

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ DOKTORA PROGRAMI**

**PERSONEL ATAMA PROBLEMİ: BİR KAMU KURUMU
UYGULAMASI**

HAZIRLAYAN

CEMİL ŞİMŞEK

DOKTORA TEZİ

ANKARA-2023

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ DOKTORA PROGRAMI**

**PERSONEL ATAMA PROBLEMİ: BİR KAMU KURUMU
UYGULAMASI**

HAZIRLAYAN

CEMİL ŞİMŞEK

DOKTORA TEZİ

TEZ DANIŞMANI

PROF.DR. BERNA DENGİZ

ANKARA-2023

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Doktora Programı çerçevesinde Cemil ŞİMŞEK tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 05/09/2023

Tez Adı: Personel Atama Problemi: Bir Kamu Kurumu Uygulaması

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı - Soyadı, Kurumu)		İmza
Prof. Dr. Berna DENGİZ	Başkent Üniversitesi	
Prof. Dr. Esra KARASAKAL	Ortadoğu Teknik Üniversitesi	
Prof. Dr. Yusuf Tansel İÇ	Başkent Üniversitesi	
Prof. Dr. Ergün ERASLAN	Yıldırım Beyazıt Üniversitesi	
Dr. Öğr. Üyesi Tusan DERYA	Başkent Üniversitesi	

ONAY

Prof. Dr. Ömer Faruk ELALDI
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Tarih : / /

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 13/09/2023

Öğrencinin Adı, Soyadı : Cemil ŞİMŞEK

Öğrencinin Numarası : 21310126

Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği

Programı : Doktora

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı : Prof. Dr. Berna DENGİZ

Tez Başlığı : Personel Atama Problemi, Bir Kamu Kurumu Uygulaması

Yukarıda başlığı belirtilen Doktora tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 75 sayfalık kısmına ilişkin, 13/09/2023 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 7'dir. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:.....

ONAY

Tarih: 13/09/2023

Öğrenci Danışmanı

Prof. Dr. Berna DENGİZ

TEŞEKKÜR

Yazar, bu çalışmanın gerçekleşmesinde katkılarından dolayı, aşağıda adı geçen kişilere içtenlikle teşekkür eder.

Sayın Prof. Dr. Berna DENGİZ'e (tez danışmanı) çalışmanın başarıya ulaşmasında her zaman yardımcı, yol gösterici ve anlayışlı olduğu için,

Sayın Prof. Dr. Esra KARASAKAL ve Sayın Prof. Dr. Yusuf Tansel İç'e (TİK üyeleri), tezimin her aşamasında desteklerini esirgemedikleri için,

Sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Tusan DERYA'ya deneyim ve bilgileri ile her zaman yol gösterici olduğu ve çalışmaya yapmış olduğu katkı ve destekleri için,

Sayın Mete UZUN'a çalışmaya yapmış olduğu katkı ve hoşgörü ile verdiği destekleri için,

Sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Merve UZUNER ŞAHİN'e doktora programımın her aşamasında hoşgörü ile verdiği destekleri için,

Sayın hocam Dr. Orhan DENGİZ'e çalışmaya yapmış olduğu katkı ve destek için,

Eşim Duygu ŞİMŞEK'e doktora sürecinde iki çocuğun sorumluluğunu üstlenerek hayatımın her aşamasında olduğu gibi çalışmalarımda da her daim yanımda olduğu için,

Varlıklarıyla bana en büyük hediye olan canım oğlum Efe Yağız ve canım kızım Ece'ye, içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Cemil ŞİMŞEK

PERSONEL ATAMA PROBLEMİ BİR KAMU KURUMU UYGULAMASI

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

2023

Personel atama problemi genel olarak m tane personelin n adet görev eşleştirilmesi olarak tanımlanabilir. Atama problemi 1950’li yıllardan günümüze kadar birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. Atama maliyetleri, personel tercihleri, hizmet puanları, personel ve görev nitelikleri gibi kurumdan kuruma değişen atama kriterlerine göre personel atamaları yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasında; Türkiye’de güvenlik hizmeti veren bir kamu kurumunun atama sistemini dikkate alan atama problemi tanımlanmıştır. Çalışma; sosyal gelişmişlik, mesafe, okul/eğitim durumu vb. birçok sebeple personelce tercih edilmeyen görev kadrolarına hakkaniyetli bir şekilde personelin atanması için, yeni ve dengeli bir atama modelini hedeflemiştir. Küçük ve tercih edilmeyen yerleşim yerlerindeki görevlerde çalışan personelin gelişmiş ve çok tercih edilen yerleşim yerlerindeki görevlere, gelişmiş ve çok tercih edilen yerleşim yerlerindeki görevlerde çalışan personelin ise küçük ve tercih edilmeyen yerleşim yerlerindeki görevlere atanması için bölgeler arası rotasyonu sağlayan, bir atama modeli önerilmiştir.

Literatürdeki çalışmalarda kullanılan “birikimli hizmet puanı” yerine “ortalama hizmet puanları” ile “görev yeri puanları” birlikte kullanılmıştır. Hizmet puanı ve görev puanlarında oluşan denge ile kritik olup tercih edilmeyen görevlere tecrübeli personelin atanması sağlanacaktır. Ayrıca bu model ile karar vericiye toplam atama maliyetinde ve personelin öncelikli tercihlerine atanması konusunda alternatif seçenekler sunulmaktadır.

Önerilen model, *Dev-C++ 5.11* ortamında C++ ile kodlanarak küçük, orta ve büyük ölçekli test problemleri oluşturulmuştur. Küçük ve orta ölçekli problemler kesin sonuçlu çözüm teknikleri ile çözülerek elde edilen sonuçların sayısal analizleri yapılmıştır. Atanacak personel sayısının artması ile önerilen atama modelinin parametre sayısı faktöriyel olarak arttığından oluşturulan büyük ölçekli test problemleri analitik çözüm teknikleri ile

öz lememiřtir. Bu nedenle tezin izleyen aşamasında, kesin sonuçlu z m teknikleri ile z lemeyen büyük ölçekli test problemlerine için bir Tavlama Benzetimi (TB) algoritması önerilmiştir. Geliştirilen TB algoritmasının etkinliği küçük ve orta ölçekli problemler üzerinde test edildikten sonra büyük ölçekli test problemlerinin üzümünde kullanılmıştır. Büyük  lekli test problemleri üzümünde elde edilen sonuçlar kullanılarak algoritmanın etkinliği için sayısal analizler yapılmıştır.

ANAHTAR KEL MELER: Personel atama problemi, yıllık ortalama personel hizmet puanı, personel atama problemlerinde rotasyon, tavlama benzetimi algoritması.



ABSTRACT

Cemil ŞİMŞEK

PERSONNEL ASSIGNMENT PROBLEM: A PUBLIC INSTITUTION APPLICATION

Başkent University Institute of Science and Engineering

Department of Industrial Engineering

2023

Personnel assignment problems can be defined as matching personnel to positions. The assignment problem has been encountered in many areas since the 1950s. Personnel assignments are made according to assignment criteria that vary from institution to institution, such as assignment costs, personnel preferences, service scores, personnel, and job qualifications. In this study, the assignment problem, which takes into account the assignment system of a public institution providing security services in Turkey, is defined.

The study aimed at a new and balanced assignment model to provide equitable assignments by taking into account preferability criteria such as; social development, distance from centers, vocational institutions, etc., of a settlement. An assignment model is proposed that provides inter-regional rotation for the assignment of personnel working in small and nonpreferred settlements to positions. Also, highly preferred settlements and personnel working in posts are developed and highly preferred settlements to tasks in small and non-preferred settlements. In the model, instead of the "cumulative personnel service score" used.

in the literature, "average personnel service scores" and "settlements scores" are used together. Balancing service time and scores will be ensured that experienced personnel should be assigned to critical and non-preferred tasks. In addition, with this model, alternative options are offered to the decision-makers in terms of total assignment cost and assignment of personnel to their priority preferences. The assignment problem of the institution was solved with the proposed mathematical model.

The proposed model is coded by using C++ in Dev-C++ 5.11 program. Then small, medium and large scale test problems are created. Small and medium-sized problems are solved with exact solution techniques and the obtained results are analyzed by computational analyses

and the results are evaluated. As the number of parameters of the proposed assignment model increased factorial with the increase in the number of personnel to be assigned, the large-scale test problems created can not be solved by using analytical solution techniques. Therefore, in the following phase of the thesis, an Simulated Annealing algorithm is proposed for large-scale test problems that cannot be solved by exact solution techniques. After testing the effectiveness of the developed Simulated Annealing algorithm on small and medium-sized problems, it will be used to solve large-scale test problems. Finally, the results of the computational analysis is presented.

KEYWORDS: Personnel assignment problem, annual average personnel service score, rotation in personnel assignment problems, simulated annealing algorithm.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iv
İÇİNDEKİLER LİSTESİ.....	vi
TABLOLAR LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. ATAMA PROBLEMLERİ VE UZANTILARI.....	6
2.1. Ulaştırma ve Atama Modelleri.....	6
2.1.1. Ulaştırma modeli.....	6
2.1.2. Klasik atama modeli.....	7
2.2. Personel Niteliğine Göre Atama Modelleri.....	7
2.2.1. Klasik atama modeli.....	8
2.2.2. Nitelikli personel atama modeli.....	8
2.2.3. K-dereceli atama problemi.....	9
2.2.4. Dar-boğazlı atama problemleri.....	9
2.2.5. Dengeli atama problemi.....	10
2.2.6. Küçük sapmalı atama problemi.....	10
2.2.7. Çok ölçütlü atama problemi.....	11
2.3. Personel Başına Birden Fazla Görev Düşen Atama Modelleri.....	11
2.3.1. Genelleştirilmiş atama problemi.....	11
2.3.2. Çok kaynaklı GAP.....	12
2.4. Çok Düzeyli Atama Problemleri.....	12
2.5. Atama Problemlerinin Çözümü ve Macar Algoritması.....	12
2.6. Kaynaklardaki Matematiksel Modeller.....	17
2.6.1. Çimen modeli.....	17
2.6.2. Erciyes modeli.....	19
3. ALAN YAZIN TARAMASI.....	22
4. PERSONEL ATAMA PROBLEMİ.....	27
4.1. Problemin Tanımı.....	27

4.2. Personel Atama Modeli.....	32
4.3. Sayısal Analizler.....	40
4.3.1. Küçük ve orta boyutlu test problemlerinin analitik çözümü.....	42
5. PERSONEL ATAMA PROBLEMİ İÇİN META-SEZGİSEL ALGORİTMA: TAVLAMA BENZETİMİ.....	46
5.1. Meta-Sezgisel Algoritmalar.....	46
5.2. Tavlama Benzetimi Algoritması.....	47
5.3. Personel Atama Problemi İçin Tavlama Benzetimi.....	54
5.4. Geliştirilen Tavlama Benzetimi Algoritması.....	55
5.5. Sayısal Analizler.....	60
5.5.1. Test problemleri.....	60
5.5.2. Sayısal analizler.....	60
6. KURUMA ÖZEL UYGULAMA.....	65
6.1. Kurumun Atama Problemi.....	65
6.2. Problemin Çözümü.....	66
6.3. Sayısal Analizler.....	67
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR.....	76

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Atama Maliyetleri.....	15
Tablo 2.2. İndirgenmiş Maliyetler.....	15
Tablo 2.3. Sütunlara gören indirgenmiş maliyetler.....	15
Tablo 2.4. Atama probleminin çözüm tablosu.....	16
Tablo 4.1. Hizmet bölgeleri, görev süreleri ve puanları örnekleri.....	30
Tablo 4.2. Küçük ve orta boyutlu test problemlerinin çözümü (Problem grubu-1).....	42
Tablo 4.3. Küçük ve orta boyutlu test problemlerinin çözümü (Problem grubu-2).....	43
Tablo 4.4. Küçük ve orta boyutlu test problemlerinin çözümü (Problem grubu-3).....	43
Tablo 4.5. Küçük ve orta boyutlu test problemlerinin çözümü (Problem grubu-4).....	44
Tablo 4.6. Büyük boyutlu test problemlerinin çözümü (Problem grubu-5).....	45
Tablo 4.7. Büyük boyutlu test problemleri(problem grubu-6).....	45
Tablo 4.8. Büyük boyutlu test problemlerin çözümü (problem grubu-7).....	45
Tablo 5.1. Küçük boyutlu test problemlerinin çözümü (problem grubu-1).....	61
Tablo 5.2. Orta boyutlu test problemleri(Problem grubu-2(7 bölge-3 görev tipi)).....	62
Tablo 5.3. Orta boyutlu test problemleri(Problem grubu-2 (10 bölge-3 görev tipi)).....	62
Tablo 5.4. Büyük boyutlu test problemleri(Problem grubu 3(7 bölge ve 3 görev tipi)).....	63
Tablo 5.5. Büyük test problemleri(Problem grubu-4(10 bölge ve 3 görev tipi)).....	64
Tablo 5.6. Büyük boyutlu test problemleri(Problem grubu-5(15 bölge ve 3 görev tipi))...	64
Tablo 6.1. Örnek uygulamanın atama sonuçları (düşük ortalama hizmet puanı sıralı).....	68
Tablo 6.2. Örnek atama sonuçları (yüksek ortalama hizmet puanı sıralı).....	68
Tablo 6.3. Örnek atama sonuçları (düşük görev puanı puan sıralı).....	69
Tablo 6.4. Farklı P_i ve C_i eşik değerleri ile elde edilen alternatif çözümler.....	72

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 4.1. Görev bölgeleri ve azami görev süreleri.....	28
Şekil 4.2. Atama problemi serim gösterimi.....	31
Şekil 4.3. Atama probleminde hiyerarşik durum	31
Şekil 5.1. Yerel ve global optimum değerler.....	51
Şekil 5.2. Örnek bir TB algoritması çözüm grafiği.....	52
Şekil 5.3. Tavlama benzetimi çözüm dizini gösterimi.....	56
Şekil 5.4. Örnek başlangıç çözümü.....	56
Şekil 5.5. Komşu çözüm üretimi (değişim öncesi).....	58
Şekil 5.6. Komşu çözüm üretimi (değişim sonrası).....	59

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AP	Atama problemi
GAP	Genelleştirilmiş atama problemleri
TB	Tavlama benzetimi
PAP	Personel atama problemi
AHP	Analitik hiyerarşi prosesi
KDM	Karar destek modeli
SO	Sapma oranı
DK	Değişim katsayısı

1. GİRİŞ

Atama Problemi (AP), n tane işe m tane işçinin eşleştirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Klasik atama problemleri, kaynakların ve taleplerin bire eşit olduğu ulaştırma problemi modellerinin özel durumudur [1]. Atama problemi ilk defa 1950 yıllarında Thorndike [2] ile çizelgeleme problemlerinin alt bileşeni sınıfında sayılmıştır. Daha sonra 1952 yılında Votaw ve Orden [3]'ün çalışmalarında personel atama problemi şeklinde incelenmiştir. Atama problemi Kuhn [4]'ün 1955 yılındaki makalesinde geliştirdiği Macar Algoritması çözüm metodu ile yaygınlaşmıştır.

Klasik AP'lerin farklılaştırılmasıyla yetmiş üç yıllık süreçte birçok alanda birçok atama problemi çeşidi ortaya konmuştur. Kuhn [3], Parikh ve Wets [5] ile Land [6] tarafından ilk dönemlerde çoğunlukla tek amaçlı atama problemleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Ancak gerçek problemler tek amaçlı değildir. Sonraki dönemlerde Pierskalla [7], Charnes vd. [8], Gardenfors [9], Schniederjans ve Lee [10], Lewis, White ve Lewis [11], Arslanoğlu ve Toroslu [12], Lin vd. [13], Bouajaja ve Dridi [14]'nin çalışmaları gibi birçok atama probleminde birden fazla amaç fonksiyonu kullanılmıştır.

PAP modelleri hakkında en kapsamlı sınıflandırma Pentico [15] ve Öncan [16] tarafından yapılmıştır. Personel niteliklerine göre atama problemleri üç başlık altında toplanabilir: (1) her personel başına sadece bir görevin düştüğü modeller, (2) her personele birden fazla görevin düştüğü modeller ile (3) çok düzeyli personel atama modelleridir [15],[16]. Klasik atama modelleri her personelin tek bir göreve atanması, görevlerin her birine ise tek bir personelin atanacağı modellerdir. Nitelikli personel atama modelleri bazı özel görevlere sadece bazı niteliklere sahip personelin atandığı atama modelleridir. n görevlerin sadece k tane personel ile yürütülmesini sağlayan modeller k -dereceli atama problemleri sınıfına girmektedir.

Yüksek maliyetlerin veya en uzun zamanın minimize edildiği personel atama problemleri dar-boğazlı personel atama problemleri olarak tasnif edilmektedir. En büyük ve en küçük amaç fonksiyonu değerleri arasındaki farkları en küçükleyen atama modelleri dengeli atama problemi sınıfına girmektedir. Çok kaynaklı genelleştirme problemi ile

genelleştirilmiş atama problemi(GAP) bir personele birden fazla iş atayan atama problemleri sınıfına girer. AP kombinatorial eniyileme problem olup *NP-tam* problemidir [12], [17].

Personel atamalarında dikkate alınan kriterler görevin özelliğine göre kamu kurumlarında farklılık gösterebilir. Personelin hizmet puanı, tercih sırası, atama maliyeti, kadronun boş veya uyumlu olması gibi atama kriterleri birçok atama sisteminde kullanılmaktadır. Birçok özel ve kamu kurumunda mevzuatlarında belirtilmiş esaslara göre yerleşim yeri içinde veya yerleşim yerleri arasında personel ataması yapılmaktadır.

Personel atamalarında adaleti sağlamak nedeniyle kamu kurumlarında her için çalıştığı görev yeri ve süreye göre hizmet puanı hesaplanmaktadır. Hizmet puanları görev yerinin; çalışma şartları, merkezi bölgelere mesafesi, büyüklüğü, nüfus yapısı, eğitim olanakları, güvenlik, iklim şartları vb. kriterler dikkate alınarak ilgili kurum tarafından belirlendiğinden birçok atama sisteminde temel atama kriteri olarak kullanılmaktadır.

Bu tezde ele alınan atama problemi ülkenin güvenliği ile ilgili görevleri yerine getiren kritik özelliklere sahip bir kamu kurumunun problemidir. Kurumda genel atamalar her yıl mayıs ayında bilgisayar ortamında her personelin kendi kişisel sayfasında yayımlanır. Atamalar kurumun atama yönergesinde [18], belirtilen kurallara göre yapılmaktadır.

Kurumda yapılan atamalarda öncelikle zorunlu hizmet bölgelerinde görev sürelerini dolduracak personel tespit edilir. Zorunlu hizmet bölgesinde görev süresini dolduran personel diğer atama bölgelerine atanır. Zorunlu hizmet bölgesindeki görev süresini doldurmayan personel bulunduğu il içinde diğer görevlere atanabilir. Zorunlu hizmet bölgesi dışındaki personel de görev süresini doldurmasa bile bulunduğu ilde başka görevlere atanabilir. Bu nedenle görev süresini doldurmayan personel de bu koşulları sağlayacak şekilde atama çalışmasına dahil edilmektedir. Zorunlu hizmet bölgesinde çalışıp görev süresini dolduran personel sayısı tespit edildikten sonra diğer bölgelerden zorunlu hizmet bölgesine kaç personelin atanacağı belli olmuş olur. Her yıl Şubat-Mart ayında kuruma ait kişisel atama sistemi üzerinden her personel için tercih sayfası açılarak tercihleri alınır.

Atama yapılırken, personelin hizmet puanı, atanabileceği görev yerlerinin puanları, görev süresini doldurma durumu, daha önce çalıştığı bölgeler, rütbe seviyeleri, tercih sıraları gibi kriterler göz önünde bulundurulur. Kurum personeli diğer kurumlarından farklı olarak zorunlu hizmet bölgelerinde en az üç defa görev yapmak zorundadır.

Kurum, mevcut durumda yüksek hizmet puanına sahip personeli düşük puanlı görev yerlerine, düşük hizmet puanına sahip personeli de yüksek hizmet puanlı görev yerlerine atayarak personelin belirli aralıklarla zorunlu hizmet bölgelerine göndermesini sağlamaktadır. Bu tezde önerilen ortalama hizmet puanları ile görev yeri puanları çarpımının en küçüklenmesi personelin dengeli rotasyonla atamasını sağlamaktadır.

Personelin çalışma süresine göre çalıştığı görev yeri puanlarından topladığı puanlar bu çalışmada “*birikimli hizmet puanı*” olarak tanımlanmıştır. Kamu kurumlarında genellikle birikimli hizmet puanları kullanılarak sadece atama tercihi yapan personelin ataması yapılmaktadır. Boş kalan kadrolara genellikle ilk defa kuruma alınan personel görevlendirilmektedir. Birikimli hizmet puanını kullanan atama sistemlerinde eski personelin puanı yüksek olduğundan tercih ettiği görev yerlerine rahatlıkla atanabilmektedir. Buna karşın çalışma süresi kısa olan personelin az puanı olduğundan az tercih edilen görevlerde genellikle göreve yeni başlayan personel görev yapmaktadır. Birikimli hizmet puanı artan personel daha gelişmiş ve daha çok tercih edilen görev yerlerinde çalışma şansı bulmaktadır. Küçük olduğu için az tercih edilen görev yerlerinde yaşayan insan sayısı az olduğu için görevlerin yeni personel veya vekâleten yerine getirilmesi aksaklığa sebep olmamakla birlikte ikiz görevlendirme ile yürütülen görevlerde personelin verimliliği azalır. Ancak bazı görevlerin tecrübeli personel tarafından yürütülmesi gerekebilir. Personel tarafından az tercih edilen bölgelerde olmasına rağmen tecrübeli personel tarafından yürütülmesi durumunda kurum veya ülke için tehdit oluşturan görevlerin kesinlikle tecrübeli personel tarafından yürütülmesi gerekir. Sadece birikimli hizmet puanının dikkate alındığı atama sistemlerinde kritik görevlerde tecrübeli personeli çalıştırmak için elle atama yapılmakta veya personel atamalarında zorunlu rotasyon uygulanmaktadır.

Bu tez çalışmasında geliştirilen atama modelinde, kritik öneme sahip görevlerde tecrübesiz personelin tecrübeli personel ile birlikte görev yapması için hizmet puanı kullanımında farklılık yapılmıştır. İlkuçar’ın çalışmasında [19], önerildiği gibi literatürdeki atama problemlerinde birikimli hizmet puanı kullanılmıştır. Buna karşın önerilen modelde, ortalama hizmet puanı ve görev yeri puanları kullanılarak her atama döneminde personel ve görev puanları arasındaki dengenin korunması hedeflenmiştir. Bu sayede kritik görevlerde tecrübesiz personel ile tecrübesiz personelin çalıştırılması sağlanacaktır.

Ele alınan atama probleminde ilgili kurumun kritik öneme sahip görevlerinin yürütülmesi için bazı personelin tercih dışı görevlerde çalıştırılması gerekmektedir. Bu durumda personel tercihlerini kısmen dikkate alması yanında önemli görevlerin boş kalmasını engelleyen farklı ve yeni bir personel atama modeline ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle bu çalışmada, tercih sırası toplamının bir eşik değeri altında olması sağlanarak personelin öncelikli tercihlerine atanması, tercih dışı atamalara da izin verilmesi ve kritik kadro görevlerine tecrübeli personelin atanması sağlanmıştır.

Kıt kaynaklara sahip olduğumuz günümüzde, kamuya ait kaynakların verimli, etkili ve ekonomik kullanmak için kurumların personel atama çalışmalarında atama maliyetlerini dikkate almaları gerekmektedir.

Birikimli hizmet puanına göre atama yapan modeller en yüksek puanlı personelin tercihlerine göre atama yapmaktadır. Bu tezde ele alınan personel atama probleminin çözümünde ise personelin bölgelere dengeli bir şekilde atamak için personelin ortalama puanı ile görev puanları en küçüklenmektedir. Bu sayede risk durumu yüksek görevlere tecrübeli personelin atanması kolaylaşmaktadır. Personelin atama tercihleri modele dahil edilmektedir. Ancak ihtiyaç halinde personel tercih dışı görevlere de atanabilir. Kurulan model ile toplam atama maliyetlerinin belli bir eşik değeri altında olması sağlanabilmektedir. Ayrıca personelin rütbesini ve kadrosunu dikkate alan bütçe kısıtı ile kurum içindeki hiyerarşik sistemin korunması amaçlanmaktadır. Rotasyon ve görev süresi kısıtları ile personelin her bölgede çalışması sağlanmaktadır. Görev süresi dolan personele uygulanan zorunlu rotasyon ile personel daha önce çalışmadığı bölgelerdeki görevlere atanır.

Bu bağlamda ele alınan atama problemi için önerilen modelde; alan yazında tanımlı temel atama kısıtlarının yanında, personelin çalışma süresi boyunca her bölgede çalışmasını sağlayacak rotasyon kısıtları, görev süresini doldurmayan personelin bulunduğu yerdeki diğer görevlere atanabilme kısıtı, görev süresini dolduran personelin zorunlu olarak atamasını sağlayacak görev süresi kısıtları, atamaların hiyerarşik düzene göre yapılmasını sağlayan rütbe kısıtları, tercih dışı atamaya da izin veren ancak tercih sıralamalarını dikkate alan tercih toplamaları kısıtları ile toplam atama maliyeti kısıtları dikkate alınmıştır.

Gerçek bir gereksinimden yola çıkılarak, ilgili kurumun farklı özelliklere sahip atama problemi ilk defa bu tezde ele alınarak uygun model kurulmuştur. Modelin sayısal analizi

küçük, orta ve büyük ölçekli test problemleri üzerinde gösterilmiştir. Ancak personel sayısının artması ile atama modelinin boyutu faktöriyel olarak artmaktadır. Bu nedenle matematiksel model ile çözilemeyen büyük ölçekli personel atama problemine özgü Tavlama Benzetimi (TB) algoritması geliştirilmiştir. TB algoritmasının doğruluğu, etkinliği ve gürbüzlüğü (duyarsızlığı) gösterilmiştir.

Tez çalışmasının kalan kısımları şu şekilde düzenlenmiştir. Sonraki bölümde, literatürdeki atama problemleri çalışmaları alan yazın taramasında özetlenmiştir. Üçüncü bölümde atama problemleri hakkında genel bilgi verilerek dördüncü bölümde problemin tanımı yapılmış ve probleme özgü matematiksel model geliştirilmiştir. Aynı bölümün devamında önerilen modelin performansını incelemek amacıyla üretilen küçük, orta ve büyük ölçekli test problemleri çözülmüştür. Bölüm sonunda analitik teknikler kullanılarak çözülen küçük ve orta ölçekli test problemlerinin sayısal analizlerine yer verilmiştir. Beşinci bölümde TB algoritmasına ve problem çözümlerinin sayısal analizlerine yer verilmiştir. Altıncı bölümde önerilen model kullanılarak probleme konu olan kamu kurumu için örnek uygulamaya yer verilmiştir. Yedinci bölümde sonuçlar tartışılmıştır.

2. ATAMA PROBLEMLERİ VE UZANTILARI

Bu bölümde, kısıtlarının özel yapısı ve benzerliği nedeniyle atama modellerine geçmeden, ulaştırma modellerinin yapıları hakkında bilgi verilecektir. Ardından klasik atama modeli ve atama problemlerinin sınıflandırılmasına değinilerek klasik atama problemlerinin çözümünde kullanılan Macar Algoritması örneğine yer verilecektir.

2.1. Ulaştırma ve Atama Modelleri

2.1.1. Ulaştırma modeli

Ürünlerin birden fazla fabrika veya ana dağıtım noktalarından birden fazla müşteri noktasına taşıma problemlerine ulaştırma problemleri denir. Karar değişkenlerinin hangi fabrikadan hangi müşteri noktasına ne kadar ürün taşınacağı olan ulaştırma problemlerinde her fabrikadan yapılan dağıtım miktarının kapasiteyi aşmaması ve müşteri taleplerinin karşılanması gerekir.

Ulaştırma karar modeli

Ürün miktarı X_{ij} , taşıma maliyeti C_{ij} , arz miktarı a_{ij} ve talep miktarı b_{ij}

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} \leq a_{ij} \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2.1)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} \leq b_{ij} \quad i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (2.2)$$

Kısıtları altında

$$\text{En iyi } \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N C_{ij} x_{ij} \quad (2.3)$$

2.1.2. Klasik atama modeli

Yapılacak n işin m kişi veya birim tarafından yaptırılmasını, verilen işin paylaştırılmasına yönelik geliştirilen modellere atama modeli denir. Genel atama problemleri; i . işin j . kişi tarafından yapılmasında sağlanan faydayı (*maliyet, kar, en iyi zaman vb.*) gösteren C_{ij} parametreleri, i . işin hangi personel veya birim tarafından yapılacağını belirleyen x_{ij} karar değişkenleri, her işin bir kişi tarafından yapılacağını ve her işçinin bir işe atanabileceğini belirten temel atama kısıtlarından oluşur. Atama modelleri arz ve talep parametrelerinin eşit olduğu doğrusal olmayan ulaştırma modelinin özel bir halidir [1].

Klasik atama modeli

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2.4)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (2.5)$$

Kısıtları altında

$$\text{En iyi} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N C_{ij} x_{ij} \quad (2.6)$$

2.2. Personel Niteliğine Göre Atama Problemleri

Atama modellerini üç başlık altında toplayabiliriz. Birincisi bir personelin bir göreve atandığı atama modelleridir. İkincisi personelin başına birden fazla görevin düştüğü modellerdir. Çok düzeyli atama modelleri ise personel niteliğine göre sınıflandırılan diğer atama modelleridir [15].

Bu bölümde en çok kullanılan modeller hakkında özet bilgi verilecektir. Atama problemlerinin sınıflandırılması çalışmasına göre, bu tezde ele alınan problem genelleştirilmiş personel atama problemi sınıfına girmektedir.

2.2.1. Klasik atama modeli

Klasik atama modellerinde personelin belirlenen işe veya makinalara bire bir atanmasıdır. Her atanacak kişinin sadece bir göreve ve her göreve sadece bir kişinin atanabileceği modellerdir. Klasik atama modellerinde personel ve görev yeri atama kısıtları I' 'e eşittir. Personel sayısı ve görev sayısı eşit olduğundan diğer atama modellerine nazaran çözümü daha kolaydır. Klasik atama modelinin matematiksel yapısı (2.4-2.6)'da verilmiştir.

2.2.2. Nitelikli personel atama modeli

Bazı görevlerin belirlenen nitelikleri karşılayan personel tarafından yapılması gerekebilir. Nitelikli işçi atama modelleri; n kadar göreve atanacak m kadar belirli kişilerin atanması modelleridir. Bu modellerde bazı görevlere yalnız nitelikli personeller atanır. Amaç görevlere atanan personelden en büyük fayda veya en küçük maliyetin oluşmasını sağlamaktır [15]. i . personelin j . göreve atanmaya yetkin ise $Q_{ij} = 1$ olmak üzere nitelikli işçi atama modellerinin matematiksel gösterimi (3.7-3.9)'de verilmiştir.

$$\sum_{i=1}^M Q_{ij} x_{ij} \leq 1 \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2.7)$$

$$\sum_{j=1}^N Q_{ij} x_{ij} \leq 1 \quad i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (2.8)$$

Kısıtları altında

$$\text{En iyi} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N C_{ij} x_{ij} \quad (2.9)$$

2.2.3. K-dereceli atama problemi

$k < m$ ve $k < n$ olmak üzere; n tane görevin sadece k kadar personel ile yapılmasını sağlayan atama problemidir [15]. Tüm personelin veya işlere atamanın yapılmadığı durumlarda *k-dereceli atama modeli* kullanılabilir.

$$\sum_{i=1}^M \chi_{ij} \leq 1 \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2.10)$$

$$\sum_{j=1}^N \chi_{ij} \leq 1 \quad i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (2.11)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \chi_{ij} = k \quad (2.12)$$

Kısıtları altında

$$\text{En iyi} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N C_{ij} \chi_{ij} \quad (2.13)$$

2.2.4. Dar-boğazlı atama problemleri

Dar-boğazlı atama problemi, yüksek maliyetlerin veya uzun sürelerin minimize edildiği problemlerdir [15]. Acil sağlık merkezi noktası seçilirken en uzak mesafenin en küçüklenmesi bu tür atama modellerine örnek verilebilir. Deprem, sel ve yangın gibi doğal afetlere müdahale edecek ekiplerin konuşlandırılması problemi de dar-boğazlı atama problemleri sınıfına girmektedir.

$$\text{Enküçük (Enbüyük Maliyet}(C_{ij})) \quad / \quad \text{Enküçük (Enbüyük Zaman}(T_{ij})) \quad (2.14)$$

Ayrıca en büyük tercih sıralarının en küçüklenmesi ile personel atama problemlerinde personelin mümkün oldukça öncelikli tercihlerine atanması için dar boğazlı

atama modeli kullanılabilir. P_{ij} değerlerinin en küçüklenmesi ile personelin mümkün oldukça en öncelikli tercihlerine atanması sağlanır.

Dar-boğazlı atama modeli

$$\sum_{i=1}^M \chi_{ij} \leq 1 \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2.15)$$

$$\sum_{j=1}^N \chi_{ij} \leq 1 \quad i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (2.16)$$

$$\sum_{i=1}^M p_{ij} \leq P_i \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2.17)$$

P_{ij} *i. personelin j. görevi tercih etme sıraları*

Kısıtları altında

$$\text{En küçük} \sum_{j=1}^N P_i \quad (2.18)$$

2.2.5. Dengeli atama problemi

Dengelenmiş atama problemlerinde amaç; en büyük ve en küçük atama değerleri veya maliyetleri arasındaki farklılığı en küçükleme. Seyahat acentesinde tatil süreleri eşit olan grupları beraber planlayarak maliyetleri azaltmak bu modele örnek olarak verilebilir [15].

$$\text{En küçük} (En büyük T_{ij} - En küçük T_{ij}) \quad (2.19)$$

T_{ij} *i. personelin j. göreve atanma maliyeti, zamanı vb.*

2.2.6. Küçük sapmalı atama problemi

Bu problem türlerinin dengeli atama problemlerine benzer bir yapısı bulunmaktadır. Dengeli atama problemlerinin amaç fonksiyonu en büyük maliyet ile en küçük maliyet arasındaki farkları en küçükler. En küçük sapmalı atama problemi ise en büyük maliyet ile

ortalama maliyet arasındaki farkları en küçükleme problemidir. Bu model, eş zamanlı çalışan ancak devam eden işler bitmeden sonraki aşamaya geçmeyen işlere yapılan atamalarda ortalama bekleme sürelerini en aza indirmek için kullanılabilir.

2.2.7. Çok ölçütlü atama problemi

Gerçek hayat problemleri çok amaçlı olduğundan tek amaçlı modeller bazı problemlerin çözümünde yetersiz kalmaktadır. Personel atamalarında; hizmet puanları, personel tercihleri, atama maliyetleri, personelin ve görevin nitelikleri gibi atama kriterleri dikkate alınmaktadır.

Ayrıca sıralı dar-boğazlı atama problemleri, kesirli atama problemleri, yarı atama problemleri, çok dereceli atama problemleri de işçi niteliğine göre atama problemleri sınıfında sayılabilir.

2.3. Personel Başına Birden Fazla Görev Düşen Atama Modelleri

Bu problem tiplerinde her personel birden çok göreve atanabilir. Bu bölümde geliştirilmiş atama problemlerinin farklı tipleri hakkında bilgi verilecektir. Bir personele birden fazla görevin verildiği atama problemi klasik atama probleminin geliştirilmiş halidir [15].

2.3.1. Genelleştirilmiş atama problemi

Bir işçiye veya kaynağa birden çok görev atamasına izin verilen atama problemlerine Genelleştirilmiş Atama Problemleri denir (*GAP*). “GAP” normal şartlarda klasik atama problemi gibi bir işçiye bir görev atama varsayımı yanında, bir işçiye, işçinin kapasitesini hesaba katarak, birden fazla göreve atanma olasılığına izin verir [15]. Genelleştirilmiş atama problemlerinin; Çok kaynaklı, çok düzeyli, dinamik, dar-boğazlı, stokastik, iki amaçlı gibi türleri vardır.

Genelleştirilmiş atama modeli

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} \leq 1 \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2.20)$$

$$\sum_{j=1}^N a_{ij} x_{ij} \leq b_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (2.21)$$

Kısıtları altında

$$\text{En iyi } \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N C_{ij} x_{ij} \quad (2.22)$$

a_{ij} i . işçinin j . işe atanması durumunda kullanacağı kapasite

b_j işçi kapasitesi

2.3.2. Çok kaynaklı GAP

Kaynak kısıtları eklenerek geliştirilmiş atama probleminin revize edilmiş halidir. Çok kaynağın işçilerin kapasitelerini nasıl etkilediğini tanımlayan geliştirilmiş atama probleminin uzantısıdır [15].

Personel başına birden fazla görevin düştüğü atama modelleri sınıfına giren, dar-boğazlı geliştirilmiş atama problemleri ve ağırlıklandırılmış atama problemleri gibi farklı modellerde çalışmalar yapılmıştır.

2.4. Çok Düzeyli Atama Problemleri

Şimdiye kadar tartışılan modellerin hepsi iki düzeyli modellerdi. Bazı durumlarda problem üç veya daha fazla eşleşmiş üye kümelerden oluşabilir. Farklı ustalık becerilerine sahip işçilerin farklı makinelerle atanması ve öğretmen ve öğrencilerin sınıflara atanması örnek olarak verilebilir [15]. Üç düzlemli, çok düzlemli “GAP” gibi çeşitlendirebilir.

2.5. Atama Problemlerinin Çözümü ve Macar Algoritması

Bir atama modelinin her satırında, $p_i \geq 0$ olmak üzere C_{ij} lerden p_i kadar; her sütunun da $q_i \geq 0$ olmak üzere C_{ij} lerden q_i kadar azaltma yapılsın. Böylece yeni katkı parametreleri (2.23) eşitliği olup amaç fonksiyonuna karşılık gelen değeri (2.24) ve (2.25) şeklinde yazılır.

Bu eşitliğin sağ tarafına uygun işlemler yapılırsa, (2.26) eşitliği elde edilir. Atama modelinde (2.27) eşitliği göz önüne alınırsa, bu eşitliklerden (2.28) eşitliği elde edilir. p_i 'ler ve q_i 'ler sabit sayılar olduğundan, bunların toplamı da sabittir. O halde X'_0 'nü eniyileyen bir X çözümü X_0 da en iyiler. Eğer tüm $C_{ij} \geq 0$ ise $X_{ij} \geq 0$ olduğundan X_0 'ın en iyi değeri de sıfırdan büyük olacaktır. Böylece X'_0 nün sıfıra eşit olduğu çözüm X_0 'ın en iyi değeri olur.

$$C'_{ij} = C_{ij} - p_i - q_i \quad \forall i \text{ ve } \forall j \text{ için} \quad (2.23)$$

$$X'_0 = \sum_i^n \sum_j^n C'_{ij} - X_{ij} \quad (2.24)$$

$$\chi'_0 = \sum_i^n \sum_j^n (C_{ij} - p_i - q_i) X_{ij} \quad (2.25)$$

$$\chi'_0 = \sum_i^n \sum_j^n C_{ij} - \sum_i^n p_i - \sum_j^n q_i - \sum_j^n X_{ij} - \sum_i^n q_i \sum_j^n X_{ij} \quad (2.26)$$

$$\sum_i^n \chi_{ij} = \sum_j^n \chi_{ij} = 1 \quad \text{ve} \quad \chi'_0 = \sum_i^n \sum_j^n C_{ij} \chi_{ij} \quad (2.27)$$

$$\chi'_0 = \chi_0 - \sum_i^n p_i - \sum_j^n q_i \quad (2.28)$$

Her en büyüklenme modelinin kolaylıkla en küçükleme modeli haline dönüştürülebileceği göz önüne alınarak, amaç fonksiyonu χ_0 'ın en küçük değeri araştırılan atama modelinde izleyen aşamadaki özellikler geçerlidir.

Birinci Özellik: Her noktaya bir görev verileceğinden, atama yapıldıktan sonra atama yapılan satır devreden çıkarılacaktır. Toplam atama maliyeti, yapılan her atama maliyetinin

toplamı olduğu için hücreye yapılan atama sonrasında, dağıtım tablosunun bir maliyetler toplamı, ilgili satır ve sütun maliyetlerinden atama yapılan hücre maliyetlerinin farkları kadar azalır. Bir satırdaki en küçük maliyetli hücreye atama yapılıncaya, ilgili satır öğelerinden, seçilen hücre maliyetinin farklarıyla bulunan değerler (*indirgenmiş öğeler*), dağıtım tablosu toplam maliyetlerine esas alınabilir. Bağlı olarak, atama modelinin çözümünde dağıtım tablosunun indirgenmiş tabloları kullanılabilir [1].

İkinci özellik: Bir atama modelinin en iyi çözümünde n karar değişkeni sıfırdan büyük olup, bulunan çözüm bir ulaştırma modelinin bozulmuş halidir. Bu nedenle, atama modelinde amaç fonksiyonunun en iyi değerini veren birden fazla en iyi çözümün olabileceği açıktır. O halde, amaç fonksiyonunun en küçük değeri araştırılan ve $C_{ij} \geq 0$ olan bir atama modelinin, indirgenmiş tablosunda, indirgenmiş tablo değerleri sıfır olan bir uygun çözüm en iyi çözüm olur. İndirgenmiş maliyetin alabileceği en küçük değer sıfırdır [1].

Yukarıda sıralanan iki özelliğe bağlı olarak, tüm $C_{ij} \geq 0$ olan ve amaç fonksiyonunun en küçük değeri araştırılan bir atama modeli, Macar algoritması olarak isimlendirilen aşağıdaki algoritma ile çözülebilir.

Birinci Adım: Her satırda en küçük atama gideri (C_{ij}) seçilip diğer atama giderlerinden bu değer çıkartılarak, satırlara göre indirgenmiş tablo bulunur.

İkinci Adım: Birinci adım sonunda bulunan indirgenmiş matrisin her sütununda en küçük öğe seçilip, diğer öğelerden bu değer çıkartılarak, tablo bir kez daha indirgenir.

Üçüncü Adım: İkinci adımın sonunda bulunan indirgenmiş tabloda, sıfır değerini alan tüm öğelerden en az sayıda dikey ya da yatay doğrular çizilir. Eğer bulunan doğru sayısı işlem sayısına (*iş sayısı*) eşit ise en iyi çözüme ulaşılmış olup, A5'e, değil ise izleyen adıma geçilir.

Dördüncü Adım: Üzerinde doğru geçmeyen satır veya sütundaki en küçük öğe seçilerek, doğrular dışında kalmış diğer öğelerden bunun değeri çıkartılır. Doğruların kesim noktalarındaki öğelere eklenir. Adım 3'e dönlür.

Beşinci Adım: Her doğru üzerinde sıfır değerli hücreler esas alınarak, her i için yalnız bir j olmak üzere, en iyi çözüme karşı gelen χ_{ij} değerleri yazılıp, en iyi çözüm bulunur.

Tablo 2.1.'de örnek olarak verilen atama maliyetleri ile en küçük maliyetli atama problemi Macar Algoritması yöntemi kullanılarak çözülmüştür.

Tablo 2.1. Atama maliyetleri

	İş 1	İş 2	İş 3	İş 4
Personel 1	7	8	5	4
Personel 2	6	5	4	6
Personel 3	7	6	5	4
Personel 4	8	7	6	5

Birinci Adım: ilk satır için en küçük $C_{ij} = C_{12} = 4$ ve izleyen satırlar için de en küçük değerler $C_{23} = 4$, $C_{34} = 4$ ve $C_{44} = 5$ olduğundan, çıkarma işlemlerinden sonra aşağıdaki indirgenmiş Tablo-3 elde edilir.

Tablo 2.2. İndirgenmiş maliyetler

	İş 1	İş 2	İş 3	İş 4
Personel 1	7 3	8 4	5 1	4 0
Personel 2	6 2	5 1	4 0	6 2
Personel 3	7 3	6 2	5 1	4 0
Personel 4	8 3	7 2	6 1	5 0

İkinci Adım: İndirgenmiş Tablo 2.2'de sütunlara göre en küçük değerler seçilir ve çıkarma işlemi yapılırsa, aşağıdaki indirgenmiş Tablo 2.3 bulunur.

Tablo 2.3. Sütunlara gören indirgenmiş maliyetler

	İş 1	İş 2	İş 3	İş 4
Personel 1	3 1	4 3	1 1	0 0
Personel 2	2 0	1 0	0 0	2 2
Personel 3	3 1	2 1	1 1	0 0
Personel 4	3 1	2 1	1 1	0 0

Üçüncü Adım: İkinci adımın sonunda bulunan tabloda sıfır değeri taşıyan en az doğru sayısı iki olup, işlem noktası sayısından küçüktür. O halde en iyi çözüme erişilmemiştir.

Dördüncü Adım: Doğrular üzerinde olmayan en küçük öge (l)'dir. Doğrular üzerinde olmayan her öğeden (l) çıkartılır, doğruların kesim noktalarında olan öğelere (l) eklenirse Tablo 3.4 bulunur.

Tablo 2.4. Atama probleminin çözüm tablosu

	İş 1	İş 2	İş 3	İş 4
Personel 1	1 0	3 2	1 0	0 0
Personel 2	0 0	0 0	0 0	2 3
Personel 3	1 0	1 0	1 0	0 0
Personel 4	1 0	1 0	1 0	0 0

Elde edilen Tablo 2.4'de sıfırları taşıyan en az doğru sayısı dört olup, işlem noktası sayısına eşittir. Böylece en iyi çözüme erişilmiştir.

Beşinci Adım: Dördüncü adımın sonunda bulunan tabloya göre, birinci işlem noktasına iş görenlerden herhangi biri, ikinci işlem noktasına birinci iş gören dışında diğerlerinden biri, üçüncü işlem noktasına herhangi biri ve son olarak da, dördüncü işlem noktasına ikinci iş gören dışında kalanlardan birinin atanmasıyla en iyi çözümün bulunacağı anlaşılmıştır.

Sözelimi, diğer $\chi_{ij} = 0$ olmak üzere $\chi_{11} = 1$, $\chi_{22} = 1$, $\chi_{33} = 1$ ve $\chi_{44} = 1$ çözümleri bu çözümlerden biridir. Benzer şekilde $\chi_{14} = 1$, $\chi_{21} = 1$, $\chi_{32} = 1$ ve $\chi_{43} = 1$ çözümü de en iyi çözüm olmaktadır. Görüldüğü gibi modelin birden fazla en iyi çözümü vardır, ancak amaç fonksiyonu bu çözümlere karşı gelen değerleri aynıdır. Amaç fonksiyonu değeri her iki çözüm sonucu için $\chi_0 = 14$ olduğu görülmektedir.

2.6. Kaynaklardaki Matematiksel Modeller

Bu kısımda bu tezde ele alınan personel atama problem tipine en yakın olduğu düşünülen alan yazında var olan Çimen [20] ve Erciyes [21] tarafından önerilmiş olan matematiksel modeller tanıtılmıştır.

2.6.1. Çimen modeli

Çimen [20], tarafından hava birlikleri personelinin atamasında çok amaçlı model kullanmıştır. Önerdiği karar destek modelinde üç farklı amaç kullanmıştır [20]. Birincisi personel ve kadro eşleme derecesinden oluşan kurumun memnuniyeti, ikincisi personelin kariyer gelişim derecesi son amaç ise personelin tercihlerine atanma memnuniyetinden oluşmaktadır. Önerilen model öncelikli programlama yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Personel memnuniyetini artırmak için modelinde eski tercihleri de kullanmıştır. Çimen [20]'e ait matematiksel modelde kullanılan dizinler, parametreler ile karar değişkenleri ayrıntıları aşağıda verilmiştir.

Dizinler ve parametreler

i *Personel*

j *Görevler(kadrolar)*

C_{ij} *Personel ve görevin eşleşme derecesi. Kurumun i . personeli j . göreve atama memnuniyetidir.*

D_{ij} *Kariyer gelişimi derecesi. i . personelin j . göreve atanması durumunda beklenen kariyer gelişimidir.*

E_{ij} *Personel tercihlerinin eşleşme derecesi. i . personelin j . göreve atanması durumunda elde ettiği memnuniyettir.*

Karar değişkenleri

x_{ij} *i . personelin j . kadrosuna atanması durumunda 1, diğer durumlar için 0*

Matematiksel model

Birinci alt problem

$$\sum_{j=1}^J \chi_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, 3, \dots, I \quad (2.29)$$

$$\sum_{i=1}^I \chi_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, 3, \dots, J \quad (2.30)$$

kısıtları altında

$$\text{En büyük } Z_1 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J D_{ij} \chi_{ij} \quad (2.31)$$

İkinci alt problem

$$\sum_{j=1}^J \chi_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, 3, \dots, I \quad (2.32)$$

$$\sum_{i=1}^I \chi_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, 3, \dots, J \quad (2.33)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J D_{ij} \chi_{ij} \geq Z_1 \quad (2.34)$$

kısıtları altında

$$\text{En büyük } Z_2 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J E_{ij} \chi_{ij} \quad (2.35)$$

Üçüncü alt problem

$$\sum_{j=1}^J \chi_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, 3, \dots, I \quad (2.36)$$

$$\sum_{i=1}^I \chi_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, 3, \dots, J \quad (2.37)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J D_{ij} \chi_{ij} \geq Z_1 \quad (2.38)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J E_{ij} \chi_{ij} \geq Z_2 \quad (2.39)$$

Kısıtlar altında

$$\text{En büyük } Z_3 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_{ij} \chi_{ij} \quad (2.40)$$

Yukarıdaki modelde her bir modelin ilk iki kısıtı temel atama kısıtıdır. Eşitlik (2.34) ile (2.38) birinci alt problem sonucu çözölen personel ve görevin eşleşme derecesi, eşitlik (2.39) ikinci alt problem sonucu çözölen personel tercihlerinin eşleşme derecesidir. Genel problemin amaç fonksiyonu eşitlik (2.40) ise personelin göreve atanmasında kurumun memnuniyet derecesidir [20].

Çimen [20]'in modelinde personel puanı, görev puanı, atama maliyeti, personelin rütbe seviyesi, görev süreleri, bölgeler arası zorunlu rotasyon gibi bazı atama kriterleri dikkate alınmamıştır.

2.6.2. Erciyes modeli

Erciyes [21], 2004 yılında tezinde atamayı etkileyen 8 ana kriter belirlemiş ve kriterlerin önem derecelerini analitik hiyerarşi metodunu kullanarak çözmüştür. Erciyes [21]'e ait matematiksel modelde kullanılan dizinler, parametreler ile karar değişkenleri ayrıntıları aşağıda verilmiştir.

Dizinler ve parametreler

i *Personel sayısı ($i=1,2,3,\dots,I$)*

j *Atama bölgesi sayısı ($j=1,2,3,\dots,J$)*

P_{ij} *i. Personel j. bölgeye atandığında kazanılan fayda değeri*

P_{ijm} i . Personel j . bölgeye atandığında m . Kriterden kazanılan fayda değeri ($m=1,2,3...8$)

Karar değişkenleri

χ_{ij} i . personelin j . bölgeye atanması durumunda 1, diğer durumlar için 0

a_{ijk1} i . personelin j . bölgede k kriterinin l alt kriterine uyması durumunda 1, diğer durumlar için 0,

Matematiksel model

$$\sum_{j=1}^J \chi_{ij} = 1 \quad i = 1,2,3, \dots I \quad (2.41)$$

$$\sum_{i=1}^I \chi_{ij} = 1 \quad j = 1,2,3, \dots J \quad (2.42)$$

$$P_{ij1} = \sum_{m=1}^8 P_{ijm} = 1 \quad (2.43)$$

$$P_{ij1} = 0.149a_{ij11} + 0.159a_{ij12} + 0.031a_{ij13} + 0.021a_{ij14} \quad (2.44)$$

$$P_{ij2} = 0.023a_{ij21} + 0.012a_{ij22} + 0.006a_{ij23} + 0.003a_{ij24} + 0.001a_{ij25} \quad (2.45)$$

$$P_{ij3} = 0.01a_{ij31} + 0.005 + 0.002a_{ij33} + 0.001a_{ij34} + 0.001a_{ij35} + 0.004a_{ij36} \\ + 0.04a_{ij37} + 0.042a_{ij38} + 0.007a_{ij39} \quad (2.46)$$

$$P_{ij4} = 0.017a_{ij41} + 0.002a_{ij42} + 0.003a_{ij43} + 0.001a_{ij44} \quad (2.47)$$

$$P_{ij5} = 0.017a_{ij51} + 0.017a_{ij52} + 0.017a_{ij53} + 0.017a_{ij54} \quad (2.48)$$

$$P_{ij6} = -0.011a_{ij61} - 0.002a_{ij62} - 0.004a_{ij63} - 0.001a_{ij64} + 0.002a_{ij65} \\ + 0.003a_{ij66} + 0.006a_{ij67} + 0.008a_{ij68} + 0.016 \quad (2.49)$$

$$P_{ij7} = 0.011 + 0.041a_{ij72} + 0.141a_{ij73} + 0.026a_{ij74} + 0.001a_{ij75} + 0.002a_{ij76} \\ + 0.004a_{ij77} + 0.008a_{ij78} + 0.016a_{ij79} \quad (2.50)$$

$$P_{ij8} = 0.014a_{ij81} + 0.014 + 0.014a_{ij83} + 0.014a_{ij84} + 0.008a_{ij85} \\ + 0.003a_{ij86} \quad (2.51)$$

Kısıtları altında

$$\text{En büyük } Z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_{ij} X_{ij} \quad (2.52)$$

Yukarıdaki modelde (2.41) her bölgeye bir personelin atanması, (2.42) her personelin bir bölgeye atanması, (2.43) i. personelin j. bölgeye atanması için tüm kriterlerden elde ettiği toplam fayda değerini, (3.44) sağlık durumundan kazanılan faydayı, (2.45)tercih durumundan kazanılan faydayı, (2.46) eşin çalışma ve çocukların okul durumundan kazanılan faydayı, (2.47) medeni durumdan kazanılan faydayı, (2.48) kurs durumundan kazanılan faydayı, (2.49) ödül ve ceza (ödül +, ceza – olarak alınmıştır) durumundan kazanılan faydayı, (2.50) hizmet ihtiyacı durumundan kazanılan faydayı, (2.51) görev safahatı durumundan kazanılan faydayı sağlayan kısıtlarıdır. Amaç fonksiyonu ise personelin ve görev yerlerinin atama kriterlerini karşılamasında sağlanan en iyi fayda değeridir [21].

Erciyes [21]'ün çalışması herhangi bir ile atanan personelin alt birimlere dağıtılması problemi olduğundan rotasyon, görev süresi, atama maliyetleri kısıtlarına yer verilmemiştir. Ayrıca ilgili kurumda atamayı etkileyen birçok kriterin dikkate alınmasıyla hesaplanan görev yeri puanı ve hizmet puanı söz konusu çalışmada kullanılmamıştır.

3. ALAN YAZIN TARAMASI

Bu bölümde, mevcut alan yazın kapsamındaki personel atama problemleri (PAP) ile ilgili genel bilgiler verilecektir. Daha önce değinildiği gibi atama problemlerinin ilk çalışmaları 1950 yıllarında yapılmıştır. 1955 yılında atama problemi Kuhn'ın çözümünü ele aldığı "Macar Algoritması Metodu" makalesinin yayınlanması ile yaygınlaşmıştır. Atama problemleri çözümünde bugüne dek birçok çözüm tekniği geliştirilmiştir. İlk atama problemleri genellikle tek amaçlı ve maliyet temelli modeller kullanılmıştır ([4]-[6]). Gerçek problemlerin birçoğu çok amaçlı olduğu için sonraki yıllarda çok amaçlı modeller tek amaçlı modellerin yerini almıştır. ([7]-[9]). Toroslu [17] personel atama problemi çözümünün NP-Tam problem olduğunu belirtmiştir.

Birçok alanda personel atama çalışmaları yapılmıştır. Juri/hakem ataması, proje yönetimi, sağlık yönetimi, otel yönetimi, üretim yönetimi, askeri yönetim, bakım/onarım yönetimi, spor yönetimi, eğitim sistemi gibi birçok alanda çalışmalar yapılmıştır ([16],[14]). Bu tezde güvenlik hizmeti veren bir kamu kurumuna ait atama problemi ele alındığı için daha çok güvenlik alanındaki personel atama problemleri taranarak benzer kurumlardaki atama problemleri ile ilgili çalışmalar üzerine yoğunlaşmıştır.

Güvenlik birimleri alanındaki çalışmalar genellikle Amerika Birleşik Devletleri (ABD) deniz birliklerinde yapılmıştır. ABD deniz birliklerinin ataması için 1968 yıllarında "BUPERS" olarak adlandırılan bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Daha sonra 1974'te bilgisayar destekli "CADA" ismi verilen personel dağıtım ve atama sistemi Malone, Pehl, Thorpe ve Tate tarafından geliştirmiştir. 1977'de ise Klingman, Karney ve Glover atama problemi çözümünde ağ akış algoritmasını kullanmıştır. Önerilen bu teknikler kurumlar tarafından uzun vadede kullanılmamıştır[22]. Birleşik devletlerin hava ve kara birliklerinde de deniz birliklerine benzer yöntemler geliştirilmiş ancak çok zamana ve bilgisayar hafızasına ihtiyaç duyulduğundan "CADA" ve "BUPERS" gibi bilgisayar destek sistemleri uygulamaya geçirilememiştir. Revenis, Trippi ve Ash 1974'te ele aldıkları askeri atama problemi çözümünde "Ford-Fulkerson" şebeke akış tekniğini kullanan bir model ile algoritma önermişlerdir [23]. Philips ve Klingman 1984 yılında büyük boyutlu asker atama

problemi çözümünde öncelikli hedef programlama tekniği kullanmıştır [24]. 1986 yılında Thompson ve Liang denizci askeri personelin ataması için tercihleri ve mesafeleri ağırlıklandıran bir model önermiştir [19]. Krass ise 1987 yılında denizci askeri personelin ataması problemini iki aşamada çözmüştür. Öncelikle “Macar Algoritması” ile bir başlangıç çözümü bulmak, sonraki aşamada ise başlangıç çözümü kullanarak daha iyi çözümler elde eden bir algoritma önermiştir [25]. Lin ve diğ. [13], parçacık sürüsü algoritmasını yardımıyla çok amaçlı personel atama problemini çözmüştür.

Vannucci, Garrett, Silva, Simien ve Dasgupta 2005 yılındaki çalışmasında “NSGA-II ve SPEA2” olarak adlandırılmış ve kullanım sıklığı fazla olan algoritmaları performansları ile karşılaştırmıştır [26]. Sonraki çalışmalarında Vannucci, Garrett, Silva ve Dasgupta ve durağan eşleştirme algoritması “Gale-Shapley” ve genetik algoritmayı karşılaştırmıştır [27]. Lewis ve diğ. [11], yaptıkları denizci personeli ataması çalışmalarında şebeke akış modelini kullanmıştır. Amaç fonksiyonunda; denizdeki birlik görevine atama maliyeti, kıyı görevine atama maliyeti, kurs yerinden denizdeki görevine atama maliyeti, kurs görmeden denizdeki görevine atama maliyeti, kurs maliyeti, gemi görevine atama maliyeti ve kurs sınıfı açma maliyetleri gibi birden fazla atama maliyeti kullanılmıştır. Ayrıca modele [11], kurs yerlerine ve gemi görevlerine atama kısıtları ilave edilmiştir. Dasgupta vd. [28], 2008 yılındaki çalışmasında denizci personel ataması problemlerinin birden fazla amaç fonksiyonuna sahip olduğunu ve tam eşleşmenin zor olduğuna belirtmiştir. Çok amaçlı denizci personel atama problemlerinin tek amaca düşürdükten sonra “Macar Algoritması” ile çözmeyi önermiştir. Dasgupta vd. [29], 2009 yılındaki çalışmasında işlerin yapılacağı zaman dilimlerini dikkate alan denizci personel atama problemini ele almıştır. Shekofteh, Ghaemi, Khakmardan, Farimani ve Poostchi [30], 2014 yılındaki denizci personel ataması probleminde hibrit-parçacık sürüsü sezgiselini kullanmıştır. Alfredo ve Portilla [31], 2010 yılındaki çalışmasında atanan kişinin davranışlarını taklit eden açgözlü ve rassal çevrimiçi algoritmalarını kullanmıştır. Dasgupta vd. [32], birden fazla amaca sahip genetik algoritmayı farklı iki probleme uygulamıştır. Mehlat, Mittal ve Gupta [33], 2013 yılındaki çalışmasında, personel atama problemini zaman, maliyet ve kalite kriterlerine ölçüt vererek çok ölçütlü karar verme tekniğine dönüştürerek bulanık mantık ile çözmüştür. Problemin [33], temel atama kısıtlarına bir göreve birden fazla personelin ataması ile sırt çantası problemi kısıtları eklenmiştir. Dholakiya, Gupta, Khanna ve Prakash [34], 2021 yılındaki mürettebatın gemiye atanması problemi çalışmasını Macar Algoritması kullanarak

çözmüştür. 2021 yılında Ludden, Pavlik ve Sewel [33], Covid-19 hastalığının seyahatlerde bulaşmasını önlemek için hava yolu ile seyahatlerde koltuk atama problemini çalışmıştır.

Güvenlik birimleri atamaları konusunda ülkemizde az sayıda çalışma bulunmaktadır. Çimen [20], tez çalışmasında önerdiği çok amaçlı karar modelini hava kuvvetleri personel atamalarında uygulamıştır. Modelde [20], personel ile kadroların uygun eşleşme durumunu gösteren kurum memnuniyeti, atamalar sonucunda beklenen değer ile personelin kariyer gelişimi, öncelikli tercihlere atanma durumunu gösteren personelin memnuniyeti amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Önerilen model öncelikli hedef programlama tekniği kullanılarak çözülmüştür. Ayrıca Çimen [20]'in çalışmasında, personelin memnuniyetini arttırmak için tercih önceliklerine değer verilerek eski tercihler de modele ilave edilmiştir.

Korkmaz ([36],[37]), Gökşen ve Çetinyokuş [37] tarafından hem kurum hem personel tercihlerini dikkate alan çift taraflı eşleşme algoritması önerilmiştir. Önerilen algoritmanın askeri personelin atanması problemlerinde kullanılması için karar destek sistemi önerilmiştir. Ayrıca atama görececek personelin; eğitimi, medeni hali, konuştuğu diller, cinsiyeti, branş durumu ve tercihleri temel atama kriterleri olarak belirlenmiştir. Toroslu [17], 2003 yılındaki çalışmasında, personeli rütbe seviyelerine göre ayrıştırarak personelin rütbesini veya hiyerarşik durumunu dikkate alan hiyerarşik atama problemini tanımlamıştır. Toroslu [17], hiyerarşik atama problemi çözümü için sezgisel ve yaklaşık algoritmalar tanımlamıştır. Acar, Güzel ve Erdal [38] çalışmasında, güvenliği sağlayan kolluk birimlerinin kullandıkları görev araçlarının etkinliği için matematiksel model önermiştir. Araç bakımlarının etkinliği, araçların teknik kapasite durumu, maliyet ve zaman ana kriterleri ile 15 alt kriter kullanılarak araçların etkinliği AHP yardımı ile çözülmüştür. Toroslu ve Arslanoğlu [12] 2009 yılındaki çalışmasında, personel rütbe seviyelerini dikkate alan hiyerarşik atama problemini ele almıştır. Önerilen çok amaçlı hiyerarşik atama problemi için GA önerilmiştir.

İlkuçar [19] çalışmasında, personelin tercih önceliklerini, kıdem durumunu ve birikimli hizmet puanı kriterlerini dikkate alan hekim atama problemi için genetik algoritma kullanmıştır. Tanımlanan amaç fonksiyonunda kurumun atama durumundan memnuniyeti ölçülmektedir. İki personelin aynı görevi tercih etmesi durumunda birikimli hizmet puanı yüksek olan personel öncelikli olarak atanmaktadır. Bu atama modelinde birikimli hizmet

puanı iyi personelin tercihleri önceliklidir. İlkuçar [19]'ın modelinde sadece tercih yapan personel ataması yapılmıştır.

Aksakal ve Dağdeviren[38] çalışmasında, çok ölçütlü tekniklerinden Analitik Hiyerarşi Prosesini (AHP) kullanmıştır. Personelin çalışma gücü ve yetenekleri hakkındaki değerlendirmeler hedef(goal) programlama kısıtına dönüştürülmüş olup atama problemi üzerine etkileri incelenmiştir. Gökkaya ve Kellegöz [39] çalışmasında üç aşamalı Karar Destek Modeli (KDM) önermiştir. Atama kriterleri belirlendikten sonra “AHP” kullanılarak bu kriterlerin ağırlık dereceleri belirlenmiş, sonra “TOPSIS” yardımıyla atama puanı hesaplanmıştır. Ardından atama puanı toplamı en büyük yapılarak “Macar Algoritması” ile atamalar gerçekleştirilmiştir. Bulut [41] çalışmasında, işe gelemeyen personelin yerine başka bir personel atanması ya da görevlerin diğer personele paylaştırılması için bir “KDS” geliştirmiştir. Aygün, Tutumlu ve Saraç [42] çalışmasında, personelin yetenekleri yanında sağlık durumlarının dikkate alındığı atama problemlerini ele almıştır. Erter [43] çalışmasında, çok kaynaklı genelleştirilmiş atama problemini ele almıştır. Erter[43], görevlerin dengeli olarak dağıtılması ve atama görececek personel sayısının en az olması için personel sayısını en küçükleyen büyük ölçekli problemlerin çözümünde tavlama benzetimi (TB) algoritmasını önermiştir.

Personel atama probleminin ele alındığı kurumda az sayıda bilimsel çalışma yapılmıştır. Erciyes [21], çalışmasında, atamayı etkileyen 8 kriterli “AHP” kullanarak il merkezlerine atama personelin ildeki diğer görevlere atamasını sağlayan “KDS” geliştirmiştir. Bu çalışmada bir ilde valilik emrine atanan personelin il içindeki ataması yapılmıştır. Önerilen modelde tercih öncelikli atama yapılmamaktadır. Personel tercihlerine sayısal değer verilerek tercih durumu diğer kriterlerle beraber değerlendirilmiştir. Çiçek [44], çalışmasında aynı kurumun merkezi atama sistemini dikkate alarak tercih sayısı ağırlıklı “KDS” önermiştir. Önerilen çalışmada tercih sayısının fazla olması ve ilk aşamada tercihi yerleşemeyen personele ikinci aşamada tercih hakkı verilmesi suretiyle personelin çoğunun tercihlerinden birine atanması hedeflenmiştir. Tercih sayısının fazla olması ve ikinci tercih hakkı verilmesi personelin tercihi atama olasılığını yükseltmiştir. Ancak personelin birinci, ikinci veya üçüncü tercihi ataması ile doksan dokuzuncu veya yüzüncü tercihi ataması aynı memnuniyeti vermez. Bu nedenle bu tezde, tercihlerden

herhangi birine atanmak yerine, personelin öncelikli tercihlerine atanmasını kolaylaştıran toplam tercih kısıtlarına yer verilmiştir.

Riskli görev bölgelerine tecrübesi fazla personelin atanması gerekmektedir. Ancak az tercih edilen görevler tecrübesi fazla olan personel tarafından fazla tercih edilmediği için önerilen modelde personel tercihi dışında bir göreve de atanabilir. Kurumun yürürlükteki personel atama yönetmeliği uyarınca görev süresini dolduran personelin daha önce görev yaptığı hizmet bölgeleri dışındaki bölgelere kadro ve rütbe uyumu ile zorunlu rotasyonu sağlanmıştır. Görevlerin zorlukları, yaşam alanlarının personel ve ailesine sağladığı imkanlar gibi kriterler atama durumunu etkileyen önemli değişkenlerdir. Görev yeri ve süresine bağlı olarak her personel için hesaplanan puanlar ile görev yeri puanı görev yerlerinin atama kriterine göre hesaplandığı için bu iki puan türü birlikte kullanılmıştır. Alan yazındaki atama problemleri birikmiş hizmet puanını kullanmıştır. Ortalama hizmet puanı ve görev puanlarının birlikte kullanıldığı atama problemlerine rastlanmamıştır.

Bu tezde ele alınan atama probleminde, görev süresini dolduran personelin zorunlu rotasyon ile daha önce çalışmadığı bölgelere ataması sağlanmaktadır. Ayrıca her noktada yeni personel ile tecrübesi fazla olan personelin beraber çalıştırılması hedeflenmektedir. Bu nedenle sadece tecrübeli personelin öncelikli tercihlerine atanmasını sağlayan birikimli hizmet puanı kullanılmamıştır. Riskli görevlerde tecrübeli personeli çalıştırmayı sağlayan bir atama modeline ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca kurumun hiyerarşik yapısını korumak için atamalarda rütbe seviyeleri dikkate alınmaktadır. Dünya nüfusun sürekli artmasıyla mevcut kaynaklar yetersiz kalacağından yapılan işlerin en az maliyetle yapılması gerekmektedir.

Bu bağlamda ele alınan atama problemi için önerilen modelde; alan yazında tanımlı temel atama kısıtlarının yanında, personelin çalışma süresi boyunca her bölgede çalışmasını sağlayacak rotasyon kısıtları, görev süresini doldurmayan personelin bulunduğu yerdeki diğer görevlere atanabilme kısıtı, görev süresini dolduran personelin zorunlu olarak atamasını sağlayacak görev süresi kısıtları, atamaların hiyerarşik düzene göre yapılmasını sağlayan rütbe kısıtları, tercih dışı atamaya da izin veren ancak tercih sıralamalarını dikkate alan tercih toplamları kısıtları ile toplam atama maliyeti kısıtlarını tümüyle dikkate alan başka bir modele rastlanmamıştır. Bu özellikleriyle tanımlanan probleme özgü olarak önerilen model alan yazındaki mevcut atama modellerinden farklı bir yapıdadır.

4. PERSONEL ATAMA PROBLEMİ

Bu bölümde önce personel atama amacıyla bilimsel bir çalışmaya gereksinimi olan ilgili kurumun atama problemi tanımlanmıştır. Sonra personel atama problemi için önerilen matematiksel model sunulmuştur. Devamında ise önerilen model kullanılarak çözülen test problemlerinin sayısal analizine yer verilmiştir.

4.1. Problemin Tanımı

Bu tezde, her atama döneminde birçok personelin yer değiştirdiği ülke genelinde güvenliği sağlayan bir kurumun atama sistemi üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Atama problemi ele alınan kurumda personel atamaları; personele ait görev puanları, görev süreleri, rütbe seviyeleri, görevin yeri ve niteliğine bağlı zorunlu yer değiştirme süreleri(rotasyon), sağlık ve ailevi nedenler gibi kriterlere göre yapılmaktadır. Kuruma ait personel atama yönetmeliği[18], 2021 yılında güncellenmiş, atamalar bu mevzuata göre yapılmaktadır.

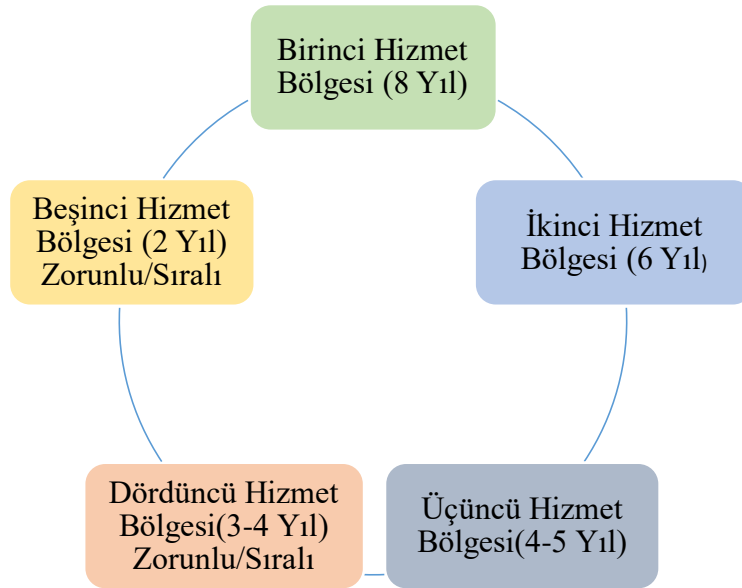
Kurum personeli belli bir disiplin içinde ve ilgili yönerge uyarınca diğer bazı kamu kurumlarında çalışan personele göre daha sık atanmaktadır. Bunun başlıca nedenleri aşağıda açıklanmaktadır:

- Doğu ve Güneydoğu illerini kapsayan bölgelerde, personelin sırayla görev yapma zorunluluğu ve bu bölgelerdeki görev sürelerinin kısa olması,
- Görev süresini tamamlayan personelin yer değiştirme zorunluluğu,
- Terfi veya rütbe değişikliği nedeniyle görev ve kadro uyumsuzluğunu gidermek için atama zorunluluğu,
- Yeni birimlerin kurulması veya işlevselliği kalmayan bazı birimlerin kapatılması,
- Personelin kendisi, eş veya çocuklarının sağlık, eğitim vb. geçerli mazeretleri nedeniyle görev sürelerini doldurmadan yer değiştirme gereksiniminin doğması.

Personel atama çalışmaları her yıl aralık ayında rotasyona tabi olan personelin ve boş görevlerin açıklanması ile başlamaktadır. Şubat ayında personel tercihleri alınmakta ve özel durumu olan personelin bilgileri belgeleri ile sisteme kaydedilmektedir. Mart-Nisan aylarında binlerce personelin durumu atama şubeleri tarafından incelenmekte ve her yıl

Mayıs-Ekim aylarında atamalar yapılmaktadır. Atama nedeniyle boşalacak veya mevcut durumda boş olan görevin rütbesi ile atanacak personelin rütbesine uygunluğuna göre atamanın yapılması gerekmektedir.

Üstlendiği kritik görevler nedeniyle ülkenin her biriminde yeteri miktarda personelin çalıştırılması zorunluluğu bulunmaktadır. Kurum ihtiyaçlarının karşılanması zorunluluğundan, personel mecburi atamalara tabi tutulmaktadır. Personelin görev yerleri çalışma şartları ve yerleşim birimlerinin koşulları dikkate alınarak beş bölgeye ayrılmıştır. Bölgeler arasında, gelişmişlik düzeyi, barınma durumu, okul sayısı, hastane sayısı, nüfus yoğunluğu, güvenlik seviyesi, coğrafya zorlukları vb. farklılıklardan dolayı çalışanların tüm bölgelerde görev yapması kurumun önemli atama kriterlerindendir. Beş bölgeden oluşan görev yerleri Şekil 4.1’de verildiği gibi derecelendirilmiştir. Sağlık, görev ihtiyacı gibi istisnalar dışında her bölgede personelin çalışabileceği en fazla görev süresi ilgili mevzuatla belirlenmiştir. Atandığı bölgedeki görev süresi kadar çalıştıktan sonra personelin başka bir bölgeye ataması prensibine göre atamalar yapılmaktadır. Dördüncü ve beşinci hizmet bölgelerinde personel sıra ile zorunlu atama kapsamında çalıştırıldığından kurumda bölgeler arası atama rotasyonu uygulanmaktadır. Kurumun güncel mevzuatında bölgeler; birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü ve beşinci hizmet bölgeleri olarak derecelendirilmiş olup bu bölgelerdeki çalışma süreleri sırasıyla 8, 6, 4 veya 5, 3 veya 4, ve 2 yıldır.



Şekil 4.1. Görev bölgeleri ve azami görev süreleri

Görev yerlerinin bulunduğu il, ilçe, köy vb. yerleşim yerlerinin durumlarına göre belirlenmiş atama yerleri bölge olarak tanımlanmıştır. Toplamda 81 il ile 922 ilçede 2000 üzerindeki noktada güvenlik hizmeti sunulmaktadır. Her bir görev noktası için Tablo 4.1'deki örnekteki gibi atamayı etkileyen birçok kriterin kullanılması ile görev yeri puanları hesaplanmaktadır. İlgili kurum dokuz ana kriter ve 70 alt kriteri dikkate alarak atamalarda kullandığı görev yeri puanlarını en son 2013 yılında güncellemiştir.

Personel dört ve beşinci bölge görevlerinde zor şartlar altında çalıştığından kritik ve riskli bölgelerin görev süreleri diğer bölgelerden kısadır. Kesintisiz olarak yürütülmesi gereken bu tür görevlerin aksamadan yapılması için sıra ile tüm personel sıralı veya zorunlu hizmet bölgeleri olarak adlandırılan bu bölgelerde çalışmak zorundadır. Görev süresini dolduran personelin farklı görev bölgelerinde başka görevlere ataması yapılır.

Mevcut sistemde her bir personel için iki ayrı hizmet puanı (*doğu puanı ve batı puanı*) hesaplanmaktadır. Bu kurumda atamalar; merkezi ve gelişmiş görev noktalarında çalışan bireylerin devam eden atamada zor koşullar içeren küçük yerleşim bölgelerindeki görev yerlerine, zor koşullar içeren küçük yerleşim birimlerinde görev yapanlar çalışanların devam eden atamada gelişmiş bölgelerdeki görevlere atanacak şekilde yapılmaktadır.

Mevcut durumda kurumun personel atamalarında kullandığı herhangi bir analitik model bulunmamaktadır. Üst seviyedeki atamalar ile atamalarda kullanılan verilerin hesaplamaları elle veya ofis programları kullanılarak yapılmaktadır. Alt seviyedeki personelin atamasında bilgisayar otomasyonunda yararlanılmaktadır. Atama otomasyonunda sezgisel veya yapay zekâ algoritması kullanılmamaktadır. Atama sıklığı, atanacak personel sayısı ve görev yeri sayısının çok olması nedeniyle mevcut uygulamada personel hizmet puanı ile görev yeri puanları arasındaki denge sağlanarak atama yapmak zorlaşmaktadır. Bu tezde, yukarıda açıklanan özelliklere sahip ilgili kurumun mali görevlerini yürüten personelin mali birimlere atanması problemine model önerilmiştir. 2021 yılında yayınlanan personel atama mevzuatı doğrultusunda kurumun ihtiyaçları ve yönetmelikte yer alan kurallara göre ele alınan atama probleminin özellikleri detayları ile aşağıda verilmektedir;

1. Beş görev bölgesi içinde toplam 120 tane maliye birimi(görev yeri) bulunmaktadır. Her maliye biriminde üç farklı görev tipi yer almaktadır. Personel, görev yerlerinin 2 ile 8 yıl arasında değişen görev sürelerine göre rotasyon işlemine tabi

tutulmaktadır. Personelin il dışına atanabilmesi için asgari görev süreni doldurması gerekir. Kurumun atama mevzuatında her görev yerinin çalışma süreleri verilmiştir.

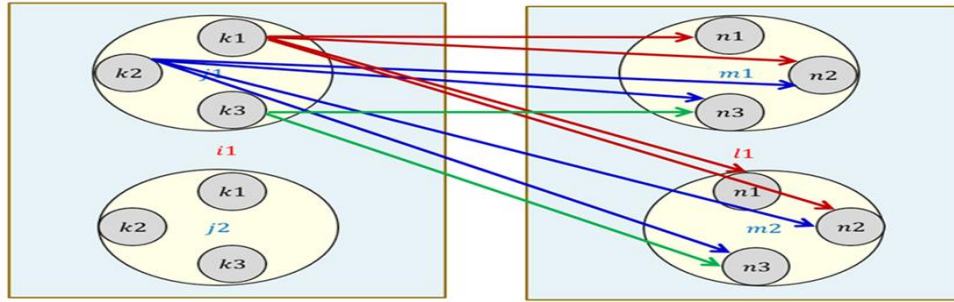
Tablo 4.1. Hizmet bölgeleri, görev süreleri ve puanları örnekleri

SIRA	GÖREV YERİ	HİZMET BÖLGESİ	GÖREV SÜRESİ	GÖREV PUANI
1	Adana	1	8	690
2	Ankara	1	8	990
3	Antalya	1	8	700
4	Aydın	1	8	710
5	Bursa	1	8	750
6	Afyonkarahisar	2	6	610
7	Bolu	2	6	650
8	Düzce	2	6	630
9	Edirne	2	6	590
10	Gaziantep	2	6	650
11	Adıyaman	3	4	450
12	Amasya	3	5	530
13	Bilecik	3	5	520
14	Burdur	3	5	530
15	Çankırı	3	5	510
16	Ağrı	4	4	515
17	Batman	4	4	500
18	Bingöl	4	3	440
19	Bitlis	4	4	470
20	Diyarbakır	4	4	620
21	Şırnak	5	2	360
22	Hakkari	5	2	330
23	Bingöl Kıyı	5	2	325
24	Şırnak Beytüşşebap	5	2	240
25	Diyarbakır Lice	5	2	220

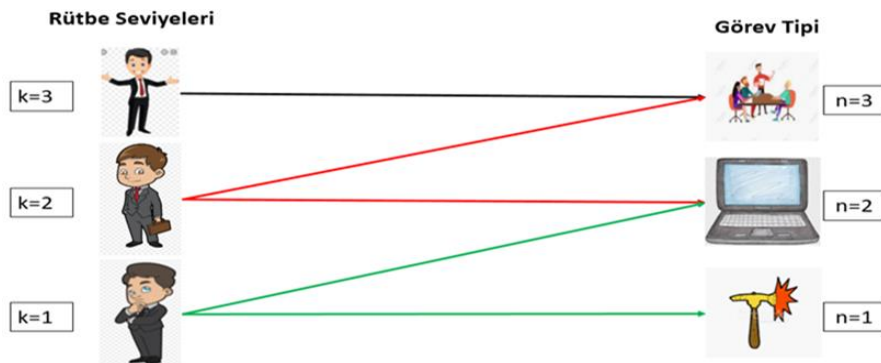
2. Kritik görevlerin yürütüldüğü dört ve beşinci bölgeler zorunlu veya sıralı hizmet bölgeleri olduğundan bu görevlerde çalışan personel görev süresini doldurmadan diğer bölge görevlerine atanamaz. Bu bölgeler daha çok ülkemizin Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yer almaktadır.

3. Zorunlu hizmet bölgelerinde görev süresini dolduran personel diğer bölgelerdeki (1,2,3) görevlere atanması sağlanır. Diğer bölgelerdeki görevlerde çalışan personel de görev süresini doldurunca başka bir bölge görevine atanır. Görev süresini dolduran personel daha önce çalıştığı bölgeler dikkate alınarak öncelikle zorunlu hizmet bölgelerine, zorunlu hizmet bölgesine atanmadığı durumda diğer bölgedeki görevlere atanır.

4. Maliye birimlerinde, görevler ile personel üç farklı rütbe seviyesine göre yapılandırılmıştır.
5. Personelin tüm bölgelerde görev yapmasını sağlamak için atama gördüğü her dönemde farklı görev bölgesine atanması sağlanmalıdır.
6. Atama ve yer değiştirme çalışmalarında ilgili yılın bütçe ödeneği dikkate alınmaktadır.
7. Personel, atama istek formları üzerinden tercih ettiği görev yerlerini seçer ancak personel tercih ettiği görev dışındaki başka görevlere de atanabilir.
8. Atama probleminin serim gösterimi Şekil 4.2’de; atamalarda rütbe hiyerarşisini gösteren ve rütbe seviyelerine göre personelin atanabileceği rütbe düzeylerinin gösterimi Şekil 4.3’te görülmektedir.



Şekil 4.2. Atama problemi serim gösterimi



Şekil 4.3. Atama probleminde hiyerarşik durum

4.2. Personel Atama Modeli

Bu tezde ele alınan personel atama modeli ile ilgili ayrıntılar izleyen aşamada yer verilmiştir. Yukarıda tanımlanan problemin çözümü için indeks kümeleri, parametreler, karar değişkenleri tanımlanmış ve aşağıdaki matematiksel model önerilmiştir.

Dizin kümeleri, parametreler:

I Personelin atama öncesi görev bölgeleri

J *I* bölgeleri içinde yer alan atama öncesi görev yerleri (il, ilçe, kasaba vb.)

K Personel

L Personelin atama görebileceği görev bölgeleri

M Personelin atama görebileceği görev yerleri veya iller

N Personelin atanabileceği görev veya kadro tipleridir.

BHP Birikimli hizmet puanı: Görev süresine göre görev yerlerine göre hesaplanan puanlardır. Literatürde ve kurumların atamalarında öncelikle en yüksek puana sahip personel ilk tercihine atanır. Bu tezde; gelişmiş bölgelerde yer alan veya çok tercih edilen görevlerde çalışan personel düşük puana sahip iken gelişmemiş ya da zor koşullar içeren bölgelerde çalışan personel ise düşük hizmet puanına sahiptir. Bu nedenle düşük hizmet puanına sahip personelin atamalarda önceliği bulunmaktadır. Puanı düşük olan personel büyük görev puanına sahip görevlere atanır.

THS Toplam hizmet yılı süresi (Yıl)

S_{ijk} i. bölgenin j. görev yerinde çalışan k. personele ait ortalama hizmet puanıdır.

$$\left(S_{ijk} = \frac{BHP}{THS} \right)$$

F_{lmn} l. bölgenin m. görev yerinin n. görevine ait görev yeri puanları: Bu puanlar çalışma noktalarının gelişme durumu, yaşamsal olanakları, Coğrafya ve iklimsel koşulları, eğitimi, günlük yaşam, sosyal yapı, sağlık, kültürel olanaklar, güvenlik ve asayiş durumu, çalışma şartlarındaki avantajlar, iletişim olanakları ile diğer olanaklar dikkate alınarak ilgili kurum tarafından belirlenmiştir.

G_{ijk} Personelin hizmet bölgelerinde çalışma durumunun kronolojik gösterimi: G_{ijk} değeri son görev yapılan bölge için I, eski çalışma bölgesi için (I – 1), daha öncesi için (I – 1), (I – 2), (I – (I – 1)) değerlerini alır. Çalışmadığı bölgelerde ise G_{ijk} (I – (I – 1)), yani 1 olur. Çalışanların daha önce görev yaptığı bölgelere atamasını önlemek üzere hizmet bölgeleri arasında rotasyonu sağlamak için kullanılmıştır.

B Rotasyon nedeniyle atamaya izin verilen bölge sayısı: Personelin önceden (hâlihazırda çalıştığı bölge dahil) çalıştığı görev bölgelerine atanmasını engellemek için belirlenmiş parametredir. Görev süresini dolduran personel için ($W_{ijk} > TW_{ijk}$ durumunda) I= bölge sayısı, t=Kronolojik olarak en son atanması engellenecek bölge sayısı olmak üzere, $B = I - t$ ile bulunur. Bulunduğu görevde görev süresini doldurmayan personel için ($W_{ijk} \leq TW_{ijk}$ durumunda) ise $B = I$ değerini alır. Örnek verecek olursak; Birinci görev bölgelerinde çalışanların G_1 değeri 5 olacağı için $5 * X_{1jk1mn} \leq 3$ eşitsizliği için X_{1jk1mn} sifıra eşitlenir. Böylece çalışan personel, çalıştığı bölgelerdeki görevler dışındaki bölgeye atanmak suretiyle rotasyon işlemi gerçekleşmiş olur.

r : zorunlu bölge sayısı

W_{ijk} i . bölgenin j . görev yerinde çalışan k . personelin çalışma süresi gösterimi:

Çalıştığı bölgedeki görevin süresini tamamlamayan personel aynı görevine devam eder.

Terfi nedeniyle rütbesi değişecek personel aynı görev yerinde farklı bir göreve atanabilir.

Personel görev süresini doldurmadan il dışı görevlere atanamaz.

TW_{ijk} i . bölgenin j . görev yerinde çalışan k . personelin çalışması gereken asgari süresi:

Görev süresine ilişkin esaslar kurumun atama yönetmeliğinde belirtilmiştir.

T_{ijklmn} i . bölgenin j . görev yerinde çalışan k . personelin l . bölgenin m . yerin n . görevini

tercih etme sırası

P Personel tarafından yapılan tercihlerin tercih sırası toplamı

M görev yerleri arası mesafe matrisi: Atama maliyetlerin temelinde görev yerleri arasındaki mesafeler yer alır. Bu nedenle uygulamada görev yerleri arasındaki mesafeler “Kara Yolları Genel Müdürlüğü” web sayfasından alınmıştır [46].

C : Toplam atama maliyeti

Karar Değişkenleri:

X_{ijklmn} i . bölgenin j . görev yerinde çalışan k . personelin l . bölgenin m . yerin n . görevine atanması 1, diğer durumda 0.

Y_{ijk} : i . bölgenin(zorunlu hizmet veya sıralı hizmet görev bölgeleri) j . görev

yerinde çalışan k . personelin görev süresinin dolmaması 1, diğer durumda 0.

Z_{ijk} : i . bölgenin (zorunlu hizmet veya sıralı hizmet görev bölgesi olmayan)

j . görev yerinde çalışan k . görev süresinin dolmaması 1, diğer durumda 0.

Tanımlanan personel atama problemi için önerilen matematiksel model aşağıda verilmiştir.

Matematiksel model:

$$\sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \chi_{ijklmn} = 1 \quad \forall \quad i, j, k \quad (4.1)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \chi_{ijklmn} \leq 1 \quad \forall \quad l, m, n \quad (4.2)$$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N G_{ijk} \chi_{ijklmn} \leq B \quad \forall \quad i, j, k \quad (4.3)$$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{n=k+2}^{(k+2) \dots K} \chi_{ijklmn} = 0 \quad (4.4)$$

$\forall \quad i = 1, 2, \dots, I \text{ için } j = 1, 2, \dots, J \text{ ve } k = 1, 2, \dots, (K - 2)$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{n=k}^{(k-1) \dots 1} \chi_{ijklmn} = 0 \quad (4.5)$$

$\forall \quad i = 1, 2, \dots, I \text{ için } j = 2, \dots, J \text{ ve } k = 2, 3, \dots, K$

$$\sum_{l=L-r+1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N W_{ijk} \chi_{ijklmn} \leq TW_{ijk} Z_{ijk} \quad \forall \quad i, j, k \quad (4.6)$$

$$i = l, \quad j = m$$

$$\forall \quad i = (L - r + 1), (L - r + 2) \dots, L \text{ için } j = 1, 2, 3 \dots J \text{ ve } k = 1, 2, 3 \dots K$$

$$\sum_{l=L-r+1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \chi_{ijklmn} = z_{ijk} \quad \forall \quad i, j, k \quad (4.7)$$

$$i = l, j = m$$

$$\forall \quad i = (L - r + 1), (L - r + 2) \dots, L \text{ için } j = 1, 2, 3 \dots J \text{ ve } k = 1, 2, 3 \dots K$$

$$\sum_{l=1}^{L-r} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N W_{ijk} \chi_{ijklmn} \geq TW_{ijk} (1 - z_{ijk}) \quad \forall i, j, k \quad (4.8)$$

$$\forall \quad i = (L - r + 1), (L - r + 2) \dots, L \text{ için } j = 1, 2, 3 \dots J \text{ ve } k = 1, 2, 3 \dots K$$

$$\sum_{l=1}^{L-r} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \chi_{ijklmn} = (1 - z_{ijk}) \quad (4.9)$$

$$\forall \quad i = (L - r + 1), (L - r + 2) \dots, L \text{ için } j = 1, 2, 3 \dots J \text{ ve } k = 1, 2, 3 \dots K$$

$$\sum_{l=1}^{L-r} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N W_{ijk} \chi_{ijklmn} \leq TW_{ijk} y_{ijk} \quad \forall \quad i, j, k \quad (4.10)$$

$$i = l, j = m, \quad \forall \quad i = 1, 2 \dots (L - r), \quad j = 1, 2, 3 \dots J \text{ ve } k = 1, 2, 3 \dots K$$

$$\sum_{l=1}^{L-r} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \chi_{ijklmn} = y_{ijk} \quad (4.11)$$

$$i = l, j = m, \quad \forall \quad i = 1, 2 \dots (L - r), \quad j = 1, 2, 3 \dots J \text{ ve } k = 1, 2, 3 \dots K$$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N W_{ijk} \chi_{ijklmn} \geq TW_{ijk} (1 - y_{ijk}) \quad \forall i, j, k \quad (4.12)$$

$$\forall \quad i = 1, 2, \dots I \text{ için} \quad j = 1, 2 \dots J \text{ ve } k = 1, 2, 3 \dots K$$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \chi_{ijklmn} = (1 - y_{ijk}) \quad (4.13)$$

$\forall \quad i = 1,2, \dots I \text{ için} \quad j = 1,2, \dots J \text{ ve } k = 1,2,3 \dots K$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N T_{ijklmn} \chi_{ijklmn} \leq P \quad (4.14)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N M_{ijklmn} \chi_{ijklmn} \leq C \quad (4.15)$$

Kısıtları altında

$$Enk Z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N S_{ijk} F_{lmn} \chi_{ijklmn} \quad (4.16)$$

Amaç Fonksiyonu ve temel atama kısıtları:

Önerilen personel atama probleminde (4.16) numaralı eşitlik ile atama puanları(görev yeri ve ortalama hizmet puanı) en küçüklenmektedir. Puanı yüksek olan personel düşük puana sahip görevlere, puanı düşük olan personel ise yüksek puanlı görevlere atanması sağlanmaktadır.

Görevlere ait puanlar, yerleşim yerlerinin sağladığı imkânlar ile görev özellikleri dikkate alınarak hazırlanmaktadır. Personelin çalıştığı süreye göre çalıştığı görev yerlerinden topladığı hizmet puanı ise, adaletli atamanın sağlanmasında atama maliyetleri ve personel isteklerinden belirleyicidir. Bu nedenle amaç fonksiyonunda ortalama hizmet ve görev yeri puanları kullanılmıştır. Birikimli hizmet puanı eski personele avantaj sağlarken yeni personeli dezavantajlı konuma sokmaktadır. Puanların önerilen şekilde kullanılmasıyla personel ve görev puanları her atama döneminde dengelenerek atamada hem kurumsal hem de kişisel memnuniyet sağlanmaya çalışılmıştır.

Böylece önerilen model ile gelişmiş bölgelerde çalışan personel devam eden atama döneminde küçük yerleşim yerlerine atanırken küçük yerleşim yerlerinde çalışan personel devam eden atama döneminde gelişmiş yerleşim yerlerine atanması sağlanır. (4.1) ve (4.2)

kısıtları temel atama kısıtlarıdır. Bu kısıtlarla, çalışanın bir görev tipine atanması ve her görev tipine bir çalışanın atanması sağlanmaktadır.

Zorunlu yer değiştirme (rotasyon) kısıtları:

Ülkemizin tüm yerleşim birimlerinde, kamunun yürüttüğü birçok hizmet çeşidi bulunmaktadır. Personel tarafından fazla istenmeyen bölgelerde ihtiyacı karşılamak amacıyla personel çalıştırmak için zorunlu atama (rotasyon) yapılmaktadır. Personelin daha önce görev yaptığı bölgelere atamasını engelleyerek bölgeler arası rotasyonu eşitlik (4.3) kısıtı sağlamaktadır [47].

Rütbe veya hiyerarşik durum kısıtı:

Organizasyonun, işletmenin ve kurumlardaki personelin belirli kriterlere göre farklı seviyelerde sınıflandırılmasına hiyerarşi denir. Söz konusu kurumda farklı rütbelerden oluşan personel çalıştırıldığından atamalar hiyerarşik yapıyı koruyacak şekilde yapılmaktadır. Hiyerarşik yapıyı korumak için modele eklenen (4.4) ve (4.5) kısıtları ile yapılan atamalarda personelin rütbe seviyeleri dikkate alınmaktadır. Personelin alt seviyedeki ve iki üst seviyedeki rütbelere atanması önlenerek rütbeye uygun görevlere atanması sağlanmaktadır. Toroslu [17], makalesinde personel atamalarında rütbe seviyelerini incelemiştir.

Görev süresi kısıtları:

Her görev yerine ait görev süreleri kurumun mevzuatında düzenlenmiştir. Görev süreleri görev bölgelerindeki çalışma şartları değiştiğinde güncellenmektedir. Örneğin 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş depremi sonrasında deprem bölgelerine ait görev süreleri geçici olarak iki yıla düşürülmüştür. Görev süreleri çok tercih edilen yerleşim yerleri ile tercih edilmeyen yerleşim yerleri arasındaki dengeyi sağlamaktır.

Görev süresi kısıtları (Sıralı veya zorunlu hizmet bölgeleri): Görev yerlerine ait süreler kurumun mevzuatında belirlenmiştir. Sıralı veya zorunlu bölgelerde çalışanlar ancak

görev süresini doldurmayı müteakip daha önce görev yapmadığı başka bölgelere atanırlar. Terfi ve rütbe değişmesi durumunda aynı görev yerinde başka görevlere atanabilir. (4.6) ve (4.7) kısıtları; bulunduğu görevi tamamlamayan çalışanların aynı görevde kalması veya aynı yerleşim yerinde başka görevlere atamasını sağlamaktadır. Sıralı veya zorunlu hizmet bölgelerinde görev süresini dolduran personelin diğer hizmet bölgelerinden birine atanmasını ise (4.8) ve (4.9) kısıtları sağlamaktadır.

Diğer hizmet bölgeleri görev süresi kısıtları: Sıralı veya zorunlu hizmet bölgeleri dışındaki bölgelerde görev yapan personelin görevindeki süresi bitmediği için (4.10) ve (4.11) kısıtları ile aynı göreve devam etmesi sağlanmaktadır. Görev yeri süresi dolmuş personel ise (4.12) ve (4.13) kısıtları ile zorunlu hizmet bölgelerine veya diğer bölgelere atanır.

Tercih Toplamı Kısıtı:

Bu kısıt ile tercih toplamalarının sağ taraf eşitliği P_i değeri seçilmektedir. Karar vericinin seçtiği P_i değerinin büyüklüğüne personelin öncelikli tercihlerinden birine atanması sağlanmaktadır. (4.14) tercih kısıtı ile personel öncelikli atama istekleri yanında istek dışı da atanabilir. P_i değerinin küçük seçilmesi durumunda personelin öncelikli tercihlerine atanma olasılığı artmaktadır. P_i değerinin büyük seçilmesi durumunda ise personelin tercih dışı atama olasılığı artmaktadır. Tercih kriterleri atama problemlerinin önemli kriterlerindendir [18]. Alan yazındaki tercih kısıtlarından farklı olarak bu çalışmada tespit edilen P_i eşik değerlerinden, küçük bir değer kullanılması çalışanın öncelikli tercihlerden birine atanmasını sağlamaktadır. Büyük P_i değeri kullanımında ise çalışan tercih etmediği görevlere atanabilir.

Toplam maliyet/bütçe kısıtı:

Görev süreleri ve zorunlu rotasyon nedeniyle kurumda sık sık personel atamaları yapılmaktadır. Atama ile il dışına giden her personele harcırah ödendiği için personel atamalarının az maliyetle yapılması için gerekli tedbirler alınmalıdır. Toplam atama

bütçesinin seçilen C_i eşik değerin altında tutularak (4.15) atama maliyeti kısıtı ile atama maliyeti kontrol altına alınmaktadır.

Ataması il dışına yapılan personele mevzuat gereği görev yolluğu verilmektedir. Görev yolluğunun temel parametresi görev yerleri arasındaki mesafeler olduğundan atama maliyetleri kısıtlarında görev yerleri arasındaki mesafeler kullanılmıştır. Karar verici tarafından seçilen C_i değerlerinden küçük bir değerin kullanılması ile az maliyetli atamaların yapılması sağlanır.

Tercih toplamı kısıtının (4.14) sağ taraf değeri P_i ile toplam atama maliyeti kısıtının (4.15) sağ taraf değeri olan C_i eşik değerlerin arttırılması ile atama maliyetleri artarken, personelin öncelikli tercihlerine atanma olasılığı. Bu kısıtların (4.14-4.15) sağ taraf değerlerine farklı değerler verilerek maliyet ağırlıklı veya tercih ağırlıklı atama yapılması sağlanabilir.

Karar verici C_i değerini küçük tutarak atamaların az maliyetle yapılmasına karar verebilir. Karar verici P_i değerini küçük tutarak atamalarda personelin daha öncelikli tercihlerine atanmasını sağlayabilir.

4.3. Sayısal Analizler

Bu bölümde, bu tezde ele alınan personel atama problemi için önerilen modelin performansı sayısal analizlerle gösterilmiştir. İzleyen bölümde sayısal analiz için kullanılan test problemleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Test problemleri küçük, orta ve büyük boyutlu olmak üzere farklı bölge, görev yeri ve görev tipleri dikkate alınarak farklı parametrelerle rassal olarak türetilmiştir. Bu test problemleri çözülerek gerekli incelemeler yapılmış ve sonuçlar aşağıda tartışılmıştır.

Matematiksel modellerin “*cplex*” gibi çözücülerde kullanabilmek için amaç fonksiyonu ve kısıt denklemlerinin uygun formatta açık bir şekilde yazılması gerekir. Küçük, orta ve büyük ölçekli problem setleri üretmek için yukarıda kapalı haliyle verilen model “C++” programlama diliyle “*Dev-C++*” ortamında kodlanmıştır. Bu kapsamda:

- Bölge sayıları 5, 7, 10 veya 15 olacak şekilde seçilmiştir.
- Seçilen bölge sayılarının içinde son iki bölge personelin sırayla zorunlu atamaya tabi olduğu yerler olarak belirlenmiştir.
- Problemin büyüklüğüne göre görev yeri veya il sayısı seçilmiştir.
- Personele ait ortalama hizmet puanları S_{ijk} ile görev yeri puanları F_{lmn} belirlenen 50-1000 aralıklarında rassal olarak türetilmiştir. Hizmet puanlarının şahsi olması nedeniyle kullanılan puan ve diğer parametreler bu çalışmada rassal olarak türetilmiştir.
- Her görev yerinin görev süreleri TW_{ijk} ve personelin çalıştığı çalışma süreleri W_{ijk} rassal ve mevzuata uygun olarak üretilmiştir.
- Personel tercih sıraları P_{ijklmn} ve görev yerleri arasındaki mesafeler M_{ijklmn} rassal olarak üretilerek ilgili matrisler oluşturulmuştur.
- Her personelin daha önce çalıştığı bölgeleri gösteren G_{ijk} değerleri rassal olarak üretilmiştir.
- Dev-C++ 5.11 programı ortamında kodlanan model, her problem testi için bölge ve görev sayıları girildikten sonra derlenmektedir.
- Program derleme işlemini bitirdiğinde cplex çözücünün kabul ettiği formatta txt veya lp uzantılı dosyaya gerekli kısıt denklemleri parametreleri ile birlikte yazılmaktadır.
- Parametrelere ait veriler ayrı bir txt uzantılı dosyaya yazılmaktadır.
- Küçük problemlerin lp veya txt uzantılı dosyaları birkaç kb boyutunda iken personel sayısının artması ile türetilen orta ölçekli problemlerde bu veriler gigabaytları (GB) geçmektedir.
- Türetilen test problemlerinde en büyük personel sayısı 5.000 olarak dikkate alınmıştır. Personel sayısı artınca problem verileri faktöriyel olarak artmaktadır. Bu nedenle personel sayısının 5.000'i geçtiği test problemlerini ilgili program ve Office programları derleyememiştir.

4.3.1. Küçük ve orta boyutlu test problemlerinin analitik çözümü

Farklı görev tipi, bölge ve görev yeri sayısı kullanılarak üretilen küçük ve orta boyutlu problemler “*Cplex Studio V12.6*” programı ortamında çözülmüştür. Çözülen test problemlerinin en iyi değer ve çözüm süreleri Tablo 4.2, Tablo 4.3, Tablo 4.4. ile Tablo 4.5.’te yer verilmiştir. 30 personelden başlanarak 4800 personele kadar farklı boyutlarda oluşturulmuş problemlere makul sürelerde en iyi çözümler bulunmuştur.

Tablo 4.2. Küçük ve orta boyutlu test problemlerinin çözümü (Problem grubu-1)

Sıra	Problem Kodu	Bölge Sayısı	Görev Yeri Sayısı	Görev Tipi Sayısı	Personel Sayısı	Çözüm Süresi (Sn.)	En İyi Değer
1	5Z2L3T_30P_01	5	2	3	30	0,09	7.009.880
2	5Z2L3T_30P_02	5	2	3	30	0,38	7.028.470
3	5Z2L3T_30P_03	5	2	3	30	1,09	4.783.197
4	5Z2L3T_30P_04	5	2	3	30	1,97	7.432.549
5	5Z2L3T_30P_05	5	2	3	30	3,38	7.598.233
6	5Z4L3T_60P	5	4	3	60	5,30	12.469.271
7	5Z6L3T_90P	5	6	3	90	6,83	20.538.678
8	5Z8L3T_120P	5	8	3	120	8,22	26.531.810
9	5Z10L3T_150P	5	10	3	150	12,61	38.826.650
10	5Z20L3T_300P	5	20	3	300	19,00	62.238.051
11	5Z30L3T_450P	5	30	3	450	24,84	91.288.509
12	5Z40L3T_600P	5	40	3	600	28,11	127.193.823
13	5Z50L3T_750P	5	50	3	750	30,39	174.437.198
14	5Z60L3T_900P	5	60	3	900	33,77	198.324.999
15	5Z70L3T_1050P	5	70	3	1050	42,81	237.422.346
16	5Z80L3T_1200P	5	80	3	1200	54,47	266.068.323
17	5Z90L3T_1350P	5	90	3	1350	75,34	309.897.350
18	5Z100L3T_1500P	5	100	3	1500	90,39	344.314.868
19	5Z110L3T_1650P	5	110	3	1650	107,28	362.140.136
20	5Z120L3T_1800P	5	120	3	1800	85,20	408.064.071

Tablo 4.3. Küçük ve orta boyutlu test problemlerinin çözümü (Problem grubu-2)

Sıra	Problem Kodu	Bölge Sayısı	Görev Yeri Sayısı	Görev Tipi Sayısı	Personel Sayısı	Çözüm Süresi(Sn.)	En İyi Değer
1	7Z10L3T_210P	7	10	3	210	0,28	52.724.795
2	7Z20L3T_420P	7	20	3	420	0,97	87.289.810
3	7Z30L3T_630P	7	30	3	630	2,20	149.494.088
4	7Z40L3T_840P	7	40	3	840	11,06	185.905.578
5	7Z50L3T_1050P	7	50	3	1050	22,44	225.896.526
6	7Z60L3T_1260P	7	60	3	1260	35,73	279.778.978
7	7Z70L3T_1470P	7	70	3	1470	60,95	329.853.666
8	7Z80L3T_1680P	7	80	3	1680	81,41	377.833.664
9	7Z90L3T_1890P	7	90	3	1890	108,50	416.989.888
10	7Z100L3T_2100P	7	100	3	2100	110,06	461.431.428
11	10Z10L3T_300P	10	10	3	300	1,52	65.246.944
12	10Z20L3T_600P	10	20	3	600	6,53	134.602.158
13	10Z30L3T_900P	10	30	3	900	15,19	206.433.472
14	10Z40L3T_1200P	10	40	3	1200	33,44	262.990.994
15	10Z50L3T_1500P	10	50	3	1500	71,50	321.776.454
16	10Z60L3T_1800P	10	60	3	1800	114,55	407.440.559
17	10Z70L3T_2100P	10	70	3	2100	109,72	473.366.010
18	10Z80L3T_2400P	10	80	3	2400	155,66	545.464.628
19	10Z90L3T_2700P	10	90	3	2700	349,09	577.677.085
20	10Z100L3T_3000P	10	100	3	3000	607,08	686.944.717

Tablo 4.4. Küçük ve orta boyutlu test problemlerinin çözümü (Problem grubu-3)

Sıra	Problem Kodu	Bölge Sayısı	Görev Yeri Sayısı	Görev Tipi Sayısı	Personel Sayısı	Çözüm Süresi (Sn.)	En İyi Değer
1	5Z2L6T_60P_01	5	2	6	60	0,01	14.737.131
2	5Z2L6T_60P_02	5	2	6	60	0,02	15.669.651
3	5Z2L6T_60P_03	5	2	6	60	0,03	12.857.124
4	5Z2L6T_60P_04	5	2	6	60	0,02	17.342.629
5	5Z2L6T_60P_05	5	2	6	60	0,03	17.718.628
6	5Z4L6T_120P	5	4	6	120	0,053	23.028.857
7	5Z6L6T_180P	5	6	6	180	0,09	37.590.976
8	5Z8L6T_240P	5	8	6	240	0,17	54.785.060
9	5Z10L6T_300P	5	10	6	300	0,78	67.381.352
10	5Z20L6T_600P	5	20	6	600	3,48	135.981.393
11	5Z30L6T_900P	5	30	6	900	7,48	203.625.649
12	5Z40L6T_1200P	5	40	6	1200	16,00	264.236.622
13	5Z50L6T_1500P	5	50	6	1500	31,69	338.956.623
14	5Z60L6T_1800P	5	60	6	1800	51,61	407.864.957
15	5Z70L6T_2100P	5	70	6	2100	65,25	462.656.202
16	5Z80L6T_2400P	5	80	6	2400	86,00	530.935.116
17	5Z90L6T_2700P	5	90	6	2700	147,47	588.483.434
18	5Z100L6T_3000P	5	100	6	3000	158,99	683.101.648

Tablo 4.5. Küçük ve orta boyutlu test problemlerinin çözümü (Problem grubu-4)

Sıra	Problem Kodu	Bölge Sayısı	Görev Yeri Sayısı	Görev Tipi Sayısı	Personel Sayısı	Çözüm Süresi(Sn.)	En İyi Değer
1	7Z10L6T_420P	7	10	6	420	2,16	83.980.698
2	7Z20L6T_840P	7	20	6	840	8,66	188.811.374
3	7Z30L6T_1260P	7	30	6	1260	21,16	282.004.608
4	7Z40L6T_1680P	7	40	6	1680	51,00	383.439.165
5	7Z50L6T_2100P	7	50	6	2100	77,59	459.209.526
6	7Z60L6T_2520P	7	60	6	2520	132,25	555.727.566
7	7Z70L6T_2940P	7	70	6	2940	176,20	620.177.046
8	7Z80L6T_3360P	7	80	6	3360	311,67	737.071.018
9	7Z90L6T_3780P	7	90	6	3780	299,92	825.412.837
10	7Z100L6T_4200P	7	100	6	4200	389,19	910.493.165
11	10Z10L6T_600P	10	10	6	600	1,47	130.096.629
12	10Z20L6T_1200P	10	20	6	1200	7,36	273.977.174
13	10Z30L6T_1800P	10	30	6	1800	23,91	412.935.162
14	10Z40L6T_2400P	10	40	6	2400	64,83	520.745.146
15	10Z50L6T_3000P	10	50	6	3000	180,55	661.946.899
16	10Z60L6T_3600P	10	60	6	3600	293,95	790.104.612
17	10Z70L6T_4200P	10	70	6	4200	388,55	891.235.344
18	10Z80L6T_4800P	10	80	6	4800	647,88	1.079.566.634

Atanacak personel sayısı problemin boyutu üzerinde çok etkili olup problemin çözüm süresini artırmaktadır. Personel sayısının artması ile büyük ölçekli problemler çözülmek üzere Cplex ortamında denenememiştir. Çünkü personel sayısının artışına bağlı olarak parametre sayısı faktöriyel olarak artmaktadır. Bu nedenle problemler çözüme hazır formata getirilememiştir. Zaten Np-zor olduğu bilinen bu tür atama problemlerinin çözümü için sezgisel veya metasezgisel algoritmalara gereksinim duyulduğundan, devam eden bölümde, çözülemeyen büyük boyutlu problemler için TB algoritması probleme özgü geliştirilmiş ve Tablo 4.6., Tablo 4.7. ve Tablo 4.8. de verilen problemler bu algoritma ile çözülmüştür.

Tablo 4.6. Büyük boyutlu test problemlerinin çözümü (Problem grubu-5)

Sıra	Problem Kodu	Bölge Sayısı	Görev Yeri Sayısı	Görev Tipi Sayısı	Personel Sayısı	En İyi Değer
1	7Z300L3T_6300P	7	300	3	6300	-
2	7Z310L3T_6510P	7	310	3	6510	-
3	7Z320L3T_6720P	7	320	3	6720	-
4	7Z330L3T_6930P	7	330	3	6930	-
5	7Z340L3T_7140P	7	340	3	7140	-
6	7Z350L3T_7350P	7	350	3	7350	-
7	7Z360L3T_7560P	7	360	3	7560	-
8	7Z370L3T_7770P	7	370	3	7770	-
9	7Z380L3T_7980P	7	380	3	7980	-
10	7Z390L3T_8190P	7	390	3	8190	-

Tablo 4.7. Büyük boyutlu test problemleri(problem grubu-6)

Sıra	Problem Kodu	Bölge Sayısı	Görev Yeri Sayısı	Görev Tipi Sayısı	Personel Sayısı	En İyi Değer
1	10Z210L3T_6300P	10	210	3	6300	-
2	10Z220L3T_6600P	10	220	3	6600	-
3	10Z230L3T_6900P	10	230	3	6900	-
4	10Z240L3T_7200P	10	240	3	7200	-
5	10Z250L3T_7500P	10	250	3	7500	-
6	10Z260L3T_7800P	10	260	3	7800	-
7	10Z270L3T_8100P	10	270	3	8100	-
8	10Z280L3T_8400P	10	280	3	8400	-
9	10Z290L3T_8700P	10	290	3	8700	-
10	10Z300L3T_9000P	10	300	3	9000	-

Tablo 4.8. Büyük boyutlu test problemlerin çözümü (problem grubu-7)

Sıra	Problem Kodu	Bölge Sayısı	Görev Yeri Sayısı	Görev Tipi Sayısı	Personel Sayısı	En İyi Değer
1	15Z150L3T_6750P	15	150	3	6750	-
2	15Z160L3T_7200P	15	160	3	7200	-
3	15Z170L3T_7650P	15	170	3	7650	-
4	15Z180L3T_8100P	15	180	3	8100	-
5	15Z190L3T_8550P	15	190	3	8550	-
6	15Z200L3T_9000P	15	200	3	9000	-
7	15Z210L3T_9450P	15	210	3	9450	-
8	15Z220L3T_9900P	15	220	3	9900	-
9	15Z230L3T_10350P	15	230	3	20350	-
10	15Z240L3T_10800P	15	240	3	10800	-

5. PERSONEL ATAMA PROBLEMİ İÇİN META-SEZGİSEL ALGORİTMA: TAVLAMA BENZETİMİ

Bu bölümde, öncelikle meta-sezgisel algoritmalar hakkında genel bilgiler verilmiştir. Daha sonra Tavlama Benzetimi algoritması ile bu tezde ele alınan personel atama problemine uygulama adımları açıklanmıştır.

5.1. Meta-Sezgisel Algoritmalar

Meta sezgisel kelimesi “meta” ve “sezgisel” kelimelerinden türetilmiştir. Yöneylem ve bilgisayar biliminde meta sezgisel kavramı optimizasyon problemlerinin çözümü için doğadaki olayların taklit edilmesi ile geliştirilen algoritmalar için kullanılmaktadır.

Meta-sezgisel algoritmalar, bir optimizasyon problemine iyi bir çözüm sağlayabilecek bir sezgisel yöntemi aramak, bulmak, oluşturmak veya seçmek için tasarlanmış daha üst düzey bir prosedürü veya sezgisel yöntemi temsil eder. Özellikle NP-zor sınıftaki problemler veya limit durumunda çözümde zorlanan problemler, eksik veya eksik bilgi içeren büyük, karmaşık problemler için kullanılır. Böylece daha kısa zamanda ve optimum veya optimuma yakın sonuçlar elde edilebilir. Günümüzde meta-sezgisel algoritmalar, endüstri, işletme, mühendislik gibi birçok farklı alandaki karmaşık eniyileme problemlerinin çözümünde başarı ile uygulanmaktadır.

Meta-sezgisel algoritmalar tek çözüme dayalı ve çözüm yığını temeline dayalı olmak üzere iki sınıfta değerlendirilmektedir. “TB” algoritması tek çözüme dayalı arama algoritmaları içinde yer almaktadır [48].

Sezgisel algoritmaların türleri ve kullanım alanları bilgisayar bilimlerinin de gelişmesiyle çok artmıştır. “TB” Algoritması, Parçacık Sürü Optimizasyonu, GA, Karınca Kolonisi Optimizasyonu, Yapay Arı Kolonisi Optimizasyonu yığın ile aramaya dayalı, Tabu Arama Algoritması gibi algoritmalar ise tek çözüme dayalı olarak sınıflandırılabilen literatürde çok geçen ve sık kullanılan başlıca sezgisel algoritmalarlardır.

Ayrıca Kaplan [49], meta sezgisel algoritmalar adlı makalesinde; “Diferansiyel Gelişim Algoritması, Yerçekimi Arama Algoritması, Gaz Brownian Hareketi Optimizasyonu, Isı Transferi Arama, Elektromanyetik Alan Optimizasyonu, Optikten Esinlenen Optimizasyon, Ağırlıklı Süperpozisyon Çekimi, Orman Optimizasyonu Algoritması, Kasırga Temelli Optimizasyon Algoritması, Kara Delik Optimizasyon Algoritması, Su Döngüsü Optimizasyon Algoritması, Meyve Sineği Optimizasyon Algoritması, Krill Sürü Optimizasyon Algoritması, Bakteri Yiyecek Arama Davranışı, Yarasa Algoritması, Ateş Böceği Algoritması, Aslan Algoritması, Gri Kurt Algoritması, Yunus Balığı Algoritması, Çalı Kolonisi Algoritması, Yapay Alg Algoritması, Virüs Koloni Arama Algoritması, Köpekbalığı Koku Alma Optimizasyon Algoritması, Sosyal Örümcek Algoritması, Ağaç-Tohum Algoritması” gibi algoritmaları meta sezgisel algoritmalar arasında saymıştır.

Personel atama problemleri de *NP-tam* problemler sınıfında olduğundan alan yazında yer alan birçok atama probleminde meta sezgisel teknikler kullanılmıştır. Alan yazındaki personel atama ile ilgili çalışmalarda, klasik çözüm yöntemlerinin yanında, problemin nitelikleri dikkate alınarak farklı sezgisel algoritmalar kullanılmıştır [50].

GA genelleştirilmiş atama problemlerinde ilk kez Wilson [51], tarafından tam sayılı programlama ile birlikte kullanılarak problem için karşılaştırmalı çözümler sunulmuştur. Anılan çalışmada GA ile küçük ölçekli problemlerde optimum sonuçlar, orta ve büyük ölçekli atama problemlerinde ise optimuma yakın sonuçlar elde edilmiştir. Chau ve Beasley [52], tarafından GA kullanılarak 5, 20 ve 75 işçinin atama problemi çözülmüş, farklı veri setleri kullanılarak optimuma yakın sonuçlar elde edilmiştir. Drezner [53], karesel atama problemlerinin çözümünde GA kullanmıştır. Lui ve Gao [54], bulanık parametrelerle modellediği karesel atama problemleri çözümünde GA kullanmışlardır. Garrett ve arkadaşları [26], tarafından “ABD”de denizci askerlerinin atama problemlerinde GA kullanılmıştır.

5.2. Tavlama Benzetimi Algoritması

Tavlama Benzetimi (TB) algoritması, kombinatoriyal problemlerin çözümünde etkin ve iyi sonuçlar veren komşu arama yöntemine dayalı stokastik bir arama tekniğidir [55]. TB,

en iyileme problemleri için etkili bir çözüm sağlayabilen bir sezgisel algoritmadır[56]. Bu algoritma genel anlamda, başlangıç noktasını rastgele seçerek ve mevcut çözümü rastgele değiştirerek çalışır. Yeni çözümün kalitesi, mevcut çözümün kalitesiyle karşılaştırılır ve daha iyi ise kabul edilir. Bu süreç, belirli bir durma kriterine veya belirli bir süre boyunca devam edene kadar tekrarlanır [55]. Çeşitli alanlardaki problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kombinatorial optimizasyon problemleri için sıklıkla kullanılan ve ismini katı maddelerin fiziksel tavlanması süreciyle olan benzerliğinden alan TB olasılıklı bir arama yöntemidir. TB algoritması, birbirlerinden habersiz olarak yapılan iki araştırmada; Gelatt, Kirkpatrick, ve Vecchi [56] ve Cerny [57] tarafından ilk kez önerilerek günümüze dek, üretim ve işletme yönetimi, iletişim ağı optimizasyonu, lojistik, enerji sistemleri tasarımı ve yönetimi, dağıtım ([58][59]), görüntü işleme [60], moleküler kimya ile moleküler fizik [61], çizelgeleme [62] , bilgisayar mimarisi tasarımı [63], elektronik sistem tasarımları, iletişim ağları tasarımı [64], benzetim optimizasyonu problemlerinde [65], kullanılmıştır. Ayrıca, TB, karmaşık optimizasyon problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan diğer yöntemlerle birlikte de melez algoritma geliştirme amacıyla da sıklıkla kullanılmaktadır [66].

TB algoritmasının önemli avantajlarından biri diğer eniyileme yöntemlerine göre daha az hesaplama kapasitesi gerektiriyor olmasıdır [67]. Başlangıç noktası seçimi ve çözüm değişiklikleri rastgele olduğundan, daha karmaşık matematiksel işlemlere ihtiyaç duyulmaz ve bu nedenle büyük ve karmaşık problemlerin çözümünde kolayca kullanılır. Diğer bir avantajı ise, TB algoritması, başlangıç noktasının kalitesine veya önceki çözümlere bağlı olmadan çalışabilir olmasıdır. Diğer bazı eniyileme algoritmaları, başlangıç noktasının seçimine veya önceki çözümlerin kalitesi gibi faktörlere duyarlı iken TB algoritması bu faktörlere olan duyarlılığı en aza indirir ve çözüm alanını daha geniş bir şekilde arar. Üçüncü avantaj olarak, TB algoritması, yerel minimumlara takılmadan genel bir arama yapabilme yeteneğine sahiptir [57]. Bu algoritma, kötü bir çözümü bile kabul etme olasılığı sayesinde, yerel minimumlardan kaçınabilir ve daha iyi bir çözüm arayışında ilerleyebilir.

Tablama Benzetimi algoritması, eniyileme problemlerinin çözümünde etkili bir yöntem olarak kabul edilir [55]. Ancak her algoritma gibi, tavlama uygun bir şekilde ve probleme özgü uyarlanması gerekmektedir.

Tavlamaya uygun uyarlanması yani probleme göre soğutma mekanizmasının (sıcaklığı belli bir noktaya kadar getirilen katı cisimlerin yavaş yavaş soğutularak şekil verilmesi veya tavlama işlemine benzer bir mekanizma) oluşturulabiliyor olması bu algoritmanın kullanımını kolaylaştırmaktadır.

Tavlama işlemi, katıların ısıtılması sonucu parçacık yapısında meydana gelen değişimlere benzetilerek tasarlanmıştır. Maddelerin tavlama işlemlerinde, maddenin sıcaklığı önce belli bir sıcaklığa yükseltilerek maddenin katı halinden sıvı haline dönüşmesi sağlanır. Ardından kontrollü bir şekilde madde yavaş yavaş soğutularak istenilen şekle dönüştürülür [68].

Metropolis Algoritması:

Fiziksel tavlama, yüksek sıcaklıktaki bir katının düşük enerjili durumundaki ısı süreçten oluşmaktadır. Kirkpatrick ve arkadaşları [55] bu süreci:

- i) Isı banyosunun sıcaklığının katının eriyebileceği en yüksek değerde olması,
- ii) Yer durumundaki katının parçacıkların kendilerini düzenleyene kadar, ısı banyosunun sıcaklığının dikkatli bir şekilde azaltılması şeklinde tanımlamıştır.

Katının farklı durumlarının, kombinatorial eniyileme problemlerinin çözüm uzayındaki olası çözüm noktalarını, sistemin enerjisi ise problemin amaç fonksiyonunu temsil ettiği düşünülerek kurulan benzerlik Tavlama sürecinin TB algoritmasının temelini oluşturmasına yol açmıştır. “Katının yer durumu, maksimum sıcaklık yeteri kadar yüksek ve soğutma da yeteri kadar yavaş ise mümkündür”. Değilse, katı yer durumu yerine, yarı kararlı bir durumda donar. “Yer durumu global en iyiyi, yarı-kararlı durum ise yerel en iyi göstermektedir” [69].

Metropolis ve arkadaşları [70], bir katının ısı banyosunda, ısı *dengeye* ulaşana dek gelişimini benzetmek için birinci yazarın adı ile anılan Metropolis Algoritmasını önermişlerdir. Bu algoritma Monte Carlo tekniklerini kullanarak katının durumlarının bir sırasını üretmektedir [55].

Bu algoritmada, mevcut durumu m ve enerjisi E_m olan katı, bir hareket mekanizması ile yapılan küçük bir değişiklik ile n durumuna dönüştürülür. Ardışık durumların enerji farkı

$(E_m - E_n)$ sıfıra eşit veya daha küçükse, j durumu yeni çözüm olarak kabul edilir. Eğer $(E_m - E_n)$ sıfırdan büyükse, n durumu (5.1)'de verilen belirli bir olasılıkla kabul edilir. Burada T sıcaklığı ve k_B “Boltzmann sabiti”ni göstermektedir.

$$\exp\left(\frac{E_m - E_n}{k_B T}\right) \quad (5.1)$$

Bu benzerliğin kullanıldığı TB’de komşu arama metoduna dayalı mekanizma kullanılmaktadır. Komşu aramanın basit bir şekli olan “İniş (*descent*) algoritması”, rassal olarak seçilen bir başlangıç çözümü ile aramaya başlar. Seçilen bir hareket mekanizması ile bu çözümün bir komşusu üretilir ve amaç fonksiyonları arasındaki fark hesaplanır. Eğer amaç fonksiyonu değerinde azalma varsa, komşu çözüm yeni mevcut çözüm olarak kabul edilir, değilse mevcut çözüm kalır. Bu arama işlemine mevcut çözümünden elde edilebilen yeni çözümlerde amaç fonksiyonunda iyileşme elde edilemeyene kadar devam edilir.

Sonuçta, iniş algoritması yerel bir en iyiye takılmış olabilir. Bu algoritma, basit ve hızlı olmasına karşın, yerel minimum çözümlere takılma dezavantajına sahiptir. Dolayısı ile bu dezavantajı ortadan kaldırmak amacı ile TB algoritması kötü çözümlerin de kabul edilebileceği bir mekanizmayı adapte ederek yerel optimum tuzaklarından kaçmaya çalışır. Kabul fonksiyonu olarak isimlendirilen bir mekanizma (5.2) ile amaç fonksiyonunda Δ kadar bir artışa izin verilir. Bu eşitlikte T , fiziksel tavlamaadaki sıcaklığa karşılık gelen başlangıç sıcaklık parametre değeridir.

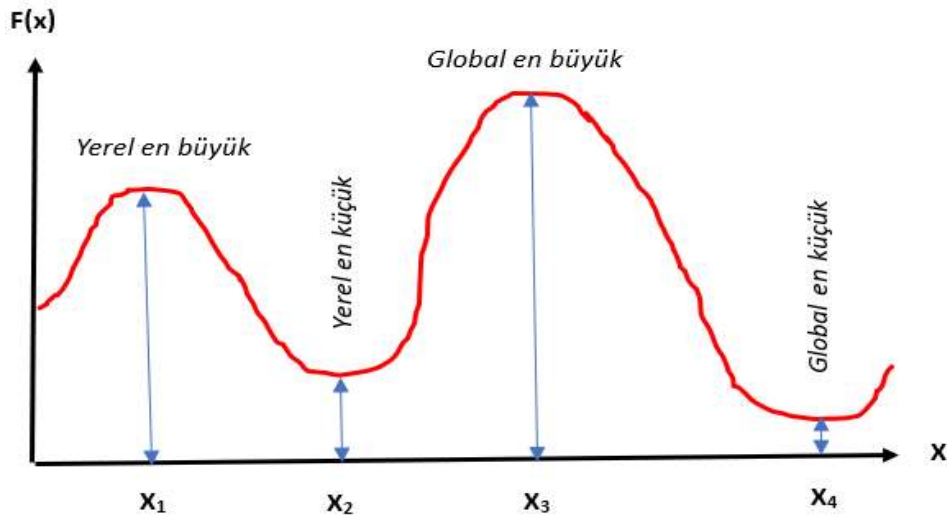
$$\exp\left(\frac{-\Delta}{T}\right) \quad (5.2)$$

Kabul fonksiyonuna göre, f^* de meydana gelen küçük artışların kabul edilme olasılığı, büyük artışların kabul edilme olasılığından daha yüksektir. Diğer yandan başlangıç sıcaklığı, T , yüksek olduğunda daha kötü sonuçlar veren hareketlerin kabul olasılığı yüksek, T azaldıkça ise düşük olacaktır. Bu nedenle TB’de yerel en iyiye yakalanma tuzağına düşülmesini engellemek için probleme uygun yüksek bir T değeri seçilir. TB algoritmasında,

ayrıca, her sıcaklık değeri (her iterasyonda) belli sayıda hareketle elde edilen komşu üretilerek arama yapılır.

TB algoritmasının elemanları; genellikle T ile gösterilen sıcaklık değeri, soğuma oranı, ısıtma ve soğutma sistemi, sıcaklıklardaki adım sayıları ile durdurma kriterlerinden oluşmaktadır. Soğutma mekanizmasının şekli tavlama benzetimi algoritmasının performansını etkiler. Literatürde birçok soğutma mekanizması kullanılmıştır. Soğutma mekanizmalarında ısıtma dereceleri iterasyon sayısı ile orantılı olarak düşürülür.

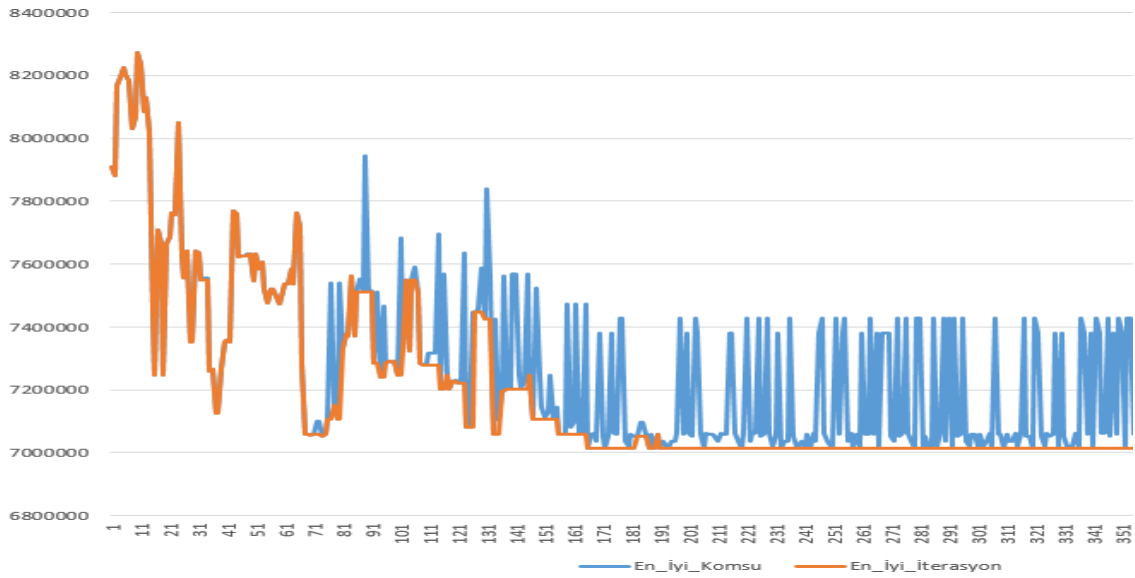
Yerel en iyi çözümlerin genel (*global*) en iyi çözümü göstermesini önlemek için kötü olan yeni çözümler, başlangıçta belli bir olasılıkla kabul edilerek yerel tuzaktan kurtularak aramada çeşitlilik sağlanır. Şekil 5.1.'de yer alan grafik şekli incelendiğinde; $f(x)$ değerinin X_1 noktasında yerel en büyük olmasına rağmen en büyük değeri genelen büyük değer olan X_3 noktasında aldığı, diğer taraftan $f(x)$ değerinin X_2 noktasında yerel en küçük olmasına rağmen en küçük değeri genel en küçük değer olan X_4 noktasında aldığı görülmektedir.



Şekil 5.1. Yerel ve global optimum değerler

Kötü çözümlerin belli olasılıklarla kabul ediliyor olması başlangıçta daha geniş çözüm alanının taranarak algoritmanın yerel en iyi noktasına takılması önlenir. İterasyon sayısı arttıkça kötü çözümlerin kabul edilme olasılığı düşürülerek algoritmanın dar alanda en iyi çözümü araması sağlanır.

Tavlama Benzetimi algoritması iki teknik kullanarak genel en iyiye ulaşır. Çözüm uzayında bilinmeyen yeni alanlar çeşitlendirme (*diversification*) mekanizması ile ortaya çıkarılır. Bu aşamada daha geniş alanda arama yapılarak yerel en iyi tuzağından kurtulur. Diğer teknik ile geniş alanda yapılan arama sırasında ulaşılan noktalarda dar alanda daha yoğun bir arama (*intensification*) yapılarak daha iyi sonuçların elde edilmesi sağlanır. Bu iki teknik TB'nin çalışma sürecinde birlikte dengeli bir şekilde kullanılır.



Şekil 5.2. Örnek bir TB algoritması çözüm grafiği

Örnek bir çalışmadan alınan sonuçlarla çizilen Grafik 5.1'den TB algoritmasının ilk aşamada(1-200 iterasyon) daha geniş bir alanda çeşitlilik mekanizması ile arama yaptığı, sonraki aşamada daha dar alanda yoğun arama yaptığı görülmektedir.

TB algoritmasında kabul fonksiyonu ile ilgili matematiksel açıklama aşağıda görülmektedir:

$\Delta = f_m - f_n$ çözümler arası fark, T mevcut sıcaklık olmak üzere;

$\Delta < 0$ ise yeni komşu çözüm en iyi çözüm olarak kabul edilir.

$\Delta > 0$ durumunda ise $(P = e(-\Delta / T))$ olasılığına göre komşu çözümün kabulü veya reddi konusunda karar verilir.

TB algoritmasında; amaç fonksiyonu değerin hesaplanması, rastgele değışimlerle komşu çözümlerin elde edilmesi ile tavlama sürecinin yer aldığı kurallar belirtilmelidir. TB algoritmasının temel adımlarının belirlenmesi ilgili mekanizmalara nasıl karar verileceğı izleyen başlıklar altında açıklanmıştır.

Algoritmanın başlangıç sıcaklığı

Yukardaki bölümde yer alan açıklamalara göre başlangıçta için iyi olmayan bazı çözümleri yüksek olasılıkla kabul ederek algoritmanın yerel optimuma takılmasını önleyecek yüksek bir sıcaklık seçilmelidir. Başlangıç sıcaklık değeri genellikle probleme bağlı olarak belirlenmektedir ([71],[62]).

Algoritmanın soğutma planı

Soğutma planı algoritmada başlangıç sıcaklığının belli bir oranda düşmesini ve her sıcaklıkta geniş alanda çözüm noktası bulmasını sağlayan, sonlara doğru sıcaklığın düşmesiyle her sıcaklıkta daha dar alanda çözüm noktası bulmasını sağlayan bir mekanizmadan oluşmaktadır.

Literatürde kullanılan soğutma planları, aritmetik soğutma, geometrik soğutma, ters fonksiyon sıcaklık düşürme, logaritmik sıcaklık düşürme planları olarak bilinmektedir. Bunlardan geometrik soğutma planı en çok kullanılan soğutma mekanizmalarındandır. Bu yöntemde her iterasyonda sıcaklığın belli bir oranda düşmesini sağlamak için belirlenen *soğutma oranı* a kullanılır. Bu değeri çoğunlukla 0,8– 0,99 arasında olur ve her iterasyondaki sıcaklık değeri bir önceki sıcaklık değerinin a ile çarpılması sonucunda elde edilir ([72],[62]).

Algoritmanın durdurma koşulu

Durdurma koşulu ise seçilen son sıcaklık değerine, önceden belirlenmiş bir iterasyon sayısına, belirlenen en büyük hesaplama zamanına ulaşılması veya algoritmanın koşturulması sırasında belirlenen bir sayı kadar aynı sonucun elde ediliyor olması şeklinde

tanımlanarak bunlardan biri veya ikili bir kombinasyonu veya hepsi birlikte (üçlü kombinasyon) dikkate alınabilir. Bunlar probleme özgü ön denemelerle belirlenebilir. Tanımlanan bu değerlerden herhangi birine ulaşıncaya arama işlemi bitirilir.

Tavlama benzetimi algoritmasının aşamaları

Birinci Adım: Başlangıç sıcaklığını ayarlayarak, başlangıç sayacı sıfırla ve $k = 1$ için rasgele bir başlangıç çözümü oluştur. $T > 0$, $t = 0$, $k \in S$

İkinci Adım: (S) başlangıç çözümü, $(S_{eni yi})$ 'yi mevcut çözüm, $(S_{eni yi})$ 'yi en iyi çözüm olacak şekilde kabul et.

Üçüncü Adım: Durdurma koşulunun sağlanması durumunda DUR. Aksi durumda Dördüncü Adım'a git.

Dördüncü Adım: Mevcut çözümü (S_{mevcut}) 'kullanarak komşu çözüm (S') üret.

$\Delta = \text{Komşu Çözüm Amaç Fonk}(S') - \text{Mevcut Çözüm Amaç Fonk}(S)$ hesapla.

$\Delta \leq 0$ durumunda yeni çözümün mevcut çözüm olacak.

$\Delta > 0$ durumunda ise $(e^{-\Delta/T})$ olasılığı ile yeni komşu çözümü mevcut çözüm yap.

Her iki koşul sağlanmıyorsa (S_{mevcut}) 'u $S_{eni yi}$ yap.

Üçüncü Adım'a git

5.3. Personel Atama Problemi için TB Algoritması

Personel puanları ile görev yeri puanlarının birlikte kullanılması ile tercih edilmeyen ancak kritik öneme sahip görevlere kurumun yönetmeliğinde belirtilen kurallar uyarınca personeli dengeli bir şekilde atamak için bu çalışmada ele alınan ve tanımlanan personel atama probleminin (Bkz. Bölüm 4) matematiksel modeli kurulmuş ve geleneksel eniyileme yöntemi kullanılarak kesin çözümler küçük ve orta boyutlu problemler için bulunmuştur.

Ele alınan probleme ilişkin kurulan atama modelinde; literatürde tanımlı temel atama kısıtlarının yanında, personelin çalışma süresi boyunca her bölgede çalışmasını sağlayacak rotasyon kısıtları, görev süresini doldurmayan personelin sadece görev yaptığı yerleşim yerindeki diğer görevlere atanabilme kısıtı, görev süresini dolduran personelin zorunlu olarak atamasını sağlayacak görev süresi kısıtları, atamaların hiyerarşik düzene göre yapılmasını sağlayan rütbe kısıtları, tercih dışı atamaya da izin veren ancak tercih sıralamalarını dikkate alan tercih toplamları kısıtları ile toplam atama maliyeti kısıtları dikkate alınmıştır.

Personel atama problemlerinde; iki personelin iki göreve atanmasında iki alternatif, üç personelin üç göreve atanmasında altı alternatif ve dört personelin dört göreve atanmasında 24 alternatif sonuç karşımıza çıkmaktadır. Görüldüğü gibi personel ve görev sayısı arttıkça olası atama sayısı personel sayısının faktöriyel olarak artmaktadır. Beş personel için (5!) 120, altı personel için (6!) 720, yedi personel için (7!) 5.040, 8 personel için (8!) 40.320, 9 personel için (9!) 362.880, ve 10 personel için (10!) 3.628.800 alternatif çözüm olacaktır. **Örneğin;** 30 personelin 30 göreve atanması probleminde $30! = 26525285981219105863608480000000$ alternatif çözüm vardır. Bu nedenle makul sürede çözüm elde etmek için sezgisel algoritmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

5.4. Geliştirilen Tavlama Benzetimi Algoritması

Tezde ele alınan büyük boyutlu personel atama probleminin çözümü için komşu aramaya dayanan bir teknik olan TB algoritması önerilmiştir. Probleme özgü geliştirilen TB algoritması için kullanılan yaklaşımlar, çözüm gösterimi, başlangıç sıcaklığının seçimi, soğutma planı, her sıcaklık değerinde incelenen çözüm sayısı, durdurma koşulu, yeni çözüm oluşturma yapısı gibi detay bilgiler izleyen kısımda verilmiştir.

Çözüm gösterimi:

TB algoritmasının en önemli adımlarından biri algoritmanın çözüm gösterimidir. Çözüm gösterimi algoritmanın hızlı ve kolay yeni çözüm üretebileceği, gerekli

hesaplamaları kolayca yapabileceği özellikte tasarlanmalıdır. Aynı zamanda çözüm gösterimi tüm çözüm kümesini kapsayacak özellikte olmalıdır [73].

Önerilen TB içinde kullanmak üzere uygun çözüm için, $(L \times M \times N)$ uzunluğunda üç parçalı dizin kullanılmıştır. Dizinin ilk kısmı atama bölgelerini, ikinci kısmı görev yerleri veya illerini, üçüncü kısmı ise görev tipini göstermektedir. Dizinler içerisinde tam sayı ile ifade edilen değerler personeli temsil etmektedir. Dolayısı ile 1'den 30'a giden numaralar her bir personelin ismi gibi düşünülebilir.

Şekil 5.3.'te beş bölgesi olan her bölgede iki görev ili bulunan, her görev ilinde üç personeli olan örnek bir çözüm gösterimi yer almaktadır. Atama öncesi durumda; 1-6 arasındaki tamsayılarla gösterilen personel 1. bölgede, 7-12 arasındaki tamsayılarla gösterilen personel 2. bölgede, 13-18 arasındaki tamsayılarla gösterilen personel 3. bölgede, 19-24 arasındaki tamsayılarla gösterilen personel 4. bölgede ve 25-30 arasındaki tamsayılarla gösterilen personel 5. Bölgede görev yapmaktadır.

L	1. Bölge						2. Bölge						3. Bölge						4. Bölge						5. Bölge								
M	1. Görev ili			2. Görev ili			1. Görev ili			2. Görev ili			1. Görev ili			2. Görev ili			1. Görev ili			2. Görev ili			1. Görev ili			2. Görev ili					
N	[[[1	2	3]]	[1	2	3]]	[[[1	2	3]]	[1	2	3]]	[[[1	2	3]]	[1	2	3]]	[[[1	2	3]]	[1	2	3]]	[[[1	2	3]]	[1	2	3]]	[[[1	2	3]]
P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			

Şekil 5.3. Tavlama benzetimi çözüm dizini gösterimi

Başlangıç çözümü:

Başlangıç çözümü rassal olarak veya başka sezgisellerden yararlanılarak oluşturulabilir. Bu tezde başlangıç çözümü personeli temsil eden tam sayıların rassal olarak görev yerlerine dağıtılması ile oluşturulmuştur. Personel yerine kullanılan sayılar başlangıç çözümünde dizinlere rassal olarak dağıtılarak her personelin görev yaptığı bir başlangıç çözümü üretilir. Örnek başlangıç çözümü Şekil 5.4.'te görünmektedir.

L	1. Bölge						2. Bölge						3. Bölge						4. Bölge						5. Bölge					
M	1. Görev ili			2. Görev ili			1. Görev ili			2. Görev ili			1. Görev ili			2. Görev ili			1. Görev ili			2. Görev ili			1. Görev ili			2. Görev ili		
N	[[[1	2	3]]	[1	2	3]]	[[[1	2	3]]	[1	2	3]]	[[[1	2	3]]	[1	2	3]]	[[[1	2	3]]	[1	2	3]]	[[[1	2	3]]	[1	2	3]]
P	16	2	27	4	26	18	25	8	9	22	23	3	1	29	15	7	20	21	19	11	12	10	5	24	13	14	6	28	17	30

Şekil 5.4. Örnek başlangıç çözümü

Başlangıç sıcaklığı:

Seçilen başlangıç sıcaklığı; algoritmanın ilk aşamalarında kötü çözümleri belli oranda kabul ederek mevcut çözümü iyileştirecek aynı zamanda sonraki çözümleri etkilemeyecek nitelikte olmalıdır. Çalışmalarda başlangıç sıcaklıkları için farklı yaklaşımlar kullanılmıştır. Algoritmanın sabit bir sıcaklık değeri ile başlaması en çok tercih edilendir. Bu çalışmada sabit başlangıç sıcaklığı tercih edilmiştir. İlk kötü çözümlerin %75'nin %90 olasılıkla kabulü aşağıdaki gibi hesaplanır[74].

Yeni amaç fonksiyonu değerinin mevcut değerden sapma yüzdesi: $\Delta = [(f_j - f_i)/f_i] * 100$

$$P = \exp(-\Delta / T_0) \Rightarrow 0.90 = \exp(-75 / T_0) \Rightarrow T_0 \approx 712$$

Soğutma planı:

Soğutma planı sıcaklığın düşme hızını etkiler. Bu çalışmada sıcaklık T ve soğutma katsayısı (a) olmak üzere Tavlama Benzetimi algoritmasında en çok kullanılan geometrik ($T_i = a * T_{i-1}$) soğutma fonksiyonu seçilmiştir [75].

Soğutma katsayısı değeri genellikle 0.88-0.99 arasında seçilir. Önerilen algorithma deneysel çalışmalara göre soğutma katsayısı 0.99 olarak belirlenmiştir.

Her sıcaklıkta komşu sayısı:

Mevcut çözümlerden komşu üretme mekanizması kullanılarak komşu çözümler elde edilir. Sıcaklık değişimleri olmadan üretilen komşu çözümlerin sayısı algoritmanın performansını etkilemektedir. Üretilen komşu çözümlerden seçilen çözüm ile iterasyon aşamasına devam edilir. Önerilen algorithma küçük boyutlu problemler için her sıcaklıkta üretilen komşu sayısı değeri, l=5 olarak seçilmiştir.

Önerilen personel atama probleminde personel sayısının artması ile alternatif atama çözümü sayısı faktöriyel olarak arttığı için orta büyüklükteki problemlerde üretilecek komşu sayısı ön denemeler yapılarak deneysel incelemeler sonucunda l=25, daha büyük problemlerde l=50 olarak belirlenmiştir. TB algoritmasının parametreleri, test problemleri ile yapılan analizler sonucunda deneysel çalışma ile belirlenmiştir.

Durdurma koşulu:

Durdurma koşulu algoritmanın yerel en iyi tuzaklarından kurtulmasını sağlayan kriterlerden biridir. Algoritmanın durma koşulunu sağlayan durdurma kriteri için literatürde çeşitli yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bunlar sıcaklık değerinin belirlenen bir değerin altına düşmesi, bulunan bir değerin ardışık olarak belirlenen bir tekrar sayısı sonrasında iyileşmediğinin görülmesi, algoritmanın belirlenen toplam iterasyon sayısına ulaşması olarak sıralanabilir [75]. Bazı çalışmalarda durdurma koşulu olarak bu kriterlerden iki veya daha fazlasının birlikte kullanıldığı durumlar vardır[60].

Bu tezde, test problemlerinin boyutları dikkate alınarak belirlenen iterasyon sayısına ulaşılması veya ardışık 250 çözüm boyunca iyileşmenin görülmemesi durumunda durdurma koşulu tanımlanmış ve kullanılmıştır. Geliştirilen algorithmada belirtilen koşullardan biri sağlandığında arama işlemi sonlanmaktadır.

Komşu çözüm üretimi:

Probleme uygun bir komşu üretimi mekanizması tasarımı TB algoritmasının performansını artırır. Tez çalışmasında komşu üretimi, atama modelinin kısıtları da dikkate alınarak personeli temsil eden sayıların rassal olarak değiştirilmesi ile yapılmıştır.

Komşu üretme mekanizmasında öncelikle rassal olarak birbirinden farklı iki bölge (L) seçilmiştir. Sonra rassal olarak seçilen her bölgenin içinde rassal bir il (M) seçilmiştir. Sonraki aşamada rassal olarak bir görev tipi (N) seçilerek yer değiştirmeye aday iki personel (P) tespit edilmiştir. Aday personelin yer değişiminde kısıtların sağlanması durumunda (kısıtlar kontrol edilerek) iki adayın karşılıklı olarak yer değiştirmesi sonucu komşu çözüm üretilmiştir. Örneğin Şekil 5.5.'de yer alan çözümde 3. ve 24. personelin karşılıklı olarak yer değiştirmesi sonucu üretilen komşu çözüm Şekil 5.6.'da yer aldığı gibi olur.

L	1. Bölge						2. Bölge						3. Bölge						4. Bölge						5. Bölge								
M	1. Görev ili			2. Görev ili			1. Görev ili			2. Görev ili			1. Görev ili			2. Görev ili			1. Görev ili			2. Görev ili			1. Görev ili			2. Görev ili					
N	[[1	2	3]]	[[1	2	3]]	[[1	2	3]]	[[1	2	3]]	[[1	2	3]]	[[1	2	3]]	[[1	2	3]]	[[1	2	3]]	[[1	2	3]]	[[1	2	3]]	[[1	2	3]]
P	16	2	27	4	26	18	25	8	9	22	23	3	1	29	15	7	20	21	19	11	12	10	5	24	13	14	6	28	17	30			

Şekil 5.5. Komşu çözüm üretimi (değişim öncesi)

L	1. Bölge						2. Bölge						3. Bölge						4. Bölge						5. Bölge					
M	1. Görev ili			2. Görev ili			1. Görev ili			2. Görev ili			1. Görev ili			2. Görev ili			1. Görev ili			2. Görev ili			1. Görev ili			2. Görev ili		
N	[[[1	2	3]]	[1	2	3]]	[[[1	2	3]]	[1	2	3]]	[[[1	2	3]]	[1	2	3]]	[[[1	2	3]]	[1	2	3]]	[[[1	2	3]]	[1	2	3]]
P	16	2	27	4	26	18	25	8	9	22	23	24	1	29	15	7	20	21	19	11	12	10	5	3	13	14	6	28	17	30

Şekil 5.6. Komşu çözüm üretimi (değişim sonrası)

TB algoritması adımları:

1. Bölge (L), görev yeri(ili) (M) ve görev tipi (N) dizini içinde tam sayılı sayılarla gösterilen personel (P), rastgele dağıtılarak bir (χ_0), **başlangıç çözümü oluştur:**
($\chi_{eniyi} = \chi_0$, $f(\chi_{eniyi}) = f(\chi_0)$)
2. **Başlangıç Parametreleri:** Sıcaklık (T), Boltzman sabiti (k), soğutma katsayısı (c).
3. **while** durdurma kriterleri sağlanana kadar ($T = T_s$ veya Sayac= 1000) **do**
4. **for** yeni komşu sayısı belirle: (R)
5. **Yeni çözüm üret:** (χ_{yeni}), $f(\chi_{yeni})$
6. **if** $f(\chi_{yeni}) < f(\chi_{eniyi})$ **then**
7. $f(\chi_{eniyi}) = f(\chi_{yeni})$; ($\chi_{eniyi}) = (\chi_{yeni})$
8. **else**
9. $\Delta f = f(\chi_{yeni}) - f(\chi_{eniyi})$
rassal sayı üret $r(0,1)$
10. **if** $r > \exp(-\Delta f/kT)$ **then**
11. $f(\chi_{eniyi}) = f(\chi_{yeni})$
12. **else**
13. $f(\chi_{eniyi}) = f(\chi_0)$
14. **end if**
15. **end if**
16. $f = f(\chi_{eniyi})$
17. **Sıcaklığı düşür:** $T = c * T$
18. **end for**
19. **end while**

5.5. Sayısal Analizler

Bu kısımda, personel atama probleminin çözümü için önerilen TB algoritmasının performansı incelenecektir. Algoritmanın doğruluğu ve performansı daha önce çözülen test problemleri üzerinde gösterildikten sonra büyük boyutlu problemler çözülerek performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Önerilen TB algoritması, *PyCharm Community Edition 2022.2.2* ortamında, *Python* programlama dilinde kodlanmıştır. Denemeler, *11th Gen Intel(R) Core(TM) i7-1165G7 2.8X2 GHz* hızında işlemciye, *16 GB RAM* ara belleğe sahip *Win11 Home* işletim sistemine sahip bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir.

Devam eden aşamada, test problemleri hakkında bilgi verildikten sonra önerilen algoritma ile çözümü yapılan büyük boyutlu problemler incelenmiştir.

5.5.1. Test problemleri

Bu tezde ele alınan personel atama problemi için geliştirilen TB algoritmasının performans analizinde önceki bölümde üretilen test problemleri kullanılacaktır. Tablo 4.2. ve Tablo 4.3.'te yer alan küçük ve orta ölçekli test problemleri ile önce TB algoritmasının doğruluğu ve etkinliği test edilecektir.

Ardından TB algoritması büyük boyutlu problemlerin çözümünde kullanılacaktır. Önceki bölümde analitik çözüm teknikleri ile çözülemeyen ve Tablo 4.4., Tablo 4.5. ile Tablo 4.6.'da yer alan büyük ölçekli test problemleri TB algoritması ile çözülmüştür.

5.5.2. Sayısal analizler

Tezin bu bölümünde Bölüm 4'te matematiksel model ile çözülen problemler bu defa TB algoritması ile çözülmüştür. Her bir problem için TB algoritması 15 kez çalıştırılarak;

ortalama amaç fonksiyonu değeri, TB'nin bulduğu en iyi sezgisel değer, sapma oranı (SO) ile değişim katsayıları (DK) hesaplanmıştır. Sapma oranı; bulunan en iyi sezgisel değerlerin kesin değerden ne kadar saptığını göstermek için verilmiştir. Tavlama Benzetimi algoritmasının doğruluk ve etkinliğini göstermek için çözülen test problemleri Tablo 5.1, Tablo 5.2. ve Tablo 5.3.'te yer almaktadır.

Sonraki aşamada büyük boyutlu test problemleri geliştirilen TB algoritması ile çözülmüştür. Her bir problem için TB algoritması 15 kez çalıştırılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.4., Tablo 5.5. ve Tablo 5.6.'da verilmiştir. Tablo 5.1. incelendiğinde, ilk 7 problemde algoritmanın *en iyi* değere ulaştığı, sonraki problemlerde en iyi değerlere çok yakın sonuçlar bulunduğu görülmektedir. İlk 5 problemde değişim katsayı değerlerinin *sıfır(0)* değerini aldığı, en yüksek değişim katsayısı değerinin 0,0068 gibi çok küçük bir değer olduğu görülmektedir.

Tablo 5.1. Küçük boyutlu test problemlerinin çözümü (problem grubu-1)

Sıra	Problem Kodu	Personel Sayısı	Çözüm Süresi (Sn.)	Ortalama Değer	En İyi Değer (Doğrusal)	En İyi Değer (Sezgisel)	Sapma Oranı	Değişim Katsayısı
1	5Z2L3T_30P_01	30	1,15	7.009.880	7.009.880	7.009.880	0,00000	0,00000
2	5Z2L3T_30P_02	30	1,24	7.028.470	7.028.470	7.028.470	0,00000	0,00000
3	5Z2L3T_30P_03	30	1,18	4.783.197	4.783.197	4.783.197	0,00000	0,00000
4	5Z2L3T_30P_04	30	1,30	7.432.549	7.432.549	7.432.549	0,00000	0,00000
5	5Z2L3T_30P_05	30	1,12	7.598.233	7.598.233	7.598.233	0,00000	0,00000
6	5Z4L3T_60P	60	3,12	12.518.516	12.469.271	12.469.271	0,00000	0,00000
7	5Z6L3T_90P	90	4,58	20.549.434	20.538.678	20.538.678	0,00000	0,00000
8	5Z8L3T_120P	120	4,28	26.636.319	26.531.810	26.553.076	0,00080	0,00250
9	5Z10L3T_150P	150	5,29	38.972.530	38.826.650	38.859.059	0,00083	0,00101
10	5Z20L3T_300P	300	6,91	62.733.346	62.238.051	62.564.861	0,00525	0,00161
11	5Z30L3T_450P	450	7,74	92.348.823	91.288.509	91.527.416	0,00262	0,00578
12	5Z40L3T_600P	600	10,18	128.498.201	127.193.823	127.910.557	0,00563	0,00465
13	5Z50L3T_750P	750	22,49	175.923.208	174.437.198	175.527.915	0,00625	0,00139
14	5Z60L3T_900P	900	47,78	199.921.285	198.324.999	198.921.925	0,00301	0,00186
15	5Z70L3T_1050P	1050	82,78	239.334.856	237.422.346	238.538.512	0,00470	0,00264
16	5Z80L3T_1200P	1200	128,64	267.322.889	266.068.323	267.071.949	0,00377	0,00063
17	5Z90L3T_1350P	1350	188,24	311.369.943	309.897.350	311.094.873	0,00386	0,00084
18	5Z100L3T_1500P	1500	268,12	345.793.286	344.314.868	345.436.584	0,00326	0,00084
19	5Z110L3T_1650P	1650	356,00	364.434.669	362.140.136	364.227.837	0,00576	0,00044
20	5Z120L3T_1800P	1800	445,50	410.272.683	408.064.071	410.131.522	0,00507	0,00030

Personel sayısının kademeli olarak arttırmasıyla oluşturulan, Tablo 5.2. ve Tablo 5.3.'de yer alan problemlerde de en iyi değerlere çok yakın sonuçlar bulunduğu, en yüksek değişim katsayısı değerinin 0,0028 gibi daha küçük bir değer olduğu görülmektedir.

Tablo 5.2. Orta boyutlu test problemleri(Problem grubu-2(7 bölge-3 görev tipi))

Sıra	Problem Kodu	Personel Sayısı	Çözüm Süresi(Sn.)	Ortalama Değer	En İyi Değer (Doğrusal)	En İyi Değer (Sezgisel)	Sapma Oranı	Değişim Katsayısı
1	7Z10L3T_210P	210	6,98	53.108.105	52.724.795	52.951.641	0,00430	0,00159
2	7Z20L3T_420P	420	12,08	88.298.419	87.289.810	88.099.963	0,00928	0,00153
3	7Z30L3T_630P	630	46,35	150.791.160	149.494.088	150.395.070	0,00603	0,00104
4	7Z40L3T_840P	840	54,97	187.824.832	185.905.578	187.472.956	0,00843	0,00142
5	7Z50L3T_1050P	1050	102,60	227.945.648	225.896.526	227.413.004	0,00671	0,00167
6	7Z60L3T_1260P	1260	163,12	281.505.476	279.778.978	281.208.410	0,00511	0,00095
7	7Z70L3T_1470P	1470	214,28	333.299.468	329.853.666	331.944.978	0,00634	0,00225
8	7Z80L3T_1680P	1680	289,22	380.381.948	377.833.664	379.680.420	0,00489	0,00185
9	7Z90L3T_1890P	1890	442,43	419.156.203	416.989.888	418.966.737	0,00474	0,00020
10	7Z100L3T_2100P	2100	518,92	463.598.357	461.431.428	463.296.191	0,00404	0,00065

Tablo 5.3. Orta boyutlu test problemleri(Problem grubu-2 (10 bölge-3 görev tipi))

Sıra	Problem Kodu	Personel Sayısı	Çözüm Süresi(Sn.)	Ortalama Değer	En İyi Değer (Doğrusal)	En İyi Değer (Sezgisel)	Sapma Oranı	Değişim Katsayısı
1	10Z10L3T_300P	300	15,24	65.902.709	65.246.944	65.606.047	0,00550	0,00287
2	10Z20L3T_600P	600	54,62	135.968.198	134.602.158	135.544.301	0,00700	0,00188
3	10Z30L3T_900P	900	97,78	207.903.373	206.433.472	207.542.252	0,00537	0,00168
4	10Z40L3T_1200P	1200	140,33	265.165.530	262.990.994	264.564.737	0,00598	0,00186
5	10Z50L3T_1500P	1500	328,46	323.843.001	321.776.454	323.225.201	0,00450	0,00118
6	10Z60L3T_1800P	1800	404,52	409.765.040	407.440.559	408.979.951	0,00378	0,00094
7	10Z70L3T_2100P	2100	638,18	475.722.673	473.366.010	475.378.490	0,00425	0,00055
8	10Z80L3T_2400P	2400	780,12	548.317.186	545.464.628	548.150.265	0,00492	0,00020
9	10Z90L3T_2700P	2700	875,22	580.273.576	577.677.085	579.899.592	0,00385	0,00067
10	10Z100L3T_3000P	3000	1207,08	689.985.859	686.944.717	689.901.995	0,00430	0,00011

Kesin çözümü bilinen 40 test problemlerin aynı ya da çok yakın çözümleri TB algoritmasıyla elde edilerek algoritmanın doğruluğu gösterilmiştir. Çözümü bilinmeyen problemler için elde edilen çözümlerde TB algoritmasının başarısının devam ettiği, rassal yapılan deneme tekrarlarında elde edilen sonuçların tutarlılığı ile gösterilebilir.

Tablo 5.1., Tablo 5.2 ve Tablo 5.3.'te görüldüğü gibi TB algoritmasının farklı boyutlarda toplam 40 test problemi üzerinde 15 farklı rassal deneme ile elde edilen sonuçların değişim katsayısı sütunu incelendiğinde değişim katsayısının 0.001-0.007 arasında değiştiği görülmektedir. Bu da algoritmanın performansının çok iyi olduğunu (gülbüz, robust) olduğunu göstermektedir.

Değişim katsayı değerlerinin çok düşük olması algoritmanın her denemede ne kadar kararlı ve güçlü olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla analitik yöntemle çözülemeyen büyük ölçekli problemlerde önerilen algoritmanın kullanılabileceği sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

Tablo 5.4., Tablo 5.5. ile Tablo 5.6.'da yer alan büyük ölçekli personel atama test problemlerine ait çözümler incelendiğinde, Tablo 5.4.'de yer alan 7Z350L3T_7350P kodlu 6 numaralı test problemi ile Tablo 5.5.'de yer alan 10Z240L3T_7200P 4 numaralı test problemlerinin 0,01 değeri ile en yüksek değişim katsayı değerlerine sahip olduğu, diğer test problemlerin çok düşük değişim katsayısına sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 5.4. Büyük boyutlu test problemleri(Problem grubu 3(7 bölge ve 3 görev tipi))

Sıra	Problem Kodu	Personel Sayısı	Çözüm Süresi (Sn.)	Ortalama Değer	İyileşme Değeri	Başlangıç Değeri	Enküçük Değer	Değişim Katsayısı
1	7Z300L3T_6300P	6300	431,53	1.433.630.203	318.114.843	1.732.733.582	1.414.618.739	0,00843
2	7Z310L3T_6510P	6510	454,60	1.431.729.858	358.122.401	1.784.713.997	1.426.591.596	0,00213
3	7Z320L3T_6720P	6720	552,92	1.547.823.256	324.084.513	1.848.424.295	1.524.339.782	0,00906
4	7Z330L3T_6930P	6930	451,57	1.603.578.819	330.443.556	1.914.092.665	1.583.649.109	0,00920
5	7Z340L3T_7140P	7140	570,97	1.640.292.964	358.049.208	1.971.370.031	1.613.320.823	0,00947
6	7Z350L3T_7350P	7350	532,16	1.670.944.350	393.853.790	2.028.639.116	1.634.785.326	0,01085
7	7Z360L3T_7560P	7560	543,29	1.694.562.030	413.596.028	2.103.202.665	1.689.606.637	0,00230
8	7Z370L3T_7770P	7770	574,03	1.744.472.765	414.439.268	2.153.901.711	1.739.462.443	0,00196
9	7Z380L3T_7980P	7980	604,44	1.764.602.346	437.040.317	2.194.359.858	1.757.319.541	0,00275
10	7Z390L3T_8190P	8190	635,06	1.828.469.089	448.217.993	2.271.915.374	1.823.697.381	0,00156

Tablo 5.5. Büyük test problemleri(Problem grubu-4(10 bölge ve 3 görev tipi))

Sıra	Problem Kodu	Personel Sayısı	Çözüm Süresi (Sn.)	Ortalama Değer	İyileşme Değeri	Başlangıç Değeri	Enküçük Değer	Değişim Katsayısı
1	10Z210L3T_6300P	6300	442,56	1.444.047.004	339.261.165	1.758.240.080	1.418.978.915	0,00783
2	10Z220L3T_6600P	6600	488,09	1.507.795.910	319.681.931	1.810.388.282	1.490.706.351	0,00612
3	10Z230L3T_6900P	6900	520,20	1.581.180.163	342.821.581	1.896.481.780	1.553.660.199	0,00724
4	10Z240L3T_7200P	7200	647,34	1.631.726.771	383.536.608	1.976.135.688	1.592.599.080	0,01078
5	10Z250L3T_7500P	7500	530,56	1.666.929.320	411.634.581	2.073.055.292	1.661.420.711	0,00251
6	10Z260L3T_7800P	7800	451,33	1.719.601.004	425.477.065	2.138.150.630	1.712.673.565	0,00304
7	10Z270L3T_8100P	8100	430,00	1.794.419.945	442.943.911	2.230.458.138	1.787.514.227	0,00354
8	10Z280L3T_8400P	8400	446,64	1.826.809.039	461.113.108	2.283.000.329	1.821.887.221	0,00175
9	10Z290L3T_8700P	8700	485,77	1.947.441.170	459.078.937	2.396.663.662	1.937.584.725	0,00352
10	10Z300L3T_9000P	9000	516,48	2.017.061.722	493.656.735	2.505.757.214	2.012.100.479	0,00189

Tablo 5.6. Büyük boyutlu test problemleri(Problem grubu-5(15 bölge ve 3 görev tipi))

Sıra	Problem Kodu	Personel Sayısı	Çözüm Süresi (Sn.)	Ortalama Değer	İyileşme Değeri	Başlangıç Değeri	Enküçük Değer	Değişim Katsayısı
1	15Z150L3T_6750P	6750	518,24	1.509.827.745	359.793.745	1.862.579.022	1.502.785.277	0,00305
2	15Z160L3T_7200P	7200	520,00	1.559.212.158	387.436.187	1.939.178.046	1.551.741.859	0,00292
3	15Z170L3T_7650P	7650	583,82	1.714.243.344	415.585.391	2.120.409.364	1.704.823.973	0,00263
4	15Z180L3T_8100P	8100	576,40	1.776.607.320	453.698.961	2.220.235.542	1.766.536.581	0,00329
5	15Z190L3T_8550P	8550	608,03	1.904.974.628	455.399.394	2.352.248.429	1.896.849.035	0,00265
6	15Z200L3T_9000P	9000	702,46	2.009.900.199	485.296.888	2.489.773.484	2.004.476.596	0,00280
7	15Z210L3T_9450P	9450	720,40	2.094.738.532	505.898.594	2.591.666.752	2.085.768.158	0,00334
8	15Z220L3T_9900P	9900	754,33	2.186.473.607	540.186.569	2.715.089.579	2.174.903.010	0,00262
9	15Z230L3T_10350P	10350	769,74	2.329.933.726	546.283.855	2.867.204.423	2.320.920.568	0,00255
10	15Z240L3T_10800P	10800	895,72	2.419.235.277	598.436.591	3.010.889.553	2.412.452.962	0,00183

Atanacak personel sayısı 5.000 üzerine çıkmasına rağmen geliştirilen algoritma kullanılarak çözülen büyük boyutlu test problemleri çok küçük değişim katsayısı değerlerine sahiptir. Bu durum geliştirilen TB algoritmasının güçlü bir algoritma olduğunu göstermektedir. Atanacak personel sayısının 10.000 civarlarında olduğu test problemleri incelendiğinde; Tablo 5.5.'de 10. sırada yer alan test probleminin 0,0018, Tablo 5.6.'da 8,9 ile 10. sırada yer alan test problemlerinin sırasıyla 0,0026, 0,0025 ve 0,0018 değişim katsayısı değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Geliştirilen algoritma ile çözülen tüm test problemleri birlikte değerlendirildiğinde geliştirilen TB algoritmasının kararlı ve güçlü olduğu, çok iyi performansa sahip olduğu görülmektedir.

6. KURUMA ÖZEL UYGULAMA

Yukarıdaki bölümlerde, üretilen test problemleri kullanılarak personel atama problemi için önerilen modelin genel sayısal analizleri verilerek incelemeler yapılmış ve geçerliliği gösterilmiştir. Bu bölümde ise kurumun maliye birimlerinde çalışan personelin ataması için örnek bir uygulamaya yer verilmiştir.

6.1. Kurumun Atama Problemi

Çalışmanın bu kısmında kurumun 360 personelinin ataması önerilen matematiksel model ile elde edilen çözüme göre yapılmıştır. Personel beş hizmet bölgesi, 120 görev yeri ve üç görev tiplerinden birinde çalışmaktadır. Birinci bölgede 31, ikinci bölgede 24, üçüncü bölgede 35, dördüncü bölgede 23 ve beşinci bölgede 7 görev yeri yer almaktadır. Her görev yeri için 2-8 yıl arasında değişen yönetmelikte belirlenmiş görev süreleri bulunmaktadır. Görev süresi dolmamış personel sadece bulunduğu yerleşim yerindeki başka görev tipine atanabilmektedir. Görev süresini dolduran personel ise halen çalıştığı bölge dışındaki bölgelerde yer alan görev yerlerine zorunlu hizmet veya rotasyon kapsamında atanır.

Personel arasında rütbe farklılıkları olduğundan atamalarda rütbe seviyeleri dikkate alınmaktadır. Mevcut durumda üç rütbe seviyesi vardır. Personelin beş bölgenin tamamında çalıştırması hedeflendiğinden atamalarda zorunlu rotasyon yapılmaktadır. Bölgeler arasında farklılıkların olması, kritik görevlerin varlığı nedeniyle bazı bölge ve görevlere personelin zorunlu ataması yapılır. Bu nedenle söz konusu görevlere tercih dışı atamaya izin verilir. Uygulamada dördüncü ve beşinci hizmet bölgeleri zorunlu hizmet bölgeleri olarak kullanılmıştır. Her personel için çalıştığı görev yeri puanına göre hizmet puanı hesaplanmaktadır. Bölgeler arası dengeli atama yapabilmek için hizmet puanı ve görev puanını birlikte değerlendirir. Modelde önerildiği şekilde belirtilen iki puan çarpımının en küçüklenmesi ile uygun çözüm elde edilmiştir.

6.2. Problemin Çözümü

Örnek problemin çözümünde rotasyon kısıtlarında (4.3) görev süresini dolduran ($W_{ijk} \leq TW_{ijk}$) personel için kronolojik olarak atanması engellenecek bölge sayısı ($t=2$) iki olarak seçilmiştir. Personelin daha önce çalıştığı iki bölgedeki tüm görevlere atanması engellenerek rotasyon sağlanmıştır. Örnek uygulamada üç rütbe seviyesinin olduğu varsayımıyla üç görev tipi seçilmiştir:

- (1) Alt rütbedeki personel için k ve n değerleri birdir.
- (2) Orta seviyede bir rütbeye sahip personel için ikidir.
- (3) Üst seviyedeki rütbeye sahip personel için üçtür.

(4.4) ve (4.5) rütbe kısıtları ile her personel aynı seviyedeki rütbeye ya da bir üst seviyedeki göreve atamasını sağlayan, daha üst seviyedeki görevler ile alt seviyedeki görevlere atamasını engeller. (4.4) Kısıtları ile personelin iki üst düzeydeki görev tipine ataması engellenmektedir. (4.5) kısıtlarında ise personelin alt düzeydeki görevlere atanması engellenmektedir.

Personelin görev süresini doldurmaması ($W_{ijk} \leq TW_{ijk}$) durumunda (4.6) ve (4.7)) kısıtlarının sağlanmasıyla personel bulunduğu zorunlu görev(sıralı hizmet) bölgesindeki aynı ildeki görevine veya aynı ildeki başka görevde çalışmaya devam eder. Zorunlu hizmet bölgeleri dört ve beşinci bölgelerdir. Görev süresini doldurmuş ($W_{ijk} \geq TW_{ijk}$) personel ise (4.8) ve (4.9)) kısıtlarının sağlanmasıyla zorunlu bölgeler dışındaki bölgelere atanır. Uygulamada kullanılan zorunlu olmayan bölgeler bir, iki ve üçüncü bölgelerdir.

Bir, iki ve üçüncü bölgelerde çalışan personel, görev süresini doldurmamış ($W_{ijk} \leq TW_{ijk}$) ise (4.10) ve (4.11)) kısıtlarının sağlanmasıyla bulunduğu görev ilinde(rütbe nedeniyle farklı görev tiplerinde) görev yapmaya devam eder.

Görev süresini doldurmuş ($W_{ijk} \geq TW_{ijk}$) personel ise (4.12) ve (4.13) kısıtlarının sağlanmasıyla zorunlu görev bölgeleri dahil görev yaptığı bölgeler dışındaki bölgelere atanır. Kurumun atama sisteminde personel tercihi dikkate alınmakta, ancak tercih dışı atamaya da izin verilmektedir. Tercih sırası toplamaların (4.14) belli bir eşik değerin altında

tutulmasıyla tercih dışı atamaya izin verilmekte aynı zamanda mümkün oldukça personelin öncelikli tercihlerine ataması sağlanmaktadır.

Ayrıca bu kısıtlar yöneticiye farklı seçenekler önermek amacıyla personelin ilk 15,20,30,40. tercihlerine atanması için birbirinden farklı P_i eşik değerleri tespit edilmiştir. Yönetmelikte bütçe durumunun atamalarda dikkate alınacağı belirtilmiş ancak atama maliyeti bu güne dek dikkate alınmamıştır. Maliyet kısıtı (4.15) ile atama maliyetlerinin belli bir C_i tutarının altında olması sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar izleyen kısımda incelenerek tartışılmıştır.

6.3. Sayısal Analizler

Modelin optimal çözümü sonucu elde edilen Tablo 6.1. incelendiğinde; daha önce küçük veya tercih görev yerlerinde çalıştığından en düşük ortalama puanlı personelin, yüksek puana sahip görev yerlerine atandığı görülmektedir. En düşük ortalama hizmet puanlı personelin yüksek puanlı Ankara görevlerine, rotasyon engeli nedeniyle Ankara'daki görevlere atanamayan personelin ise diğer bölgelerdeki en yüksek puanlı illere atanması sağlanarak ortalama hizmet puanları ile görev yeri puanları arasında dengeli atama sağlandığı görülmektedir.

Buna karşın daha önce gelişmiş ve çok tercih edilen görev yerlerinde çalıştığından en yüksek ortalama puana sahip personelin ise az gelişmiş ve personel tarafından istenilmeyen veya az istenilen düşük puanlı görev yerlerine atandığı Tablo 6.2.'de görülmektedir. Yüksek ortalama hizmet puanına sahip personelin, daha çok zorunlu hizmet bölgesi olduğu için düşük görev puanına sahip Şırnak, Hakkari, Tunceli, Bingöl ve Diyarbakır illerine ataması yapılmıştır. Aynı tabloda 18. sıradaki personel ise bulunduğu görevdeki süresini bitirmediği için aynı ilde (Balıkesir) kalmıştır.

Atama sonuçları en küçük görev yeri puanına göre sıralandığında yine en yüksek ortalama hizmet puanlı personelin en küçük görev puanına sahip görev illerine atandığı Tablo 6.3.'de görülmektedir.

Tablo 6.1. Örnek uygulamanın atama sonuçları (düşük ortalama hizmet puanı sıralı)

Sıra	Hizmet Puanı	Atama Öncesi		Atama Sonucu	Atama Sonrası		Görev Puanı
		Hizmet Bölgesi	Görev Yeri Adı		Hizmet Bölgesi	Görev Yeri Adı	
1	220	1	Kocaeli 01	X_1_28_1\$4_14_1	4	Erzurum 02	693
2	220	2	A.Karahisar 01	X_2_1_1\$1_10_1	1	Ankara 08	1.000
3	220	3	Çankırı 01	X_3_11_3\$1_9_3	1	Ankara 07	1.000
4	220	3	Kastamonu 02	X_3_21_1\$2_14_1	2	Malatya 01	672
5	230	1	Aydın 02	X_1_13_2\$2_14_2	2	Malatya 01	672
6	230	1	Denizli 01	X_1_19_1\$2_15_1	2	Mersin 01	661
7	230	1	Konya 01	X_1_29_1\$2_20_1	2	Tekirdağ 01	660
8	230	2	Sakarya 01	X_2_19_2\$4_14_2	4	Erzurum 02	693
9	240	1	Çanakkale 01	X_1_16_2\$2_3_2	2	Balıkesir 01	663
10	240	1	İzmir 01	X_1_24_2\$4_13_2	4	Erzurum 01	693
11	240	2	Zonguldak 02	X_2_24_1\$1_4_1	1	Ankara 02	1.000
12	240	2	Zonguldak 02	X_2_24_2\$1_7_2	1	Ankara 05	1.000
13	240	3	Bartın 01	X_3_5_1\$2_4_1	2	Bolu 01	653
14	250	1	Ankara 06	X_1_8_1\$4_13_1	4	Erzurum 01	693
15	250	4	Erzurum 01	X_4_13_2\$1_5_2	1	Ankara 03	1.000
16	260	1	Ankara 04	X_1_6_3\$1_6_3	1	Ankara 04	1.000
17	260	1	Çanakkale 02	X_1_17_3\$2_14_3	2	Malatya 01	672
18	260	2	Malatya 01	X_2_14_3\$1_7_3	1	Ankara 05	1.000
19	260	2	Yalova 01	X_2_22_3\$1_10_3	1	Ankara 08	1.000
20	260	3	Artvin 01	X_3_4_1\$1_3_1	1	Ankara 01	1.000
...	...	...	...	...	...	...	...
356	990	1	Bursa 02	X_1_15_2\$5_5_2	5	Şırnak 01	238
357	990	1	Samsun 01	X_1_31_2\$3_4_2	3	Artvin 01	393
358	990	3	Kırklareli 01	X_3_22_2\$5_1_2	5	Bingöl 02	324
359	1.000	2	Karabük 02	X_2_11_2\$3_24_2	3	Kilis 01	357
360	1.000	3	Ordu 01	X_3_27_2\$5_2_2	5	Diyarbakır 04	218

Tablo 6.2. Örnek atama sonuçları (yüksek ortalama hizmet puanı sıralı)

Sıra	Hizmet Puanı	Atama Öncesi		Atama Sonucu	Atama Sonrası		Görev Puanı
		Hizmet Bölgesi	Görev Yeri Adı		Hizmet Bölgesi	Görev Yeri Adı	
1	1.000	2	Karabük 02	X_2_11_2\$3_24_2	3	Kilis 01	357
2	1.000	3	Ordu 01	X_3_27_2\$5_2_2	5	Diyarbakır 04	218
3	990	1	Bursa 02	X_1_15_2\$5_5_2	5	Şırnak 01	238
4	990	1	Samsun 01	X_1_31_2\$3_4_2	3	Artvin 01	393
5	990	3	Kırklareli 01	X_3_22_2\$5_1_2	5	Bingöl 02	324
6	980	3	İzmir 05	X_3_18_2\$5_4_2	5	Hakkari 01	329
7	970	1	Ankara 02	X_1_4_2\$4_21_2	4	Tunceli 02	428
8	970	1	Ankara 03	X_1_5_3\$3_24_3	3	Kilis 01	357
9	970	2	Muğla 01	X_2_16_2\$5_7_2	5	Şırnak 03	357
10	970	3	Bartın 01	X_3_5_2\$5_6_2	5	Şırnak 02	357
11	970	3	Manisa 02	X_3_25_2\$4_20_2	4	Tunceli 01	428
12	970	3	Sinop 01	X_3_30_3\$4_21_3	4	Tunceli 02	428
13	970	4	Diyarbakır 03	X_4_10_1\$3_4_1	3	Artvin 01	393
14	970	5	Bingöl 02	X_5_1_1\$3_24_1	3	Kilis 01	357
15	960	1	Ankara 01	X_1_3_3\$5_1_3	5	Bingöl 02	324
16	960	1	Çanakkale 03	X_1_18_1\$3_6_1	3	Bayburt 01	398
17	960	1	İzmir 01	X_1_24_3\$5_2_3	5	Diyarbakır 04	218
18	960	2	Balıkesir 01	X_2_3_1\$2_3_1	2	Balıkesir 01	663
19	960	2	Gaziantep 01	X_2_7_1\$3_15_1	3	Gümüşhane 01	407
20	960	2	Isparta 01	X_2_8_3\$5_4_3	5	Hakkari 01	329
...	...	...	...	...	...	...	...
356	230	2	Sakarya 01	X_2_19_2\$4_14_2	4	Erzurum 02	693
357	220	1	Kocaeli 01	X_1_28_1\$4_14_1	4	Erzurum 02	693
358	220	2	A.Karahisar 01	X_2_1_1\$1_10_1	1	Ankara 08	1.000
359	220	3	Çankırı 01	X_3_11_3\$1_9_3	1	Ankara 07	1.000
360	220	3	Kastamonu 02	X_3_21_1\$2_14_1	2	Malatya 01	672

Tablo 6.3. Örnek atama sonuçları (düşük görev puanı puan sıralı)

Sıra	Hizmet Puanı	Atama Öncesi		Atama Sonucu	Atama Sonrası		Görev Puanı
		Hizmet Bölgesi	Görev Yeri Adı		Hizmet Bölgesi	Görev Yeri Adı	
1	1.000	3	Ordu 01	X_3_27_2\$5_2_2	5	Diyarbakır 04	218
2	950	3	Sinop 01	X_3_30_1\$5_2_1	5	Diyarbakır 04	218
3	960	1	İzmir 01	X_1_24_3\$5_2_3	5	Diyarbakır 04	218
4	700	5	Şırnak 01	X_5_5_3\$5_5_3	5	Şırnak 01	238
5	950	3	Yozgat 01	X_3_35_1\$5_5_1	5	Şırnak 01	238
6	990	1	Bursa 02	X_1_15_2\$5_5_2	5	Şırnak 01	238
7	990	3	Kırklareli 01	X_3_22_2\$5_1_2	5	Bingöl 02	324
8	960	1	Ankara 01	X_1_3_3\$5_1_3	5	Bingöl 02	324
9	940	1	İstanbul 03	X_1_23_1\$5_1_1	5	Bingöl 02	324
10	980	3	İzmir 05	X_3_18_2\$5_4_2	5	Hakkari 01	329
11	930	1	Ankara 02	X_1_4_1\$5_4_1	5	Hakkari 01	329
12	960	2	Isparta 01	X_2_8_3\$5_4_3	5	Hakkari 01	329
13	880	5	Şırnak 03	X_5_7_1\$5_7_1	5	Şırnak 03	357
14	970	3	Bartın 01	X_3_5_2\$5_6_2	5	Şırnak 02	357
15	840	3	İzmir 05	X_3_18_1\$5_6_1	5	Şırnak 02	357
16	880	1	İzmir 02	X_1_25_3\$5_6_3	5	Şırnak 02	357
17	970	2	Muğla 01	X_2_16_2\$5_7_2	5	Şırnak 03	357
18	920	2	Nevşehir 01	X_2_17_3\$5_7_3	5	Şırnak 03	357
19	970	5	Bingöl 02	X_5_1_1\$3_24_1	3	Kilis 01	357
20	970	1	Ankara 03	X_1_5_3\$3_24_3	3	Kilis 01	357
...	...	...	...	...	...	...	...
356	270	4	Erzincan 01	X_4_12_1\$1_6_1	1	Ankara 04	1.000
357	250	4	Erzurum 01	X_4_13_2\$1_5_2	1	Ankara 03	1.000
358	260	4	Erzurum 02	X_4_14_3\$1_3_3	1	Ankara 01	1.000
359	320	4	Muş 01	X_4_18_1\$1_7_1	1	Ankara 05	1.000
360	260	4	Tunceli 02	X_4_21_2\$1_4_2	1	Ankara 02	1.000

Puanı düşük olan personel görev puanı yüksek olan görevlere tayin olmuştur. Diğer taraftan puanı yüksek olan personel ise görev puanı düşük olan görevlere tayin olmuştur. Ayrıca en son çalıştığı görevdeki süresini tamamlayan kişiler diğer bölgelerdeki görevlere tayin olmuştur. Görev süresini tamamlamayanlar ise bulunduğu ildeki görevlere aynı yerleşim birimlerinde farklı görevlere atanmıştır. Rütbe seviyesi kısıtı ile hiyerarşik durum dikkate alınmış, alt rütbelere atama yapılmasının önüne geçilmiştir. Rotasyon kısıtı kullanılarak çalışanların daha önce görevli olduğu yerleşim bölgelerine atanması engellenerek bölgeler arası rotasyon sağlanmıştır.

Alternatifler arasında öncelikli seçeneğin seçilmesi olarak tanımlayabileceğimiz tercih kriteri, personel atamalarında personel memnuniyetini sağlar. Kaynakların etkili, ekonomik ve verimli kullanılması açısından atama maliyetlerinin düşürülmesi işletme ve kuruma fayda sağlamaktadır. Hizmet puanı hesaplamalarında; yerleşim birimlerinin sağladığı imkanlar, görevin zorlukları gibi önemli atama kriterleri göz önünde bulundurulmaktadır. Bu yönüyle hizmet puanları atama maliyeti ve tercihlerden belirleyicidir. Bu nedenle en önemli atama kriterlerinden olan puan parametreleri amaç fonksiyonunda kullanılmıştır. Tercih toplamaları ve toplam maliyet kısıtları ise gevşek kısıtlara eklenmiştir.

Kurumun atama sisteminde personele tercih hakkı verilmekte ancak tercih edilmeyen görev yerlerinin bulunması ve kritik görevlerde personel çalıştırma zorunluluğu bulunduğundan tercih dışı atama da yapılmaktadır. Oluşturulan personel atama modelinde kısıtlar tercih dışı atamaya izin verilecek şekilde tasarlanmıştır. Atama görececek personelin tercih sırası toplamalarını belirlenen eşik değerlerin altında kalmasını sağlayarak personelin mümkün olduğunca öncelikli tercihlerine atanmasını sağlayan ancak tercih dışı atamaya da izin veren tercih kısıtları modele eklenmiştir.

Alternatif çözümler sunmak için maliyet veya bütçe kısıtı ile tercih toplamaları kısıtlarının sağ taraf değerlerine farklı değerler verilerek çözümler elde edilmiştir.

Birbirinden farklı C_i ve P_i değerlerinin kullanılmasıyla çözülen problemlerin en iyi değerleri Tablo 6.4.'de verilmiştir. Farklı C_i ve P_i değerlerinin toplam maliyet ve toplam tercih kısıtlarının sağ taraf değerlerinde kullanılması sonucu karar vericiler için alternatif çözümler elde edilmiştir. P_i ve C_i sağ taraf değerlerinin en iyi değer üzerindeki etkileri gösterilmiştir.

Farklı 20 P_i ve 20 C_i eşik değerleri kullanılarak oluşturulan 400 problemin çözümü ile deneysel analiz yapılmıştır. P_i ve C_i eşik değerleri adım adım değiştirilerek 286 adet problem için optimal çözüm elde edilmiştir. P_i ve C_i parametrelerinin küçük değerlere yaklaşması durumunda 114 problem için optimal çözüm elde edilememiştir. Farklı toplam tercih eşik değerleri ile toplam maliyet eşik değerlerinin çözümler üzerinde etkisi incelenerek karar vericilere farklı alternatif seçenekler önerilmiştir:

- (P_{18}): Personelin ilk 15 tercihine atanmasının 2 çözümü,
- (P_{17}) Personelin ilk 20 tercihine atanmasının 10 çözümü,

- (P_{16}) Personelin ilk 30 tercihine atanmasının 14 çözümü,
- (P_{15}) Personelin ilk 40 tercihine atanmasının 15 çözümü,
- (P_{14}) Personelin ilk 50 tercihine atanmasının 16 çözümü,
- (P_{13}) Personelin ilk 60 tercihine atanmasının 17 çözümü,
- (P_{12}) Personelin ilk 70 tercihine atanmasının 17 çözümü,
- (P_{11}) Personelin ilk 80 tercihine atanmasının 17 çözümü,
- (P_{10}) Personelin ilk 90 tercihine atanmasının 17 çözümü,
- (P_{09}) Personelin ilk 100 tercihine atanmasının 17 çözümü,

Olmak üzere toplamda 85 çözüme ulaşılmıştır. Atama maliyetleri toplamı sağ taraf değerleri için çözülen alternatif çözümler de Tablo 6.4'te yer almaktadır.



Tablo 6.4. Farklı P_i ve C_i eşik değerleri ile elde edilen alternatif çözümler [76]

	Atama Maliyeti	300.000	290.000	280.000	270.000	260.000	250.000	240.000	230.000	220.000	210.000	200.000	190.000	180.000	170.000	160.000	150.000	140.000	130.000	120.000	110.000
Tercih Sayısı	F(X) *	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_10	C_11	C_12	C_13	C_14	C_15	C_16	C_17	C_18	C_19	C_20
180	P_1	220 (*)	220(*)	222	298	442	724	1236	2265	4805	9446	14909	24197	39521	66754	112577	183573	310510	767589	-	-
170	P_2	220 (*)	220 (*)	222	298	448	1000	1235	2386	4805	8878	15078	24197	39521	66754	112577	183066	310005	767589	-	-
160	P_3	220 (*)	220 (*)	222	298	441	724	1236	2314	4805	8930	14975	24197	39521	66754	112264	183702	310574	767695	-	-
150	P_4	220 (*)	406	224	299	896	746	1249	2391	4805	9202	15062	24538	39801	66978	112614	183963	311310	769709	-	-
140	P_5	220 (*)	220 (*)	234	316	479	792	1333	2473	5017	9190	15819	24853	40325	68319	113983	186130	315328	778151	-	-
130	P_6	236	241	278	1505	809	1046	1719	2744	5306	9707	16256	25457	41243	69384	116977	190744	320623	799621	-	-
120	P_7	306	316	386	535	751	1981	1944	3276	6099	10433	16994	26960	43308	73745	121781	196216	329836	846982	-	-
110	P_8	437	464	563	1551	1100	1592	2515	4561	7074	11966	18441	29010	46713	77136	128336	204923	343776	952621	-	-
100	P_9	755	1464	1094	1210	2579	2490	3452	5673	8696	13818	21401	32559	32559	83113	136398	216254	366971	-	-	-
90	P_10	1294	2247	1449	1833	2549	3520	5186	7419	11256	16915	24494	36481	56665	93116	149010	234500	404836	-	-	-
80	P_11	2243	2074	2573	3282	4441	5521	7770	10710	14948	20535	29905	43575	65317	105439	167943	265644	460389	-	-	-
70	P_12	4017	4032	4688	5397	6914	8572	11213	14898	20029	26895	38296	54316	54316	124611	193554	307222	543950	-	-	-
60	P_13	8042	8164	8956	10136	11398	13845	17198	22449	27647	38506	51764	71943	104896	154690	236143	383440	723082	-	-	-
50	P_14	15804	15609	16606	18381	20313	23614	27218	33672	42899	55249	73779	101281	144862	209697	323299	546337	-	-	-	-
40	P_15	31767	31830	33118	35902	39419	44285	52155	61377	75106	75106	118966	118966	224040	331280	534492	-	-	-	-	-
30	P_16	79268	79964	80540	84841	90973	101207	116337	135238	159732	159732	251066	251066	484854	811533	-	-	-	-	-	-
20	P_17	257886	257757	262500	273384	294154	328161	376661	443947	553967	553967	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	P_18	965161	1005142	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	P_19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	P_20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya nüfusunun hızla artması, iş imkanlarının nüfus oranına göre her yerde bulunmaması, bireylerin farklı meslek ve iş kollarında çalışma talepleri, insanların daha elverişli yerleşim yerlerinde yaşamak istemeleri gibi nedenlerle dünyada her gün binlerce kişi bir işte çalışmak için yer değiştirmektedir. Birden fazla yerleşim yerine, ülke geneline veya dünya geneline yayılmış birimleri olan özel veya kamu kurumlarında çalışan personelin yer değiştirme kararları merkezden yapılmaktadır. Özel ve kamu kurumları personeli dengeli veya düzenli dağıtmak için belirledikleri kriterlere göre atama yaparlar. Bu yüzden personel atama problemi çalışmaları eski olmasına rağmen önemini günümüzde de korumaya devam etmektedir. Bu çalışmada ülkemizde atamaların yoğun yapıldığı bir kamu kurumu için personel atama modeli önerilmiştir.

Literatürdeki birikimli hizmet puanlarını kullanan atama modellerine göre yapılan atamalarda; göreve yeni başlamış veya hizmet yılı az olan personel az gelişmiş ve tercih edilmeyen bölgelerde çalışırken, hizmet yılı fazla olan personel daha çok büyük yerleşim yerlerinde çalışmaktadır. Tecrübeli personelin gelişmiş ve büyük yerleşim yerlerine, az tecrübeli personelin ise küçük yerleşim yerlerine toplanması görevlerin yürütülmesinde zafiyete sebebiyet verebilir. Kritik görevlerin az tecrübeye sahip personel tarafından yerine getirilmesi telafisi zor sorunlara yol açabilir. Ayrıca puanların her atama döneminde dengelenmesi sayesinde riskli görev yerlerinde tecrübeli personelin çalıştırılması sağlanmaktadır. Birikimli hizmet puanı kullanan atama sistemlerinde genellikle atama isteği yapan personel dışında atamaya izin verilmemektedir. Zorunlu rotasyonun olmadığı veya tek seferlik rotasyon uygulayan kurumlarda çalışan personel sadece birinci veya ikinci görev yerinde çalışarak emekli emekli olma imkânına sahiptir. Bu durumdan düzeni değişmeyen personel memnun olurken rotasyon olmadığı için boşalmayan kadro görevlerinde çalışmak isteyen diğer personeller için motivasyon kaybıdır.

Önerilen model kullanılarak personelin rütbe seviyeleri göz önünde bulundurularak kurumun hiyerarşik yapısına uygun atamalar gerçekleştirilmiştir. Personelin alt rütbe ve iki üst rütbe seviyesine atamasını engelleyen rütbe kısıtları kullanılmıştır. Bölgeler arası farklılıklar nedeniyle personelin daha önce çalıştığı bölgelere ataması rotasyon kısıtları ile

engellenmiştir. Bölgeler arası rotasyonu sağlamak için kurumun problemine özgü rotasyon kısıtları kullanılmıştır. Bir üst rütbeye terfi edilmiş ama görev süresi dolmayan personelin aynı görev ilinde başka göreve atanması ile rütbe kadro uyumuna göre atamalar yapılmaktadır. Kurumun atama problemine özgün önerilen görev süresi kısıtları ile mevzuatla belirlenmiş süreyi tamamlayan personelin zorunlu olarak yere değiştirmesi bölgeler arası dengeli rotasyon sağlamaktadır. Kritik öneme sahip görevlerinin yürütülmesi için bazı personelin tercih dışı görevlerde çalıştırılması gerekmektedir. Literatürdeki personel atama problemleri çalışmalarında; sadece tercih yapan personelin atamalarını dikkate alan veya tercihlere ağırlık puanı verilerek çok ölçütlüye dönüştürülen atama problemleri yer almaktadır. Tercih toplamları için uygun eşik değer tespit edilerek öncelikli tercihlerine atamasının yanında tercih dışı atamaya da izin vermesi kısıtı modeli diğer tercih kullanan atama modellerinden ayırmaktadır. Tercih sırası toplamının bir eşik değer altında olması sağlanarak personelin öncelikli tercihlerine atanması, tercih dışı atamalara da izin verilmesi ve kritik kadro görevlerine tecrübeli personelin atanması sağlanmaktadır. Toplam bütçe ve tercih toplamlarının gevşek kısıtları ile karar vericiye alternatif çözümler sunulmuştur.

Bu tez kapsamında personel atama modeli için;

- Güvenlik hizmetini yürüten bir kamu kurumunun atama problemi tanımlanmış ve atama sistemine özgün bir personel atama problemi önerilmiştir.
- Önerilen modelin performansını göstermek için küçük, orta ve büyük boyutlu olmak üzere farklı bölge, görev yeri ve görev tipleri dikkate alınarak farklı rassal parametrelerle 126 tane test problemi türetilmiştir. 30 personelden başlanarak 4800 personele kadar farklı boyutlarda oluşturulmuş problemler kesin çözüm sağlayan teknikler kullanılarak makul sürelerde çözülmüştür. Önerilen model kullanılarak 4800 personelin atamasına 647,88 saniyede optimal sonuç elde edilmiştir.
- Personel sayısının artması ile parametre sayısının faktöriyel olarak artması büyük test problemlerinin analitik tekniklerle çözülememesine sebep olmuştur. Daha önce değinildiği gibi atama problemleri NP-zor problemler olduğundan büyük boyutlu problemlerin çözümünde meta-sezgisel teknikler kullanılmaktadır. Büyük boyutlu personel atama probleminin çözümü için kurumun atama problemine özgü komşu aramaya dayanan bir teknik olan TB algoritması geliştirilmiştir. Algoritmanın

doğruluğu ve performansı daha önce çözülen küçük ve orta ölçekli test problemleri üzerinde gösterildikten sonra büyük boyutlu problemler çözülerek performans değerlendirmesi yapılmıştır. Kesin çözümü bilinen 40 test problemlerin aynı ya da çok yakın çözümleri TB algoritmasıyla elde edilerek algoritmanın doğruluğu gösterilmiştir. Her bir problem için TB algoritması 15 kez çalıştırılarak; ortalama amaç fonksiyonu değeri, TB'nin bulduğu en iyi sezgisel değer ve değişim katsayısı değerleri hesaplanmıştır. TB algoritması ile çözülen test problemlerin değişim katsayılarının çok küçük çıkması algoritmanın gürbüz (robust) olduğunu sezgisel yöntemle elde edilen değerlerin analitik çözümle elde edilen eniyi değerlerden sapma miktarlarının 0.000-0.009 aralığında olması (çok küçük sapma miktarına sahip olması) algoritmanın doğru çalıştığını göstermektedir. Dolayısıyla analitik yöntemle çözülemeyen büyük ölçekli problemler için TB algoritması kullanılarak çözümler elde edilebilecektir.

- TB algoritması ile 30 adet büyük ölçekli test problemi çözülerek sonuçlar verilmiştir. Bu çalışmada önerilen matematiksel model ve TB algoritması problemin boyutuna bağlı olarak benzer atama kriterlerine sahip olan kurumların atama problemlerinde kullanılabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] İ. Kara, “Doğrusal Programlama”, *Bilim Teknik*, Ankara, 2010.
- [2] R. L. Thorndike, “The problem of classification of personnel”, *Psychometrika* 15, 215 235, 1950, DOI: doi.org/10.1007/BF02289039
- [3] D. F. Votaw ve A. Orden, “The personnel assignment problem”, *EECS*, 1952, Available: web.eecs.umich.edu/~pettie/matching/Votaw-Orden-personnelassignment-problem.pdf
- [4] H. W. Kuhn, “The hungarian method for the assignment problem”, *Naval Research Logistics Quarterly*, 2(83-97), 1955, DOI: dx.doi.org/10.1002/nav.3800020109
- [5] S.C. Parikh ve R. Wets, “Optimality properties of a special assignment problem”, *Operations Research*, 12(139-142), 1964, Available: jstor.org/stable/167759
- [6] A. H. Land, “A problem of assignment with inter-related cost”, *Operational Research Society*, 14-2(185-199), 1963, DOI: doi.org/10.2307/3007372
- [7] W. P. Pierskalla, “The Multidimensional assignment problem”, *Operations Research*, 16-2(422-431), 1968, Available: jstor.org/stable/168768

- [8] A. Charnes, W. W. Cooper, R. J. Niehaus and A. Stedry, “Static and dynamic assignment models with multiple objectives, and some remarks on organization design”, *Management Science*, 365-B375, 1969, DOI:doi.org/10.1287/mnsc.15.8.B365
- [9] A. Gardenfors, “Assignment problem based on ordinal preferences”, *Management Science*, 331-340, 1973, DOI: doi.org/10.1287/mnsc.20.3.331
- [10] S. M. Lee ve M. J. Schniederjans, “A multicriteria assignment problem: A goal programming approach”, *The Institute of Management Sciences*, 75-81, 1983, Available: jstor.org/stable/25060447
- [11] M. W. Lewis, K. R. Lewis, ve B. J. White, “Guided design search in the interval-bounded sailor assignment problem”, *Computing Opeation Research*, 33-6(1664–1680), 2006, DOI: doi.org/10.1016/j.cor.2004.11.012
- [12] İ. H. Toroslu ve Y. Arslanoğlu, “Genetic algorithm for the personel assignment problem with multiple objectives”, *Information Sciences*, 177(787–803), 2009, DOI:doi.org/10.1016/j.ins.2006.07.032
- [13] S. Y. Lin, S. J. Horng, T. W. Kao, C. S. Fahn, D. K. Huang, R. S. Run ve Y. R. Wang, I. H. Kuo, “Solving the bi-objective personnel assignment problem using particle swarm optimization”, *Elsevier*, 9(2840-2845), 2012, DOI:doi.org/10.1016/j.asoc.2012.03.031

- [14] S. Bouajaja ve N. Dridi, “A survey on human resource allocation problem and its applications”, *Operational Research*, 17(339–369), 217, DOI: doi.org/10.1007/s12351-016-0247-8
- [15] D. W. Pentico, “Assignment problems: A golden anniversary survey”, *European Journal of Operational Research*, 176-2(774-793), 2007, DOI: doi.org/10.1016/j.ejor.2005.09.014
- [16] T. Öncan, “A survey of the generalized assignment problem and its applications”, *Information Systems and Operational Research*, 45-3, 2007, DOI: doi.org/10.3138/infor.45.3.123
- [17] İ. H. Toroslu, “Personnel assignment problem with hierarchical ordering constraints”, *Computers&Industrial Engineering*, 45(493–510),2003, DOI:doi.org /10.1016/S0360-8352(03)00045-7
- [18] Yönetmelik, “Jandarma Genel Komutanlığı Subay, Astsubay ve Uzman Jandarma Personel Atama Yönetmeliği”, *Resmi Gazete*, Sayı:31480, 10 Mayıs 2021, Available: resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/05/20210510-3.htm
- [19] M. İlkuçar, “Hekim atama problemi”, *Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi*, Tez No:321849, 2012, Available: tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi /tarama.jsp
- [20] Z. Çimen, “A multi objective decision support model forthe Turkish Armed Forces personel assignment system”, *Thesis, Department of The Airforce Air University, Ohio*, 2001, Available: apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA391070.pdf

- [21] E. Erciyes, “İl Jandarma Komutanlıklarında Jandarma astsubayların atanması için karar destek sistemi”, *Yüksek Lisans Tezi, Kara Harp Okulu*, Tez No:143769), 2004, Available: tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tarama.jsp
- [22] T. T. Liang ve T. J. Thompson, “Optimizing personnel assignment in the Navy: The seaman, fireman and airman application”, *Navy Personnel Research and Development Center*, 1986, Available: apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA169923.pdf
- [23] R. R. Trippi, A. W. Ash ve J. V. Ravenis, “A mathematical approach to large scale military personnel assignment”, *Computers & Operations Research*, 1-1(111-117), 1974, DOI: [doi.org/10.1016/0305-0548\(74\)90078-1](https://doi.org/10.1016/0305-0548(74)90078-1)
- [24] D. Klingman ve N. V. Philips, “Topological and computational aspects of preemptive multicriteria military personnel assignment problems”, *Management Science*, 30-11(1362-1375), “984, Available: jstor.org/stable/2631571
- [25] I. A. Krass, “An Alternative Algorithm for Optimizing Personnel Assignment in the Navy”, *Navy Personnel Research and Development Center, San Diego California*, 1987, Available: dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a185921.pdf
- [26] D. Garrett, D. Dasgupta, J. Vannucci, ve J. Simien, “A Hybrid multi objective evolutionary algorithm for the sailor assignment problem”, *IEEE Transaction on Evolutionary Computation*, 2005, DOI: doi.org/10.1.1.422.2948
- [27] D. Garrett, J. Vannucci, R. Silva, D. Dasgupta, ve J. Simien, “Genetic algorithms for the sailor assignment problem”, *Genetic and Evolutionary Computation Conference*, 1921-1928, 2005, DOI: doi.org/10.1145/1068009.1068333

- [28] D. Dasgupta, G. Hernandez, D. Garrett, P. K. Vejandla, A. Kaushal, R. Yerneni ve J. Simien, “A comparison of multi objective evolutionary algorithms with informed initialization and Kuhn-Munkres Algorithm for the sailor assignment problem”, *Proceedings of the 2008 GECCO Conference Companion on Genetic and Evolutionary Computation*, 2129–2134, 2008, DOI: doi.org/10.1145/1388969.1389035
- [29] D. Dasgupta, L. F. Nino, D. Garrett, K. Chaudhuri, S. Medapati, A. Kaushal ve J. Simien, “A multiobjective evolutionary algorithm for the task based sailor assignment problem”, *Gecco*, 2009, DOI: doi.org/10.1145/1569901.1570099
- [30] R. Ghaemi, K. Shekofteh, S. Khakmardan, H. Poostchi ve M. Farimani, “Evaluation of efficiency of new combined PSO-EO algorithm in solving sailor assignment problem”, *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 2231-6345, 2014.
- [31] B. Portilla ve J. Alfredo, “An experimental comparison of distributed algorithms simulating human detailers and an extension of the Kuhn-Munkres Algorithm for SAP”, *Master Of Sciences, National University of Colombia*, 2010, Available: bdigital.unal.edu.co/2702/1/299699.2010.pdf
- [32] D. Dasgupta, D. Becerra, A. Banceanu, F. Nino, J. Simien, G. Hernandez, D. Garrett, P. K. Vejandla, A. Kaushal, R. Yerneni, J. Simien, “Parallel framework for multi-objective evolutionary optimization”, *IEEE*, 2010, DOI: doi.org/10.1109/CEC.2010.5586119
- [33] P. Gupta, M. K. Mehlavat ve G. Mittal, “A fuzzy approach to multicriteria assignment problem using exponential membership functions”, *International Journal of Machine*

Learning and Cybernetics, 4(647–657), 2013, DOI: doi.org/10.1007/s13042-012-0122-8

- [34] S. Khanna, T. Dholakiya, S. Prakash ve S. Gupta, “Application of the hungarian assignment method in the aviation industry”, *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 6-10(2456-2165), 2021, Available: ijisrt.com/application-of-the-hungarian-assignment-method-in-the-aviation-industry
- [35] J. A. Pavlik, L. G. Ludden ve E. C. Sewel, “Airplane seating assignment problem”, *Service Science*, 13-1, 2021, DOI: doi.org/10.1287/serv.2021.0269
- [36] İ. Korkmaz, “AHP ve iki taraflı eşleme algoritmasının Silahlı Kuvvetler personel atamasında kullanımı: Bir karar destek sistemi uygulaması”, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi*, Tez No: 212850, 2007, Available: tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tarama.jsp
- [37] İ. Korkmaz, H. Gökşen ve T. Çetinyokuş, “An analytic hierarchy process and two-sided matching based decision support system for military personnel assignment”, *Information Sciences*, 178(2915-2927), 2008, DOI: doi.org/10.1016/j.ins.2008.03.005
- [38] D. Güzel, H. Erdal ve E. Acar, “Kolluk kuvvetlerinin hizmet üretim etkinliğinin arttırılmasına yönelik bir model önerisi: Bütünleşik araç atama problemi”, *International Journal of Social Science*, 40(463-483), 2015, DOI: dx.doi.org/10.9761/JASSS3111

- [39] E. Aksakal ve M. Dağdeviren, “Yetenek yönetimi temelli personel atama modeli ve çözüm önerisi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*,30-2(249-262), 2015, Available: dergipark.org.tr/tr/download/article-file/76571
- [40] H. Gökkaya ve T. Kellegöz, “Personel tayin işlemleri için AHP, TOPSİS ve Macar algoritması tabanlı karar destek modeli”, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 28-1, 2017, Available: dergipark.org.tr/tr/download/article-file/747544
- [41] A. Bulut, “Personel devamsızlığında atama ve dengeleme problemi için karar destek sistemi önerisi: bir uygulama”, *Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi*, Tez No:558161, 2019, Available: tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tarama.jsp
- [42] B. Tutumlu, B. Aygün ve T. Saraç, “İşçilerin sağlık ve yetenek seviyelerine göre iş istasyonlarına kısmi ya da tam kapasiteli olarak atanması problemi için bir çözüm yaklaşımı”, *Journal of Industrial Engineering*, 31-1(18-27), 2020, Available: dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1057415
- [42] K. Erter, “Uygunluk Kısıtlı Çok Kaynaklı Genelleştirilmiş Atama Problemi İçin Bir Tavlama Benzetimi Algoritması”, *Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*, Tez No:667109, 2021, Available: tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tarama.jsp
- [44] İ. Çiçek, “Jandarma Genel Komutanlığı için personel atama süreci ve karar destek sistemi”, *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi*, No: 449429, 2016, Available: tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tarama.jsp

- [45] Kanun, “6245 Sayılı Harcırak Kanunu”, *Resmi Gazete*, Sayı:8637, 1954, Available: mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.3.6245.pdf
- [46] Mesafe sorgulama ekranı, *İnternet Sayfası, Kara Yolları Genel Müdürlüğü*, Available: kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Uzakliklar/illerArasi/Mesafe.aspx
- [47] S.E. Moussavi, M. Mahdjoub, O. Grunder, “A multi-objective programming approach to develop an ergonomic job rotation in a manufacturing system”, *IFAC-Papers On Line*, Volume 51, Issue 11, 2018, DOI: doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.445.
- [48] Saman M. Almufti, Historical survey on metaheuristics algorithms, *International Journal of Scientific World*, 7 (1) (2019) 1-12
- [49] F. Kaplan, “Meta sezgisel algoritmalar”, *web sayfası*, 2021, Available: mshowto.org/metasezgisel-algoritmalar.html
- [50] M. İlkuçar, İ. Güngör, “Hekim Atama Probleminin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu”, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt.10, Sayı.24 (s.236-261), 2018, doi:10.20875/makusobed.374774
- [51] J. M. Wilson, “A genetic algorithm for the generalised assignment problem”, *The Journal of the Operational Research Society*, 48(8), 804-809, 1997.
- [52] P. C. Chau, ve J. E. Beasley, “A Genetic algorithm for the generalised assignment problem”, *Computer Ops. Res.* 24(1), 17-23., 1997.

- [53] Z. Drezner, “A new genetic algorithm for the quadratic assignment problem”, *INFORMS Journal on Computing*, 15(3), 320-330, 2003.
- [54] L. Lui ve X. Gao, “Fuzzy weighted equilibrium multi-job assignment problem and genetic algorithm”, *Applied Mathematical Modelling* , 33(10), 3926-3935, 2009.
- [55] Aarts, E., and Korst, J.,” Simulated annealing and Boltzmann machines”, Wiley, 2003,
- [56] Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., & Vecchi, M. P.,”Optimization by Simulated Annealing”, *Science*, 220(4598), 671-680,1983
- [57] V. Cerny, “Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm”, *Journal of Optimization Theory and Applications*, 45, 4151, 1985, DOI: [dx.doi.org/10.1007/BF00940812](https://doi.org/10.1007/BF00940812)
- [58] Toth, P., & Vigo, D.,”The Vehicle Routing Problem”, Society for Industrial and Applied Mathematics,2014.
- [59] Shonkwiler, R. W., & Mendivil, F.,” Simulated Annealing. In Handbook of Optimization (pp. 1219-1238). Springer,2008.
- [60] A. Şengür, “Endoskopik Görüntülerin Değerlendirilmesinde Görüntü İşleme Temelli Akıllı Karar Destek Sistemi”, *Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi*, 2006, Available: acikerisim.firat.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/11508/20370/185473.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- [61] F. B. Demir, “Yeni Nesil Kaotik Tabanlı Kök Gelişim Algoritmaları”, *Yayınlanmış Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi*, 2020, Aviable: hdl.handle.net/11616/42854
- [62] S. Soysal,” Kaynak Kısıtlı Çok Modlu Çoklu Stokastik Proje Çizelgeleme”, *Yayınlanmış Doktora Tezi, Başkent üniversitesi*,2021. Aviable: acikerisim.baskent.edu.tr/bitstream/handle/11727/6670/10416623.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- [63] Çaşka, S. , Uysal, A. "İHA Yardımcı İniş Sisteminin Meta-Sezgisel Optimizasyon Yöntemleri ile Kontrolü" . *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 21 (2021):1223-1230, Aviable:dergipark.org.tr/en/pub/akufemubid/issue/65740/888652>
- [64] B. Dengiz and Ç. Alabas Uslu, "A Simulated Annealing Algorithm For Design Of Computer Communication Networks," *5th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Communication Systems and Internet: Part I*, 2001
- [65] Alabas, C., Altıparmak, F. & Dengiz, B., “A Comparison Of The Performance Of Artificial Intelligence Techniques For Optimizing The Number Of Kanbans”, *J Oper Res Soc* 53, 907–914, 2002. DOI: doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601395
- [66] Glover, F., “Tabu Search—Part I”, *ORSA Journal on Computing*, 1(3), 190-206,1989. DOI:[10.1287/ijoc.1.3.190](https://doi.org/10.1287/ijoc.1.3.190)
- [67] Tsallis, C., “Possible Generalization Of Boltzmann-Gibbs Statistics”, *Journal of statistical physics*, 52(1-2), 479-487,1988. DOI: doi.org/10.1007/BF01016429

- [68] G. Gülbaş ve G. Çetin, “Tavlama benzetimi algoritması ile geniş ölçekli kablosuz algılayıcı ağlarda leach protokolünün optimizasyonu”, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* , Özel Sayı: Uluslararası Mühendislikte Yapay Zeka ve Uygulamalı Matematik Konferansı (UMYMK) , 67-79, 22020, DOI: [dx.doi.org/10.21923/jesd.824663](https://doi.org/10.21923/jesd.824663)
- [69] Eglese, Richard W. "Simulated Annealing: A Tool For Operational Research." *European journal of operational research* 46.3 (1990): 271-281.
- [70] N. Metropolis, A. W. Rosenbluth, M. N. Rosenbluth, A. H. Teller and E. Teller, “Equation of State Calculations by Fast Computing Machines”, *The Journal of Chemical Physics*, 21, 1087-1092., 1953, Doi: doi.org/10.1063/1.1699114
- [71] C. R. Reeves, V.J. Rayward-Smith, İ. H. Osman and “Modern Heuristic Techniques For Combinatorial Problems”, John Wiley&Sons, Inc. New York, Toronto, 1993.
- [72] J. De Vicente, J. Lanchares, and R. Hermida, Román, "Placement By Thermodynamic Simulated Annealing", *Physics Letters*, A.317 (5–6): 415–423, 2003, Doi:[10.1016/j.physleta.2003.08.070](https://doi.org/10.1016/j.physleta.2003.08.070)
- [73] Moon-Won Park, Yeong-Dae Kim, "A Systematic Procedure For Setting Parameters In Simulated Annealing Algorithms", *Computers & Operations Research*, Volume 25, Issue 3, Pages 207-217, 1998, Doi: [doi.org/10.1016/S0305-0548\(97\)00054-3](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(97)00054-3).
- [74] Ben-Ameur, W. , “Computing the Initial Temperature of Simulated Annealing”. *Computational Optimization and Applications* 29, 369–385 (2004), Doi: doi.org/10.1023/B:COAP.0000044187.23143.bd

- [75] C Koulamas, SR Antony, R Jaen, "A survey of simulated annealing applications to operations research problems", *Omega*, Volume 22, Issue 1, Pages 41-56, 1994, Doi: doi.org/10.1016/0305-0483(94)90006-X.
- [76] C. Şimşek, B. Dengiz, E. Karasakal ve Y. T. İç , "Personel Atama Problemi: Bir Kamu Kurumu Uygulaması", *Journal of Turkish Operations Management*, c. 6, sayı. 2, ss. 1297-1313, Ara. 2022, Doi:10.56554/jtom.1128531

