de verilen kriter ve alt kriterlerin bu süreçte kullanılmasına karar verilmiştir.

Çizelge 6.1'de, ilk aşamada "personel değerlendirmesi" amaç olarak belirlenmiş, bu amaca ulaşmak için kullanılacak olan kriterler "kişisel özellikler", "deneyim", "yetkinlik", "işe uyum", "elektromekanik montaj kabiliyeti", "test kabiliyeti", "kontrol kabiliyeti" olmak üzere yedi ana başlık altında toplanmıştır. Üçüncü aşamada kriterlere bağlı alt kriterler yer almıştır. Kişisel özellikler kriterine bağlı beş alt kriter belirlenmiştir. Bu alt kriterler *öğrenme ve uyum*, *kendine güven*, *stres altında çalışma*, *rutin işleri takip*, *zor görevleri başarma*dır. Deneyim kriterine bağlı iki alt kriter, çalışanın *geçmişteki deneyimi* (işe alınmadan önceki) ve *şirketteki deneyimi* olarak belirlenmiştir. Yetkinlik kriterine bağlı dört alt kriter, *eğitim seviyesinin işe uyumu, elektronik bilgisi, montaj yeteneği* ve *bilgisayar bilgisi*dir. İşe uyum kriterine bağlı dört alt kriter *çalışma ortamının kurallarına uyması, fazla mesailere kalma isteği, vardiyalı çalışma isteği, işçi sağlığı ve iş güvenliği kurallarına uyum* olarak belirlenmiştir. Fabrikada üretilen ürünler 3 gruba ayrılmaktadır ve her bir ürünün üretimi için iş akışı montaj, fonksiyonel test, çevre koşulları testi ve son kontrol adımlarından oluşmaktadır. Elektromekanik montaj kabiliyeti kriterine bağlı üç, test kabiliyeti kriterine bağlı altı ve kontrol kabiliyeti kriterine bağlı üç alt kriter belirlenmiştir.

Adım 3: Personel seçimi sürecinde kullanılacak olan kriter ve alt kriterlerin belirlenmesinin ardından ağırlıklandırma aşamasına geçilmiş ve bu aşamada Çizelge 5.1'de verilen üçgensel bulanık sayılar kullanılarak kriter ve alt kriterler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sürecinde karşılaştırma değerleri ekip üyelerinin ortak çalışması sonucu belirlenmiş ve beyin fırtınası tekniği kullanılmıştır.

Problemin çözümüne örnek teşkil etmesi için önerilen çözüm yöntemi kriter ağırlıklarının belirlenmesinde ayrıntılı olarak gösterilecektir.

Çizelge 6.1. Personel değerlendirmede kullanılacak kriter ve alt kriterler

Amaç	Faktörler	Alt faktörler
Personel Değerlendirme	Kişisel Özellikler (KÖ)	KÖ1. Öğrenme ve Uyum KÖ2. Kendine Güven KÖ3. Stres Altında Çalışma KÖ4. Rutin İşleri Takip KÖ5. Zor Görevleri Başarma
	Deneyim (D)	GD. Geçmişteki Deneyim ŞD. Şirketteki Deneyim
	Yetkinlik (Y)	Y1. Eğitim Seviyesinin İşe Uygunluğu Y2. Elektronik Bilgisi Y3. Montaj Yeteneği Y4. Bilgisayar Bilgisi
	İşe Uyum (İU)	İU1. Çalışma Ortamının Kurallarına Uyması İU2. Fazla Mesailere Kalma İsteği İU3. Vardiyalı Çalışma İsteği İU4. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Kurallarına Uyma
	Montaj Kabiliyeti (MK)	MK1. Tip_1 Cihazlarının Montajı MK2. Tip_2 Cihazlarının Montajı MK3. Tip_3 Cihazlarının Montajı
	Test Kabiliyeti (TK)	TK1. Tip_1 Cihazlarının Fonksiyonel Testi TK2. Tip_2 Cihazlarının Fonksiyonel Testi TK3. Tip_3 Cihazlarının Fonksiyonel Testi TK4. Tip_1 Cihazlarının Çevre Koşulları Testi TK5. Tip_2 Cihazlarının Çevre Koşulları Testi TK6. Tip_3 Cihazlarının Çevre Koşulları Testi
	Kontrol Kabiliyeti (KK)	KK1. Tip_1 Cihazlarının Kontrolü KK2. Tip_2 Cihazlarının Kontrolü KK3. Tip_3 Cihazlarının Kontrolü

Adım 3.1: Kriter ağırlıklarının belirlenmesi için karar verme ekibi tarafından oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Adım 3.2: Her bir kriter için Chang'in Genişletilmiş Bulanık AHP Yöntemi kullanılarak bulanık sentetik derece değerinin bulunması gereklidir. Kriterlere ait sentez değerleri Eş. 4.19 - 4.22 kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir.

$\sum_{i=1}^{7} M_{g_i}^{1}$ =(4,95, 7,28, 10,08) $\sum_{i=1}^{7} M_{g_i}^{2}$ =(2,30, 2,70, 3,62)

$\sum_{i=1}^{7} M_{g_i}^{3}$ =(7,78, 11,08, 14,83)

$\sum_{i=1}^{7} M_{g_i}^{4}$ =(3,20, 4,57, 6,50)

$\sum_{i=1}^{7} M_{g_i}^{5}$ =(14,33, 19,50, 25,00)

$\sum_{i=1}^{7} M_{g_i}^{6}$ =(20,00, 26,00, 32,00)

$\sum_{i=1}^{7} M_{g_i}^{7}$ =(9,58, 13,83, 18,50)

Ve $\sum_{i=1}^{7}\sum_{j=1}^{7} M_{g_i}^{j} = (62,14,\ 85,02,\ 110,62)$ olarak bulunur.

$$S_1 = (4,95,\ 7,28,\ 10,08) \otimes \left[\frac{1}{110,62},\ \frac{1}{85,02},\ \frac{1}{62,14}\right] = (0,04,\ 0,09,\ 0,16)$$

$$S_2 = (2,30,\ 2,70,\ 3,62) \otimes \left[\frac{1}{110,62},\ \frac{1}{85,02},\ \frac{1}{62,14}\right] = (0,02,\ 0,03,\ 0,06)$$

$$S_3 = (7,78,\ 11,08,\ 14,83) \otimes \left[\frac{1}{110,62},\ \frac{1}{85,02},\ \frac{1}{62,14}\right] = (0,07,\ 0,13,\ 0,24)$$

$$S_4 = (3,20,\ 4,57,\ 6,50) \otimes \left[\frac{1}{110,62},\ \frac{1}{85,02},\ \frac{1}{62,14}\right] = (0,03,\ 0,05,\ 0,11)$$

$$S_5 = (14,33,\ 19,50,\ 25,00) \otimes \left[\frac{1}{110,62},\ \frac{1}{85,02},\ \frac{1}{62,14}\right] = (0,13,\ 0,23,\ 0,40)$$

$$S_6 = (20,00,\ 26,00,\ 32,00) \otimes \left[\frac{1}{110,62},\ \frac{1}{85,02},\ \frac{1}{62,14}\right] = (0,18,\ 0,31,\ 0,51)$$

$$S_7 = (9,58,\ 13,83,\ 18,50) \otimes \left[\frac{1}{110,62},\ \frac{1}{85,02},\ \frac{1}{62,14}\right] = (0,09,\ 0,16,\ 0,30)$$

Çizelge 6.2. Ana kriterler için bulanık karşılaştırma matrisi

	KÖ	**D**	**Y**	**İU**	**MK**	**TK**	**KK**
KÖ	(1,1,1)	(2,3,4)	(1/3,1/2,1)	(1,2,3)	(1/5,1/4,1/3)	(1/6,1/5,1/4)	(1/4,1/3,1/2)
D	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1/5,1/4,1/3)	(1/3,1/2,1)	(1/6,1/5,1/4)	(1/7,1/6,1/5)	(1/5,1/4,1/3)
Y	(1,2,3)	(3,4,5)	(1,1,1)	(2,3,4)	(1/4,1/3,1/2)	(1/5,1/4,1/3)	(1/3,1/2,1)
İU	(1/3,1/2,1)	(1,2,3)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1/5,1/4,1/3)	(1/6,1/5,1/4)	(1/4,1/3,1/2)
MK	(3,4,5)	(4,5,6)	(2,3,4)	(3,4,5)	(1,1,1)	(1/3,1/2,1)	(1,2,3)
TK	(4,5,6)	(5,6,7)	(3,4,5)	(4,5,6)	(1,2,3)	(1,1,1)	(2,3,4)
KK	(2,3,4)	(3,4,5)	(1,2,3)	(2,3,4)	(1/3,1/2,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)

Adım 3.3: Her bir kriter için Liou ve Wang'ın Toplam Entegral Değer Yöntemi kullanılarak entegral değerleri hesaplanır. İyimserlik indeksi α= 0,5 olarak alındığında Eş. 4.23 kullanılarak entegral değerleri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$I_T^{\alpha}(S_1) = \frac{1}{2}(0,5 \cdot 0,16 + 0,09 + 0,5 \cdot 0,04) = 0,09$$
$$I_T^{\alpha}(S_2) = \frac{1}{2}(0,5 \cdot 0,06 + 0,03 + 0,5 \cdot 0,02) = 0,04$$
$$I_T^{\alpha}(S_3) = \frac{1}{2}(0,5 \cdot 0,24 + 0,13 + 0,5 \cdot 0,07) = 0,14$$
$$I_T^{\alpha}(S_4) = \frac{1}{2}(0,5 \cdot 0,11 + 0,05 + 0,5 \cdot 0,03) = 0,06$$
$$I_T^{\alpha}(S_5) = \frac{1}{2}(0,5 \cdot 0,40 + 0,23 + 0,5 \cdot 0,13) = 0,25$$
$$I_T^{\alpha}(S_6) = \frac{1}{2}(0,5 \cdot 0,51 + 0,31 + 0,5 \cdot 0,18) = 0,33$$
$$I_T^{\alpha}(S_7) = \frac{1}{2}(0,5 \cdot 0,30 + 0,16 + 0,5 \cdot 0,09) = 0,18$$

Adım 3.4: Adım 3.3'te elde edilen değerlerin normalize işleminden sonra ana kriterler için ağırlık vektörü; W= (0,09, 0,03, 0,13, 0,06, 0,23, 0,30, 0,16)^T olarak bulunur. Bu değerlere göre personel değerlendirme kriterleri içinde en fazla *Test Kabiliyetine* önem verilmektedir. Bu kriteri sırasıyla *Mekanik Montaj Kabiliyeti, Kontrol Kabiliyeti, Yetkinlik, Kişisel Özellikler, İşe Uyum* ve *Deneyim* kriterleri izlemektedir.

Adım 4: Bulunan değerlerin tutarlı olup olmadığını görebilmek için Kwong ve Bai'nin (2003) yaklaşımı kullanılarak kriterler için oluşturulan ve üçgensel bulanık sayılarla ifade edilen ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılıkları incelenir.

Bunun için öncelikle ikili karşılaştırma matrisini oluşturan bulanık sayıların durulaştırılması gerekmektedir. Çizelge 6.2'deki matris elemanları Eş. 4.25 kullanılarak durulaştırılırsa;

$$\begin{bmatrix} 1,00 & 3,00 & 0,56 & 2,00 & 0,26 & 0,20 & 0,35 \\ 0,35 & 1,00 & 0,26 & 0,56 & 0,20 & 0,17 & 0,26 \\ 2,00 & 4,00 & 1,00 & 3,00 & 0,35 & 0,26 & 0,56 \\ 0,56 & 2,00 & 0,35 & 1,00 & 0,26 & 0,20 & 0,35 \\ 4,00 & 5,00 & 3,00 & 4,00 & 1,00 & 0,56 & 2,00 \\ 5,00 & 6,00 & 4,00 & 5,00 & 2,00 & 1,00 & 3,00 \\ 3,00 & 4,00 & 2,00 & 3,00 & 0,56 & 0,35 & 1,00 \end{bmatrix}$$

matrisi elde edilir. Elde edilen bu matris ile ağırlık vektörü çarpılırsa;

$$= \begin{bmatrix} 1,00 & 3,00 & 0,56 & 2,00 & 0,26 & 0,20 & 0,35 \\ 0,35 & 1,00 & 0,26 & 0,56 & 0,20 & 0,17 & 0,26 \\ 2,00 & 4,00 & 1,00 & 3,00 & 0,35 & 0,26 & 0,56 \\ 0,56 & 2,00 & 0,35 & 1,00 & 0,26 & 0,20 & 0,35 \\ 4,00 & 5,00 & 3,00 & 4,00 & 1,00 & 0,56 & 2,00 \\ 5,00 & 6,00 & 4,00 & 5,00 & 2,00 & 1,00 & 3,00 \\ 3,00 & 4,00 & 2,00 & 3,00 & 0,56 & 0,35 & 1,00 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 0,09 \\ 0,03 \\ 0,13 \\ 0,06 \\ 0,23 \\ 0,30 \\ 0,16 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,55 \\ 0,27 \\ 0,85 \\ 0,39 \\ 1,85 \\ 2,69 \\ 1,22 \end{bmatrix}$$

olur. En son çarpım sonucu elde edilen vektör ağırlık vektörünün elemanlarına bölünüp elde edilen değerler toplanırsa,

$$\lambda \max = \frac{\frac{0,55}{0,09} + \frac{0,27}{0,03} + \frac{0,85}{0,13} + \frac{0,39}{0,06} + \frac{1,85}{0,23} + \frac{2,69}{0,30} + \frac{1,22}{0,16}}{7} = 7,48$$

olarak bulunur. n matris boyutunu göstermek üzere, tutarlılık indeksi;

$$T.I = \frac{\lambda \max - n}{n-1} == \frac{7.48-7}{7-1} = 0,08$$

olarak bulunur. Ve bu değerin tesadüfîlik göstergesine bölünmesiyle tutarlılık oranı;

$$TO = \frac{TI}{RI} = \frac{0,08}{1,32} = 0,061$$

olarak hesaplanır. Tutarlılık oranı %10'dan daha küçük olduğu için yapılan ikili karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu anlaşılmıştır ve 3. Adımda elde edilen ağırlık vektörünün geçerliliği kanıtlanmıştır.

Kriter ağırlıklarının belirlenmesinin ardından alt kriter ağırlıklarının belirlenmesine geçilmiş ve alt kriter ağırlıkları da kriter ağırlıklarının belirlenmesine benzer şekilde belirlenmiştir (Bkz. Çizelge 6.3-6.9). Adım 3 ve Adım 4'te yapılacak olan hesaplamalar Matlab'da yazılan program yardımıyla kolaylıkla yapılmıştır ve elde edilen bulanık ağırlıklarla tutarlılık değerleri çizelgelerin altında gösterilmiştir.

Çizelge 6.3. "Kişisel özellikler" alt kriterlerinin ikili karşılaştırılması

	KÖ1	**KÖ2**	**KÖ3**	**KÖ4**	**KÖ5**
KÖ1	(1,1,1)	(3,4,5)	(2,3,4)	(3,4,5)	(1,2,3)
KÖ2	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1/3,1/2,1)	(1,2,3)	(1/5,1/4,1/3)
KÖ3	(1/4,1/3,1/2)	(1,2,3)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1/4,1/3,1/2)
KÖ4	(1/5,1/4,1/3)	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1/5,1/4,1/3)
KÖ5	(1/3,1/2,1)	(3,4,5)	(2,3,4)	(3,4,5)	(1,1,1)
W= (0,36, 0,11, 0,14, 0,07, 0,32)^T					
T.O=0.%5,28					

Kişisel Özellikler ana kriteri için *Öğrenme ve Uyum* ile *Zor Görevleri Başarma* alt kriterleri diğerlerine göre çok daha fazla önem ağırlığına sahiptir.

Çizelge 6.4. "Deneyim" alt kriterlerinin ikili karşılaştırılması

	GD	**ŞD**
GD	(1,1,1)	(1/6,1/5,1/4)
ŞD	(4,5,6)	(1,1,1)
W=(0,17, 0,83)^T		
T.O= -		

Deneyim ana kriteri için *Şirketteki Deneyim* kriteri ön plana çıkmaktadır.

Çizelge 6.5. “Yetkinlik” alt kriterlerinin ikili karşılaştırılması

	Y1	**Y2**	**Y3**	**Y4**
Y1	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1,2,3)	(1,2,3)
Y2	(2,3,4)	(1,1,1)	(3,4,5)	(1,2,3)
Y3	(1/3,1/2,1)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1/3,1/2,1)
Y4	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1,2,3)	(1,1,1)
W=(0,25, 0,45, 0,11, 0,19)^T				
T.O=%9,04				

Yetkinlik ana kriteri için *Elektronik Bilgisi* alt kriteri diğer kriterlere göre daha fazla önem ağırlığına sahiptir.

Çizelge 6.6. “İşe uyum” alt kriterlerinin ikili karşılaştırılması

	İU1	**İU2**	**İU3**	**İU4**
İU1	(1,1,1)	(2,3,4)	(3,4,5)	(1/3,1/2,1)
İU2	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1/5,1/4,1/3)
İU3	(1/5,1/4,1/3)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1/7,1/6,1/5)
İU4	(1,2,3)	(3,4,5)	(5,6,7)	(1,1,1)
W=(0,32, 0,13, 0,07, 0,48)^T				
T.O=%4,11				

İşe Uyum ana kriteri için *İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği* alt kriteri diğer kriterlere göre daha fazla önem ağırlığına sahiptir.

Çizelge 6.7. “Montaj kabiliyeti” alt kriterlerinin ikili karşılaştırılması

	MK1	**MK2**	**MK3**
MK1	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)
MK2	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
MK3	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
W=(0,50, 0,25, 0,25)^T			
T.O=6,39			

Montaj Kabiliyeti ana kriteri için *Tip_1 Cihazlarının Montajı* kriteri diğer iki kritere göre ön plana çıkmaktadır.

Çizelge 6.8. "Kontrol kabiliyeti" alt kriterlerinin ikili karşılaştırılması

	KK1	**KK2**	**KK3**
KK1	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)
KK2	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
KK3	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
W=(0,50, 0,25, 0,25)^T			
T.O=6,39			

Kontrol Kabiliyeti ana kriteri için *Tip_1 Cihazlarının Kontrolü* alt kriteri diğer iki kritere göre ön plana çıkmaktadır

Çizelge 6.9. "Test kabiliyeti" alt kriterlerinin ikili karşılaştırılması

	TK1	**TK2**	**TK3**	**TK4**	**TK5**	**TK6**
TK1	(1,1,1)	(3,4,5)	(2,3,4)	(1,2,3)	(1,2,3)	(2,3,4)
TK2	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/3,1/2,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)
TK3	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/3,1/2,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)
TK4	(1/3,1/2,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,1,1)	(1/3,1/2,1)	(1,2,3)
TK5	(1/3,1/2,1)	(2,3,4)	(2,3,4)	(1,2,3)	(1,1,1)	(2,3,4)
TK6	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/3,1/2,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)
W=(0,32, 0,08, 0,09, 0,17, 0,26, 0,09)^T						
T.O=%3,42						

Test Kabiliyeti ana kriteri için *Tip_1 Cihazlarının Fonksiyonel Testi ile Tip_2 Cihazlarının Çevre Koşulları Testi* diğer dört kritere göre ön plana çıkmaktadır.

Adım 5: Bu adımda, Adım 3'te belirlenen kriter ve alt kriter ağırlıkları kullanılarak alt kriterlere ait global ağırlıklar hesaplanmıştır. Elde edilen global ağırlıklar Çizelge 6.10'da verilmiştir.

Genel olarak bakıldığında, bütün 27 alt kriter arasında en fazla önem ağırlığına sahip kriterler *Tip_1 Cihazlarının Montajı* (0,1150), *Tip_1 Cihazlarının Fonksiyonel Testi* (0,0960) ve *Tip_1 Cihazlarının Kontrolü* (0,0800) olmuştur. Diğer taraftan en az önem ağırlığına sahip alt kriterler ise *Vardiyalı Çalışma İsteği* (0,0042) olmuştur.

Çizelge 6.10. Alt kriterlere ait global ağırlıklar

Faktörler	Alt faktörler	Kriter Önem Ağırlığı	Alt Kriter Önem Ağırlığı	Alt Kriterlerin Global Ağırlığı
Kişisel Özellikler (KÖ)	KÖ1. Öğrenme ve Uyum	0,09	0,36	0,0324
	KÖ2. Kendine Güven		0,11	0,0099
	KÖ3. Stres Altında Çalışma		0,14	0,0126
	KÖ4. Rutin İşleri Takip		0,07	0,0063
	KÖ5. Zor Görevleri Başarma		0,32	0,0288
Deneyim (D)	GD. Geçmişteki Deneyim	0,03	0,17	0,0051
	ŞD. Şirketteki Deneyim		0,83	0,0249
Yetkinlik (Y)	Y1. Eğitim Seviyesinin İşe Uygunluğu	0,13	0,25	0,0325
	Y2. Elektronik Bilgisi		0,45	0,0585
	Y3. Montaj Yeteneği		0,11	0,0143
	Y4. Bilgisayar Bilgisi		0,19	0,0247
İşe Uyum (İU)	İU1. Çalışma Ortamının Kurallarına Uyması	0,06	0,32	0,0192
	İU2. Fazla Mesailere Kalma İsteği		0,13	0,0078
	İU3. Vardiyalı Çalışma İsteği		0,07	0,0042
	İU4. İş Güvenliği Kurallarına Uyma		0,48	0,0288
Montaj Kabiliyeti (MK)	MK1. Tip_1 Cihazlarının Montajı	0,23	0,5	0,115
	MK2. Tip_2 Cihazlarının Montajı		0,25	0,0575
	MK3. Tip_3 Cihazlarının Montajı		0,25	0,0575
Test Kabiliyeti (TK)	TK1. Tip_1 Cihazlarının Fonksiyonel Testi	0,3	0,32	0,096
	TK2. Tip_2 Cihazlarının Fonksiyonel Testi		0,08	0,024
	TK3. Tip_3 Cihazlarının Fonksiyonel Testi		0,09	0,027
	TK4. Tip_1 Cihazlarının Çevre Koşulları Testi		0,17	0,051
	TK5. Tip_2 Cihazlarının Çevre Koşulları Testi		0,26	0,078
	TK6. Tip_3 Cihazlarının Çevre Koşulları Testi		0,09	0,027
Kontrol Kabiliyeti (KK)	KK1. Tip_1 Cihazlarının Kontrolü	0,16	0,5	0,08
	KK2. Tip_2 Cihazlarının Kontrolü		0,25	0,04
	KK3. Tip_3 Cihazlarının Kontrolü		0,25	0,04

6.2. İkinci Aşama: Personel Performanslarının Değerlendirilmesi

Adım 2.1: Alt kriterlere ait global ağırlıklar belirlendikten sonra personel değerlendirme aşamasına geçilmiş, her personel alt kriterler temelinde değerlendirilmiştir. Karar verme ekibi geçmişteki deneyim, şirketteki deneyim ve

eğitim alt kriterlerini kantitatif kriterler olarak belirlemiştir. Şirketteki deneyim ve geçmişteki deneyim alt kriterlerinin yıl bazında değerlendirilmesine ve eğitim alt kriteri için Çizelge 6.11'te verilen değerlendirme skalasının kullanılmasına karar verilmiştir. Geriye kalan 24 alt kriter ise nitel kriter olarak değerlendirilmiştir ve personeller bu kriterler temelinde değerlendirilirken Çizelge 5.2'de verilen dilsel değişkenler kullanılmıştır.

Çizelge 6.11. Eğitim seviyesi için değerlendirme skalası

Eğitim seviyesi	Skala
İlköğretim	1
Düz lise	3
Meslek lisesi	5
Meslek yüksek okulu	7
Üniversite	9

Değerlendirmeler tüm personelleri çok iyi tanıyan 3 kişilik karar verme ekibi (şef teknisyen, teknisyen, mühendis) tarafından yapılmıştır. Her bir personel, alt kriterler temelinde karar verme ekibi değerlendirilmiş, elde edilen bulanık değerlerin geometrik ortalaması alınarak bütünleştirilmiştir. Her bir alt kriter global ağırlığı ile alt kriter geometrik ortalaması çarpılmıştır, tüm alt kriterler için bu çarpımlar toplanarak personelin bulanık öncelik değerleri elde edilmiştir. Örnek teşkil etmesi açısından 56 personelden ilk 5'i için yapılan değerlendirmeler ve elde edilen bulanık öncelik değeri Ek-1'de gösterilmektedir.

Adım 2.2: Bu adımda personeller için bir önceki adımda elde edilen toplam bulanık öncelikler durulaştırılır. Durulaştırma işlemi α kesme yöntemi kullanılarak yapılmıştır. 0.1, 0.2,…,0.9 α-kesme seviyelerinde bulanık sayının durulaştırması sağlanmıştır. Örnek teşkil etmesi açısından 1. personel için yapılan durulaştırma ve elde edilen alt ve üst öncelik değeri Çizelge 6.12'de gösterilmektedir.

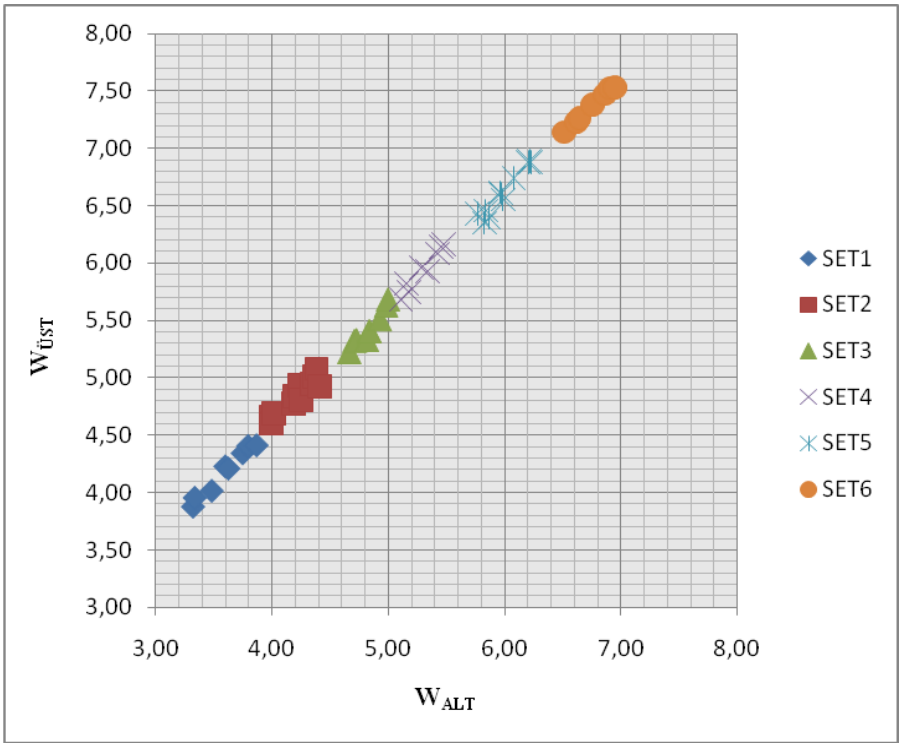
Öncelikli olarak 0.1, 0.2,…,0.9 α-kesme seviyelerinde $AS = \alpha \cdot (m - l) + l$ ve $\ddot{U}S = u - \alpha \cdot (u - m)$ eşitlikleri kullanılarak alt ve üst sınır değerleri elde edilir. Daha

sonra Eş. 4.26 ve Eş. 4.27 kullanılarak ilgili personele ait birleştirilmiş alt ve üst sınır öncelik değerleri, W_{1A}, $W_{1Ü}$ elde edilir.

Çizelge 6.12. Birinci personel için yapılan durulaştırma

α kesmesi	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
AS	3,13	3,22	3,31	3,39	3,48	3,57	3,66	3,74	3,83
ÜS	4,68	4,60	4,51	4,43	4,34	4,26	4,17	4,09	4,00
W_{1A}	3,60								
$W_{1Ü}$	4,23								

Adım 2.3: 54 personel için alt ve üst öncelik değerleri elde edildikten sonra koordinat sisteminde grafiksel olarak gösterimi Şekil 6.1'de gösterilmiştir. Sezgisel olarak karar vericiler 6 adet personel kategorisi oluşturulmuştur. Çizelge 6.13'te her bir kategoride hangi personelin olduğu ve her bir personele ait alt ve üst öncelik değerleri gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Personeller için alt ve üst öncelik değerlerinin grafiksel gösterimi

Çizelge 6.13. Kategorilenmiş personel kümesi

Kategori Adı	Personel	W_{1A}	$W_{1Ü}$	Kategori Adı	Personel	W_{1A}	$W_{1Ü}$
SET1	29. personel	3,32	3,88	SET4	48. personel	5,11	5,68
	22. personel	3,33	3,96		44. personel	5,16	5,82
	3. personel	3,48	4,02		16. personel	5,18	5,74
	1. personel	3,60	4,23		20. personel	5,29	5,96
	7. personel	3,62	4,21		34. personel	5,33	5,93
	43. personel	3,75	4,34		25. personel	5,42	6,08
	21. personel	3,79	4,40		45. personel	5,45	6,14
	12. personel	3,87	4,41		38. personel	5,48	6,17
SET2	14. personel	3,99	4,66	SET5	10. personel	5,77	6,43
	4. personel	3,99	4,60		13. personel	5,83	6,35
	5. personel	4,01	4,69		42. personel	5,84	6,46
	35. personel	4,18	4,77		11. personel	5,87	6,40
	50. personel	4,20	4,84		15. personel	5,96	6,62
	17. personel	4,24	4,94		32. personel	5,97	6,61
	31. personel	4,25	4,81		8. personel	5,99	6,55
	52. personel	4,34	4,95		40. personel	6,08	6,74
	51. personel	4,36	5,01		23. personel	6,20	6,88
	19. personel	4,38	5,08		37. personel	6,21	6,89
	6. personel	4,41	4,92		2. personel	6,23	6,88
SET3	46. personel	4,66	5,22	SET6	53. personel	6,51	7,14
	39. personel	4,71	5,32		54. personel	6,63	7,24
	27. personel	4,72	5,33		36. personel	6,65	7,26
	9. personel	4,81	5,33		41. personel	6,76	7,38
	24. personel	4,83	5,41		26. personel	6,86	7,47
	47. personel	4,84	5,41		28. personel	6,91	7,52
	18. personel	4,92	5,51		30. personel	6,95	7,53
	33. personel	4,98	5,63				
	49. personel	4,99	5,68				

Bu tezde, altı kitlenin ortalamaları arasında anlamlı bir fark olup olmadığı, 0.01 yanılma düzeyi ile test edilecektir. Örneklemden varsayımları (homojenlik, bağımsızlık ve normallik varsayımları) sağlayıp sağlamadığını bilmediğimiz için parametrik olmayan testlerden Kruskal-Wallis Testi yapılacaktır. Probleme ilişkin hipotez aşağıdaki gibi kurulur.

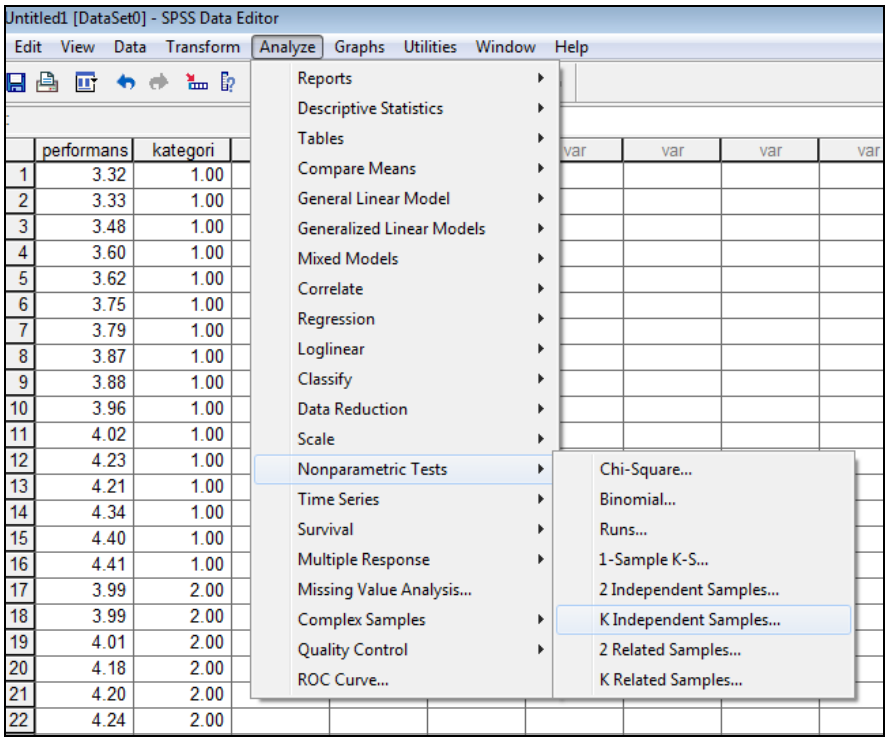
H_0: 6 personel kategorileri birbirine benzer yapıdadır.

H_1: 6 personel kategorileri birbirine benzer yapıda değildir, en az biri farklıdır.

Ana kütlelerden alınan örneklerlere ait değerler bir araya getirilerek sıralanır ve her örneğin sıra toplamı kullanılarak formülde değerler yerine konur ve H istatistiği hesaplanır. Formülde, n, örneklerdeki toplam birim sayılarını; W_i, Her örneğin sıraları toplamını; n_i, her örnekteki birim sayısını göstermektedir.

$$H = \frac{12}{n.(n+1)} \sum_{i=1}^{k} \frac{W_i^2}{n_i} - 3(n+1)$$

Elle çözüm yerine SPSS programı kullanılarak programa ilişkin çözüm elde edilmiştir. Bunun için, performans değerleri ve kategori verileri programa girilmiştir (Bkz. Şekil 6.2).



Şekil 6.2. Hipotes testi için SPSS'e veri girişi

Daha sonra Analyze>Nonparametric Tests>K Indeperndent Samples dizini ile H istatistiği 96,447 olarak hesaplanmıştır (Bkz. Şekil 6.3). Kritik değer tablodan, $\chi^2_{k-1,1-\alpha} = \chi^2_{6-1,1-0.01} = 15.09$ olarak bulunmuştur. Bu durumda, bulduğumuz H istatistiği kritik değerden büyük olduğundan H_0 istatistiği reddedilir. Personel kategorileri üzerinde anlamlı bir fark bulunduğu tespit edilir.

Kruskal-Wallis Test

Ranks

	kategori	N	Mean Rank
performans	1,00	16	11,06
	2,00	22	28,00
	3,00	18	47,42
	4,00	16	63,41
	5,00	22	82,95
	6,00	14	100,00
	Total	108	

Test Statistics[a,b]

	performans
Chi-Square	96,447
df	5
Asymp. Sig.	,000

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: kategori

Şekil 6.3. Kruskal Wallis testi _SPSS çıktısı

6.3. Üçüncü Aşama: Modelin Kurulması ve Personel Atamalarının Elde Edilmesi

Tip 1, tip 2 ve tip 3 cihaz grubuna ait en yüksek ve/veya sürekli talepe sahip olan 2'şer cihaz grubu seçilmiş ve toplam altı farklı cihaz grubunun (P=6) üretimi için istasyonlara personel ataması gerçekleştirilecektir. 8 adet üretim hattı mevcuttur (L=8).

Planlama periyodu 1 ay (22 iş günü) olarak alınmıştır. Günlük çalışma süresi 9 saattir, çizelgelenmiş molalar 1 saattir. 0,5 saat üretime hazırlık zamanı olarak düşülmüştür. Bu durumda planlama periyodundaki mümkün operasyon

zamanı: $H = 1\,ay \cdot \frac{22\,gün}{1\,ay} \cdot \frac{7{,}5\,sa}{1\,gün} = 165\,sa$ olarak belirlenmiştir. Bir cihazın üretimi sırasıyla montaj, foksiyonel test, çevre koşulları testi ve kontrol olmak üzere 4 istasyonda gerçekleşmektedir. Bu istasyonlara atanabilecek maksimum personel sayısı sırasıyla 5, 5, 4 ve 1 adettir.

Karar vericiler, montaj adımının üretimin temelini oluşturması gerekçesiyle kalifiye düzeyi düşük olan personelin yeteneğini arttırmak için öncelikli olarak bu istasyona atanmasını uygun görmüştür. Ayrıca, 5. kategorideki (k=5) personelin, öncelikli olarak yetkinlik gerektiren fonksiyonel test ve çevre koşulları istasyonlarına atanması uygun görülmüştür. Bu nedenle 6 kategoride 4 kalifiye düzeyi belirlenmiştir (a_1=1, a_2=a_5=2, a_3=a_4=3 ve a_6=1). Her bir kategorideki personel sayısı, bu personellerin atanabileceği istasyonlar, kalifiye düzeyi Çizelge 6.14'te gösterildiği gibidir.

Çizelge 6.14. Personel datası

Kategori k	c_{jk}				D_k	a_k
	j=1	j=2	j=3	j=4		
1	1	0	0	0	8	1
2	1	0	0	1	11	2
3	1	1	0	1	9	3
4	1	0	1	1	8	3
5	0	1	1	0	11	2
6	1	1	1	1	7	4

Çizelge 6.15'te 6 adet ürüne ait birim üretim zamanı ve 1 aylık planlama periyodu sonunda bu ürünlere olan talep miktarı gösterilmektedir.

Problem verileri parametreler ve tablolar şeklinde girilerek Bölüm 5.3'te amaç fonksiyonu ve kısıtları verilen karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli GAMS dilinde kodlanmış ve çözüm elde edilmiştir. Sonuçlar, Çizelge 6.16- 6.18 de özetlenmiştir. Problemin GAMS dilinde yazımı, açık formu ve çözüme ilişkin elde edilen sonuçlar sırasıtyla Ek 2, Ek 3 ve Ek 4'te görülebilir.

Çizelge 6.15. Birim üretim zamanı ve talep miktarı

	Ürün i	Üretim zamanı (P_{ij})				Talep (Q_i) (br/ay)
		Montaj	Fonksiyonel Test	Çevre Koşulları Testi	Kontrol	
Tip 1	1	5,20	4,80	4,00	1,00	40
Cihazlar	2	2,40	2,00	1,80	0,4	200
Tip 2	3	4,80	4,00	3,80	1,00	30
Cihazlar	4	10,50	9,80	9,00	2,00	25
Tip 3	5	2,80	4,30	2,50	0,50	120
Cihazlar	6	32,00	42,50	30,50	5,00	15

Çizelge 6.16'te amaç fonksiyonu değeri 119 olarak bulunmuştur, hatlara ataması yapılacak personel sayısı ise 51 adettir. 3 adet kalifiye yüzeyi yüksek olan personelin ataması yapılmayacaktır; hatta yeni bir ürün girdiğinde veya üretim talep miktarındaki herhangi bir artışta kalifiye düzeyi yüksek olan bu personeller rahatlıkla atanabilecektir.

Çizelge 6.16. Kategorilerdeki personelin ataması(b_k) ve amaç fonksiyonu (a_k*b_k)

k	1	2	3	4	5	6	Toplam
D_k	8	11	9	8	11	7	54
b_k	8	11	9	8	11	4	51
a_k	1	2	3	3	2	4	
$a_{k*}b_k$	8	22	27	24	22	16	119

Çizelge 6.17'da bir ürüne olan taleplerin hangi üretim hatlarından karşılanacağı ve hattın darboğaz istasyona göre belirlenen üretim hızı (birim/saat) ve toplam üretim miktarı görülmektedir.

Tablo 6.18'de ise müşteri taleplerini karşılayacak aylık personel atama çizelgesi gösterilmiştir. Her bir hattaki her bir istasyona, her bir kategori grubundaki personelden kaç tane atanması gerektiği tabloda gözükmektedir. Bu çözüm, üretim yöneticilerine aylık üretim aktivitelerini gerçekleştirmelerinde sağlayacağı etkinlik bakımından büyük önem arzetmektedir.

Çizelge 6.17. Aylık üretilebilecek miktar ve hattın hızı(r_{il})

Ürün (i)	Hat (l)								Talep	Üretim
	1	2	3	4	5	6	7	8	Qi	miktarı
1					0,25				40	41
2							1,25		200	206
3								0,208	30	34
4	0,190								25	31
5			0,400	0,357					120	124
6		0,062				0,031			15	15

Çizelge 6.18. Aylık personel atama çizelgesi

Hat (l)	İstasyon (j)	kategori (k)					
		1	2	3	4	5	6
1	1		2				
	2			2			
	3				2		
	4		1				
2	1	2					
	2			2			1
	3				1	1	
	4		1				
3	1	2					
	2			1		1	
	3					1	
	4		1				
4	1	1					
	2			1			1
	3					1	
	4		1				
5	1		2				
	2					2	
	3						1
	4				1		
6	1		1				
	2			1			1
	3				1		
	4			1			
7	1	3					
	2			1		2	
	3				1	2	
	4		1				
8	1		1				
	2					1	
	3				1		
	4				1		

7. SONUÇ

Bütün işletmelerin devamlılıklarını sürdürebilmeleri için verimlilik kavramı, önemli bir konudur. İşletmeler verimliliklerinin artışlarını birçok alt amaçlarının verimliliklerini arttırarak sağlarlar. Bu alt amaçlardan birisi de emek verimliliğidir. Personel planlaması da emek verimliliğini arttırmada kullanılan tekniklerinden biridir. İşletmelerin, özellikle emek yoğun üretim sistemlerinin temel girdilerinden birinin emek olduğunu düşünürsek, gerekli personel sayısının planlanması da kaçınılmaz bir durumdur. Personel gereksinmesinin saptanması; kuramsal olarak, gelecekteki bir zaman sürecinde yapılması gereken işi nitelik ve nicelik olarak önceden belirlemek ve sonra belirlenen bu değerlerden giderek, söz konusu işi yapacak belli özellikteki işgücünü sayısal olarak saptamaktır. Üretim yöneticileri, belli bir ürünün gelecekteki talebinden hareketle ileride ihtiyaç duyulacak üretim faktörlerini zaman, miktar ve nitelikler yönünden belirlemek durumundadır.

Bu tez, düz montaj hatlarına aylık üretim taleplerini gerçekleştirmek üzere gerekli personel atama problemine optimal çözüm bulan karışık doğrusallaştırılmış tamsayılı programlama modeli sunmaktadır. Literatürdeki personel atama problemlerinde genellikle personel performansları göz önünde tutulmadan personel atamaları gerçekleştirilmektedir. Bu tezde personel atmaları yapılmadan önce her bir personelin performansı değerlendirilerek literatürdeki bu boşluk doldurulmaya çalışılmıştır.

Personel değerlerndirme problemi, birçok kriterli karar verme problemidir. Herbir çok nitelikli karar verme tekniğinin uygulanmasında kendilerine özgü problemler yaşanmakta ve elde edilen sonuçlar farklılıklar gösterebilmektedir. Personel değerlendirme problemi için, karmaşık problemlerin modellenmesinde kolaylık sağlaması, probleme uygunluğu, teorik altyapısının anlaşılmasındaki kolaylığı, kullanım kolaylığı, grup karar verme sürecine uygunluğu nedenleriyle bulanık AHP tekniği tercih edilmiştir. Bu tekniğin tercih edilmesi ile problemde karşılaşılan hem nitel hem de nicel kriterler bir arada modellenebilmiştir. Ayrıca ikili karşılaştırmalar yoluyla nihai kararın kişisel görüşlere olan bağımlılığı azaltılmıştır. İkili

karşılaştırma yargılarındaki sözel belirsizliği daha iyi ifade etmek amacıyla, çözüm tekniği olarak AHP'nin bir versiyonu olan Bulanık AHP kullanılmıştır. Bulanık AHP teknikleri arasından da Chang (1996)'ın Mertebe Analiz Yöntemi ile Liou ve Wang'ın toplam entegral değer yöntemi birleştirilerek bir çözüm metodu geliştirilmiştir, böylece ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılıkları da hesaplanabilmiştir. Farklı karar vericilerin yapmış olduğu değerlendirmeler sonucunda uzlaşılmış kararlara ulaşabilmek amacıyla her bir karar vericinin yargı değerlerinin geometrik ortalaması alınarak tek bir yargı değeri elde edilmiştir. Daha sonra kriterler temelinde personeller değerlendirilerek performansları üçgensel bulanık sayı olarak elde dilmiştir. Bu üçgensel sayılar, α kesme işlemine tabi tutularak durulaştırma yapılmış ve alt ve üst performans değerleri elde edilmiltir. Performansı eş düzeyli olduğu düşünülen personeller aynı kategoride olacak şekilde personel kategorileri oluşturulmuştur. Bu personel kategorileri arasında anlamlı bir farklılık olduğu Kruskal Wallis testi ile doğrulanmıştır.

Kategorilere ayrılmış personelin aylık talepleri karşılamak üzere ürüne özgü oluşturulacak düz montaj hatlarına ataması için karışık tamsayılı doğrusallaştırılmış programlama modeli oluşturulmuştur.

Önerilen metodolojinin pratik uygulamalardaki etkinliğini göstermek amacıyla Ankara'da faaliyet gösteren, elektronik cihaz üreten bir fabrikada gerçekleştirilmiştir. 54 personel değerlendirilmiş, değerlendirmeye dayalı 6 personel kategorisi oluşturulmuş ve karışık tamsayılı doğrusallaştırılmış model ticari amaçlı bir yazılım programı ile çözülerek personel performansına dayalı optimal atama elde edilmiştir.

Geliştirilen karışık tamsayılı doğrusal programlama problemi, NP-zor problemdir. NP-zor sınıfındaki problemlerin çözümü için polinom zamanlı algoritma yoktur. Küçük boyutlu problemler birerleme ile çözülebilmesine rağmen, büyük boyutlu problemler için bu yöntem ile çözüme ulaşmak mümkün değildir. Bu nedenle gelecekteki çalışmalarda etkili bir sezgisel yöntem geliştirilebilir. Buna ek olarak, model tek dönem için oluşturulmak yerine çok dönemli olarak oluşturulabilir. Geliştirilen modelde bir hatta sadece tek tip ürünün üretilebileceği varsayımı

mevcuttur, bu varsayım gerekli olduğu durumda kaldırılabilir. Ayrıca bu tezde amaç fonksiyonu gelecek atamalarda esneklik sağlaması nedeniyle toplam yetenek düzeyinin minimizasyonunu amaçlamaktadır. Kategori düzeyi ile işçilik maliyeti arasında ilişki ve işten çıkarma durumları varsa bu amaç fonksiyonu maliyet minimizasyonuna dönüştürülebilir.

KAYNAKLAR

1. Ernst, A.T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., Sier, D., "Staff Scheduling and Rostering: A Review of Applications", ***Methods and Models***, 153: 3-27 (2004).

2. Sarucan, A., "Bir Raylı Ulaşım Sisteminde Personel Çizelgeleme Problemine Bütünleşik Yaklaşım", Yüksek Lisans Tezi, ***Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Konya, 3-15 (1999).

3. Güngör, İ., "İşgücü Maliyetlerinin Minimizasyonu, Vardiya Planlaması, Modeller, Algoritmalar ve Uygulamalar", ***Asil Yayın Dağıtım***, Ankara, 5-117, (2009).

4. Kaynak, T., "İnsan Kaynakları Yönetimi", ***İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Yayınları***, İstanbul, 15-17, 205-227 (1998).

5. Onat, B., "İnsan Kaynaklarının Gelişimi Açısından Bankalarda Performans Değerlendirme Uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, ***Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü,*** İzmir, 25 (2002).

6. Cascio, W., "Managing Human Resources: Productivity, Quality of Work Life, Profits", ***McGraw-Hill***, New York, 87 (1992).

7. Şenatalar, F., "Personel Yönetimi ve Beşeri İlişkiler", ***Ercivan Matbaası***, İstanbul, 259 (1978).

8. Mondy, R.W., Noe, R.M., "Personnel: The Management of Human Resources", ***Allyn and Bacon Inc***., Massachusetts, 366 (1987).

9. Dağdeviren, M., "Performans değerlendirme sürecinin çok ölçütlü karar verme teknikleri ile bütünleşik modellenmesi", Doktora tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 24- 69 (2005).

10. Decenzo, D.A., Robbins, S.P., "Human Resources Management", ***John Wiley and Sons Inc.,*** New York, 293 (1999).

11. Benchtold, S.E., Jacobs, L.W., "Implicit Modeling of Flexible Break Assignments in Optimal Shift Scheduling", ***Management Science***, 36 (11): 1339 (1990).

12. Thompson, G. M., "Optimal Scheduling of Shifts and Breaks Using Employees Having Limited Time-Availability", ***International Journal of Service Industry Management***, 7 (1): 56 (1996).

13. Dantzig, D., "Scheduling of Toll Collectors", ***Operations Research***, 2: 339-341 (1954).

14. Thompson, G. M., "Labor Scheduling, Part 1: Forecasting Demand", ***Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly***, 39 (5): 22-31 (1998).

15. Thompson, G. M., "Labor Scheduling, Part 2: Knowing How Many On-duty Employees to Schedule", ***Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly***, 39 (6): 26-37 (1998).

16. Thompson, G. M., "Labor Scheduling, Part 3: Developing a Workforce Schedule", ***Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly***, 40 (1): 86-96 (1999).

17. Thompson, G. M., "Labor Scheduling, Part 4: Controlling Workforce Schedules in Real Time", ***Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly***, 40 (3): 85-96 (1999).

18. Alfares, H.K., "Dual Based Optimization Of Cyclic Three-Day Workweek Scheduling", ***Asia Pasific Journal of Operational Research***, 17: 137 (2000).

19. Morris, J.G., Showalter, M.J., "Simple Approaches To Shift, Days-Off And Tour Sheduling Problems", ***Management Science,*** 29(8): 944 (1983).

20. Hung, R., "A Multiple-Shift Workforce Scheduling Model Under the 4-Day Workweek with Weekday and Weekend Labour Demands", ***Operational Research Society***, 4: 1088-1092 (1994).

21. Aykin, T., "Optimal Shift Scheduling with Multiple Break Windows", ***Management Science,*** 42(4): 591-602 (1996).

22. Goodale, J.C., Enar, T., "Tour Scheduling With Dynamic Service Rates", ***International Journal of Service Industry Management,*** 9(3): 226 (1998).

23. Jarrah, A.I.Z., Bard, J.F., Desilva, A.H., "Solving Large-Scale Tour Scheduling Problems", ***Manegement Science***, 40 (9): 1127 (1994).

24. Easton, F.F., Rossin, D.F., "Sufficient Working Subsets for The Tour Scheduling Problem", ***Management Science***, 37: 1441-1451 (1991).

25. Baker K.R., "Workforce Allocation in Cyclical Scheduling Problems: A Survey", ***Operational Research Quartely***, 1: 155-167 (1976).

26. Özocak, K., "Differences of Job Satisfaction Level Among Rotators and Non Rotators", Yüksek Lisans Tezi, ***Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*** , İstanbul, 5-15 (2001).

27. Carnahan, B.J., Redfern, M.S., Norman B., "Designing Safe Job Rotation Using Optimization and Heuristic Search", ***Ergonomics***, 43: 543-560 (2000).

28. Byrne, J. L., Potts, R. B., "Scheduling of Toll Collectors", ***Transportation Science***, 3: 224-245 (1973).

29. Henderson, W. B., Berry, W. L., "Heuristic Methods for Telephone Operator Shift Scheduling: An Experimental Analysis", ***Management Science***, 22: 1372-1380 (1976).

30. Erensal, Y. C., "Vardiya Çalışmasının Ergonomik Tasarımı", Doktora Tezi, ***İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul, 118-141 (1993).

31. Laporte, G., "The Art and Science of Designing Rotating Schedules", ***Operational Research Society***, 50: 1011-1017 (1999).

32. Edie, L., "Traffic delays at toll booths", ***Journal Operations Research Society of America***, 2 (2): 107-138 (1954).

33. Arabeyre, J., Fearley, J., Steiger, F., Teather, W., "The airline crew scheduling problem: A surwey", ***Transportation Science***, 3: 140-163 (1969)

34. Stojkovic, M., Soumis, F., Desrosiers, J., "The operational airline crew scheduling problem", ***Transportation Science***, 32(3): 232-245 (1998).

35. Klabjan, D., Johnson, E., Nemhauser, G., Gelman, E., Ramaswamy S., "Airline Crew Scheduling with Regularity", ***Transportation Science***, 35(4): 359-374 (2002).

36. Freling, R., Huisman, D., Wagelsmans, A., "Models and algorithm for integration of vehicles and crew scheduling", ***Journal of Scheduling***, 6(1): 63-85 (2003).

37. Huisman, D., Freling R., Wagelmans, A., "Multiple-Depot Integrated Vehicle and Crew Scheduling", ***Transportation Science***, 39(4): 491-502(2005).

38. Cordeau, J.F., Stojkovic, G., Soumis, F., "Benders Decomposition for Simultaneous Aircraft Routing and Crew Scheduling", ***Transportation Science,*** 35 (4): 375-388 (2001).

39. Daduna, J., Voss, S., "Computer-Aided Scheduling of Public Transport", ***Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems***, ***Springer Publishers***,7-466 ***(***2001).

40. Desrochers, M., Rousseau, J., "Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems: Computer-Aided Transit Scheduling", ***Springer-Verlag***, Berlin, 7-432 (1992).

41. Wilson, N., "Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems: Computer-Aided Transit Scheduling", ***Springer-Verlag***, Berlin, 5-374 (1999).

42. Ernst, A., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., Nott, H., Sier, D. , "An integrated optimization model for train crew management", ***Annals of Operations Research,*** 108: 211-224 (2001).

43. Morgado, E., Martins, J., "Scheduling and managing crew in the Portuguese railways", ***Expert Systems with Applications*** 5: 301-321 (1992).

44. Örmeci, L, Aksen, D., Erdem, A., Salman, S., Savaş, S., "Çağrı merkezleri için işgücü planlaması", ***TÜBİTAK Destekli Projeler Veri Tabanı,*** 518 (2008).

45. Chokshi, R.,"Decision support for call center management using simulation", ***Winter Simulation Conference***, 1634-1639 (1999).

46. Miller, K., Bapat, V., "Case study: simulation of the call center environment for comparing competing call routing technologies for business case ROI projection", ***Winter Simulation Conference***, 1694-1700 (1999).

47. Gulati, S., Malcolm, S., "Call center scheduling technology evaluation using simulation", ***Winter Simulation Conference***, 1841-1846 (2001).

48. Atlason, J., Epelman, M., Henderson, S., "Combining Simulation and Cutting Plane Methods in Service Systems", ***Service and Manufacturing Grantees Conference***, 39-49 (2002).

49. Maier-Rothe, C., Wolfe, H., "Cyclical scheduling and allocation of nursing staff", ***Socio-Economic Planning Sciences***, 7 : 471-487 (1973).

50. Norby, R., Freund, L., Wagner, B., "A nurse staffing system based on assignment difficulty", ***Journal of Nursing Administration,*** 7 (9): 2-24 (1977).

51. Ryan, T., Barker, B., Marciante, F., "A system for determining appropriate nurse staffing", ***Journal of Nursing Administration,*** 5 (5): 30-38 (1975).

52. Arthur, J., Ravindran, A., "A multiple objective nurse scheduling model", ***AIIE Transactions,*** 13 (1): 55-60 (1981).

53. Özkarahan, I., Bailey, J., "Goal programming model subsystem of a flexible nurse scheduling support system", ***IIE Transactions***, 20 (3): 306-316 (1988).

54. Smith, L., "The application of an interactive algorithm to develop cyclical rotational schedules for nursing personel", ***INFOR Journal***, 14 (1): 53-70 (1976).

55. Bradley, D., Martin, J., "Continuous personnel scheduling algorithms: A literature review", ***Journal of the Society for Health Systems***, 2: 2-8 (1991).

56. Siferd, S., Benton, W., "Workforce staffing and scheduling: hospital nursing specific models", ***European Journal of Operational Research***, 60 (3): 233-246 (1992).

57. Loucks, J. , Jacobs, F. , "Tour scheduling and task assignment of a heterogeneous work force: A heuristic approach", ***Decision Sciences***, 22 (4): 719-739 (1991).

58. Poliac, M., Lee , E., Slagle, J., Wick, M., "A crew scheduling problem" , ***IEEE First International Conference on Neural Networks***, 779-786 (1987).

59. Ritzman, L.P., Krajewski, L., Showalter, M., "The disaggregation of aggregate manpower plans", ***Management Science***, 22 (11): 1204-1214 (1976).

60. Ashley, D., "A spreadsheet optimization system for library staff scheduling", ***Computers and Operations Research***, 22 (6): 615–624(1995)

61. Butler, D., Maydell, U., "Manpower scheduling in the Edmonton police department", ***Infor Journal,*** 17 (4): 366–372 (1979).

62. Sinuany-Stern, Z., Teomi, Y., "Multi-objective scheduling plans for security guards", ***Journal of the Operational Research Society***, 37 (1): 67–77 (1986).

63. Mabert, V., "A case study of encoder shift scheduling under uncertainty", ***Management Science***, 25 (7): 623-631 (1979).

64. Moondra, S., " An L.P. model for work force scheduling for banks", ***Journal of Bank Research,*** 6:299-301 (1976).

65. Dodin, B., Elimam, A., Rolland, E., "Tabu search in audit scheduling", ***European Journal of Operational Research,*** 106:(2–3) 373-392 (1998).

66. Faaland, B., Schmitt, T., "Cost-based scheduling of workers and equipment in a fabrication and assembly shop", ***Operations Research***, 41 (2): 253–268 (1993).

67. Gopalakrishnan, M., Gopalakrishnan, S., Miller, D., "A decision support system for scheduling personnel in a newspaper publishing environment", ***Interfaces,*** 23 (4): 104–115 (1993).

68. Alfares, H., Bailey, J., "Integrated project task and manpower scheduling", ***IIE Transactions***, 29 (9): 711–717 (1997).

69. Azarmi, N., Abdulhameed, W., "Workforce scheduling with constraint logic programming", ***BT Technology Journal***, 13 (1): 81–94 (1995).

70. Kuo, Y., Yang, T., "Optimization of mixed-skill multi-line operator allocation problem", ***Computers and Industrial Engineering,*** 53: 386–393(2007).

71. Chauvet, F., Proth, J. M., Soumare, A., "The simple and multiple job assignment problems", ***International Journal of Production Research***, 38(14): 3165–3179 (2000).

72. Ohno, K., Nakade, K., Shantikumar, J. G., "Bounds and Approximations for Cycle Times of a U-shaped Production Line", ***Operations Research Letters***, 21: 191-200 (1997).

73. Ertay, T., Ruan, D., "Data envelopment analysis based decision model for optimal operator allocation in CMS", ***European Journal of Operational Research***, 164(3): 800–810 (2005).

74. Suer, G. A., Bera, I. S., "Optimal operator assignment and cell loading when lot-splitting is allowed", ***Computers and Industrial Engineering***, 35(3–4): 431–434 (1998).

75. Dağdeviren, M., Eren, T., "Tedarikçi Firma Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve 0-1 Hedef Programlama Yöntemlerinin Kullanılması", ***Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.,*** 16:2:42 (2001).

76. Saaty, T.L., "How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process", ***Interfaces***, 24:6:19-43 (1994).

77. Kuruüzüm, A., Atsan, N., "Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları", ***Akdeniz İ.İ.B.F Dergisi***, 1:84 (2001).

78. Güner, H., "Bulanık AHP Ve Bir İşletme İçin Tedarikçi Seçimi Problemine Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, ***Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Denizli, 1-100 (2005).

79. Pamukçu, B., "Analitik Ağ Süreci ve Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, ***İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul, 27-35 (2003).

80. Saaty, T.L., "How to make A Decision: The Analytic Hierarchy Process", ***European Journal of Operational Research***, 48: 9-26 (1990).

81. Yağcı, A., "Analitik Hiyerarsi Proses Yöntemi ve Tedarikçi Seçimi Probleminde Bir Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, ***Ankara Üniversitesi İşletme Anabilim Dalı***, Ankara, 40-58 (2002).

82. Yılmaz, N., "Analitik Hiyerarsi Yaklaşımı", Yüksek Lisans Tezi, ***Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul, 15 (2000).

83. Ayyıldız, G., "CIM Yatırımlarının Bulanık AHP Yöntemi ile değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul, 25-34 (2003).

84. Forman, E. H., "Ideal and distributed synthesis modes for the analytic hierarchy process", ***George Washington University Working Paper***, 21-34 (1993).

85. Kaplan, S., "Hava savunma sektörü tezgah yatırım projelerinin bulanık ahp ile değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi***, Ankara, 26-58 (2007).

86. Şen, Z., "Bulanık mantık ve modelleme ilkeleri", 3. Baskı, ***Bilge Yayınevi***, İstanbul, 7-28 (2001).

87. Türkbey, O., "Çok amaçlı makine sıralama problemi için bir bulanık güçlü metod", ***DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi,*** 5 (3) : 81-98 (2003).

88. İnternet : Dokuz Eylül Üniversitesi, "Bulanık Mantık" www.deu.edu.tr/userweb/k.yaralioglu/dosyalar/bul_man.doc (2010).

89. Terano, T., "Fuzzy Systems Theory and Its Applications", 3rd Edition**, Academic Press,** Boston, 55 (1992).

90. Kahraman, C., Gülbay, G., Kabak, Ö., "Applications of fuzzy sets in industiral engineering: a topical classification", ***StudFuzz***, 201, 1-55 (2006).

91. Chang, C.H., "Evaluating Weapon Systems Using Ranking Fuzzy Numbers", ***Fuzzy Sets And Systems,*** 107: 25-35 (1999).

92. Liou, T.S., Wang, M.J., "Ranking fuzzy numbers with integral value", ***Fuzzy Sets and Systems***, 50: 247-255 (1992).

93. Kwong, C.K., Bai, H., "Determining the Importance Weights Fort he Customer Requirements in QFD Using a Fuzzy AHP With an Extent Analysis Approach", Department of Industrial and Systems Engineering, ***The Hong Kong Polytechnic University,*** 35: 619-626 (2003).

94. Deng, H., "Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparison", ***International Journal of Approximate Reasoning***, 21(3): 215-231 (1999).

95. İnternet : Afyon Kocatepe Üniversitesi "Kruskal Wallis H testi" http://www2.aku.edu.tr/~gocak/Arastirmayontem/sosyal2007/osmankruskal.pdf (2011).

96. Kruskal, W., Wallis, W.A., "Use of rank in one-criterion variance analysis", ***Journal of American Statistical Association***, 47 (260): 583-621 (1952).

97. Özgüven, C., "Doğrusal Programlama ve Uzantıları", ***Detay Yayıncılık***, 193-258 (2003).

EKLER

EK-1. Personel 1-5 için Yapılan Değerlendirmeler

Birinci personel için yapılan değerlendirme:

Kriterler	Alt Kriterler	Şef Mühendis				Mühendis				Şef teknisyen				Geometrik ortalama			Global Ağırlık	Ağırlık			Toplam Entegral Değer
		Oran	Puan(l,m,u)			Oran	Puan(l,m,u)			Oran	Puan(l,m,u)			l	m	u		l	m	u	
Kişisel Özellikler (KÖ)	KÖ1	O2	5	6	7	O1	4	5	6	O1	4	5	6	4,31	5,31	6,32	0,0324	0,14	0,17	0,20	5,31
	KÖ2	O1	4	5	6	O1	4	5	6	O1	4	5	6	4,00	5,00	6,00	0,0099	0,04	0,05	0,06	5,00
	KÖ3	O1	4	5	6	O2	5	6	7	ÇD1	1	1	1	2,71	3,11	3,48	0,0126	0,03	0,04	0,04	3,10
	KÖ4	O2	5	6	7	O2	5	6	7	O1	4	5	6	4,64	5,65	6,65	0,0063	0,03	0,04	0,04	5,65
	KÖ5	O1	4	5	6	ÇD2	1	2	3	O2	5	6	7	2,71	3,91	5,01	0,0288	0,08	0,11	0,14	3,89
Deneyim (D)	GD			0,5										0,50	0,50	0,50	0,0051	0,00	0,00	0,00	0,50
	ŞD			1,5										1,50	1,50	1,50	0,0249	0,04	0,04	0,04	1,50
Yetkinlik (Y)	Y1			5										5,00	5,00	5,00	0,0325	0,16	0,16	0,16	5,00
	Y2	İ1	6	7	8	O2	5	6	7	İ1	6	7	8	5,65	6,65	7,65	0,0585	0,33	0,39	0,45	6,65
	Y3	O1	4	5	6	D1	2	3	4	O1	4	5	6	3,17	4,22	5,24	0,0143	0,05	0,06	0,07	4,21
	Y4	İ1	6	7	8	O2	5	6	7	İ1	6	7	8	5,65	6,65	7,65	0,0247	0,14	0,16	0,19	6,65
İşe Uyum (İU)	İU1	O2	5	6	7	İ1	6	7	8	O2	5	6	7	5,31	6,32	7,32	0,0192	0,10	0,12	0,14	6,32
	İU2	İ2	7	8	9	İ1	6	7	8	İ1	6	7	8	6,32	7,32	8,32	0,0078	0,05	0,06	0,06	7,32
	İU3	O2	5	6	7	O1	4	5	6	O2	5	6	7	4,64	5,65	6,65	0,0042	0,02	0,02	0,03	5,65
	İU4	D2	3	4	5	D2	3	4	5	O1	4	5	6	3,30	4,31	5,31	0,0288	0,10	0,12	0,15	4,31
Montaj Kabiliyeti (MK)	MK1	D1	2	3	4	ÇD2	1	2	3	D1	2	3	4	1,59	2,62	3,63	0,115	0,18	0,30	0,42	2,62
	MK2	ÇD2	1	2	3	D1	2	3	4	ÇD2	1	2	3	1,26	2,29	3,30	0,0575	0,07	0,13	0,19	2,29
	MK3	İ1	6	7	8	İ2	7	8	9	İ1	6	7	8	6,32	7,32	8,32	0,0575	0,36	0,42	0,48	7,32
Test Kabiliyeti (TK)	TK1	ÇD2	1	2	3	D1	2	3	4	D1	2	3	4	1,59	2,62	3,63	0,096	0,15	0,25	0,35	2,62
	TK2	ÇD2	1	2	3	D1	2	3	4	ÇD2	1	2	3	1,26	2,29	3,30	0,024	0,03	0,05	0,08	2,29
	TK3	O2	5	6	7	O1	4	5	6	O2	5	6	7	4,64	5,65	6,65	0,027	0,13	0,15	0,18	5,65
	TK4	D1	2	3	4	D2	3	4	5	D1	2	3	4	2,29	3,30	4,31	0,051	0,12	0,17	0,22	3,30
	TK5	ÇD1	1	1	1	D1	2	3	4	ÇD1	1	1	1	1,26	1,44	1,59	0,078	0,10	0,11	0,12	1,43
	TK6	O2	5	6	7	O1	4	5	6	O2	5	6	7	4,64	5,65	6,65	0,027	0,13	0,15	0,18	5,65
Kontrol Kabiliyeti (KK)	KK1	D1	2	3	4	D1	2	3	4	D1	2	3	4	2,00	3,00	4,00	0,08	0,16	0,24	0,32	3,00
	KK2	ÇD2	1	2	3	ÇD1	1	1	1	D1	2	3	4	1,26	1,82	2,29	0,04	0,05	0,07	0,09	1,80
	KK3	İ2	7	8	9	İ1	6	7	8	İ2	7	8	9	6,65	7,65	8,65	0,04	0,27	0,31	0,35	7,65
																	Toplam:	3,05	3,92	4,77	

1. personel için yapılan durulaştırma

α kesmesi	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
AS	3,13	3,22	3,31	3,39	3,48	3,57	3,66	3,74	3,83
ÜS	4,68	4,60	4,51	4,43	4,34	4,26	4,17	4,09	4,00
W_{1A}	3,60								
$W_{1Ü}$	4,23								

EK-1. (Devam) Personel 1-5 için Yapılan Değerlendirmeler

İkinci personel için yapılan değerlendirme:

Kriterler	Alt Kriterler	Şef Mühendis				Mühendis				Şef teknisyen				Geometrik ortalama			Global Ağırlık	Ağırlık			Toplam entegral değer
		Oran	Puan(l,m,u)			Oran	Puan(l,m,u)			Oran	Puan(l,m,u)			l	m	u		l	m	u	
Kişisel Özellikler (KÖ)	KÖ1	İ2	7	8	9	İ2	7	8	9	İ1	6	7	8	6,65	7,65	8,65	0,0324	0,22	0,25	0,28	7,65
	KÖ2	Çİ	8	9	9	Çİ	8	9	9	Çİ	8	9	9	8,00	9,00	9,00	0,0099	0,08	0,09	0,09	8,75
	KÖ3	İ2	7	8	9	İ1	6	7	8	İ1	6	7	8	6,32	7,32	8,32	0,0126	0,08	0,09	0,10	7,32
	KÖ4	İ2	7	8	9	İ2	7	8	9	İ2	7	8	9	7,00	8,00	9,00	0,0063	0,04	0,05	0,06	8,00
	KÖ5	İ2	7	8	9	Çİ	8	9	9	Çİ	8	9	9	7,65	8,65	9,00	0,0288	0,22	0,25	0,26	8,49
Deneyim (D)	GD			4,4										4,40	4,40	4,40	0,0051	0,02	0,02	0,02	4,40
	ŞD			3,3										3,30	3,30	3,30	0,0249	0,08	0,08	0,08	3,30
Yetkinlik (Y)	Y1			7										7,00	7,00	7,00	0,0325	0,23	0,23	0,23	7,00
	Y2	Çİ	8	9	9	İ2	7	8	9	İ2	7	8	9	7,32	8,32	9,00	0,0585	0,43	0,49	0,53	8,24
	Y3	İ1	6	7	8	İ1	6	7	8	İ2	7	8	9	6,32	7,32	8,32	0,0143	0,09	0,10	0,12	7,32
	Y4	Çİ	8	9	9	İ2	7	8	9	İ2	7	8	9	7,32	8,32	9,00	0,0247	0,18	0,21	0,22	8,24
İşe Uyum (İU)	İU1	İ2	7	8	9	İ2	7	8	9	İ1	6	7	8	6,65	7,65	8,65	0,0192	0,13	0,15	0,17	7,65
	İU2	O2	5	6	7	İ1	6	7	8	O2	5	6	7	5,31	6,32	7,32	0,0078	0,04	0,05	0,06	6,32
	İU3	O1	4	5	6	O1	4	5	6	O2	5	6	7	4,31	5,31	6,32	0,0042	0,02	0,02	0,03	5,31
	İU4	İ1	6	7	8	İ2	7	8	9	İ2	7	8	9	6,65	7,65	8,65	0,0288	0,19	0,22	0,25	7,65
Montaj Kabiliyeti (MK)	MK1	O1	4	5	6	O1	4	5	6	D2	3	4	5	3,63	4,64	5,65	0,115	0,42	0,53	0,65	4,64
	MK2	Çİ	8	9	9	İ1	6	7	8	İ2	7	8	9	6,95	7,96	8,65	0,0575	0,40	0,46	0,50	7,88
	MK3	İ2	7	8	9	İ2	7	8	9	İ1	6	7	8	6,65	7,65	8,65	0,0575	0,38	0,44	0,50	7,65
Test Kabiliyeti (TK)	TK1	O2	5	6	7	O1	4	5	6	O2	5	6	7	4,64	5,65	6,65	0,096	0,45	0,54	0,64	5,65
	TK2	İ2	7	8	9	Çİ	8	9	9	Çİ	8	9	9	7,65	8,65	9,00	0,024	0,18	0,21	0,22	8,49
	TK3	O2	5	6	7	O1	4	5	6	D2	3	4	5	3,91	4,93	5,94	0,027	0,11	0,13	0,16	4,93
	TK4	İ1	6	7	8	O2	5	6	7	O2	5	6	7	5,31	6,32	7,32	0,051	0,27	0,32	0,37	6,32
	TK5	İ1	6	7	8	O2	5	6	7	O2	5	6	7	5,31	6,32	7,32	0,078	0,41	0,49	0,57	6,32
	TK6	O1	4	5	6	O1	4	5	6	D1	2	3	4	3,17	4,22	5,24	0,027	0,09	0,11	0,14	4,21
Kontrol Kabiliyeti (KK)	KK1	O2	5	6	7	O1	4	5	6	D2	3	4	5	3,91	4,93	5,94	0,08	0,31	0,39	0,48	4,93
	KK2	İ2	7	8	9	Ç1	8	9	9	İ2	7	8	9	7,32	8,32	9,00	0,04	0,29	0,33	0,36	8,24
	KK3	İ1	6	7	8	İ2	7	8	9	İ2	7	8	9	6,65	7,65	8,65	0,04	0,27	0,31	0,35	7,65
																	Toplam:	5,63	6,57	7,42	

2. personel için yapılan durulaştırma

α kesmesi	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
AS	5,72	5,82	5,91	6,01	6,10	6,19	6,29	6,38	6,48
ÜS	7,33	7,25	7,16	7,08	6,99	6,91	6,83	6,74	6,66
W_{2A}	6,23								
$W_{2Ü}$	6,88								

EK-1. (Devam) Personel 1-5 için Yapılan Değerlendirmeler

Üçüncü personel için yapılan değerlendirme:

Kriterler	Alt Kriterler	Şef Mühendis				Mühendis				Şef teknisyen				Geometrik ortalama			Global Ağırlık	Ağırlık			Toplam entegral değer
		Oran	Puan(l,m,u)			Oran	Puan(l,m,u)			Oran	Puan(l,m,u)			l	m	u		l	m	u	
Kişisel Özellikler (KÖ)	KÖ1	O2	5	6	7	O2	5	6	7	O2	5	6	7	5,00	6,00	7,00	0,0324	0,16	0,19	0,23	6,00
	KÖ2	İ2	7	8	9	Çİ	8	9	9	İ1	6	7	8	6,95	7,96	8,65	0,0099	0,07	0,08	0,09	7,88
	KÖ3	O2	5	6	7	O1	4	5	6	O1	4	5	6	4,31	5,31	6,32	0,0126	0,05	0,07	0,08	5,31
	KÖ4	İ1	6	7	8	O1	4	5	6	D2	3	4	5	4,16	5,19	6,21	0,0063	0,03	0,03	0,04	5,19
	KÖ5	İ1	6	7	8	O2	5	6	7	O1	4	5	6	4,93	5,94	6,95	0,0288	0,14	0,17	0,20	5,94
Deneyim (D)	GD			1										1,00	1,00	1,00	0,0051	0,01	0,01	0,01	1,00
	ŞD			1,3										1,30	1,30	1,30	0,0249	0,03	0,03	0,03	1,30
Yetkinlik (Y)	Y1			7										7,00	7,00	7,00	0,0325	0,23	0,23	0,23	7,00
	Y2	O2	5	6	7	O1	4	5	6	O1	4	5	6	4,31	5,31	6,32	0,0585	0,25	0,31	0,37	5,31
	Y3	O2	5	6	7	O2	5	6	7	O1	4	5	6	4,64	5,65	6,65	0,0143	0,07	0,08	0,10	5,65
	Y4	O2	5	6	7	O1	4	5	6	O1	4	5	6	4,31	5,31	6,32	0,0247	0,11	0,13	0,16	5,31
İşe Uyum (İU)	İU1	İ1	6	7	8	İ1	6	7	8	O2	5	6	7	5,65	6,65	7,65	0,0192	0,11	0,13	0,15	6,65
	İU2	D2	3	4	5	D2	3	4	5	D1	2	3	4	2,62	3,63	4,64	0,0078	0,02	0,03	0,04	3,63
	İU3	O1	8	9	9	O2	5	6	7	O1	4	5	6	5,43	6,46	7,23	0,0042	0,02	0,03	0,03	6,40
	İU4	O2	5	6	7	İ1	6	7	8	O2	5	6	7	5,31	6,32	7,32	0,0288	0,15	0,18	0,21	6,32
Montaj Kabiliyeti (MK)	MK1	ÇD1	1	1	1	ÇD2	1	2	3	ÇD1	1	1	1	1,00	1,26	1,44	0,115	0,12	0,14	0,17	1,24
	MK2	İ1	6	7	8	İ1	6	7	8	İ1	6	7	8	6,00	7,00	8,00	0,0575	0,35	0,40	0,46	7,00
	MK3	ÇD1	1	1	1	ÇD1	1	1	1	ÇD2	1	2	3	1,00	1,26	1,44	0,0575	0,06	0,07	0,08	1,24
Test Kabiliyeti (TK)	TK1	D1	2	3	4	ÇD2	1	2	3	D1	2	3	4	1,59	2,62	3,63	0,096	0,15	0,25	0,35	2,62
	TK2	O1	4	5	6	O1	4	5	6	O1	4	5	6	4,00	5,00	6,00	0,024	0,10	0,12	0,14	5,00
	TK3	D1	2	3	4	ÇD2	1	2	3	D1	2	3	4	1,59	2,62	3,63	0,027	0,04	0,07	0,10	2,62
	TK4	ÇD1	1	1	1	ÇD2	1	2	3	ÇD1	1	1	1	1,00	1,26	1,44	0,051	0,05	0,06	0,07	1,24
	TK5	D1	2	3	4	D1	2	3	4	D1	2	3	4	2,00	3,00	4,00	0,078	0,16	0,23	0,31	3,00
	TK6	ÇD2	1	2	3	ÇD2	1	2	3	ÇD2	1	2	3	1,00	2,00	3,00	0,027	0,03	0,05	0,08	2,00
Kontrol Kabiliyeti (KK)	KK1	D2	3	4	5	D2	3	4	5	D1	2	3	4	2,62	3,63	4,64	0,08	0,21	0,29	0,37	3,63
	KK2	Çİ	8	9	9	İ1	6	7	8	İ1	6	7	8	6,60	7,61	8,32	0,04	0,26	0,30	0,33	7,54
	KK3	ÇD1	1	1	1	ÇD2	1	2	3	ÇD1	1	1	1	1,00	1,26	1,44	0,04	0,04	0,05	0,06	1,24
																	Toplam	3,00	3,76	4,47	

3. personel için yapılan durulaştırma

α kesmesi	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
AS	3,08	3,15	3,23	3,31	3,38	3,46	3,53	3,61	3,68
ÜS	4,40	4,33	4,26	4,18	4,11	4,04	3,97	3,90	3,83
W_{3A}	3,48								
$W_{3Ü}$	4,02								

EK-1. (Devam) Personel 1-5 için Yapılan Değerlendirmeler

Dördüncü personel için yapılan değerlendirme:

Kriterler	Alt Kriterler	Şef Mühendis				Mühendis				Şef teknisyen				Geometrik ortalama			Global	Ağırlık			Toplam entegral
		Oran	Puan(l,m,u)			Oran	Puan(l,m,u)			Oran	Puan(l,m,u)			l	m	u	Ağırlık	l	m	u	değer
Kişisel Özellikler (KÖ)	KÖ1	İ1	6	7	8	O2	5	6	7	O1	4	5	6	4,93	5,94	6,95	0,0324	0,16	0,19	0,23	5,94
	KÖ2	İ1	6	7	8	O2	5	6	7	O1	4	5	6	4,93	5,94	6,95	0,0099	0,05	0,06	0,07	5,94
	KÖ3	O1	4	5	6	O1	4	5	6	D2	3	4	5	3,63	4,64	5,65	0,0126	0,05	0,06	0,07	4,64
	KÖ4	O2	5	6	7	O1	4	5	6	D2	3	4	5	3,91	4,93	5,94	0,0063	0,02	0,03	0,04	4,93
	KÖ5	O2	5	6	7	O1	4	5	6	O2	5	6	7	4,64	5,65	6,65	0,0288	0,13	0,16	0,19	5,65
Deneyim (D)	GD			1,5										1,50	1,50	1,50	0,0051	0,01	0,01	0,01	1,50
	ŞD			1										1,00	1,00	1,00	0,0249	0,02	0,02	0,02	1,00
Yetkinlik (Y)	Y1			5										5,00	5,00	5,00	0,0325	0,16	0,16	0,16	5,00
	Y2	D2	3	4	5	O1	4	5	6	O1	4	5	6	3,63	4,64	5,65	0,0585	0,21	0,27	0,33	4,64
	Y3	O2	5	6	7	D2	3	4	5	D2	3	4	5	3,56	4,58	5,59	0,0143	0,05	0,07	0,08	4,58
	Y4	O1	4	5	6	O2	5	6	7	O1	4	5	6	4,31	5,31	6,32	0,0247	0,11	0,13	0,16	5,31
İşe Uyum (İU)	İU1	İ1	6	7	8	İ1	6	7	8	İ1	6	7	8	6,00	7,00	8,00	0,0192	0,12	0,13	0,15	7,00
	İU2	O2	5	6	7	O1	4	5	6	O1	4	5	6	4,31	5,31	6,32	0,0078	0,03	0,04	0,05	5,31
	İU3	İ1	6	7	8	O2	5	6	7	O2	5	6	7	5,31	6,32	7,32	0,0042	0,02	0,03	0,03	6,32
	İU4	O2	5	6	7	O1	4	5	6	D2	3	4	5	3,91	4,93	5,94	0,0288	0,11	0,14	0,17	4,93
Montaj Kabiliyeti (MK)	MK1	İ2	7	8	9	İ1	6	7	8	İ1	6	7	8	6,32	7,32	8,32	0,115	0,73	0,84	0,96	7,32
	MK2	D2	3	4	5	D1	2	3	4	ÇD2	1	2	3	1,82	2,88	3,91	0,0575	0,10	0,17	0,23	2,88
	MK3	D2	3	4	5	D2	3	4	5	D1	2	3	4	2,62	3,63	4,64	0,0575	0,15	0,21	0,27	3,63
Test Kabiliyeti (TK)	TK1	O1	4	5	6	O1	4	5	6	D2	3	4	5	3,63	4,64	5,65	0,096	0,35	0,45	0,54	4,64
	TK2	ÇD1	1	1	1	ÇD1	1	1	1	ÇD1	1	1	1	1,00	1,00	1,00	0,024	0,02	0,02	0,02	1,00
	TK3	ÇD1	1	1	1	ÇD1	1	1	1	ÇD2	1	2	3	1,00	1,26	1,44	0,027	0,03	0,03	0,04	1,24
	TK4	ÇD2	1	2	3	D1	2	3	4	D2	3	4	5	1,82	2,88	3,91	0,051	0,09	0,15	0,20	2,88
	TK5	D1	2	3	4	D1	2	3	4	D1	2	3	4	2,00	3,00	4,00	0,078	0,16	0,23	0,31	3,00
	TK6	ÇD1	1	1	1	ÇD2	1	2	3	ÇD1	1	1	1	1,00	1,26	1,44	0,027	0,03	0,03	0,04	1,24
Kontrol Kabiliyeti (KK)	KK1	İ1	6	7	8	İ1	6	7	8	O1	4	5	6	5,24	6,26	7,27	0,08	0,42	0,50	0,58	6,26
	KK2	D2	3	4	5	ÇD1	1	1	1	D2	3	4	5	2,08	2,52	2,92	0,04	0,08	0,10	0,12	2,51
	KK3	ÇD1	1	1	1	ÇD2	1	2	3	ÇD1	1	1	1	1,00	1,26	1,44	0,04	0,04	0,05	0,06	1,24
																	Toplam	3,46	4,30	5,12	

4.personel için yapılan durulaştırma

α kesmesi	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
AS	3,54	3,63	3,71	3,80	3,88	3,96	4,05	4,13	4,21
ÜS	5,04	4,96	4,87	4,79	4,71	4,63	4,55	4,46	4,38
W_{4A}	3,99								
$W_{4Ü}$	4,60								

EK-1. (Devam) Personel 1-5 için Yapılan Değerlendirmeler

Beşinci personel için yapılan değerlendirme:

Kriterler	Alt Kriterler	Şef Mühendis				Mühendis				Şef teknisyen				Geometrik ortalama			Global	Ağırlık			Toplam entegral
		Oran	Puan(l,m,u)			Oran	Puan(l,m,u)			Oran	Puan(l,m,u)			l	m	u	Ağırlık	l	m	u	değer
Kişisel Özellikler (KÖ)	KÖ1	İ1	6	7	8	İ1	6	7	8	O1	4	5	6	5,24	6,26	7,27	0,0324	0,17	0,20	0,24	6,26
	KÖ2	O1	4	5	6	O1	4	5	6	O1	4	5	6	4,00	5,00	6,00	0,0099	0,04	0,05	0,06	5,00
	KÖ3	O2	5	6	7	O1	4	5	6	O2	5	6	7	4,64	5,65	6,65	0,0126	0,06	0,07	0,08	5,65
	KÖ4	O1	4	5	6	O2	5	6	7	İ1	6	7	8	4,93	5,94	6,95	0,0063	0,03	0,04	0,04	5,94
	KÖ5	D2	3	4	5	D1	2	3	4	D1	2	3	4	2,29	3,30	4,31	0,0288	0,07	0,10	0,12	3,30
Deneyim (D)	GD			1,2										1,20	1,20	1,20	0,0051	0,01	0,01	0,01	1,20
	ŞD			3,3										3,30	3,30	3,30	0,0249	0,08	0,08	0,08	3,30
Yetkinlik (Y)	Y1			3										3,00	3,00	3,00	0,0325	0,10	0,10	0,10	3,00
	Y2	O1	4	5	6	O1	4	5	6	D2	3	4	5	3,63	4,64	5,65	0,0585	0,21	0,27	0,33	4,64
	Y3	D2	3	4	5	O1	4	5	6	O1	4	5	6	3,63	4,64	5,65	0,0143	0,05	0,07	0,08	4,64
	Y4	D1	2	3	4	D2	3	4	5	D1	2	3	4	2,29	3,30	4,31	0,0247	0,06	0,08	0,11	3,30
İşe Uyum (İU)	İU1	D1	2	3	4	D2	3	4	5	D1	2	3	4	2,29	3,30	4,31	0,0192	0,04	0,06	0,08	3,30
	İU2	O1	4	5	6	O2	5	6	7	O1	4	5	6	4,31	5,31	6,32	0,0078	0,03	0,04	0,05	5,31
	İU3	O2	5	6	7	O2	5	6	7	O2	5	6	7	5,00	6,00	7,00	0,0042	0,02	0,03	0,03	6,00
	İU4	İ1	6	7	8	O2	5	6	7	O1	4	5	6	4,93	5,94	6,95	0,0288	0,14	0,17	0,20	5,94
Montaj Kabiliyeti (MK)	MK1	O2	5	6	7	O2	5	6	7	O2	5	6	7	5,00	6,00	7,00	0,115	0,58	0,69	0,81	6,00
	MK2	D1	2	3	4	D2	3	4	5	D1	2	3	4	2,29	3,30	4,31	0,0575	0,13	0,19	0,25	3,30
	MK3	O2	5	6	7	O2	5	6	7	O2	5	6	7	5,00	6,00	7,00	0,0575	0,29	0,35	0,40	6,00
Test Kabiliyeti (TK)	TK1	D2	3	4	5	D2	3	4	5	D1	2	3	4	2,62	3,63	4,64	0,096	0,25	0,35	0,45	3,63
	TK2	ÇD2	1	2	3	D1	2	3	4	ÇD2	1	2	3	1,26	2,29	3,30	0,024	0,03	0,05	0,08	2,29
	TK3	D2	3	4	5	D2	3	4	5	D1	2	3	4	2,62	3,63	4,64	0,027	0,07	0,10	0,13	3,63
	TK4	D1	2	3	4	ÇD1	1	1	1	ÇD2	1	2	3	1,26	1,82	2,29	0,051	0,06	0,09	0,12	1,80
	TK5	ÇD2	1	2	3	ÇD2	1	2	3	ÇD2	1	2	3	1,00	2,00	3,00	0,078	0,08	0,16	0,23	2,00
	TK6	D2	3	4	5	D2	3	4	5	D1	2	3	4	2,62	3,63	4,64	0,027	0,07	0,10	0,13	3,63
Kontrol Kabiliyeti (KK)	KK1	İ1	6	7	8	İ1	6	7	8	İ1	6	7	8	6,00	7,00	8,00	0,08	0,48	0,56	0,64	7,00
	KK2	D2	3	4	5	ÇD2	1	2	3	D1	2	3	4	1,82	2,88	3,91	0,04	0,07	0,12	0,16	2,88
	KK3	O2	5	6	7	O2	5	6	7	O2	5	6	7	5,00	6,00	7,00	0,04	0,20	0,24	0,28	6,00
																	Toplam	3,42	4,35	5,27	

5. personel için yapılan durulaştırma

α kesmesi	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
AS	3,52	3,61	3,70	3,80	3,89	3,98	4,07	4,17	4,26
ÜS	5,18	5,09	4,99	4,90	4,81	4,72	4,63	4,54	4,44
W_{5A}	4,01								
$W_{5Ü}$	4,69								

EK-2. Modelin GAMS Dilinde Kodlanması

```
sets
i /1*6/
k /1*6/
j /1*4/
l /1*8/;

scalar H /165/;

table P(i,j)
        1           2           3           4
1       5.20        4.80        4.00        1.00
2       2.40        2.00        1.80        0.6
3       4.80        4.00        3.80        1.00
4       10.50       9.80        9.00        2.00
5       2.80        4.30        2.50        0.50
6       32.00       42.50       30.50       5.00 ;

table c(j,k)
       1       2       3       4       5       6
1      1       1       1       1       0       1
2      0       0       1       0       1       1
3      0       0       0       1       1       1
4      0       1       1       1       0       1 ;

parameter  T(j)
/
1   4
2   3
3   3
4   1
/;
```

EK-2. (Devam) Modelin GAMS Dilinde Kodlanması

```
parameter  D(k)
/
1   8
2   11
3   9
4   8
5   11
6   7
/;

parameter q(i)
/
1   40
2   200
3   30
4   25
5   120
6   15 /;

binary variable y(i,l);
variables deger, r(i,l), u(i,l);
integer variables x(j,k,l),b(k);

equations

amac
kst1
kst2
kst3
kst4
kst5
```

EK-2. (Devam) Modelin GAMS Dilinde Kodlanması

```
kst6
kst9
kst10
kst11
kst12
kst13
kst14 ;

amac..deger=e=sum((k,j), (c(j,k)*b(k)));
kst1(k).. b(k)- sum((j,l), x(j,k,l))=e=0;
kst2(j,l)..sum(k, x(j,k,l))- T(j)=l=0;
kst3(k)..sum((j,l), x(j,k,l))- D(k)=l=0;
kst4(i,j,l)..sum(k, (x(j,k,l)*c(j,k)))- r(i,l)*P(i,j)=g= 0;
kst5(i)..sum(l, u(i,l)*H)- q(i)=g=0;
kst6(l)..sum(i,y(i,l))-1=l=0;
kst9(i,l)..y(i,l)=l=1;
kst10(i,l)..r(i,l)=g=0;
kst11(j,k,l)..x(j,k,l)=g=0;
kst12(i,l)..u(i,l)-r(i,l)=l=0;
kst13(i,l)..u(i,l)-10000*y(i,l)=l=0;
kst14(i,l)..u(i,l)-10000*(y(i,l)-1)-r(i,l)=g=0;

Model ap assignment problem / all /;
Solve ap minimizing deger using mip;
```

EK-3. Modelin Açık Yazımı

---- amac =E=

amac.. deger - b(1) - 2*b(2) - 3*b(3) - 3*b(4) - 2*b(5) - 4*b(6) =E= 0 ;
(LHS = 0)

---- kst1 =E=

kst1(1).. - x(1,1,1) - x(1,1,2) - x(1,1,3) - x(1,1,4) - x(1,1,5) - x(1,1,6)
- x(1,1,7) - x(1,1,8) - x(2,1,1) - x(2,1,2) - x(2,1,3) - x(2,1,4)
- x(2,1,5) - x(2,1,6) - x(2,1,7) - x(2,1,8) - x(3,1,1) - x(3,1,2)
- x(3,1,3) - x(3,1,4) - x(3,1,5) - x(3,1,6) - x(3,1,7) - x(3,1,8)
- x(4,1,1) - x(4,1,2) - x(4,1,3) - x(4,1,4) - x(4,1,5) - x(4,1,6)
- x(4,1,7) - x(4,1,8) + b(1) =E= 0 ; (LHS = 0)

kst1(2).. - x(1,2,1) - x(1,2,2) - x(1,2,3) - x(1,2,4) - x(1,2,5) - x(1,2,6)
- x(1,2,7) - x(1,2,8) - x(2,2,1) - x(2,2,2) - x(2,2,3) - x(2,2,4)
- x(2,2,5) - x(2,2,6) - x(2,2,7) - x(2,2,8) - x(3,2,1) - x(3,2,2)
- x(3,2,3) - x(3,2,4) - x(3,2,5) - x(3,2,6) - x(3,2,7) - x(3,2,8)
- x(4,2,1) - x(4,2,2) - x(4,2,3) - x(4,2,4) - x(4,2,5) - x(4,2,6)
- x(4,2,7) - x(4,2,8) + b(2) =E= 0 ; (LHS = 0)

kst1(3).. - x(1,3,1) - x(1,3,2) - x(1,3,3) - x(1,3,4) - x(1,3,5) - x(1,3,6)
- x(1,3,7) - x(1,3,8) - x(2,3,1) - x(2,3,2) - x(2,3,3) - x(2,3,4)
- x(2,3,5) - x(2,3,6) - x(2,3,7) - x(2,3,8) - x(3,3,1) - x(3,3,2)
- x(3,3,3) - x(3,3,4) - x(3,3,5) - x(3,3,6) - x(3,3,7) - x(3,3,8)
- x(4,3,1) - x(4,3,2) - x(4,3,3) - x(4,3,4) - x(4,3,5) - x(4,3,6)
- x(4,3,7) - x(4,3,8) + b(3) =E= 0 ; (LHS = 0)

REMAINING 3 ENTRIES SKIPPE

EK-3. (Devam) Modelin Açık Yazımı

---- kst2 =L=

kst2(1,1).. x(1,1,1) + x(1,2,1) + x(1,3,1) + x(1,4,1) + x(1,5,1) + x(1,6,1)
=L= 4 ; (LHS = 0)

kst2(1,2).. x(1,1,2) + x(1,2,2) + x(1,3,2) + x(1,4,2) + x(1,5,2) + x(1,6,2)
=L= 4 ; (LHS = 0)

kst2(1,3).. x(1,1,3) + x(1,2,3) + x(1,3,3) + x(1,4,3) + x(1,5,3) + x(1,6,3)
=L= 4 ; (LHS = 0)

REMAINING 29 ENTRIES SKIPPED

---- kst3 =L=

kst3(1).. x(1,1,1) + x(1,1,2) + x(1,1,3) + x(1,1,4) + x(1,1,5) + x(1,1,6)
+ x(1,1,7) + x(1,1,8) + x(2,1,1) + x(2,1,2) + x(2,1,3) + x(2,1,4)
+ x(2,1,5) + x(2,1,6) + x(2,1,7) + x(2,1,8) + x(3,1,1) + x(3,1,2)
+ x(3,1,3) + x(3,1,4) + x(3,1,5) + x(3,1,6) + x(3,1,7) + x(3,1,8)
+ x(4,1,1) + x(4,1,2) + x(4,1,3) + x(4,1,4) + x(4,1,5) + x(4,1,6)
+ x(4,1,7) + x(4,1,8) =L= 8 ; (LHS = 0)

kst3(2).. x(1,2,1) + x(1,2,2) + x(1,2,3) + x(1,2,4) + x(1,2,5) + x(1,2,6)
+ x(1,2,7) + x(1,2,8) + x(2,2,1) + x(2,2,2) + x(2,2,3) + x(2,2,4)
+ x(2,2,5) + x(2,2,6) + x(2,2,7) + x(2,2,8) + x(3,2,1) + x(3,2,2)
+ x(3,2,3) + x(3,2,4) + x(3,2,5) + x(3,2,6) + x(3,2,7) + x(3,2,8)
+ x(4,2,1) + x(4,2,2) + x(4,2,3) + x(4,2,4) + x(4,2,5) + x(4,2,6)
+ x(4,2,7) + x(4,2,8) =L= 11 ; (LHS = 0)

kst3(3).. x(1,3,1) + x(1,3,2) + x(1,3,3) + x(1,3,4) + x(1,3,5) + x(1,3,6)
+ x(1,3,7) + x(1,3,8) + x(2,3,1) + x(2,3,2) + x(2,3,3) + x(2,3,4)

EK-3. (Devam) Modelin Açık Yazımı

```
    + x(2,3,5) + x(2,3,6) + x(2,3,7) + x(2,3,8) + x(3,3,1) + x(3,3,2)
     + x(3,3,3) + x(3,3,4) + x(3,3,5) + x(3,3,6) + x(3,3,7) + x(3,3,8)
     + x(4,3,1) + x(4,3,2) + x(4,3,3) + x(4,3,4) + x(4,3,5) + x(4,3,6)
     + x(4,3,7) + x(4,3,8) =L= 9 ; (LHS = 0)

REMAINING 3 ENTRIES SKIPPED

---- kst4  =G=

kst4(1,1,1)..  - 5.2*r(1,1) + x(1,1,1) + x(1,2,1) + x(1,3,1) + x(1,4,1)
     + x(1,6,1) =G= 0 ; (LHS = 0)

kst4(1,1,2)..  - 5.2*r(1,2) + x(1,1,2) + x(1,2,2) + x(1,3,2) + x(1,4,2)
     + x(1,6,2) =G= 0 ; (LHS = 0)

kst4(1,1,3)..  - 5.2*r(1,3) + x(1,1,3) + x(1,2,3) + x(1,3,3) + x(1,4,3)
     + x(1,6,3) =G= 0 ; (LHS = 0)

REMAINING 189 ENTRIES SKIPPED

---- kst5  =G=

kst5(1)..  165*u(1,1) + 165*u(1,2) + 165*u(1,3) + 165*u(1,4) + 165*u(1,5)
     + 165*u(1,6) + 165*u(1,7) + 165*u(1,8) =G= 40 ; (LHS = 0, INFES = 40 ****)

kst5(2)..  165*u(2,1) + 165*u(2,2) + 165*u(2,3) + 165*u(2,4) + 165*u(2,5)
     + 165*u(2,6) + 165*u(2,7) + 165*u(2,8) =G= 200 ;
     (LHS = 0, INFES = 200 ****)

kst5(3)..  165*u(3,1) + 165*u(3,2) + 165*u(3,3) + 165*u(3,4) + 165*u(3,5)
     + 165*u(3,6) + 165*u(3,7) + 165*u(3,8) =G= 30 ; (LHS = 0, INFES = 30 ****)
```

EK-3. (Devam) Modelin Açık Yazımı

REMAINING 3 ENTRIES SKIPPED

---- kst6 =L=

kst6(1).. y(1,1) + y(2,1) + y(3,1) + y(4,1) + y(5,1) + y(6,1) =L= 1 ; (LHS = 0)

kst6(2).. y(1,2) + y(2,2) + y(3,2) + y(4,2) + y(5,2) + y(6,2) =L= 1 ; (LHS = 0)

kst6(3).. y(1,3) + y(2,3) + y(3,3) + y(4,3) + y(5,3) + y(6,3) =L= 1 ; (LHS = 0)

REMAINING 5 ENTRIES SKIPPED

---- kst9 =L=

kst9(1,1).. y(1,1) =L= 1 ; (LHS = 0)

kst9(1,2).. y(1,2) =L= 1 ; (LHS = 0)

kst9(1,3).. y(1,3) =L= 1 ; (LHS = 0)

REMAINING 45 ENTRIES SKIPPED

---- kst10 =G=

kst10(1,1).. r(1,1) =G= 0 ; (LHS = 0)

kst10(1,2).. r(1,2) =G= 0 ; (LHS = 0)

kst10(1,3).. r(1,3) =G= 0 ; (LHS = 0)

REMAINING 45 ENTRIES SKIPPED

EK-3. (Devam) Modelin Açık Yazımı

---- kst11 =G=

kst11(1,1,1).. x(1,1,1) =G= 0 ; (LHS = 0)

kst11(1,1,2).. x(1,1,2) =G= 0 ; (LHS = 0)

kst11(1,1,3).. x(1,1,3) =G= 0 ; (LHS = 0)

REMAINING 189 ENTRIES SKIPPED

---- kst12 =L=

kst12(1,1).. - r(1,1) + u(1,1) =L= 0 ; (LHS = 0)

kst12(1,2).. - r(1,2) + u(1,2) =L= 0 ; (LHS = 0)

kst12(1,3).. - r(1,3) + u(1,3) =L= 0 ; (LHS = 0)

REMAINING 45 ENTRIES SKIPPED

---- kst13 =L=

kst13(1,1).. - 10000*y(1,1) + u(1,1) =L= 0 ; (LHS = 0)

kst13(1,2).. - 10000*y(1,2) + u(1,2) =L= 0 ; (LHS = 0)

kst13(1,3).. - 10000*y(1,3) + u(1,3) =L= 0 ; (LHS = 0)

REMAINING 45 ENTRIES SKIPPED

EK-3. (Devam) Modelin Açık Yazımı

---- kst14 =G=

kst14(1,1).. - 10000*y(1,1) - r(1,1) + u(1,1) =G= -10000 ; (LHS = 0)

kst14(1,2).. - 10000*y(1,2) - r(1,2) + u(1,2) =G= -10000 ; (LHS = 0)

kst14(1,3).. - 10000*y(1,3) - r(1,3) + u(1,3) =G= -10000 ; (LHS = 0)

REMAINING 45 ENTRIES SKIPPED

EK-4. Modelin Çözümü

-- VAR y

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1.1	.	.	1.000	EPS
1.2	.	.	1.000	EPS
1.3	.	.	1.000	EPS
1.4	.	.	1.000	EPS
1.5	.	1.000	1.000	EPS
1.6	.	.	1.000	EPS
1.7	.	.	1.000	EPS
1.8	.	.	1.000	EPS
2.1	.	.	1.000	EPS
2.2	.	.	1.000	EPS
2.3	.	.	1.000	EPS
2.4	.	.	1.000	EPS
2.5	.	.	1.000	EPS
2.6	.	.	1.000	EPS
2.7	.	1.000	1.000	EPS
2.8	.	.	1.000	EPS
3.1	.	.	1.000	EPS
3.2	.	.	1.000	EPS
3.3	.	.	1.000	EPS
3.4	.	.	1.000	EPS
3.5	.	.	1.000	EPS
3.6	.	.	1.000	EPS
3.7	.	.	1.000	EPS
3.8	.	1.000	1.000	EPS
4.1	.	1.000	1.000	EPS
4.2	.	.	1.000	EPS
4.3	.	.	1.000	EPS
4.4	.	.	1.000	EPS
4.5	.	.	1.000	EPS
4.6	.	.	1.000	EPS
4.7	.	.	1.000	EPS
4.8	.	.	1.000	EPS
5.1	.	.	1.000	EPS
5.2	.	.	1.000	EPS
5.3	.	1.000	1.000	EPS
5.4	.	1.000	1.000	EPS
5.5	.	.	1.000	EPS
5.6	.	.	1.000	EPS
5.7	.	.	1.000	EPS
5.8	.	.	1.000	EPS
6.1	.	.	1.000	EPS
6.2	.	1.000	1.000	EPS
6.3	.	.	1.000	EPS

EK-4. (Devam) Modelin Çözümü

6.4	.	.	1.000	EPS
6.5	.	.	1.000	EPS
6.6	.	1.000	1.000	EPS
6.7	.	.	1.000	EPS
6.8	.	.	1.000	EPS

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR deger	-INF	119.000	+INF	.

---- VAR r

	WER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1.1	-INF	.	+INF	.
1.2	-INF	.	+INF	.
1.3	-INF	.	+INF	.
1.4	-INF	.	+INF	.
1.5	-INF	0.250	+INF	.
1.6	-INF	.	+INF	.
1.7	-INF	.	+INF	.
1.8	-INF	.	+INF	.
2.1	-INF	.	+INF	.
2.2	-INF	.	+INF	.
2.3	-INF	.	+INF	.
2.4	-INF	.	+INF	.
2.5	-INF	.	+INF	.
2.6	-INF	.	+INF	.
2.7	-INF	1.250	+INF	.
2.8	-INF	.	+INF	.
3.1	-INF	.	+INF	.
3.2	-INF	.	+INF	.
3.3	-INF	.	+INF	.
3.4	-INF	.	+INF	.
3.5	-INF	.	+INF	.
3.6	-INF	.	+INF	.
3.7	-INF	.	+INF	.
3.8	-INF	0.208	+INF	.
4.1	-INF	0.190	+INF	.
4.2	-INF	.	+INF	.
4.3	-INF	.	+INF	.
4.4	-INF	.	+INF	.
4.5	-INF	.	+INF	.
4.6	-INF	.	+INF	.
4.7	-INF	.	+INF	.

EK-4. (Devam) Modelin Çözümü

4.8	-INF	.	+INF	.
5.1	-INF	.	+INF	.
5.2	-INF	.	+INF	.
5.3	-INF	0.400	+INF	.
5.4	-INF	0.357	+INF	.
5.5	-INF	.	+INF	.
5.6	-INF	.	+INF	.
5.7	-INF	.	+INF	.
5.8	-INF	.	+INF	.
6.1	-INF	.	+INF	.
6.2	-INF	0.062	+INF	.
6.3	-INF	.	+INF	.
6.4	-INF	.	+INF	.
6.5	-INF	.	+INF	.
6.6	-INF	0.031	+INF	.
6.7	-INF	.	+INF	.
6.8	-INF	.	+INF	.

---- VAR u

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1.1	-INF	.	+INF	.
1.2	-INF	.	+INF	.
1.3	-INF	.	+INF	.
1.4	-INF	.	+INF	.
1.5	-INF	0.250	+INF	.
1.6	-INF	.	+INF	.
1.7	-INF	.	+INF	.
1.8	-INF	.	+INF	.
2.1	-INF	.	+INF	.
2.2	-INF	.	+INF	.
2.3	-INF	.	+INF	.
2.4	-INF	.	+INF	.
2.5	-INF	.	+INF	.
2.6	-INF	.	+INF	.
2.7	-INF	1.250	+INF	.
2.8	-INF	.	+INF	.
3.1	-INF	.	+INF	.
3.2	-INF	.	+INF	.
3.3	-INF	.	+INF	.
3.4	-INF	.	+INF	.
3.5	-INF	.	+INF	.
3.6	-INF	.	+INF	.
3.7	-INF	.	+INF	.

EK-4. (Devam) Modelin Çözümü

3.8	-INF	0.208	+INF	.
4.1	-INF	0.190	+INF	.
4.2	-INF	.	+INF	.
4.3	-INF	.	+INF	.
4.4	-INF	.	+INF	.
4.5	-INF	.	+INF	.
4.6	-INF	.	+INF	.
4.7	-INF	.	+INF	.
4.8	-INF	.	+INF	.
5.1	-INF	.	+INF	.
5.2	-INF	.	+INF	.
5.3	-INF	0.400	+INF	.
5.4	-INF	0.357	+INF	.
5.5	-INF	.	+INF	.
5.6	-INF	.	+INF	.
5.7	-INF	.	+INF	.
5.8	-INF	.	+INF	.
6.1	-INF	.	+INF	.
6.2	-INF	0.062	+INF	.
6.3	-INF	.	+INF	.
6.4	-INF	.	+INF	.
6.5	-INF	.	+INF	.
6.6	-INF	0.031	+INF	.
6.7	-INF	.	+INF	.
6.8	-INF	.	+INF	.

---- VAR x

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1.1.1	.	.	100.000	EPS
1.1.2	.	2.000	100.000	EPS
1.1.3	.	2.000	100.000	EPS
1.1.4	.	1.000	100.000	EPS
1.1.5	.	.	100.000	EPS
1.1.6	.	.	100.000	EPS
1.1.7	.	3.000	100.000	EPS
1.1.8	.	.	100.000	EPS
1.2.1	.	2.000	100.000	EPS
1.2.2	.		100.000	EPS
1.2.3	.	.	100.000	EPS
1.2.4	.	.	100.000	EPS
1.2.5	.	2.000	100.000	EPS
1.2.6	.	1.000	100.000	EPS
1.2.7	.	.	100.000	EPS

EK-4. (Devam) Modelin Çözümü

1.2.8	.	1.000	100.000	EPS
1.3.1	.	.	100.000	EPS
1.3.2	.	.	100.000	EPS
1.3.3	.	.	100.000	EPS
1.3.4	.	.	100.000	EPS
1.3.5	.	.	100.000	EPS
1.3.6	.	.	100.000	EPS
1.3.7	.	.	100.000	EPS
1.3.8	.	.	100.000	EPS
1.4.1	.	.	100.000	EPS
1.4.2	.	.	100.000	EPS
1.4.3	.	.	100.000	EPS
1.4.4	.	.	100.000	EPS
1.4.5	.	.	100.000	EPS
1.4.6	.	.	100.000	EPS
1.4.7	.	.	100.000	EPS
1.4.8	.	.	100.000	EPS
1.5.1	.	.	100.000	EPS
1.5.2	.	.	100.000	EPS
1.5.3	.	.	100.000	EPS
1.5.4	.	.	100.000	EPS
1.5.5	.	.	100.000	EPS
1.5.6	.	.	100.000	EPS
1.5.7	.	.	100.000	EPS
1.5.8	.	.	100.000	EPS
1.6.1	.	.	100.000	EPS
1.6.2	.	.	100.000	EPS
1.6.3	.	.	100.000	EPS
1.6.4	.	.	100.000	EPS
1.6.5	.	.	100.000	EPS
1.6.6	.	.	100.000	EPS
1.6.7	.	.	100.000	EPS
1.6.8	.	.	100.000	EPS
2.1.1	.	.	100.000	EPS
2.1.2	.	.	100.000	EPS
2.1.3	.	.	100.000	EPS
2.1.4	.	.	100.000	EPS
2.1.5	.	.	100.000	EPS
2.1.6	.	.	100.000	EPS
2.1.7	.	.	100.000	EPS
2.1.8	.	.	100.000	EPS
2.2.1	.	.	100.000	EPS
2.2.2	.	.	100.000	EPS
2.2.3	.	.	100.000	EPS
2.2.4	.	.	100.000	EPS
2.2.5	.	.	100.000	EPS

EK-4. (Devam) Modelin Çözümü

2.2.6	.	.	100.000	EPS
2.2.7	.	.	100.000	EPS
2.2.8	.	.	100.000	EPS
2.3.1	.	2.000	100.000	EPS
2.3.2	.	2.000	100.000	EPS
2.3.3	.	1.000	100.000	EPS
2.3.4	.	1.000	100.000	EPS
2.3.5	.	.	100.000	EPS
2.3.6	.	1.000	100.000	EPS
2.3.7	.	1.000	100.000	EPS
2.3.8	.	.	100.000	EPS
2.4.1	.	.	100.000	EPS
2.4.2	.	.	100.000	EPS
2.4.3	.	.	100.000	EPS
2.4.4	.	.	100.000	EPS
2.4.5	.	.	100.000	EPS
2.4.6	.	.	100.000	EPS
2.4.7	.	.	100.000	EPS
2.4.8	.	.	100.000	EPS
2.5.1	.	.	100.000	EPS
2.5.2	.	.	100.000	EPS
2.5.3	.	1.000	100.000	EPS
2.5.4	.	.	100.000	EPS
2.5.5	.	2.000	100.000	EPS
2.5.6	.	.	100.000	EPS
2.5.7	.	2.000	100.000	EPS
2.5.8	.	1.000	100.000	EPS
2.6.1	.	.	100.000	EPS
2.6.2	.		100.000	EPS
2.6.3	.	.	100.000	EPS
2.6.4	.	1.000	100.000	EPS
2.6.5	.	.	100.000	EPS
2.6.6	.	1.000	100.000	EPS
2.6.7	.	.	100.000	EPS
2.6.8	.	.	100.000	EPS
3.1.1	.	.	100.000	EPS
3.1.2	.	.	100.000	EPS
3.1.3	.	.	100.000	EPS
3.1.4	.	.	100.000	EPS
3.1.5	.	.	100.000	EPS
3.1.6	.	.	100.000	EPS
3.1.7	.	.	100.000	EPS
3.1.8	.	.	100.000	EPS
3.2.1	.	.	100.000	EPS
3.2.2	.	.	100.000	EPS
3.2.3	.	.	100.000	EPS

EK-4. (Devam) Modelin Çözümü

3.2.4	.	.	100.000	EPS
3.2.5	.	.	100.000	EPS
3.2.6	.	.	100.000	EPS
3.2.7	.	.	100.000	EPS
3.2.8	.	.	100.000	EPS
3.3.1	.	.	100.000	EPS
3.3.2	.	.	100.000	EPS
3.3.3	.	.	100.000	EPS
3.3.4	.	.	100.000	EPS
3.3.5	.	.	100.000	EPS
3.3.6	.	.	100.000	EPS
3.3.7	.	.	100.000	EPS
3.3.8	.	.	100.000	EPS
3.4.1	.	2.000	100.000	EPS
3.4.2	.	1.000	100.000	EPS
3.4.3	.	.	100.000	EPS
3.4.4	.	.	100.000	EPS
3.4.5	.	.	100.000	EPS
3.4.6	.	1.000	100.000	EPS
3.4.7	.	1.000	100.000	EPS
3.4.8	.	1.000	100.000	EPS
3.5.1	.	.	100.000	EPS
3.5.2	.	1.000	100.000	EPS
3.5.3	.	1.000	100.000	EPS
3.5.4	.	1.000	100.000	EPS
3.5.5	.	.	100.000	EPS
3.5.6	.	.	100.000	EPS
3.5.7	.	2.000	100.000	EPS
3.5.8	.	.	100.000	EPS
3.6.1	.	.	100.000	EPS
3.6.2	.	.	100.000	EPS
3.6.3	.	.	100.000	EPS
3.6.4	.	.	100.000	EPS
3.6.5	.	1.000	100.000	EPS
3.6.6	.	.	100.000	EPS
3.6.7	.	.	100.000	EPS
3.6.8	.	.	100.000	EPS
4.1.1	.	.	100.000	EPS
4.1.2	.	.	100.000	EPS
4.1.3	.	.	100.000	EPS
4.1.4	.	.	100.000	EPS
4.1.5	.	.	100.000	EPS
4.1.6	.	.	100.000	EPS
4.1.7	.	.	100.000	EPS
4.1.8	.	.	100.000	EPS
4.2.1	.	1.000	100.000	EPS

EK-4. (Devam) Modelin Çözümü

4.2.2	.	1.000	100.000	EPS
4.2.3	.	1.000	100.000	EPS
4.2.4	.	1.000	100.000	EPS
4.2.5	.	.	100.000	EPS
4.2.6	.	.	100.000	EPS
4.2.7	.	1.000	100.000	EPS
4.2.8	.	.	100.000	EPS
4.3.1	.	.	100.000	EPS
4.3.2	.	.	100.000	EPS
4.3.3	.	.	100.000	EPS
4.3.4	.	.	100.000	EPS
4.3.5	.	.	100.000	EPS
4.3.6	.	1.000	100.000	EPS
4.3.7	.	.	100.000	EPS
4.3.8	.	.	100.000	EPS
4.4.1	.	.	100.000	EPS
4.4.2	.	.	100.000	EPS
4.4.3	.	.	100.000	EPS
4.4.4	.	.	100.000	EPS
4.4.5	.	1.000	100.000	EPS
4.4.6	.	.	100.000	EPS
4.4.7	.	.	100.000	EPS
4.4.8	.	1.000	100.000	EPS
4.5.1	.	.	100.000	EPS
4.5.2	.	.	100.000	EPS
4.5.3	.	.	100.000	EPS
4.5.4	.	.	100.000	EPS
4.5.5	.	.	100.000	EPS
4.5.6	.	.	100.000	EPS
4.5.7	.	.	100.000	EPS
4.5.8	.	.	100.000	EPS
4.6.1	.	.	100.000	EPS
4.6.2	.	.	100.000	EPS
4.6.3	.	.	100.000	EPS
4.6.4	.	.	100.000	EPS
4.6.5	.	.	100.000	EPS
4.6.6	.	.	100.000	EPS
4.6.7	.	.	100.000	EPS
4.6.8	.	.	100.000	EPS

---- VAR b

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1	.	8.000	100.000	1.000

EK-4. (Devam) Modelin Çözümü

2	.	11.000	100.000	2.000
3	.	9.000	100.000	3.000
4	.	8.000	100.000	3.000
5	.	11.000	100.000	2.000
6	.	4.000	100.000	4.000

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : ÖZÇELİK, Sema
Uyruğu : T.C
Doğum Tarihi ve Yeri : 26.06.1986, Antakya
Medeni Hali : Bekar
Telefon : 05066906353
Faks : -
e-mail : sema.ozcelik@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/Endüstri Müh. Böl.	2011
Lisans(Çift Anadal)	Gazi Üniversitesi/Elektronik Müh. Böl.	2009
Lisans	Gazi Üniversitesi/Endüstri Müh. Böl.	2008
Lise	Özel Toros Lisesi	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009–	Aselsan A.Ş.	Üretim Kontrol Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce (İyi düzeyde)
İspanyolca (Başlangıç düzeyde)